

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA



**MODELAMIENTO AMBIENTAL PARA ANALISIS DE
SUSCEPTIBILIDAD EROSIVA EN LA CUENCA MEDIA Y ALTA DEL
RIO CAÑETE Y DETERMINACIÓN DEL MAPA DE EROSIÓN**

(SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICA)

Preparado por:

Ing. Cayo Leonidas Ramos Taipe

Julio 2001

1. INTRODUCCIÓN

La incorporación de áreas de cultivo en áreas no aptas para dicha actividad transforma constantemente y de manera irreversible la fisonomía del paisaje natural de las cuencas, introduciendo una serie de elementos nuevos que alteran las características geomorfológicas, hidrológicas, edáficas y botánicas.

Esta sustitución de unas especies por otras, que vendría a mostrarse claramente en un mapa de conflicto de uso supone, en si misma, un problema geomorfológico grave, lo que altera drásticamente, -en muchos casos-, la estabilidad de las laderas, favoreciendo su destrucción. Es este uno de los motivos mas importantes de la degradación de los recursos y de la susceptibilidad a la erosión hídrica por coincidir todas estas transformaciones con el período más lluvioso del año y se producen importantes procesos erosivos, así como numerosos movimientos en masa.

El objetivo del presente trabajo es desarrollar una metodología operativa para la cartografía de riesgos geomorfológicos y la estimación de la tasa de erosión de suelos a partir de los Sistemas de Información Geográfica. La utilización de este tipo de técnicas, nos ofrece la posibilidad de emplear múltiples y potentes herramientas de análisis espaciales, capaces de manipular y cotejar importantes volúmenes de información, al mismo tiempo que nos proporcionan una serie de posibilidades gráficas y alfanuméricas de sumo interés.

La zona de estudio seleccionado es la parte media y alta de la cuenca del río Cañete, por razones de insidencia de los **factores erosivos**. Para la aplicación del modelo ha sido necesario generalizar la información de manera que se tuvo que formar grandes grupos homogéneos de aproximación, para mostrar mejor la aplicación de la ecuación general de perdida de suelo; pero a partir de este trabajo, ya se esta en condiciones de manipular mayor información y además seleccionar y planificar un trabajo de campo previo, necesariamente.

Objetivo

El objeto del estudio es la estimación de la tasa de erosión en la cuenca media y alta del Río Cañete, tomando como soporte informático el ArcInfo y el ArcView.

En este trabajo se describe también la metodología utilizada para el modelamiento ambiental necesario para la estimación de la tasa de erosión, y la determinación del Mapa de Erosión, y el modelo finalmente obtenido servirá para el análisis del problema en la cuenca.

El modelo propuesto es un modelo de tipo técnico-geoespacial basado en la ecuación semiempírica denominada Ecuación Universal de Pérdida del Suelo (USLE) y la información secundaria sobre la distribución espacial de estas variables en la zona del proyecto.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

Erosión

La erosión se define como el desprendimiento y remoción de partículas de suelo por acción del agua y del viento. El agua es sin embargo, el agente más importante. Las condiciones meteorológicas y el clima, preparan el material parental para la erosión y la lluvia actúa como el mayor agente para la erosión. La cobertura vegetal, el tipo y

características del suelo, la geomorfología, la geología y los usos del suelo, establecen el grado de propensión del suelo a ser afectado por los agentes generadores de erosión

Para estimar la intensidad o la tasa de pérdida de suelo por erosión se emplea modelos de empíricos o de base física, en el presente trabajo aplicaremos un modelo semiempírico; pero para hacer referencia de los modelos de base física podemos mencionar que son resultado de la aplicación de las leyes de conservación de la masa y la energía:

$$\frac{\partial(AC)}{\partial t} + \frac{\partial(QC)}{\partial x} - e(x,t) = q_s(x,t)$$

A Area transversal del flujo
C Carga del sedimento en el flujo
E tasa neta de erosión
q_s tasa de sedimento de ingreso o salida por unidad de longitud de las laderas externas
esta ecuación fue desarrollado por Meyer y Wischmeier (1969)

Modelos de Erosión

Son modelos que nos ayudan a predecir la intensidad de la erosión por acción hídrica, La mayoría de modelos de la actividad erosiva han sido desarrollados para estimar en forma cuantitativa diferentes procesos erosivos, tal es el caso del:

a. Modelo empírico

El modelo mas sencillo, y se considera del tipo caja negra

$$Q_s = aQ^b$$

donde Q_s es la descarga de sedimentos, q es la descarga del agua, a y b son constantes que pueden ser calculados por mínimos cuadrados.

b. Modelo Musgrave

Modelo para estimación de pérdida de suelo por erosión hídrica, en este modelo de Musgrave la cantidad de erosión, está dada por:

$$E \quad (mm/año) = 0.00527 ECS^{1.35} x L^{0.30} x P_{30}^{1.75}$$

en donde:

C Cobertura vegetal
E Erosionabilidad relativa del suelo
S Pendiente en porcentaje
L Longitud de pendiente
P₃₀ Precipitación máxima en 30 min (mm)

c. Modelo SLEMSA

Este modelo Soil Loss Estimator for Southern Africa, fue desarrollado en zimbabwe

$$Z = K * X * C \text{ (tn/ha)}$$

- K pérdida media anual del suelo (t/ha)
X factor adimensional que combina longitud y grado de la pendiente
C factor adimensional que depende del manejo del cultivo

$$\ln K = blaE + a$$

$$a = 2.884 - 8.2109F$$

$$b = 0.4681 + 0.7663F$$

$$X = (L)^{1/2} (0.76 + 0.53s + 0.076s^2) / 25.65$$

X debe ser multiplicado por $Y = s / (0.572s + 0.428)$

$$C = e^{(-0.06i)} \quad \text{o} \quad C = (2.3 - 0.01i) / 30$$

d. Modelo Predictivo de Morgan, Morgan y finney

Solo para mencionarlo, este método emplea dos operadores, una fase hidráulica y otra fase de sedimentación

Fase hidráulica:

$$E = R(11.9 + 8.7 \log I)$$

$$Q = R e^{xp(-R_c / R_0)}$$

Fase de sedimentación

$$F = K(Ee^{-aA})^b \cdot 10^{-3}$$

$$G = CQ^d \text{ sen} S \cdot 10^{-3}$$

e. Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo (USLE)

Como se vio anteriormente existen diversos procedimientos y métodos para evaluar la tasa de erosión del suelo, pero de todos ellos, es quizás la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), la más aceptada entre las personas encargadas de la gestión de cuencas con fines de producción o de conservación. Dada la validez de este método para estimar la pérdida de suelo debido a la acción hídrica, la ecuación ha sido empleada en todo el mundo para numerosos propósitos y para muy diferentes condiciones. Los resultados obtenidos serán contrastados y ajustados con las mediciones efectuadas "in situ" en las diversas parcelas experimentales instaladas.

Esta ecuación fue finalmente modificada y desarrollada por Wischmeier y Smith 1978. La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, (Modelo USLE), se describe así:

$$E = R x K x S x L x C x P$$

donde:

E	Pérdida anual del suelo
R	Factor lluvia o índice de erosividad pluvial
K	Erosionabilidad del suelo
L	Longitud de la pendiente
S	Factor de pendiente
C	Factor de cultivo y uso
P	Factor de prácticas de conservación

Los factores L, S, C, y P son adimensionales y las unidades de K y E son similares en este caso (t/ha)

Factor Lluvia o Índice de erosividad Pluvial

Para la estimación de cada una de las variables existen modelos específicos que manejan los criterios de los que estas dependen; por ejemplo, la variable factor lluvia puede determinarse con base en la precipitación del mes más lluvioso y la precipitación anual. Algunos investigadores han propuesto que:

$$R = a (P_2 / P)^b$$

en donde:

P ₂ :	Precipitación del mes más lluvioso
P:	Precipitación del año.
b:	Exponente

ó puede determinarse con base en el concepto de Intensidad:

$$R = \frac{\sum (210 - 89 \text{Log} I_j) (T_j) I_{30}}{200}$$

ó R puede darse también por:

$$R = 2.375(PD_2) 0.513(PME_\chi) - 94.4$$

ó por:

$$R = a_1 PD_2 + a_2 PME_\chi + a_0$$

Para este caso, R está dado en función de:

PD ₂ :	Precipitación máxima diaria con período de retorno.
PME _χ :	Valor medio interanual de la precipitación del mes más lluvioso de cada año.
a ₀ :	Depende de la zona.

ó

$$R = e^{a_1} \times PME_\chi^{a_2} \times MR^{a_3} \times F^{a_4}, \text{ donde:}$$

MR:	Precipitación media de un período
PME _χ :	Valor medio interanual de la precipitación del mes más lluvioso de cada año.

ó según Roose (1995)

$$R = 1.73 * 0.5 * P$$

donde P = Precipitación media anual

ó según Morgan (1974) (para lugares de alta precipitación)

$$R = I_{30} (9.28P - 8,383) / 1000$$

donde $I_{30} = 75$ mm/h (valor recomendado por Weischmeier)

P = Precipitación media anual

Y finalmente según Foster

$$R = 0.276P * I_{30} / 100$$

Personalmente puedo recomendar el uso de los *tres últimos métodos*, por su flexibilidad y versatilidad para determinar el factor R.

Factor de Erodabilidad

La variable K (erosionabilidad del suelo), puede estimarse, de acuerdo con algunos investigadores, así:

$$K = a_1 M + a_2 Ma + a_3 b + a_4 c + a_5$$

donde:

M: Factor de Textura
Ma: Porcentaje de materia orgánica
b: Estructura del suelo
c: Permeabilidad

este factor se define como la resistencia del suelo al proceso de erosión y transporte, este factor depende de:

- La textura del suelo; asociados a la gravedad y mayor o menor fuerza de arrastre necesaria
- La arcilla, como base química de unión para formar terrones, entonces suelos con alto contenido de minerales y arcillas tendría mayor resistencia
- Las dos primeras propiedades estarán fundamentando la fuerza cortante del suelo en función de su cohesión y resistencia

Se ha podido revisar muchos métodos para determinar la erosionabilidad, y se puede recomendar como una primera aproximación, válida para estudios preliminares, el empleo del nomograma de Weischmeier, Jonson y Cross (1971), mostrado en la figura:

Factor Geomorfológico o topográfico (LS)

El Factor Geomorfológico (L,S) está dado por la inclinación y longitud de la pendiente, así:

$$L = a\lambda^m$$

en donde:

λ : Longitud de declive

$$S = a_0 + a_1 s + a_2 s^2$$

s: Pendiente en %

Así entonces, el producto LS es de la forma:

$$LS = a \lambda^a S^\beta$$

Este (LS) es el parámetro más difícil de evaluar, aunque habitualmente se utilizan las siguientes expresiones:

Un procedimiento sencillo de cálculo es el utilizado por la Facultad de Hidráulica e Hidrología de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes (Madrid). Este estudio ha permitido la elaboración de una tabla que nos permite asignar directamente a una ladera el valor del factor L.S en función de la pendiente.

GRUPOS DE PENDIENTES EN %	FACTOR L.S
0 - 3	0,3
3 - 12	1,5
12 - 18	3,4
18 - 24	5,6
24 - 30	8,7
30 - 60	14,6
60 - 70	20,2
70 - 100	25,2
> 100	28,5

Factor Cobertura Vegetal

Este factor se estima según la zona de trabajo, los conceptos del especialista y los requerimientos del estudio. Corresponde a un proceso de identificación de elementos, asociado con características propias de cada tipo de cobertura como la biomasa, capacidad de infiltración y pérdida de suelo reportadas bajo cada cobertura de vegetación. Estas características pueden evaluarse con base en ecuaciones matemáticas establecidas para el cálculo de la biomasa. Una de estas ecuaciones es de la forma:

$$\log P = a_1 \times \log T + b_1$$

donde:

P: Peso del árbol

T: Tamaño

a_1 y b_1 : Constantes

Para el presente trabajo se ha usado los valores de la tabla publicada por Wischmeier (1.978) que definen los valores de C para los tipos más comunes de cultivos, así como para las diferentes coberturas.

TABLA DE VALORES DE COBERTURA VEGETAL (C)

Cultivo y practica	Media anual del factor C
Suelo desnudo	1.0
Bosque o matorral denso (alto mulch)	0.001
Pradera herbacea en buenas condiciones	0.01
Pradera sobrepastoreada	0.1
Maiz, sorgo, alto rendto., laboreo convencional	0.20 – 0.55
Maiz, sorgo, alto rendto., sin laboreo convencional	0.50 – 0.90
Maiz, sorgo, bajo rendto., laboreo minimo	0.02 – 0.10
Maiz, sorgo, alto rendto., laboreo con chisel	0.12 – 0.20
Maiz, sorgo, bajo rendto., laboreo con chisel	0.30 – 0.45
Algodón	0.40 – 0.70
Pradera herbacea	0.01 – 0.025
Soya	0.20 – 0.50
Trigo	0.10 – 0.40
Arroz	0.10 – 0.20
Cacahuete	0.30 – 0.80
Frutales con cobertura vegetal	0.01 – 0.8
Caña de azucar	0.56
Arbolado denso	0,001-0,003
Arbolado forestal clareado	0,003-0,009
Arbolado muy clareado (25-60%)	0,041
Matorral con buena cobertura	0,003-0,013
Matorral ralo y eriales	0,20-0,013
Cultivos anuales y herbáceos	0,25
Pasturas	0,15
Plantas herbáceas y matojos (100%)	0,003
Plantas herbáceas y matojos (60%)	0,035
Cubierta escasa (60%)	0,15-0,09
Cubierta inapreciable	0,45

Factor prácticas de conservación de suelos: P

En la zona estudiada no se han observado prácticas de este tipo, por lo que este factor no se ha considerado, pero citamos la tabla como referencia:

PRACTICA DE CONSERVACION	Factor P
Cultivo a nivel s = 0 – 1°	0.60
Cultivo a nivel s = 2 – 5°	0.50
Cultivo a nivel s = 6 – 7°	0.60
Cultivo a nivel s = 8 – 9°	0.70
Cultivo a nivel s = 10 – 11°	0.80
Cultivo a nivel s = 12 – 14°	0.90
Bancales a nivel	0.14
Bancales a contra pendiente	0.05
Bancales con pend. Siguiendo la pend.	0.35
Bancales anivel con referencia de agua	0.01
Caballones enlazados	0.10 – 0.20

2. ÁREA DE ESTUDIO

La zona de estudio es la Cuenca Media y Alta de del Río Cañete, está situada en el Sur del departamento de Lima y Región central del país; en la carta nacional a escala 1:100000. Básicamente, el territorio considerado corresponde a la cuenca media y alta del río Cañete.

Esta cuenca se encuentra ubicada en la vertiente occidental de los Andes o vertiente del Pacífico, y se extiende desde el nivel del mar hasta las cumbres de la cordillera y queda enmarcado por las coordenadas UTM, 450000, 8499550, 450860 y 8500120 abarcando una superficie de 427,640.1 km² y un perímetro de 3831.922 km.

Geográficamente limita por el norte con la cuenca del Río Grande de Asia, por el oeste con el Océano Pacífico, por el este con la cordillera central y por el sur con la cuenca del río Pisco.

Políticamente la cuenca se encuentra dentro del departamento de Lima y las principales vías de acceso son la carretera panamericana sur y sus derivaciones.

La variación altimétrica correspondiente tiene un amplio rango, comenzando de 400 msnm en la parte mas baja hasta la cota de 4200 msnm en la parte más alta, lo que se traduce en una altitud media de 3125 msnm. La mayor parte de la cuenca se encuentra en la parte media y alta, de acuerdo a la curva hipsométrica y el polígono de frecuencias de las áreas.

Característica Hidrográfica

Hidrograficamente el Río Cañete tiene sus orígenes en las lagunas de la parte alta de la cuenca y se alimenta con las precipitaciones que caen en la parte media alta de la cuenca colectora con una aportación de los deshielos de nevados existentes en la zona.

A lo largo de su recorrido el río principal toma diferentes nombres y recibe el aporte de numerosos afluentes, entre los cuales se encuentra mmmm, y cccc que conforman una red colectora de (1698) km².

Características Morfológicas

La pendiente media del río Cañete varia de 7% en su curso superior a 5% en el curso medio y 1% en la parte inferior. La ultima parte lo constituye la zona agrícola de la cuenca y en la parte mas baja, que no incluye el presente trabajo se encuentra el cono de deyección.

Tiene una fisiografía escarpada, con presencia de quebradas estrechas de fuerte pendiente y bordeado por cadena de cerros.

Mayormente se puede encontrar en la zona depósitos geológicos de rocas sedimentarias, metamórficas, intrusivas y volcánicas.

Climatología

La climatología de la cuenca corresponde a 4 estaciones pluviométricas de la cuenca, pero por analogía con cuencas similares puede afirmarse que los parámetros climatológicos varían con la variación de la altitud en la cuenca.

Así la temperatura varía desde los 18 °C en la costa hasta los 0°C en la parte de los nevados, la humedad relativa varía desde un promedio de 83% en la parte baja hasta un 50% en las partes más altas.

Los vientos de la zona baja provienen normalmente del sur, con una velocidad media de 13,5 km/hr, en cambio los vientos de las partes altas provienen del suroeste con velocidades promedio anual de 15.6 km/h.

La precipitación varía a lo largo de la cuenca casi en forma proporcional a la altitud, así tenemos precipitaciones del orden de 400mm/año en la parte baja hasta los 900mm/año en la parte alta.

Hidrología

El ciclo hidrológico presenta dos periodos bien diferenciados, uno con abundancia de producción de agua y las descargas llegan al 50 o 70% del volumen anual, y un periodo de estiaje en el cual las descargas caen a un 8 o 20%.

De acuerdo a las referencias del río y el uso del agua del mismo se puede considerar que la calidad del agua en la cuenca, es buena.

En este ítem nos referiremos a la red de drenaje, y podemos afirmar que las descargas del río Cañete son torrentosos e irregulares.

3. MATERIALES:

- Carta nacional a escala 1/100 000
- Fotografías Aéreas monocromáticas, vuelo 1962
- Notas Hidrometeorológicas del curso de Hidrología (DRAT)
- Estudio de Recursos Naturales, ONER 1964
- Diversos trabajos referidos a la cuenca del Río Cañete
- Softwares: Mapscan
 - Autocad 14 /2000
 - ArcInfo 3.1
 - Arc View 3.1
 - Fotoeditor para escaneado de imágenes
- Pc Pentium y una impresora de inyección a colores.

4. METODOLOGÍA UTILIZADA

Es necesario aclarar que la metodología para modelizar un determinado objetivo como es el caso de los mapas de erosión, es importante la realización de un trabajo de campo y trabajo de laboratorio, en cuanto a los factores geomorfológicos, de cobertura y suelo principalmente, aunque los dos primeros, podrían suplirse en parte con una información de Imágenes de Satélite o Fotografías Aéreas.

Por lo que para el presente trabajo la metodología fue básicamente de gabinete, consecuente a obtener como resultado una serie de tablas alfanuméricas y material cartográfico, sintetizados en el Mapa de Estados Erosivos.

- Análisis de la composición, identificación de los nuevos atributos



5. Organización De Los Datos Geográficos Para Análisis

La organización de los datos en un SIG son muy importantes, puesto que esto influenciara en la eficiencia del modelo, y estará en función de los tipos y magnitud de los datos usados.

En el presente trabajo, por emplear básicamente mapas convencionales, se ha organizado en forma monotemática o por disciplinas.

Se ha tenido mucho cuidado en uniformizar las escalas de trabajo y la ubicación temporal de la información.

Digitalización y Transformación De Formatos

Los datos se han conseguido como mapas en escala de 1/100,000 de diferentes presentaciones, antes de trabajar en el pc ARC/info, previamente se ha Scaneado por partes cada uno de los mapas y se exportaron al Mapscan, donde se le ha dado el formato de Vectores a cada uno de ellos.

Una vez que las coberturas estuvieron convenientemente vectorizadas, se traslado a un formato CAD para trabajarlo en el Autocad, en ella se le ha dado capas a cada polígono de interés, y sobre todo se le dio la georeferenciacion. En esta etapa se genero el mapa base de manera que todas las coberturas que se produzcan puedan hacerse un overlay sin ningún problema de exceso ni defecto en las áreas de la cuenca.

El proceso siguiente es el traslado de los mapas al Pc Arc Info, y se ejecuto con el procedimiento de cambio de formato desde DXF a un ARC, permitiendo crear toda la base de información con la alternativa de \$rest.

6. DISEÑO DEL MODELO

El proceso de modelamiento consiste en orientar convenientemente las coberturas con su base de datos, desde una definición de las variables y categoría de los atributos con la finalidad de obtener un producto con la conjunción de todas las variables.

Para definir el modelo se partió de la necesidad de determinar la tasa de perdida de suelo por hectárea y por año, en cada espacio de la cuenca analizada, por lo que fue imprescindible aplicar una metodología de calculo que tuvo como columna vertebral la USLE (Universal Soil Loss Equations).

La determinación de la tasa de perdida de suelo, permite adicionalmente identificar las *zonas de Riesgo*, y el uso del SIG nos permite identificar dichas zonas, y cartografiarlos.

Las variables de análisis en la USLE se han detallado convenientemente en el Item 1 – e.

7. OBTENCIÓN DE LAS VARIABLES

La zona de estudio se caracteriza por no poseer información específica sobre variables geomorfológicas/geológicas, ni Medioambientales. Por lo que se ha determinado los mapas sobre la base de la información de la carta nacional a escala 1/100000, y con la ayuda de fotos aéreas de la zona.

La información disponible se he scaneado asignando una extensión IPG, consiguiendo leer este archivo con el software MapScan, el cual me permitió vectorizar y grabar con el formato DXF.

El formato DXF es factible de ser leído por el Autocad, software que posibilita mejorar el arte expresivo de los mapas, etapa en la cual se georreferenció mediante un sistema de coordenadas UTM La matriz geográfica empleada viene definida por las siguientes coordenadas:

- Mínimo de X: 449930
- Máximo de X: 450920
- Mínimo de Y: 8499540
- Máximo de Y: 8500240

7. DESARROLLO DE LAS VARIABLES Y RESULTADOS OBTENIDOS

- **Mapa Base** (sin ser una variable es el mapa primordial)

Este mapa consta de los límites de la cuenca, delimitado según lo explicado anteriormente ítem 2, y contiene las curvas de nivel y la red de drenaje.

Este mapa se ha digitalizado empleando el Mapscan y se desarrollo en AUTOCAD-14, a partir de la cartografía a escala 1:100.000
Ver mapa N° 1 en el anexo No 1

- **Índice de erosión pluvial: factor R**

Se refiere básicamente a la energía cinética de los aguacero. Con este factor se mide la erosionabilidad de los aguaceros o el denominado Índice de erosión pluvial (R).

La precipitación de la zona varía desde 400 mm hasta cerca de 1000 mm por año, con una marcada estacionalidad en los meses de Diciembre – Abril en el cual se presentan las mayores precipitaciones, ocasionando altas intensidades.

El factor R que se encuentra involucrado en la USLE se determino empleando las ecuaciones de Roose, Morgan y Foster, y con castigo por seguridad de hasta el 30%.

Con el calculo de este factor se determino que su valor toma un mínimo en 258 y un máximo con 308. Este mapa se muestra en el plano de isoyetas, mapa N° 2.

- **Índice de erosionabilidad del suelo: factor K.**

Cabe recordar que este parámetro debe ser determinado efectuando el muestreo y posterior análisis de los suelos y de las formaciones detríticas superficiales que configuran la zona de estudio.

En este caso se partió diferenciando las situaciones estructurales desde la fisiografía de la cuenca apoyado en la carta nacional y las fotografías aéreas, tomando en cuenta de dotar los valores de K más elevados por ende de mayor erosionabilidad a las áreas cuyos suelos han sido alterados (lo que implica una disminución del contenido en materia orgánica, destrucción de los horizontes edáficos, cambios en las condiciones texturales, etc.), mientras que los valores más bajos se asignan a las áreas con alta vegetación y mayor estabilidad.

En esta etapa de asignación de los valores del factor K, se ha empleado el nomograma de Weischmeier, Jonson y Cross 1971)

En la cuenca se puede observar variadas condiciones de geomorfología, fisiografía y condición textural de los suelos, por lo que se ha agrupado en grandes grupos:

- **Estable** (K = 0.28): Es la zona que involucra los mayores establecimientos de cultivos, presentan amplias zonas con manejo de cultivos muchos de ellos extensivos, normalmente la profundidad del suelo esta en mejores condiciones al resto, 0 – 40 cm, o mas, presenta baja permeabilidad y por lo tanto la velocidades que puede alcanzar el escurrimiento son bajas.
- **Con desprend. de rocas** (K = 0.48): Es una zona correspondiente a los depósitos coluvio aluviales y morrenas, con posibilidad de desprendimiento de masas de suelo, y presentan taludes fuertes. Encontramos también zonas con rocas desnudas y otras con material volcánico; presentan permeabilidades moderadas y altas. La profundidad del suelo esta en el orden de 0 – 20 cm.
- **Sin desprend. roca** (K = 0.30): Zonas medianamente estables conformados por suelos coluvio aluviales, con permeabilidad moderada – alta. La profundidad del suelo varia en promedio de 0 – 25 cm.
- **Glaciar**. Son zonas con restos de glaciar y morrenas glaciares, presenta rocas ígneas y materiales clásicos y además algunas zonas con suelo fino superficial, la permeabilidad es muy alta por las presencia de fallas y figuraciones y la profundidad del suelo es baja (0 – 10 cm).

Este factor esta representado en el plano de morfología, mapa N° 3.

- **Mapa de Pendientes y factor LS**

Este mapa se obtuvo delimitando a partir de la carta nacional a curvas de nivel las pendientes se determinaron en %, estableciéndose los siguientes intervalos:

- 0 - 12 %
- 18 - 30 %
- 30 - 70 %
- 70 - 100 % o mas

El factor topográfico (LS) depende del declive y de la pendiente de la ladera.

La zona de estudio presenta una amplio rango de pendientes, siendo las pendientes mayores de 30%.

Ver el mapa N° 4.

- **Mapa de Vegetación y factor C**

Se ha digitalizado manualmente utilizando como soporte el Mapa de Vegetación de INRENA, el resultado de la digitalización se ha exportado a ArcInfo (desde AUTOCAD-14),

empleando para ello la rutina Dxf Arc. La información obtenida se ha completado y contrastado con la proporcionada por las fotografías aéreas anteriormente mencionadas.

La cobertura vegetal cumple un papel muy importante en el equilibrio ecológico y sus características se resumen en los siguientes:

- La cubierta vegetal, intercepta la lluvia, disminuyendo la acción destructora de la gota de lluvia.
- La estructura del suelo y su porosidad son mejorados por la presencia de las raíces de la vegetación especialmente de los arbustos y arboles.
- Las raíces permiten dar mayor estabilidad al suelo.

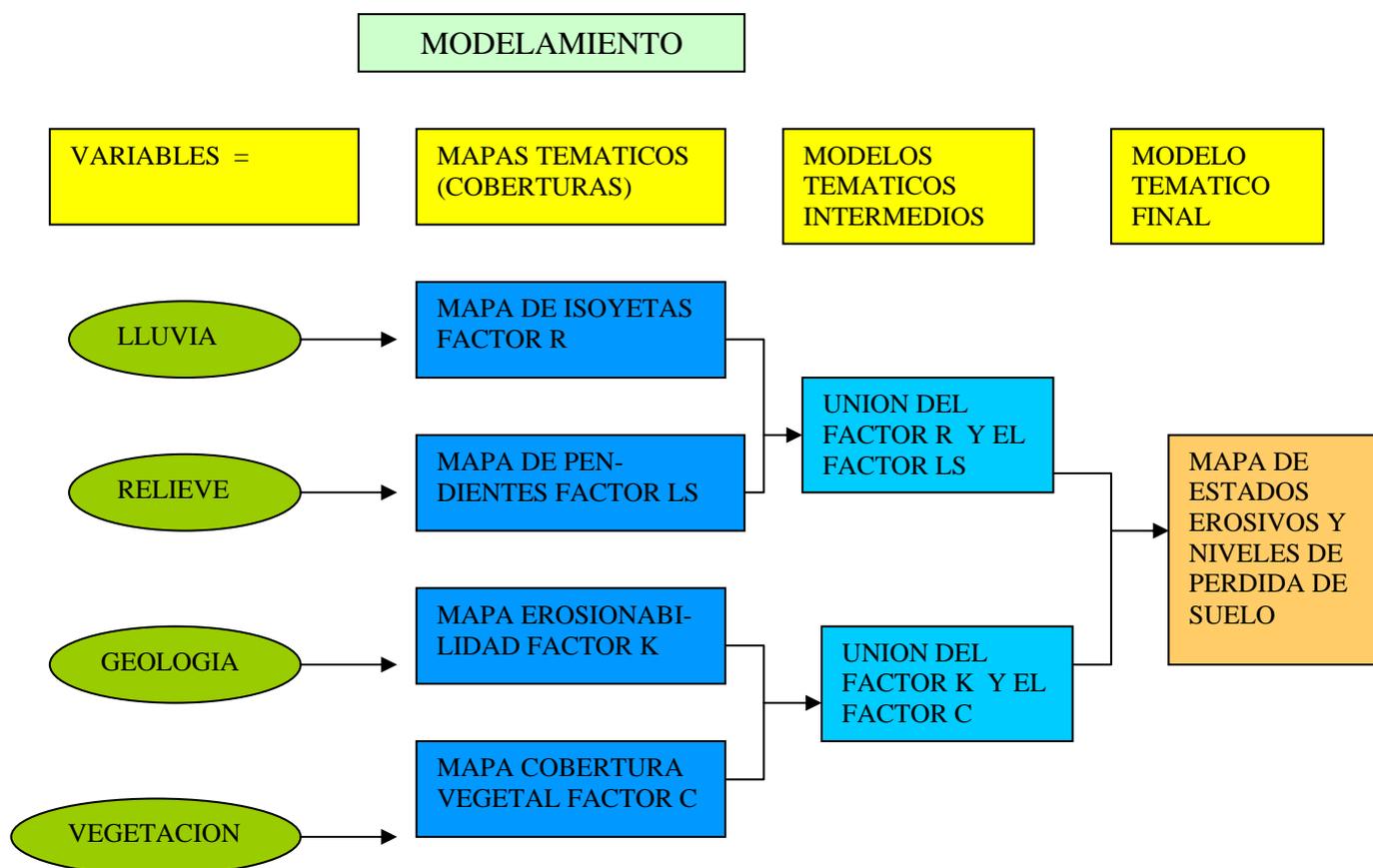
El factor C que interviene en la USLE fue determinado haciendo uso de la tabla presentada en el ítem 1 – e, cuyo autor es Weichmeier, 1978.

Este factor está mapeado en el mapa N° 5

- **Factor prácticas de conservación de suelos: P**

En la zona estudiada no se han observado prácticas de este tipo, por lo que este factor no se ha considerado.

La interacción de los factores permite conocer con la ayuda de la USLE los niveles de pérdida de suelo y para la obtención del modelo temático final se elaboró modelos temáticos intermedios y su unión secuencial nos produce el Modelo Final (el esquema se muestra en la siguiente figura)



Las coberturas obtenidas son:

- a. Mapa base
- b. Mapa de pendientes – factor LS
- c. Mapa de cobertura vegetal – factor C
- d. Mapa de isoyetas – factor R
- e. Mapa de erosionabilidad del suelo – factor K
- f. Modelo temático intermedio Isoyetas – topografía. Ver Mapa de Erosividad y Topografía. En base a la matriz multiplicativa $R * LS$ (ver mapa N° 6)
- g. Modelo temático intermedio Geomorfología y cobertura vegetal, ver el Mapa de Geomorfología y Cobertura Vegetal. En base a la matriz multiplicativa $K * C$. (ver mapa N° 7)
- h. Finalmente uniendo los dos modelos temáticos intermedios se obtiene el Modelo Final en base a la matriz multiplicativa $R*LS*K*C$. (ver mapa N° 8)

8. SINTESIS Y CONCLUSIONES

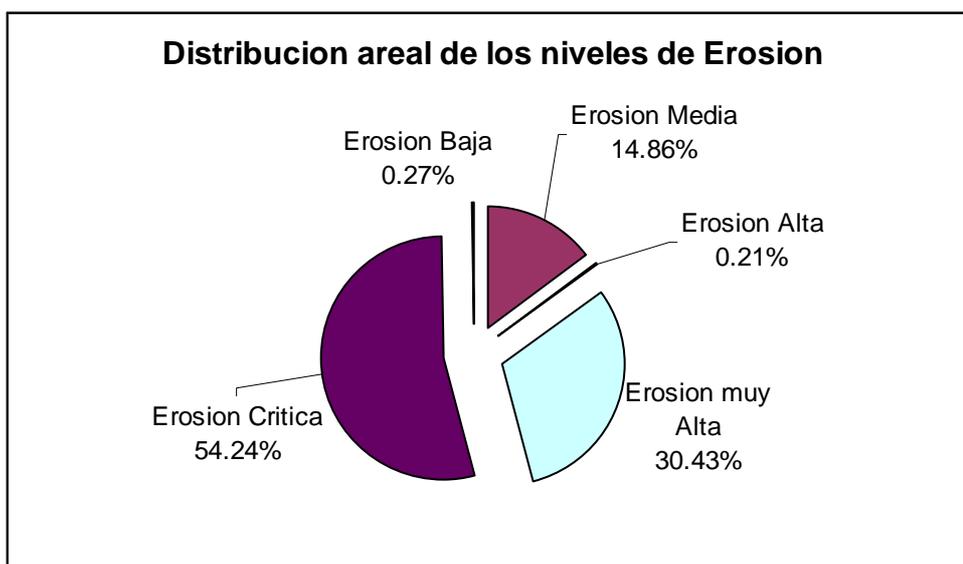
La elaboración del mapa de estados erosivos según el modelo USLE se realizó por medio de la superposición (análisis espacial) de los diversos mapas elaborados con los factores reseñados anteriormente (K, L.S, C, R). Empleando el ArcInfo, en su modo vectorial, el cual nos permite manejar y analizar importantes volúmenes de información, así como plasmar gráfica y numéricamente los resultados del análisis.

Con todo ello se tiene elaborado el mapeo de las zonas afectadas por los distintos grados de destrucción de suelos, agrupando los valores en una serie de intervalos que nos permitan localizar, de forma rápida y precisa, las zonas de máximo riesgo. Los niveles de pérdidas de suelo considerados son los siguientes

Erosión baja	$A < 5 \text{ Tm/ha/año}$
Erosión moderada	$A = 5 - 25 \text{ Tm/ha/año}$
Erosión media	$A = 25 - 50 \text{ Tm/ha/año}$
Erosión alta	$A = 50 - 100 \text{ Tm/ha/año}$
Erosión muy alta	$A = 100 - 200 \text{ Tm/ha/año}$
Erosión crítica	$A > 200 \text{ Tm/ha/año}$

El límite de erosión aceptado internacionalmente como admisible oscila en torno a las 10-12 Tm/ha/año, aunque creemos que en zonas húmedas esta cifra puede elevarse hasta las 25 Tm/ha/año. Por encima de esta cifra no se garantiza la conservación de los suelos, ya que la destrucción es más rápida que la creación de suelo. Los resultados obtenidos se plasman en el cuadro y en el mapa adjunto.

Solo el 15.13% de la cuenca analizada no presenta problemas graves de erosión, y el 84.87% (unos 374788,78 km²), tienen pérdidas importantes de suelo. En todos los casos, son zonas sometidas a explotación agropecuaria intensiva, a un sobrepastoreo intenso, estando ubicados en zonas muy frágiles, sumado a ello la deforestación de los árboles nativos. Suelen estar dominadas por pendientes fuertes y presentan litologías o recubrimientos favorables al desmantelamiento erosivo. En situaciones alarmantes se encuentran 54.24 % de la cuenca 231843.050 Km² (erosión crítica).



MAPA DE ESTADOS EROSIVOS

Los resultados se puede observar en el mapa de estados erosivos.

CONCLUSION

En definitiva, los factores que controlan los procesos erosivos son los siguientes:

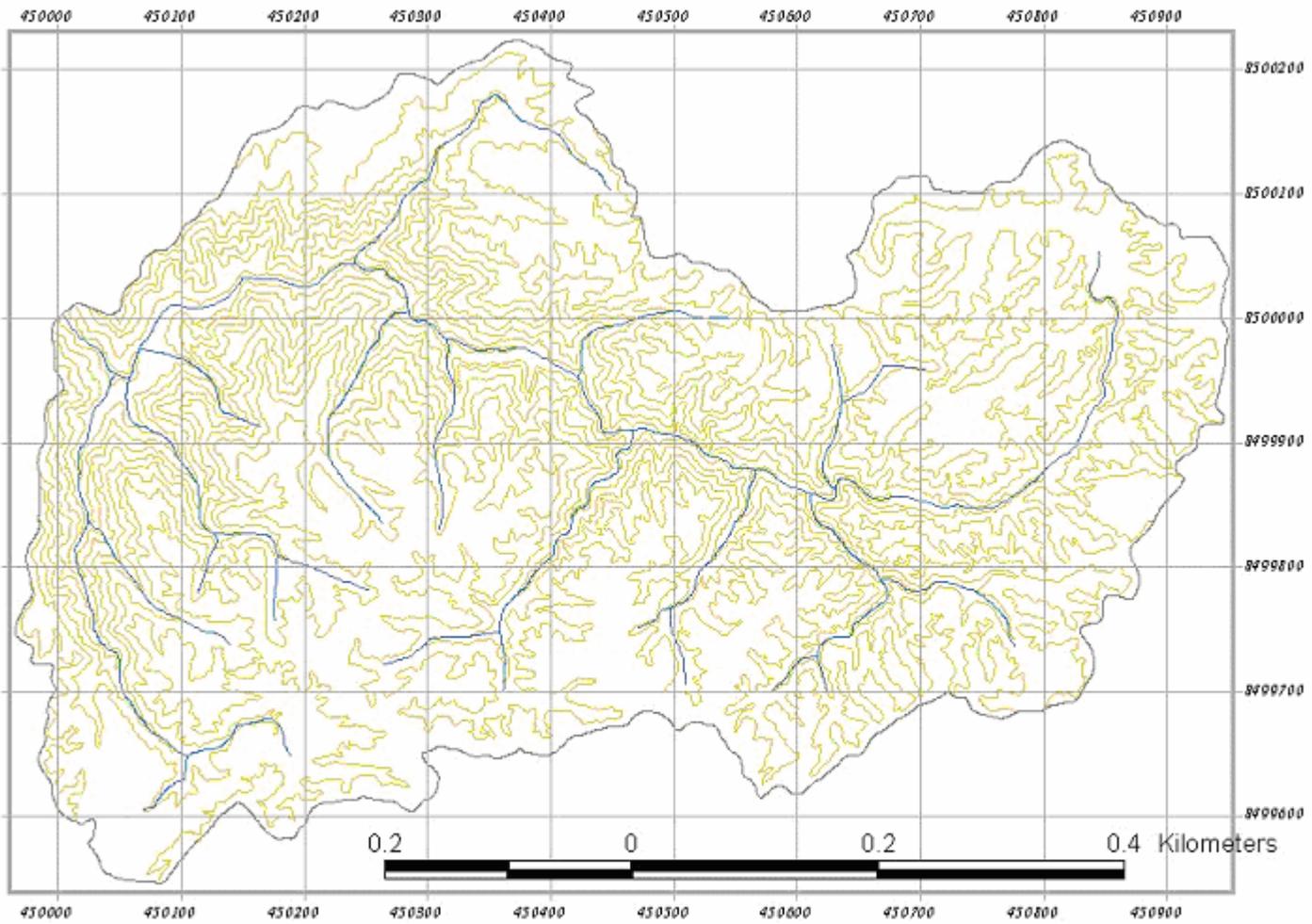
1. Ausencia de cobertura vegetal, o la eliminación de ella. La masiva ocupación por parte de cultivos de corto periodo vegetativo, se traducen en elevadas pérdidas de suelo, sobre todo si una vez eliminada la cubierta vegetal se efectúan labores agresivas de pastoreo en laderas
2. Pendientes Fuertes. El 49 % de la cuenca estudiada está dominado por pendientes superiores al 30%, lo que nos indica que estamos ante una topografía abrupta, dominada por laderas pronunciadas que favorecen los procesos erosivos (incremento de la velocidad del agua de escorrentía).
3. Acusada torrencialidad de la zona. No hay que olvidar que estamos en una zona montañosa, donde tienen su nacimiento una serie de arroyos y torrentes que salvan un desnivel importante en unos pocos kilómetros.

En definitiva, parece evidente que nos encontramos ante un problema muy serio que amerita establecer un plan de manejo integral de la cuenca media y alta del río Cañete, en el cual una de las actividades mas importantes debería ser la conservación del medio ambiente a través de la recuperación y conservación del suelo con las practicas mecánicas ampliamente conocidas y dirigidas por instituciones tales como el PRONAMACHCS. Mantenimiento o instalación de una cubierta forestal en las zonas más críticas de la cuenca que permitiría minimizar e incluso eliminar los procesos erosivos relacionados con la erosión hídrica.

9. BIBLIOGRAFÍA

1. ALBERTO, F. (1.989). Consideraciones edáficas sobre la reforestación en el Pirineo aragonés. En: Evolución ecológica de las áreas reforestadas en el Pirineo Aragonés. C.S.I.C.
2. MORGAN, R.P.C. (1997) Erosión y Conservación del Suelo, edi. Mundi Prensa.
3. MINISTERIO DE RELACIONES EXTERIORES (1998), Manual de Zonificación Ecológica – Económica para la Amazonia Peruana.
4. Aplicaciones diversas del Sistema de Información Geográfica.

Ing. Cayo Leonidas Ramos Taipe

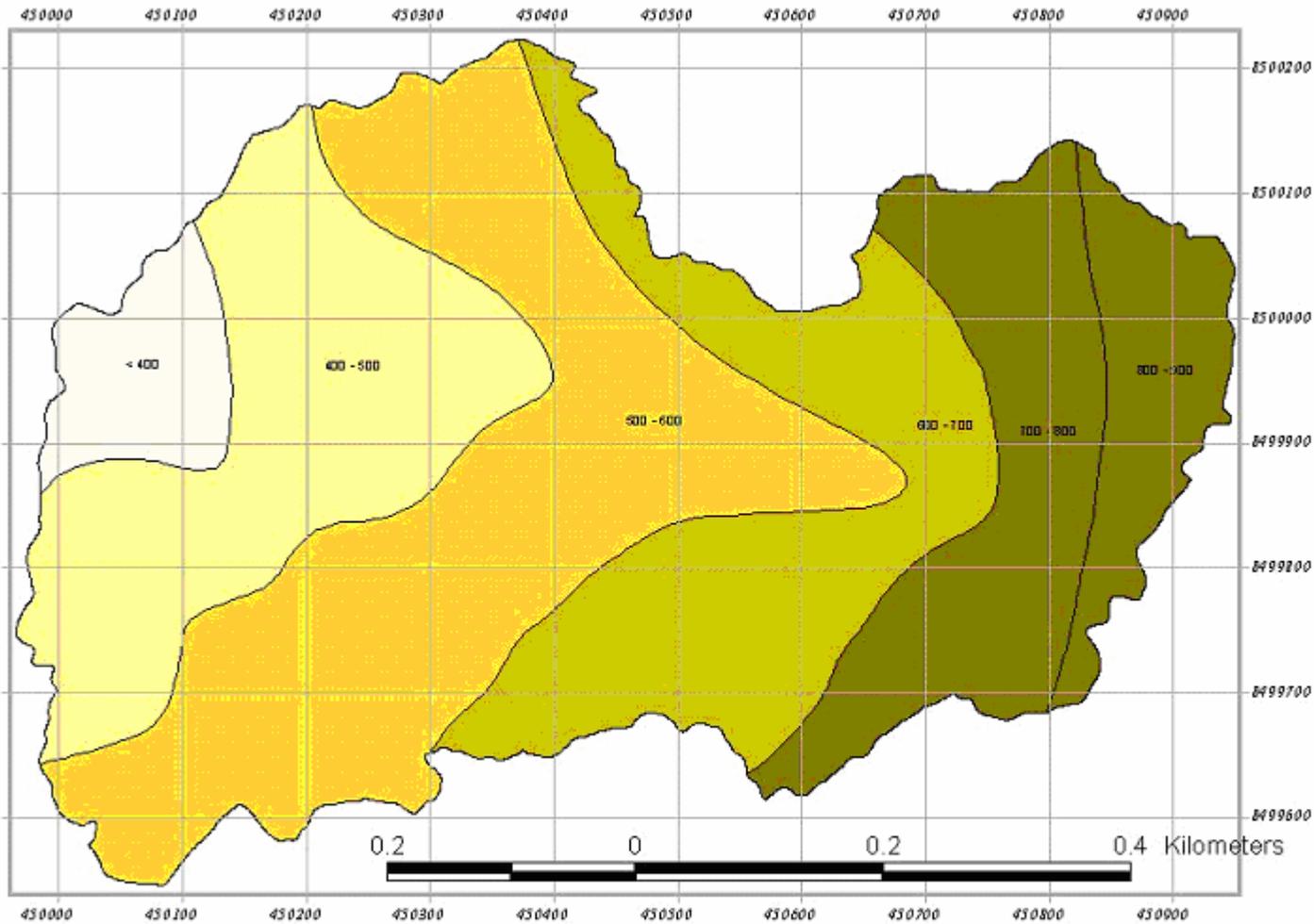


Leyenda

	Curvas de nivel		Rios
---	-----------------	---	------

UNALM -	
PLANO BASE	
Gestion de Calidad del Suelo	1

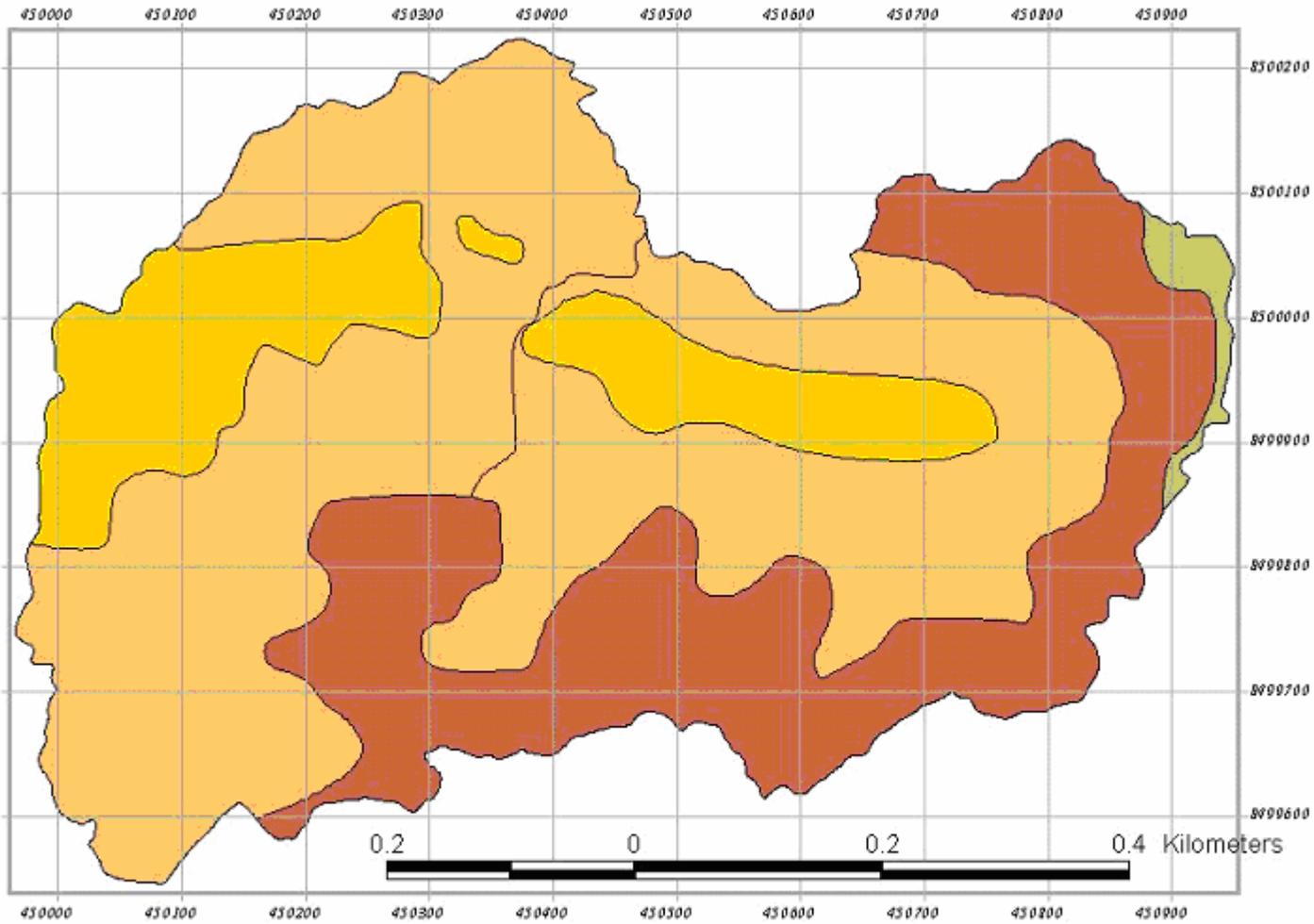
Ing. Cayo Leonidas Ramos Taipe



Leyenda		
Isoyetas		269 - 278
	258	279 - 288
	259 - 268	289 - 308

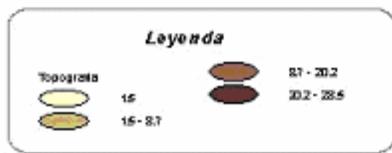
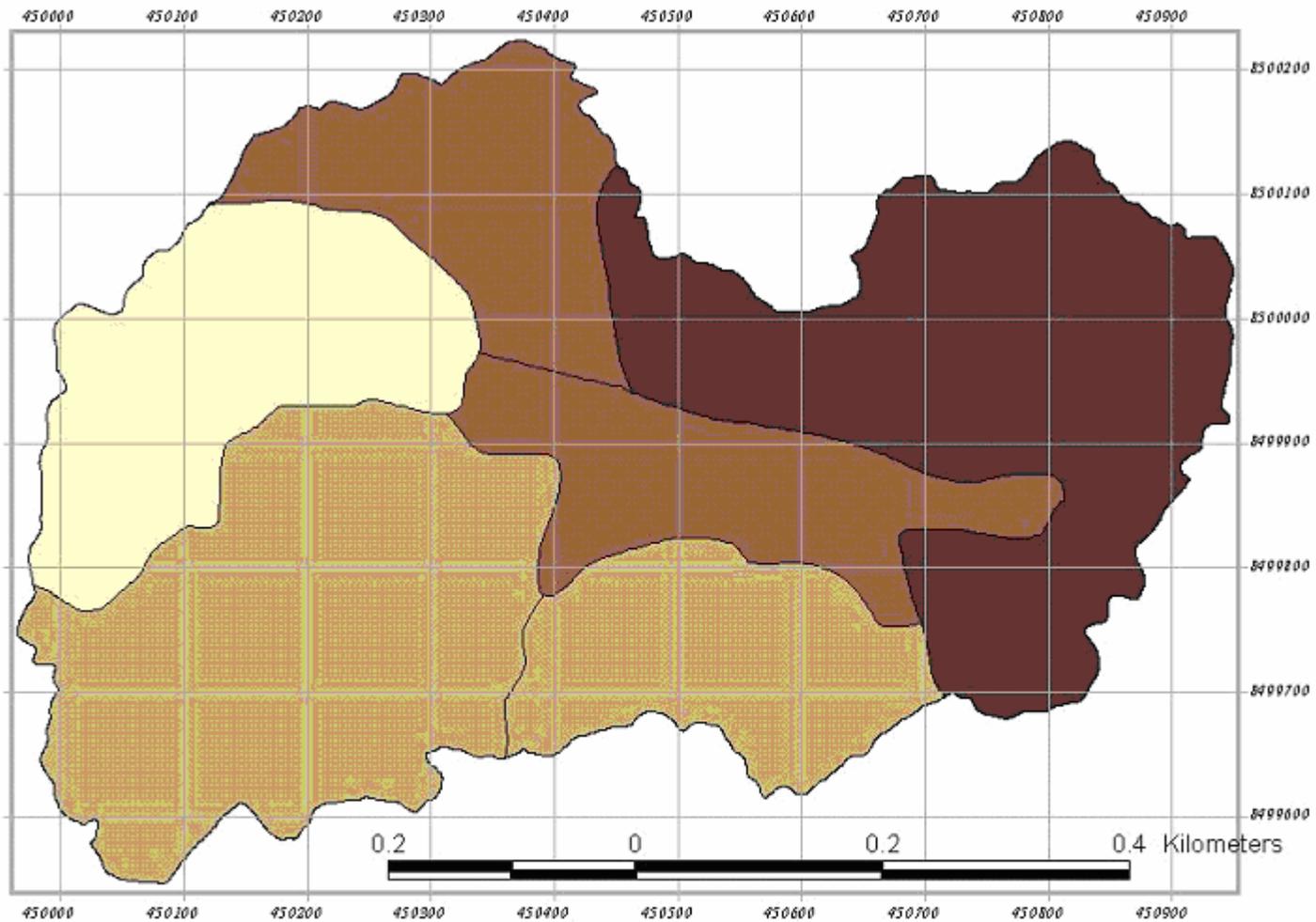
UNALM -	
MAPA INDICE ERSION PLUVIAL - Factor R	2
Gestion de Calidad del Suelo	

Ing. Cayo Leonidas Ramos Taipe



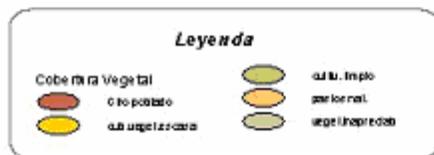
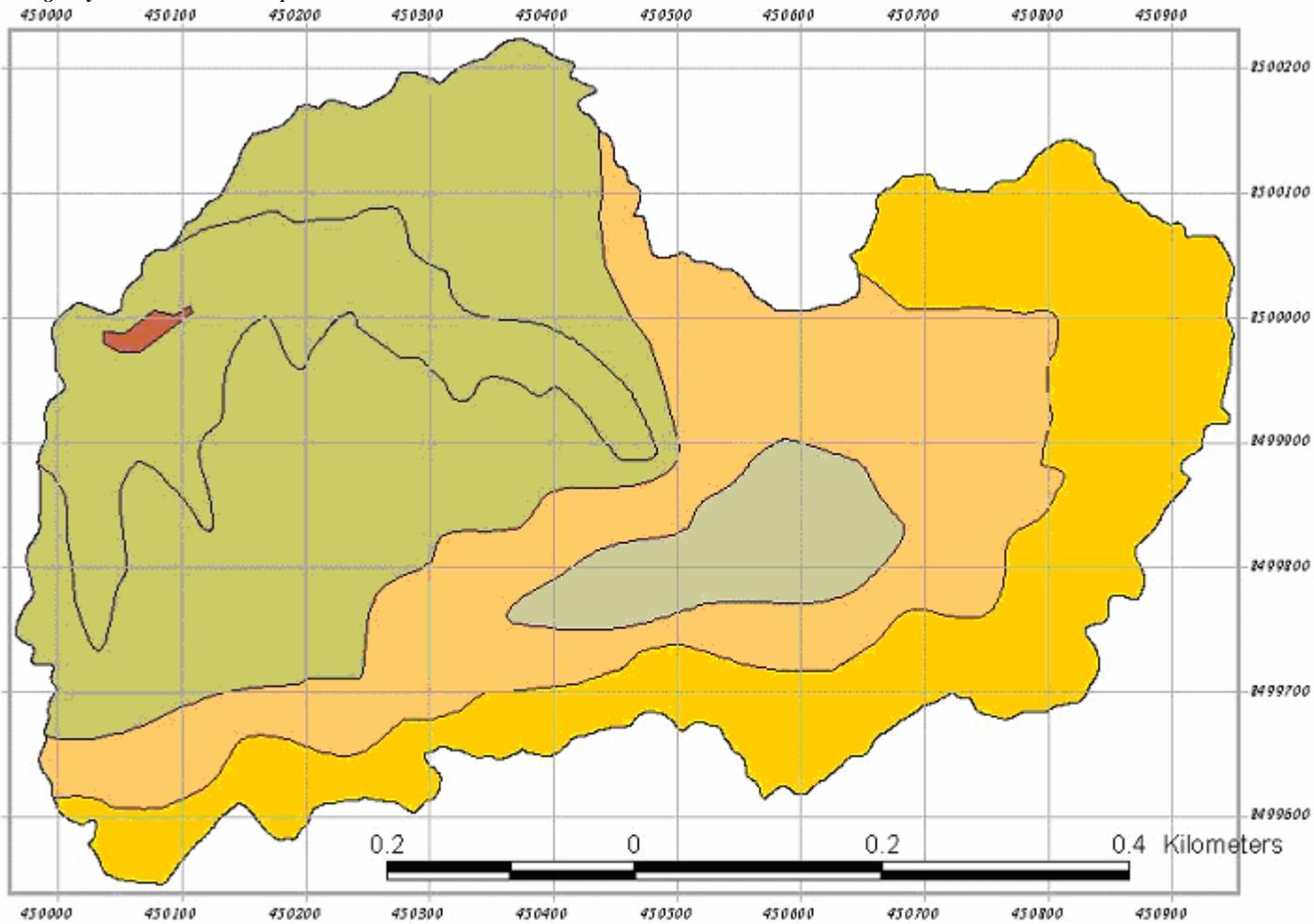
UNALM -	
MAPA INDICE EROSIONABILIDAD DEL SUELO - Factor K	3
Gestion de Calidad del Suelo	

Ing. Cayo Leonidas Ramos Taipe



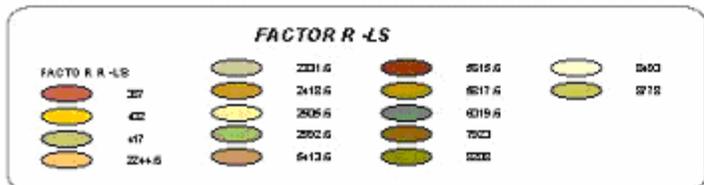
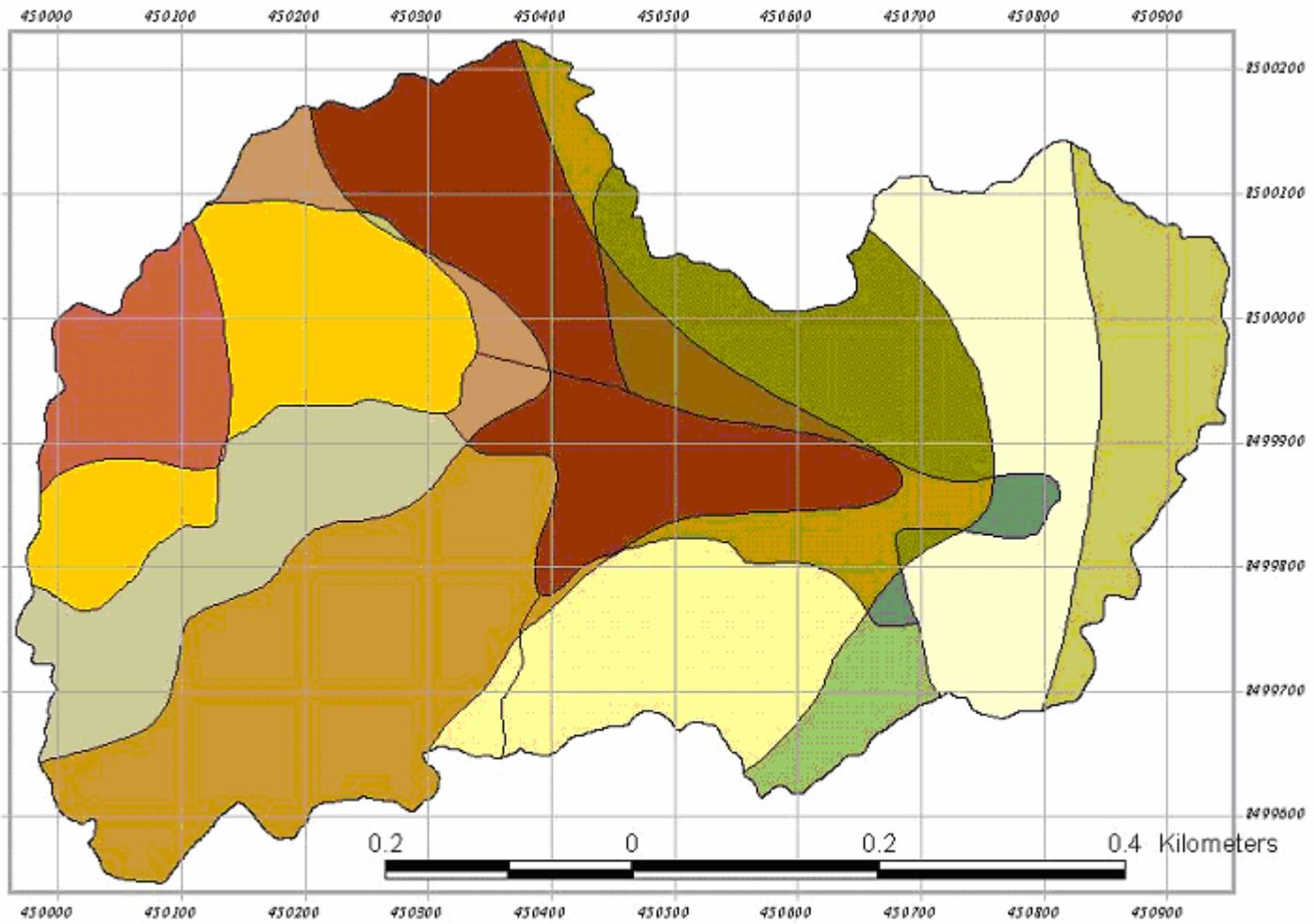
UNALM -	
MAPA DE PENDIENTES - Factor LS	
Gestion de Calidad del Suelo	4

Ing. Cayo Leonidas Ramos Taipe

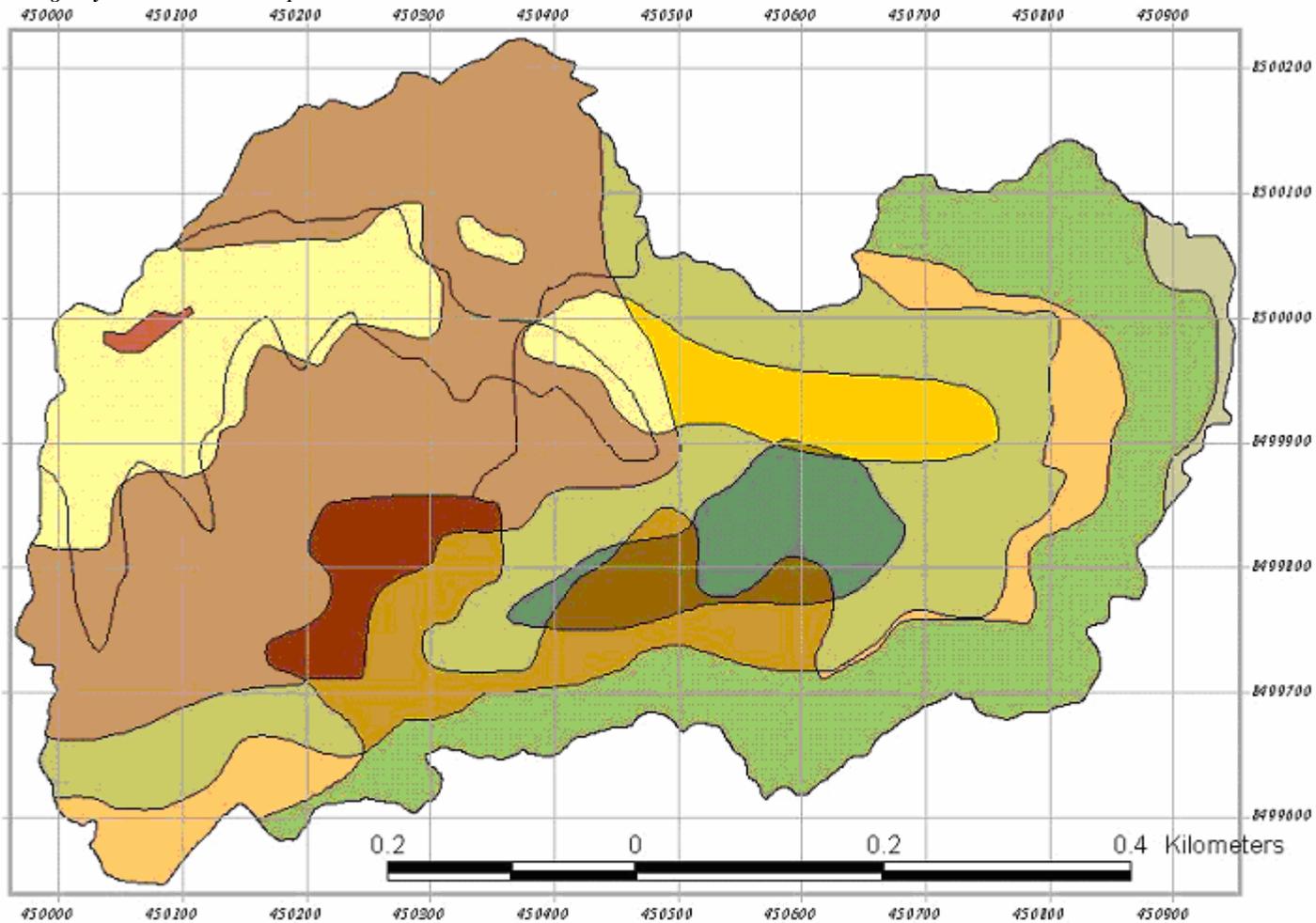


UNALM -	
MAPA DE COBERTURA VEGETAL - Factor C	
Gestion de Calidad del Suelo	5

Ing. Cayo Leonidas Ramos Taipe



UNALM	
MODELO TEMATICO TOPOGRAFIA - LLUVIA	
Gestion de Calidad del Suelo	6

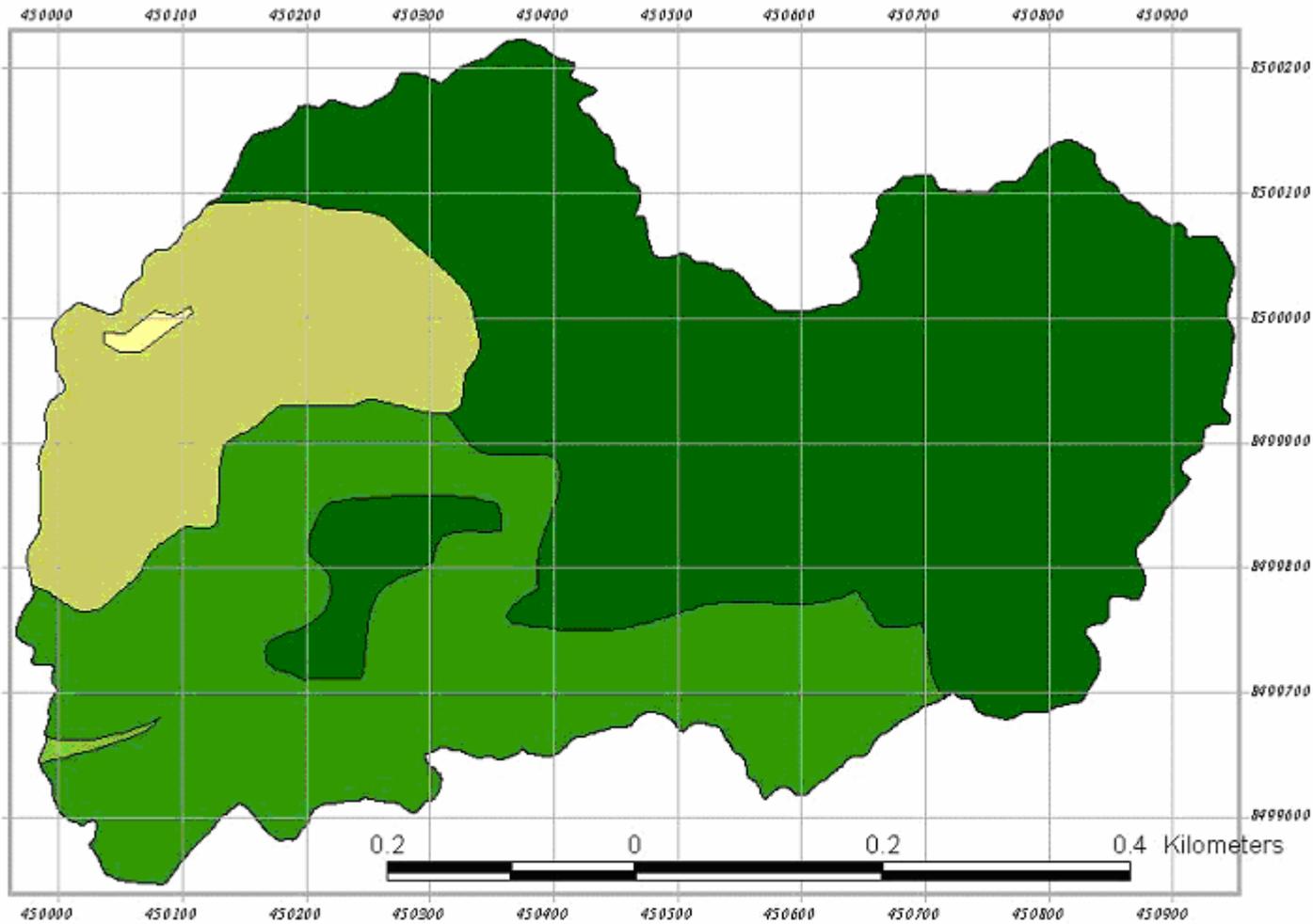


Leyenda

Vegetación en orbiogla	0045	0012	0.135
0	0048	0015	0.216
0020	0009	0.12	
0042	007	0.126	

UNALM	
MODELO TEMATICO COB. VEGETAL - MORFOLOGIA	
Gestion de Calidad del Suelo	7

Ing. Cayo Leonidas Ramos Taipe



Leyenda	
Erosión Ti/kar/ta	31.276 - 99.997
0	99.997 - 1299.997
0 - 31.276	

UNALM	
MODELO FINAL : MAPA EROSIVO	
Gestion de Calidad del Suelo	8