

**EL ABANDONO DE ANDENES. ELABORACIÓN  
DE UN MODELO DE ACCESIBILIDAD Y CARTOGRAFÍA  
EN UN ENTORNO SIG: EL VALLE DEL COLCA  
(AREQUIPA, PERÚ)**

POR

SILIÓ CERVERA, F.; RODRÍGUEZ MEDINA, F.  
Y GARCÍA CODRON, J. C.

*Introducción*

Según el Censo Agropecuario de 1994, Perú se encuentra entre los países de América Latina con una menor proporción de tierras cultivables debido a las dificultades impuestas por su medio físico. Las culturas andinas que desde antaño han habitado estos territorios han sabido adaptarse a los distintos ecosistemas mediante la utilización racional de los recursos naturales. Aquel contexto socioeconómico, caracterizado por una presión demográfica creciente y modelo económico cerrado al exterior, es totalmente distinto al actual. Las técnicas tradicionales son consideradas ahora como sostenibles, tanto desde el aspecto ambiental, social como económico.

Tal y como señala Treacy (1994) «los principales ejemplos de adaptación exitosa del paisaje son los innumerables andenes tallados en las laderas andinas». En efecto, la agricultura sobre andenes o terrazas<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> En adelante se utilizará siempre el término «andenes» pues algunos autores señalan diferencias respecto al término «terrazas» en la fisonomía y materiales del muro de con-

---

Silió Cervera, F.; Rodríguez Medina, F. y García Codron, J. C. Dpto. de Geografía, Urbanismo y Ordenación del Territorio. Universidad de Cantabria.

es la tecnología prehispánica más conocida y extendida tanto espacial como temporalmente en Perú.

Si bien la amplitud del concepto de andén recoge la esencia del sistema, esto es, el allanamiento del terreno, adolece de una caracterización completa de los múltiples beneficios derivados de su implantación. Estos han sido abordados desde diferentes ópticas científicas por multiplicidad de autores, principalmente desde la década de los 80. Dichas ventajas pueden ser agrupadas en tres bloques íntimamente relacionados entre sí:

*a)* Mejora de las condiciones ambientales y microambientales del área, preferentemente en zonas de estación seca marcada y condiciones edafológicas deficientes. Dentro de este apartado destaca el control sobre la erosión y el agua (Bonavia y Matos, 1990; Denevan, 1980; Donkin, 1979; Field, 1966; Guillet, 1990; Hopkins, 1968; Maldonado y Gamarra, 1978; Sanders *et al.*, 1979; Turner, 1983) puesto que la existencia de andenes mejora el drenaje y el aprovechamiento de la humedad (Gonzales y Trivelli, 1999) permitiendo una mayor y mejor edafogénesis. Treacy (1994) añade su capacidad en la creación de microclimas favorables para los cultivos por su papel protector frente a las heladas. Denevan (1980), Donkin (1979) y Patrick (1980) resaltan su capacidad para crear turbulencias de viento que impiden que el aire frío descienda sobre las laderas aterrazadas. El control de la pendiente y del ángulo solar permiten la irradiación desde las paredes de las terrazas, lo que hace que se entibien las plataformas de cultivo (Denevan, 1980; Fejos, 1944; Field, 1966; Patrick, 1980).

*b)* Mejora de la producción agrícola, en relación con los beneficios del primer bloque. La más importante es sin duda la puesta en cultivo de áreas de montaña, que por sus condiciones medioambientales (altitud, pendiente, clima, etc.) no permiten el cultivo salvo en andenes bajo riego. La mayor disponibilidad de tierras corresponde al concepto de expansión de la frontera agrícola (Denevan, 1987; Donkin, 1979; Fonseca, 1983; Gelles, 1984, 1986; Guillet, 1985, 1987; Lynch, 1988; Mitchel, 1981; Treacy, 1987). Resulta también de gran importancia la reducción y diversificación de los riesgos en la producción agrícola como conse-

---

tención. Se toma en este trabajo la definición del INRENA (1996) que los define como «la construcción de muros (de piedra) de modo tal que logran modificar la pendiente de las laderas generando plataformas escalonadas de superficie plana.»

cuencia del mencionado efecto atenuador de las heladas. Pero sobre todo gracias a la utilización de diversos pisos altitudinales y la asociación de cultivos (Blanco, 1983), dos hechos que han venido tradicionalmente ligados a la agricultura sobre andenes. El cultivo sobre andenes permite, además, un alto grado de concentración de fertilizantes lo que posibilita la utilización de abonos tradicionales orgánicos o, en su defecto, la reducción del gasto en insumos químicos.

c) Integración y articulación social. La existencia de un sistema de andenes y riego asociado descansa en el trabajo comunal (Benavides, 1990), y determina la aparición de instituciones colectivas propias (comisiones de regantes, comunidades campesinas). Estas instituciones tienen como objetivo la gestión del funcionamiento del sistema (limpieza de canales) y de los beneficios resultantes (el agua de riego). Esto permite a los campesinos consolidar sus grupos de poder locales y sentirse plenamente identificados con ellos.

Pese a las ventajosas condiciones que ofrecen las andenerías, estos sistemas han experimentado de forma secular importantes periodos de abandono (Gelles, 1989). En su explicación se han esgrimido argumentos relacionados con alteraciones de los patrones ambientales (movimientos tectónicos, reducción pluviométrica, menor disponibilidad de agua, alteraciones en suelos y vegetación, etc.), sociales (descensos demográficos principalmente ligados a la dominación española, pérdida de la tecnología originaria, etc.) y económicos (introducción de nuevos contextos económicos como sucedió en la etapa colonial, o el inminente proceso de apertura y liberalización económica).

Actualmente, el proceso de abandono de andenes supone una clara manifestación de la transformación de los modos de producción tradicionales ante la aparición de las actividades de ocio (Rodríguez *et al.*, 2000). Este proceso acarrea unas consecuencias ambientales (mayor erosión, cambios en la vegetación, abandono de la gestión del agua) con un evidente reflejo paisajístico (Cacho *et al.*, 1999) y que hace peligrar el milenario equilibrio entre usos y conservación.

#### *Descripción del área de estudio*

El valle del río Colca pertenece administrativamente al departamento de Arequipa, el segundo del Perú que cuenta con una mayor superficie de terrenos andeneados (INRENA, 1996). En su recorrido hacia

el Pacífico, el cauce principal sigue una orientación predominante NO-SE impuesta por los elementos estructurales de la Cordillera Chila y el Arco Volcánico Barroso del Sur (Cacho *et al.*, 2000). El primero constituye el cierre septentrional de la cuenca del Colca, en el que encuentran una serie de cerros y nevados entre los que destaca el Mismi (5.597 m) y de cuyos deshielos se alimentan los territorios ubicados en la margen derecha del río Colca. El segundo, cerrando la cuenca por el Sur, consiste en una alineación de conos volcánicos (Hualca Hualca, 6.025 m; Ampato, 6.288 m; Sabancaya, 5.976 m) responsables en gran medida de los episodios de vulcanismo que ha experimentado el área a lo largo de su historia. En el fondo de valle, sobre los materiales ígneos, aparece un relleno aluvial cuaternario (Guillet, 1990).

Desde el punto de vista climático, el valle del Colca se inscribe en un entorno semiárido, con precipitaciones medias en torno a los 387 mm. anuales (ONERN, 1973). Sus rasgos térmicos y pluviométricos se caracterizan por los fuertes contrastes estacionales. Las temperaturas oscilan entre los 11,4 °C del mes más cálido (noviembre) y los 7,7 °C del mes más frío (julio). Las variaciones diarias superan a las estacionales, que en julio oscilan entre los 18 °C diurnos y los 0 °C nocturnos. En cuanto a las precipitaciones, un 65% de la precipitación anual se concentra entre los meses de enero a marzo.

A lo largo de sus 100 km el valle define un espacio esencialmente agropecuario por encima de los 3.000 m. Forma parte del conjunto de valles interandinos de la fachada occidental, en donde aún se conservan de forma más o menos original la tecnología prehispánica (Bonavia y Matos, 1990). Porque la ocupación humana del valle tiene un origen pre incaico. Durante siglos, las etnias de cabanas y collaguas reemplazaron la agricultura en seco preexistente (Treacy, 1994; Rubina *et al.*, 1997) poniendo en marcha un vasto sistema de producción agrícola basado en los andenes, una compleja red de acequias y conducciones para repartir el agua procedente de las fuentes y nevados circundantes. Los andenes, magnífico ejemplo de «domesticación de la pendiente», llegaron a ocupar unas 8.000 has. en ambas vertientes del valle (Blassi, 1987) y siguen siendo el elemento paisajístico por excelencia del valle.

Con la llegada de los españoles, la organización del valle sufre profundas transformaciones. La población indígena se vio dramáticamente reducida y relocalizada en una nueva distribución de la red de asentamientos que es la que se conserva hoy en día. Los trece pueblos,

nacidos de las «reducciones toledanas» o «pueblos de indios» en la década de 1570 (Benavides, 1990), albergan en la actualidad unos 30.000 habitantes, la mitad que en los momentos anteriores a la presencia española (Cook, 1982).

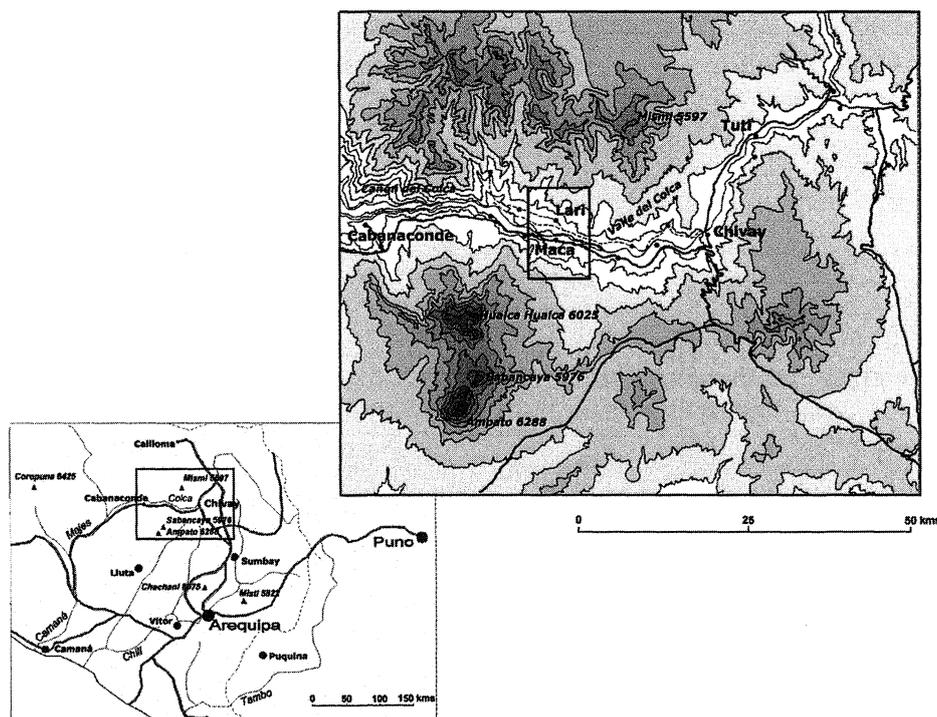


FIG. 1.—Mapa de localización.

A pesar de estos cambios, las bases del sistema productivo no se han visto alteradas hasta las últimas décadas del siglo XX con el acondicionamiento del acceso rodado al valle en los años 70 (fruto del polémico proyecto hidráulico del Majes) y la introducción de nuevos patrones económicos. En efecto, la orientación turística del valle, su introducción en los circuitos nacionales e internacionales, y la penetración de formas capitalistas han desencadenado una serie de cambios no sólo económicos, sino también sociales y ambientales. En este sentido, el trasvase de población y de las actividades económicas hacia la capital, Chivay, y la desigual incidencia del turismo en las dos márgenes del valle han favorecido

una polarización funcional de diferentes áreas, apareciendo espacios más dinámicos en contraposición a otras zonas del valle actualmente sometidas a una situación de estancamiento (Rodríguez *et al.*, 2000).

Desde una perspectiva ambiental, la principal repercusión de estas transformaciones es el abandono progresivo de los andenes milenariamente trabajados. La andenería es, además de un importante recurso paisajístico, la base de un sistema de producción y aprovechamiento ahora en crisis. Denevan y Hartwing (1986) a partir de fotografía aérea, estiman que el abandono, supone un 61% del total de andenes del Colca. Las consecuencias de este proceso inciden en el control y absorción del agua de regadío, la reducción del declive de la pendiente, el aumento de los riesgos de erosión y deslizamiento de tierras, los efectos de las heladas y las sequías, y la aparición de especies colonizadoras en antiguas tierras de cultivo (Rubina *et al.*, 1997).

En el contexto del valle, el sector Maca-Lari ocupa una posición central predominantemente agropecuaria (Rubina *et al.*, 1997). Estos dos núcleos se sitúan a una altitud media de 3.300 m, al pie de las laderas y mirando hacia el interior del valle. Corresponde a una zona de andenes, dentro del área de influencia de Chivay, en la cual es posible apreciar la disimetría en ambos márgenes originada por los problemas asociados al reparto del agua, las diferencias en la red de comunicaciones y los desiguales efectos del turismo.

El sector Maca-Lari presenta un rasgo distintivo: la actividad de los agentes morfogénicos relacionados con la actividad sísmica y los movimientos en masa son aquí mucho más significativos que en el resto del valle, condicionando los modos de vida y los asentamientos humanos, repercutiendo en el abandono de las tierras cultivadas. Testigos recientes de la continuidad volcánica y de la actividad tectónica asociada son la erupción, en 1990, del volcán Sabancaya, y el terremoto ocurrido en 1991 cuyo epicentro se situó a unos diez km. al sudeste del pueblo de Maca (margen izquierda del río Colca).

#### *Análisis del abandono de andenes a partir de un modelo de accesibilidad*

Las relaciones entre los cambios de usos del suelo en los espacios de montaña y el grado de accesibilidad han sido abordados desde diferentes

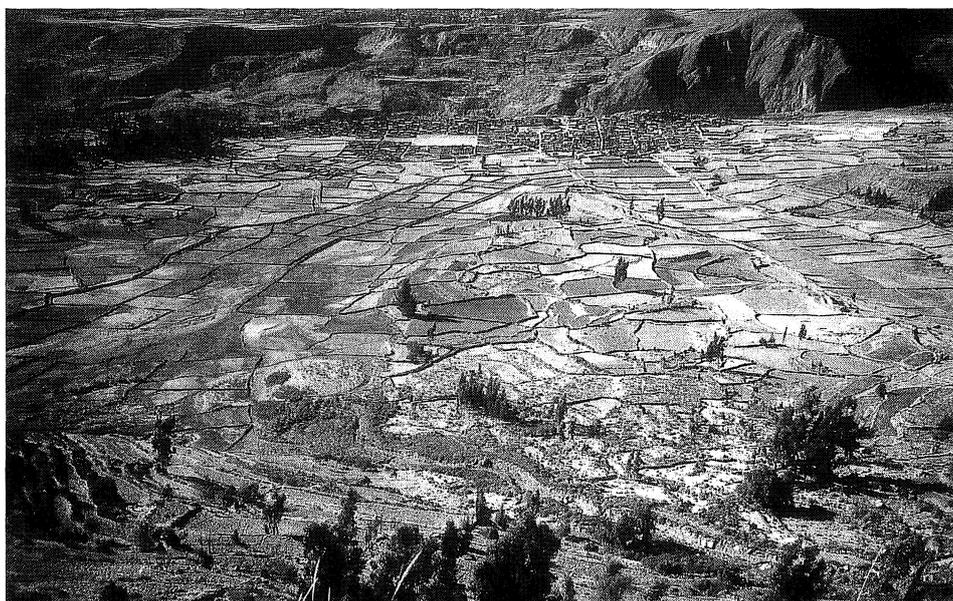


FIG. 2.—*Vistas de Maca y Lari.*

perspectivas (Allan, 1986; Borrajo, 1989; Lasanta, 1988). Las posibilidades de análisis que ofrecen los SIG ponen en manos del investigador y el gestor una potente herramienta que facilita la comprensión de dicho fenómeno y la definición cuantitativa de los patrones generales que guían su comportamiento. La aparición de áreas abandonadas y en situación crítica debe interpretarse como una consecuencia derivada de la crisis de los modelos tradicionales y la ruptura de los equilibrios ambientales y socioeconómicos preexistentes.

En el marco del proyecto europeo *Sociedad y medio ambiente en los Andes: políticas y estrategias*<sup>2</sup> se ha diseñado y alimentado un SIG cuyo propósito es servir de apoyo al análisis de la degradación ambiental en tres áreas de montaña andina (Silió *et al.*, 1998). En el caso del valle del Colca, datos altimétricos y planimétricos fueron obtenidos a partir de la hoja 32-S a escala 1:100.000 (I.G.M. del Perú, 1964), formando una base cartográfica digital que comprende las zonas bajas y medias del valle, con unas dimensiones aproximadas de 38 × 13 km. De esta fuente

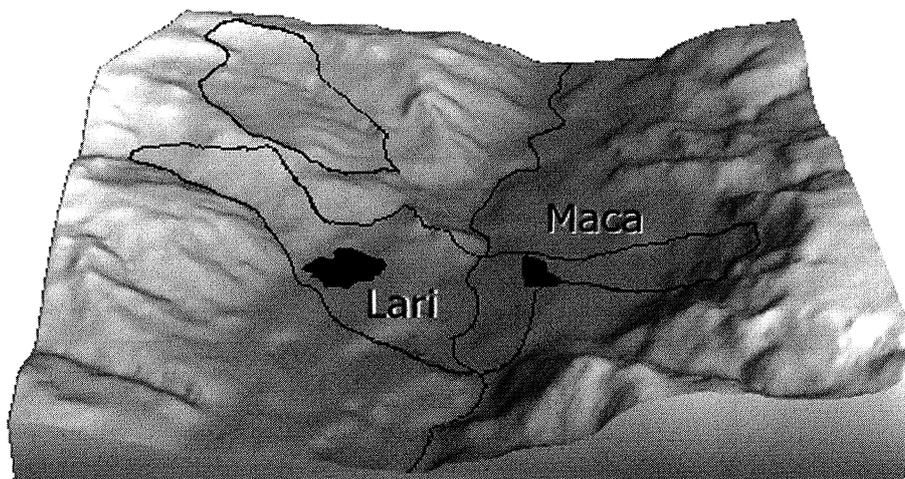


FIG. 3.—Sector Maca-Lari y área de estudio.

<sup>2</sup> *Policies for Sustaining Environments and Livelihoods*. (INCO-DC, 1997). Se persigue la definición de actuaciones que promuevan un uso sostenible de los recursos naturales mediante el análisis de las relaciones entre el hombre y el medio. Participan las Universidades de Leeds (Gran Bretaña), Amsterdam (Países Bajos), Cantabria (España), Católica Pontificia de Perú, Mayor de San Andrés (Bolivia) y Buenos Aires (Argentina).

general se han extraído los datos referidos al sector Maca-Lari, tanto en formato vectorial (hidrografía, núcleos de poblamiento y red viaria) como raster (Modelo Digital de Elevaciones con resolución de 25 m).

Junto a esta información se integran en el SIG los datos del inventario de campo obtenidos en dos campañas realizadas en los inviernos australes de 1998 y 1999. Referidos al área de estudio se seleccionaron y muestrearon dieciocho puntos representativos de una serie altitudinal de andenes. Las observaciones corresponden a:

1. El medio físico: altitud, pendiente, orientación, sustrato, formas de erosión, etc.
2. El estado de los andenes: tipo, forma y dimensiones del muro de contención, dimensiones de la parcela, estado de conservación, existencia o no de prácticas de conservación, etc.
3. La presencia humana: distancia a casas, uso actual, presencia de ganado, otras prácticas, etc.
4. La disposición de la vegetación por estratos: especie dominante, porcentaje de cubierta, altura y dinamismo, así como las diferencias de su distribución espacial dentro del andén.

*Variables significativas del modelo de accesibilidad.*—Las herramientas analíticas del SIG han sido útiles para la elaboración de un modelo de accesibilidad. A partir de nuestras observaciones se determinó como punto de partida del modelo el carácter esencialmente peatonal y animal de los desplazamientos. Las dificultades impuestas por el medio físico, el escaso grado de desarrollo de las comunidades, la precariedad del viario y las dificultades para la mecanización de las explotaciones hacen que los vehículos de motor sean escasos en el valle. De igual manera, y como condición de partida para el modelo, se entendió que dichos desplazamientos se realizan desde los dos núcleos principales, únicos espacios de residencia.

Una serie de factores dificultan el nivel de acceso a los andenes. Entre ellos destacamos la importancia de las pendientes y de la hidrografía. La pendiente es sin duda la variable más significativa a la hora de caracterizar las comunicaciones en el sector Maca-Lari. Desde los fondos de valle, junto al río Colca, donde se localizan las pendientes más suaves, los perfiles topográficos expresan con claridad la aparición de fuertes desniveles desde ambas márgenes del río hasta la divisoria. En cuanto

a la red hidrográfica, el río Colca divide la zona de estudio, desempeñando un papel decisivo como barrera infranqueable que hace de estos dos sectores verdaderos compartimentos estancos y sin conexión por puentes.

Otros factores, por el contrario, favorecen el acceso a los andenes. Y entre ellos se subraya la importancia de la red de comunicaciones existente que facilita el acceso no tanto en las inmediaciones de los núcleos habitados y áreas de fondo de valle como a las zonas de altura menos accesibles. El viario, no suficientemente consolidado y en condiciones de gran precariedad, se integra en el modelo como un elemento positivo desde el punto de vista de los desplazamientos, si bien de forma desigual.

*Definición del modelo de accesibilidad.*—A partir de estos planteamientos, el modelo de accesibilidad tiene un carácter determinístico. Su cálculo se basa en los conceptos de superficies de fricción y evaluación de costes propios del SIG. Las variables de pendiente, hidrografía y viario se jerarquizan y ponderan en función de su papel como elementos favorables/desfavorables para el movimiento sobre las siguientes equivalencias:

1. Fricción de la pendiente (FP). Los valores de pendiente derivados del MDE se reclasifican en cinco categorías bajo el principio por el que los mayores desniveles disminuyen progresivamente las posibilidades de acceso y, por consiguiente, incrementan el valor de la fricción de la pendiente de forma geométrica:

CUADRO I  
PONDERACIÓN DE LA PENDIENTE

Clase	Pendiente (grados)	FP	Dificultad
1	0-3	1	Nula
2	3-10	2	Escasa
3	10-25	4	Media
4	25-45	8	Elevada
5	>45	16	Extrema

2. Fricción de la hidrografía (FH). Aunque la mayor parte de los cursos de agua cartografiados, a excepción del río Colca, son, se en-

tiende que la existencia de un curso de agua. Se establecen dos categorías: (1) ríos y arroyos tributarios del Colca, permanentes o semi-permanentes, estacionales y fácilmente vadeables, y (2) el río Colca y cuatro pequeños pozos, localizados en el margen occidental, considerados como infranqueables. En términos de fricción, a la primera categoría se le asigna el valor de 1 que será sumado posteriormente a las fricciones de las pendientes por medio del álgebra de mapas con el objetivo de añadir un grado de dificultad en cada celda. El curso del Colca y los pozos constituyen barreras absolutas por lo que se les asigna un valor de fricción arbitrario de 9999.

CUADRO II

PONDERACIÓN DE LA HIDROGRAFÍA

Clase	Elementos	FH	Dificultad
1	Ríos tributarios	1	Moderada
2	Río Colca y pozos	9999	Absoluta

3. Fricción del viario (FV). Como ya se ha señalado, y en oposición al valor negativo de las dos variables anteriores, la existencia de ésta es considerada como un factor positivo que facilita el movimiento. Sin embargo, se ha considerado que su importancia es inversamente proporcional a la pendiente. Es éste un punto crítico a la hora de ponderar el desigual efecto favorecedor de las carreteras y los caminos. Se trata de incorporar en el modelo una realidad observable: el grado de ayuda o beneficio al circular por la red de comunicaciones aumenta cuanto mayor es su gradiente. Dicho en otros términos, los movimientos en las zonas llanas y de baja pendiente no están excesivamente condicionados por la existencia de una vía de comunicación, mientras que en las zonas de mayor gradiente esta situación se invierte. En ellas, los caminos se ajustan en mayor medida al recorrido óptimo siguiendo la menor pendiente, lo cual otorga al viario una importancia destacada como elemento clave y determinante a la hora de modelizar la accesibilidad de estas zonas.

Estas valoraciones quedan expresadas en la siguiente tabla de equivalencias:

CUADRO III  
PONDERACIÓN DEL VIARIO

	Fricción de la pendiente	Ayuda del viario	FV
<b>caminos</b>	1	0,25	0,5
	2	0,5	1
	4	1	2
	8	2	4
	16	4	8
<b>carreteras</b>	1	0,5	0,25
	2	1	0,5
	4	2	1
	8	4	2
	16	8	4

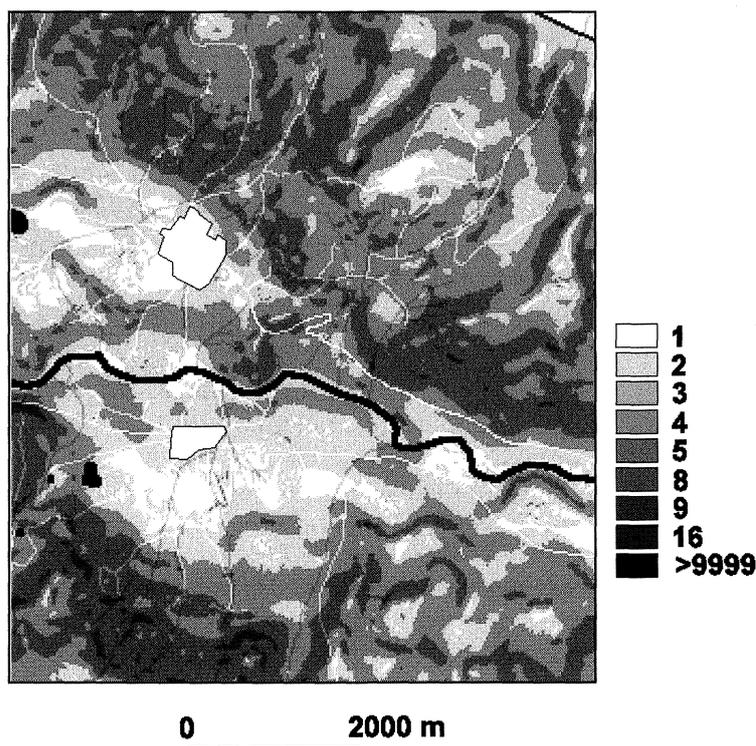


FIG. 4.—*Superficie final de fricciones.*

De igual modo que en las fricciones de la red hidrográfica, los valores de fricción del viario establecidos se incorporan al modelo por medio del álgebra de mapas. El resultado es una imagen final de fricciones cuyo cálculo responde a una sencilla operación aritmética (fig. 4):

$$\text{FRICCIÓN} = \frac{[\text{FP}]}{[\text{FV}]} + [\text{FH}]$$

*Cálculo del modelo.*—Esta imagen de fricciones establece de forma determinística las dificultades potenciales del territorio desde el punto de vista de los desplazamientos. Desde esta base, el cálculo de costes o esfuerzos por medio del SIG permite generar un mapa de accesibilidad. En este cálculo, como ya ha sido comentado, únicamente los dos núcleos del área (Maca y Lari) han sido considerados como puntos de partida u origen de los desplazamientos, dada a la ausencia observada de otros lugares de residencia (temporal o permanente) en este sector del valle.

Dada la relativa complejidad del modelo de fricciones definido, en especial por la incorporación de la red viaria ponderada, se emplea el algoritmo de crecimiento (COSTGROW) en el cálculo de costes. Debido a las características propias del cálculo, basado en estructuras de datos matriciales, fue imprescindible ampliar espacialmente el curso del río Colca mediante la generación de un corredor de 50 m, con el objetivo de impedir el «paso» del algoritmo por las diagonales entre celdas (fig. 5).

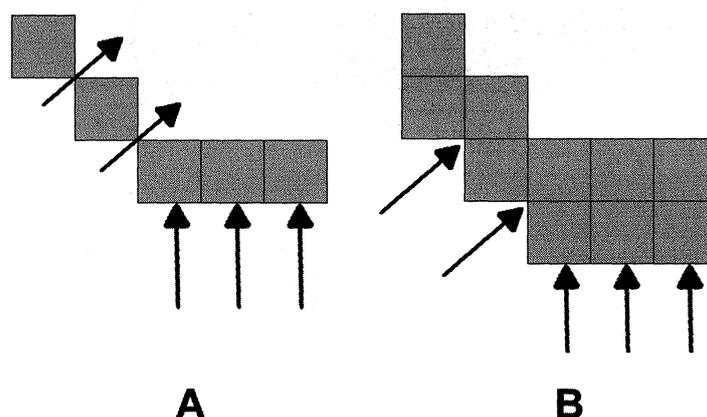


FIG. 5.—Comportamiento del cálculo de costes. (A) con diagonales y (B) sin diagonales.

Para cada una de las tres superficies de fricción se evaluaron sus correspondientes costes con un objetivo meramente exploratorio del comportamiento del cálculo. Las imágenes resultantes incorporan una relación distancia / proximidad y expresan los mínimos esfuerzos en el desplazamiento. La secuencia de imágenes de coste permite observar los diferentes matices que introducen cada una de las variables consideradas (fig. 6).

En la primera imagen la pendiente diferencia claramente dos sectores contrastados: (1) el entorno de los núcleos, donde la proximidad y la existencia de menores pendientes disminuye los costes de desplazamiento y (2) la orla montañosa, en donde va a localizarse la mayor proporción de andenes, cuyo acceso aparece condicionado por una mayor distancia y pendiente media.

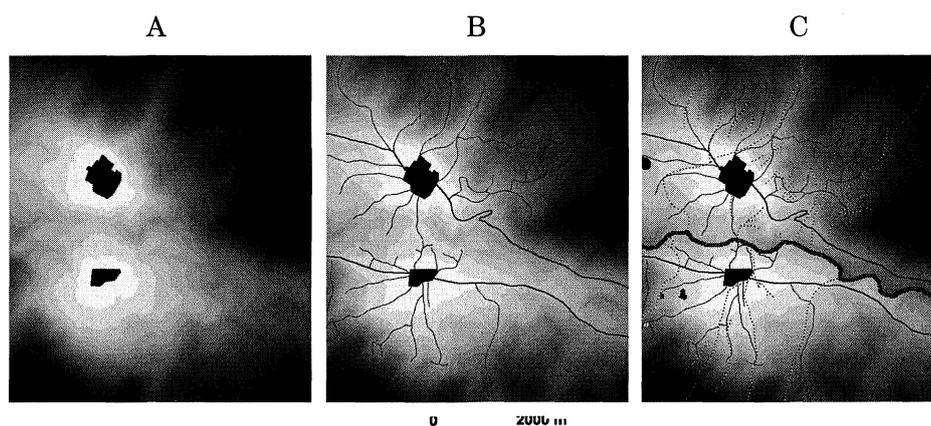


FIG. 6.—Cálculos de costes a partir de los núcleos.  
(A) pendiente, (B) pendiente/viario y (C) pendiente/viario/hidrografía

Estos dos sectores se conservan en las dos imágenes restantes, pero con alteraciones. Al incorporar el viario, se comprueba el efecto positivo en términos de accesibilidad. La presencia de los dos ejes principales en sentido NO-SE permite incorporar nuevos espacios hacia el este de baja pendiente al área de mejor acceso, especialmente en el caso de Maca. De igual modo, algunos sectores de las zonas elevadas dotados

de una exigua red de caminos presentan valores de accesibilidad sensiblemente mayores y se integran en la zona de accesibilidad media.

Finalmente, la suma de la red hidrográfica tiene un claro reflejo en la compartimentación de los dos entornos. En efecto, zonas que teóricamente eran accesibles desde el núcleo de Maca, al sur, dejan de serlo para formar parte del espectro de Lari, al norte.

*Validación del modelo.*—La contrastación empírica de los resultados obtenidos permite valorar la bondad del modelo propuesto, paso fundamental para su aplicación en la interpretación del proceso de abandono de los andenes y su futura extensión en otros espacios de la montaña andina. En este sentido, los datos procedentes del inventario constituyen una valiosa referencia en la medida que permiten la comparación entre los datos observados en campo y los obtenidos a partir del modelo.

Para cada uno de los dieciocho puntos de muestreo se obtienen por medio del SIG sus correspondientes valores de altitud, pendiente, distancia euclidiana a los núcleos y accesibilidad. La matriz de correlaciones de estas cuatro variables (cuadro IV) evidencia la significativa relación de la accesibilidad con la distancia (0,98) y la altitud (0,95), y en menor medida con la pendiente (0,58).

CUADRO IV  
MATRIZ DE CORRELACIONES

	Altitud	Pendiente	Distancia	Accesibilidad
Altitud	1			
Pendiente	0,588	1		
Distancia	0,934	0,551	1	
Accesibilidad	0,955	0,582	0,983	1

Distancias y altitudes son, por lo tanto, las variables que en mayor medida condicionan el grado de acceso a los andenes. El efecto de la pendiente aparece matizado, más aún cuando su correlación con la altitud no es tan significativa, dejando entrever cómo las zonas elevadas no siempre son las de mayor pendiente. Ello debe entenderse no sólo como consecuencia de la existencia de zonas de pendientes moderadas en el sector montañoso, sino como la aparición de taludes tallados por el cauce del Colca en las proximidades de los núcleos.

La validación del modelo descansa en la comparación de los valores de accesibilidad calculados con los datos reales de tiempo de desplazamiento entre el núcleo más próximo y el punto muestral observado en campo. Correlacionados ambos parámetros se obtiene una correlación positiva (0,95) que se ilustra en el gráfico de puntos.

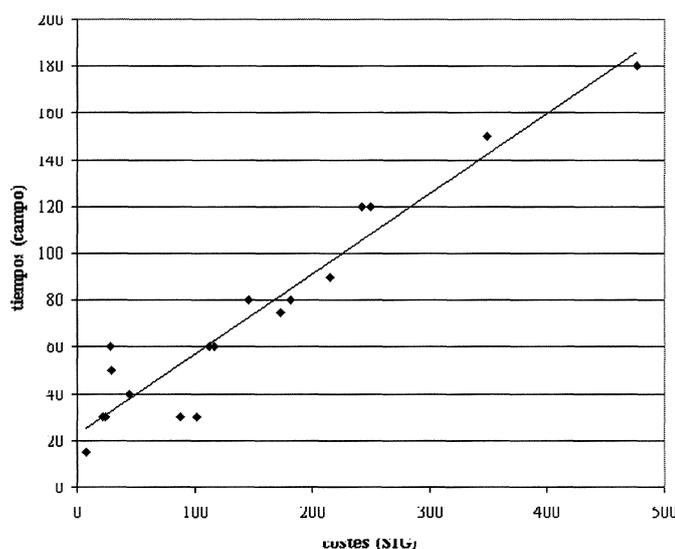


FIG. 7.—Recta de regresión entre costes SIG y tiempos reales de desplazamiento.

Ajustada y parametrizada la recta de regresión, los valores de su ecuación son empleados en la transformación de los valores de coste por medio del álgebra de mapas. El resultado es una nueva imagen en la que los valores de coste han sido traducidos a valores de tiempo, que finalmente pueden representarse cartográficamente en forma de mapa de isocronas en intervalos de treinta minutos (fig. 8).

#### *Análisis cuantitativo del abandono de andenes*

Las apreciaciones visuales en campo acerca del estado del muro constituyen un excelente indicador del grado de abandono que sufren los andenes muestreados. En cada uno de los puntos observados se recogen los porcentajes de la superficie del andén diferenciados en tres cate-

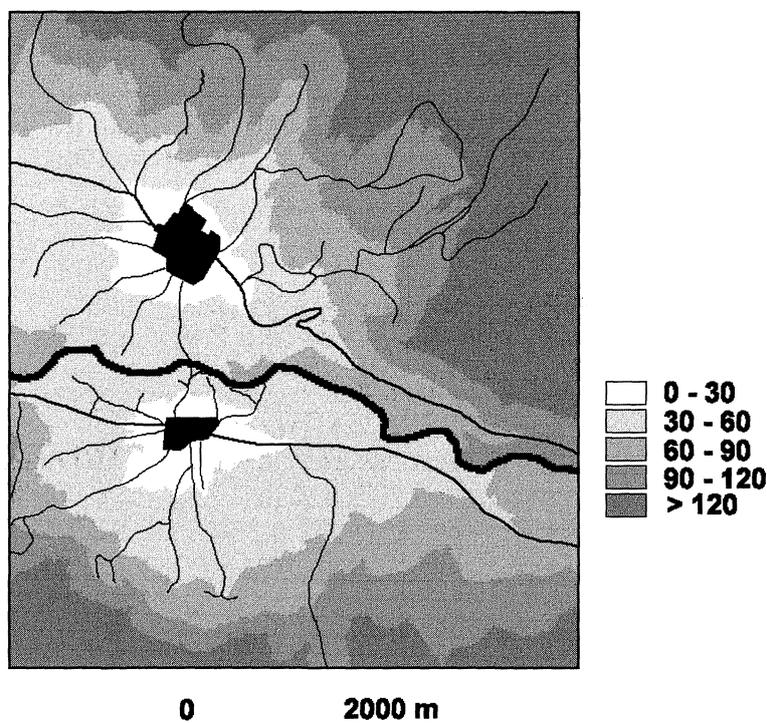


FIG. 8.—Isocronas de desplazamiento (minutos)

gorías: bueno, deteriorado y destruido. Estos porcentajes se ajustan a una escala numérica continua con valores entre 1 (andén cultivado y muro en perfecto estado) y 3 (andén abandonado y muro totalmente deteriorado o destruido), siendo el valor de 2 el umbral establecido entre el cultivo y el abandono (cuadro V).

Calculados de este modo, la cuantificación del grado de abandono en forma de escala continua facilita su comparación con los tiempos de acceso a los andenes. Señales de abandono claro se manifiestan por encima de tiempos de acceso superiores a los 100 minutos, isocrona crítica a partir de la cual las evidencias físicas y materiales del proceso estudiado son evidentes (fig. 9).

Algunos puntos cuestionan puntualmente este patrón y hacen necesario acudir a otros factores explicativos. Es el caso del único andén abandonado por debajo de la isocrona de 60 min. (ficha 17) donde se ha

CUADRO V

PORCENTAJES DE SUPERFICIE POR ESTADO DEL MURO

Ficha	Estado del muro (% superficie)			Grado de abandono
	Bueno	Deteriorado	Destruido	
1	17	—	83	2,17
2	90	5	5	2,1
3	97	3	—	1,3
4	67	30	3	1,33
5	10	45	45	1,9
6	100	—	—	1
7	100	—	—	1
8	100	—	—	1
9	83	17	—	1,17
10	50	40	10	1,5
11	60	40	—	1,4
12	40	50	10	1,6
13	100	—	—	1
14	—	15	85	3
15	—	40	60	3
16	100	—	—	1
17	50	—	50	2,5
18	—	30	70	3

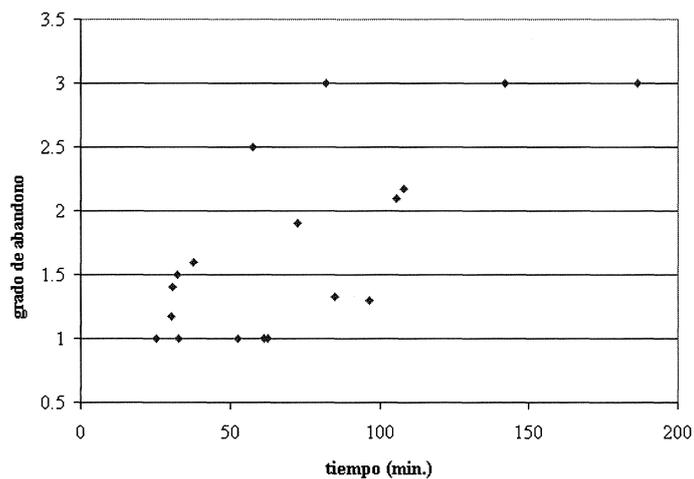


FIG. 9.—Tiempo vs grado de abandono.

detectado un factor añadido asociado a la disponibilidad de agua, a pesar de su cercanía al río. Esta situación, frecuente en el Colca, se relaciona con los problemas de suministro de agua procedente de fuentes lejanas o manantiales, que bien se han secado o bien no pueden alcanzar su destino final por una desatención de la red de canales y acequias (Guillet, 1990). Existen además, razones de índole coyuntural (periodos de descanso de las tierras de cultivo, cambios en la dinámica familiar, ineficiencias temporales en la distribución del agua, etc.) que pueden propiciar la aparición andenes abandonados aparentemente al azar, en todas las zonas cultivadas (Guillet, 1990). En sentido contrario, los andenes aún cultivados por encima de la isocrona de 80 min. (sólo dos casos) deben entenderse como elementos «resistentes» al proceso general aunque con escasas perspectivas de futuro (fig. 10).

Desde el punto de vista del análisis en un entorno SIG, los puntos del gráfico anterior se ajustan a una función sigmoïdal de tipo creciente. Esta característica, que se repite a la hora de comparar la altitud y el grado de abandono (fig. 10), plantea la posibilidad de entender el tiempo y la altitud desde la lógica de los conjuntos borrosos. Porque, como hemos visto, los valores de abandono corresponden a los de una variable continua sin intervalos definidos, lo que impide establecer límites o fronteras internas de manera clara. Con ello, el análisis del modelo se ajusta más a nuestra percepción directa de las variables en juego.

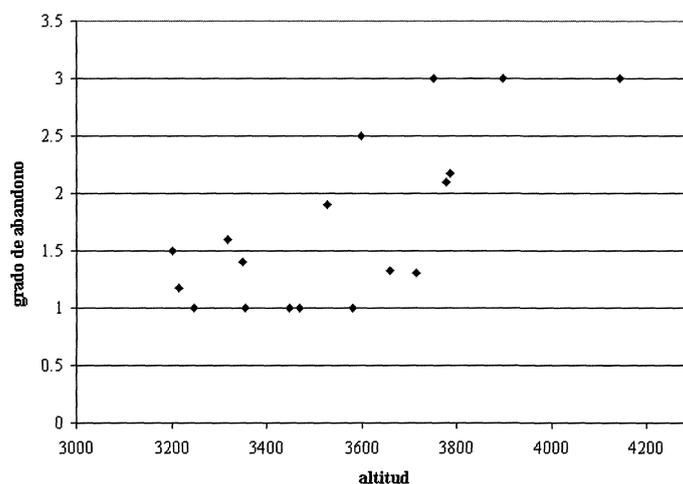


FIG. 10.—Altitud vs grado de abandono.

La traducción de valores puntuales (muestreos en andenes) mediante funciones de pertenencia borrosa (función sigmoideal de incremento monótono) exige establecer dos puntos de control ( $a$ ,  $b$ ). El primero ( $a$ ) señala el momento a partir del cual los valores dejan de representar de modo fiable el estado en uso. Desde este valor se pasa a formar parte de un conjunto en el que se entremezclan los signos de uso con las huellas del abandono. El segundo ( $b$ ) define el momento a partir del cual la variable indica un abandono predominante.

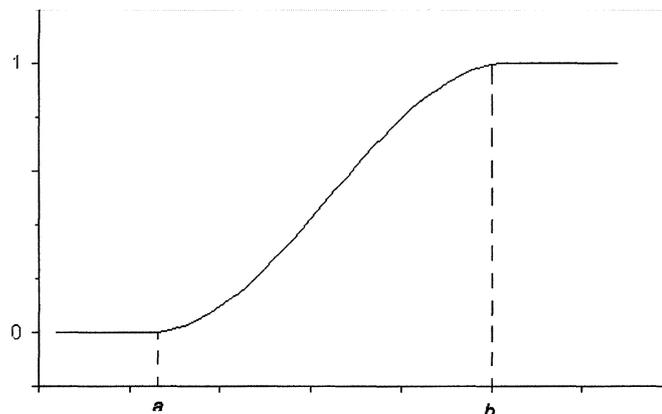


FIG. 11.—Función sigmoideal y puntos de control  $a$  y  $b$ .

Dado que no existen umbrales claros entre el uso y el abandono, se opta por una solución de compromiso. El criterio escogido es el de calcular dos imágenes de pertenencia a conjuntos borrosos de manera independiente, que son combinadas en un proceso posterior. La primera de estas dos imágenes representa la pertenencia borrosa de la variable altitud y la segunda la variable tiempo. En ambos casos se emplean como puntos de control  $a$  y  $b$  los correspondientes valores medios en andenes cultivados y andenes abandonados (cuadro VI). De esta forma se elaboran dos imágenes de pertenencia a un conjunto borroso que señalan zonas con señales de abandono (1), zonas sin presencia de andenes abandonados (0) y zonas de transición (entre 0 y 1) (fig. 12).

Finalmente, la identificación de áreas críticas mediante el SIG parte de estas imágenes, que se combinan por medio del operador booleano «AND» (véase fig. 13).

CUADRO VI

VALORES MEDIOS DE ALTITUD Y TIEMPO  
SEGÚN EL TIPO DE ANDENES

	Altitud	Tiempo
Andenes cultivados	3423.18	51.57
Andenes abandonados	3826.08	113.52

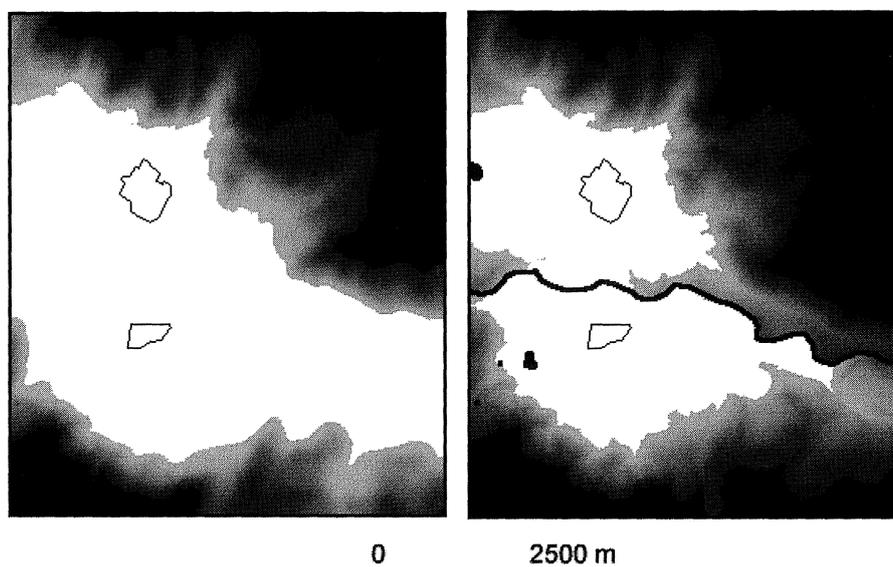


FIG. 12.—Imágenes de pertenencia borrosa. Izquierda: altitud; derecha: tiempo de acceso.

El resultado final es un mapa que recoge tres sectores diferenciados:

1. Sector estable, localizado en el fondo de valle sobre materiales de depósito y en donde los andenes no presentan señales claras de abandono. La fertilidad de los suelos, las bajas pendientes relativas, el acceso al agua de riego, la proximidad de los núcleos de población y la existencia de un viario principal subrayan sus capacidades para el cultivo y el mantenimiento de la actividad agraria.

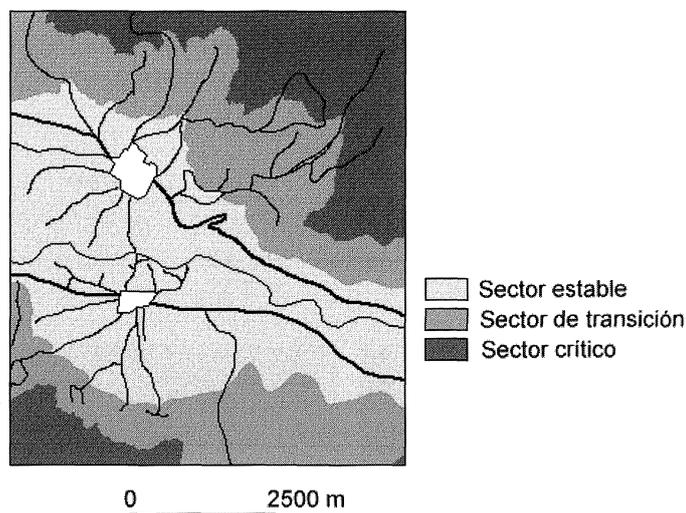


FIG. 13.—Zonificación del grado de abandono.

2. Sector de transición, situado a media ladera en ambas márgenes del valle, se caracteriza por presentar algún síntoma de abandono, normalmente asociado a la carencia de agua para el riego, si bien este hecho no puede considerarse como un rasgo definitorio. El interés económico, histórico, paisajístico y cultural de estos andenes prehispánicos anima a establecer políticas orientadas a su recuperación o su conservación (Bonavia y Matos, 1990). Desde estos planteamientos, y en nuestra opinión, este sector constituye el área principal de actuación.

3. Sector crítico, localizado en las zonas más elevadas del valle y en donde las dificultades de acceso, unidas a la escasa rentabilidad económica de los productos cultivados (Gonzales y Trivelli, 1999), determinan un proceso de abandono que puede considerarse como definitivo. Bajo un enfoque ambiental y de organización de un espacio andino de montaña, la atención hacia estas zonas altas es primordial. En ellas nace y se alimenta la red de canales para el riego, repercutiendo el abandono directamente en el funcionamiento del sistema en las partes bajas (aún cuando éstas gocen de la máxima atención). Por tanto, su mantenimiento, ahora amenazado, puede prevenir futuras limitaciones en el suministro de agua en las partes bajas, asegurando un recurso imprescindible para el cultivo en las laderas del Colca.

*Síntesis final. Valoración ambiental del abandono y planteamiento de políticas sectoriales y desarrollo sostenible*

La información cartográfica de base ha servido para la puesta a punto de un modelo de accesibilidad de tipo determinístico en el sector Maca-Lari (valle del Colca, Perú), basado en un análisis de costes a partir de las variables de pendiente, hidrografía y red viaria en un entorno SIG. El modelo ha sido validado con los valores de tiempo de acceso obtenidos en campo. Su combinación con los datos muestrales referidos al grado de abandono de andenes ofrece correlaciones significativas, dando a entender que dicho proceso guarda una estrecha relación, en términos generales, con las dificultades de acceso.

Si bien el modelo no permite contrastar la totalidad de los puntos muestrales, haciendo necesario acudir en casos puntuales a otras variables que inciden de manera directa o indirecta en el abandono de los andenes, su utilidad parece demostrada. El interés de los resultados obtenidos relacionados con los tiempos de acceso, el grado de abandono y la definición de áreas críticas son argumentos suficientemente válidos para poner en marcha este tipo de análisis en otras áreas de montaña afectadas por procesos similares.

La magnitud y celeridad de las consecuencias ambientales generadas por el abandono de los andenes (procesos de erosión, cambios en la vegetación, pérdidas en la captura de agua, etc.) repercute a medio y largo plazo en la viabilidad y amenaza la sostenibilidad del sistema productivo. Es necesario conocer los efectos negativos generados en el medio ambiente al no mantenerse estos sistemas. El conjunto de alteraciones desencadenadas por dichos procesos aconseja diseñar y poner en práctica políticas ambientales de conservación y recuperación, en las que los Sistemas de Información Geográfica y los modelos de accesibilidad pueden jugar un papel decisivo.

Sin embargo, la recuperación de andenes, de manera aislada, no es actualmente una vía que permita un desarrollo sostenible pleno de las áreas rurales (Gonzales y Trivelli, 1999). Quizás permita una sostenibilidad ambiental o paisajística, pero no económica ni social. No al menos en el actual contexto socioeconómico en el que vive gran parte de la América andina, en donde la pobreza campesina deriva en muchas ocasiones de la opresión ejercida por los grupos de poder local ajenos a las comunidades, mayoristas y autoridades que condenan a la mayoría de

los campesinos a vivir en la miseria (Benavides, 1990). En este contexto, la intervención estatal se hace totalmente necesaria por diferentes vías (Rodríguez *et al.*, 2000):

— *La promoción del sector agropecuario*, actualmente en situación crítica. Son necesarias políticas de desarrollo basadas en la ejecución de líneas de crédito blando a los campesinos y la capacitación técnica en el manejo y conservación de los recursos agua y suelo (introducción de nuevas tecnologías de riego) con el fin de obtener productos de calidad comercializables. Todas estas acciones deben encaminarse a mejorar la situación del actual modelo agropecuario sin perder de vista el interés por la conservación del medio ambiente del Colca.

— *El diseño de directrices territoriales* para el conjunto del Colca. Se trataría de definir un modelo de desarrollo basado en la combinación de los beneficios obtenidos por unas actividades tradicionales actualizadas y de la explotación de los recursos turísticos de forma equilibrada. Respecto a esta última cuestión, es totalmente necesario una cuantificación y evaluación de dichos recursos como primer paso para el establecimiento de planes de ordenación de los recursos naturales que permitan el control y la gestión del espacio junto con la detección de procesos de deterioro ambiental.

— *Mejor reparto de las tierras y rentas generadas*. La mayor urgencia para los campesinos más pobres es disponer de una mayor extensión de tierras de cultivo que les garantice por lo menos la subsistencia y una alimentación adecuada, o bien alternativas de trabajo remunerado en otros sectores de actividad como pueda ser el turismo.

— *Potenciación de los mecanismos de control y gestión territorial locales* con el objetivo de favorecer la implicación de las comunidades y municipalidades en el desarrollo de la región. Al mismo tiempo, parece necesario potenciar un organismo gestor de conjunto (AUTOCOLCA, INRENA) capaz de coordinar y planificar el actual mosaico de actuaciones, fragmentadas espacialmente y con intereses yuxtapuestos si no contradictorios. Su labor debe insistir en la dotación y mejora de infraestructuras (comunicaciones, electrificación, telefonía, alcantarillado, etc.), junto con las inversiones en salud y educación. En este sentido, el papel del Estado en este proceso es incuestionable. Como señala Novoa (1999), «el ordenamiento y gestión del territorio resulta complejo y requiere del Estado un rol de responsabilidad para la conservación de los

elementos y recursos de esa oferta ambiental como también para la promoción y desarrollo de la población».

— *Mejora de la información territorial*, tanto cuantitativa como cualitativa. Una de las premisas incuestionables para la obtención de estos objetivos es el estudio con profundidad del entorno del Colca. La generación de datos significativos y la facilidad en el acceso a ellos son la base para cualquier modelo de actuación y promoción sobre un territorio. Son varios los estudios particulares de interés realizados sobre el valle del Colca. Sin embargo, en la mayoría de los casos se tratan de trabajos que fragmentan el conjunto y se centran sobre porciones concretas del territorio colqueño. Un aporte decisivo y fundamental es el realizado por las ONGs (DESCO, CAPRODA, FONDESURCO, etc.) e instituciones de carácter internacional (AECI, COPASA) que vienen trabajando en el Colca. Estos organismos han dado los primeros pasos tanto en el estudio integral de la zona como en la consecución de los objetivos anteriormente citados.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALLAN, N. J. R. (1986): «Accessibility and Altitudinal Zonation Models of Mountains». *Mountain Research and Development*, 6, pp. 185-194.
- BENAVIDES, M. A. (1990): «Tenencia de tierras agrícolas en el Valle del Colca (Caylloma, Arequipa)». *Revista Peruana de Ciencias Sociales*, vol. 2, 1 (enero-abril 1990), pp. 49-76.
- BLANCO, O. (1983): «Tecnología agrícola andina». En VV.AA.: *Evolución y tecnología de la agricultura andina*, Ed. Ana M.<sup>a</sup> Fries, Cusco, Perú, pp. 17-23.
- BLASSI, J. (1987): *Descubriendo el Valle del Colca*. Barcelona, edición del autor, 204 pp.
- BONAVIA, D. y MATOS, M. (1990): «La recuperación de los terrenos agrícolas: ¿Realidad o utopía?». *Revista Peruana de Ciencias Sociales*, vol. 2, mayo-agosto, pp. 61-72.
- BORRAJO, J. (1989): «Incidencia territorial de las actuaciones en infraestructuras de carreteras en los Pirineos». *Estudios Territoriales*, 29, pp. 147-158.
- CACHO, E.; GARCÍA, J. C.; SILIÓ, F. y RODRÍGUEZ, F. (1999): «Consecuencias ambientales del abandono de bancales en un área de montaña andina: el valle del Colca (Arequipa, Perú)». *Actas del V Congreso de Geografía sobre América Latina*, Sevilla, noviembre, pp. 355-367.
- CACHO, E.; RODRÍGUEZ, F.; GARCÍA, J. C. y SILIÓ, F. (2000): «Geomorfología y paisaje en los andes peruanos: el caso del valle del Colca». *Actas de la VI Reunión Nacional de Geomorfología*, Madrid, septiembre.
- COOK, N. D. (1982): *The people of the Colca Valley: A population study*. Boulder: Westview Press.

- DENEVAN, W. (1980): «Tipología de configuraciones agrícolas prehispánicas». *América Indígena*, 40, pp. 619-654.
- DENEVAN, W. y HARTWIG, L. (1986): «Measurement of terrace abandonment in the Colca Valley». En *The cultural ecology, archaeology, and history of terracing and terrace abandonment in the Colca Valley of southern Peru*. Ed. W. Denevan, Informe técnico a la Nat. Sc. Found. y la Nat. Geog. Soc., Department of Geography, University of Wisconsin, Madison.
- DONKIN, R. (1979): «Agricultural Terracing in the Aboriginal New World». *Viking Fund Publications in Anthropology*, 56, Tucson, University of Arizona Press.
- FEJOS, P. (1944): «Archaeological Explorations in the Cordillera Vilcabamba, Southeastern Peru». *Viking Fund Publications in Anthropology*, 3.
- FIELD, C. (1966): *A Reconnaissance of Southern Andean Agricultural Terracing*. Tesis Doctoral, Departamento de Geografía, Universidad de California, Los Angeles.
- FONSECA, C. (1983): «El control comunal del agua en la cuenca del río Cañete». *Allpanchis*, 22, pp. 61-73.
- GELLES, P. (1986): «Sociedades hidráulicas en los Andes: algunas perspectivas desde Huarochirí». *Allpanchis*, 27, pp. 99-147.
- (1989): «Irrigación, comunidad y la frontera agrícola en Cabanaconde (Caylloma, Arequipa)». *Anthropologica*, 7, pp. 171-194.
- GONZALES, E. y TRIVELLI, C. (1999): *Andenes y desarrollo sustentable*. Lima, IEP/CONDOSAN, Estudios de la sociedad rural, 17, 219 pp.
- GUILLET, D. (1987): «Terracing and Irrigation in the Peruvian Highlands». *Current Anthropology*, 28, pp. 89-105.
- (1990): *Andenes y riego en Lari. Valle del Colca*. Arequipa, CAPRODA, 55 pp.
- HOPKINS, J. W. (1968): *Prehispanic Agricultural Terraces in Mexico*. Tesis de Maestría, Universidad de Chicago.
- INRENA (1996): *Informe técnico del estudio de inventario y evaluación de andenes*. Ministerio de Agricultura, Lima.
- LASANTA, T. (1988): «El proceso de abandono del espacio cultivado en el Pirineo central español». *Pirineos*, 38 (132), pp. 15-36.
- MALDONADO, A. y GAMARRA, L. (1978): «Significado arqueológico, agrológico y geográfico de los andenes abandonados de Santa Inés y Chosica en el valle del Rimac». En *Tecnología Andina*, Rogger Ravines ed., Lima, IEP, pp. 151-171.
- NOVOA, Z. (1999): «Políticas públicas y sustentabilidad en el Valle del Colca». Proyecto *Ambiente y Sociedad en los Andes: Políticas y Estrategias*. Documento interno.
- ONERN (1973): *Inventario, evaluación y uso racional de los recursos naturales de la costa: cuenca del Río Camaná Majes*. Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales, Lima.
- PATRICK, L. (1980): «Los orígenes de las terrazas de cultivo». *América Indígena*, 40, pp. 757-772.
- RODRÍGUEZ MEDINA, F.; SILIÓ CERVERA, F. y GARCÍA CODRON, J. C. (2000): «Turistic development and environmental crisis in Peruvian Andes. The need of a new balance». *Volume of Abstracts, 29<sup>th</sup> International Geographical Congress: Living with diversity*. Seoul, Korea, pp. 340-341.

- RUBINA, A.; SALAZAR, C. y ZEBALLOS, M. (1997): *Colca: El vuelo del cóndor*. Lima, DESCO, 203 pp.
- SANDERS, W.; PARSONS, J. y SANTLEY, R. (1979): *The Basin of Mexico: Ecological Processes in the Evolution of a Civilization*. Nueva York: Academic Press.
- SILÍO, F.; GARCÍA, J. C.; CAMPO, L.; CACHO, L.; RODRÍGUEZ, F.; RUIZ, Y.; SAINZ, S. y VILLAVERDE, C. (1998): «Bases para el diseño de un SIG orientado al estudio de la degradación ambiental en áreas de montaña: el caso de los Andes centromeridionales». *Actas del VIII Coloquio del Grupo de Métodos Cuantitativos, Sistemas de Información Geográfica y Teledetección*, Barcelona, septiembre, pp. 284-292.
- TREACY, J. (1994): *Las chacras de Coporaque: andenería y riego en el valle del Colca*. María A. Benavides, Blenda Femenías y William Denevan, eds., Lima, IEP (Estudios de la sociedad rural, 12), 298 pp.
- TURNER, B. L. (1983): *Once Beneath the Forest: Prehistoric Terracing in Rio Bec Region of the Maya Lowlands*. Dellplain Latin American Studies, 13. Boulder, Westview Press.

**RESUMEN:** Se presentan los resultados del estudio del abandono de andenes en un sector del Valle del Colca (Perú). Dicho proceso supone una clara manifestación de la transformación de los modos de producción tradicionales ante la aparición de las actividades de ocio. Ello acarrea importantes consecuencias ambientales relacionadas con la erosión, vegetación y gestión del agua, haciendo peligrar el milenar equilibrio entre usos y conservación.

Cartografía e inventario de campo se combinan en un SIG con el objetivo de elaborar un modelo determinístico de accesibilidad. Los resultados constatan una correlación entre abandono y menor accesibilidad con un comportamiento vertical alterado por la incidencia de otros factores. El análisis de la información permite (a) detectar la diferente localización y magnitud de dicho abandono, (b) identificar áreas críticas derivadas de la crisis del modelo tradicional, y (c) valorar en qué medida la intervención es necesaria para recuperar la sostenibilidad del conjunto.

**PALABRAS CLAVE:** Andes, Perú, Arequipa, Valle del Colca, abandono de andenes, SIG, modelo de accesibilidad, desarrollo sostenible.

**ABSTRACT:** *Terraces abandonment. Elaboration of an accessibility model and cartography in a GIS environment: the Colca Valley, (Arequipa, Peru)*. Study results of terraces abandonment in a Colca Valley area (Peru) are presented. Such process is a clear evidence of the traditional productive transformation due to leisure activities emergence. It involves important environmental consequences related with erosion, vegetation and water management, threatening the millenary balance between land uses and conservation.

Cartography and land inventory are combined in a GIS with the aim to design a deterministic accessibility model. Results prove the correlation between abandonment and minor accessibility, with a vertical behavior modified by the incidence of other fac-

tors. Data analysis allows (a) to detect differences in location and magnitude of such abandonment, (b) to identify critic areas arising from the traditional model crisis, and (c) to value the importance of an intervention focused in recovering the system sustainability.

KEY WORDS: Andes, Peru, Arequipa, Colca valley, terraces abandonment , GIS, accessibility model, sustainability development.

RÉSUMÉ: *L'abandon de terrasses de culture. Établissement d'un modèle d'accessibilité et cartographie dans un environnement GIS : la vallée du Colca (Arequipa, Pérou).* Nous présentons les résultats d'une étude sur l'abandon des terrasses cultivées dans un secteur de la Vallée du Colca (Pérou). Ce processus est un effet de la transformation des modes de production traditionnels à cause de l'apparition des activités liées aux loisirs. Il entraîne des conséquences importantes en rapport avec l'érosion, la végétation et la gestion des ressources hydriques mettant en péril l'équilibre millénaire entre exploitation et conservation.

Cartographie et inventaire sur le terrain sont combinés dans un SIG afin d'élaborer un modèle déterministique d'accessibilité. Les résultats permettent de constater une corrélation entre le taux d'abandon et une moindre accessibilité avec un comportement vertical modifié par l'influence de certains autres facteurs. L'analyse de l'information permet (a) de détecter les différences de localisation et d'intensité de cet abandon, (b) d'identifier les aires critiques en rapport avec la crise du modèle traditionnel, et (c) évaluer le besoin d'une intervention afin de récupérer la soutenabilité de l'ensemble.

MOTS-CLÉS: Andes, Pérou, Arequipa, Vallée du Colca, abandon de terrasses, SIG, modèle d'accessibilité, développement soutenable.