

ANDREW MASKREY
Editor

NAVEGANDO ENTRE BRUMAS

LA APLICACIÓN DE LOS **SISTEMAS DE INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA** AL ANÁLISIS DE RIESGO EN AMÉRICA LATINA

LA RED

Red de Estudios Sociales en Prevención de
Desastres en América Latina

1998

El presente libro ofrece una sistematización de experiencias de aplicación de los SIG al análisis de riesgos en América Latina y un análisis de los problemas conceptuales y metodológicos que deberían enfrentarse en su diseño e implementación. No pretende ofrecer recetas, pero sí busca resaltar las cuestiones claves que deberían tomarse en cuenta en las aplicaciones SIG para el análisis de riesgos y las posibles estrategias de diseño e implementación que podrían explorarse. El uso de *inteligencia* en el diseño de modelos espaciales-temporales y desarrollo de aplicaciones a diferentes niveles de resolución como estrategias para reducir la complejidad y la incertidumbre; el uso de métodos participativos de generación de datos y de análisis de riesgos; la aplicación de métodos y técnicas para la gestión de errores y estrategias de implementación de los SIG a corto plazo, basadas en sistemas de bajo costo y ofreciendo funcionalidades muy específicas, son sólo algunas de las recomendaciones que se postulan aquí.

El objetivo central de su publicación, por parte de la Red de Estudios Sociales en América Latina: LA RED, es que los investigadores, diseñadores y usuarios comprometidos adopten una actitud crítica y analítica hacia el desarrollo de aplicaciones de SIG para el análisis de riesgos, mejorando la calidad de las mismas. La primera parte de este libro ofrece una sistematización y análisis comparativas sobre la aplicación de los SIG al análisis de riesgos en América Latina, en base a la literatura disponible. La segunda parte del libro ofrece una selección de estudios de casos presentados en un Taller sobre la Aplicación de SIG al Análisis de Riesgos, organizado por la Red de Estudios Sociales en América Latina: LA RED, en el marco de su V Reunión General llevada a cabo en Lima, Perú, en octubre de 1994.

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 12: DETERMINACIÓN DE ÁREAS CON RIESGO POTENCIAL DE EROSIÓN CON SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y PERCEPCIÓN REMOTA SECTOR: QUEBRADA LA SOLANA, RÍO QUIROZ, MARGEN IZQUIERDA RÍO MACARA PIURA-REGIÓN GRAU	4
NÉSTOR MONTALVO.....	4
1. INTRODUCCIÓN	4
2. OBJETIVOS.....	5
3. UBICACIÓN Y EXTENSIÓN	5
4. RESERVORIO POECHOS Y SU PROBLEMÁTICA	5
5. METODOLOGÍA DEL ESTUDIO	6

CAPÍTULO 12: DETERMINACIÓN DE ÁREAS CON RIESGO POTENCIAL DE EROSIÓN CON SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y PERCEPCIÓN REMOTA SECTOR: QUEBRADA LA SOLANA, RÍO QUIROZ, MARGEN IZQUIERDA RÍO MACARA PIURA-REGIÓN GRAU

Néstor Montalvo¹

1. INTRODUCCIÓN

La cuenca es una unidad lógica de planificación, que obliga explícitamente a reconocer que el desarrollo basado sobre la tierra o recursos naturales depende de la interacción de todas las actividades que tienen lugar en el total de la cuenca. Las tierras altas y bajas están conectadas mediante el ciclo hidrológico. Las actividades en las partes altas afectan las oportunidades y los problemas aguas abajo, influyendo sobre el flujo de agua, el contenido de sedimentos y otros materiales transportados por el agua a lo largo del sistema.

Las cuencas constituyen también unidades adecuadas para realizar análisis económicos y para evaluar los cambios físicos relacionados con la utilización y desarrollo de los recursos.

En las últimas décadas, se han volcado esfuerzos para la integración de información, los que se han denominado Sistemas de Información Geográfica, que están constituidos para establecer objetivos, modelo de simulación, datos que alimenten al modelo, así como el realizar los análisis mediante el procesamiento digital de imágenes de satélites.

La aplicación de estas tecnologías dirigidas a los aspectos ambientales, en general a las cuencas hidrográficas, tenderían a resolver problemas del medio natural, fomentando así la acción política, o como un instrumento para prestar ayuda importante en el proceso de toma de decisiones que afectan a toda el área de la cuenca.

El presente estudio está orientado a establecer una organización y estructura operacional que hagan posible el logro de los resultados esperados, mediante el manejo apropiado de la información con las tecnologías indicadas para el espacio geográfico en estudio.

¹ Proyecto: "Apoyo al desarrollo mediante sistemas automatizados" APODESA, Instituto Nacional de Desarrollo - INADE.

2. OBJETIVOS

Determinar el estado actual de los recursos naturales e identificar las áreas con procesos actuales y riesgos potenciales de deterioro, relacionadas con sistemas de aprovechamiento e incidencia de factores climatológicos.

Obtener información básica, para la identificación y planeamiento de las áreas, con procesos actuales y riesgos potenciales de erosión de los suelos en la cuenca del Chira, con el fin de mitigar el proceso de sedimentación del reservorio Poechos.

Identificar las prácticas alternativas de manejo, para un adecuado ordenamiento del uso de la tierra y protección de cuencas hidrográficas del área de estudio.

3. UBICACIÓN Y EXTENSIÓN

El área de estudio se encuentra situada en la Región Miguel Grau, departamento de Piura, y comprende las cuencas concurrentes al reservorio de Poechos (mapa 1).

Geográficamente, está comprendida entre los paralelos 4° 10' y 5° 10' de latitud sur y los meridianos 79°20' y 80°70' de longitud oeste.



Posee, como límites naturales, por el norte, la República del Ecuador; por el oeste, la provincia de Sullana; por el sur, la provincia de Morropón y Huancabamba, y, por el este, la República del Ecuador y la provincia de Huancabamba.

La superficie referida al estudio comprende las provincias de Sullana y Ayabaca, la extensión aproximada es de 633,444 ha, incluyendo el área de la margen derecha del reservorio de Poechos.

4. RESERVOIRIO POECHOS Y SU PROBLEMÁTICA

Poechos es la mayor obra de ingeniería en cuanto a represas construidas en el Perú. Fue inaugurada en 1976, y la capacidad para la que fue diseñada es de 1,000 millones de metros cúbicos.

Debido a la intensa actividad geodinámica de las subcuencas ubicadas en la parte baja, media y alta, unida a las actividades productivas, agrícolas, pecuarias y forestales que realizan los pobladores a lo largo de la cuenca, para proveerse de los alimentos, vestidos y vivienda, hacen de este espacio uno de los más dinámicos, creando problemas de erosión y arrastre de sedimentos por los cursos de agua que convergen hacia el río Chira, transportándolos al reservorio de Poechos, y por ende viene a disminuir su capacidad de almacenamiento; motivo por el cual es necesario la formulación de un plan de manejo para la conservación de suelos en las subcuencas afluentes que inciden en dicha recarga, afectando directamente el período de vida útil de la infraestructura. Este hecho constituye un serio problema, si se tiene en cuenta que esta obra es una de las infraestructuras de riego más importantes del país.

5. METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

APODESA conformó un grupo de trabajo multidisciplinario, constituido por su personal permanente y complementado por especialistas en temas específicos, quienes se encargaron de elaborar los correspondientes planes de trabajo, cronogramas y requerimientos para la ejecución del estudio.

La metodología empleada para la elaboración de los estudios básicos y diagnósticos de la zona se sustentan en la tecnología de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y el Procesamiento Digital de Imágenes y Percepción Remota (SPDI), alimentada con estudios de campo y complementada con información cartográfica y bibliográfica convencional existente acerca de la zona de estudio. Los datos están acondicionados en función al diseño de la estructura de la base de datos, elaborada para tal efecto con la participación de los especialistas en cada tema. En conjunto, se constituirá la base de datos general que contendrá, procesará y administrará el universo de información recopilada, permitiendo obtener resultados de estratos individuales e interrelacionados.

Se obtuvieron imágenes de satélite, fotografías aéreas y cartografía convencional actualizadas y existentes en la zona de estudio. Se procesaron datos a escala 1:200,000 de toda el área; de igual forma, se recopiló y analizó información que existía en las diversas entidades sobre la situación económica, social, demográfica, territorial, recursos naturales y medio ambiente de la región.

Con el apoyo de la información anteriormente procesada, se llevaron a cabo los estudios temáticos sectoriales, en lo correspondiente a los recursos naturales, medioambientales, sociales y económicos. Con los productos y resultados de los estudios básicos, espaciales y socioeconómicos, se formularon los lineamientos del Plan de Manejo de la zona de estudio.

El presente estudio se desarrolló en cinco fases:

5.1. Fase I: Prediagnóstico

En la presente fase, se realizó la recopilación y evaluación de la información estadística, cartográfica, fotografías aéreas e imágenes satélite existentes; así también, se recopiló información complementaria de los recursos y de la problemática general de la zona.

Tomando como base las necesidades del proyecto especial Chira-Piura, con la información seleccionada, se procedió a complementar los objetivos, así como a definir el ámbito del área de estudio.

5.2. Fase II: Reconocimiento y levantamiento de información

Definido el ámbito de estudio y contando con la información previamente seleccionada, se realizó el reconocimiento e identificación, basados en la información recopilada e interpretación preliminar de fotografías aéreas e imágenes satélite.

La visita de campo permitió el reconocimiento e identificación del área de estudio y la recopilación de información directa, además de la identificación preliminar de las zonas consideradas como críticas.

El estudio se realizó en forma integral, y estuvo a cargo de un grupo multidisciplinario integrado por especialistas en las áreas de climatología y recursos hídricos, suelos y capacidad de uso mayor, cobertura y uso de la tierra, forestales, diagnóstico socioeconómico, percepción remota, fotointerpretación y sistema de información geográfica, los mismos que determinaron las zonas críticas en función de los modelos cartográficos resultantes. Para el levantamiento de información en las localidades del ámbito de estudio fue necesario contratar personal que facilitara el trabajo, y que fue de gran utilidad como apoyo y guía.

5.3. Fase III: Sistematización - SIG y Percepción Remota

La sistematización está referida básicamente al acondicionamiento de la información generada en la fase anterior, para el ingreso y la implementación del Sistema de Información Geográfica (SIG), lo que nos permitió el manejo de grandes volúmenes de información para fines de diagnóstico y formulación de proyectos; integrándose los objetivos de desarrollo con la estructura regional representada a través de la base de datos. Asimismo, se facilitará el análisis espacial, sectorial y ambiental del territorio. Igualmente, se realizará la automatización de 22 mapas correspondientes a la zona de estudio, así como la generación de los modelos de conflicto correspondientes al uso de la tierra y el de riesgo potencial de erosión de los suelos, describiéndose en forma secuencial la metodología de los sistemas de información geográfica para aplicarlos en el logro de los objetivos previstos.

Estructuración de la base de datos

La base de datos del SIG está organizada por la información obtenida como producto de los levantamientos complementarios, así como de información existente.

Esta base de datos ha sido diseñada y estructurada georreferencialmente cubriendo diversas variables ambientales, siendo sistematizada de acuerdo a los formatos de ingreso al SIG ARC/INFO, que APODESA dispone. Estos corresponden a:

- Pendiente
- Fisiografía
- Litología
- Suelos
- Capacidad de uso mayor
- Cobertura y uso de la tierra
- Isointensidades - Tiempo de retomo en años y duración en minutos
- Isoyetas - Año seco, promedio y húmedo
- Forestales
- Isoerodente - Agresividad climática
- Erodabilidad del suelo

Las actividades desarrolladas para la implementación son largas y costosas, por la gran cantidad de datos ingresados al sistema; es, sin embargo, de mucha importancia para las etapas posteriores, en los procesos de análisis y modelamientos de datos, tal como lo requieren los sistemas de información geográfica en las diversas aplicaciones dirigidas hacia los objetivos formulados en el presente estudio, considerándose el establecimiento de pautas referidas a la actualización y mantenimiento de la base de datos.

Para la implementación de la base de datos se recurrió a las siguientes etapas:

Recopilación y selección de la información:

Esta actividad consistió en recopilar informaciones existentes y necesarias, tales como estudios o documentos cartográficos de las instituciones que generan información temática (recursos naturales), así como básica (fotografías aéreas, cartografía, imágenes de satélites). Luego de realizada la selección y verificación de dicha información, previa a su automatización, se establecen los niveles de ingreso en función a los formatos del SIG. Las fuentes de información existentes se presentan en el cuadro 1.

CUADRO 1

Cartas nacionales elaboradas por el Instituto Geográfico Nacional a escala 1:100.000: Las Playas 9-C, La Tina 9-D, Las Lomas 10-C, Ayabaca 10-D, San Antonio 10-E, Chulucanas 11-C, Morropón 11-D, Huancabamba 11-E.

Cartas geológicas a escala 1/100,000, elaboradas por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMET).

1 juego de aerofotografías pancromáticas verticales tomadas en el año 1961 (AST-9), de escala aproximada 1:60,000.

Hojas del mapa planimétrico del Perú realizado en base a imágenes obtenidas en las bandas 4, 5 y 7 por el barredor multiespectral del satélite LANDSAT, de fechas 19 de diciembre de 1980. y 20 de enero de 1982, a la escala de 1:250,000 y ampliaciones a una escala aproximada de 1:125,000. código SB 17-3 (Sullana) y SB

17-4 (Orellana).

Hojas del mapa elaborado por la Agencia de Mapeo para la Defensa (USA), en base a las escenas del mapeador temático del satélite LANDSAT, de fecha 2 noviembre de 1986, a la escala de 1:100,000, correspondientes a las zonas de Ayabaca, codificadas con el número 0961 - J0397.

Escenas captadas por visor de alta resolución del satélite SPOT, en modo multiespectral, formato digital en discos compactos, correspondientes a la zona del reservorio Poechos, con fecha 5 de agosto de 1991; Ayabaca con fecha 18 de noviembre de 1991, y en modo pancromático de la zona de la Laguna, con fecha 12 de noviembre de 1989.

Inventario y evaluación de los recursos naturales de la cuenca del río Quiroz y margen izquierda del río Macará - ONERN-SUBCOMISIÓN PE-RUANA Vol. I y II Informes y Mapas, Lima 1978.

Fotoíndices a escala 1:300,000.

Diseño de la base de datos:

El diseño de la base de datos presenta los diferentes niveles y las relaciones respectivas entre las variables ambientales de la zona, por lo cual la información espacial incluye los atributos, localización espacial, extensión, etc. El almacenamiento de datos espaciales en formato digital es realizado por la estructura de datos espaciales principal como el SIG Pe ARC/INFO. La selección del método de ingreso de datos al Sistema de Información Geográfica dependió de la aplicación referida al presente estudio; es decir, ingresar información cartográfica considerando su localización espacial y su atributo como característica ambiental.

Homogeneización y codificación de la información:

Esta actividad consistió en acondicionar cartográficamente los estratos temáticos de los diversos mapas elaborados como producto de la información generada en el levantamiento de campo; los cuales están referidos a las variables ambientales, estableciéndose para ello los mecanismos de homogeneización y codificación de la información. Para ello, existe una técnica que consiste en integrar la cartografía ambiental, que fue automatizada previo proceso de acondicionamiento cartográfico relacionado a la base cartográfica; originándose en forma automática el mapa denominado Unidades Homogéneas de análisis. Esta cartografía ambiental integrada está referida a un sistema único de coordenadas homogéneas, lo cual nos permite una superposición precisa con las variables, mostrando su respectiva correlación temática (atributo).

Esta técnica está centrada en las unidades cartográficas para cada parámetro en común. Por lo tanto, cada área obtenida representará la Unidad Homogénea de Análisis, la cual posee las características y atributos propios y diferenciables a la vez.

La codificación se estableció de modo previo al proceso de integración, el cual consistió en asignarle un número en forma secuencial 9 cada unidad cartográfica ambiental (polígono), preparándose para ello un listado de los códigos para cada variable, los cuales participan en el modelamiento (cuadro 2).

El identificador está presente en cada variable con su respectivo atributo, y se realiza con el fin de reducir el espacio requerido en la memoria del computador, el cual concentra los factores ambientales.

Automatización de la información

Corresponde al ingreso de los mapas generados (formato análogo) que fueron digitalizados e ingresados al SIG Arc/Info, transformándose de esta manera en un formato digital. Estos datos fueron capturados por el tablero digitalizador CALCOMP 9100 formato A0.

Para el análisis, control y manejo de la base de datos de cada variable se codificó e ingresó, mediante la digitación, lográndose de esta manera implementar la base de datos georreferencial. Para ello, se determinaron polígonos o unidades cartográficas identificadas para su posterior relación (enlace de la base de datos); todo ello, luego de un previo control de calidad de tales datos, con el manejador de bases de datos FOXPRO.

En lo que respecta a las variables para la obtención de los modelos, éstos fueron también automatizados con el software SIG, PC ARC/INFO, considerándose la base de datos existente (implementación de la base de datos), teniendo en cuenta las variables, para el caso del riesgo potencial de erosión, tales como: isoerodente-agresividad climática (R), erodabilidad del suelo (K), cobertura vegetal (C), longitud y gradiente (LS).

Las unidades de referencia para el manejo de la información están definidas a nivel de polígonos determinados por la integración cartográfica (erodabilidad, isoerodente - agresividad climática, cobertura vegetal, longitud y gradiente) de áreas o líneas constituidas para el caso de las vías de comunicación.

CUADRO 2
ERODABILIDAD DEL SUELO

CUADRO 2
ERODABILIDAD DEL SUELO

Cód.	Variable	Factor (K)
01	Guineo	0.13
02	Quiroz	0.05
03	Vilca	0.22
04	Carrizo	0.42
	Limón	0.16
06	Shimbe	0.25
07	Montero	0.26
08	Jabonillo	0.30
09	Solana	0.42
10	Guineo - Carrizo	0.32
11	Guineo - Jabonillo	0.22
12	Quiroz - Jabonillo	0.17
13	Guineo - Montero	0.19
14	Guineo - Solana	0.27
15	Carrizo - Solana	0.42
16	Montero - Limón	0.08
17	Pingola - Limón	0.08
18	Hualancas - Limón	0.18
19	Cunante - Limón	0.25
20	Ayabaca - Socchabamba	0.12
21	Ayabaca - Limón	0.25
22	Montero - Socchabamba	0.30
23	Shimbe - Limón	0.21
24	Formación lítica	0.00
88	Islotes	
99	Cuerpos de agua	

ERODABILIDAD DEL SUELO		
Cód.	Variable	Rango (K)
01	Ligero	0 - 0.1
02	Moderado	0.1 - 0.2
03	Fuerte	0.2 - 0.4
04	Severo	> 0.4
88	Islote	
99	Cuerpos de agua	

ISOERODENTE - AGRESIVIDAD CLIMÁTICA		
Cód.	Variable	Factor (R)
01	Ligero	<100
02	Moderado	100 - 200
03	Fuerte	200 - 300
04	Severo	> 300
88	Islotes	
99	Cuerpos de agua	

PENDIENTE		
Cód.	Variable	Rango (%)
01	Plano o casi a nivel	0 - 05
02	Ligeramente inclinado a inclinado	5 - 15
03	Fuertemente inclinado	15 - 30
04	Moderadamente empinado a empinado	30 - 50
05	Muy empinado	50 - 75
06	Extremadamente empinado	> 75
88	Islotes	
99	Cuerpos de agua	

COBERTURA Y USO DE LA TIERRA			NIVELES DE RIESGO POTENCIAL DE EROSIÓN		
Código	Variable	Factor (C)	Código	Grados de erosión	Rango (R) (Tn/ha/A)
01	Bosque denso	0.10	01	Ligero	0 - 10
02	Bosque semidenso	0.30	02	Moderado	10 - 50
03	Matorral	0.40	03	Moderado a severo	50 - 100
04	Arbustos	0.30	04	Alto	100 - 300
05	Arbustos - Pastos	0.25	05	Muy alto	300 - 800
06	Sabana y matorral	0.50	06	Extremadamente alto	> 800
07	Pastos	0.32	07	Formación líticas	
08	Cultivos	0.17	88	Islotes	
09	Suelo desnudo	0.80	99	Cuerpos de agua	
10	Suelo desnudo - rocoso	0.40			
88	Islotes				
99	Cuerpo de agua				

Para el caso del modelo de conflicto de uso se integró el de cobertura y uso de la tierra con el de capacidad de uso mayor.

Los mapas de ingreso fueron automatizados a escala 1:100,000, respecto a la cartografía base, y a escala de 1:200,000 para las variables temáticas, siguiendo la secuencia:

- Digitalización y digitación
- Edición cartográfica y tabular
- Enlace de la base de datos
- Producción cartográfica

Análisis geográfico y modelamiento:

Esta etapa constituye la metodología empleada para la obtención de los modelos cartográficos, mediante la utilización de los Sistemas de Información Geográfica, y para determinar las áreas con riesgo de erosión potencial, así como el conflicto de uso de la tierra.

El modelamiento es uno de los soportes metodológicos básicos del análisis, por medio del cual, y a través de expresiones ponderativas, así como lógicas que se dan sobre el conjunto de la base de datos, se llegó a ofrecer alternativas prioritarias mediante la simulación de escenarios geográficos, considerándose básicamente las siguientes características:

Definición de los objetivos para el análisis, los criterios metodológicos (tipos de modelos, relaciones lógicas, ponderaciones, etc.).

Selección de la información necesaria de la base de datos y conexión con ésta.

Preparación de información para el análisis tabular.

Expresiones lógicas, mediante el manejador de base de datos (FoxPro), para establecer las condiciones ponderativas o las relaciones lógicas.

Formulación de los modelos

Para los procesos mencionados fue necesario revisar las metodologías referidas a los modelos. Por ello, fue indispensable considerar las variables del medio natural y físico con el fin de planificar situaciones de riesgo e incidencia hacia el reservorio de Poechos, disponiendo de una base de datos tanto gráfica como numérica, teniendo en cuenta las áreas expuestas al riesgo potencial de erosión y áreas con problemas de conflicto de uso, seleccionándose la información necesaria.

Para determinar estas variables, se tuvo que establecer una secuencia lógica, de manera que podamos llegar a identificar las variables indispensables de la base de datos; éstas son:

- Selección de variables
- Criterios de selección
- Variables seleccionadas

Para este marco de referencia, se plantearon criterios que están relacionados directamente mediante el tipo y clase de variables utilizadas en las diversas unidades cartográficas, estos criterios fueron referidos principalmente a lo siguiente:

- Disponibilidad de información básica e indispensable respecto a las variables y sus atributos espaciales.
- Importancia de las variables específicas como factor de una diferenciación de cada unidad espacial o cartográfica.
- Importancia de las variables por su dinámica en el tiempo y en el espacio.
- Determinación de los valores de las variables con respecto a lo que puedan representar para el diseño del modelo cartográfico sobre los procesos ambientales, considerando la obtención de tales modelos.

Conceptualización del modelo de riesgo potencial de erosión

Para los propósitos de los planes de conservación de suelos y decisión de la política agropecuaria que se determine en cualquier zona agroecológica, es necesario analizar el tipo, velocidad y causas de la erosión, y mostrar la distribución espacial del riesgo potencial de erosión. Una evaluación del riesgo de erosión debe identificar el grado potencial de deterioro de la superficie, para proporcionar la información requerida y formular la estrategia de conservación de los recursos.

Debido a la gran variación que existe en los rasgos físicos de un territorio, la planificación de alternativas para el control de la erosión debe estar normalmente basada en un rango de modelos de simulación que podrán cubrir la variación y mostrar las más diversas formas de conservación en relación al tipo, proporción y causas de la erosión.

El mayor beneficio en la investigación de la erosión es la eventual integración de información espacial, para su posterior modelamiento, que nos permite obtener el mapa de riesgo de erosión potencial, donde la veracidad o validez del modelo debe depender de una aproximación a lo que predice la realidad. No existe todavía ningún modelo aceptable. Sin embargo, debido a su pretendida universalidad, el Modelo de la Ecuación

Universal de Pérdida del Suelo (USLE: Wischmeier y Smith, 1978) es utilizado en el presente estudio.

El Modelo de Erosión Potencial de los Suelos nos permite determinar el promedio anual de la cantidad de suelo que se pierde por erosión hídrica. La erosión del suelo por el agua es un proceso donde intervienen varios factores: la lluvia, el suelo, cobertura vegetal, topografía y la actividad humana. Se presenta en seguida la ecuación para evaluar el efecto de estos factores:

$$A = R * K * L * S * C * P$$

Donde:

A	Promedio anual de pérdida de suelo (Tn/Ha/Año)
R	Factor de erosividad de las lluvias
K	Factor de erodabilidad del suelo
LS	Factor de longitud e inclinación de la pendiente
C	Factor de cobertura vegetal - cultivo
P	Factor de las prácticas de conservación de suelos

El factor de erosividad de las lluvias (R) es el número de unidades de índice de erosión que ocurren en un año normal de lluvias. Wischmeier fue quien encontró que la pérdida de suelo en campos desnudos era directamente proporcional al producto de la energía cinética total de la lluvia multiplicada por su intensidad máxima desarrollada durante treinta minutos continuos. La suma de estos productos, llamados valores o índice de erosión (EI), para un período dado, proporcionan un índice de erosión numérico de las lluvias que evalúa la erosión potencial de las mismas durante ese período.

El factor Erodabilidad del suelo (K) indica la susceptibilidad de los suelos a ser erosionados, así como la cantidad de erosión (A), por unidad de índice de erosión (EI) obtenida de parcelas unitarias localizadas en dicho suelo; su determinación está en función del % de arena + limo, el % de arena, el % de materia orgánica, la estructura del suelo y la permeabilidad.

Los factores Longitud (L) y Pendiente (S) no son independientes en su acción sobre la erosión, porque el efecto de la topografía como factor en la erosión se explica por la interacción de la longitud y la pendiente. El factor de cultivo (C) es la relación de la pérdida de suelo de tierras cultivadas bajo condiciones específicas a la correspondiente pérdida de tierra labrada en barbecho continuo.

El factor de prácticas de control de la erosión (P) es la relación de pérdida de suelo entre un campo con prácticas de control de erosión y un campo desnudo, donde se cultiva el suelo en el sentido de la máxima pendiente.

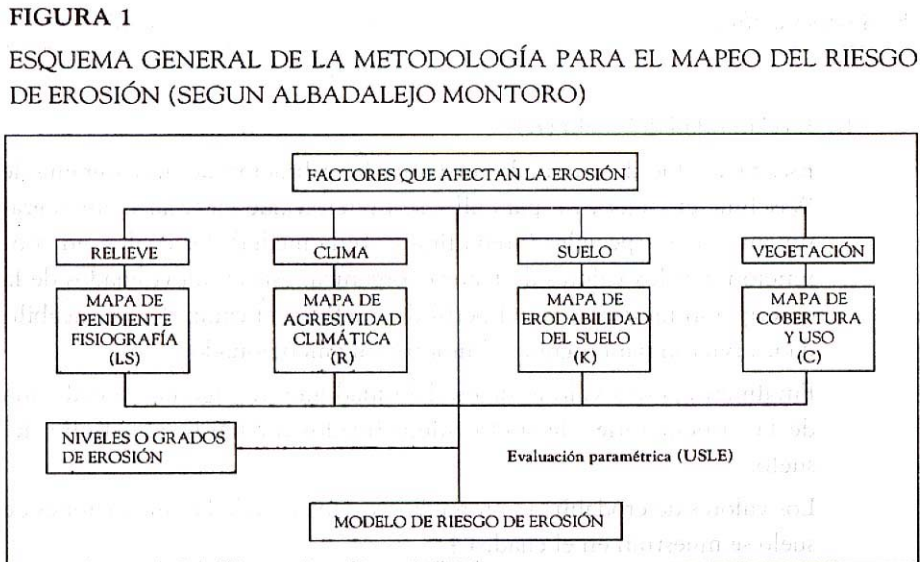
Elaboración del modelo de riesgo de erosión potencial de los suelos:

El Modelo se basa en la delimitación de lo que se podría denominar "Unidades Fisiográficas Homogéneas". El Modelo define las variables (mapa de pendiente, mapa

de agresividad climática - isoerodente, mapa de erodabilidad y mapa de cobertura vegetal) que influyen sobre el tipo y grado de erosión, ver Figura N° 01.

Cada una de estas variables presenta sus valores de acuerdo al método de USLE (Universal Soil Lost Ecuación) de Wischmeier, determinándose la pérdida de suelo en función de la integración de las variables mencionadas.

FIGURA 1
ESQUEMA GENERAL DE LA METODOLOGÍA PARA EL MAPEO DEL RIESGO DE EROSIÓN (SEGÚN ALBADALEJO MONTORO)



a) Cobertura vegetal (C)

Estos datos fueron elaborados en base a una clasificación y codificación de cobertura vegetal mediante el procesamiento digital de las Imágenes de Satélites SPOT, con la utilización del software ERDAS

Luego, tomando como referencia los valores otorgados a los diferentes tipos de cobertura (C), según Wischmeier, se estableció el cuadro 3.

CUADRO 3
FACTOR COBERTURA VEGETAL

Descripción	Cobertura	%	Factor C
Bosque denso	100		0.10
Bosque semidenso	70		0.30
Matorral	60		0.40
Arbutos	70		0.30
Arbustos - Pastos	80		0.25

Sábana - Matorral	50	0.50
Pastos	80	0.32
Cultivos	90	0.17
Suelo desnudo	10	0.80
Suelo desnudo/rocoso	10	0.40

b) Erodabilidad del suelo (K)

Este factor fue determinado mediante la utilización del monograma de Wischmeier (figura 2); para ello, se tuvieron que efectuar análisis granulométricos especiales (arena fina y arena media), los cuales, en conjunción con los valores de materia orgánica, estructura (tomados de la descripción morfológica del perfil del suelo en el campo) y permeabilidad, sirvieron para ingresar al monograma mencionado.

Finalmente, estos valores de erodabilidad fueron asignados a cada una de las asociaciones de suelos identificados mediante el estudio del suelo.

Los valores de erodabilidad promedio de cada una de las asociaciones de suelo se muestran en el cuadro 4.

CUADRO 4

FACTOR ERODABILIDAD (K) DEL SUELO

Asociación de suelos	Símbolo	Factor (K)
Guineo	G	0.13
Quiroz	Q	0.05
Vilca	V	0.22
Carrizo .	C	0.42
Limón	Li	0.16
Shimbe	S	0.25
Montero	M	0.26
Jabonillo	J	0.30
Solana	So	0.42
Guineo - Carrizo	G-C	0.32
Guineo - Jabonillo	G-J	0.22
Quiroz - Jabonillo	Q-J	0.20
Guineo - Montero	G-M	0.19
Guineo - Solana	G-So	0.27
Carrizo - Solana	C-So	0.42
Montero - Limón	M-Li	0.08
Pingola. Limón	P-Li	0.08
Hualancas - Limón	H-Li	0.18
Cunante - Limón	U-Li	0.25
Ayabaca - Socchabamba	A-B	0.12
Ayabaca - Limón	A-Li	0.25
Montero - Socchabamba	M-B	0.30
Shimbe - Limón	S-Li	0.21

Para la presentación de este, submodelo de erodabilidad, se establecieron niveles o grados de erodabilidad del suelo, que se presentan en el cuadro 5.

CUADRO 5
ERODABILIDAD DEL SUELO

Rango (K)	Descripción
0-0.1	Ligero
0.1-0.2	Moderado
0.3 - 0.4	Fuerte
> 0.4	Severo
	Formación lítica

c) Cálculo del factor LS (Longitud y Gradiente)

Para determinar el factor LS, se asignaron valores de longitud promedio (L) y gradiente promedio (S), a cada una de las unidades fisiográficas identificadas en la zona de estudio, para lo cual se utilizaron los de pendiente y el fisiográfico.

Los valores de L se midieron sobre el mapa topográfico a escala 1:100,000 y se afirmaron con la descripción ecogeográfica de campo, y el valor de S, tomando como valor promedio el correspondiente al mapa de pendientes elaborado.

Los valores tanto de L como S nos permiten calcular el factor de LS para cada tipo de gradiente, tomando en cuenta la siguiente fórmula:

$$LS = \left(\frac{1}{22.13} \right) m \left(\frac{0.43 + 0.30s + 0.043s^2}{6.613} \right)$$

Los diferentes valores de LS de cada una de las unidades fisiográficas se detallan en el cuadro 6.

CUADRO 6
CÁLCULO DE LS

Unidades fisiográficas	Rango de pendiente	Gradiente Promedio (S)	Longitud de Vertiente (L)	Ls
Planicies aluviales	0-5	2.5	100	0.29
Lomadas	5-15	10.0	100	1.88
Colinas bajas	15-30	22.5	200	12.96
Colinas medias	30-50	40.0	300	50.89
Colinas altas	50-75	62.5	300	123.04
Montañas	75	75.0	500	176.71

d) Isoerodente - Agresividad climática (R)

Estos valores fueron determinados mediante la elaboración del mapa de isoerodente, según método de Wischmeier, utilizando los datos de intensidad de las lluvias.

Para la presentación respectiva del presente submodelo, se establecieron niveles de agresividad climática, desde un valor mínimo de 20 Ton/ha/año hasta un máximo de 500 Ton/ha/año; se presentan las curvas de agresividad climática con un intervalo de 20 unidades.

En el cuadro 7 se presenta una clasificación previa de los niveles de agresividad climática.

CUADRO 7

Ton/Ha/Año (R)	Descripción
100	Ligero
100 - 200	Moderado
200 - 300	Fuerte
300	Severo

- *Automatización de los modelos*

Como se mencionó anteriormente, la base de datos está implementada para realizar las técnicas de modelamiento, y es a través de éstas que se ha ejecutado el Modelo de Riesgo Potencial de Erosión, tomando como referencia los niveles de erosión que se detallan en el cuadro 8.

CUADRO 8

NIVELES DE EROSIÓN

Rango	Descripción
0-10	Ligero
10-50	Moderado
50 -100	Moderado a severo
100 - 300	Alto
300 - 800	Muy alto
-800	Extremadamente alto Formaciones líticas

Como etapa posterior, se obtuvo el modelo definitivo de acuerdo a las calificación efectuada y teniendo los criterios de análisis propios de las observaciones de campo y otros medios.

5.4. Fase IV: Resultados y análisis

La obtención de los resultados se efectuó en base a la información de los estudios básicos, el análisis digital de las imágenes de satélite con el procesador de imágenes ERDAS y la fotointerpretación, visitas de campo y el producto generado por los modelos, utilizando el Sistema de Información Geográfica. Estos permitieron la elaboración del diagnóstico, el mismo que comprende la problemática y las potencialidades del área de estudio. Se llevaron a cabo los análisis espaciales y sectoriales, para la determinación de las áreas consideradas como críticas.

Modelo Riesgo Potencial de Erosión de los Suelos

Se ha elaborado el mapa de riesgo potencial de erosión en el cual se muestra los diferentes niveles de riesgo (cuadro 9).

CUADRO 9
RIESGO DE EROSIÓN POTENCIAL

Rangos Ton/Ha/Año	Niveles de Erosión	Superficie	
		Ha	%
0 - 10	Ligero	35,258	5.5
10 - 50	Moderado	135,290	21.4
50 - 100	Moderado a severo	70,560	11.1
100 - 300	Alto	118,064	18.6
300 - 800	Muy alto	112,800	17.8
- 800	Extremadamente alto	148,485	23.4
	Formaciones líticas	1.816	
	Cuerpos de agua	10.856	2.2
	Islotes	315	
	Área total	633,444	100

Para el establecimiento de la escala, se tomó como referencia el valor de pérdida tolerante del suelo (5 a 12 Ton/ha/año), y luego se consideraron los otros niveles en referencia de estudios realizados a nivel mundial.

5.5. Fase V: Formulación y lineamientos del plan

Posteriormente, en base al diagnóstico y análisis, se plantean los lineamientos generales para el plan de manejo de las cuencas, en lo que respecta al objetivo principal, que es la conservación de suelos; para lo cual deben realizarse las prácticas de conservación de suelos que a continuación se describen, las que disminuirán el proceso de erosión del suelo de la cuenca y, por consiguiente, la sedimentación del reservorio Poechos.

Prácticas de conservación de suelos

a) Forestal

— Por las condiciones de degradación en la que se encuentran los recursos y especialmente el forestal, es de imperiosa necesidad iniciar un conjunto de programas, orientados a detener y mejorar las condiciones ecológicas y medioambientales de las cuencas del área de estudio.

— Realizar un programa de reforestación especialmente dirigido a proteger las cabeceras de las cuencas, la estabilización de cárcavas, taludes, riberas, quebradas y canales; empleando especialmente especies nativas.

— Promover el uso racional del recurso energético o leña, fomentando el uso de las llamadas "cocinas mejoradas", ya que éstas permiten aprovechar mejor la energía y se orientan a disminuir la presión a los bosques por la demanda de leña.

— Proteger y manejar silviculturalmente la regeneración natural, promoviendo proyectos que hagan posible el desarrollo económico y social en función de la conservación de los bosques y uso racional de los recursos.

— La agroforestería se realizará buscando extender lo máximo posible las especies arbóreas y arbustivas existentes en la región, así como regenerar o implantar vegetación herbácea.

— Utilizar todo instrumento legal, así como realizar coordinaciones con las instituciones comprometidas con los recursos naturales, con el fin de cumplir con un papel más protagonista que garantice detener la degradación de los bosques y lograr la preservación de la biodiversidad de la región.

— Realizar estudios al detalle para evaluar la cantidad y calidad del recurso forestal existente, así como estudiar silviculturalmente las especies forestales nativas, y la diversa fauna que posee la región.

Las zonas de menor riesgo de erosión corresponden a las planicies aluviales, áreas de topografía casi plana, y uso agrícola, mayormente arrozales. La extensión que abarca es de 35,258 has o el 5.5% del área total evaluada.

El sector con un riesgo moderado se presenta mayormente en las zonas aledañas a la represa de Poechos, lo cual estaría en concordancia con una agresividad climática moderada. La superficie ocupada por este nivel es de 135,290 has o el 21.4% del área total evaluada, lo cual representa la segunda área de importancia.

La mayor parte del área se halla afectada por un riesgo potencial de erosión de grado extremadamente alto y que comprende los sectores montañosos aledaños a Pacaipampa, Ayabaca, Tacalpo y Lagunas; la superficie ocupada por este nivel es de 148,485 has o el 23.4% del área total evaluada. Toda el área de estudio puede ser reducida a tres sectores, en relación al riesgo potencial de erosión.

SECTOR A: Riesgo bajo o moderado que comprende aproximadamente 1/4 de la superficie total. Abarca la margen derecha y la margen izquierda del reservorio, hasta los poblados de Los Encuentros y el Progreso, los que abarcarían el 26.9% de la superficie total. Por encima de los 600 msnm de este sector, puede considerársele como el sector B.

SECTOR B: Riesgo moderado a severo, alto y muy alto; que comprende aproximadamente el 47.5% de la superficie total, representada por las poblaciones de Saucillo, La Tina, Suyo, Montero, Lagunas y Olleros.

SECTOR C: Riesgo extremadamente alto, que comprende aproximadamente el 23.4% de la superficie total, representada por las poblaciones de Pacaipampa, Espíndola, Arago. Montero, Ayabaca, Jililí, Sicchez y Mostazas.

La metodología probada tiene las siguientes ventajas: define y clasifica relativamente las unidades homogéneas y los niveles de riesgo de erosión. El método permite:

1. La aplicación de modelos de erosión al mapeo del riesgo potencial de erosión.

2. La delimitación aproximada de toda el área por riesgo potencial de erosión.
3. Nos permite una reducción en la complejidad del ambiente natural.

De esta manera, la metodología proporciona la información básica para el planeamiento de las alternativas de control de la erosión, especificando las acciones más apropiadas para cada sector, a fin de reducir o controlar la erosión.

Dadas las características favorables para el cultivo de café en estas zonas, debe establecerse el asesoramiento técnico para la conducción del cultivo en forma eficiente, promoviendo el uso de técnicas orientadas a la conservación y mejoramiento del recurso suelo.

b) Estabilización de taludes

Sembrío de pastos, forestación y reforestación, para lo cual se pueden utilizar las especies forestales y pastos anteriormente mencionados. Se recomienda, para la práctica conservacionista, el uso del paca de zorro, y/o especies que no sean palatables para el ganado caprino, como la especie espinosa la zarzamora.

c) Mecánico estructurales

Terrazas de formación lenta y absorción; la construcción de terrazas es una de las prácticas más efectivas para combatir la erosión de los suelos; sin embargo, es la más costosa, y deberá aplicarse cuando las otras alternativas de conservación de suelo, como trazo de surcos en contorno y cultivos en fajas u otra práctica agronómica cultural, no pueden emplearse.

Control de cárcavas y cauces; estas prácticas deberán ser aplicadas en la parte alta y media de la cuenca, con diques de contención escalonados; que pueden ser construidos de concreto ciclópeo para los cauces. En el control y estabilización de las cárcavas es conveniente el uso de cercos vivos con especies como la zarzamora y los ágaves.

Zanjas de infiltración; esta práctica es recomendable en zonas de forestación y reforestación, más que en zonas de pastos y cultivos; generalmente, estas obras están asociadas con control de cárcavas. En el cuadro 10, se presentan las prácticas de conservación de suelos que deben efectuarse por sectores.

d) Agronómicos culturales

Surcos en contorno y cultivos en faja son prácticas conservacionistas de uso generalizado. Es importante remarcar que estas prácticas son buenas para controlar la erosión cuando el follaje del cultivo protege gran parte del suelo.

Manejo de pastos; se deben tomar las siguientes acciones:

- Determinación de la capacidad de carga de los pastizales
- Rotación de áreas de pastoreo
- Resiembra de pastos naturales y siembra de pastos exóticos
- En las zonas altas, la repoblación con pasturas y o arbustos de la zona

Para el caso de pastizales, se recomienda, en la zona aledaña de Ayabaca y otras zonas semejantes para la cría de ovinos, el rye grass asociado con el trébol. En el caso de ganado vacuno, *Dactylis glomerata* asociado con alfalfa.

La especie arbustiva leguminosa conocida con el nombre de pacte, sería una buena alternativa para la zona. En la zona de Montero y zonas cálidas de cuencas bajas, el gramalote (*Brasia sp.*) y el pasto elefante (*Pennisetum purpureum*) son alternativas que actualmente se utilizan, pero que podrían aumentarse en extensión; otra posibilidad es el pasto pangola (*Digitaria decumbens*). El king grass es también una especie (pertenece al grupo del pasto elefante) que tiene un gran potencial para la zona.

En las áreas adyacentes al reservorio de Poechos, márgenes derecha e izquierda, la alternativa para el repoblamiento de pastos está dada por la especie (*Cenchrus ciliaris*) o pasto bufel, que está adaptada a condiciones de aridez y suelos pobres; la época en la que podría establecerse sería en la época de lluvias.

Manejo de cultivos: utilización de policultivos, de tal forma que cubran gran parte del suelo y que aprovechen mejor los recursos agua, suelo y nutrientes.

La rotación de cultivos es una práctica que debe ser empleada en el área de estudio.

Los cultivos permanentes deben priorizarse en el área de estudio, como en la zona de Montero y Jalilí, debido a las condiciones agroclimáticas favorables que posee. Un cultivo que tiene un buen precio en el mercado es la lúcuma, de la cual puede obtenerse harina.

Otro cultivo de especies permanentes como el *Cajanus cojan*, posee ventajas en las zonas más calidas como cultivo alimenticio, estabilizador del suelo y restituidor de la fertilidad natural.

CUADRO 10
PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN DE SUELOS POR SECTORES

Prácticas de conservación de suelos	Sector		
	A	B	C
	(*) Margen derecha, margen izquierda del reservorio Poechos hasta los centros poblados de Encuentros y El Progreso	Zona Saucilo, La Tina, Suyo, Montero, Laguanas, Olleros	Pacaypampa, Espindola, Aragoto, Montero, Ayabaca, Jililí, Mostasas, Sicchez
A. FORESTACIÓN			
1. Forestación		X	X
2. Reforestación		X	X
3. Agroforestería			X
B. AGRONÓMICO CULTURALES			
1. Surcos en contorno			X
2. Cultivos en fajas			X
3. Manejo de pastos			
- Determinación de la capacidad de carga de los pastizales	X	X	X
- Rotación de áreas para el pastoreo	X	X	X
- Resiembra de pastos naturales y siembra de pastos exóticos	X	X	X
4. Manejo de cultivos			
- Rotación de cultivos			X
- Policultivos			X
- Cultivos permanentes			X

C. ESTABILIZACIÓN DE
TALUDES

1. Siembra de pastos			X
2. Forestación y reforestación			X

D. MECÁNICO

ESTRUCTURALES

1. Terrazas de formación lenta			X
2. Terrazas de absorción			X
3. Control de cárcavas		X	X
4. Contro de cauces	X	X	X
5. Zanjas de filtración		X	X
6. Canales de desviación		X	X

(*) Por encima de los 600 msnm de este sector se puede considerar el mismo tratamiento que en el sector B.

NOTAS

- 1 Proyecto: "Apoyo al desarrollo mediante sistemas automatizados" APODESA, Instituto Nacional de Desarrollo – INADE.

(*) Por encima de los 600 msnm de este sector se puede considerar el mismo tratamiento que en el sector B.