

ESTIMACIÓN DE LA TASA SEDIMENTOS EN LA CUENCA MINERA DEL LAGO POOPO MEDIANTE EL MODELO POTENCIAL DE EROSIÓN DE SUELOS (EPM) Y TENDENCIAS ANTE VARIACIONES CLIMÁTICAS – USO DE HERRAMIENTAS SIG Y TELEDETECCIÓN

Vallejos Pedro^a Zamora Gerardo^a Jorge Juan^b

^a Universidad Técnica de Oruro, Dirección de Postgrado, Avenida 6 de Octubre y Cochabamba, No 5715, Edificio Paraninfo Universitario, Tercer piso. Oruro, Bolivia. Telf. 52 75798.

^b Universidad Politécnica de Catalunya, Escuela Politécnica de Manresa; Avenida Bases de Manresa, 61-73;08240 Manresa (Barcelona)

vallejos_pedro@yahoo.es; gerardozamoraechenique@yahoo.es; joan.jorge@upc.edu

RESUMEN

La presente investigación proyecta estimar el volumen de transporte de sedimentos en la cuenca del lago Poopo aplicando el método Erosion Potential Method (EPM) y herramientas de Sistemas de Información Geografía (SIG) y teledetección, los resultados fueron evaluados con la pérdida de suelo presentada en una de sus sub-cuencas tal el caso de la sub-cuenca Tacagua del cual se tienen registros batimétricos reportados en la gestión 2010. La cuenca del lago Poopo se localiza en el departamento de Oruro (Bolivia), abarca una superficie de 25.254,64 km² y está fuertemente afectada por procesos de erosión, sedimentación y contaminación. EPM considera cuatro factores: la erodabilidad del suelo, el clima, la topografía y el uso de suelos. Para el estudio se han considerado los datos climáticos de 22 estaciones meteorológicas situadas dentro y a los alrededores de la cuenca; los parámetros de erodabilidad, cobertura vegetal y estado erosivo del suelo fueron obtenidos de los mapas de geología, uso de suelos y estados de erosión, el mapa de pendientes se obtuvo del modelo de elevación digital a 30 metros de resolución espacial. Los resultados encontrados, muestran que la tasa de transporte de sedimentos en la cuenca del lago Poopó alcanza a 2.266.504,24 m³/año. Considerando que los sedimentos que llegan al lago Poopó no son solo los producidos por la cuenca del Lago, sino también de las cuencas aguas arriba como son: la cuenca del alto Desaguadero, Mauri y medio Desaguadero (31.130 km² adicionales), la tasa de transporte de sedimentos estimada de toda esta área llegaría a alcanzar aproximadamente unos 5.368.141 m³/año. Teniendo en cuenta que el volumen del lago Poopó es de aproximadamente 2,21 km³, se estima que en aproximadamente unos 410 años el lago Poopó se llegaría a colmatar completamente, produciendo un desastre ambiental más grave que el que actualmente se presenta.

PALABRAS CLAVE

Método potencial de erosión, sistema de información geográfica, teledetección, sedimentación

ABSTRAC

The present investigation projects to estimate the volume of sediment transport in the Poopo lake basin applying the method Erosion Potential Method (EPM) and tools of Information Systems Geography (SIG) and remote sensing, the results were evaluated with the soil loss presented in one of its sub-basins, such as the sub-basin. Tacagua basin, of which bathymetric records have been reported in the 2010 management. The Poopo lake basin is located in the department of Oruro (Bolivia), covers an area of 25,254.64 km² and is strongly affected by erosion, sedimentation and pollution processes. EPM considers four factors: soil erodability, climate, topography and land use. For the study, climatic data of 22 meteorological stations located in and around the basin were considered; The parameters of erodability, vegetation cover and soil erosion were obtained from the geology maps, land use and erosion states, the slope map was obtained from the digital elevation model at 30 meters of spatial resolution. The results show that the sediment transport rate in the Poopó lake basin reached 2,266,504.24 m³ / year. Considering that the sediments that reach Lake Poopó are not only those produced by the Lake basin, but also the upstream watersheds such as: the Alto Desaguadero basin, Mauri and the middle Desaguadero (31,130 additional km²), the transport rate Estimated sediment from this entire area would reach approximately 5,368,141 m³ / year. Bearing in mind that the volume of Lake Poopó is approximately 2.21 km³, it is estimated that in about 410 years Lake Poopó would be completely clogged, producing a more serious environmental disaster than the one that currently occurs.

KEYWORDS

1. INTRODUCCIÓN

La erosión hídrica constituye uno de los principales procesos de pérdida de suelo y representa una de las formas más completas de la degradación englobando tanto a la degradación física, química y biológica del suelo. La erosión de suelos, el transporte y los procesos de deposición son principalmente determinados por cuatro factores: la erodabilidad del suelo, el clima, la topografía y el uso de suelos, y su intensidad puede estar definida por actividades humanas tal como las prácticas agrícolas, deforestación, etc. (Efthimioun N. et al 2015). En Bolivia, el Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente (MMAyA, 1996) en el año 1996, realizó el primer mapa preliminar de erosión de suelos, el cual se generó mediante la ecuación de la USLE (Ecuación Universal de Pérdida de Suelo), en el mismo se indica que el altiplano de Bolivia está expuesto a un grado de erosión moderada a muy alta (Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología Nuclear, 2009). La cuenca del Lago Poopo se encuentra en el altiplano de Bolivia y es parte integrante de todo un sistema hídrico denominado Titicaca–Desaguadero–Poopo y Salares (TDPS) que constituye la cuenca cerrada o endorreica del Altiplano Perú-Bolivia. La estructuración de la cuenca del Lago Poopo, se ha dado producto de los sucesivos cambios geológicos e hidrológicos hace miles de años atrás, después de la desaparición del último sistema paleo-lacustre que existió. Según la GTZ, 2010, en la cuenca del Lago Poopo, los procesos de erosión son las principales causales del desequilibrio hídrico y se reflejan en una menor disponibilidad del agua y una reducción de la capacidad de retención de agua en las zonas de recarga (GTZ, 2010). En el año 2015 y principios del año 2016, la cuenca evidenció uno de los desastres ambientales más alarmantes a nivel mundial como es la contaminación y secado (La Patria, diciembre de 2015). Según investigadores de la Universidad Técnica de Oruro (UTO) los factores que aportaron al secado y contaminación del lago Poopó, fueron la

contaminación generada por actividades mineras; la contaminación provocada por aguas de uso urbano de la ciudad; el proceso de salinización de los suelos, el balance hídrico negativo que se registra en la zona; el desvío de aguas de los principales aportantes al lago Poopo así como la degradación exponencial de los suelos. En noviembre del año 2014 los pescadores hallaron miles de peces y aves muertas en las orillas del lago, lo que inició una cadena de desastres en las comunidades afectando a más de dos mil familias (La Razón, diciembre de 2015). En el año 2014 el límite de la cuenca del Lago Poopo fue actualizada sobre la base del mapa de delimitación de cuencas publicada por el Ministerio de Medio Ambiente y Aguas (MMAyA) en el año 2012 (delimitación y codificación Phastteter), es así que el área de la cuenca abarca una superficie de 25254,64 km² y un perímetro 1331,70 km (Plan Director Cuenca del Lago Poopo, 2014). En un año hidrológicamente bueno el espejo de agua del Lago Poopo puede alcanzar una superficie de 2659 km² (Vallejos 2010). Dado que existe la hipótesis de que la degradación de suelos es una de los factores principales de la sedimentación y secado del Lago Poopo, el presente trabajo de investigación plantea evaluar las tasas y volumen de sedimentos producto de la erosión hídrica a través de un modelo empírico denominado Modelo Potencial de Erosión de suelos (EPM), también conocido como Método Gavrilovic (Gavrilovic, S., 1962;1970;1972). El método considera seis factores que dependen de la superficie geológica, propiedades del suelo (factor de erodabilidad), factores topográficos (pendiente media), factores climáticos como precipitación media anual, temperatura media anual, distribución y tipo de uso de suelos a los cuales se suma además un factor denominado grado de erosión. La ecuación ha sido ampliamente implementada en Balkans como en otras ciudades de Serbia (Gavrilovic Z., 1988) Croasia (Petras et al., 2005), Slovenia (Zemljic, 1971), Alemania (De Cesare et al., 1998), Italia (Fanetti and Vezzoli, 2007; De Vente et al., 2006), Argentina (Rafaelli et al.,

1998), Bélgica (*De Vente and Poesen, 2005*), Grecia (*Emmanouloudis and Filippidis, 2002; Emmanouloudis et al., 2003; Stefanidis et al., 1998; Kalinderis et al., 2009*), proporcionado resultados confiables de la severidad de la

Este modelo es ampliamente utilizado en regiones donde es escasa la disponibilidad de datos, pero su uso fácil y simplificado demanda una comprensión exigente en los cálculos. El modelo se ajusta a condiciones de la región del altiplano de Bolivia como es el Departamento de Oruro (*Vallejos, 2005*). Recientemente los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la teledetección están siendo usados para evaluar la erosión y la sedimentación a través de modelos empíricos (*Mezosi and Mucsi, 1993; Hill, 1993; Solaimani, 1997; Clark, 1999; Mohammed et al., 2001; Shrimali et al., 2001; Bissonnais et al., 2002; Yuliang And Yun, 2002; Martinez-Casasnovas, 2003; Zhou and Wu, 2008; Terranova et al., 2009; Tomczyk, 2011; Navas et al., 2012*), donde cada parámetro de entrada es considerado en una capa diferente por lo que puede ser usada para cálculos en paquetes de SIG (*Bozorgzadeh and Kamani 2012*). En la cuenca Poopo que es una Subcuenca de la cuenca del Lago Poopo la tasa de erosión anual de suelos alcanza a 12.85 tn/ha-año (*Iniguez,*

erosión de suelos (perdida media anual de suelos/tasas de sedimentación) así como su uso para la implementación de regulación de torrentes y otras formas de control de la erosión de suelos (*Efthimioun N. et al 2015*).

2013). La cuenca del Lago Poopó, como parte de la región andina de Bolivia, es afectada por las variaciones de las lluvia, entre una de sus manifestaciones más frecuentes es que los periodos lluviosos son más cortos y con una intensidad mayor (*Pillco, 2012*). En el contexto del cambio climático resulta necesario evaluar los efectos que podría tener la modificación de los forzantes meteorológicos (Precipitación y Temperatura) sobre la producción de sedimentos en cuencas de gran impacto. En este contexto el presente trabajo tuvo por objetivo evaluar la producción de sedimentos ante la modificación de los forzantes meteorológicos a través de la modelación distribuida Djorovic & Gavrilovic.

METODOLOGÍA

El Lago Poopo es parte del sistema lacustre endorreico del altiplano Boliviano, por la parte norte se conecta con el lago Titticaca a través del río Desaguadero (figura 1).

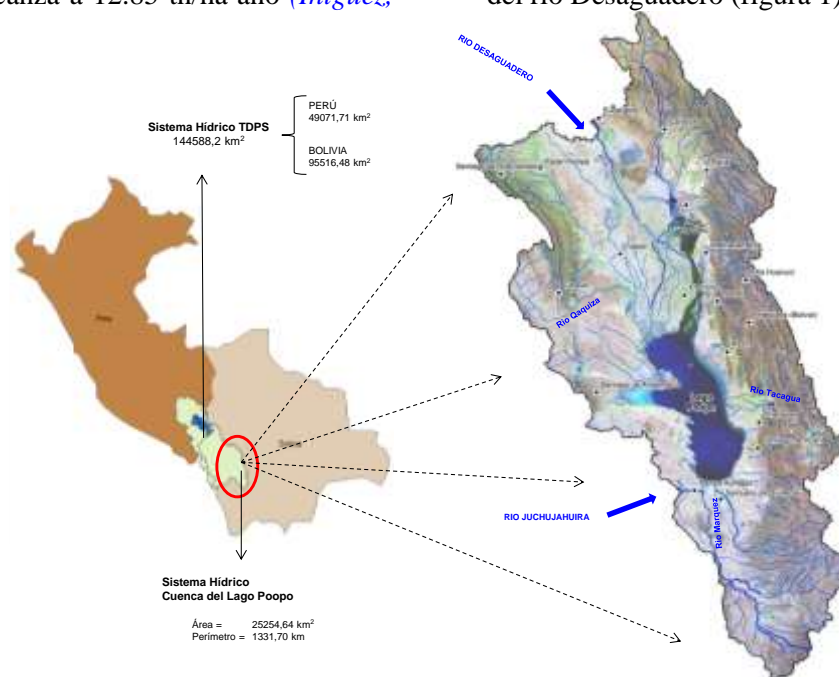


Figura 1, Ubicación geográfica de la cuenca del Lago Poopo

A la altura de la localidad de Chuquiña el río desaguadero se bifurca en dos brazos, el brazo derecho y el brazo izquierdo, el brazo derecho encamina sus aguas directamente al lago Poopo, por su parte el brazo izquierdo desemboca en el lago Uru Uru, el que también está conectado al lago Poopo (*Mariaca Carrasco 1985*). Por el sur el efluente más importante es el río Marquez; al este tenemos a los ríos Tacagua y Juchusuma que se insumen antes de llegar al lago Poopo, al oeste tenemos al río Laca Jahuirá el cual en épocas de alta precipitación conecta la cuenca del lago Poopo con la cuenca de Salares (salar de Coipasa).

Según el MMAyA, 2012 ajustado en el Plan Director de la Cuenca del Lago Poopo, 2014, la cuenca está compuesta por 23 unidades hidrográficas (sub-cuencas).

La producción de sedimentos en la cuenca fue evaluada mediante el modelo distribuido propuesto por *Gavrilovic (1972–1988)*, por su parte las tendencias temporales de los forzantes meteorológicos (precipitación y temperatura) se evaluaron con base a los datos reportados para el periodo 1974 – 2013 de un total de 22 estaciones climatológicas circundantes y dentro de la cuenca.

1º. Modelo distribuido para la producción de sedimentos. El modelo *Gavrilovic (Gavrilovic, 1988; Zemljic, 1971)* estima la cantidad de material producido por erosión superficial en una cuenca, al ser un método empírico, permite calcular el volumen de sedimento producido por erosión y transportado a la sección de cierre de la cuenca, la ecuación (1) expresa la relación para su determinación:

$$G = W * R \quad \text{Ec. (1)}$$

Dónde:

- G = Volumen de sedimento por erosión (m³/año)
- W = Producción media anual de sedimentos (m³/año)
- R = Coeficiente de retención de sedimentos

Las ecuaciones (2); (3); (4) describen los parámetros de evaluación de la producción media anual de sedimentos “W”, por su parte el cuadro 1, muestra los valores adimensionales para la determinación del coeficiente de erosión Z (*Gavrilovic, 1988*):

$$W = T * P * \Pi * Z^{3/2} * F \quad \text{Ec. (2)}$$

$$T = \left[\left(\frac{tm}{10} \right) + 0.1 \right]^{0.5} \quad \text{Ec. (3)}$$

$$Z = Y * X (\theta + S)^{0.5} \quad \text{Ec. (4)}$$

Dónde:

- W = Volumen potencial de sedimentos erosionado (m³/año)
- T = Factor de temperatura
- Tm = Temperatura media anual (°C)
- P = Precipitación media anual (mm)
- F = Superficie de la cuenca (km²)
- Z = Coeficiente de erosión (cuadro 1)
- Y = coeficiente adimensional de erodabilidad del suelo
- X = coeficiente adimensional que cuantifica la vegetación
- Θ = coeficiente adimensional que cuantifica el estado erosivo
- S = pendiente de la superficie del terreno (%).

Valores del coeficiente adimensional Y		Valores del coeficiente adimensional X		Valores del coeficiente adimensional θ	
2	suelos sueltos, arenas y gravas	1	suelo desnudo	1	100% con erosiones profundas
1.6	loess y suelos salinos	0.9	barbecho	0.9	80% erosiones profundas y cárcavas
1.2	rocas calizas desintegradas	0.7	viñedos	0.8	50% deslizamientos
1.1	flisch y areniscas	0.6	pastizales de montaña	0.6	100% erosión laminar, algunas cárcavas
1	esquistos	0.5	bosques	0.5	50% erosión laminar
0.9	calizas duras y pizarras	0.4	praderas	0.3	20% erosión laminar
0.5	suelos con buena Estructura				

Cuadro 1, Valores del coeficiente de erosión Z (Gavrilovic, 1988)

El valor de X se asignó a partir de un mapa de cobertura vegetal y uso de suelos elaborado a partir de una imagen Landsat 8 OLI-TIRS, de resolución espacial de 30m x 30m de marzo de 2014, mapa que además fue generado tomando como base el mapa de cobertura y uso de suelos del Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras, Bolivia 2010 (MDRT, 2010). Para definir la distribución espacial de los parámetros Y y θ , se utilizó la información geomorfológica y de suelos publicado en el Plan Director de la Cuenca del Lago Poopo, 2014, además se realizaron observaciones de campo. El mapa de pendientes (%), se generó a partir de un modelo de elevación digital del terreno obtenido de sensor ASTER con resolución de 30 m x 30m, de disposición gratuita en ASTER GDEM.

El coeficiente de retención de sedimentos (R) que expresa la relación entre el volumen de sedimentos que efectivamente pasa por la sección de cierre de la cuenca y el volumen de material producido por erosión superficial fue determinado a partir de la ecuación propuesta por Zemljic (1971) (ecuación 5):

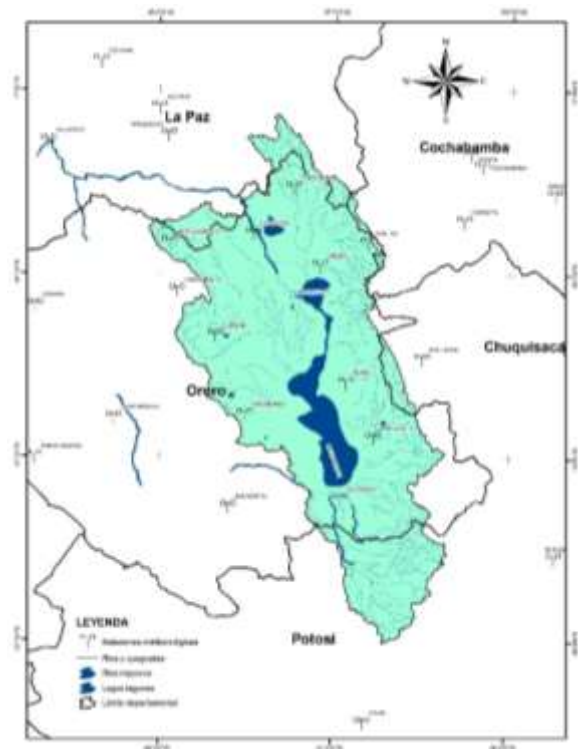
$$R = \frac{(O * D)^{1/2} * (L + Li)}{(L + 10) * F} \quad \text{Ec. (5)}$$

Dónde:

- O = Perímetro de la cuenca (km)
- D = Diferencia de nivel media en la cuenca (km)
 $D = D_m - D_c$
- D_m = Cota media de la cuenca
- D_c = Cota mínima de la cuenca
- L = Longitud de la cuenca por el talweg del cauce principal (km)
- Li = Longitud total de los afluentes fluviales laterales (km)
- F = Superficie de la cuenca (km²)

Las redes de drenaje de las 23 unidades hidrográficas (sub-cuencas), de que compone la cuenca del lago Poopó así como sus parámetros de áreas y perímetros fueron obtenidos de las cartas topográficas del Instituto Geográfico Militar escala 1:50000.

2º. Tendencias temporales de los forzantes meteorológicos (precipitación y temperatura). Un total de 26 estaciones meteorológicas (figura 2) fueron analizadas para evaluar el comportamiento climático en la cuenca del lago Poopo, de las cuales 22 se localizan en regiones bioclimáticas del altiplano y 4 se localizan en regiones bioclimáticas de valle. Se evaluó el comportamiento temporal de la temperatura media y precipitación anual sobre el promedio



de 22 estaciones correspondiente a la zona de altiplano. El periodo de análisis fue de 38 años (1975 – 2013). El periodo de proyección fue hasta el año 2100.

Figura 2, Mapa de estaciones meteorológicas, cuyos datos fueron usados para la evaluación las tendencias temporales y espaciales de la precipitación anual y la temperatura media.

3º. Producción de sedimentos en la cuenca del Lago Poopo y sus tendencias futuras. En base al modelo distribuido de Gavrilovic se determinó el volumen de sedimentos por

erosión (G), a partir del cual se estableció la tasa de erosión de suelos en tm/ha año, considerando para el efecto una densidad aparente de 1,25 g/cc, así también se evaluó las proyecciones futuras de las tasas de erosión para los periodos 2025, 2050, 2075, 2100.

RESULTADOS

1°. Descripción fisiográfica de la cuenca

Geológicamente, la cuenca, se encuentra en la región morfométrica denominado **cordillera occidental, altiplano y cordillera oriental** y presenta áreas correspondientes a los periodos geológicos del cretácico, cuaternario, devónico, jurásico, neógeno, paleógeno y silúrico, del cual la mayor superficie corresponde al cuaternario con aproximadamente 58% de la superficie (*GEOBOL, 1978*). Según la descripción geomorfológica (coeficiente Y), la cuenca integra a las provincias fisiográficas del altiplano y a la cordillera oriental, en las que se destacan geoformas de: colinas, llanuras, montañas, piedemontes, planicies, abanicos y

serranías (*Plan Director Cuenca del Lago Poopo, 2014*). Según la descripción de la cobertura vegetal (coeficiente X), en la cuenca se distinguen formaciones vegetales entre naturales e introducidos, vegetación que es función del clima, de la geomorfología y de los suelos, en este sentido se destacan vegetación de matorral andino, tholar kotal, tholar, tholar kayllar y vegetación del tipo dispersa mixta de pajonal duro tholar, pajonal suave kayllar en ondulaciones y/o planicies ligeramente disectadas, mismos que son destinados al pastoreo directo, cultivos alimenticios en pequeña escala; extracción de ramaje para leña. Según la descripción de la pendiente (pendiente S) (*clasificación FAO, 2013*), aproximadamente 47 % del área de la cuenca presenta una pendiente plana o casi plana (menor a 2%), seguido del 22% que representa una pendiente suavemente inclinada (2 a 6%) encontrándose luego áreas con pendiente inclinada, moderadamente escarpado, escarpado y fuertemente escarpado. La figura 3, muestra los mapas temáticos de los coeficiente X, Y, θ y S.

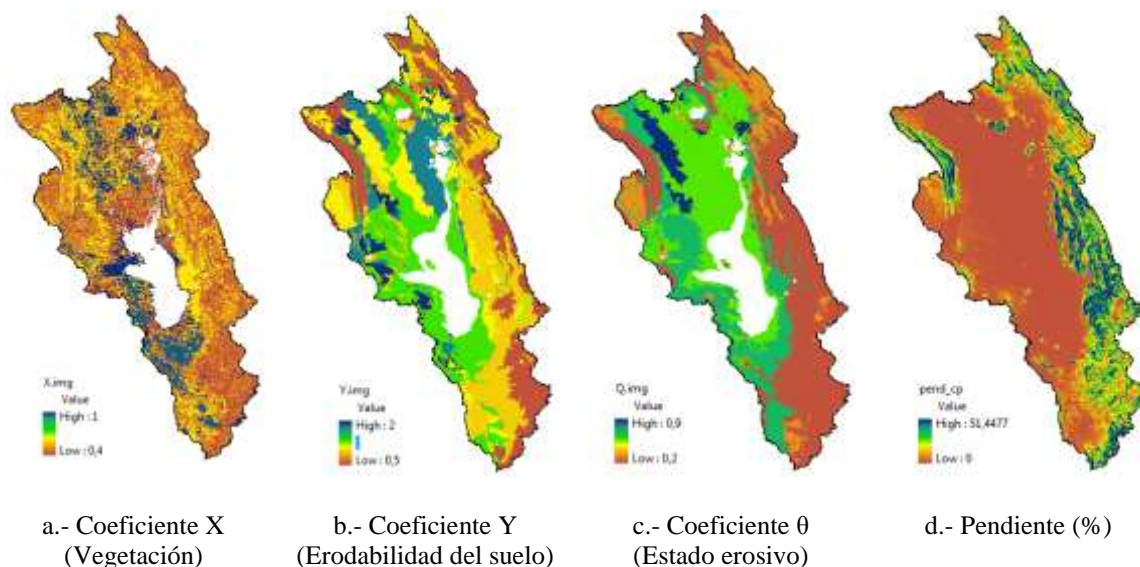


Figura 3, Distribución espacial e los coeficientes de erosión en la cuenca del lago Poopo

2°. Forzantes meteorológicos tendencias temporales (precipitación y temperatura).

Según el análisis de tendencias obtenido del promedio de 22 estaciones meteorológicas, se ha identificado que la temperatura media

muestra una tendencia a incrementarse, es así que en 38 años de registro de datos (1975 – 2013) se observa que la temperatura se ha ido incrementado a razón de 0,017°C/año, es decir que en 38 años la temperatura se habría incrementado aproximadamente 0,64°C, según esta tendencia se esperaría que para el año 2025 la temperatura media se incremente en 0,84°C, para el año 2050 este incremento llegaría a 1.26°C, mientras que para el año 2075 el incremento sería de 1,68°C y para el año 2100 el incremento llegaría a 2,10°C. El cuadro 2, muestra los datos promedio de incrementos de la temperatura media que se

esperarían en las estaciones meteorológicas para los años 2025, 2050, 2075 y 2100, valores que no están muy lejanos a los proyectados por el IPCC (2007) que esperan que hasta el año 2100 la temperatura media en Bolivia se incremente en aproximadamente 4°C. La figura 4, muestra el comportamiento temporal mensual de la temperatura media y su tendencia de variación entre el año 1975 a 2013, por su parte la figura 5, describe la tendencia de la temperatura media anual para un total de 22 estaciones meteorológicas ubicados dentro y circundantes a la cuenca del Lago Poopo.

	Historio de datos analizados		Datos proyectados hasta el año 2100			
	Año 0 1975	Año 1 2013	Año 2 2025	Año 3 2050	Año 4 2075	Año 5 2100
Tiempo transcurrido (años)	0	38	50	75	100	125
Incremento de temperatura (°C)		0.64	0.84	1.26	1.68	2.10

Razón de incremento de la temperatura media = 0.017°C/año

Cuadro 2, Tendencia de la temperatura media promedio de 22 estaciones meteorológicas, datos históricos y proyectados hasta el año 2100

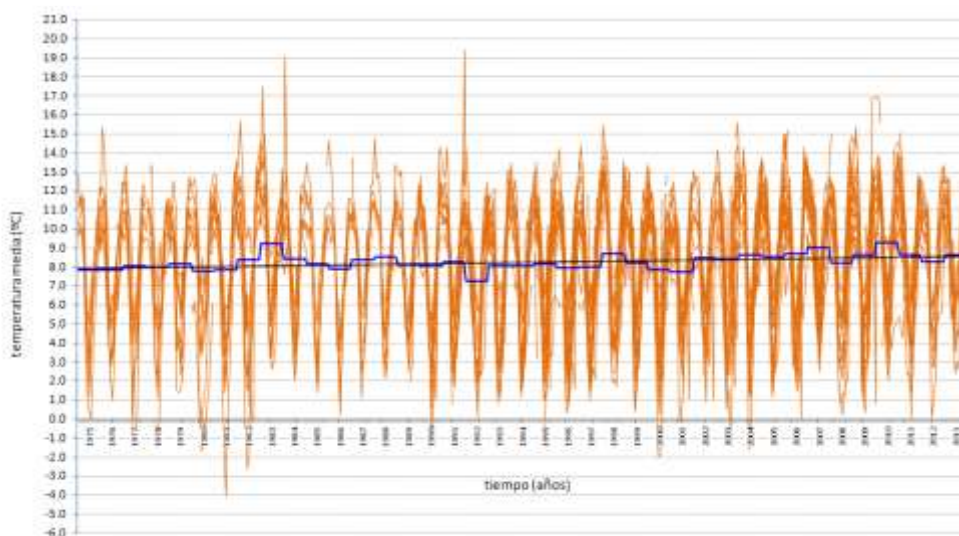


Figura 4, Comportamiento temporal de la temperatura media mensual, promedio de 22 estaciones meteorológicas (1975 a 2013)

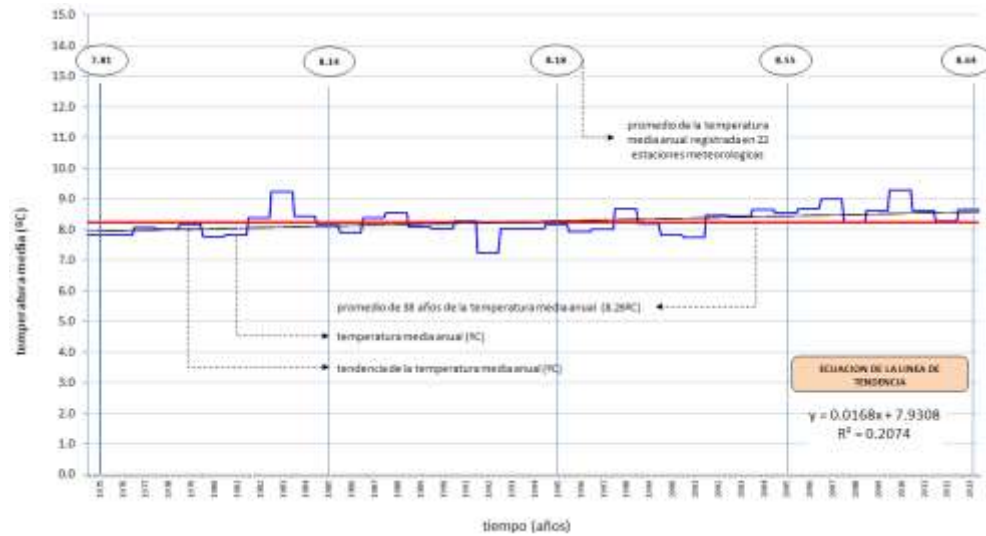


Figura 5, comportamiento temporal de la temperatura media anual, periodo 1975 a 2013

Con respecto a la precipitación anual, se ha identificado que la precipitación anual muestra una tendencia de disminución, es así que en 38 años de registro de datos (1975 – 2013) se ha encontrado que la precipitación se ha ido reduciendo a razón de 1.00 mm/año, es decir que en 38 años la tasa de precipitación anual disminuyó unos 38 mm., según esta tendencia se espera que para el año 2025 la precipitación anual disminuya unos 49,62 mm, para el año 2050 la disminución sería de 74,43 mm, mientras que para el año 2075 la reducción llegaría cerca de los 100 mm y para el año 2100 esta reducción estaría en el orden de los 124 mm. Si bien estos valores representan aparentemente ser bajos, en términos de volumen alcanzan valores considerables, es así que en año 2050 la cuenca del lago Poopó recibiría 953 Hm³ menos agua de lluvia que el año actual y en el año 2100 esta reducción sería de unos 2240 Hm³. Según el IPCC (2007), se tiene estimado que para zonas áridas

y semiáridas la precipitación se vería reducida en 10 a 15% es decir que para el periodo analizado de 38 años la reducción de la precipitación esperada debía de haber estado en el orden de los 44 a 66 mm, valores que no están muy alejados a los encontrados de 38 mm. Se ha encontrado que los años con más altas tasas de precipitación promedio se registraron en los años 1975, 1984, 1985, 1997 y 2001, con valores de 555mm, 620mm, 630mm, 560 y 610 mm respectivamente. Mientras que las menores precipitaciones se registraron en los años 1980, 1983, 1989, 1995 y 2003 con valores promedios de 290mm, 260mm, 330mm, 328mm y 340mm respectivamente. El cuadro 3, muestra los datos de precipitaciones medias anuales proyectados para los años 2025, 2050, 2075 y 210; por su parte la figura 6, muestra el comportamiento temporal de la precipitación total anual y su tendencia de variación entre el año 1975 a 2013.

	Historio de datos analizados		Datos proyectados hasta el año 2100			
	Año 0 1975	Año 1 2013	Año 2 2025	Año 3 2050	Año 4 2075	Año 5 2100
Tiempo transcurrido (años)	0	38	50	75	100	125
Incremento de temperatura (°C)		37.71	49.62	74.43	99.24	124.05
Razón de descenso anual de la precipitación media = 1 mm/año						

Cuadro 3, Tendencia de la precipitación anual promedio de 22 estaciones meteorológicas, datos históricos y proyectados hasta el año 2010

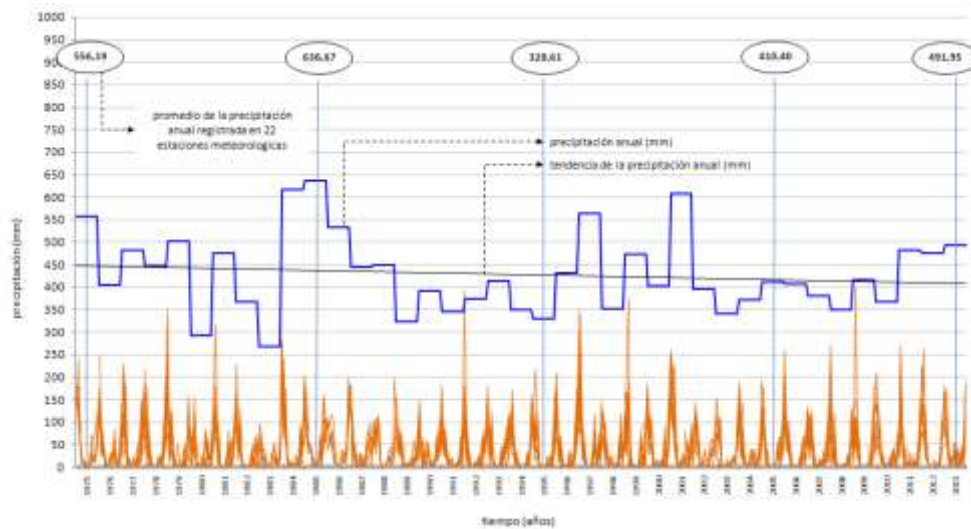


Figura 6, comportamiento temporal de la precipitación anual, promedio de 22 estaciones meteorológicas dentro y circundantes a la cuenca del Lago Poopo (1975 a 2013)

3°. Producción de sedimentos en la cuenca del lago Poopo.

La primera evaluación de producción de sedimentos se realizó bajo las condiciones promedio de los forzantes meteorológicos. Para el caso de la precipitación, según el promedio de 32 años de registro de datos, se ha identificado que la misma varía de 214,48 mm a 701,74 mm, (figura 7a) y que las precipitaciones más bajas se reportaron en las zonas bajas de la cuenca, mientras que las precipitaciones más altas se localizaron en las partes altas. La orografía juega un papel importante en la intensidad, distribución y duración de la precipitación, es así que las regiones de montaña se caracterizan por recibir más cantidad de lluvias por el efecto de barlovento de las cordilleras producto de las lluvias orográficas (Whiteman, 2000). Para el caso de la temperatura, según el promedio de 32 años de registro de datos, se ha identificado que la temperatura media anual varía de 1,17°C a 10,42 °C, (figura 7b) y que las temperaturas más bajas se registran en las zonas más altas de la cordillera, por su parte las temperaturas más altas se registran en las zonas de la cuenca baja con valores que

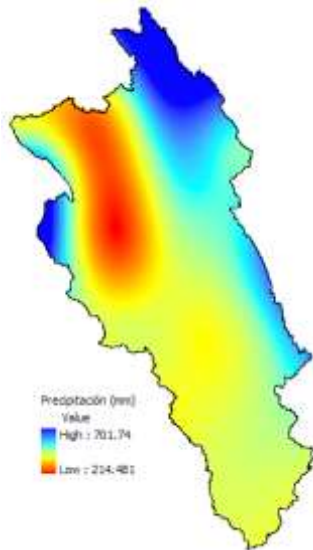
oscilan alrededor de los 10,42°C. Orstom/Unesco/IHH/Senamhi (1990) expresan que la temperatura es función de la altura y que por cada 100 m de altura el descenso de temperatura es aproximadamente 0,46°C.

En base al primer análisis sin considerar el efecto del coeficiente de retención (R) se ha encontrado que en la cuenca del Lago Poopo, la tasa de transporte de sedimentos potencial por erosión hídrica varía de 0.46 a 424,83 tm/ha-año ($x=15,19$ tm/ha-año; $s=15,03$). La mayor superficie de la cuenca está expuesta a tasas de erosión potencial de entre 5 a 20 tm/ha-año, seguido de las áreas con tasas de erosión mayores a 20 tm/ha-año que ocupan una superficie de 21,46%, y finalmente están las áreas con tasas de erosión menores a 5 tm/ha-año con 19,63% del área de la cuenca.

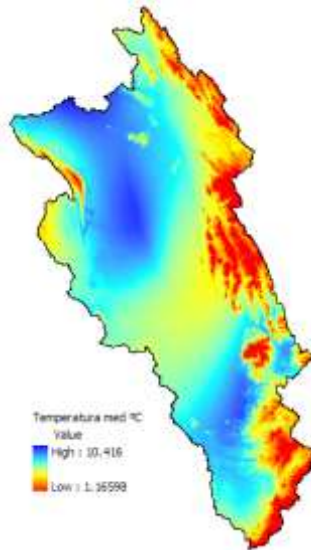
Si adicionamos al modelo el efecto del coeficiente de retención (R), la situación cambia, en el entendido de que ya no se analiza a la cuenca del lago Poopo como una sola unidad sino que se consideran ahora a las 23 unidades espaciales (sub-cuencas), en este

sentido se ha encontrado que el valor ponderado de (R) para la cuenca del lago Poopo es de 0,07. El cuadro 4, muestra los coeficientes de retención para cada una de las unidades de análisis (sub-cuencas), así mismo

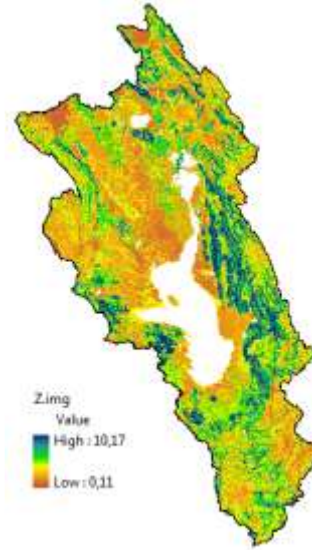
muestra los volúmenes de sedimentos producido por erosión y transportado a la sección final de la cuenca (G).



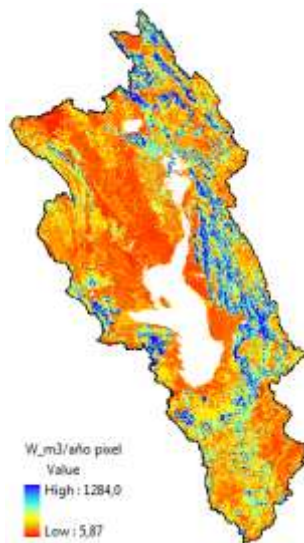
7a.- Precipitación



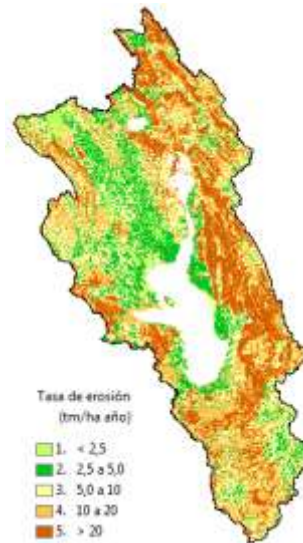
7b.- Temperatura media



7c.- Coeficiente de erosión (z)



7d.- Producción media anual de sedimentos (W)



7e.- Tasa de erosión potencial de suelos

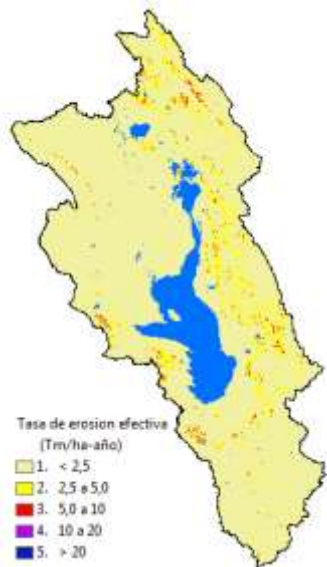
Figura 7, distribución espacial de la precipitación, la temperatura media y el coeficiente de erosión

Considerando en el modelo el coeficiente de retención (R) se ha encontrado que: la tasa de transporte de sedimentos por erosión hídrica en la cuenca varía de 0,03 a 29,74 tm/ha-año ($x=1,06$ tm/ha-año; $s=1,05$) y que el 82,45%

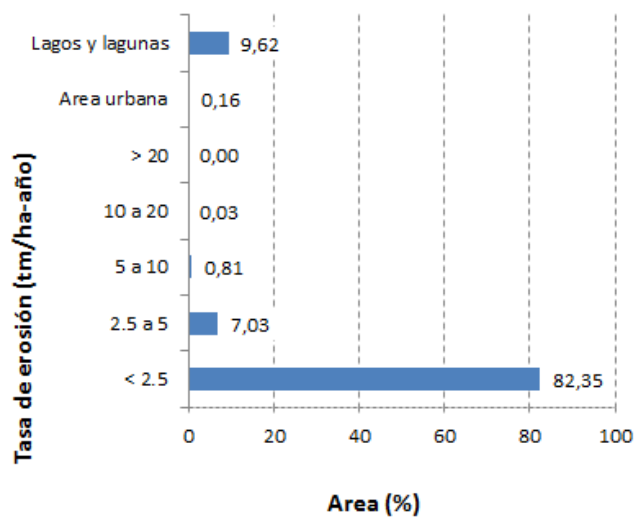
de la cuenca está expuesta a una tasa de erosión efectiva menor a 2,5 tm/ha-año, localizándose esta en zonas de alta montaña y zonas planas, lo cual es característico por cuanto en las zonas de alta montaña debido a

su estructura geológica de roca dura la erosión es prácticamente baja, mientras que en zonas bajas donde la pendiente es menor a 5% la erosión también es baja por cuanto estas zonas se caracterizan más por ser áreas de deposición más que de transporte. En la cuenca las zonas que merecer atención a la hora de proponer proyectos de conservación de suelos son las áreas que presentan tasas de erosión efectivas mayor a 2,5 tm/ha-año, estas áreas abarcan en la cuenca una superficie de 7.88% (1989,60 km²) y se caracterizan por estar presentes en zonas de ladera, con cobertura vegetal ralo a moderado, pendiente mayores al 5%, geomorfológicamente formado por abanicos y pie de montes, además de estar a continuas actividades antrópicas mediante una agricultura intensiva y extensiva. La figura 8, muestra la distribución espacial de las tasas de erosión de suelos efectivas identificados en la cuenca del Lago Poopo.

Como ejemplo, para lograr un buen ajuste del modelo, se analizó la producción de sedimentos en la cuenca Tacagua, el cual tiene una superficie de 1361,54 km² (ver figura 9). La presa de la cuenca Tacagua actualmente sufre fuertes procesos de colmatación, en el año 2012 el Instituto de Hidráulica e Hidrología (IHH) de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA), determino la cantidad de sedimentos depositados en el vaso del lago, los estudios batimétricos reportaron 490000 m³/año de aporte de sedimentos por año. Con el modelo de producción de sedimentos aplicado en la presente investigación, para la misma cuenca se encontró que el volumen de sedimentos calculado alcanzo a 483000 m³/año, muy parecido a los reportados por el estudio batimétrico, por cuanto se puede afirmar que el modelo aplicado reporto datos confiables.



8a.- Distribución espacial de las tasas de erosión efectiva de suelos



8b.- Relación de superficie de las tasas de erosión

Figura 8, Distribución de la relación de las tasas de erosión efectiva en la cuenca del lago Poopo

Cuadro 4, Coeficiente de retención y producción de sedimentos en la cuenca del Lago Poopo.

UNIDADES DE ANALISIS ESPACIAL (SUB-CUENCAS)	Longitud del cauce principal	Longitud total de los afluentes	Area	Perimetro	Cota media	Cota minima	Diferencia de nivel media	Coeficiente de retención de sedimentos	Producto	Produccion media anual de sedimentos	Volumen de sedimentos por erosión
	L (km)	Li (km)	F (km ²)	O (km)	Dm (msnm)	Dc (msnm)	D (km)	R	F x R	W (m ³ /año)	G (m ³ /año)
00_Laguna Soledad	13,27	194,28	659,73	161,48	3766,71	3711	0,06	0,04	26,76	660241,21	26775,71
01_Caracollo	30,98	205,83	244,84	93,98	3982,51	3795	0,19	0,10	24,26	481406,55	47700,70
02_Huana Jahuira	118,11	1134,76	1391,73	402,76	4009,34	3695	0,31	0,08	110,04	2283962,11	180589,49
03_Pongo Jahuira	34,65	306,79	295,73	124,47	4058,28	3716	0,34	0,17	49,91	585671,15	98842,73
04_Conde auque	48,39	522,13	562,84	195,07	4045,52	3707	0,34	0,14	79,40	821469,75	115882,13
05_Paria	61,54	1419,06	1208,99	242,23	3963,77	3696	0,27	0,14	166,68	1615163,19	222683,32
06_sepulturas	30,54	337,34	434,79	130,98	3866,78	3694	0,17	0,10	43,17	616198,15	61184,31
07_sora sora	88,42	1234,82	1085,98	297,20	4029,41	3694	0,34	0,12	134,24	1538761,49	190202,86
08_Poopo irancani	38,58	288,25	262,39	102,06	3946,80	3694	0,25	0,13	34,17	565781,80	73684,10
09_llanuraA_RD	54,42	338,61	544,45	202,88	3719,93	3694	0,03	0,03	13,99	407712,51	10479,01
10_antequera	36,00	232,97	408,43	128,52	3886,06	3694	0,19	0,07	29,05	694713,59	49409,15
11_urmiri	16,46	73,42	74,36	49,64	4111,00	3719	0,39	0,20	14,98	176655,68	35596,99
12_huancane	22,94	80,75	214,78	95,43	3807,38	3694	0,11	0,05	10,35	339591,52	16370,98
13_juchusuma	63,02	405,76	385,48	141,25	4080,78	3695	0,39	0,12	47,39	769231,36	94574,42
14_tacagua	82,28	1619,41	1677,00	313,87	4181,54	3694	0,49	0,14	228,12	2856846,19	388607,83
15_azanaque	27,64	186,15	282,22	99,08	4024,73	3694	0,33	0,12	32,51	397081,99	45748,00
16_cortadera	47,37	216,76	325,19	151,54	4151,98	3694	0,46	0,12	38,35	457683,45	53979,39
17_chillari palma	78,90	304,32	552,92	134,15	3876,28	3694	0,18	0,04	21,32	774731,50	29868,14
18_sevaruyo	106,60	835,98	1099,92	267,48	4134,98	3694	0,44	0,08	87,80	1230883,91	98253,85
19_marquez	146,57	2539,47	2711,50	429,77	4115,85	3690	0,43	0,09	232,08	2985183,35	255505,87
20_santiagoA_PA	35,37	594,27	2393,57	520,43	3732,38	3689	0,04	0,03	65,94	3051593,53	84071,72
21_caquiza	145,43	1008,06	1775,28	356,57	3811,94	3694	0,12	0,03	48,13	1262916,01	34237,11
22_irupampa	33,99	100,69	156,05	82,63	4124,31	3725	0,40	0,11	17,59	175471,20	19774,24
23_Juchu Jahuira	205,68	1683,44	3999,91	557,92	3748,70	3694	0,05	0,01	48,39	2685096,78	32482,20

SUMATORIA	22748,06	1604,63	27434047,97	2266504,24
MEDIA PONDRADA DE R =		0,07		

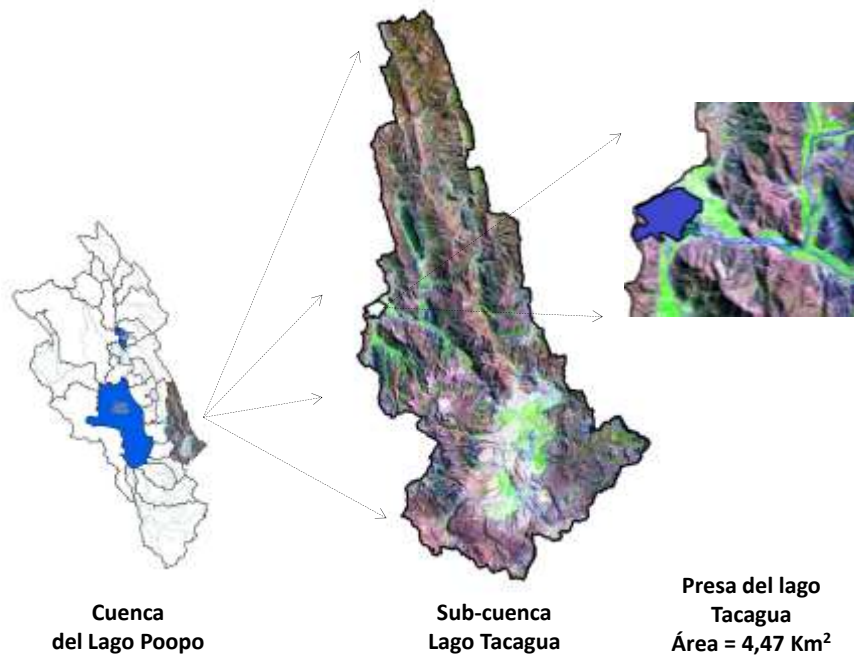


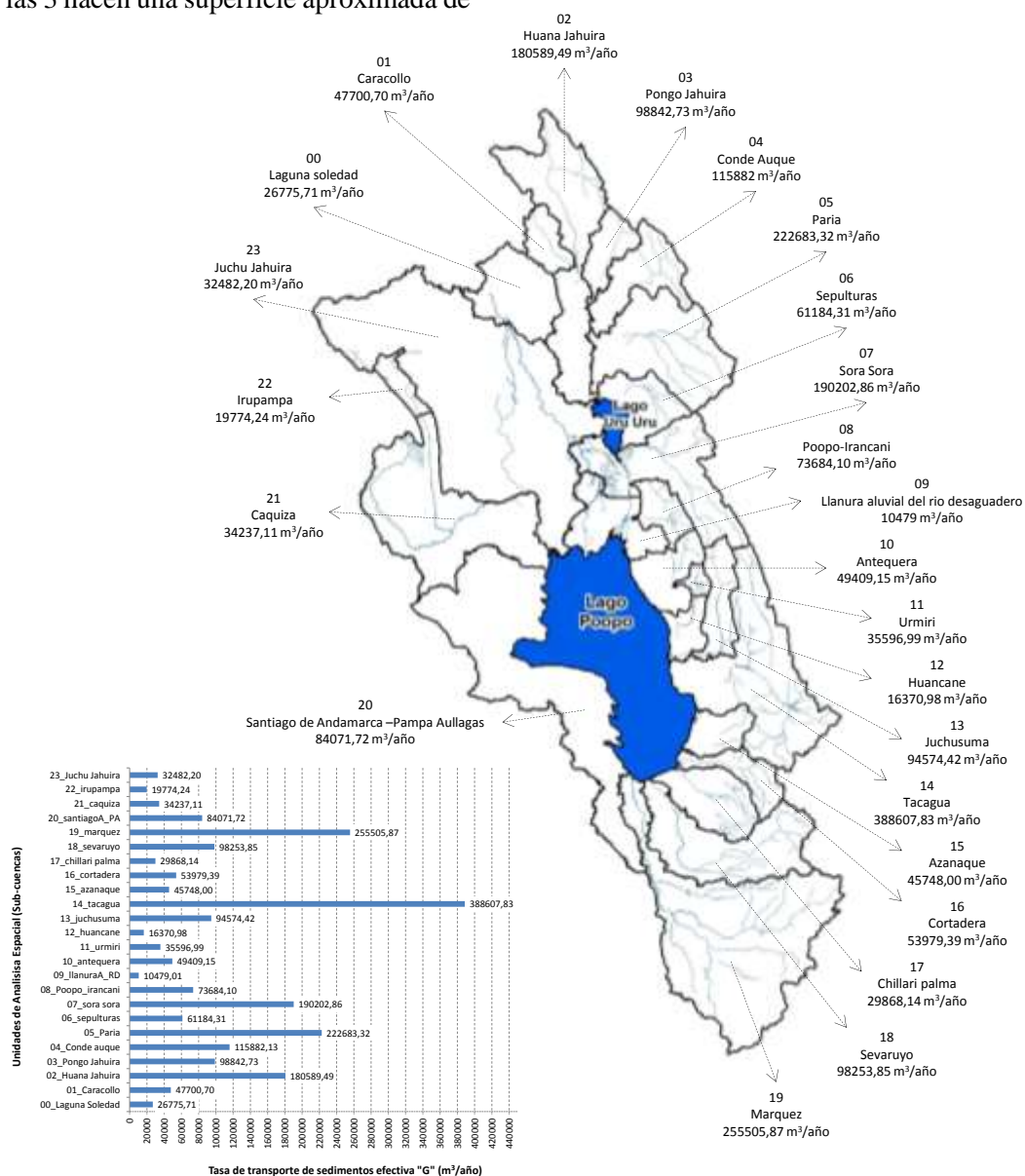
Figura 9, Ubicación de la cuenca Tacagua y el vaso de la presa

Producto del estudio se ha encontrado que la cuenca del Lago Poopo aporta al lago un total de 2266504,24 m³/año de sedimentos por erosión (G), los mayores aportantes son las sub-cuencas de tacagua; marques, paria, sora sora y huana-jahuira con 388607,83; 255505,87; 222683,32; 190202,86 y 180589,49 m³/año respectivamente. La figura 10, muestra, muestra los volúmenes de sedimentos por erosión que aportan cada una de las unidades de análisis (sub-cuencas) al lago Poopo.

Bajo las condiciones actuales y considerando que la sedimentación del lago Poopo no solo es producto de las 23 sub-cuencas aportantes de la cuenca del lago Poopo, sino además de las cuencas aguas arriba como la cuenca del alto desaguadero, mauri y medio desaguadero, entre las 3 hacen una superficie aproximada de

31130 km², es decir que si solo la cuenca del lago Poopo aporta anualmente 2266504 m³/año de sedimentos, la superficie conjunta de 53878 km², aportarían al lago Poopo aproximadamente un total de 5368141 m³/año (0,0054 km³/año) y si se tiene como dato que el volumen del lago Poopo es de aproximadamente 2,21 km³, bajo estas condiciones se estima que en aproximadamente 410 años el lago Poopo se rellenaría completamente. La figura 11, muestra las cuencas que aportan sedimentos al lago Poopo, así mismo muestra el volumen y espejo de agua del lago Poopo en las mejores condiciones hidrológicas.

Figura 10. Volumen de sedimentos por erosión (G) que aporta cada una de las sub-cuencas al Lago Poopo



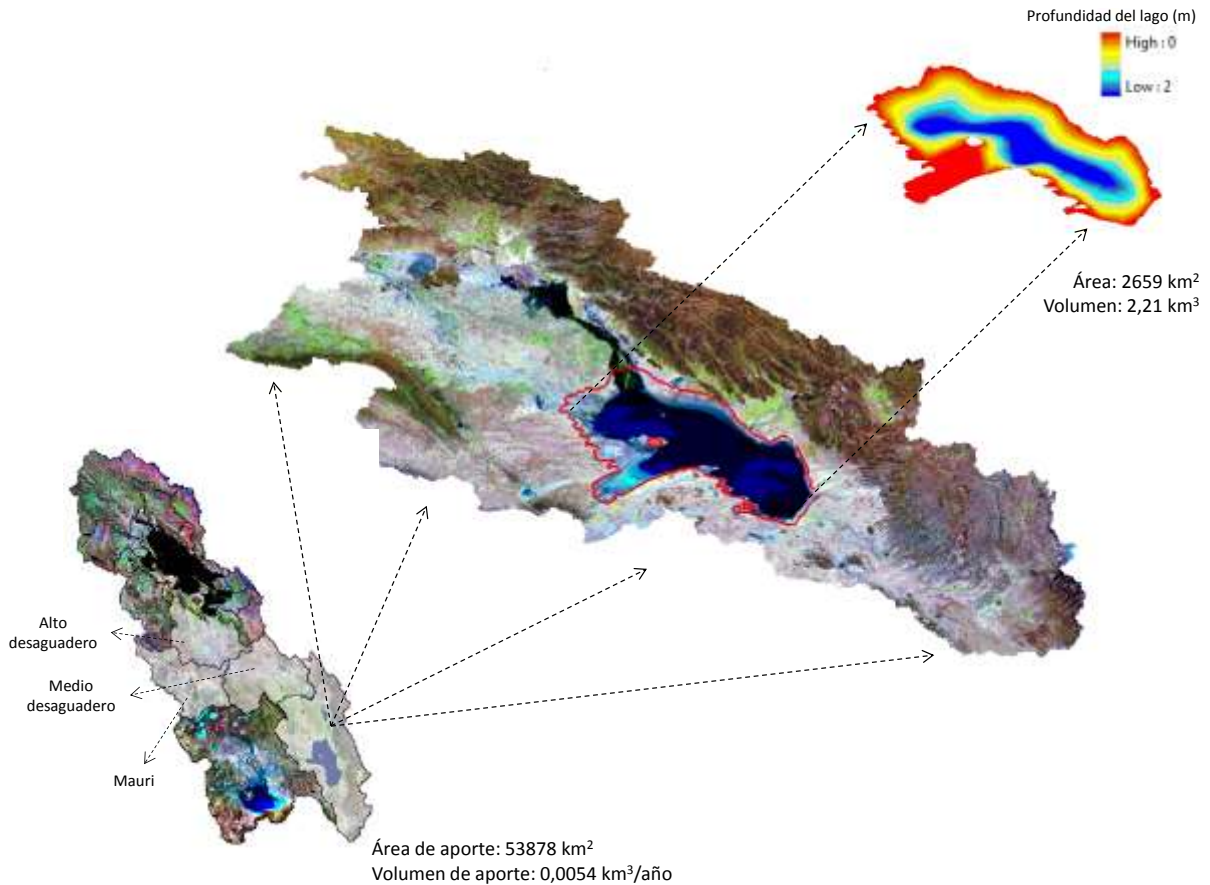


Figura 11, Cuencas aportantes al sistema del Lago Poopo

4°. Producción de sedimentos y tendencias ante escenarios de variabilidad climática.

Si bien se ha encontrado que en el periodo 1975 a 2013 la precipitación se ha reducido en aproximadamente 8% y por su parte la temperatura se ha incrementado en aproximadamente 9% estas condiciones según el modelo distribuido de Djorovic para un factor de erosión ponderado de $Z = 0.96$ producen en la cuenca un efecto de reducción de los volúmenes de sedimentos transportados por erosión, es así que bajo estas característica en el mismo periodo de tiempo la erosión se habría reducido en aproximadamente 5% y que las tendencias futuras considerado las mismas tendencias de precipitación y

temperatura ocasionarían en la cuenca una ligera reducción de las tasa de erosión de suelos de casi 0% al año 2025, reducción de casi 2.5% al año 2050, 3.5% al año 2075 y casi 5% al año 2100. Si bien la erosión muestra una tendencia a la reducción, en ningún momento debe entenderse que la sedimentación producto del transporte de sedimentos pararía en la cuenca, ya que la escorrentía producto de las lluvias seguiría siendo constante ocasionando una gradual y contante sedimentación del Lago Poopo. La figura 12, muestra la tendencia futuro de las tasas de erosión de suelos en la cuenca del lago Poopo, producto de los comportamientos temporales de la precipitación y la temperatura.

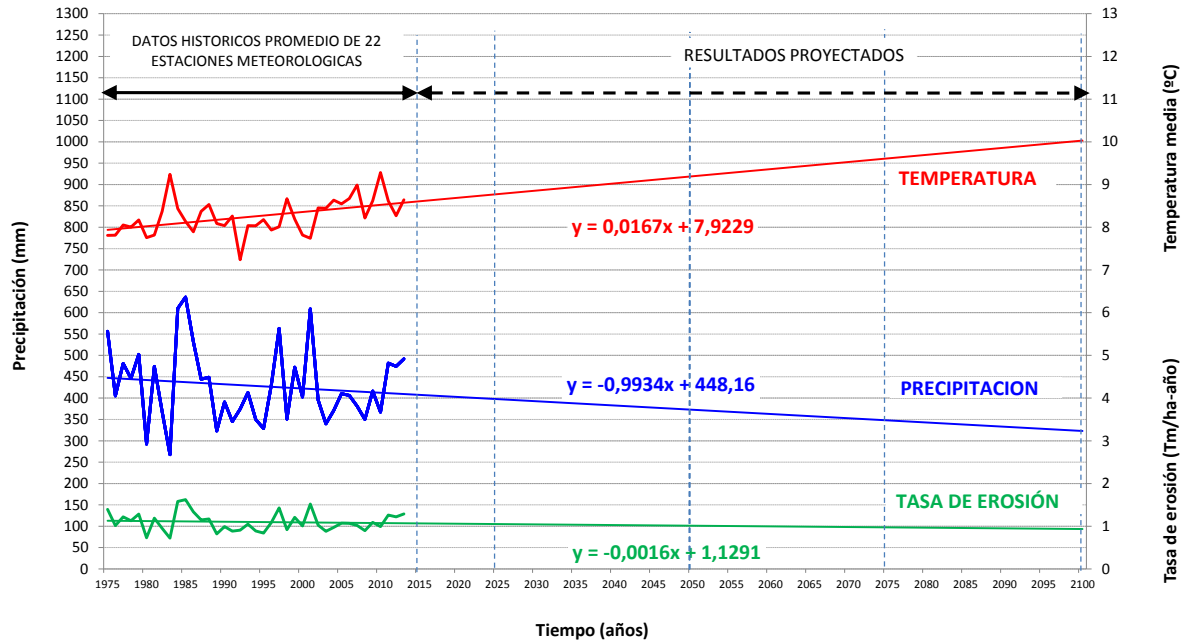


Figura 12, Tendencias del comportamiento temporal de las tasa de erosión de suelos en la cuenca del lago Poopó

CONCLUSIONES

Según los datos registrados en 22 estaciones meteorológicas para un periodo de 38 años (1975 – 2013), se ha encontrado que la razón de incremento de la temperatura media fue de 0,017°C/año, lo que representa que en este periodo la temperatura se habría incrementado en aproximadamente 0,64°C, bajo estas condiciones se esperarían que para el año 2025 la temperatura media se incremente en 0,84°C, para el año 2050 este incremento llegue a 1,26°C, para el año 2075 el increpo sea de unos 1,68°C y para el año 2100 el incremento este bordeando los 2,10°C.

Con respecto a la precipitación anual, se ha encontrado que esta, se ha ido reducido a razón de 1,00 mm/año., según su tendencia se esperarían que para el año 2025 la precipitación anual muestre una reducción de 49,62 mm, para el año 2050 la disminución seria de 74.43 mm, para el año 2075 esta disminución llegaría cerca de los 100 mm y para el año 2100 esta reducción estaría en el orden de los 124 mm., si bien estos valores aparentemente son bajos, en términos de volumen representan valores considerables, es así que en año 2050

la cuenca del lago Poopó recibiría unos 953 Hm³ menos agua que el año actual y en el año 2100 esta reducción sería de unos 2240 Hm³.

Producto del estudio se ha encontrado que, la cuenca del Lago Poopó aporta al lago un total de 2266504,24 m³/año de sedimentos por erosión (G), los mayores aportantes son las sub-cuencas de tacagua; marques, paria, sora sora y huana-jahuirá con 388607,83; 255505,87; 222683,32; 190202,86 y 180589,49 m³/año respectivamente. La tasa de transporte de sedimentos por erosión hídrica en la cuenca varía de 0,03 a 29,74 tm/ha-año (x=1,06 tm/ha-año; s=1,05) y que el 82,45% de la cuenca está expuesta a una tasa de erosión efectiva menor a 2,5 tm/ha-año, localizándose esta en zonas de alta montaña y zonas planas, lo cual es característico por cuanto en las zonas de alta montaña debido a su estructura geológica de roca dura la erosión es prácticamente baja, mientras que en zonas bajas donde la pendiente es menor a 5% la erosión también es baja por cuanto estas zonas se caracterizan más por ser áreas de deposición que de transporte.

En la cuenca las zonas que merecer atención a la hora de proponer proyectos de conservación

de suelos son las áreas que presentan tasas de erosión efectivas mayor a 2,5 tm/ha-año, estas áreas abarcan en la cuenca una superficie de 7,88% (1989,60 km²) y se caracterizan por estar presentes en zonas de ladera, con cobertura vegetal ralo a moderado, pendiente mayores al 5%, geomorfológicamente formado por abanicos y pie de montes, además de estar sometidas a continuas actividades antrópicas mediante una agricultura intensiva y extensiva.

Bajo las condiciones actuales y considerando que la sedimentación del lago Poopo no solo es producto de las 23 sub-cuencas aportantes de la cuenca del lago Poopo, sino además de las cuencas aguas arriba como la cuenca del alto desaguadero, mauri y medio desaguadero, entre las 3 hacen una superficie aproximada de 31130 km², es decir que si solo la cuenca del lago Poopo aporta anualmente 2266504 m³/año de sedimentos, la superficie conjunta de 53878 km², aportarían al lago Poopo aproximadamente un total de 5368141 m³/año (0,0054 km³/año) de sedimentos y si se tiene como dato que el volumen del lago Poopo es de aproximadamente 2,21 km³, bajo estas condiciones se estima que en aproximadamente 410 años el lago Poopo se rellenaría completamente.

Bajo estas condiciones y considerando un factor de erosión de suelos ponderado de 0.96 se ha encontrado que en la cuenca del Lago Poopo la tasa de transporte de sedimentos por efectos de la erosión hídrica varía de 0,03 a 29,74 tm/ha-año ($x=1,06$ tm/ha-año; $s=1,05$) y que el 82,45% de la cuenca está expuesta a una tasa de erosión efectiva menor a 2,5 tm/ha-año, localizándose esta en zonas de alta montaña y zonas planas, lo cual es característico por cuanto en las zonas de alta montaña debido a su estructura geológica de roca dura la erosión es prácticamente baja, mientras que en zonas bajas donde la pendiente es menor a 5% la erosión también es baja por cuanto estas zonas se caracterizan más por ser áreas de deposición que de transporte.

En la cuenca las zonas que merecer atención a la hora de proponer proyectos de conservación

de suelos son las áreas que presentan tasas de erosión efectivas mayor a 2,5 tm/ha-año, estas áreas abarcan en la cuenca una superficie de 7,88% (1989,60 km²) y se caracterizan por estar presentes en zonas de ladera, con cobertura vegetal ralo a moderado, pendiente mayores al 5%, geomorfológicamente formado por abanicos y pie de montes, además de estar a continuas actividades antrópicas mediante una agricultura intensiva y extensiva.

Según las proyecciones futuras aunque la temperatura tienda a aumentar, las tasas de erosión producto de la escorrentía tenderían a disminuir debido a la disminución que presentarían en las precipitaciones, es así que se espera que para el año 2025 la reducción de las tasas de erosión sería de casi 0%, al año 2050 la tasa de erosión se reduciría en 2.5%, al año 2025 la reducción de la erosión estaría por el orden de los 3.5% y para el año 2100 la tasa de erosión bordearía los 5%. Si bien la erosión muestra una tendencia a la reducción, en ningún momento debe entenderse que la sedimentación producto del transporte de sedimentos pararía en la cuenca, ya que la escorrentía producto de las lluvias seguirían siendo constantes ocasionando una gradual y constante sedimentación del Lago Poopó.

BIBLIOGRAFÍA

Bissonnais YL, Montier C, Jamagne M, Daroussin J, King D (2002). Mapping erosion risk for cultivated soil in France. *Catena* 46:207-220.

Clark KB (1999). An estimate of sediment yield for tow small watershed in a geographic information system. M. Sc. Thesis, Geography, University of New Mexico.

De Cesare G., Beyer Portner N., Boillat J. and Scleiss A. (1998). Modelling of erosion and sedimentation based on field investigation in Alpine reservoirs of hydropower schemes. German Coastal Engineering research Council parallel sesión. 34

DE REGOYOS, M. 2003. Metodología para la evaluación de la erosión hídrica con modelos informáticos. Aplicación del modelo

GeoWepp a dos pequeñas cuencas en Madrid. Tesis Doctoral. España. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. 466p. Disponible en <http://oa.upm.es/450/01/02200329.pdf>.

De Vente J. and Poesen J. (2005), Predicting soil erosion and sediment yield at the basin scale: Scale issue and semi-quantitative models, *Earth - Science Reviews*, **71**, 95-125.

De Vente J., Poesen J., Bazzoffi B., Van Rompaey A. and Verstraeten G. (2006). Predicting catchment sediment yield in Mediterranean environments: the importance of sediment sources and connectivity in Italian drainage basins. *Earth Surface Processes and Landforms*. **31**. 1017-1034.

Efthimiou N., Lykoudi E., Panagoulia D., Karavitis C. (2015). Assessment of soil susceptibility to erosion using the EPM and RUSLE Models: the case of venetikos river catchment. *Global NEST Journal*. **18**. 1-16.

Emmanouloudis D. and Filippidis E. (2002), A quantitative estimation model of mountainous watershed degradation. Kick-off workshop on IAHS, Decade of prediction in ungauged basins (PUB) - Hydrological Science on Mission, Brazil.

Emmanouloudis D., Christou O. and Filippidis E. (2003), Quantitative estimation of degradation in the Aliakmon river basin using GIS. *Erosion Prediction in Ungauged Basins: Integrating Methods and Techniques*. IAHS Publication, **279**, 234.

Fannetti D. and Vezzoli L. (2007). Sediment input and evolution of lacustrine deltas: The Breggia and Greggio rivers case study (Lake como, Italy). *Quaternary International*. **173-174 (SUPPL)**. 113-124.

GARCÍA, J. 2006. La erosión: Aspectos conceptuales y modelos: In hidrología de superficie y conservación de suelos. Material de clases 200. (en línea). España. Disponible en <http://ocw.upm.es/ingenieria-agroforestal/hidrologia-de-superficies-y-conservacion-de-suelos/material-de-clases>.

Gavrilovic S. (1962). A method for estimating the average annual quantity of sediments according to the potency of erosion.

Faculty of Forestry, N° 26, p. 151-168. (In Serbia)

Gavrilovic S. (1970). Modern ways of calculating the torrential sediment and erosion mapping. In: *Erosion, Torrents and Alluvial Deposits*. Yugoslav Committee for International Hydrological decade, Belgrade. p. 85-100 (In Serbia)

Gavrilovic S. (1972). Engineering of Torrential and Erosion. Belgrade, pp. 292. (In Serbia)

Gavrilovic S. (1988). The use of empirical method (Erosion Potential Method) for calculating sediments production and transportation in unstudies or torrential streams. In: White, W.R. (ed), *International Conference on River Regime*. John Wiley y Sons, Chichester, p. 411-422.

GAVRILOVIC Z., 1988; The use of an empirical method (Erosion Potential Method) for calculating sediment production and transportation in unstudied or torrential streams. Wallingford, England.

GTZ. (2010)

Hill J (1993). Land degradation and soil erosion hazard mapping in Mediterranean environment with operational earth observation satellites. *Proc. Int. Symp. Operationalization Remote Sens*. **9:41-52**.

Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología Nuclear, 2009

Iplnza, R. Y Perrel, S., 1991. El Impacto de la Erosión en Chile. Documento solicitado por las Comisiones Unidas de Recursos Naturales, Bienes Nacionales y Medio Ambiente de la Cilmara de Diputados. Chile, 20 p.

Lal, R. 1994. Soil erosion by wind and wáter: problems and prospects. In *Soil erosion research methods*. (en línea). Estados Unidos. Soil and Water Conservation Societ. Disponible en <http://books.google.cl/books?id>.

Mariaca Carrasco J. 1985. Balance hídrico superficial de la cuenca del lago Poopo y los salares de Uyuni y Coipasa, Bolivia.

Martinez-Casasnovas JA (2003). A spatial information technology approach for the mapping and quantification of gully erosion. *Catena* **50:293-308**.

Mezosi G, Mucsi L (1993). Soil erosion assessment with the help of remote sensing methods Proc. Int. Symp. Operationalization Remote Sens. 9:29-40.

Mohammed Rinos MH, Aggarwal SP, Ranjith Premalal DS (2001). GISbased soil erosion modelling and application of remote sensing on soil erosion assessment Proceedings of the ninth Annual Conference of GISRUK, 18–20 April, University of Glamorgan. pp. 592-594.

Navas A, López-Vicente M, Gaspar L, Machín J (2012). Assessing soil redistribution in a complex karst catchment using fallout ¹³⁷Cs and GIS. *Geomorphology*, In Press, Corrected Proof.

Petras J., Kuspilic N. and Kunstek D. (2005). Some experience on the prediction of suspended sediment concentrations and fluxes in Croatia. Proceeding of Symposium SI held during the Seventh IAHS Scientific Assembly at Foz do Igacu, Brazil. IAHS, 292: 179-184.

Plan Director de la Cuenca del Lago Poopo. (2014)

Rafaelli S., Peviani M. and Perez Ayala F. (1998), Study of sediment yield on the mountain Cuenca del Rio Iruya (Argentina). IARH AMH, Hydraulic XVIII Latin American Conference, Oaxaca, Mexico. (In Spanish)

Shrimali SS, Aggarwal SP, Samra JS (2001). Prioritizing erosionprone areas in hills using remote sensing and GIS—a case study of the Sukhna Lake sub-catchment, Northern India. *Intl J. Appl. Earth Obs. Geoinformation* 3:54-60.

Solaimani K (1997). Estimating Changes in Morphology and Sediment Supply using Remote sensing and field Techniques in River Basin. University of Glasgow, U.K.

Stefanidis P., Myronidis D., Sapountzis M. and Stathis D. (1998), The torrent “Sklithro” in Florina. Torrential Environment and torrent control system. *Scientific Annals. Department of forestry and natural environment. Aristotelian University of Thessaloniki.* 41, (2), 1275.

SUDAS (STATEWIDE URBAN DESIGN AND SPECIFICATION, USA). 2006. The erosion and sedimentation process. In Iowa Statewide Urban Design Standards

Manual. 2007. (en línea). Iowa, Estados Unidos. Disponible en <http://www.lowasudas.org/design.cfm>.

Terranova O, Antronico L, Coscarelli R, Iaquina P (2009). Soil erosion risk scenarios in the Mediterranean environment using RUSLE and GIS: An application model for Calabria (Southern Italy). *Geomorphol.* 112(3-4):228-245.

Tomczyk AM (2011). A GIS assessment and modelling of environmental sensitivity of recreational trails: The case of Gorce National Park, Poland. *Appl. Geogr.* 31(1):339-351.

VALENZUELA, C. BEEK, M. 1999. Caso 26 “MODELO DE EROSION CUENCA KHENKO MAYU SACABA. CLAS. Cochabamba, Bolivia. 28pp.

Vallejos, Pedro. 2005. Pérdida de suelo por erosión hídrica en el Departamento de Oruro a través de modelos espaciales. Cochabamba, Bolivia : Tesis de Maestria, CLAS UMSS, 2005.

Yuliang Q, Yun Q (2002). Fast soil erosion investigation and dynamic analysis in the loess plateau of China by using information composite technique. *Adv. Space Res.* 29:85-88.

Zemljic M. (1971). Calculation of sediment load. Evaluation of vegetation as anti-erosive factor. Proceedings of the international symposium Interpraevent. Villach (Australia).

ZEMLJIC, M., 1971. Calcul du debit solide – Evaluaton de la vegetaton comme un des facteurs anterosif. Internatonal Symposium Interpraevent, Villach, Austria.

Zhou W, Wu B (2008). Assessment of soil erosion and sediment delivery ratio using remote sensing and GIS: a case study of upstream Chaobaihe River catchment, north China. *Int. J. Sediment Res.* 23(2):167-173.