

DETERMINACIÓN DE TASAS DE EROSIÓN A PARTIR DEL MODELO DE DJOROVIC (ANÁLISIS MULTITEMPORAL 1993-1999-2000)

María Luisa Arteaga S.

INTRODUCCIÓN

La erosión del suelo en un amplio rango de ambientes agro-ecológicos., como en los valles andinos es reconocida por ser la mayor causa de pérdida de productividad, resultando después de muchos años en una mayor extensión de tierras erosionadas, así como el incremento de tierras marginales y no adecuadas para la producción de cultivos. A nivel general para disminuir el riesgo de este problema, hay una necesidad urgente de diseñar tecnologías de agricultura sostenible de baja inversión que disminuirán el porcentaje de erosión, incrementarán la disponibilidad de humedad y aumentarán la fertilidad del suelo permitiendo así que reservas forestales sean protegidas y dejando que el suelo inadecuado para cultivo o producción ganadera sea usado para reforestación.

Antecedentes

A partir de 1991, PROMIC propone el diagnóstico de una microcuenca, en la perspectiva de definir una metodología y una estrategia para crear un modelo de fácil transferibilidad y aplicación en el manejo de otras cuencas.

Seleccionando para su propósito a la microcuenca Qopa Corral, la que les permitiría conocer el estado actual de los recursos naturales, el sistema de uso agro-pecuario, forestal, el acelerado avance de los procesos erosivos y los aspectos socioeconómicos.

Otras razones para elegir esta microcuenca para su diagnóstico fueron:

- La ampliación de la frontera agrícola, el sobrepastoreo, la quema y la sobreutilización de las especies nativas, por lo que el uso de la tierra no era sostenible.
- Predominio de pendientes entre 50 – 70%, que favorece a la ampliación de cárcavas y aceleración de los procesos erosivos.
- La sobre explotación a través de un manejo tradicional de la agricultura, originando erosión laminar, reducción de la fertilidad de los suelos y la pérdida de la capa arable.
- La poca integración y cooperación entre familias asentadas, que obstaculizan la ejecución de trabajos comunitarios.

En diciembre de 1994, se identifican tres unidades mayores como ser cárcavas y procesos asociados, procesos erosivos activos y área de miscelánea pedregosa y/o rocas, posteriormente en estudios realizados en 1995, se determinan áreas de intervención prioritaria.

Otros trabajos también realizados en 1995, reportan la falta de datos cuantitativos sobre los procesos de transporte de sedimentos, dificultando la tarea de planificar y dimensionar acciones en forma

adecuada, que permita diseñar obras para prevenir inundaciones y garantizar menor aporte de sedimentos hacia los cauces.

En enero de 1999 el convenio LHUMSS-PROMIC realiza estudios con el objetivo de obtener datos medidos y modelos capaces de estimar de manera confiable el aporte de sedimentos a la salida de una cuenca.

Por este motivo para la elaboración de propuestas específicas es importante contar con el análisis sobre el comportamiento de la pendiente e identificar zonas estables y de riesgo. Por tal razón el PROMIC realizó varios estudios con fines de investigación sobre erosión. Los estudios al respecto fueron:

- El primer estudio sobre erosión fue realizado en 1993.
- El segundo estudio a partir de una tesis fue realizado en 1994-1995
- El tercer estudio fue realizado en 1995-1996
- Y hubo un cuarto estudio, cuyo objetivo central fue el de analizar los alcances de los tres estudios anteriores y evaluar una metodología adecuada, efectuado por un tesista de Bélgica.

Apoyados en las investigaciones e intervenciones realizadas por el PROMIC el presente trabajo pretende determinar tasas de aporte de sedimentos de la microcuenca Qopa Corral hacia el cauce principal de la cuenca Taquiña y que este modelo sea de fácil transferibilidad hacia otras microcuencas con las mismas características de la primera. Tasas que serian muy útiles para la aplicación en otros modelos, específicamente para evaluar y monitorear las intervenciones realizadas, y planificación de nuevas.

El modelo de Djorovic es de tipo agregado, el mismo que permite el cálculo a la salida de la cuenca., cuya aplicación no requiere de un complejo banco de datos. Por otra parte el modelo lo catalogamos como un modelo conceptual, no es un modelo físico, o estadístico sin embargo debemos tener presente que los modelos tienen un margen de confiabilidad, por que un modelo es una representación simplificada de la realidad además de no considerar incertidumbres propias de la naturaleza de cada zona. Sin embargo la aplicación de los diferentes modelos (Agnps, Answers, Hec-1, etc.) permiten y ayudan en la toma de decisiones, pero no son modelos que nos determinan con precisión la realidad.

La Cuenca Taquiña se halla ubicada a 4 Km al Norte de la ciudad de Cochabamba, en el cantón Linde, provincia Kanata del departamento de Cochabamba.

Está comprendida dentro de las siguientes coordenadas geográficas:

66° 07, 36,, - 66° 11, 10" Longitud Oeste
17° 15, 24" - 17° 19, 25" Latitud Sur

Cuenta con una superficie aproximada de 19.7 Km. Es accesible por la ruta Cochabamba – Tiquipaya – Largun Mayu, asimismo, por el tramo Cochabamba – Tirani – Cuchillani.

El relieve en general es abrupto, con elevaciones que varían desde los 2900 m.s.n.m., hasta los 4500 m.s.n.m.

La microcuenca Qopa Corral se encuentra ubicada en el flanco Oeste de la Cuenca Taquiña (ver Figura 1), con pendientes que fluctúan entre 20-80% y una variación de altitud de 3500 – 4270 m.s.n.m., abarcando tres pisos altitudinales claramente definidos., tiene una superficie de 0.65 Km².

Objetivos del estudio

El objetivo principal de este estudio es:

- Obtener tasas de aporte de sedimentos de una microcuenca (Qopa Corral) hacia una cuenca, que permita comparar datos con proyecto, datos sin proyecto y proyecciones futuras (1993, 1999 y 2001).

Los objetivos secundarios:

- Simular aplicaciones en la determinación de tasas de erosión en la microcuenca con intervención y sin intervención, a partir de transformaciones en el modelo.
- Demostrar que a través de la utilización de un sistema de información como es el Ilwis es posible presentar estas tasas plasmadas en un mapa.

Conceptos teóricos

A partir del análisis efectuado, se sugiere diferenciar los riesgos en dos grandes grupos:

- Riesgos activos o declarados
- Riesgos potenciales

Riesgos Activos

Denominados también riesgos declarados, por encontrarse estos en áreas de deslizamiento y derrumbes inminentes.

Los riesgos con mayor violencia considerados como altos, son los derrumbes, caída de bloques, deslizamientos y procesos erosivos intensos (cárcavas activas y erosión en surcos severos).

La presencia de deslizamientos, reptación, erosión laminar y en surcos es casi permanente en la Cordillera del Tunari, siendo este tipo de procesos los que influyen en el aporte de sedimentos a la parte baja.

El grado del estado de la naturaleza, cuando es intermitente, está dado según la frecuencia de aparición; desde débil hasta muy alta.

La delimitación y/o localización de algunos procesos está claramente definida. Sin embargo, existen otros, como la erosión laminar y en surcos que no están delimitados.

Riesgos Potenciales

La presencia de procesos erosivos intensos como es la remoción en masa, deslizamientos y derrumbes activos constituyen lo que son los riesgos de mayor potencialidad en la cuenca; que por arrastre de los sedimentos ocasionan inundaciones en el área de influencia.

La probabilidad de aparición de los riesgos potenciales esta condicionado a la naturaleza, al estado y a la intensidad del evento.

METODOLOGÍA

El Marco metodológico tiene relación con el marco conceptual, sin embargo la metodología en este estudio describe con mayor detalle las etapas que se siguieron durante el transcurso del trabajo.

Recopilación de información básica

Etapas durante la cual se procede a recabar toda la información existente sobre la zona de estudio, del Programa Manejo Integral de Cuencas, sobre geología, geomorfología, Suelos, Pendientes, Uso Actual de la Tierra-, Unidades Erosivas, Riesgos de Erosión y Degradación, Hidrometeorología, etc.

Delimitación de unidades

Se delimita unidades de Uso de la Tierra (1993), Unidades Erosivas (1993), geología y un mapa de segmentos de curvas de nivel cada 5 metros, de la microcuenca. De todos estos se obtiene el mapa de Riesgos de Erosión y Degradación (1993).

Para la obtención de datos para 1999, por una parte se procede a fotointerpretar y a partir de segmentos se actualiza el mapa de unidades de Uso.

Para la obtención de datos para 2000, se procede al levantamiento de información en campo y estos datos espacializarlos en los mapas temáticos de erosión y uso de la tierra, considerando densidad de la cobertura vegetal, porte, grado de asociación, regeneración natural, etc.

Paralelamente a la fotointerpretación se elaboro datos espaciales (mapas) a partir de información estadística levantada en campo por técnicos del PROMIC (durante 2 años, 1997,1998), obteniéndose un mapa de Conservación de suelos y otro de Protección Vegetal., de cuya confrontación resultó el mapa de protección del suelo.

Verificación de campo

Actualizados los mapas mediante la fotointerpretación y análisis de datos estadísticos (Conservación de Suelos y Protección Vegetal) se realizaron visitas de campo para una verificación y ajuste de estos mapas. Siendo estos productos intermedios que darán lugar al mapa de protección del suelo, el mismo que será un insumo importante para obtener los mapas de uso de la Tierra (1999 y 2000) y Unidades Erosivas (1999 y 2000).

Elaboración de mapas temáticos y suministro de información al SIG

Posteriormente se elaboraron los mapas temáticos 1999 y se actualiza al 2000. A partir de la transferencia de unidades del mapa de protección del Suelo a los mapas de Uso de la Tierra y Unidades Erosivas, donde las unidades de mapeo de estos mapas cambian producto de las intervenciones, obteniéndose de esta manera los mapas definitivos para el mapa de Riesgos del 1999 y del 2000.

Una vez concluido la transferencia al mapa base se realiza la transferencia de la información al Sistema de Información geográfica para su análisis.

Análisis y Caracterización

Los mapas transferidos al Sistema fueron la base para la elaboración del mapa de Uso-1999 y 2000, mapa de Unidades erosivas-1999 y 2000 y finalmente de Riesgos-1999 y 2000.

Durante esta etapa se realiza un análisis comparativo de la tasa de aporte de sedimentos 1993-1999-2000, con el propósito de identificar cambios en la cuenca producto del Manejo Integral de Cuencas.

Mapas de Riesgos de Erosión y Degradación 1993, 1999 y 2000

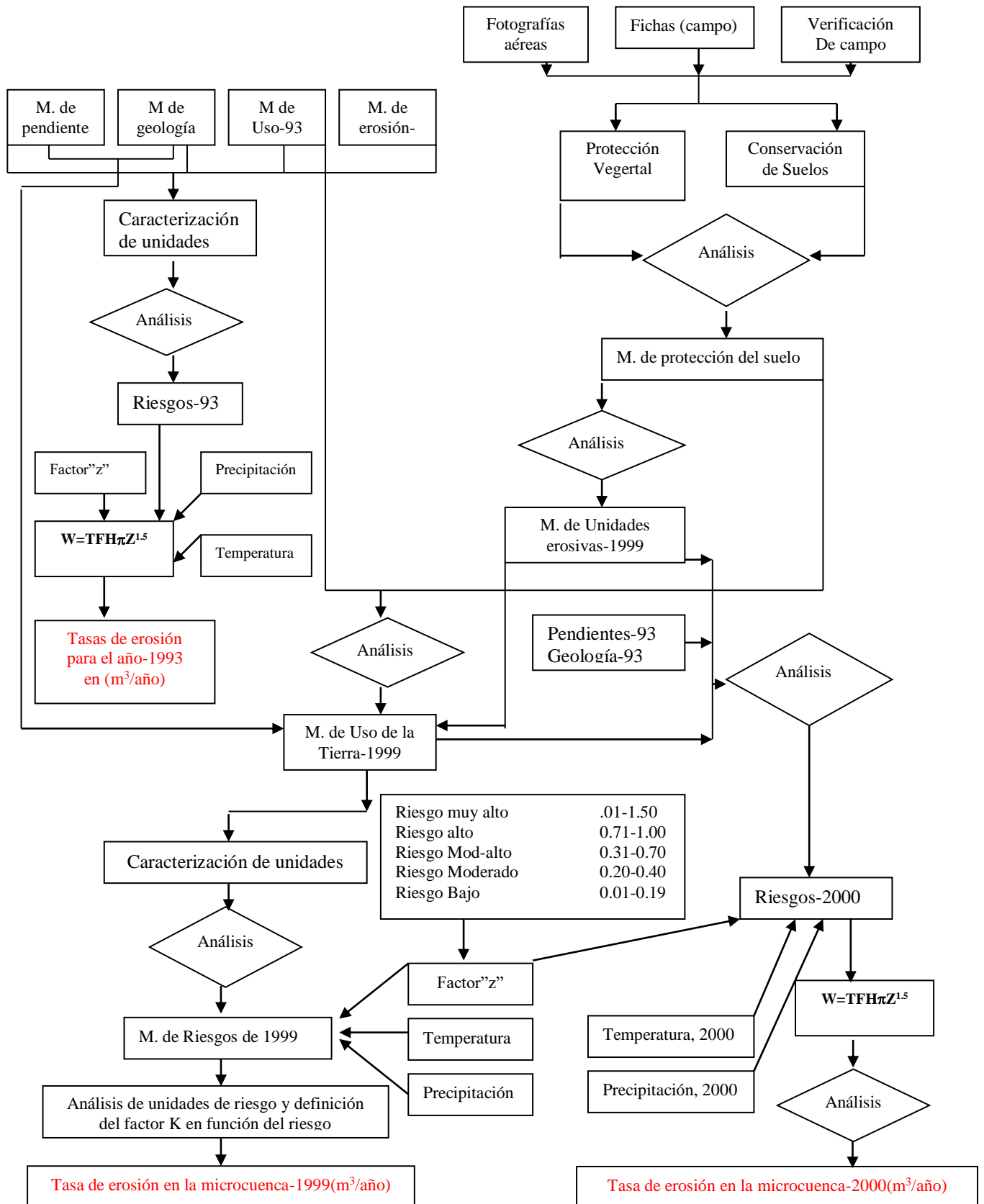
Finalmente se implementa el Modelo de Riesgo de Erosión y Degradación elaborado específicamente para la cuenca Taquiña en 1993. Implementándose en esta oportunidad bajo las mismas condiciones de esa época, para la obtención del Mapa de Riesgos de Erosión y Degradación-1999 y 2000.

4.7 Determinación de las tasas de aporte en la gestión. 1993, 1999 y 2000

Para este efecto se aplica el modelo de Djorovic, procediéndose en primera instancia a la determinación de los requisitos del modelo para su ejecución. Antes cabe aclarar que este modelo requiere del análisis de los mapas de uso, pendientes, cobertura, precipitación, y temperatura para la determinación del factor “z” constituyéndose en el factor determinante en la obtención del resultado final a través de la corrida del modelo.

El modelo de Djorovic, calcula la degradación específica en función de una serie de parámetros que son representativos de los procesos erosivos como: precipitación, clima, suelo, relieve y vegetación, incluye a su vez un parámetro para estimar el grado de intensidad que alcanzaron los procesos erosivos en la cuenca y el tipo de erosión predominante.

Figura 1. Modelo para la determinación de Tasa de aporte de sedimentos en microcuencas.



Este modelo es definido por la siguiente ecuación:

$$W = T F h \pi Z^{1.5}$$

Donde:

W = Caudal sólido (m³/año), como medida de la degradación específica de una cuenca.

T = $\sqrt{0.1t + 1}$, factor de temperatura

t = temperatura media anual, en °C

F = Area de la cuenca, en Km²

H = Precipitación media anual en mm

π = 3.1416

Z = Coeficiente de erosión que refleja la intensidad y extensión del fenómeno erosivo de una cuenca y valoriza la influencia de los factores de suelo, vegetación y relieve de la siguiente forma:

$$Z = Y * Xa * (\varphi + \sqrt{p})$$

Donde:

Y = Coeficiente adimensional de erosividad del suelo que varía de 0.5 para los suelos de buena estructura, menos erosivos, a 2.0 para áreas, pedregosos y suelos sueltos.

Xa = Coeficiente adimensional que cuantifica el estado de la cobertura vegetal y de las practicas de conservación de suelos, variando de 0.05 para bosques y vegetación arbustiva con buena cobertura, a 1.0 para suelos desnudos sin laboreo.

φ = Coeficiente adimensional que cuantifica el estado erosivo de la cuenca, desde 0.2 para cuencas con poca erosión, con pequeños deslizamientos de márgenes de red de drenajes, a 0.1 en cuencas que tengan en su totalidad procesos erosivos avanzados.

P = Declividad media de la cuenca, como parámetro representativo del factor relieve en porcentaje.

El valor de “z”, representativo de una cuenca, se calcula como media ponderada de los distintos valores de ese coeficiente obtenidos para cada uno de los valores parciales, que integran los diferentes coeficientes representativos de los factores. Ese valor “z” será por lo tanto de la siguiente forma:

$$Z = \frac{\sum Zi fi}{F}$$

Siendo:

Zi fi los valores parciales que en, cada caso corresponden al coeficiente de erosión y a los límites de aplicación respectivamente.

Ese modelo, en función de los valores del coeficiente z, han sido obtenidos, estableciendo una clasificación de los procesos erosivos en cinco categorías de la siguiente forma:

I Erosión excesiva	Z de 1.01 a 1.50
II Erosión intensa	Z de 0.71 a 1.00
III Erosión media	Z de 0.31 a 0.70

IV Erosión moderada Z de 0.20 a 0.40
V Erosión baja Z de 0.01 a 0.19

Análisis comparativo

Para la implementación práctica del modelo Djorovic es necesario contar con un mapa de riesgos de erosión y degradación de tierras, el mismo que permitirá el cálculo del factor Z del modelo.

En este estudio se considera un Z ponderado para toda la microcuenca, valor que es reemplazado en la formula del modelo.

De esta manera se logra el cálculo de la tasa de aporte de sedimentos a la salida de la microcuenca.

Para los años 1993, 1999 y 2000 los mismos que permiten ver objetivamente los cambios sufridos en el transcurso de los años producto de un Manejo Integral de la Microcuenca.

Así mismo es posible visualizar los cambio en el uso de la tierra, y Unidades Erosivas en la comparación de mapas de Uso-93 vs Uso-99 vs 2000.

En consecuencia se procede a la realización de tablas (leyendas) que especifican las características físicas de cada unidad de mapeo, asignando un grado de riesgo específico a cada una de estas características, que oscilan de bajo hasta muy alto, a los que se asigna valores del 1 al 5 en base criterios y experiencias por el personal del promic.

Por otra parte, para obtener un grado de riesgo representativo por unidad de mapeo, se realiza una confrontación de los mapas temáticos ya generados por el promic los cuales son:

Geología, Uso de la tierra, Unidades erosivas, Curvas de nivel digitalizadas. Previa a la confrontación para la obtención de los mapas de riesgos, se realizaron mapas independientes de riesgos geológicos(R_geo93), riesgos de uso(R_uso93), riesgos de erosión(R_ero93), y mapa de pendientes reclasificado.

Con estos mapas reclasificados según sus riesgos se procede a una confrontación de las características de los mapas temáticos en una serie de matrices. Realizándose como primera confrontación el mapa de riesgos geológicos (R_geo) Vs. (R_Uso) Riesgos de uso obteniéndose de esta manera el mapa de riesgos geológicos-uso (R_GU).

Posteriormente siguiendo los mismos pasos señalados para generar el mapa de riesgos R_GU, se procede para lograr el mapa de riesgos geológicos-uso-erosión GU-E, que es la confrontación del mapa R_GU Vs (R_EROS).

Continuando con las confrontaciones es el turno del mapa GU_E Vs (PEND) mapa de pendientes , logrando de esta manera conseguir el mapa de RIESGOS DE EROSION Y DEGRADACION DE TIERRAS.

Hasta este último mapa es el correspondiente al año 1993.

Una segunda etapa implica el generar mapas para los años 1999 y 2000. Estos mapas a diferencia de los anteriores que fueron generados en base a una información preexistente en el PROMIC., serán generados nuevamente considerando las condiciones actuales imperantes en la zona de estudio.

Se inicia con una fotointerpretación referencial y verificación de campo. Posteriormente se obtiene los mapas de Uso-1999 y Uso-2000, así como el mapa de Erosión 1999 y 2000, a partir de la incorporación de unidades de otros mapas generados (Plantaciones y Conservación de Suelos).

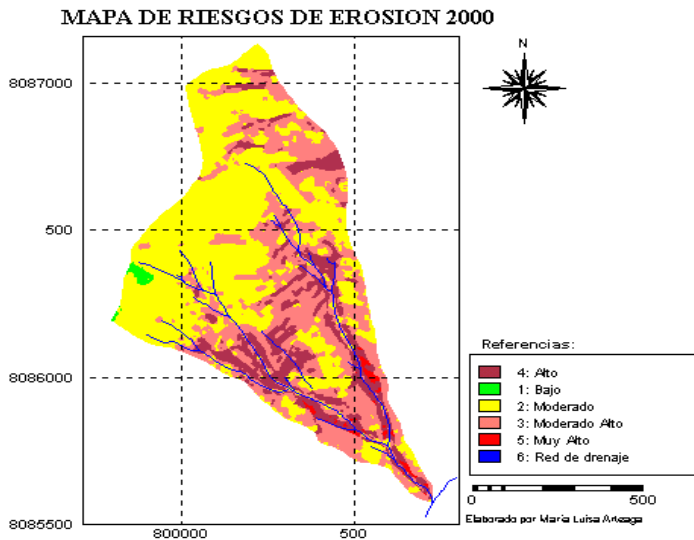
Una primera confrontación para generar información para el año 1999, será el mapa de riesgos geológicos de 1993 vs el mapa riesgo de Uso de la tierra 1999 (R_geo93 Vs R_uso99) para obtener un mapa denominado Riesgo-geología-Uso_1999 (R_GU99).

Este mapa R_GU99 será confrontado con el mapa de riesgos de erosión de 1999 (R_GU99Vs r_ero99) dando origen al mapa Riesgo-Geología-Uso-Erosión.(R_GUE99).

A su vez este mapa será confrontado con el mapa de pendientes de 1993 (GU_E99 Vs Pend1993) dando lugar al mapa final de Riesgos de erosión y degradación de tierras de 1999. Denominándose Riesgos99.

De la misma manera se procede para la obtención del mapa de Riesgos del 2000. Se confronta el mapa de Pendientes-1993, el mapa de Geología-1993, el mapa de Unidades Erosivas-2000 y el mapa de Unidades de uso 2000.

El resultado de estos tres mapas finales de Riesgos93, Riesgos99 y Riesgos 2001, permite en primera instancia asignar a cada unidad clasificada según su riesgo los valores que adoptará "Z" para poder trabajar con el modelo de Djorovic. Por otro lado estos mismos mapas proporcionan a través de sus estadísticas determinadas por ILWIS las áreas específicas de cada unidad, las que permitirán la obtención de un caudal sólido por unidades según su riesgo (W =caudal sólido en $m^3/año$). Resultados que son respaldados con el análisis de los mapa de uso de la tierra del 93 Vs 99.vs 2000 y el de unidades erosivas 93. 99 y 2000.



Análisis de tasas de Sedimentos

Al realizar el cálculo de las tasas de aporte de sedimentos mediante ILWIS , se observa que para los distintos grados de riesgo de erosión se obtiene un caudal sólido en $m^3/año$. Al mismo tiempo se observa que estos valores finales cuando son observados en la parte alta de la microcuenca y comparados con la parte más baja, estos valores tienden a incrementarse, incremento que es atribuido a la variación de la temperatura y precipitación existentes en el modelo.

Sin embargo, estos incrementos no son muy grandes por lo que asumimos un promedio por grado de riesgo. Sin embargo al mantenerse las áreas de riesgo en el mapa de riesgos, con el que generamos un mapa de atributos de áreas y valores de “z” diferentes e independientes para cada subárea, se obtienen valores de caudal sólido mucho mas altos a los obtenidos mediante un calculo general para toda la microcuenca.

El modelo, al considerar al factor “z” en su análisis, absorbe las variaciones que pueden existir en cobertura, suelos, pendientes, etc.

El análisis comparativo de las tasas de aporte de sedimentos de la microcuenca Qopa Corral es importante porque permitirá validar la utilidad de un estudio de Riesgos de Erosión y Degradación.

Consiguientemente, es posible valerse de un modelo cuya finalidad principal es la determinación de los volúmenes de sedimentación a la salida de una cuenca y prever las estructuras adecuadas para su control y estabilización del cauce principal y tributarios.

Es importante mencionar que este modelo por los componentes que considera dentro su análisis es orientado a la determinación de tasas de aporte para el diseño de presas, sin embargo para el caso de este estudio no se realiza dichas apreciaciones por no constituir parte de lo que se persigue, en

realidad lo que se pretende, es que este modelo sea otra opción con respecto a otros comúnmente utilizados. En tal virtud en este estudio se considera los posibles volúmenes de aporte de sedimentos generados por los distintos procesos erosivos, y a su vez estos resultados permitan la identificación de áreas específicas sean consideradas como tasas de erosión cuyos aportes pueden ser significativos. Y de esta manera contribuir a la identificación de zonas de intervención prioritaria y mejorar la planificación del espacio y tal vez lograr identificar que tipo de intervenciones son las adecuadas para cierto tipo de procesos erosivos.

En la ecuación Universal del cálculo de la pérdida de suelo revisado (RUSLE), recomienda con preferencia un valor de “R”, la realización de análisis de precipitaciones mensuales, quincenales y anuales, este último considerado poco preciso, frente a la distribución mensual a través de los cuales se puede considerar que meses contienen más peligro de erosión.

Tomando en cuenta estas consideraciones del Rusle, y de los otros factores que compone el modelo y salvando las distancias en sentido que RUSLE es un modelo estadístico y el Modelo de Djorovic es conceptual queremos también considerarlo a este como un modelo estimativo de tasas de erosión, ya que Djorovic en su modelo considera casi la totalidad de las variables de RUSLE, aunque este modelo contempla un mayor detalle, debido a que fue desarrollado y diseñado específicamente para la determinación de tasas de erosión.

Retomando el factor precipitación, Djorovic considera una media anual, la cual podría ser considerada como un valor de “R” equivalente a un valor relativamente bajo, por no considerar un evento extremo en el que se produce la mayor erosividad por parte de la lluvia.

Sin embargo en la microcuenca (área de estudio) el mayor porcentaje de la superficie se encuentra protegido (75%, con herbazales, vegetación silvopastoril y arbustales) y un porcentaje reducido se encuentra en áreas agrícolas con técnicas de conservación de suelos, concientizando para que en determinadas épocas del año, principalmente cuando se tiene las lluvias más intensas, estas áreas no sean utilizadas inadecuadamente por los comunarios y por el contrario aumente el manejo con técnicas de intervención.

Datos Disponibles

Consistió básicamente en el análisis final del proceso de cambio en el uso de la tierra del área de estudio, simplemente a través de comparaciones entre los valores porcentuales que representa cada clase dentro del área de estudio.

a. Datos Pluviométricos

Estudios hidrológicos del LHUMSS-PROMIC reportan lo siguiente:

Cuadro 1. Datos pluviométricos utilizados en el estudio.

Estación	Precipitación media anual
Janamayu	778.1
Linkhupata	646.2
Lag. Taquiña	831.7

Fuente: Laboratorio de Hidráulica

La información pluviométrica de las estaciones de Janamayu, Laguna Taquiña y Linkhupata, permiten obtener una estimación de la precipitación media anual (Pa) sobre la cuenca Taquiña.

b. Datos de Temperatura

Es ampliamente conocida la relación existente entre la temperatura media anual y la altitud. La gradiente regional de la temperatura media anual en función de la altitud es de 0.73 para cada 100 m de elevación, valor similar al de 0.8 °C c/100 m, reportado en estudios regionales existentes para esta variable (ESTUDIOS HIDROLOGICOS, 1995)

Estudios hidrológicos del LHUMSS-PROMIC reportan lo siguiente:

Cuadro 2. Datos de temperatura utilizados en el estudio

Estación	Temperatura media anual
Janamayu	9.25°C
Linkhupata	10.8°C
Lag. Taquiña	6.06°C

Fuente: Laboratorio de Hidráulica

RESULTADOS Y DISCUSIONES

De acuerdo a los objetivos del estudio y a la metodología adoptada, los resultados del presente trabajo están en función a tablas, gráficos y mapas, en los cuales se expresan principalmente, la situación sin proyecto y situación actual (con proyecto).

Los mapas de uso de la tierra del año 1993 fueron obtenidos en base a mapas preexistentes. El de 1999, se obtuvo a través de fotointerpretación, verificación de campo, datos estadísticos y retroalimentación informativa de los técnicos, de la misma manera se obtiene el mapa 2000

Los cambios que se pudo apreciar en el estudio fueron en los siguientes resultados:

- Cambios en mapas de Uso
- Cambios de mapa de Erosión
- Cambios de mapa de Riesgos
- Cambios en Tasas

Mapas Temáticos

En una etapa inicial se elabora los siguientes mapas a partir de fotointerpretación con verificación de campo:

- Mapa de Protección Vegetal-1999
- Mapa de Conservación de Suelos-1999
- Mapa de Protección Vegetal-2000
- Mapa de Conservación de Suelos-2000

a. Mapas de protección vegetal-1999 y 2000

Este mapa representa las intervenciones realizadas, con plantaciones arbóreas y arbustivas asociadas a medidas biomecánicas durante 4 años de intervención. Entonces a partir de datos estadísticos levantados en fichas durante los años 1997, 1998 y 1999 por técnicos del PROMIC y a partir de información proporcionada por los mismos técnicos se realiza este mapa, el mismo que se constituye en un insumo importante del mapa de Protección del Suelo.

b. Mapas de Conservación de Suelos-1999 y 2000

Este mapa representa las intervenciones realizadas, con medidas de conservación de Suelos, como ser terrazas de formación lenta, terrazas de absorción, labranza mínima, barreras vivas, cultivos en surcos en contorno y miniterraceo durante 4 años. Al igual que en el producto anterior este se obtuvo a partir de datos estadísticos levantados en fichas durante los años 1997, 1998 y 1999 por técnicos del PROMIC y a partir de información proporcionada por los mismos técnicos se realiza este mapa, el mismo que se constituye en un insumo importante del mapa de Protección del Suelo.

Una vez obtenido los dos mapas temáticos se procede a obtener el mapa de Protección del suelo a partir de la confrontación entre estos dos mapas en una matriz bidimensional. El producto de esta confrontación también resulta ser un insumo importante y relevante para los siguientes mapas:

- Mapa de Uso Actual de la Tierra 1999 y 2000
- Mapa de Unidades Erosivas 1999 y 2000

Mapas de Uso Actual de la Tierra 1993, 1999 y 2000

a. Mapa de uso Actual de la Tierra 1993

El mapa temático correspondiente a 1993 contiene las siguientes unidades de Uso:

- Uso agrícola
- Areas agrícolas degradadas
- Cárcavas
- Uso Pastoril
- Uso Silvopastoril

a.1. Uso Agrícola

Se subdivide a su vez en:

- Tierras con uso agrícola Intenso
- Tierras con Uso agrícola moderadamente intenso

Sin embargo, para este tiempo (1993) no era necesario esta subdivisión debido a que todo el uso agrícola era moderadamente intensivo.

a.2. Áreas agrícolas degradadas

Se constituyen en áreas en las cuales es imposible la práctica agrícola debido al acelerado avance de los procesos erosivos, debido a una utilización intensiva.

a.3. Cárcavas

Es un tipo de erosión sin uso alguno debido a la marcada degradación y deterioro donde la cobertura vegetal esta ausente, con presencia de algunos relictos de vegetación arbustiva rala. El aporte de sedimento de esta unidad hacia el cauce principal es permanente, aún con pequeñas lluvias.

a.4. Uso pastoril

Constituye un área en la cual predominan pastos de porte bajo, cerca a los afloramientos rocosos y de porte mediano a alto en las laderas y escarpes de talud.

a.5. Uso silvopastoril

Unidad en la cual predominan una asociación de pastos, arbustos de porte mediano a alto y especies arbóreas, sin embargo presenta cierto predominio de alguna de estas especies vegetales dependiendo del sitio fisiográfico.

b. Mapa de uso Actual de la Tierra 1999 y 2000

Los mapas temáticos correspondientes a 1999 y 2000 contienen las siguientes unidades de Uso:

- Uso agrícola intensivo
- Uso agrícola moderadamente intensivo
- Uso silvopastoril ralo
- Uso silvopastoril denso
- Uso pastoril
- Uso arbustivo denso
- Uso arbustivo ralo
- Cárcava activa

Para esta época observamos que unidades como silvopastoril, se subdivide de acuerdo a la densidad de cobertura existente, algo similar pasa con las áreas arbustiva, aspecto que no se observo para el periodo 1993.

c. Análisis Comparativo entre el mapa de Uso-1993 y mapa de Uso-1999

Cuadro 3. Superficies de Uso correspondiente a los periodos 1993-2000

Unidad de mapeo 1993	Superficie Ha.	Unidad de mapeo 2000	Superficie Ha.	Porcentaje
Uso agrícola	15.22	Uso agrícola intensivo	13.11	-13.86
Area agrícolas degradadas	2.58	Uso agrícola moderadamente intensivo	3.32	+22.2
Cárcavas	9.33	Cárcava activa	2.44	-73.84
Uso Pastoril	33.40	Uso Pastoril	19.38	-41.97
Uso Silvopastoril	4.16	Uso Silvopastoril ralo	3.86	-7.2
		Uso SilvoPastoril denso	10.29	
		Uso arbustivo denso	9.98	
		Uso arbustivo ralo	2.30	

A partir de un análisis de los mapas de uso de 1993 y 2000 se observa:

Que el área agrícola disminuye en 13.8 %, producto de la implementación del modelo de fincas (concentración de la agricultura) y esto da lugar a una disminución del riesgo.

El área agrícola degradada de 1993 es recuperada y aumenta en 22.2 % a un nivel manejable (uso agrícola moderadamente intensiva), la cual cuenta con medidas de conservación de suelos (barreras vivas y terrazas de formación lenta).

La cárcava activa disminuye drásticamente en un 73.8 %, sin embargo este porcentaje ha pasado a constituir otras unidades (Uso SilvoPastoril denso, Uso arbustivo denso y Uso arbustivo ralo) , producto de las intervenciones.

Esta disminución fue posible debido a intervenciones múltiples en las cárcavas como ser:

- Control y estabilización de taludes con medidas biomecánicas (biotrampas, banquetas) y biológicas (plantaciones).
- Manejo de aguas en cabeceras con medidas mecánicas y biomecánicas (diques de gavión y de madera).
- Control de cárcava con medidas mecánicas (diques transversales de gavión), para disminuir la erosión lateral y la erosión basal.

El uso pastoril disminuye en un 42%, debido a la plantación de especies arbustivas en esta zona, dando lugar a que se constituyan en arbustales ralos.

El uso silvopastoril disminuye en un 7%, pasa a unidades silvopastoriles densos.

Si analizamos de manera general vemos que en todas las unidades de 1993 hubo una disminución significativa, y la superficie que disminuye pasa a constituir nuevas unidades de uso, que son apreciadas en el 2000.

Mapa de Unidades Erosivas 1993, 1999 y 2000

a. Mapa de Unidades Erosivas 1993

El mapa temático correspondiente a 1993 contiene las siguientes unidades Erosivas:

- Cárcava Activa
- Deslizamiento
- Erosión laminar ligera
- Erosión laminar moderada
- Erosión laminar muy severa
- Erosión retrograda activa

a. Cárcava Activa

Unidad caracterizada por el alto aporte de sedimentos hacia el cauce principal, debido a la ausencia de cobertura vegetal en el cauce y taludes, a las fuertes pendientes y a la fragilidad del material que la compone (cuaternario glacial).

b. Deslizamiento

Se ubican adyacentes a las cárcavas activas, se constituyen en áreas que han sufrido un proceso transporte masivo (remoción en masa) debido a causas como ser: inadecuado manejo de áreas agrícolas, lubricación entre la roca y el suelo o sobresaturación del material suelo en rocas con buzamiento a favor del deslizamiento.

c. Erosión retrograda activa

Este tipo de erosión se presenta en inicio de cárcavas activas principalmente. Y es un avance gradual en profundidad, ancho y longitud en sentido opuesto a la pendiente de la cárcava. Generalmente es producido por el manejo de aguas en cabeceras o por el excesivo volumen de agua drenado hacia estos sitios.

Este tipo de erosión solo es posible controlarlo reduciendo la energía cinética del agua en cabeceras, disminuyendo su pendiente a partir de medidas transversales al flujo.

d. Erosión laminar ligera

Es un proceso de transporte de suelo de un sitio a otro, donde en lugares con fuertes pendientes y cobertura vegetal moderadamente densa, se origina un proceso de remoción del suelo debido al escurrimiento superficial excesivo y en algunos casos este material es depositado en sitios con menor pendiente y en menor de los casos arrastrado hasta el cauce principal. Este tipo de erosión laminar es típico de laderas.

e. Erosión laminar moderada

Unidad caracteriza por un transporte de material de sitios con fuerte pendiente y escasa cobertura vegetal hacia sitios con menor pendiente y con mayor densidad de cobertura vegetal. El volumen transportado es mayor que en la unidad anterior, así como la predominancia de este tipo de erosión.

f. Erosión laminar muy severa

Se diferencia de las anteriores en el mayor arrastre de material, debido a que en estos sitios la cobertura vegetal es menos densa que las anteriores unidades.

b. Mapa de Unidades Erosivas 1999 y 2000

Los mapas temáticos correspondientes al 1999 y 2000, contienen las siguientes unidades Erosivas:

- Cárcava Activa
- Cárcava Moderadamente activa
- Cárcava ligeramente activa
- Deslizamiento moderadamente activo
- Erosión retrograda ligeramente activa
- Erosión en surcos
- Erosión laminar ligera

La principal característica del mapa de unidades erosivas para esta época es la subdivisión de la cárcava activa en: Cárcava moderadamente activa y cárcava ligeramente activa. Los otros tipos de erosión son similares a las del periodo 1993, en sus características.

Con respecto a los otros grados de erosión laminar (Erosión laminar moderada y Erosión laminar severa), sus características son similares a las descritas en unidades correspondientes a 1993, variando solamente en ubicación y superficie, debido a intervenciones como ser:

- Terrazas de formación lenta con muros de piedra
- Labranza mínima
- Miniterraceo
- Terrazas de banca con taludes de tierra
- Zanjas de desviación
- Barreras vivas
- Cultivos de cobertura
- Siembra siguiendo curvas de nivel
- Incorporación de abonos verdes a los suelos
- Fertilizaciones orgánicas con compost
- Riego por aspersión

Análisis Comparativo entre el mapa Erosión-1993 y mapa de Erosión-1999

Cuadro 4. Superficies de Unidades Erosivas correspondiente a los periodos 1993-2000

Unidad de mapeo 1993	Superficie Ha	Unidad de mapeo 2000	Superficie Ha.	Porcentaje
Cárcava activa	9.33	Cárcava activa	2.82	-69.7
		Cárcava mod. Activa	3.08	
		Cárcava lig. activa	2.61	
Deslizamiento	4.03	Deslizamiento mod. Activo	3.39	-15.8
Erosión laminar ligera	2.77	Erosión laminar ligera	16.36	+490.6
Erosión laminar moderada	29.26	Erosión laminar moderada	27.90	-4.6
Erosión laminar severa	15.91	Erosión laminar severa	5.39	-66.1
Erosión retrograda activa	3.42	Erosión retrograda lig-activa	1.74	-49.1
		Erosión en surcos	1.40	

Analizando los resultados obtenidos, correspondientes a dos épocas (1993-2000), se observa:

Que la cárcava activa disminuye en un 69.7 %, debido a intervenciones en cabeceras, en taludes y en la cárcava, dando lugar a que las características cambie en cuanto a su intensidad y origine otros grados menores, como son las cárcavas ligeramente activas y cárcavas moderadamente activas. Sin embargo la superficie total de las cárcavas es de 8.51 ha frente a 9.33 que abarcaba la cárcava en 1993. Esto debido a que zonas estabilizadas y con una densidad alta de cobertura vegetal pasaron a constituir un área de erosión laminar y ya no parte de la cárcava.

A los deslizamientos activos en principio, se incorporaron medidas de conservación y plantaciones arbustivas, las cuales dieron lugar a que estos deslizamientos pasen a un grado inferior en cuanto a su intensidad, constituyendo deslizamientos moderadamente activos. Este deslizamiento disminuye en dimensión en un 15.8 % y en un grado inferior dentro la clasificación.

La erosión laminar ligera es una unidad muy importante en el marco del análisis, porque esta unidad aumenta en un 490 %, lo que significa que la disminución de los otros grados de erosión laminar como es la erosión laminar moderada y la erosión laminar severa aportaron con su superficie para el 2000 a la erosión laminar ligera. producto de las intensas medidas de conservación de suelos y plantaciones realizadas en esta unidad erosiva.

Con respecto a la erosión laminar moderada esta disminuye en un 4.6 % debido principalmente a las plantaciones arbustivas efectuadas en laderas. La superficie que cambia pasa a ser parte de la erosión laminar ligera.

Con la erosión laminar severa ocurre algo similar, debido a que también disminuye y su superficie para a constituir parte de la erosión laminar moderada y también parte de la erosión laminar ligera. Este grado de erosión disminuye en un 66 %.

Otro aspecto importante es lo que ocurre con la erosión retrograda, ya que esta es frenada e ingresa a un estado de estabilización, motivo por el cual esta erosión disminuye en un 49.1%, específicamente debido al manejo de aguas y del sistema de drenaje de la cárcava en cabeceras.

c. Mapa de Riesgos de Erosión y Degradación de Tierras 1993, 1999 y 2000

a. Mapa de Riesgos 1993

El mapa temático correspondiente a 1993 contiene las siguientes unidades :

- Muy alto
- Alto
- Moderado-Alto
- Moderado
- Bajo

Muy alto

Las áreas de Riesgo muy alto son las que presentan procesos erosivos muy activos, debido a su escasa cobertura vegetal, inadecuado manejo de los suelos, pendientes fuertes en un material litológico altamente inestable como es el del cuaternario glacial. Este riesgo se concentra en principalmente a nivel de cárcavas activas.

Alto

Este riesgo abarca parte de la cárcava activa y se concentra en la parte media de las laderas de la microcuenca, y se caracteriza por ser un área donde predomina la erosión laminar severa en pendientes fuerte (mayores a 55%), algunas áreas de cultivo inadecuadamente manejadas, cobertura vegetal de porte bajo y moderadamente densa y principalmente la presencia de un deslizamiento antiguo hizo que esta zona sea altamente inestable.

Moderado-Alto

Este grado de riesgo rodea al riesgo alto y muy alto y se sitúa específicamente en laderas y se encuentra distribuido en la parte alta, media y baja de la cuenca. Se caracteriza por la presencia de pendientes moderadas a fuertes, en material deleznable y con una cobertura silvopastoril densa y arbustiva moderadamente densa.

Moderado

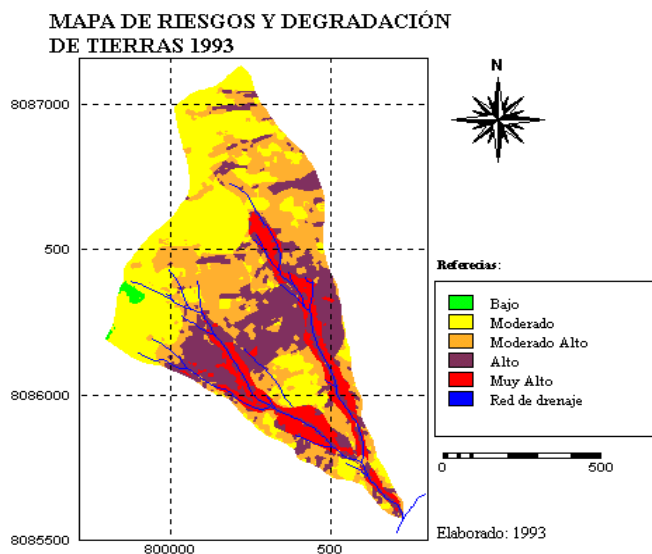
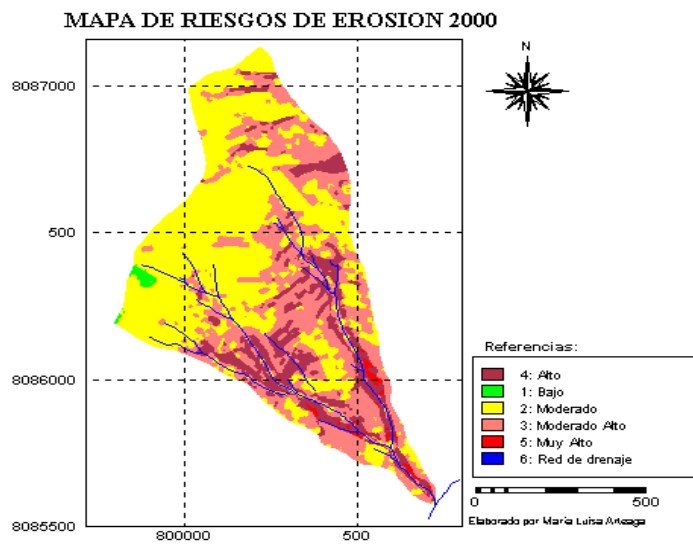
Se sitúa en la parte alta (con mayor proporción) y baja de la cuenca. La presencia de pendientes menores a 30% y afloramiento rocosos, así como cobertura herbácea de porte mediano a bajo densa en la parte alta de alguna manera la hace menos vulnerable a este grado de riesgo. Sin embargo a pesar de las fuertes pendientes en la parte baja, la cobertura densa es la que protege a esta unidad en la parte baja.

Bajo

Unidad estable donde la presencia de procesos erosivos activos es imperceptible, sin embargo son dos los componentes para que esta unidad tenga ese grado de riesgo, pendientes menores a 10 % y afloramiento rocosos.

d. Mapa de Riesgos 1999 y 2000

Los mapas temáticos correspondientes a 1999 y 2000 contienen las mismas unidades que el mapa correspondiente a 1993



c. Análisis Comparativo entre el mapa de Riesgos 1993 y el mapa de Riesgos-2000

Cuadro 5. Superficies de Riesgo correspondiente a los periodos 1993-2000.

Unidad de mapeo 1993 – 2000	Superficie 1993 Ha.	Superficie 1999 Ha.	Superficie 2000 Ha.
Bajo	0.34	0.34	0.34
Moderado	21.97	29.03	32.67
Moderado alto	19.57	19.82	21.73
Alto	16.10	12.12	9.34
Muy Alto	6.68	3.30	0.52

A partir del análisis de los mapas de Riesgos correspondientes a los periodos 1993 – 1999 y 2000, se aprecia que el riesgo bajo mantiene una superficie similar y la misma ubicación.

El Riesgo moderado es el que si tiene datos interesantes porque aumenta considerablemente debido al impacto de las medidas realizadas en las áreas de Riesgo Muy alto, alto y moderadamente alto, que sin lugar a dudas tuvieron su efecto, sin embargo es necesario continuar el monitoreo de estos sitios y del efecto de las medidas de control.

El Riesgo Moderadamente alto se mantiene en la misma ubicación y con las mismas superficies que el riesgo bajo, sin embargo eso no significa que no haya sufrido cambio alguno, sino que parte de la superficie correspondiente a este grado de riesgo a pasado a constituirse en áreas de riesgo moderado y una superficie similar de muy alto y alto riesgo a pasado a constituir el riesgo moderadamente alto, motivo por el cual no se observa cambios muy significativos en esta unidad, sin embargo si se observa muy bien los mapas se aprecia lo que se menciona.

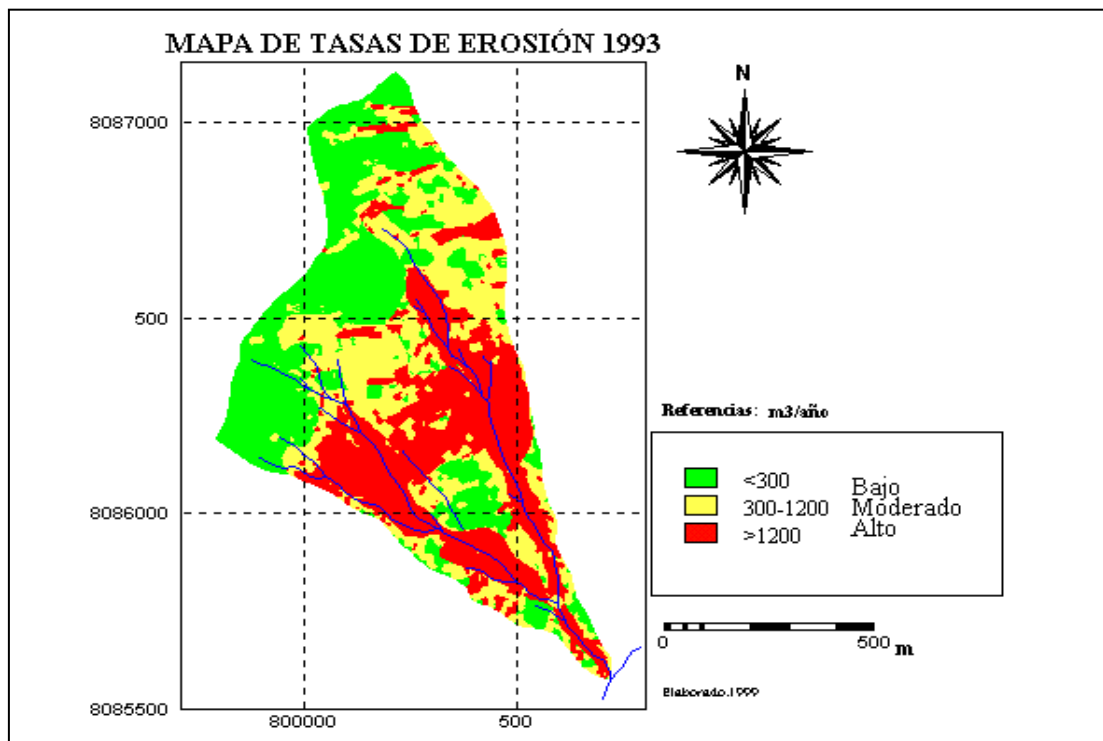
El Riesgo Alto tiene una disminución significativa, debido a una respuesta inmediata de la microcuenca hacia las medidas sin embargo esta disminución puede ser ya no con esa intensidad apreciada sino con mayor lentitud debido a que las mejoras complementarias requerirán de mayor tiempo para su apreciación.

El Riesgo Muy Alto es el que al igual que la unidad de Riesgo Moderado presenta cambios fuertes, porque disminuye drásticamente y este cambio es lógico, porque son precisamente en estos sitios donde se intensificó la implementación de medidas de control, por lo tanto esta dentro lo previsto esta respuesta. Sin embargo si observamos la microcuenca detenidamente podemos apreciar que pese a la aplicación de medidas similares en sitios activos, la respuesta no fue la misma, debido a que algunas áreas reaccionaron mas rápidamente que otras. Un mayor análisis de estos cambios micro puede ser un complemento futuro a este trabajo.

d. **Análisis Comparativo entre las tasas de aporte de sedimentos 1993-1999-2000**

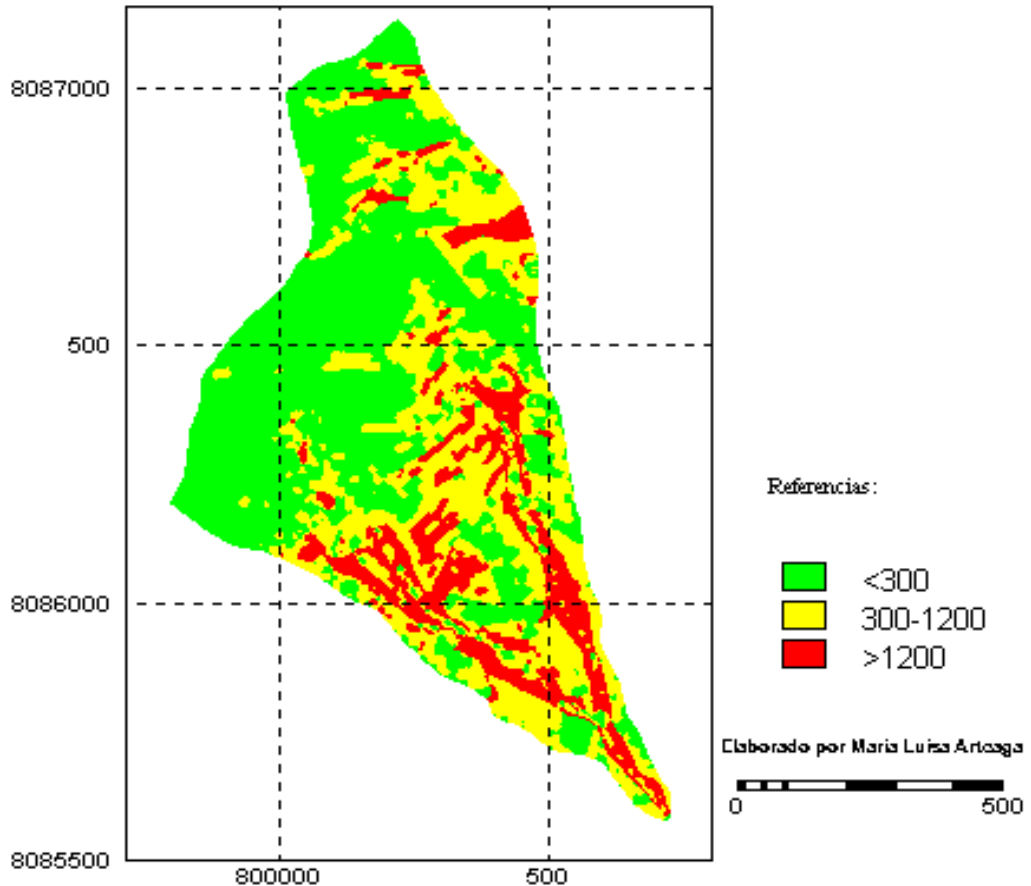
Cuadro 6. Análisis comparativo de Tasas de erosión, periodos 1993-1999-2000

Rango de tasas De erosión m ³ /ha	Superficie en ha. 1993	Superficie en ha. 1999	Superficie en ha 2000
<300	22.32	29.36	33.01
300 – 1200	19.57	19.81	21.73
> 1200	22.78	15.43	9.86



A partir del análisis comparativo de las tasas de erosión (1993-2000) de la microcuenca se puede apreciar que la tasa de erosión < a 300 m³/ha aumenta en 24.2%, debido a que las intervenciones hicieron que la erosión en laderas disminuya pero sin frenarse. Por otra parte la tasa de erosión entre 300 – 1200 m³/ha también aumenta, aunque mínimamente, siendo este aumento en 2.4%. Finalmente la tasa > a 1200 m³/ha disminuye en un porcentaje importante (34.3%), siendo que esta tasa en la gestión 1993 predomina en cárcavas activas y zonas de deslizamiento y producto de intervenciones importantes en cárcavas, principalmente en cabeceras frenando la erosión retrógrada, es que se produjo esta disminución.

MAPA DE TASAS DE EROSION 2000



Por lo tanto la disminución de una tasa alta a una baja es debido a la reducción de la erosión en laderas y cárcavas, pasando esta superficie de tasa alta de un grado superior a un grado inferior (tasa baja), razón por la cual la tasa baja aumenta en superficie.

CONCLUSIONES

- El SIG es una herramienta muy útil para el procesamiento de mapas temáticos como el de Uso, Geología, Erosión, Pendientes, así como para análisis espacial, técnico a partir del cual se elaboro el mapa de riesgos de erosión y degradación de tierras que enmarca la información de todos los mapas antes citados.
- El mapa de riesgos, permite el análisis y obtención de los valores del factor “z” que se adoptaran los cuales ingresan en el modelo, a través del cual se calculó la tasa de erosión según sus grados de riesgo de la cuenca para la gestión 1993-1999 y 2000.
- El modelo es un modelo estimativo, conclusión a la que se llego a partir del análisis de sus componentes, sin embargo es útil para el cálculo de tasas de erosión y no así para el cálculo de tasas de aporte de sedimentos a la salida de una cuenca.

- Los rangos mayores de tasas de erosión son los que se determinaron en el procesamiento de la fórmula en ILWIS.
- El uso de un solo valor de “z” ponderado sugerido en el modelo, refleja resultados con menor detalle, siendo estos resultados producto de un comportamiento general de las áreas de la microcuenca. Tratando de aprovechar lo máximo de la información proporcionada por el mapa de riesgos, se toma la decisión de utilizar valores de “z” promedio con el fin de considerar la variabilidad de los resultados como tasas de erosión y no así como tasa de aporte de sedimentos a la salida de la microcuenca.
- El mapa de riesgos de erosión y degradación, proporciona a través de cada una de sus áreas (grados de riesgo) datos estadísticos sobre las reducciones y ampliaciones de estas superficies, en función de los riesgos. Producto de las intervenciones y medidas aplicadas durante los años transcurridos entre 1993 y 2000.
- El modelo de Djorovic a nivel de áreas específicas debe ser analizado antes de su aplicación, porque los resultados independientes se consideran como tasas de erosión de estas áreas. Por tal motivo el hecho de obtener resultados más bajos con una “z” ponderado para toda la microcuenca en parte explica el hecho de que todos los sedimentos generados aguas arriba no llegan en su totalidad a la salida de la cuenca, en cambio si se considera una “z” promedio por área, este nos da valores más altos, los mismos que no llegaron en esas proporciones a la salida de la microcuenca.