

CONTRIBUCIONES
PARA EL DESARROLLO
SOSTENIBLE DE LOS ANDES
Nº 2, JULIO DEL 2003

PRIORIZANDO ÁREAS
PARA LA CONSERVACIÓN
DE SUELOS EN
LA MICROCUENCA
LA ENCAÑADA

Joshua Posner, Coen Bussink,
Robert J. Hijmans, Rafaela Delgado,
Has Willet, Percy Zorogastúa
y Jorge de la Cruz



CONSORCIO PARA EL
DESARROLLO SOSTENIBLE
DE LA ECORREGIÓN ANDINA

Apartado 1558 - Lima 12, Perú
Tel: (51-1) 317 5313 Fax: (51-1) 317 5326
correo-e: condesan@cgiar.org

CONTRIBUCIONES
PARA EL DESARROLLO
SOSTENIBLE DE LOS ANDES
Nº 2, JULIO DEL 2003

PRIORIZANDO ÁREAS PARA LA CONSERVACIÓN DE SUELOS EN LA MICROCUENCA LA ENCAÑADA

**Joshua Posner, Coen Bussink,
Robert J. Hijmans, Rafaela Delgado,
Has Willet, Percy Zorogastúa
y Jorge de la Cruz**



CONSORCIO PARA EL
DESARROLLO SOSTENIBLE
DE LA ECORREGIÓN ANDINA

Apartado 1558, Lima 12, Perú

Tel: (51-1) 349 6017 • Fax: (51-1) 317 5326

Correo-e: condesan@cgiar.org

Resumen

Se presenta un método simple para aplicar datos georeferenciados y Sistemas de Información Geográfica (SIG) para mejorar el uso de la tierra en las regiones alto andinas. Se aplicó este método en la microcuenca de La Encañada (Cajamarca, Perú), donde se analizaron datos de pendiente, cobertura vegetal y profundidad de suelo para zonificar áreas prioritarias para implementar medidas de conservación de suelos. El resultado fue usado en una planificación participativa.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los pobladores de La Encañada, a los oficiales municipales y a los colegas del Programa Nacional para el Manejo de Cuenca Hidrográficas y Conservación de Suelos (PRONAMACHCS) en Cajamarca, así como a Pablo Sánchez (ASPADERUC) y a Mario Tapia (CONDESAN).

Priorizando Áreas para la Conservación de Suelos en la Microcuenca La Encañada

Contribuciones para el Desarrollo Sostenible de los Andes No. 2 • Joshua Posner, Coen Bussink, Robert J. Hijmans, Rafaela Delgado, Has Willet, Percy Zorogastúa y Jorge de la Cruz

© CONDESAN, 2003
ISSN 1729-9055

Las publicaciones de CONDESAN contribuyen con información importante sobre el desarrollo para el dominio público. Los lectores están autorizados a citar o reproducir este material en sus propias publicaciones. Se solicita respetar los derechos de autor de CONDESAN y enviar una copia de la publicación donde se realizó la cita o publicó el material a CONDESAN, a la dirección que se indica abajo.

CONDESAN
Apartado 1558
Lima 12, Perú

Publicado por el Centro Internacional de la Papa, miembro de CONDESAN.
El Centro Internacional de la Papa (CIP) trabaja para reducir la pobreza y lograr la seguridad alimentaria sobre bases sostenibles en los países en desarrollo, mediante la investigación científica y actividades relacionadas con la papa, el camote y otras raíces y tubérculos, y un mejor manejo de los recursos naturales en los Andes y otras zonas de montaña.
www.cipotato.org

Edición: Elías Mujica
Diagramación: Nini Fernández-Concha
Diseño de Carátula: Milton Hidalgo

Impreso en el Perú por Comercial Gráfica Sucre S.R.L.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	5
2. EL ANÁLISIS GEOGRÁFICO Y LA ZONIFICACIÓN PARA LA CONSERVACIÓN DE SUELOS	
2.1. EL MÉTODO USADO Y EL ÁREA DE ESTUDIO	7
2.2. CURVAS DE NIVEL (ALTITUD)	10
2.3. ALTITUDES INTERPOLADAS (MODELO DE ELEVACIÓN)	11
2.4. PENDIENTES	13
2.5. COBERTURA VEGETAL	14
2.6. RIESGO DE EROSIÓN	17
2.7. PROFUNDIDAD DE SUELOS	18
2.8. LA ZONIFICACIÓN PARA LA CONSERVACIÓN DE SUELOS	19
2.9. PREPARACIÓN DE MAPAS PARA EL TRABAJO CON LOS CASERÍOS	21
3. CONCLUSIONES	26
4. DISCUSIÓN Y PASOS SIGUIENTES	27
5. REFERENCIAS	28

PRIORIZANDO ÁREAS PARA LA CONSERVACIÓN DE SUELOS EN LA MICROCUENCA LA ENCAÑADA

Joshua Posner, Coen Bussink, Robert J. Hijmans, Rafaela Delgado, Has Willet,
Percy Zorogastúa y Jorge de la Cruz

1. INTRODUCCIÓN

En varias partes de los Andes se observa una preocupante degradación de los recursos naturales, como son los suelos, las fuentes del agua y la biodiversidad (ONERN, 1986). Para frenar y revertir este proceso, diversas instituciones estatales y no estatales están involucradas en la promoción de un mejor manejo de los recursos naturales, para lo cual muchas han escogido la cuenca hidrográfica como la unidad principal de trabajo (Rhoades, 1998). Por ejemplo, en el Perú el Programa Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas y Conservación de Suelos (PRONAMACHCS) del Ministerio de Agricultura, es una entidad que tiene previsto trabajar en alrededor de 125 cuencas en el área andina.

Promover un mejor uso de los recursos naturales en cuencas andinas conlleva varios retos: el éxito de los proyectos depende en primer lugar de una visión holística, que integre el medio ambiente con la realidad social, económica, y política de la cuenca. En segundo lugar se requiere una colaboración de grandes grupos de campesinos para tener un impacto en toda la cuenca. El trabajo es aún más difícil por la ausencia de fuentes de información para la toma de decisiones. Por ello, en este documento describimos una aplicación con el uso de información geográfica para facilitar una visión del conjunto de la cuenca y como una propuesta inicial que permita iniciar el debate en el marco de un proceso de planificación participativa.

Los objetivos de este estudio son dos. Primero, proponemos un procedimiento para recopilar y combinar datos geográficos para facilitar la toma de decisiones a nivel de cuencas. Segundo, aplicamos el procedimiento para zonificar áreas prioritarias para la conservación de suelos con diferentes intervenciones físicas en áreas agrícolas y evaluamos la utilidad de los datos y el resultado a nivel local. La zona de estudio es la microcuenca La Encañada en el departamento de Cajamarca en la sierra norte de Perú.

No intentamos en este documento promover una metodología fija, más bien se trata de una propuesta flexible que sirva para iniciar el proceso de concientización de la gente local y sus líderes políticos. Deseamos promover que vean su ambiente inmediato de una manera más mancomunada, y que tengan una base de datos sencilla y fácil de usar para la toma de decisiones.

Nos concentraremos en la erosión de suelos, por ser uno de los principales factores de la pérdida de la productividad de las parcelas agrícolas y por generar la sedimentación en los

reservorios, las represas y los sistemas de riego¹. Sin embargo, en este estudio se analiza únicamente el efecto local de la erosión, sin considerar los efectos (como la sedimentación) que ello tiene más abajo en la cuenca.

La aplicación se basa en el uso de un sistema de información geográfica (SIG) y el uso de datos topográficos, uso actual de la tierra y suelos para aproximarnos a los riesgos de erosión y a partir de ello sugerir dónde actuar y qué medidas deben de tomarse para disminuir estos riesgos. Las medidas que se recomiendan son de carácter físico en el ámbito de las parcelas, por ejemplo zanjas de infiltración, terrazas de formación lenta y la instalación de una cobertura permanente, que son las medidas más aplicadas en esta zona y que son medidas que se ha comprobado su efecto positivo en la conservación de suelos con relativamente pocas inversiones (Dehn, 1995; Invar y Llerena, 2000). Este plan de intervenciones fue usado para agilizar el proceso de planificación participativa con los pobladores de la zona y los técnicos de las instituciones involucradas en la conservación de suelos.



Figura 1. Muros de piedra para la formación lenta de terrazas en La Encañada.



Figura 2. Zanjas de infiltración con barreras vivas de retama en La Encañada.

En este estudio usamos mayormente datos secundarios (tomados de De la Cruz et al., 1999) y tratamos de usar un mínimo de datos posibles. Aunque se podría discutir mucho sobre lo que constituye un conjunto mínimo de datos, el punto principal es que hemos buscado un método que se pueda desarrollar en poco tiempo, con un costo relativamente bajo y que permita distinguir grandes áreas con distintos peligros de erosión. En resumen, se intenta demostrar una secuencia de pasos que sea sencilla, barata y que ayude a la toma de decisiones de los pobladores de una zona en conjunto con instituciones para el desarrollo.

¹ Aparte de disminuir la erosión, la conservación de suelos incluye también medidas para mantener la fertilidad de suelos, como la conservación del material orgánico, las propiedades físicas y químicas del suelo. Estos temas no están incluidos en este estudio.

2. EL ANÁLISIS GEOGRÁFICO Y LA ZONIFICACIÓN PARA LA CONSERVACIÓN DE SUELOS

2.1. EL MÉTODO USADO Y EL ÁREA DE ESTUDIO

La secuencia de pasos usada para este estudio se ilustra en la Figura 3 (página siguiente). Los principales datos geográficos de entrada son curvas de nivel, cobertura vegetal, suelos y división territorial. Las curvas de nivel son usadas para determinar las altitudes en toda la cuenca y para calcular las pendientes. Los mapas de pendientes y de cobertura vegetal son usados para determinar áreas con diferentes prioridades para la conservación de suelos. Las divisiones territoriales (p.ej. linderos de comunidades), ayudan mucho para establecer el diálogo con los campesinos.

Si bien hay varios factores que influyen en el riesgo de erosión en una cuenca (intensidad y cantidad de lluvias, características físicas del suelo, longitud de pendiente, tipo de labranza, etc.), para nuestros objetivos hacemos un análisis simple poniendo énfasis en sólo dos variables que tienen estrecha relación con el grado de la erosión actual medida (FAO, 1993): pendientes y cobertura vegetal. El factor **pendiente** es probablemente el factor más determinante en un área con pendientes tan fuertes y el factor **cobertura vegetal** nos permite enfocar a las áreas más afectadas (erizazos y suelos desnudos) y con más potencial de ser afectadas (cultivos anuales).

Las medidas que se proponen como resultado de los análisis dependen del riesgo de erosión, tomando en cuenta los costos y efectividad a corto plazo de las medidas propuestas. De las características de suelos (p.ej. estructura, textura, pedregosidad, drenaje, pH), decidimos enfocarnos en la **profundidad**. Nuestra lógica consiste en que si la vulnerabilidad a la erosión es un problema que se presenta en unidades de suelo con diferentes clases de profundidad, los suelos profundos tienen más valor, porque pueden ser más productivos y por lo tanto merecen más inversión que los suelos superficiales. Además, la profundidad del suelo determina si se puede ejecutar determinadas medidas (terrazas o zanjas de infiltración). Áreas donde no se puede aplicar terrazas o zanjas requerirán una cobertura permanente establecida a través de reforestaciones o la instalación de pastos.

Hay varias razones para no incorporar otras variables, como por ejemplo la variabilidad de la **intensidad de las lluvias**, ya que en este caso se trata de una cuenca sobre la que no existen suficientes datos (pocas estaciones y con información de pocos años) como para determinar la variabilidad en una zona pequeña como ésta, lo cual es muy común en los Andes. En cuanto al factor **textura del suelo**, resultó que hay tanta variación dentro de la microcuenca que a esta escala (1:50 000) es necesario de trabajar con unidades complejas que incluyen un amplio rango de texturas dentro de cada clase de suelo y que no permiten diferenciar unidades específicas para el factor textura. Lo mismo cuenta para el factor **tipo de labranza**, que también tiene demasiada variabilidad entre las parcelas y que puede variar de un día al otro. El factor **longitud de pendiente** es una variable muy difícil de evaluar si no se tiene información detallada sobre las barreras físicas que se encuentran en el terreno.

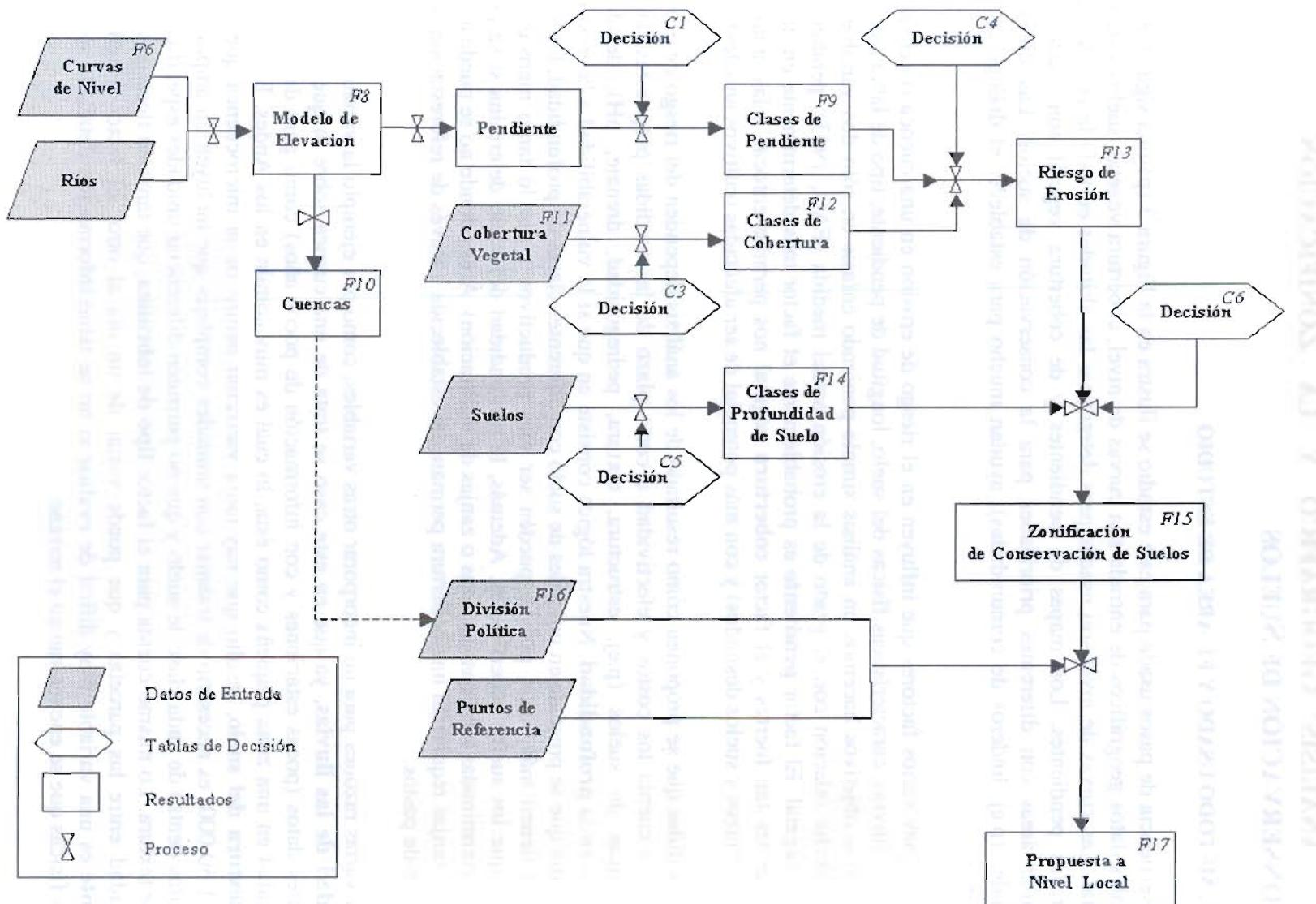


Figura 3. Diagrama de flujo del método usado para la identificación de áreas prioritarias en la zonificación para la conservación de suelos. Los códigos se refieren a los mapas (F) y tablas (C) en el documento.

Por último, para usar los resultados a nivel local se incluye la información de la división territorial y puntos de referencia en el terreno, y sirve como insumo para los talleres de planeamiento comunal.

En los siguientes párrafos describimos en detalle los pasos, aplicados en al área de estudio localizada en la microcuenca La Encañada, departamento de Cajamarca en el norte de Perú (Figura 4). La microcuenca abarca 15 741 ha con un rango de altitudes de 2 944 a 4 115 metros sobre el nivel del mar. A 3 000 msnm, la temperatura mínima promedio es 6° C y la máxima promedio 16° C y la precipitación media anual varía de 652 a 854 mm (Baigorria et al. 1999).

Para la preparación de esta publicación trabajamos con el programa pcArcInfo (versión 3.42) para la digitalización, IDRISI (versión 2.0) para las interpolaciones y ArcView (3.1) para la visualización.

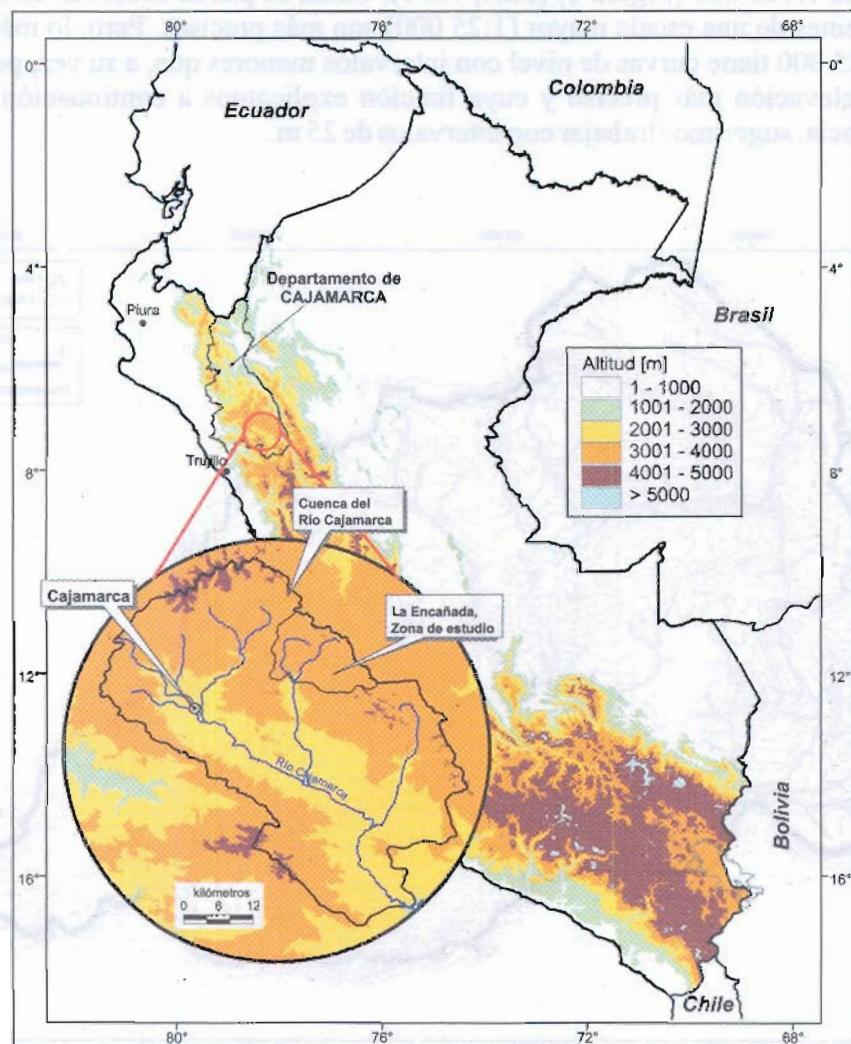


Figura 4. Ubicación de la zona de estudio: La Encañada (Cajamarca, Perú).

2.2. CURVAS DE NIVEL (ALTITUD)

La información de curvas de nivel es necesaria para calcular altitudes en toda el área a través de un modelo de elevación, que forma la base para delimitar las cuencas y para hacer el cálculo de pendientes. Las curvas de nivel se derivan de las cartas topográficas. En el Perú, la información cartográfica oficial es la Carta Nacional editada por el Instituto Geográfico Nacional. Se dispone de hojas a escala 1:100 000 para casi todo el país y para muchas áreas existen también cartas a escalas de mayor detalle, como a 1:50 000 ó 1:25 000.

La escala de trabajo depende de la extensión del espacio en estudio, del tiempo y de los fondos disponibles. Para los trabajos en el ámbito local, la información topográfica a escala 1:100 000 puede ser muy general y es preferible usar una escala con más detalle. Para este estudio digitalizamos curvas de nivel a cada 50 m provenientes de las hojas a escala 1:25 000 (Figura 5). Con fines de comparación se presenta también las curvas de nivel a cada 200 m, digitalizadas de las hojas a escala 1:100 000 (Figura 6) (IGN, 1990). Como se puede observar, es evidente que las curvas provenientes de una escala mayor (1:25 000) son más precisas. Pero, lo más importante es que el mapa 1:25 000 tiene curvas de nivel con intervalos menores que, a su vez, permiten generar un modelo de elevación más preciso y cuya función explicamos a continuación. De acuerdo a nuestra experiencia, sugerimos trabajar con intervalos de 25 m.

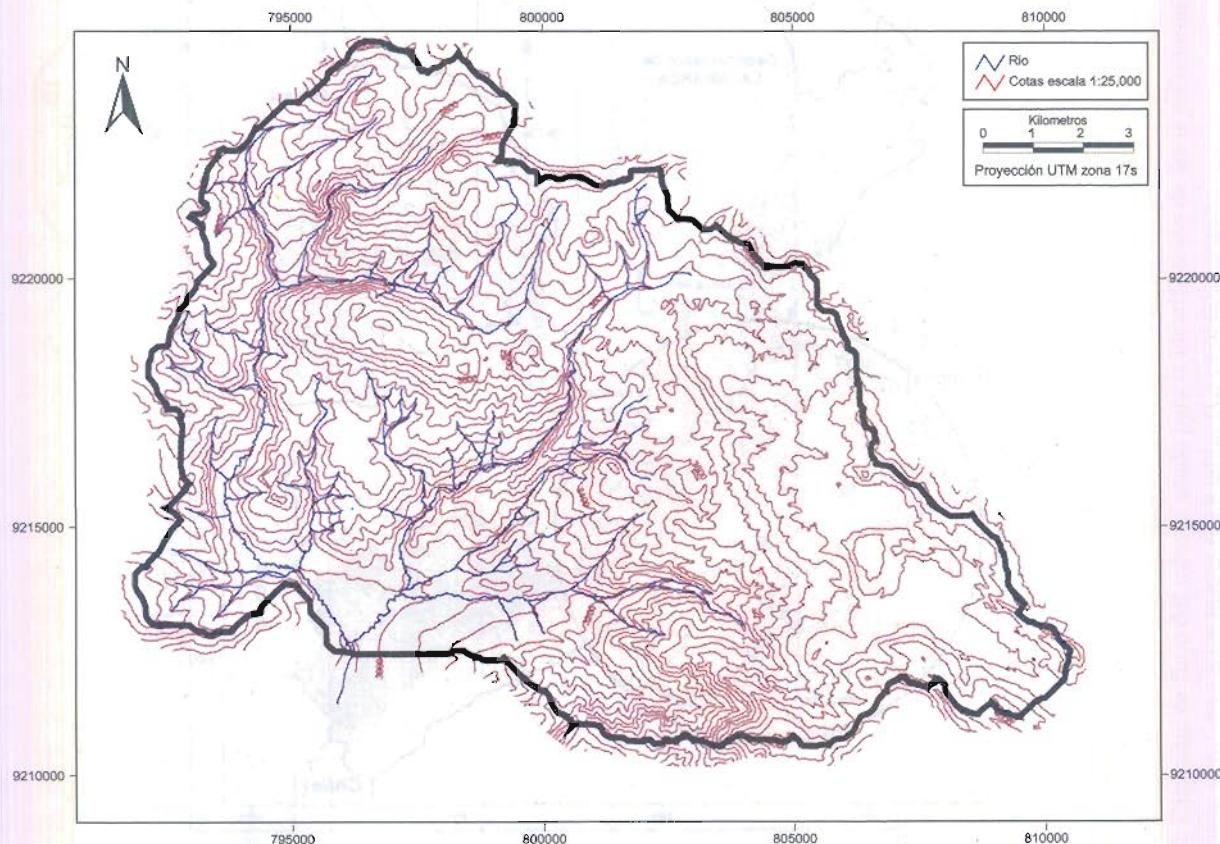


Figura 5. Curvas de nivel cada 50 m tomadas de la Carta Nacional a escala 1:25 000.

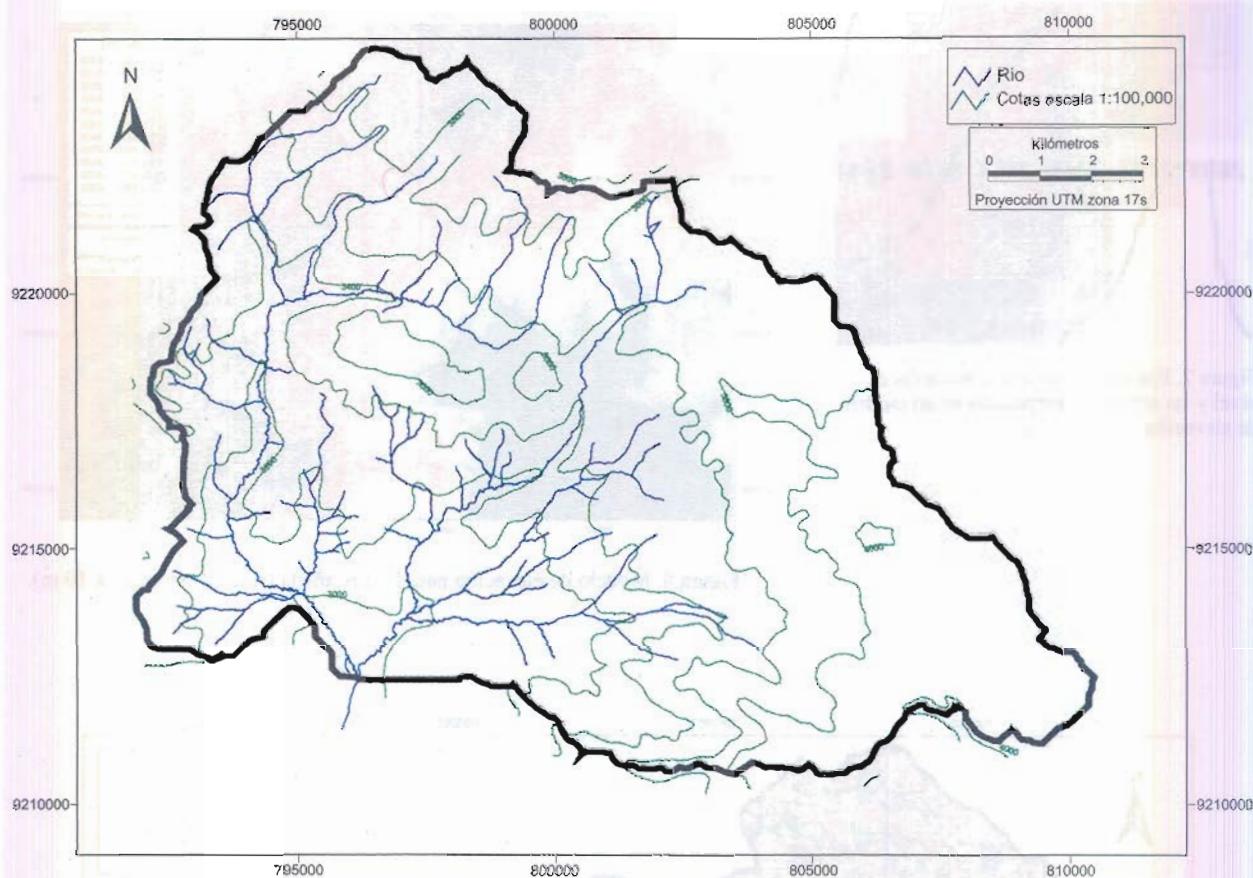


Figura 6. Curvas de nivel cada 200 m tomadas de la Carta Nacional, escala 1:100 000.

Otra sugerencia pertinente es que en la digitalización de los mapas es recomendable exceder un poco los límites exactos de los espacios en estudio, incluyendo la periferia exterior del área de interés, para facilitar la generación del modelo de elevación y la delimitación de cuencas.

2.3. ALTITUDES INTERPOLADAS (MODELO DE ELEVACIÓN)

Un modelo de elevación (ME) es el resultado de una interpolación de las altitudes provistas por las curvas de nivel. Para la interpolación se crea una matriz de celdas (grid o raster) y el tamaño que se escoge para las celdas del grid (la resolución) depende, entre otras cosas, de la distancia entre las curvas de nivel (Figura 7). Hay que asegurar que sólo una curva pase por cada celda, al menos que sean casos muy extremos en áreas con pendientes muy fuertes. Mientras más pequeñas sean las celdas, más detalle tendrá el ME, pero esto implica archivos grandes y tiempos largos de proceso de la información. En la interpolación usamos también el trazo de los ríos para mejorar el ME. El resultado para el área de estudio lo vemos en la Figura 8.

Con la información del ME es posible calcular las pendientes (Figura 9) y la orientación de las pendientes, y sobre la base de ello es posible delimitar cuencas hidrográficas (Figura 10).

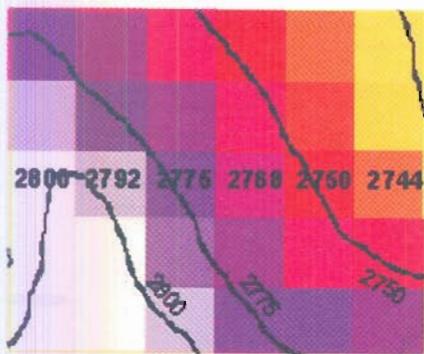


Figura 7. Ejemplo de un área con curvas de nivel y las altitudes interpoladas en un modelo de elevación.

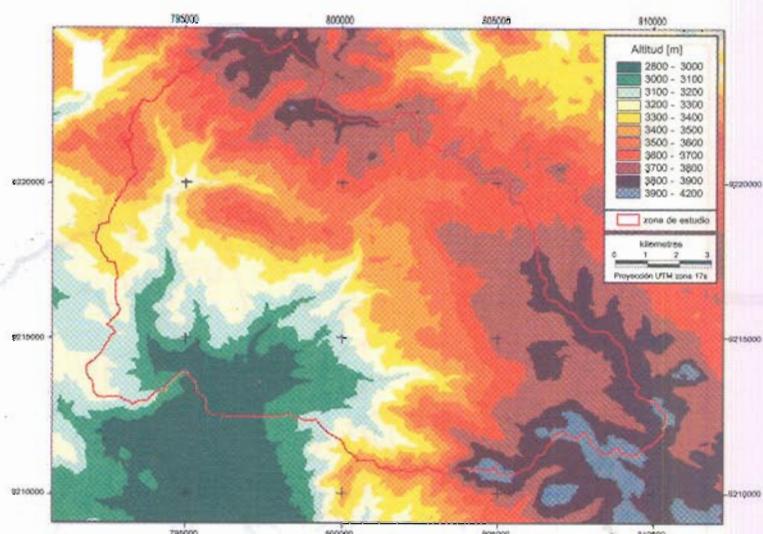


Figura 8. Modelo de elevación para La Encañada (resolución de 10 x 10 m).

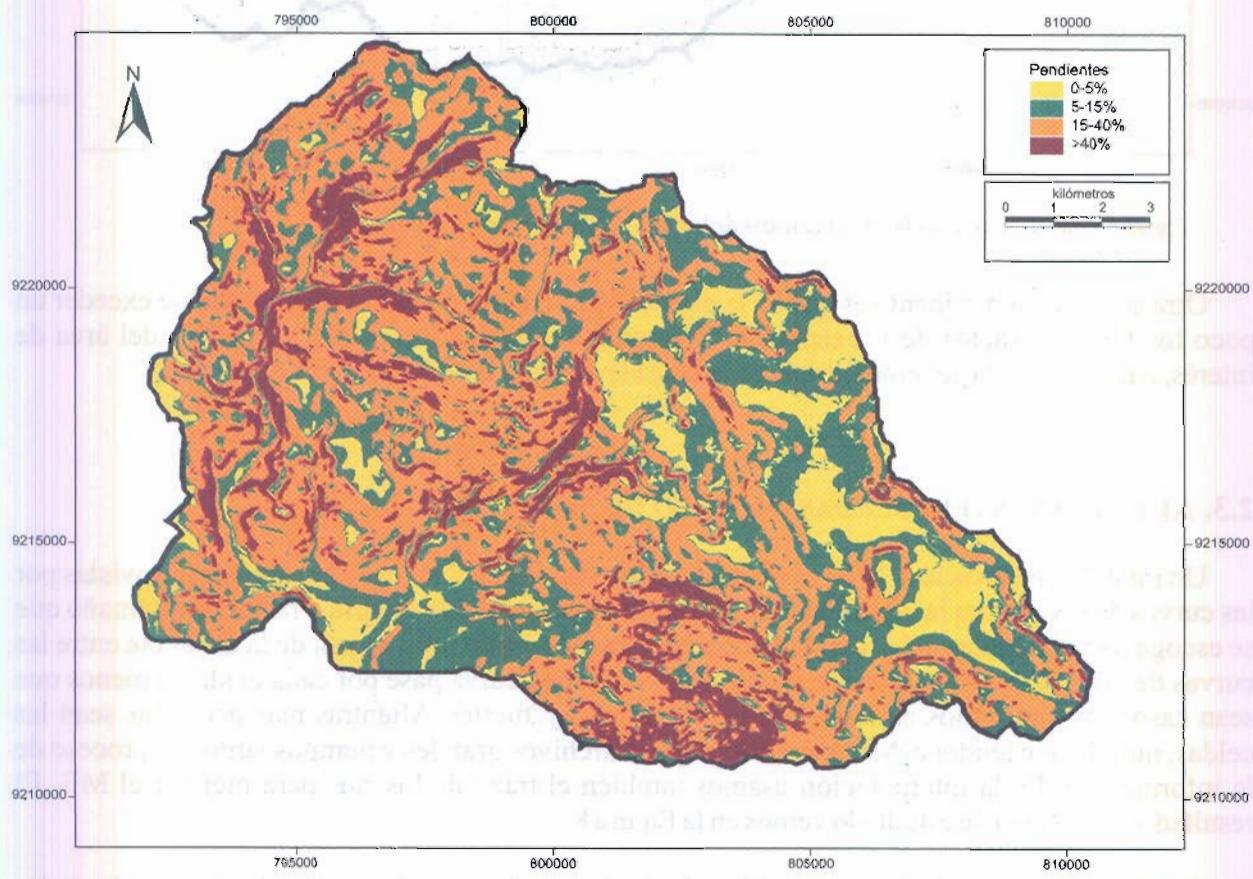


Figura 9. Pendientes clasificadas.

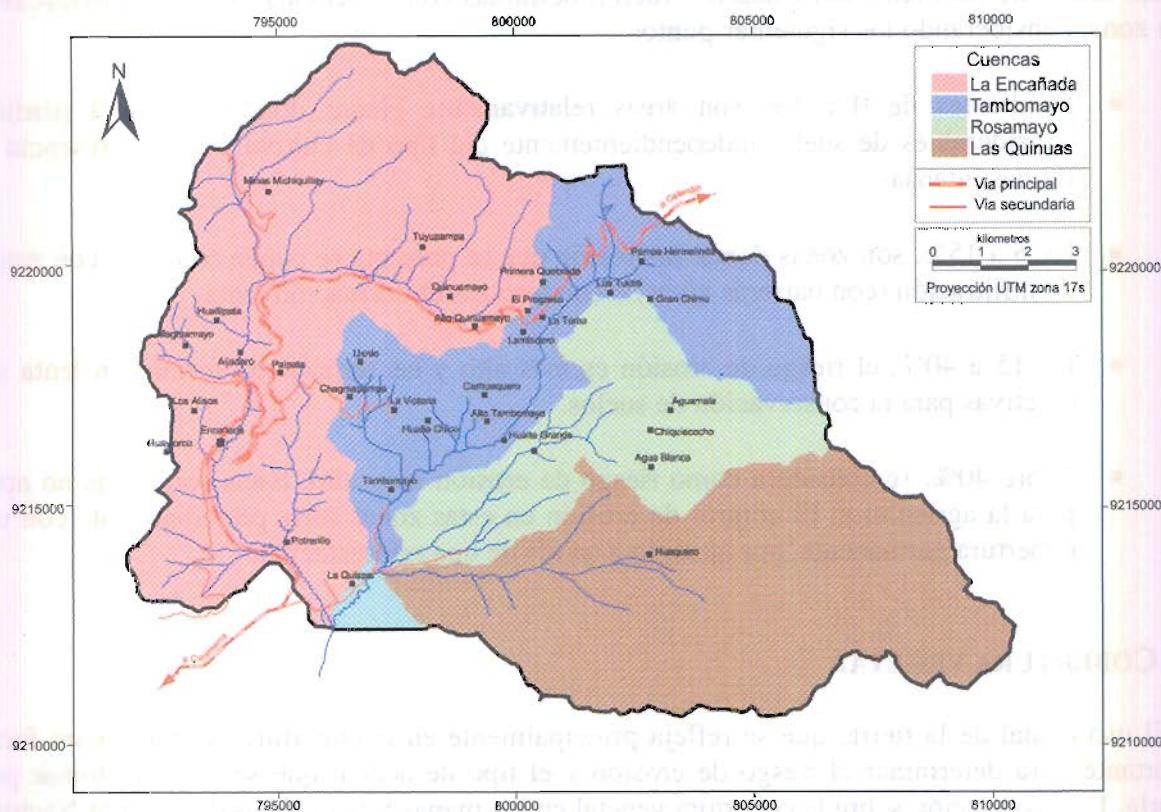


Figura 10. Subcuenca dentro de la microcuenca La Encañada.

2.4. PENDIENTES

En base al modelo de elevación se generó un mapa de pendientes (Figura 9). Las pendientes pueden ser calculadas en porcentajes o en grados sexagesimales ($45^\circ = 100\%$). El resultado del cálculo de pendientes en La Encañada tiene un rango de 0 hasta más que 60% y los resultados clasificados se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Clasificación de pendientes

Clase	Pendiente [%]	Superficie [ha]	[%]
1	0 - 5	2 199	14
2	5 - 15	4 395	28
3	15 - 40	7 105	45
4	40 - 60	1 538	10
5	> 60	504	3
Total		15 741	100

Las clases de pendiente del Cuadro 1 fueron definidas con el personal de PRONAMACHCS en la zona, considerando los siguientes puntos:

- Pendientes de 0 a 5% son áreas relativamente planas donde no habrá pérdidas considerables de suelo, independientemente del tipo de cultivo o de la presencia de lluvias intensas.
- De 5 a 15%, son zonas donde la erosión que se presenta se puede controlar con zanjas de infiltración (con barreras vivas) o con terrazas de formación lenta.
- De 15 a 40%, el riesgo de erosión es más alto y las terrazas de formación lenta son efectivas para la conservación de suelos.
- Sobre 40%, se considera como riesgo de erosión muy alto. Estas son zonas no aptas para la agricultura. El control de erosión en estas zonas sería principalmente con una cobertura permanente, por ejemplo a través de una reforestación.

2.5. COBERTURA VEGETAL

El uso actual de la tierra, que se refleja principalmente en la cobertura vegetal, es un factor importante para determinar el riesgo de erosión y el tipo de acción que se requiere tomar para evitarla. La información sobre la cobertura vegetal en los mapas topográficos de la Carta Nacional a 1:100 000 es muy general y por tanto no apta para estudios a nivel local. Por lo tanto, en la mayoría de los casos habrá que generar información más detallada a partir de un estudio de campo usando fotos aéreas como base. Las primeras fotos aéreas en el Perú son de los años '50s. Normalmente estas fotos no son de gran utilidad para este tipo de trabajo, porque tienen una escala de poco detalle y porque son muy antiguas. Las fotos de los años '70s pueden ser más útiles, si no ha habido mucho cambio en el uso de la tierra durante los últimos treinta años. De otro modo, será imprescindible tener fotos más recientes. Además de su actualidad, las fotos más recientes son de escalas más apropiadas para este tipo de trabajo (1:15-20 000).

Para las partes altas de la cuenca de La Encañada usamos un estudio que se llevó a cabo en 1978 a una escala de 1:50 000 (Landa y Johanson, 1978), así como un estudio de 1996 a una escala de 1:25 000 (M. Jiménez, UNC, no publicado; ver De la Cruz et al., 1999). La cobertura vegetal fue determinada usando fotos aéreas y salidas al campo, determinando unidades de mapeo y estimando porcentajes de usos para cada unidad. Las clases de uso incluyen categorías amplias de vegetación y cultivos individuales. Los datos que presentamos en el Cuadro 2 y en la Figura 9 son los datos resultantes de este estudio y solamente indica los grupos de cultivos que dominan (>50%) en una unidad de mapeo.

La información sobre la cobertura vegetal fue clasificada usando tres categorías (ver Cuadro 3, Figura 12): "Cultivos anuales" (cereales, tuberosas y raíces), "Áreas degradadas" (erizos y suelos desnudos) y "Cobertura permanente" (pastos y bosques). Esta clasificación con sólo tres categorías facilita la determinación de las posibles intervenciones. Aunque haya una variabilidad

entre la erosión potencial para cada cultivo, no tiene mucho sentido evaluarla separadamente por las rotaciones de cultivo que se maneja en el área de estudio. Para el análisis de los riesgos de erosión, hemos elegido concentrarnos en las áreas con cultivos, donde el efecto de degradación de suelos es más directo y severo porque cada año el suelo está temporalmente sin (o con poca) cobertura. En zonas de cultivos anuales, son razonables las intervenciones tipo terrazas, zanjas de infiltración o reforestación (Dehn, 1995; Invar y Llerena, 2000). Muchas veces no hay necesidad de proponer intervenciones de este tipo en zonas con cobertura permanentes (y es más recomendable de cambiar el manejo, como la reducción de carga animal o reducción de corte de leña), pero si lo hubiera, sería sencillo de incluirlas y aplicar el mismo procedimiento con similares reglas de decisión.

Cuadro 2. Cobertura vegetal

Clase	Uso de la Tierra	Superficie	
		[ha]	[%]
1	Cereales	3 206	20
2	Tuberosas y raíces	1 947	12
3	Pastos cultivados	959	6
4	Pastos naturales	8 273	53
5	Bosque	101	1
6	Área degradada	1 150	7
7	Sin información	105	1
Total		15 741	100

Cuadro 3. Cobertura vegetal clasificada

Clase	Cobertura	Superficie	
		[ha]	[%]
1	Cultivos anuales	5 150	33
2	Área degradada*	1 087	7
3	Cobertura permanente (pasto y bosque)	9 504	60
Total		15 741	100

* Se ha excluido las áreas con suelos desnudos que están sobre los 3 700 msnm porque resultaron ser afloramientos rocosos.

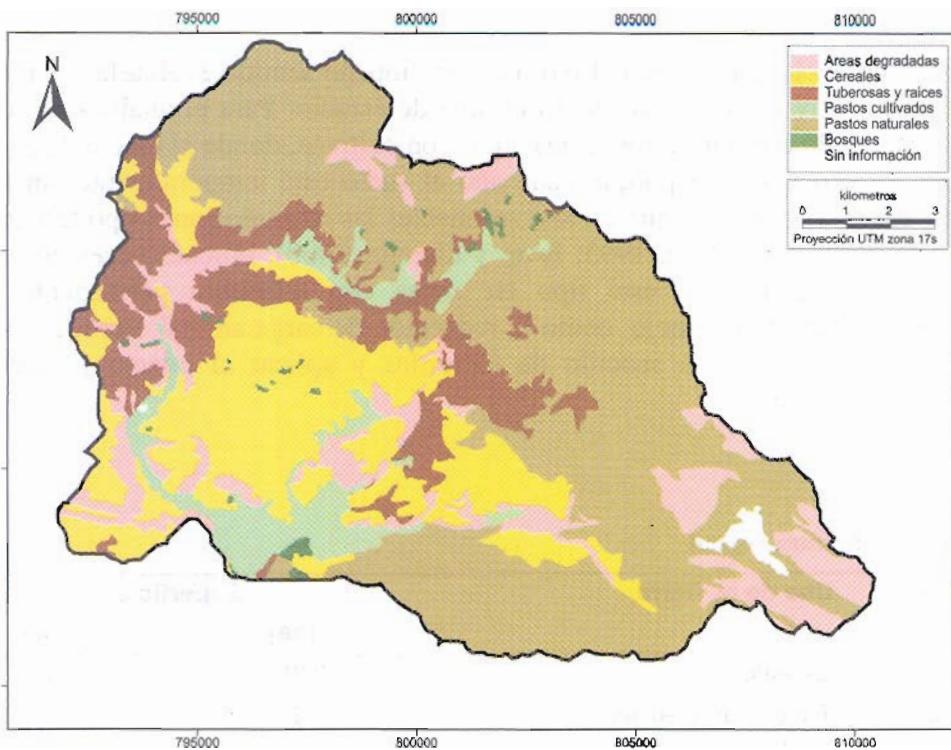


Figura 11. Cobertura vegetal dominante.

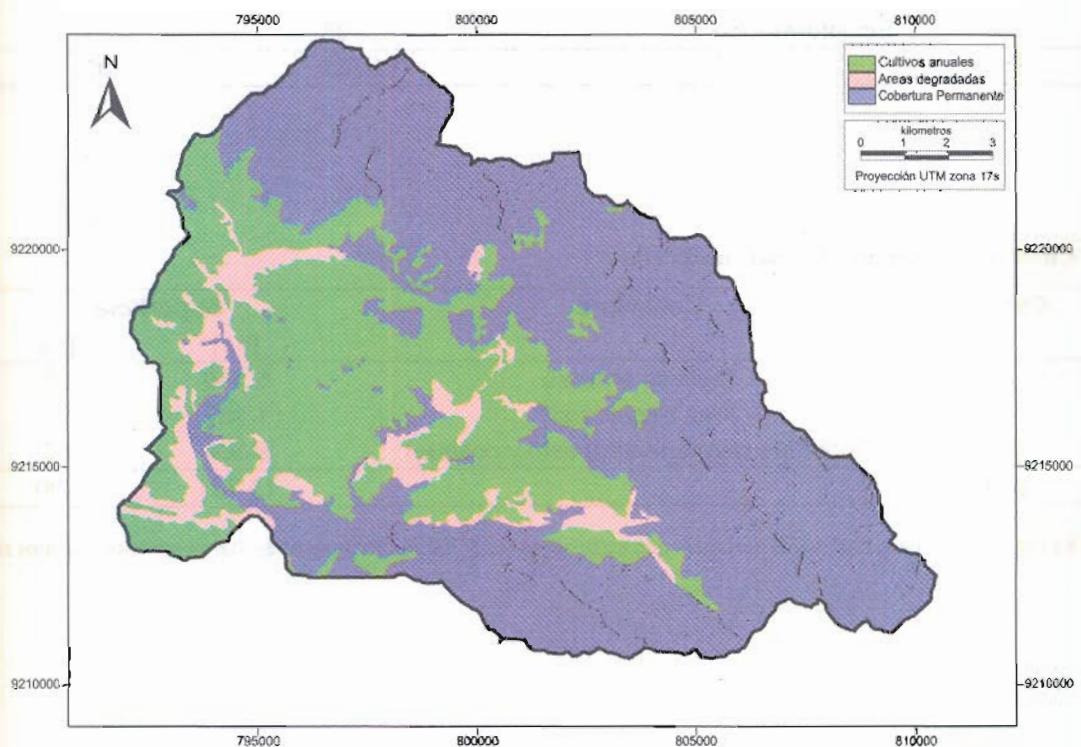


Figura 12. Cobertura vegetal clasificada.

2.6. RIESGO DE EROSIÓN

Para aproximar el riesgo de erosión se graficó el mapa de pendientes según las clases descritas en la segunda columna del Cuadro 4. Esta clasificación se utiliza sólo para el área de cultivos anuales. Las superficies correspondientes y los resultados se presentan en el Cuadro 4 y en la Figura 13.

Cuadro 4. Riesgo de erosión en el área de cultivos anuales

Clase	Pendiente [%]	Riesgo de erosión	Superficie [ha]	[%]
1	0 - 5	Muy bajo	441	9
2	5 - 15	Bajo	1 189	23
3	15 - 40	Medio	2 892	56
4	40 - 60	Alto	540	10
5	>60	Muy alto	88	2
Total			5 150	100

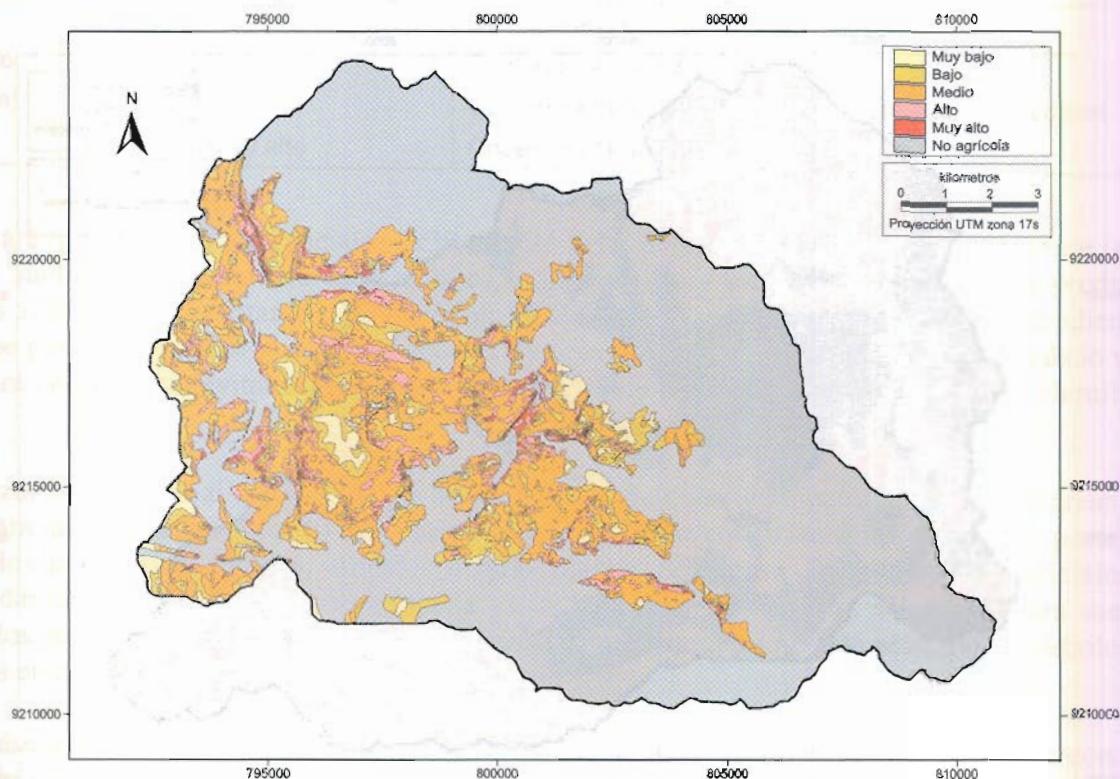


Figura 13. Riesgo de erosión en el área de cultivos anuales.

2.7. PROFUNDIDAD DE SUELOS

La información de profundidad de suelos se obtuvo de mapas de suelos para Cajamarca (Landa et al., 1978), que también fueron elaborados sobre la base de fotos aéreas y con trabajos de campo. En otras zonas (que son la mayoría de los casos), será necesario un estudio específico para obtener este dato. Los grupos de suelos fueron clasificados en cuatro grupos según se ve en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Profundidad de suelos

Clase	Profundidad de Suelos	Categoría	Superficie [ha]	[%]
1	< 30 cm	Superficial	4 379	48,1
2	30 - 60 cm	Moderadamente superficial	7 579	23,8
3	> 60 cm	Profundo	3 741	27,8
4	Sin información	Sin información	42	0,3
Total			15 741	100,0

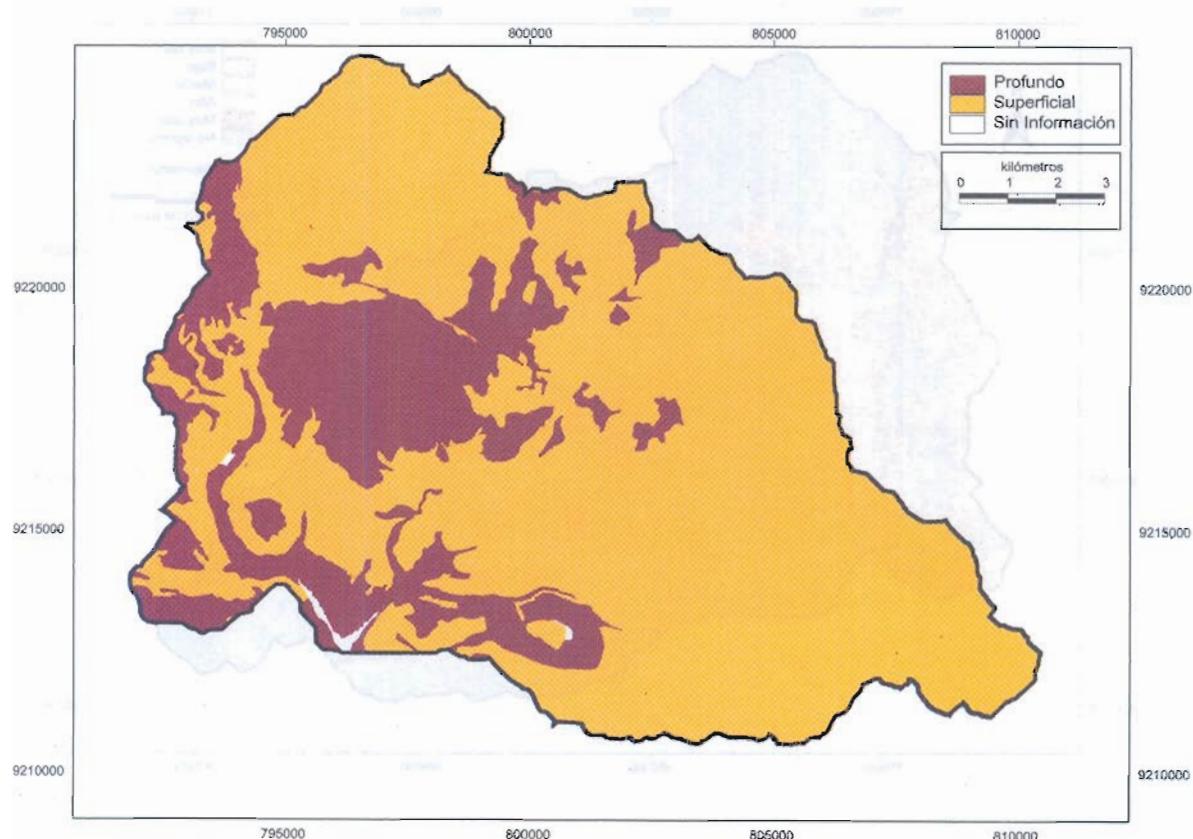


Figura 14. Profundidad de suelos.

2.8. LA ZONIFICACIÓN PARA LA CONSERVACIÓN DE SUELOS

La sobreposición del mapa de pendientes en áreas agrícolas con el mapa de profundidad de suelos, nos permite proponer medidas de intervención en infraestructura agrícola a nivel de parcelas. Las reglas de decisión usadas han sido desarrolladas en conjunto con los técnicos que trabajan en la zona (ver Cuadro 6) y consultando la literatura (Rist & San Martín, 1991; Vásquez et al., 2000; ZONISIG, 2000). Para detalles técnicos de las medidas propuestas, sugerimos Vásquez et al., 2000.

Cuadro 6. Reglas de decisión para la zonificación

Profundidad de Suelos	Riesgo de erosión	Propuesta de Intervención
Superficial (< 30 cm)	Muy bajo - Medio	Cobertura permanente (pastoreo con carga restringida)
	Alto – Muy alto	Cobertura permanente (protección)
Moderadamente superficial (30 - 60 cm)	Muy bajo	No intervención
	Bajo	Zanjas de infiltración (con barreras vivas)
	Medio	Terrazas de formación lenta
	Alto – Muy alto	Cobertura permanente (protección)
Profundo <td>Muy bajo</td> <td>No intervención</td>	Muy bajo	No intervención
	Bajo	Terrazas de formación lenta
	Alto	Cobertura permanente (pastoreo o bosque productivo)
	Muy alto	Cobertura permanente (protección)

En áreas con suelos superficiales (<30 cm) se debe de crear una cobertura permanente (que deje el suelo cubierto durante todo el año), porque no hay un buen potencial para producir cultivos anuales y para evitar la pérdida del poco suelo que queda. En estos suelos con pendientes <40% se puede permitir el pastoreo cuando el manejo sea adecuado luego de haber instalado una cobertura permanente, evitando quemas, sobre pastoreo y usos intensivos (ver también Hamilton 1988).

En zonas mayores al 40% el riesgo de erosión es muy alto y se considera que son áreas no aptas para la agricultura, y por lo tanto proponemos crear una cobertura permanente para proteger los suelos con pastos, árboles, arbustos u otras plantas perennes. Para suelos superficiales y moderadamente superficiales es aconsejable evitar cualquier tipo de uso; solamente para suelos profundos se podrá considerar un uso restringido como el pastoreo o tala selectiva de árboles o arbustos en áreas con pendientes de 40 a 60%.

En áreas con suelos moderadamente superficiales o suelos profundos (30>60 cm) y con un riesgo de erosión muy bajo (pendiente 0-5%), no proponemos ninguna medida. Cuando el riesgo de erosión es bajo (pendiente 5-15%) y si son suelos moderadamente superficiales recomendamos arar zanjas de infiltración eventualmente con un sostenimiento de barreras vivas. En la misma clase de pendiente pero con suelos profundos, será mejor construir terrazas de formación lenta. La

misma medida se puede aplicar para las pendientes medias, sea en suelos profundos o sea en suelos moderadamente superficiales.

Las áreas degradadas tienen que ser restauradas a través de la protección contra el pastoreo o a través de la reforestación y medidas que recuperen la fertilidad (por ejemplo con vegetación que fija nitrógeno) y la capacidad para mantener la humedad de los suelos.

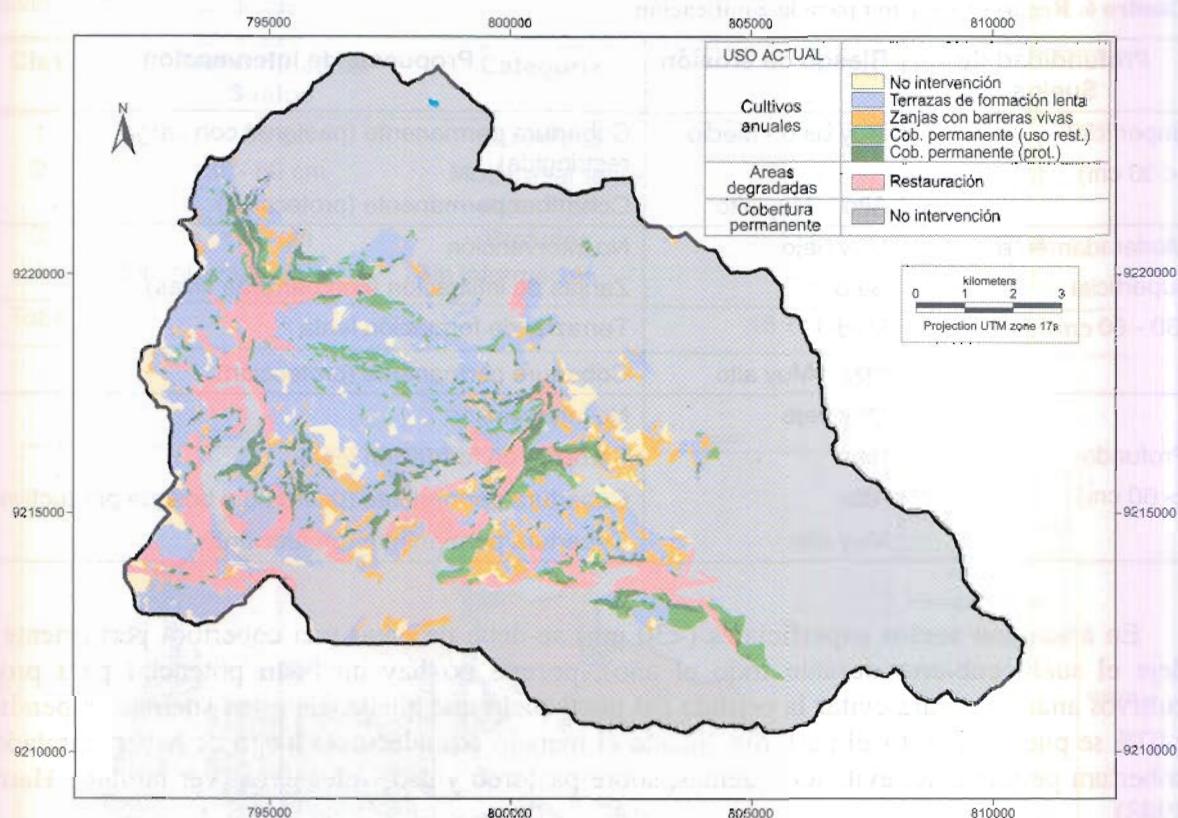


Figura 15. La zonificación para la conservación de suelos en La Encañada.

Como se puede ver en el Cuadro 7, los resultados indican que en la microcuenca La Encañada existen pocos terrenos planos que no requieren medidas de conservación (3%), que la mayor parte de la microcuenca está cubierta con una cobertura permanente (principalmente pastos naturales) (60%), y las intervenciones más importantes a considerar son terrazas de formación lenta (21%) y trabajos de restauración de vegetación (7%). Las instalaciones de zanjas de infiltración y de coberturas permanentes son proyectadas en áreas relativamente pequeñas (cada una en el 3% de la microcuenca).

Cuadro 7. Distribución de la superficie según la zonificación en La Encañada

Clase	Propuesta	Superficie	
		[ha]	[%]
1	No intervención (área agrícola)	425	3
2	Cobertura permanente (protección)	443	3
3	Cobertura permanente (con uso restringido)	455	3
4	Zanjas de infiltración (con barreras vivas)	547	3
5	Restauración	1 087	7
6	Terrazas de formación lenta	3 280	21
7	No intervención (área de cobertura permanente)	9 504	60
Total		15 741	100

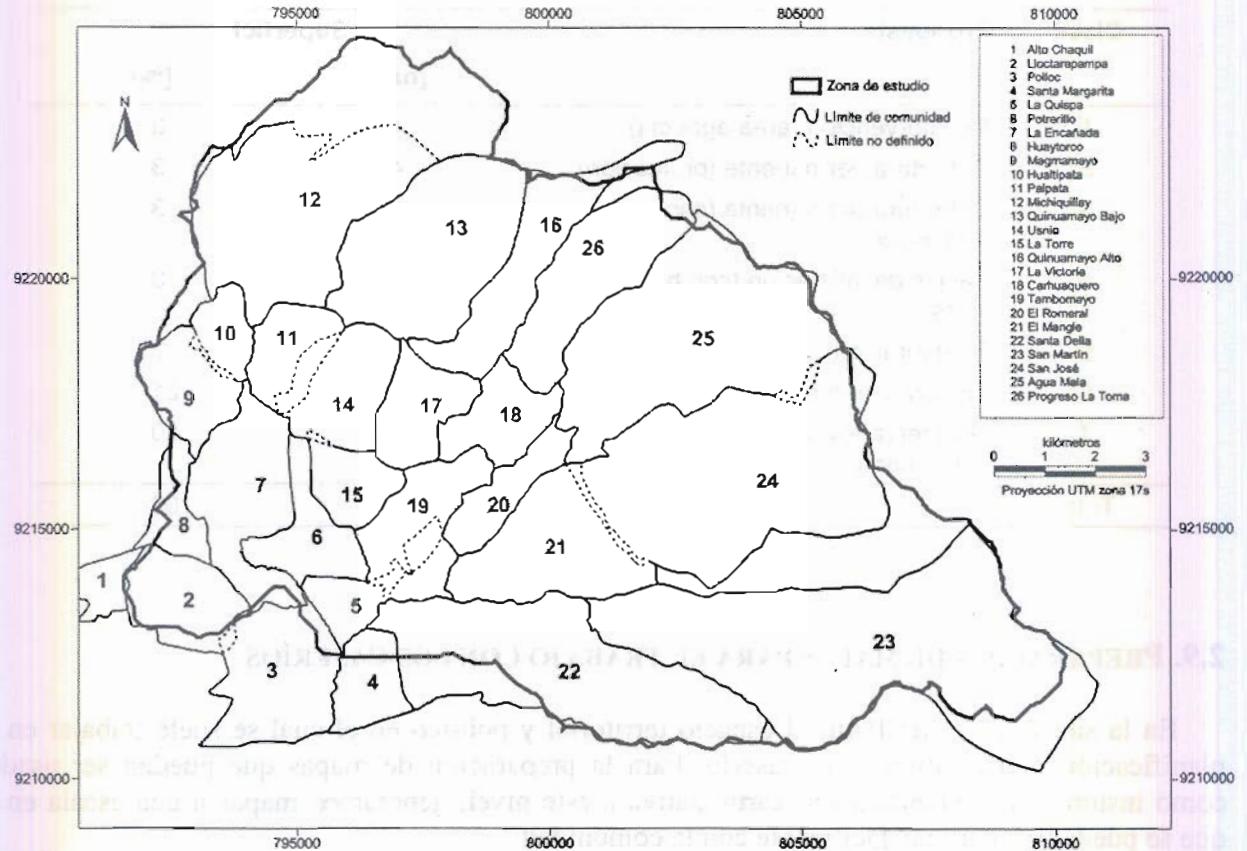
2.9. PREPARACIÓN DE MAPAS PARA EL TRABAJO CON LOS CASERÍOS

En la sierra norte del Perú, el espacio territorial y político en el cual se suele trabajar en la planificación participativa es el caserío. Para la preparación de mapas que puedan ser usados como insumo en la planificación participativa a este nivel, generamos mapas a una escala en la que se pueda trabajar más fácilmente con la comunidad.

Un inconveniente común es que no existen mapas con los límites comunales. Este problema se resolvió realizando un mapeo sencillo de los límites comunales a partir de un recorrido acompañados con los líderes de los caseríos, ubicando dichos límites con un GPS. Estos recorridos por los caseríos fueron aprovechados también para ubicar escuelas, cementerios, capillas, etc., los que fueron utilizados como puntos de referencia para facilitar la lectura de los mapas por los comuneros.

En la Figura 16 se muestra el mapa de la cuenca de La Encañada con los límites de los caseríos. Nótese que algunos límites sobrepasan el límite de la cuenca, así como otros límites no están definidos (líneas punteadas) por discrepancias de opinión entre los informantes.

Al cruzar el mapa de propuesta de intervenciones (Figura 15) con el mapa de caseríos (Figura 16), podemos identificar las áreas prioritarias para La Encañada. Por ejemplo, como se puede ver en el Cuadro 8, en el caserío #12 (Michiquillay) se propone extensiones grandes de cobertura permanente (53 y 64 ha), la instalación de terrazas (274 ha) y zanjas de infiltración (52 ha) en zonas agrícolas. También, hay 106 hectáreas de terreno con poca vegetación que deben ser restauradas con medidas que controlen el pastoreo y con resiembras. Por el contrario, para el caserío #22 (Santa Delia), se propone pocas intervenciones (solo 35 ha), principalmente porque el caserío tiene una cobertura permanente. Esta información ayudará en la toma de decisiones de una organización como PRONAMACHCS para localizar y priorizar los fondos.



El ejercicio de Planeamiento Participativo Comunal (PPC) realizado por PRONAMACHCS en La Encañada en marzo 1999, tenía como objetivo la generación de planes comunales para cada caserío donde trabaja para acondicionar los recursos naturales. Estos planes tienen que ser ejecutados con el apoyo de la institución en un periodo aproximado de cinco años.

Como insumo para los talleres de planeamiento comunal se prepararon mapas comunales con las propuestas de intervención, caminos y quebradas y los mencionados puntos de referencia, a escalas entre 1:2 000 y 1:10 000, dependiendo del tamaño de cada caserío (Figura 17).

Cuadro 8. Áreas calculadas (hectáreas) de intervenciones por caserío.

No.	CASERIO	Terrazas de form. lenta	Restau- ración	Zanjas y barreras vivas	Cob. perm. (uso restr.)	Cob. perm. (prot.)	No intervención (área agric.)	No intervención (cob. perm.)	Total
1	Alto Chaquil	0	1	0	0	0	2	0	3
2	Lloctarpampa	157	90	8	0	4	33	0	292
3	Polloc	0	0	0	0	0	6	31	37
4	Santa Margarita	9	0	2	0	0	0	40	51
5	La Quispa	0	3	1	0	0	0	230	234
6	Potrerillo	140	67	14	0	26	10	41	298
7	La Encanada	211	150	20	4	54	12	126	577
8	Huaytorco	67	32	6	0	2	24	0	131
9	Magmamayo	134	66	12	4	14	52	7	289
10	Hualtipata	78	59	6	2	4	4	3	156
11	Palpata	137	60	0	3	4	8	5	217
12	C.C. Michiquillay	274	106	52	53	64	14	575	1 138
13	Quinuamayo Bajo	222	22	10	42	20	12	644	972
14	Usnio	282	0	2	38	2	27	5	356
15	La Torre	127	0	35	0	17	41	0	220
16	Quinuamayo Alto	65	8	0	5	0	3	398	479
17	La Victoria	230	0	0	31	10	13	20	304
18	Carhuaquero	181	31	13	24	22	2	21	294
19	Tambomayo	116	47	21	1	38	9	69	301
20	Romeral	61	97	24	9	35	7	5	238
21	El Mangle	239	92	94	90	37	14	60	626
22	Santa Delia	9	1	25	0	0	6	1 109	1 150
23	San Martin	38	70	4	91	38	2	1 821	2 064
24	San Jose	155	15	129	21	18	58	1 253	1 649
25	Agua Mala	88	22	32	8	19	40	1 235	1 444
26	Progreso La Toma	92	10	8	15	5	3	463	596
	TOTAL*	3 112	1 049	518	441	433	402	8 161	14 116

* El área total de los caseríos no coincide con el área total de toda la cuenca porque existen algunas áreas que corresponden a caseríos de cuencas colindantes, de los cuales no tenemos datos limítrofes. Las últimas son principalmente áreas en la parte alta que no requieren intervenciones por su cobertura permanente.

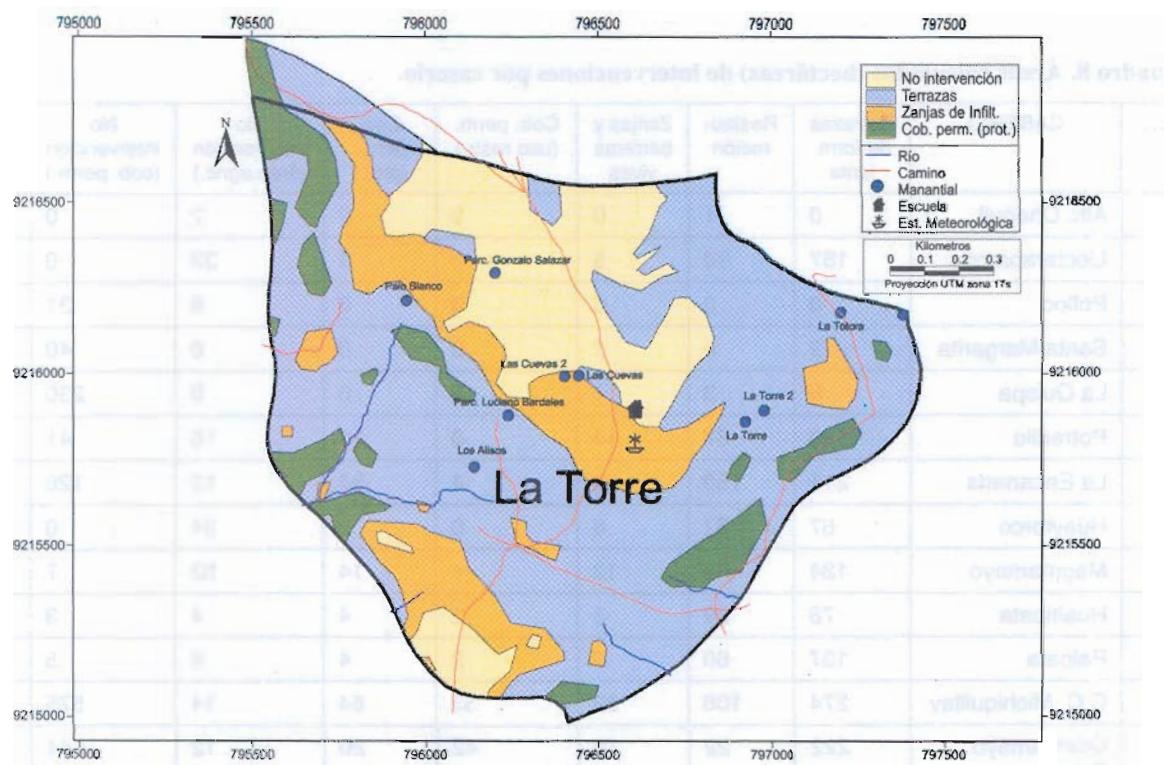


Figura 17. La zonificación en el caserío La Torre.



Figura 18. Visión de la comunidad del caserío La Torre.

La metodología usada por PRONAMACHCS para la formulación de los planes se inicia con la visualización del espacio comunal en diferentes momentos: el pasado (ayer), la actualidad (hoy) y el futuro (mañana). Las diferencias encontradas entre “el ayer” y “el hoy” sirven para reforzar en los participantes la conciencia de los procesos que actúan en su comunidad. Luego se realiza el análisis de las tendencias positivas y negativas (relacionadas con los recursos naturales y la producción agraria), que ayuda a identificar oportunidades y problemas claves. Después se reflexiona sobre las alternativas para aprovechar oportunidades y solucionar problemas y se visualiza cómo debería estar el caserío en un futuro no muy lejano (Figura 18).

El ejercicio de Planeamiento Participativo Comunal termina con la descripción de las acciones necesarias para hacer realidad la visión del futuro y fijando metas y formas para lograrlas (insumos, responsables, tiempos).

Se plantean las estrategias que deben seguir para lograr la visión futura deseada. Se establecen las estrategias que deben seguir para lograr la visión futura deseada. Se establecen las estrategias que deben seguir para lograr la visión futura deseada. Se establecen las estrategias que deben seguir para lograr la visión futura deseada. Se establecen las estrategias que deben seguir para lograr la visión futura deseada.

Al finalizar el ejercicio se establecen las estrategias que deben seguir para lograr la visión futura deseada. Se establecen las estrategias que deben seguir para lograr la visión futura deseada. Se establecen las estrategias que deben seguir para lograr la visión futura deseada.

Al finalizar el ejercicio se establecen las estrategias que deben seguir para lograr la visión futura deseada. Se establecen las estrategias que deben seguir para lograr la visión futura deseada. Se establecen las estrategias que deben seguir para lograr la visión futura deseada.

Al finalizar el ejercicio se establecen las estrategias que deben seguir para lograr la visión futura deseada. Se establecen las estrategias que deben seguir para lograr la visión futura deseada.

Al finalizar el ejercicio se establecen las estrategias que deben seguir para lograr la visión futura deseada. Se establecen las estrategias que deben seguir para lograr la visión futura deseada. Se establecen las estrategias que deben seguir para lograr la visión futura deseada.

3. CONCLUSIONES

La digitalización de mapas existentes y la colección y georeferenciación de información adicional de campo pueden resultar, con bajos costos, en una base de datos útil para iniciar una discusión a nivel de cuenca y de comunidad sobre la toma de decisiones en el manejo de los recursos naturales.

La secuencia de pasos que hemos presentado se puede aplicar en poco tiempo basándose en datos generalmente disponibles, o en datos que se obtienen relativamente fácil. El estudio demuestra que también con datos limitados se puede evaluar medidas técnicas para la conservación de suelos en una cuenca, sin tener que hacer algunas cuantificaciones exactas de la erosión. No obstante, se ha visto también que la precisión de nuestros datos no permite que ampliemos simplemente el resultado hacia un caserío o una parcela.

Las fotos aéreas, a nivel de caserío, y de los mapas a nivel del microcuenca, son de gran utilidad porque ayudan a los campesinos y a los técnicos a ver la finca como parte de un entorno, y de una cuenca. Dentro de las ventajas inmediatas de la georeferenciación de los datos, está la ubicación de los límites de los caseríos. Además, con el procesamiento de los datos georeferenciados se obtuvo de una manera sencilla productos útiles como el modelo de elevación, lo cual ayudó en la identificación de los límites de los subcuenca, en la zonificación para identificar las zonas con prioridad para la conservación de suelos y que puede tener muchos usos más, por ejemplo para definir zonas agroecológicas.

Con la utilización de los mapas actualizados se observó un mejoramiento en la calidad del diálogo sobre la condición de los recursos naturales en la cuenca. Las conclusiones a las que llegaron los facilitadores luego de las reuniones PPC fueron que:

- 1) Los mapas georeferenciados fueron útiles durante este trabajo participativo pero los mapas no coincidieron completamente con la percepción de los campesinos, principalmente porque la percepción de un campesino es más a nivel de parcelas;
- 2) Las cuencas andinas requieren más información hidrológica (manantiales y sistemas de riego);
- 3) Si bien los mapas de intervención enriquecieron el debate, los participantes de la comunidad encontraron discrepancias con las propuestas planteadas por falta de precisión en los mapas de pendientes y suelos.

4. DISCUSIÓN Y PASOS SIGUIENTES

Para aplicar el SIG en una microcuenca se ha elaborado un modelo simple y aunque se ha visto que se acerca a la realidad, para futuras aplicaciones sería aconsejable de variar los criterios y las clases de cada criterio y evaluar la variación en el resultado final. El proceso de erosión es muy complejo y con suficiente datos se puede validar el resultado de nuestra aproximación sencilla para aprobar o rechazar el modelo sencillo. La aplicación de un modelo que se utiliza mucho mundialmente para aproximarla es la Ecuación Universal de Perdida de Suelos (USLE), pero hemos preferido no aplicarlo porque se ha comprobado que este modelo no es bien aplicable en áreas tropicales y que da resultados que no coinciden con la erosión medida en el campo (FAO, 1993). No obstante, el método propuesto para la conservación de suelos puede ser mejorado incluyendo datos como la textura y el contenido de material orgánico del suelo. La información que se obtuvo en las reuniones con los campesinos se puede utilizar para refinar el modelo, cambiando los criterios de acuerdo a la situación local.

Efectivamente, cuando se cambia de escala de una microcuenca de 15 741 ha, que trabajamos a 1:25 000, a un caserío de 220 ha que graficamos en 1:2 000, se generan discrepancias. Gracias a estas discusiones, el equipo está trabajando para incluir tres componentes adicionales en el mapeo de los recursos naturales:

- 1) El uso de fotos aéreas actuales para acompañar los mapas y para acercarse más a la realidad campesina. Estamos trabajando con fotos a 1:15 000 ampliéndolas a 1:3 000;
- 2) Más atención al recurso agua, incluyendo en los mapas más información sobre manantiales y los sistemas de riego;
- 3) Introducción de mapas participativos de suelos, hechos por los campesinos en cada caserío;
- 4) Trabajar con curvas de nivel a cada 25 metros, lo que mejora el mapa de pendientes.

Sobre la base de las experiencias descritas en este documento, se ha iniciado un proyecto en tres otras microcuencas andinas donde se utiliza la información geográfica en una serie de aplicaciones diversas y distintas donde se ajuste el método según la zona y su problemática, por ejemplo para:

- Localizar pastos y determinar su productividad potencial;
- Localizar zonas de captura de agua y posibles mejoramientos en el manejo de riego;
- Localizar áreas potenciales para sistemas de producción alternativos.

Estas investigaciones posteriores y otras experiencias de aplicación servirán para refinar los métodos propuestos y evaluar la utilidad de ellos. Cada aplicación requiere su proceso iterativo de consultar los productores y otras especialistas con la presentación de los mapas y cambiando criterios, así refinando poco a poco el resultado final. El desafío de estos proyectos es de encontrar aplicaciones que tienen utilidad para instituciones, autoridades u otros usuarios que trabajan en una cuenca, de fácil utilización y bajo costo.

5. REFERENCIAS

- Baigorria, G., W. Bowen, J. Stoorvogel. 2001. "Estimating the spatial variability of weather in mountain environments". En: *Scientist and Farmer; partners in research for the 21st century*. Program report 1999-2000, p 371-378. Lima, CIP.
- Dehn, M. 1995. "An evaluation of soil conservation techniques in the Ecuadorian Andes". *Mountain Research and Development* 15 (2): 175-182. International Mountain Society and United Nations University.
- De la Cruz, J., P. Zorogastúa y R. J. Hijmans, 1999. *Atlas Digital de los Recursos Naturales de Cajamarca*. Departamento de Sistemas de Producción y Manejo de Recursos Naturales. Documento de Trabajo No. 2. Centro Internacional de la Papa, Lima, Perú.
- FAO, 1993. El modelo USLE en Costa Rica. Basado en los trabajos presentados en el Taller sobre la Utilización de un Sistema de información geográfica (SIG) en la Evaluación de la erosión actual de suelos y la predicción del riesgo de erosión potencial. Santiago, Chile. Internet: <http://www.fao.org/docrep/t2351s/T2351S0h.htm#El%20modelo%20usle%20en%20Costa%20Rica>.
- Hamilton, L. S., 1988. "Forestry and watershed management". In: *Deforestation - Social dynamics in watersheds and mountain ecosystems*. J. Ives y D.C. Pitt (eds), p. 99-131. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources. Routledge, London & New York.
- Invar, M. y C. A. Llerena, 2000. "Erosion processes in high mountain agricultural terraces in Peru". *Mountain Research and Development* 20 (1): 72-79. International Mountain Society and United Nations University.
- Instituto Geográfico Nacional, 1990. Carta nacional 1:100 000. Segunda edición. San Marcos, Hoja 15-g. Lima, Perú.
- Landa, E. C. y A. Johanson, 1978. *Uso actual de la tierra de los PIAR's Cajamarca y San Marcos. Vol. III. Estudio de parte de los distritos de Ichocan, San Marcos, La Encanada, Cajamarca y Chetilla*. Ministerio de Agricultura y Alimentación y Cooperación Técnica Belga, Cajamarca, Perú.
- Landa, C., C. Van Hoof, W. Poma y J. Mestanza, 1978. *Los suelos de la cuenca del río Cajamarca*. Edit. Ministerio de Agricultura y Alimentación – Cooperación Técnica Belga, Cajamarca.
- ONERN, 1986. *Perfil ambiental del Perú*. Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN), Lima (Perú); Agencia Para el Desarrollo Internacional (AID), Lima.

Rist, S. y J. San Martín, 1991. *Agro ecología y saber campesino en la conservación de suelos*. Univ. Mayor de San Simón. Agroecología Univ. Cochabamba (AGRUCO). Cochabamba (Bolivia).

Rhoades, R. E. 1998. *Participatory watershed research and management. Where the Shadow Falls*. Gatekeeper Series no. 81. International Institute for Environment and Development, London.

Vásquez, A., C. Torres, R. Teran, J. Alfaro, G. Vilchez, J. Alcantara, J. Sevilla, V. Huanco, E. Moncada. 2000. *Manejo de cuencas altoandinas*. Tomo 1. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.

ZONISIG, 2000. *Zonificación agroecológica y socioeconómica. Departamento Chuquisaca. Proyecto Zonificación Agroecológica y Establecimiento de una Base de Datos y Red de sistema de Información Geográfica en Bolivia (ZONISIG)*. Prefectura del Departamento de Chuquisaca. Universidad San Francisco Xavier de Chuquisaca. Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación. Sucre, Bolivia.