



República del Perú  
Estado Plurinacional de Bolivia



Autoridad Binacional Autónoma del Lago Titicaca  
Río Desaguadero - Lago Poopó - Salar de Coipasa

**ESTUDIO INTEGRAL  
PARA EL CONTROL DE LA EROSIÓN Y  
ARRASTRE DE SEDIMENTOS  
EN EL RÍO DESAGUADERO**

## 1. ANTECEDENTES

La erosión de suelos constituye uno de los problemas ambientales más importantes que enfrenta el mundo hoy en día, se reconoce que la erosión hídrica es la causa más significativa de la degradación del suelo y de la generación de serios impactos ambientales, generando altas pérdidas en la producción agrícola, daños a la infraestructura, la calidad del agua y el bienestar de la población, llegando a amenazar la seguridad alimentaria y el desarrollo sustentable.

A partir de la formulación del Plan Director Global Binacional (PDGB) se determinó que en la cuenca del río Desaguadero, la erosión de tipo antrópico y geológico se presentan en similar extensión (47 % en ambos casos). Sin embargo, a nivel de clases de erosión, la predominancia radica en erosión moderada y severa de tipo geológico (44.5 %) sobre la antrópica (15.5 %), identificando como las principales causales para esta situación, la susceptibilidad de los suelos y rocas a la degradación, pero también a la menor densidad de población en este frágil ámbito. Estudios posteriores recomendaron efectuar un diagnóstico actualizado del estado de las cuencas aportantes al río Desaguadero, con la finalidad de mejorar la identificación de zonas críticas de erosión, para implementar programas de manejo integral de cuencas, que permitan la estabilización de laderas, reducir la erosión del suelo y en consecuencia reducir también el transporte de sólidos y el azolvamiento del río Desaguadero.

En este contexto, este estudio fue considerado en el Plan Operativo Anual (POA) de la ALT para la gestión 2018, en el componente No 1, gestión de recursos hídricos e hidrobiológicos, Sub Componente 1.3., mantenimiento del dragado del río desaguadero y Actividad 1.3.1., estudio integral para el control de erosión y arrastre de sedimentos en el río desaguadero y acciones piloto en zonas críticas.

La problemática a abordar con el estudio, corresponde a la relacionada con la producción de sedimentos en la parte alta de la cuenca del río Desaguadero (efluente natural del lago Titicaca), este fenómeno se manifiesta con la erosión en cárcavas, deslizamientos en ladera, y la degradación general del suelo en las cuencas que aportan al río en el tramo Aguallamaya - Nazacara, y la alta carga de sólidos en suspensión en el flujo de sus cauces principales y el río Desaguadero, fenómeno que ocasiona la deposición de grandes volúmenes en el

tramo Aguallamaya - Nazacara, y la alta carga de sólidos en suspensión en el flujo de sus cauces principales y el río Desaguadero, fenómeno que ocasiona la deposición de grandes volúmenes en el fondo y bancos de este río, disminuyendo así su capacidad hidráulica, y generando problemas similares en todo el sector Sur del TDPS.



La ALT, entre sus trabajos rutinarios, realiza el mantenimiento del dragado del río Desaguadero en el tramo Aguallamaya – Nazacara, para evitar la deposición de material en las confluencias con los ríos que aportan a él; la zonificación de las áreas degradadas y la propuesta de control de los sedimentos que se producen en estas cuencas permitirá implementar acciones complementarias a esta actividad, para evitar la colmatación del río Desaguadero, a través del control en la fuente de producción. Con este objeto, la ALT mediante las gestiones administrativas correspondientes, realiza la contratación de la empresa Engevix Engenharia e Projetos S.A. Sucursal Bolivia para la ejecución del estudio.

## 2. OBJETIVO

Identificar, caracterizar las causas y determinar las áreas en proceso de erosión, zonificación de zonas críticas para su manejo, estimación de los volúmenes (producción) de sedimentos, evaluación de la dinámica de transporte y deposición de los tributarios principales al río Desaguadero en el tramo Aguallamaya – Nazacara.

## 3 ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio, geográficamente comprende el área de las cuencas de los ríos Llinki (río binacional), Khala y Tucsá Jahaira (intercuenca compuesta por ocho subcuencas que drenan hacia el río Desaguadero) y el río Jacha Jahaira, que forman la parte alta de la cuenca del río Desaguadero (Ver Figura No 1).



Figura No 1 Mapa de Ubicación del Área de Estudio



Estas cuencas, aportan al flujo del río Desaguadero entre el tramo Aguallamaya – Nazacara, y representan el 21% del área total del sistema TDPS, su extensión geográfica se desarrolla en el ámbito territorial de los municipios de Caquiaviri, Comanche, Jesús de Machaca, San Andrés de Machaca, Santiago de Machaca y Nazacara de Pacajes, en territorio boliviano; en el caso de la cuenca del río Llinki, está también se desarrolla en parte del Distrito de Pisacoma en territorio peruano.

#### 4. HIDROLOGÍA, EROSIÓN Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

En las cuencas en estudio, en cuanto a los parámetros de relieve, se ha encontrado que la longitud del cauce principal varía entre 8 y 72 Km, la pendiente media entre 1,5 y 4,8 por mil, la pendiente media de ladera entre 2% y 14%, características que corresponden a ríos de cabecera de cuenca, geomorfológicamente estables, donde la erosión y el transporte de sedimentos se presenta en épocas de avenidas, de forma limitada. La producción hídrica para las cuencas de estudio fue calculada a través del modelo Lutz Scholz y esta se presenta en la Tabla No 1, para el período 1981-2019, los resultados para la cuenca Jacha Jahuira muestran un régimen estacional de caudales, con los valores más altos en los meses de enero a marzo; en las cuencas Khala y Tucsa Jahuira N°01-N°08 se presentan caudales por debajo de 1 m<sup>3</sup>/s a lo largo de todo el año. En el caso de la cuenca Llinki, que es la de mayor extensión, los resultados muestran los más altos caudales en los meses de enero a marzo, siendo febrero el mes de máximo caudal (28.11 m<sup>3</sup>/s), siempre respecto al año promedio.

Tabla No 1 Producción Hídrica en las Cuencas de Estudio (Valores en m<sup>3</sup>/s)

CUENCA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Jacha Jahuira	7.37	6.87	3.86	1.98	2.22	2.32	2.21	2.14	2.26	2.13	2.66	4.87	3.41
Khala Tucsa Jahuira-01	0.21	0.24	0.20	0.21	0.20	0.22	0.20	0.20	0.21	0.20	0.21	0.21	0.21
Khala Tucsa Jahuira-02	0.20	0.22	0.20	0.21	0.20	0.20	0.21	0.20	0.21	0.20	0.21	0.20	0.20
Khala Tucsa Jahuira-03	0.08	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Khala Tucsa Jahuira-04	0.33	0.36	0.30	0.29	0.29	0.30	0.29	0.29	0.30	0.29	0.29	0.30	0.30
Khala Tucsa Jahuira-05	0.21	0.22	0.19	0.20	0.19	0.20	0.19	0.20	0.20	0.19	0.20	0.19	0.20
Khala Tucsa Jahuira-06	0.70	0.77	0.66	0.66	0.65	0.69	0.66	0.64	0.68	0.66	0.67	0.66	0.67
Khala Tucsa Jahuira-07	0.32	0.34	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.29	0.31	0.29	0.30	0.28	0.30
Khala Tucsa Jahuira-08	0.19	0.21	0.18	0.20	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20	0.19	0.19	0.19	0.19
Llinki	19.32	28.11	26.46	24.12	21.11	20.16	17.87	16.32	15.09	12.92	11.98	13.56	18.92

Para simular el proceso de precipitación-escorrentía y la producción de sedimentos, se ha utilizado el modelo TREX considerando los siguientes procesos físicos: erosión por salpicadura, laminar y en surcos, erosión fluvial (Agradación-degradación de cauces), transporte total de sedimentos, deposición y el cambio morfológico de cuencas. Se alimentó al modelo TREX con la siguiente información: uso y cobertura de suelos, tomada del Informe de Edafología, para representar los parámetros de rugosidad superficial e intercepción; asimismo, un mapa de regolita, tipo de suelo o geoformas, información tomada del Informe de Geología y Geomorfología, para representar la conductividad hidráulica saturada, presión de succión, granulometría, velocidad crítica de corte, velocidad de sedimentación, gravedad específica, erodabilidad, etc.

Considerando los caudales medios mensuales estimados y las curvas de gasto sólido (caudal líquido versus concentración total de sedimentos) se ha estimado la producción de sedimentos (m<sup>3</sup>) por cuencas cuyos resultados se observa en la Tabla No 2.

Tabla No 2 Producción de sedimentos (m<sup>3</sup>) a nivel mensual para las cuencas de estudio.

CUENCA	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	ANUAL
Jacha Jahuira	1987	1567	576	162	206	216	204	193	206	191	278	895	6682
Khala Tucsa Jahuira 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Khala Tucsa Jahuira 2	16	17	16	17	16	15	17	16	17	16	17	16	195
Khala Tucsa Jahuira 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Khala Tucsa Jahuira 4	17	19	14	13	13	14	13	13	14	13	13	14	171
Khala Tucsa Jahuira 5	42	41	36	38	36	38	36	39	38	36	38	36	455
Khala Tucsa Jahuira 6	100	106	91	88	88	95	91	86	92	91	90	91	1109
Khala Tucsa Jahuira 7	19	19	17	16	17	16	17	16	17	16	16	15	199
Khala Tucsa Jahuira 8	11	12	9	11	11	10	11	12	11	11	10	11	129
Llinki	4756	9421	9198	7338	5734	5036	4031	3322	2718	2006	1645	2229	57435

De la Tabla No 2, se puede observar que la magnitud media mensual de la producción de sedimentos por cuenca presenta una estrecha relación con la magnitud de los caudales, siendo los meses de máximas avenidas los de mayor aporte de sedimentos. A nivel anual, las cuencas que más aportan son Llinki (57 435 m<sup>3</sup>), Jacha Jahuira (6 682 m<sup>3</sup>) y Khala Tucsa Jahuira (2 258 m<sup>3</sup>).

Para la planificación del manejo de cuencas y control de la erosión, se ha generado una base de datos de caudales y producción de sedimentos asociados a diferentes periodos de retorno. En la Tabla No 3 se presenta la información respecto a producción de sedimentos en toneladas para cada una de las nueve (09) cuencas simuladas y para diferentes periodos de retorno.

**Tabla No 3 Producción de sedimentos en toneladas para cada una de las nueve (09) cuencas y subcuencas simuladas por periodo de retorno**

Periodo de Retorno	Llinki [Tn]	Jacha Jahuira [Tn]	Khala y Tucsa Jahuira 1 [Tn]	Khala y Tucsa Jahuira 2 [Tn]	Khala y Tucsa Jahuira 4 [Tn]	Khala y Tucsa Jahuira 5 [Tn]	Khala y Tucsa Jahuira 6 [Tn]	Khala y Tucsa Jahuira 7 [Tn]	Khala y Tucsa Jahuira 8 [Tn]
PR 2 años	1189.43	214.95	8.79	12.97	12.00	194.97	274.38	35.98	16.07
PR 25 años	3447.35	197.82	34.78	30.34	18.92	120.34	175.98	61.04	38.46
PR 50 años	3369.25	205.42	42.35	32.77	19.80	106.76	180.47	62.38	43.68
PR 100 años	3401.35	195.12	53.02	35.94	19.41	98.32	185.44	63.42	44.38
PR 500 años	3571.29	193.55	68.70	44.64	18.62	84.72	253.29	59.63	51.91

\* La cuenca Khala y Tucsa Jahuira 3, no fue modelada, porque la producción hídrica de esta cuenca no es apreciable.

De acuerdo al estimado de la erosión laminar potencial media interanual, calculado para el periodo 2001-2019, se ha encontrado que la mayor parte de las cuencas en estudio pertenecen a la clase Baja y Moderada.

Luego de realizado el estudio y análisis del problema de erosión y transporte de sedimentos en las cuencas de Jacha Jahuira, Khala y Tucsa Jahuira y Llinki, se colige lo siguiente:

La zona de estudio tiene un régimen climatológico estacional; las máximas precipitaciones ocurren en los meses de enero a marzo, teniendo un periodo de escasa precipitación en los meses de junio a agosto, y en cuanto al patrón espacial se aprecia que las mayores tasas de lluvia ocurren en el lado este (cuenca del río Jacha Jahuira), y las menores tasas en la zona oeste (cuenca del río Llinki), sin embargo, al tener mayor extensión esta última cuenca, genera caudales mayores.

Se ha encontrado que en el primer tercio superior (zona más elevada), la conectividad del sistema fluvial es alta, por consiguiente, es una de las fuentes principales de sedimentos (aluvio -coluviales y volcánicos), los cuales se depositan en la parte media-baja de la cuenca, así mismo existe una baja probabilidad que los sedimentos depositados en las zonas de baja pendiente se conecten con la red de drenaje y aporten significativamente a la producción de sedimentos de las cuencas. Los resultados sugieren que los principales modos de erosión corresponden al tipo laminar, surcos, cárcavas y fluvial (cauce y bancos).

Se ha estimado la erosión laminar media interanual para el periodo comprendido entre 2001-2019 mediante el modelo empírico de pérdida de suelos RUSLE. En general, se resalta que el gradiente topográfico es el factor que presenta mayor influencia en el proceso de erosión. Si se compara el patrón espacial de la producción de sedimentos con la distribución espacial de la pérdida de suelo media interanual de las cuencas en estudio, se concluye que las fuentes de sedimentos se encuentran localizadas en el primer tercio superior en cada una de las cuencas del estudio.

En el mapa de distribución espacial de la pérdida de suelo media interanual de las cuencas en estudio, que se presenta en las Figuras No 2 a No 4, se observa que la cuenca Llinki y Jacha Jahuira presentan mayor variabilidad espacial de resultados, es en la parte alta de estas cuencas en donde se alcanza módulos de erosión potencial de hasta 50 Tn1ha-1Año-1. Asimismo, se resalta que las zonas de valle y las demás cuencas presentan módulos menores a 5 Tn1ha-1Año-1. En la Tabla No 4 se presenta la extensión de la tasa potencial de pérdida de suelo media interanual para el periodo comprendido entre el año 2001-2019.

De acuerdo a la erosión laminar, calculada, mediante el RUSLE en las cuencas analizadas, se obtuvieron las siguientes pérdidas de suelo media interanual: Muy baja (< 5 Tn1ha-1Año-1), Baja (5–15 Tn1ha-1Año-1) y Moderada (15–30 Tn1ha-1Año-1). Sólo en Llinki ocurre adicionalmente erosión Fuerte (30–50 Tn1ha-1Año-1) y Muy fuerte (30–50 Tn1ha-1Año-1) y en la cuenca Jacha Jahuira adicionalmente se presenta áreas con erosión Fuerte (30 – 50 Tn1ha-1Año-1).

Tabla No 4 Extensión afectada con cada una de las tasas potenciales de pérdida de suelo media interanual (2001-2019).

Cuenca	Tasa media de Pérdidas de suelo media interanual (Tn <sup>1</sup> ha <sup>-1</sup> Año <sup>-1</sup> ) 2001-2019					Área total Km <sup>2</sup>
	Muy baja < 5	Baja 5 - 15	Moderada 15 - 30	Fuerte 30 - 50	Muy Fuerte > 50	
	Superficie en Km <sup>2</sup>					
Llinki	2,336.81	498.35	135.49	4.59	0.10	2975.34
Jacha Jahuira	575.91	161.58	30.66	1.21	-	769.37
Khala y Tucsa Jahuira 6	184.79	20.63	2.78	0.10	-	208.30
Khala y Tucsa Jahuira 7	92.64	1.46	0.69	-	-	94.79
Khala y Tucsa Jahuira 5	59.67	1.46	-	-	-	61.13
Khala y Tucsa Jahuira 4	81.83	0.94	-	-	-	82.77
Khala y Tucsa Jahuira 1	58.99	-	-	-	-	58.99
Khala y Tucsa Jahuira 2	59.98	3.75	-	-	-	63.73
Khala y Tucsa Jahuira 3	25.21	-	-	-	-	25.21
Khala y Tucsa Jahuira 8	57.57	2.21	-	-	-	59.78

\* La clasificación está basada en la revisión de los artículos publicados por diversos autores para estudios de erosión de suelos (Yesuph y Dagnew 2019, Haregeweyn et al. 2017, FAO 1984). Las tasas están dadas en Tn<sup>1</sup>ha<sup>-1</sup>Año<sup>-1</sup>.

Mediante esta metodología no es posible discriminar la erosión fluvial en la red de drenaje, lo cual constituye una limitación del modelo RUSLE.



Figura No 2 Erosión (USLE) en la Cuenca del Río Llinki (Media Interanual del Periodo 2001 – 2019).



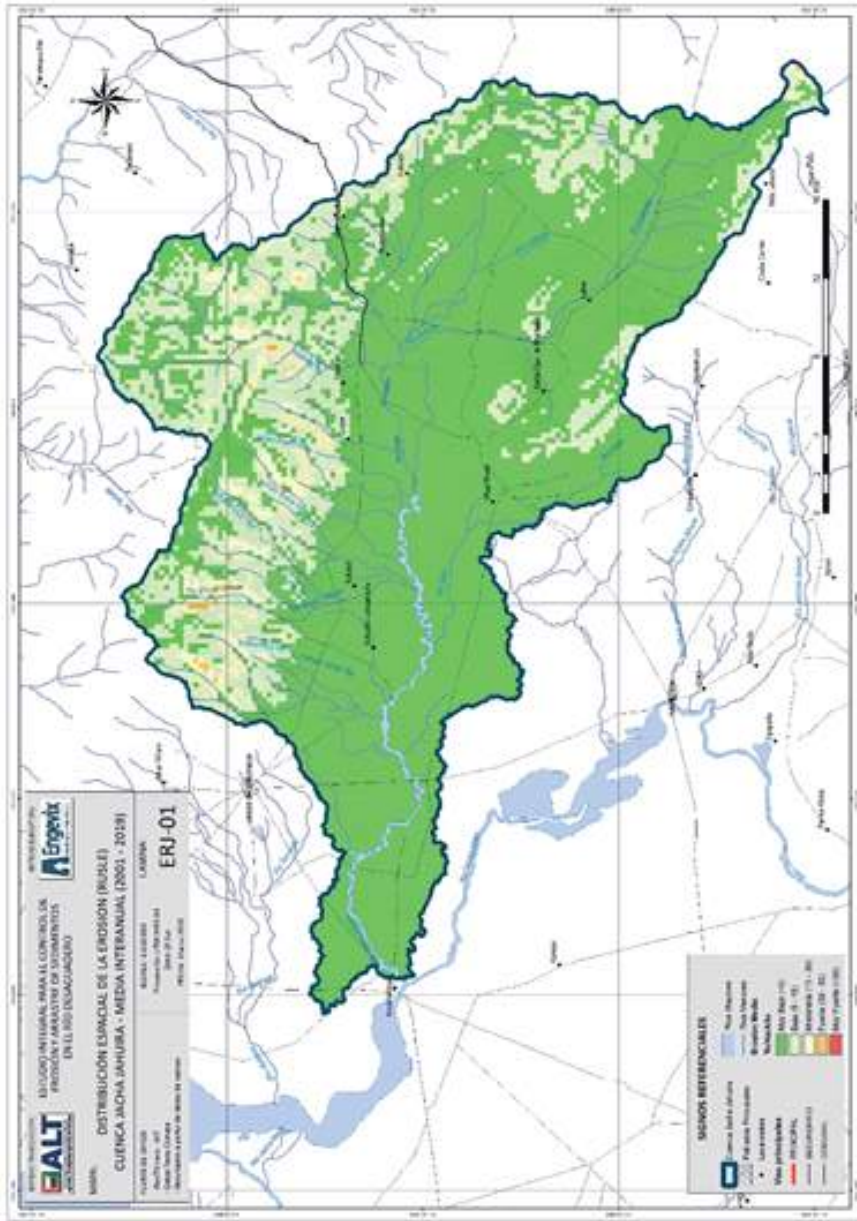


Figura No 3 Erosión (USLE) en la Cuenca del Río Jacha Jahuira (Media Interanual del Periodo 2001 – 2019).

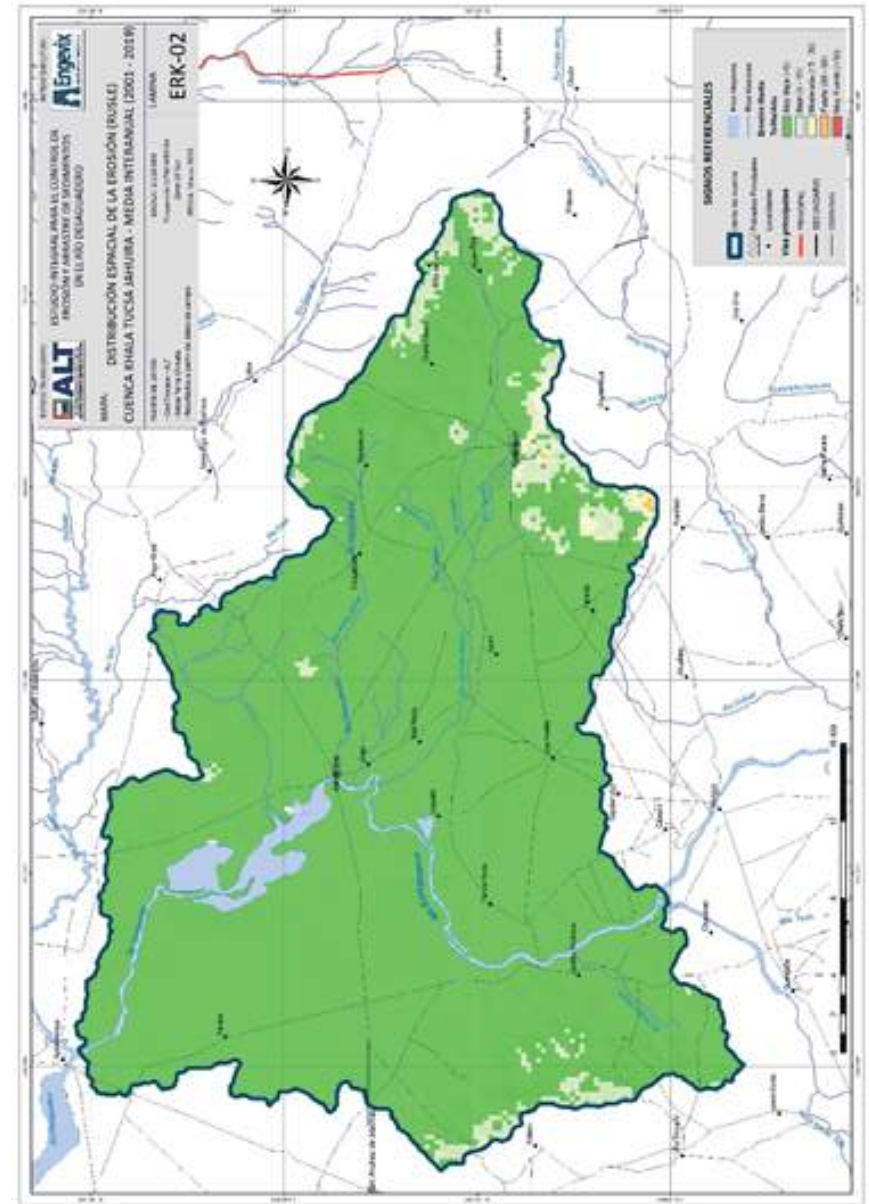


Figura No 4 Erosión (USLE) en la Cuenca de los Ríos Khala Tucsa Jahuira (Media Interanual del Periodo 2001 – 2019).

## 5. IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS PILOTO PARA INTERVENIR

Las zonas prioritarias y áreas piloto a intervenir se determinaron a partir del mapa de degradación de la cobertura vegetal y del mapa de producción de sedimentos, el cual es resultado del modelamiento de producción de sedimentos en las cuencas de estudio. El detalle de las zonas prioritarias a intervenir se presenta en la Tabla No 5.

**Tabla No 1 Producción Hídrica en las Cuencas de Estudio (Valores en m3/s)**

Cuenca	Área [Km <sup>2</sup> ]	%	Degradadas [Km <sup>2</sup> ]	Prioritarias [Km <sup>2</sup> ]
Jacha Jahuira	769.37	20.63	158.73	31.87
Khala y Tucsa Jahuira-01	58.99	0.00	0.00	-
Khala y Tucsa Jahuira-02	63.73	0.00	0.00	-
Khala y Tucsa Jahuira-04	82.77	0.00	0.00	-
Khala y Tucsa Jahuira-05	61.13	1.66	1.01	-
Khala y Tucsa Jahuira-06	208.30	1.62	3.38	2.88
Khala y Tucsa Jahuira-07	94.79	1.01	0.96	0.69
Khala y Tucsa Jahuira-08	59.78	0.00	0.00	-
Llinki	2,975.34	13.83	411.50	140.18

El área piloto en cada zona prioritaria se determinó en función a la producción de sedimentos, las áreas donde esta es más alta, deberán intervenir con prioridad, estas áreas son 1,000 ha en la cuenca Llinki, 700 ha en la cuenca Jacha Jahuira y 600 ha en la cuenca Khala Tucsa Jahuira (microcuenca 06).

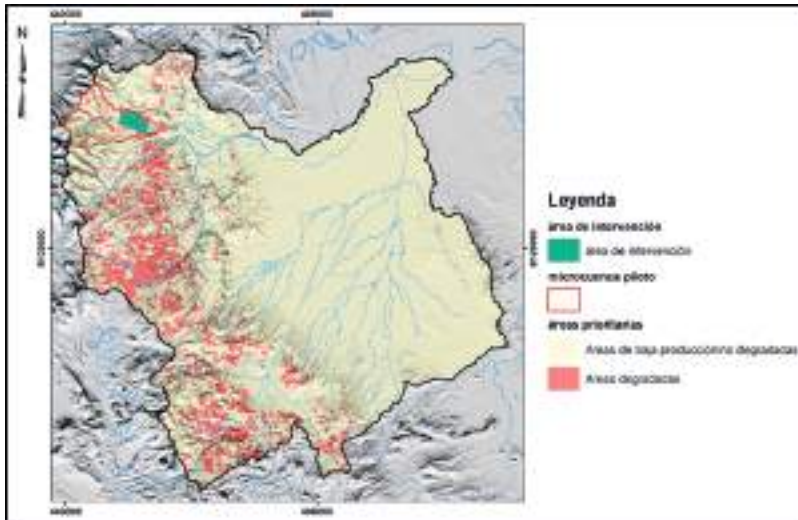


Figura No 5 Área Piloto para la Intervención en la Cuenca del Río Llinki.

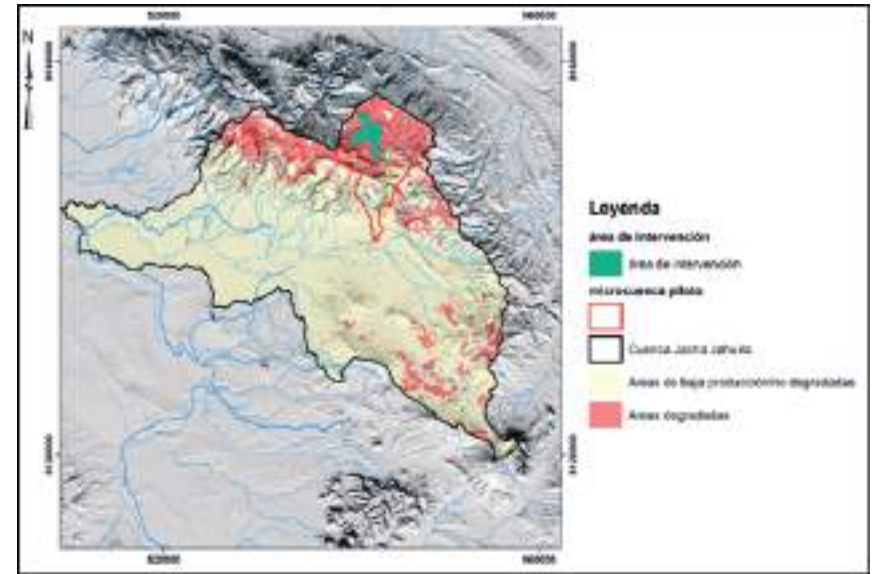


Figura No 6 Área Piloto para la Intervención en la Cuenca del Río Jacha Jahuira.



Figura No 7 Área Piloto para la Intervención en la Cuenca del Río Khala Tucsa Jahuira.



En las áreas piloto definidas, se plantean las medidas de intervención que consistirán básicamente en revegetación y obras civiles para la retención de sedimentos (torrenteras). Dentro del modelo TREX utilizado en la producción de sedimentos, esta mejora en la cobertura vegetal ha generado una reducción de 30% de la producción de sedimentos en la cuenca de Linki, para el periodo de retorno de 2 años, lo cual se esperaría como condiciones medias de la cuenca, de igual manera en la microcuenca piloto en Jacha Jahuirá, mejorando las condiciones de vegetación, se alcanza una reducción de 15%, finalmente en la microcuenca piloto en Khala Tucsa Jahuirá se aprecia una reducción de 10%. En general se esperaría una reducción de hasta un 30% si se realiza el mejoramiento de la cobertura vegetal en la totalidad de las cuencas de estudio.

## 6. MEDIDAS DE PROTECCIÓN CONTRA EROSIÓN Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

Como medidas de protección para el control de erosión y transporte de sedimentos, se plantean obras sencillas de ingeniería hidráulica y agronomía (revegetación), a fin de retener el arrastre de los sedimentos en el cauce de los ríos, disminuir la energía del agua, evitar o atenuar la erosión de los suelos. Conforme a los resultados del diagnóstico del problema de erosión y transporte de sedimentos, las medidas propuestas no solucionarían significativamente el problema de sedimentación del río Desaguadero, porque el aporte de las cuencas estudiadas es bajo. Económicamente es más rentable implementar un plan de dragado periódico del río Desaguadero y no invertir en medidas de mitigación de la erosión y transporte de la cuenca. Sin embargo, la decisión sobre la implementación de este tipo de acciones pasará por sopesar los beneficios de una intervención en complementaria a las actividades del dragado, para mantener los servicios ecosistémicos de las cuencas de aporte al río Desaguadero. Para sintetizar la propuesta de intervención en cada cuenca se presentan las fichas técnicas elaboradas para cada cuenca de estudio.

FICHA TÉCNICA	
PROYECTO: MEDIDAS DE PROTECCIÓN CONTRA LA EROSIÓN Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN LA CUENCA LINKI	
1. Nombre del proyecto	Medidas de protección contra la erosión de suelos y transporte de sedimentos en la cuenca Linki
2. Ubicación	Cuenca: Linki Municipio: Santiago de Machaca Provincia: José Manuel Pando Departamento: La Paz
3. Descripción del proyecto	
3.1 Descripción del problema	Debido a los factores climáticos existentes (alta precipitación), a la geología y geomorfología de la zona y a las actividades antrópicas, se genera erosión de los suelos y transporte de sedimentos a través de los cauces de los ríos existentes en la cuenca Linki; los sedimentos erosionados son transportados por los cauces existentes hasta descargar en el río Desaguadero, originando problemas de sedimentación en este río. El estudio realizado determinó que en esta cuenca se generaba erosión muy baja, erosión baja, erosión moderada, erosión fuerte y erosión muy fuerte, en diferentes áreas de la cuenca; asimismo, estudios de modelamiento realizados concluyeron que los sedimentos que llegan al río Desaguadero se generan en el tercio superior de la cuenca, donde existe alta conectividad entre la superficie del suelo y los cauces de los ríos existentes. En el resto del área de la cuenca, la erosión de los suelos es atenuada por el relieve topográfico existente y por la cobertura vegetal que protege la superficie del suelo, de tal manera que la conectividad en esta zona es muy baja. La sedimentación en el río Desaguadero, obliga a la Autoridad Binacional del Lago Titicaca (ALT) a realizar inversiones en actividades de dragado en forma periódica a fin de mantener la continuidad del flujo del agua del río Desaguadero hacia aguas abajo; este dragado de sedimentos no constituye una solución definitiva a este problema, razón por la cual se ha realizado un estudio de tratamiento de la cuenca que permita reducir o evitar la erosión y transporte de sedimentos.
3.2 Justificación del proyecto	Proyecto de medidas de control de erosión y transporte de sedimentos en el tercio superior de la cuenca Linki se justifica económicamente por la necesidad de evitar o disminuir la sedimentación del cauce del río Desaguadero, sobretodo en el punto de confluencia del río Desaguadero con el río Linki, evitando o reduciendo los costos recurrentes en trabajos de dragado. Adicionalmente desde el punto de vista hidráulico se evitaría el problema de inundaciones del río Desaguadero hacia áreas aledañas de poca elevación; finalmente es necesario mantener un flujo permanente de agua del río Desaguadero hacia el sur del sistema TDPS.
4. Objetivos de las medidas a proponer	
4.1 Objetivo general	Evitar o minimizar la sedimentación en el cauce del río Desaguadero
4.2 Objetivos específicos	Mejoramiento de la cobertura vegetal en el tercio superior de la cuenca Linki, en áreas donde se presenta erosión moderada, fuerte y muy fuerte, con la finalidad que se reduzca el transporte de sedimento erosionados y la conectividad con el río Desaguadero, reduciéndose así la colmatación del río Retener los sedimentos en los cauces de la red fluvial de las cuencas motivo del estudio, mediante estructuras de retención, a fin de disminuir la velocidad del agua y la capacidad de transporte de la red fluvial, reduciendo el aporte de sedimentos al río Desaguadero.
5. Alcance	
5.1 Beneficiarios de las medidas propuestas	Los beneficiarios del proyecto son: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Poblaciones ubicadas aguas abajo del punto de descarga del río Linki en el río Desaguadero, actualmente muy expuestas a inundaciones</li> <li>• Agricultores que sufren inundaciones a partir del río Desaguadero.</li> <li>• El Estado Boliviano, que conjuntamente con el Estado Peruano, a través de ALT, se ven obligados a realizar gastos frecuentes en el dragado de sedimentos del río Desaguadero.</li> </ul>
6. Proceso de Intervención	Las medidas propuestas se aplicarán en el tercio superior de la cuenca Linki
6.1 Áreas donde se aplicarán las medidas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Área Total de la cuenca: 297 534 ha</li> <li>• Área del tercio superior de la cuenca: 99 178 ha</li> <li>• Área de intervención con las medidas de protección: 14 018 ha</li> <li>• Volumen anual de sedimentos generados en la cuenca: 57 435 m<sup>3</sup></li> </ul>

6.2 Medidas de protección propuestas	
1.2.1 Presas de Retención de sedimentos.	<p><b>Descripción de la medida:</b>  Son estructuras permanentes, flexibles y permeables construidas a base de prismas rectangulares de alambre galvanizado llamados gaviones, los cuales se rellenan con piedras con el objeto de formar el cuerpo de la obra que constituye la presa de retención de sedimentos.  Se coloca en forma transversal al cauce de los ríos o quebradas, con el fin de retener los sedimentos de arrastre y suspensión, dejando que el agua continúe hacia aguas abajo donde encontrará otras presas de retención, de esta manera el agua se va liberando gradualmente de sedimentos antes de descargar en el río Desaguadero.</p> <p><b>Cantidad de presas de retención propuestas:</b>  Se proyecta la construcción de 813 presas de retención de sedimentos en el área de intervención ubicada en el tercio superior de la cuenca Llinki.  El área de intervención es el área donde se presenta erosión moderada, erosión fuerte y erosión muy fuerte.</p> <p><b>Características de las Presas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipo: Presas de gaviones</li> <li>• Material de construcción: piedras y alambre galvanizado para los gaviones</li> <li>• Altura: 1,5m</li> <li>• Longitud: 50 m</li> <li>• Espaciamiento: 90 m</li> </ul>
6.2.2 Reforestación en el área de intervención	<p><b>Descripción:</b>  La revegetación se realizará en el área de la cuenca ubicada en el tercio superior de la misma, donde se presente erosión moderada, fuerte y muy fuerte. Se propone incrementar la cobertura vegetal con especies arbóreas y arbustivas adecuadas a la zona como: thola, kiswara, y Keñua, mediante la plantación de plántulas obtenidos de vivero.  La Thola (<i>Parastrephia lepidophylla</i>) que es una de las especies arbustivas endémicas del sector con mayor predominancia, por su plena adaptabilidad a las condiciones ambientales del entorno; esta especie ofrece cobertura vegetal y retención de material de arrastre.  Adicionalmente, se propone el empleo de dos especies forestales, también endémicas de la provincia: la kiswara (<i>Buddleja sp.</i>) y la keñua (<i>Polylepis sp.</i>)</p> <p><b>Área a reforestar en la cuenca:</b>  Se propone reforestar 14 018 ha que presentan erosión moderada, fuerte y muy fuerte.</p>
2. Costo de pre Inversión	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precio Unitario de la Presa de retención de sedimentos: US \$ 19 928,00</li> <li>• Precio Unitario de revegetación mediante plántulas (ha): US \$ 4 729,74 / ha</li> <li>• Inversión total en las presas de control de sedimentos: US \$ 16 201 464,00</li> <li>• Inversión Total en revegetación mediante plántulas: US \$ 66 301 495,32</li> <li>• Inversión Total en la cuenca Llinki: US \$ 82 502 959,32</li> </ul>
3. Resultados esperados	Porcentaje de sedimentos retenidos anualmente: 30 %; calculado mediante aplicación del modelo TREX.
4. Estado actual del proyecto	Propuesta de proyecto pasible de ser sujeto a un Estudio de Diseño Técnico de Preinversión

FICHA TECNICA PROYECTO: MEDIDAS DE PROTECCIÓN CONTRA LA EROSIÓN Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN LA CUENCA JACHA JAHUIRA	
1. Nombre del proyecto	Medidas de protección contra la erosión de suelos y transporte de sedimentos en la cuenca Jacha Jahuirá
2. Ubicación	Cuenca: Jacha Jahuirá Municipio: Jesús de Machaca, Caquiaviri y Comanche Provincia: Pacajes e Ingavi Departamento: La Paz
3. Descripción del proyecto	<p>Debido a los factores climáticos existentes (alta precipitación), a la geología y geomorfología de la zona y a las actividades antrópicas, se genera erosión de los suelos y transporte de sedimentos a través de los cauces de los ríos existentes en la cuenca Jacha Jahuirá; los sedimentos erosionados viajan a través de los cauces fluviales existentes hasta descargar en el río Desaguadero, originando problemas de sedimentación en este río.  El estudio realizado determinó que en esta cuenca se generaba erosión muy baja, erosión baja, erosión moderada, erosión fuerte y erosión muy fuerte, en diferentes áreas de la cuenca; asimismo, estudios de modelamiento realizados concluyeron que los sedimentos que llegan al río Desaguadero se generan en el tercio superior de la cuenca, debido a que existe alta conectividad entre la superficie del suelo y los cauces de los ríos existentes. En el resto del área de la cuenca, la erosión de los suelos es atenuada por el relieve topográfico existente y por la cobertura vegetal que protege la superficie del suelo, además que en esta zona existe muy baja conectividad.  La sedimentación en el río Desaguadero, obliga a la Autoridad Binacional del Lago Titicaca (ALT) a realizar actividades de dragado en forma frecuente lo cual genera gastos económicos a fin de permitir la continuidad del flujo de agua del río Desaguadero hacia aguas abajo; el dragado de sedimentos no constituye una solución definitiva a este problema</p> <p>Proyecto de medidas de control de erosión y transporte de sedimentos en el tercio superior de la cuenca Jacha Jahuirá se justifica económicamente por la necesidad de evitar o disminuir el volumen de sedimentos en el cauce del río Desaguadero, sobretodo en el punto de confluencia del río Desaguadero con el río Jacha Jahuirá, evitando gastos económicos recurrentes en trabajos de dragado. Asimismo, desde el punto de vista hidráulico se evitaría el problema de inundaciones del río Desaguadero hacia áreas aledañas que altitudinalmente se encuentran a niveles más bajos; asimismo, es necesario que exista una permanente conducción de agua del río Desaguadero hacia el sur del sistema TDPS.</p>
4. Objetivos de las medidas a proponer	
4.1 Objetivo general	Evitar o minimizar la sedimentación en el cauce del río Desaguadero
4.2 Objetivos específicos	Mejoramiento de la cobertura vegetal en el tercio superior de la cuenca Jacha Jahuirá, en áreas donde se presenta erosión moderada, fuerte y muy fuerte, a fin que los sedimentos generados en el proceso de erosión descarguen finalmente en el río Desaguadero, por la alta conectividad existente. Retener los sedimentos en el cauce del río Desaguadero, mediante estructuras de retención que disminuya la velocidad del agua en el cauce, propiciándose la sedimentación en cada estructura a construir
5. Alcance	
5.1 Beneficiarios de las medidas propuestas	Los beneficiarios del proyecto son: Poblaciones ubicadas aguas abajo del punto de descarga del río Jacha Jahuirá en el río Desaguadero. Agricultores que sufren inundaciones a partir del río Desaguadero. El Estado Boliviano, que conjuntamente con el Estado Peruano, a través de ALT, realizan gastos frecuentes en el dragado de sedimentos en el río Desaguadero.
6. Proceso de Intervención	Las medidas se proponen para aplicar en el tercio superior de la cuenca Jacha Jahuirá
6.1 Áreas donde se aplicarán las medidas	<p>Área Total de la cuenca: 76 937.00 ha  Área del tercio superior de la cuenca: 25 645,67 ha  <b>Área de intervención con las medidas de protección: 3 187.00 ha</b>  Volumen anual de sedimentos generados en la cuenca: 6 682 m<sup>3</sup></p>

6.2 Medidas de protección propuestas	
6.2.1 Presas de Retención de sedimentos.	<p><b>Descripción de la medida:</b> Son estructuras permanentes, flexibles y permeables construidas a base de prismas rectangulares de alambre galvanizado llamados gaviones, los cuales se rellenan con piedras con el objeto de formar el cuerpo de la obra que constituye la presa de retención de sedimentos. Se coloca en forma transversal al cauce de los ríos o quebradas, perpendiculares al flujo de agua, con la finalidad de retener los sedimentos de arrastre y suspensión a fin que el flujo de agua continúe hacia otras presas de retención colocadas en serie, para que el agua libre de sedimentos o con un mínimo contenido de estos, descargue en el río Desaguadero.</p> <p><b>Cantidad de presas de retención propuestas:</b> Se proyecta la construcción de 29 presas de retención de sedimentos en el área de intervención en el tercio superior de la cuenca Jacha Jahuira. El área de intervención es el área donde se presenta erosión moderada y erosión fuerte.</p> <p><b>Características de las Presas:</b> Tipo: Presas de gaviones Material: piedras y alambre galvanizado para los gaviones Altura: 1,5m Longitud: 15 m Espaciamiento: 131 m</p>
-	<p><b>Descripción:</b> La revegetación se realizará en el área de la cuenca ubicada en el tercio superior de la misma y que presente erosión moderada, fuerte y muy fuerte. Se propone incrementar la cobertura vegetal con especies arbóreas y arbustivas adecuadas a la zona como: thola, kiswara, y keñua, mediante la plantación de plántulas obtenidos en vivero. La Thola (<i>Parastrephia lepydophylla</i>) que es una de las especies arbustivas endémicas del sector con mayor predominancia, por su plena adaptabilidad a las condiciones ambientales del entorno; esta especie ofrece cobertura vegetal y retención de material de arrastre Adicionalmente, se propone el empleo de dos especies forestales, también endémicas de la provincia biogeográfica que contiene a esta región, las cuales son la kiswara (<i>Buddleja sp.</i>) y la keñua (<i>Polylepis sp.</i>)</p> <p><b>Área a reforestar en la cuenca:</b> Se propone reforestar 3 187 ha que presentan erosión moderada y fuerte.</p>
5. Costo de pre Inversión	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precio Unitario de la Presa de retención de sedimentos: US \$ 19 928,00</li> <li>• Precio Unitario de revegetación mediante plántulas (ha): US \$ 4 729,74 / ha</li> <li>• Inversión total en las presas de control de sedimentos: US \$ 2 630 496,00</li> <li>• Inversión Total en revegetación mediante plántulas: US \$ 15 073 681,38</li> <li>• Inversión Total en la cuenca Jacha Jahuira: US \$ 17 704 177,38</li> </ul>
6. Resultados esperados	Porcentaje de sedimentos retenidos anualmente: 15 %; calculado mediante aplicación de modelo TRES.
7. Estado actual del proyecto	Propuesta de proyecto pasible de ser sujeto a un Estudio de Diseño Técnico de Preinversión

FICHA TÉCNICA PROYECTO: MEDIDAS DE PROTECCIÓN CONTRA LA EROSIÓN Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN LA CUENCA KHALA Y TUCSA JAHUIRA	
1. Nombre del proyecto	Medidas de protección contra la erosión de suelos y transporte de sedimentos en la cuenca Khala y Tucsa Jahuira
2. Ubicación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuenca: Khala y Tucsa Jahuira</li> <li>• Municipios: Caquiaviri, Nazacara de Pacajes y San Andrés de Machaca</li> <li>• Provincia: Pacajes e Ingavi</li> <li>• Departamento: La Paz</li> </ul>
3. Descripción del proyecto	<p>Debido a los factores climáticos existentes (alta precipitación), a la geología y geomorfología de la zona y a las actividades antrópicas, se genera erosión de los suelos y transporte de sedimentos a través de los cauces de los ríos existentes en la cuenca Khala y Tucsa Jahuira; los sedimentos erosionados viajan a través de los cauces fluviales existentes hasta descargar en el río Desaguadero, originando problemas de sedimentación en este río. El estudio realizado determinó que en esta cuenca se generaba erosión muy baja, erosión baja, erosión moderada, erosión fuerte y erosión muy fuerte, en diferentes áreas de la cuenca; asimismo, estudios de modelamiento realizados concluyeron que los sedimentos que llegan al río Desaguadero se generan en el tercio superior de la cuenca, debido a que existe alta conectividad entre la superficie del suelo y los cauces de los ríos existentes. En el resto del área de la cuenca, la erosión de los suelos es atenuada por el relieve topográfico existente y por la cobertura vegetal que protege la superficie del suelo, además que en esta zona existe muy baja conectividad. La sedimentación en el río Desaguadero, obliga a la Autoridad Binacional del Lago Titicaca (ALT) a realizar inversiones en actividades de dragado frecuente, a fin de permitir la continuidad del flujo de agua del río Desaguadero hacia aguas abajo. El dragado de sedimentos no constituye una solución definitiva a este problema.</p> <p>Proyecto de medidas de control de erosión y transporte de sedimentos en el tercio superior de la cuenca Khala y Tucsa Jahuira se justifica económicamente por la necesidad de evitar o disminuir el volumen de sedimentos en el cauce del río Desaguadero, sobre todo en el punto de confluencia del río Desaguadero con el río Khala y Tucsa Jahuira, evitando gastos recurrentes en trabajos de dragado. Asimismo, desde el punto de vista hidráulico se evitaría el problema de inundaciones del río Desaguadero hacia áreas aledañas de poca elevación y se mantendrá una permanente conducción de agua del río Desaguadero hacia el sur del sistema TDPS.</p>
4. Objetivos de las medidas a proponer	Evitar o minimizar la sedimentación en el cauce del río Desaguadero
4.1 Objetivo general	Mejoramiento de la cobertura vegetal en el tercio superior de la cuenca Khala y Tucsa Jahuira, en áreas donde se presenta erosión moderada, fuerte y muy fuerte, a fin que los sedimentos generados en el proceso de erosión descarguen finalmente en el río Desaguadero, por la alta conectividad existente.
4.2 Objetivos específicos	Retener los sedimentos en el cauce del río Desaguadero, mediante estructuras de retención que disminuya la velocidad del agua en el cauce, propiciándose la sedimentación en cada estructura a construir
5. Alcance	Los beneficiarios del proyecto son: • Poblaciones ubicadas aguas abajo del punto de descarga del río Khala Tucsa Jahuira en el río Desaguadero. • Agricultores que sufren inundaciones a partir del río Desaguadero. • El Estado Boliviano, que conjuntamente con el Estado Peruano, a través de ALT, realizan gastos frecuentes en el dragado de sedimentos en el río Desaguadero.
6. Proceso de Intervención	Las medidas se proponen para aplicar en el tercio superior de la cuenca Khala y Tucsa Jahuira
6.1 Áreas donde se aplicarán las medidas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Área Total de la cuenca: 65 470,00 ha</li> <li>• Área del tercio superior de la cuenca: 21 823,33 ha</li> <li>• Área de intervención con las medidas de protección: 357 ha (*)</li> <li>* Volumen anual de sedimentos generados en la cuenca: 1 693 m<sup>3</sup></li> <li>(*): Solamente se intervendrá en las Subcuencas 06 y 07).</li> </ul>
6.2 Medidas de protección propuestas	
6.2.1 Presas de Retención de sedimentos.	<p><b>Descripción de la medida:</b> Son estructuras permanentes, flexibles y permeables construidas a base de prismas rectangulares de alambre galvanizado llamados gaviones, los cuales se rellenan con piedras con el objeto de formar el cuerpo de la obra que constituye la presa de retención de sedimentos. Se coloca en forma transversal al cauce de los ríos o quebradas, con la finalidad de retener los sedimentos de arrastre y suspensión, manteniendo el flujo de agua hacia aguas abajo, hasta encontrarse con otras presas de retención similares y al final descargar en el río Desaguadero, agua libre o con un mínimo contenido de sedimentos.</p> <p><b>Cantidad de presas de retención propuestas:</b> Se proyecta la construcción de 18 presas de retención de sedimentos en el área de intervención en el tercio superior de la cuenca Khala y Tucsa Jahuira. El área de intervención es el área donde se presenta erosión moderada y erosión fuerte.</p> <p><b>Características de las Presas:</b> • Tipo: Presas de gaviones • Material: piedras y alambre galvanizado para los gaviones • Altura: 1,5 m • Longitud: 50 m • Espaciamiento: 190 m</p>
6.2.2 Reforestación en el área de intervención	<p><b>Descripción:</b> La revegetación se realizará en el área de la cuenca ubicada en el tercio superior de la misma, la cual presenta erosión moderada, fuerte y muy fuerte. Se propone incrementar la cobertura vegetal con especies arbóreas y arbustivas adecuadas a la zona como: thola, kiswara, y keñua, mediante la plantación de plántulas obtenidos en vivero. La Thola (<i>Parastrephia lepydophylla</i>) que es una de las especies arbustivas endémicas del área con mayor predominancia, por su plena adaptabilidad a las condiciones ambientales del entorno y porque ofrece cobertura vegetal y retención de material de arrastre Adicionalmente, se propone el empleo de dos especies forestales, también endémicas de la región: la kiswara (<i>Buddleja sp.</i>) y la keñua (<i>Polylepis sp.</i>)</p> <p><b>Área a reforestar en la cuenca:</b> Se propone reforestar 357 ha que presentan erosión moderada y fuerte.</p>
7. Costo de pre Inversión	• Precio Unitario de la Presa de retención de sedimentos: US \$ 19 928,00



## 7. IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS PILOTO PARA INTERVENIR

La viabilidad económica de la aplicación de las medidas de protección (estructurales y no estructurales) se analizó mediante la comparación del costo unitario actual por m<sup>3</sup> del dragado de sedimentos y el costo de la implementación de las medidas de protección.

### 9.1 Costo de dragado del río Desaguadero

En el periodo 1999 al 2006, la ALT, realizó trabajos de dragado en el Río Desaguadero mediante administración directa, entre septiembre 1999 y junio 2006 (82 meses de trabajo efectivo), removiéndose un volumen total de 2 169 519,0 m<sup>3</sup> de sedimentos, con un costo de US \$ 6 256 503,99 (US \$ 2,88 por m<sup>3</sup>). Asimismo, entre noviembre 2000 y abril 2006 (53 meses de trabajo efectivo) mediante la contratación de terceros se realizaron trabajos de dragado, extrayéndose un total de 2 839 943,25 de m<sup>3</sup> de sedimentos (34 633.45 m<sup>3</sup> anual), con un costo total de US \$ 7 840 147,14 (US \$. 2,62/m<sup>3</sup>).

Es preciso indicar que el costo unitario promedio pagado por la extracción de 1 m<sup>3</sup> de sedimentos fue de US \$ 3,07 /m<sup>3</sup>, en el año 2006.

### 9.2 Evaluación Económica para una proyección de generación de sedimentos en un período de 10 años

Las inversiones propuestas para cada cuenca de estudio, se planean ejecutar en un período de 10 años, por tanto, la evaluación económica se realizó para el período antes indicado.

De acuerdo al estudio realizado, la cuenca Llinki (la más alta productora de sedimentos) genera un volumen promedio anual de 57 435 m<sup>3</sup>, la cuenca Jacha Jahuira genera un volumen de 6 682 m<sup>3</sup> y la cuenca Khala y Tucsa Jahuira genera 1 693 m<sup>3</sup> de sedimentos. Asimismo, en el estudio realizado se ha encontrado que no todo el sedimento generado en cada cuenca llega a río Desaguadero; así se tiene que en la cuenca Llinki solamente el 30 % del volumen de sedimentos generados por año, llega a río Desaguadero; en la cuenca Jacha Jahuira solamente el 15 % del volumen de sedimentos generados por año, llega a río Desaguadero; y la cuenca en la cuenca Khala y Tucsa Jahuira solamente el 10 % del volumen de sedimentos generados por año, llega a río Desaguadero, es decir que, la mayor parte del sedimento generado anualmente en cada cuenca, no llega al río Desaguadero.

No obstante, se procedió a evaluar la viabilidad económica de implementar medidas de protección contra la erosión y transporte de sedimentos en cada cuenca en estudio, para la situación “Sin proyecto”, que considera realizar solamente el dragado en el río Desaguadero, y la situación “Con proyecto”, que considera ejecutar las medidas de protección en cada cuenca, en un período de 10 años.

Para fines de comparación, el precio unitario del dragado de sedimentos tomará como base el costo unitario promedio pagado el año más reciente (US \$ 3,07 el 2006), el mismo que, al ser actualizado al 2020 con una tasa de incremento del costo directo de 3% anual se eleva a US \$ 4,64 por m<sup>3</sup>. Asimismo, se indica que este costo unitario corresponde a una extracción de sedimentos realizado por administración, por consiguiente, se requiere agregarle los costos indirectos (20%), las utilidades 5%, la supervisión 8% y los costos de administración 3%. Por consiguiente, el costo unitario total de dragado, a precios de mercado, actualizado al 2020 sería de US \$ 6,31/m<sup>3</sup>. Los resultados de la evaluación económica de los proyectos de medidas de intervención se presentan en las Tablas No 6, 7 y 8.

**Tabla No 6 Evaluación Económica de la Intervención en la Cuenca del Río Llinki**

Descripción	Tasa de Descuento	Valor actualizado de los Costos	Volumen Acumulado de sedimentos (m <sup>3</sup> )	Costo Promedio US \$/ m <sup>3</sup>
Situación de Sin Proyecto	8,40%	2 388 561,86	574 350,00	4,16
Situación Con Proyecto	8,40%	61 341 043,01	574 350,00	106,80

**Tabla No 7 Evaluación Económica de la Intervención en la Cuenca del Río Jacha Jahuira**

Descripción	Tasa de Descuento	Valor actualizado de los Costos	Volumen Acumulado de sedimentos (m <sup>3</sup> )	Costo Promedio US \$/ m <sup>3</sup>
Situación de Sin Proyecto	8,40%	277 885,79	66 820,00	4,16
Situación Con Proyecto	8,40%	11 726 103,91	66 820,00	175,49

**Tabla No 8 Evaluación Económica de la Intervención en la Cuenca del Río Khala Tucsa Jahuira**

Descripción	Tasa de Descuento	Valor actualizado de los Costos	Volumen Acumulado de sedimentos (m <sup>3</sup> )	Costo Promedio US \$/ m <sup>3</sup>
Situación de Sin Proyecto	8,40%	93 903,94	22 580,00	4,16
Situación Con Proyecto	8,40%	1 706 243,03	22 580,00	75,56