

REPÚBLICA DEL PERÚ
SECTOR ENERGÍA Y MINAS

INSTITUTO GEOLOGICO MINERO Y METALURGICO
INGEMMET

MANUAL



**LA VALORACIÓN DE LA GEOLOGÍA EN LAS UNIDADES TERRITORIALES
DEL MEDIO FÍSICO PARA LOS PLANES DE ORDENAMIENTO
TERRITORIAL Y ZONIFICACIÓN ECOLÓGICA ECONÓMICA**

Por: Víctor Carlotto
Jose Cárdenas
Ronald Concha
Lourdes Cacya



AGOSTO 2012
LIMA - PERÚ

INTRODUCCIÓN

La planificación forma parte de nuestra vida cotidiana, desde el momento en que continuamente nos marcamos el camino a seguir para lograr un fin determinado, ya sea en el corto, mediano o largo plazo. Si en la vida de cada uno de nosotros la planificación se convierte en la herramienta que nos ayuda a hacer realidad nuestros sueños y metas, en nuestra vida en sociedad es más importante porque nos permite compartir objetivos comunes de desarrollo con otros (Guamán Poma, 2006). Es así que cuando pensemos en el futuro deseable como pobladores de una ciudad o una región, debemos hacerlo planificadamente, llegando a acuerdos y tomando decisiones, juntos autoridades y ciudadanos.

Para la toma de decisiones es importante la planificación y para la planificación es indispensable contar con información técnica y científica de calidad sobre los recursos, los peligros, las potencialidades y las limitaciones de nuestro territorio y de su población.

En consecuencia este manual trata de contribuir en la evaluación de la información geología para los estudios de planes de ordenamiento territorial POT y también de zonificación ecológica y económica ZEE, ya que como se verá a lo largo de este trabajo, la geología, es decir el subsuelo y el suelo son la base de cualquier estudio de planificación. En efecto, la geología es el soporte del relieve y en consecuencia del paisaje. En las rocas están los recursos geológicos (minerales, hidrocarburos, aguas subterráneas, materiales de construcción, etc.), pero allí también se generan los peligros geológicos (sismos, volcanes, deslizamientos, aluviones o huaycos, etc.).

OBJETIVOS

El presente manual propone una valoración de las características geológicas de las unidades territoriales del medio físico, para los planes de ordenamiento territorial y zonificación ecológica y económica. Esta valoración se integra a una más amplia que incluye la cobertura vegetal y/o uso de suelo, hidrología, clima, etc., lo que permite la caracterización de las unidades territoriales del medio físico, las cuales tienen que ser integradas a las otras unidades territoriales como el construido, el productivo y el socio cultural.

Con todos estos elementos se obtiene un plan de ordenamiento territorial, y partir de este se propone modelos de desarrollo sostenibles, que permitan luchar contra la pobreza. La sustentabilidad del sistema territorial en su conjunto, es decir, su capacidad de satisfacer las necesidades de la generación presente, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades, dependerá del equilibrio que se dé entre los factores potencialmente contaminantes, como son la red de asentamientos humanos, sus infraestructuras y sus actividades productivas en general.

Un plan de ordenamiento territorial promueve el uso racional de los recursos naturales y ordena las actividades de impacto físico del territorio, como la infraestructura requerida para mejorar la calidad de vida de la población. Además constituye el marco de referencia de las inversiones del sector público y de promoción de las inversiones privadas, identificando proyectos de intervención en coordinación con los principales agentes que intervienen en la gestión del desarrollo de un distrito, una provincia o una región; pero con participación activa de la comunidad. Adicionalmente un POT dota a la administración municipal, regional, a los agentes privados, a la sociedad civil organizada y a los ciudadanos en general, de la información y orientación necesarias para la organización de sus planes de acción en los respectivos espacios

de actuación. Finalmente, un POT define un marco de condicionantes lo suficientemente flexible como para reconocer los cambios que se den en la dinámica urbana y territorial.

Por otro lado, un plan de acondicionamiento territorial (PAT) es el resultado del POT y se convierte en herramienta fundamental para la gestión del desarrollo de un determinado territorio. El PAT es un conjunto de acciones concertadas entre las autoridades y la sociedad civil para orientar la ocupación, utilización y transformación de los espacios geográficos de acuerdo con los objetivos de desarrollo propuestos en un mediano-largo plazo y tiene en cuenta las potencialidades del territorio, la seguridad física de la población y la armonía con el medio ambiente. Un PAT debe proponer e implementar un uso integral y sostenible del territorio, estableciendo formas de organización del espacio y considerando la correspondencia que debe existir entre la población, su distribución, la localización de sus actividades, la disponibilidad de recursos.

LA GEOLOGÍA Y LA GEOMORFOLOGÍA EN LOS PLANES DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y ZONIFICACIÓN ECOLÓGICA Y ECONÓMICA

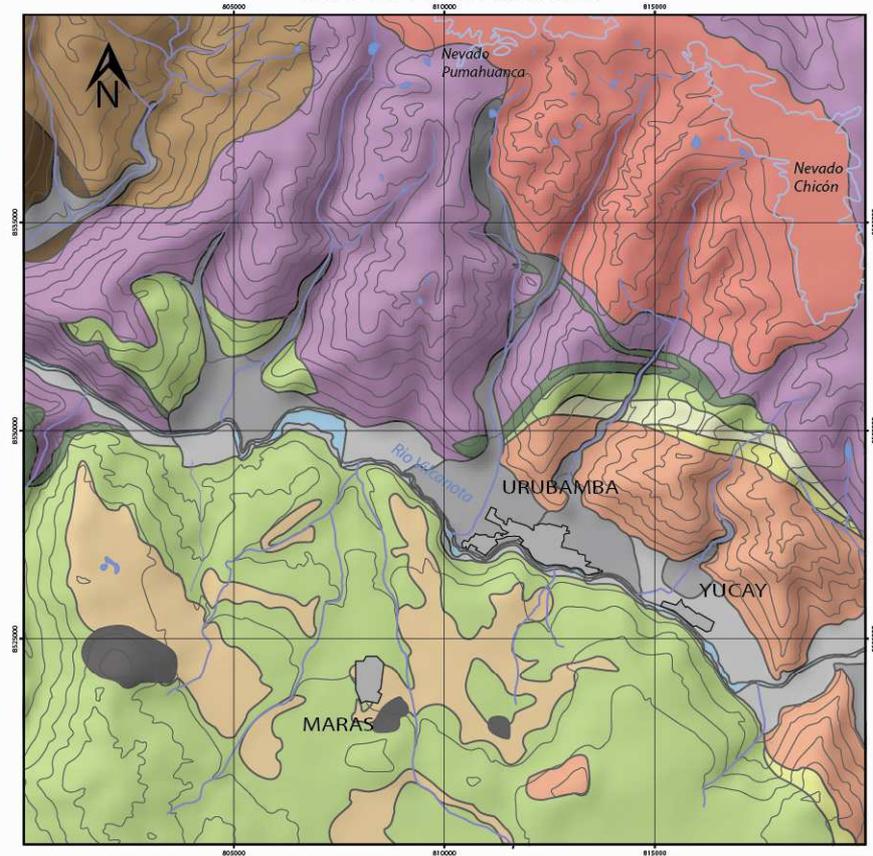
La **geología** dentro de sus múltiples aplicaciones estudia los mecanismos, fenómenos y características geológicas (rocas y suelos) que influyen en la relación entre el hombre y el medio que lo rodea, y por tanto contribuyen en la planificación del territorio. Para el desarrollo, local, regional y nacional es esencial que las rocas, los minerales, los hidrocarburos y el agua subterránea, estén incluidos en los POT. De igual forma los peligros geológicos es decir, deslizamientos, aluviones, inundaciones, actividad volcánica, y también los sísmicos deben ser considerados como limitantes o restricciones en la planificación, pero que estos, dejan de serlo cuando se aplican medidas de mitigación pero dentro de la Gestión de Riesgos. En consecuencia, la Gestión de Riesgos debe ser el resultado de los planes de ordenamiento territorial.

La **geomorfología** estudia el relieve o forma del terreno o territorio, su origen, su formación y evolución, lo que influye en el paisaje y en la generación de peligros naturales como deslizamientos, huaycos e inundaciones. Su importancia reside en relacionar el relieve con las actividades humanas, incluyendo la parte económica-productiva, construida y sociocultural.

Para los estudios de POT y ZEE los mapas geomorfológicos constituyen la base de análisis. En efecto, la definición y cartografía de las unidades geomorfológicas representan un insumo básico en la evaluación del paisaje, los recursos y los peligros, en la determinación de la capacidad de acogida y en la elaboración de los escenarios de uso del territorio. Por otro lado, la geología y la geomorfología de un territorio, no solamente tienen incidencia en los recursos o en los peligros, sino también en la edafología, la geografía, la flora, fauna y en la parte antrópica, es decir en las poblaciones y en la ocupación de las ciudades.

A partir de las unidades geomorfológicas se establecen las unidades estructurantes o integradoras que permiten un análisis integral de las diferentes porciones de territorio que conforman un distrito, una provincia o una región. Sin embargo, la geomorfología tiene que ser vista desde su aplicación a los estudios de ZEE y POT, definiendo unidades de manera simple y comprensible para los otros profesionales que trabajan en planificación, para las autoridades y en general para la población. Estas unidades geomorfológicas son evaluadas en todos los subsistemas propuestos (como integradoras) a partir de matrices y que finalmente se convertirán en unidades de aptitud.

MAPA GEOLOGICO



Leyenda

UNIDAD LITOLÓGICA	CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS	MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	APLICACIÓN A OBRAS CIVILES
Depósitos Fluviales	Acuíferos continuos, de mediana profundidad, conformados por materiales porosos no consolidados.	Gravas y arenas	Por su granulometría variable y dispuesta en capas, las características mecánicas son malas, aun mayor en presencia de agua, por lo tanto se comportan como inestables
Depósitos Aluviales	Materiales de interés hidrogeológico puntual, generalmente impermeables por la matriz fina.	Bloques y gravas envueltas por una matriz limo-arcillo-arenosa	Depósitos no compactos, de una mayor resistencia que los demás depósitos, así mismo su capacidad portante es mayor a 1, sin embargo en la presencia de niveles de arenas o limos con agua disminuye su resistencia y se comportan como inestables.
Depósitos Mornéncicos	Bloques y cantos sub angulosos de diferente composición y matriz limo arenosa, generalmente permeable.	Bloques y gravas en una matriz gravo-arenosa	Depósitos heterogéneos y no compactos, de alta resistencia en seco, pero en presencia de agua tienen problemas de estabilidad. Son materiales aptos para las construcciones.
Formación San Sebastián	Materiales de poco interés hidrogeológico, las arenas se presentan muy poco saturadas de agua subterránea. Los horizontes más finos son impermeables.	Gravas, arenas, limos y arcillas	Malas características mecánicas
Formación Runicolca	Materiales permeables con porosidad secundaria. Su morfología y alta permeabilidad no permite el almacenamiento de aguas subterráneas. Además tienen pequeña extensión.	Shoshonitas o andesitas	Buenos materiales para mampostería y terraplenes
Grupo San Jerónimo	Acuífero de comportamiento permeable por fracturas, tiene extensión regional y alta productividad.	Areniscas	Son rocas de buenas características mecánicas, muy favorables para las obras civiles.
Formación Quilque-Chilca	Materiales de escaso interés hidrogeológico, presenta extensión local y es material que condiciona las surgencias de aguas subterráneas en diversos manantiales.	Areniscas medianamente aceptables	Rocas de muy baja resistencia
Formación Maras	Materiales de escaso interés hidrogeológico, presenta extensión regional y es material que condiciona las surgencias de aguas subterráneas en diversos manantiales.	Yesos o lutitas	Las lutitas intercaladas de yesos son malos materiales, puesto que sobre estas se ha podido reconocer una serie de deslizamientos, derrumbes e hundimientos particularmente al Sur de Urubamba.
Formación Puquín	Materiales de escaso interés hidrogeológico, presenta extensión local y es material que condiciona las surgencias de aguas subterráneas en diversos manantiales.	Lutitas, yesos y areniscas	Las rocas de esta formación, en general son muy desfavorables como fundación a las obras civiles, a excepción de algunas areniscas.
Formación Puquín	Acuífero de comportamiento permeable por fracturas, tiene extensión regional y alta productividad.	Areniscas cuarzosas y cuarcitas	Son rocas compactas y bastante duras, estables frente a cortes de talud.
Grupo Mitu	Acuíferos fisurados de alta permeabilidad. Tiene extensión regional y alta productividad	Conglomerados, areniscas y andesitas frescas	Rocas bastante duras y estables
Formación Veronica	Materiales con capacidad de almacenamiento de aguas subterráneas pero nula transmisibilidad, las escasas surgencias de aguas, afloran por los planos de falla o fracturas	Cuarzitas y conglomerados	Los conglomerados son bastante duros y estables
Formación Ollantaytambo	Materiales de escasa capacidad de almacenamiento de aguas subterráneas y escasa transmisibilidad	Conglomerados, areniscas, cuarcitas y andesitas	Duras y estables; pero en pizarras y esquistos pierden su resistencia por estar fracturados
Granito Permico	Material de baja permeabilidad o impermeables, pueden albergar acuíferos puntuales o superficiales por alteración o fisuración.	Granitos	Estas rocas son buenos materiales de construcción y presentan buenas características mecánicas si no están alterados.

Fig. 1. Mapa geológico de Urubamba-Maras en Cusco. La descripción de las unidades geológicas son aplicadas a los estudios de POT y ZEE (Tomado de Carlotto et al., 2011a).

EL MEDIO FÍSICO

Medio físico: Se entiende como el subsistema del medio ambiente conformado por los materiales, procesos y formas terrestres del suelo y subsuelo de composición predominantemente abiótica: suelo, roca, agua, aire y paisaje, en cuanto a percepción del medio. En este medio tienen lugar una serie de procesos endógenos y exógenos que involucran tipos naturales de energía: gravitacional, solar, energía interna de la Tierra y otras, incluyendo las

modificaciones resultantes de la acción biológica y humana. Para efectos del ordenamiento ambiental, el medio físico o subsistema natural, debe entenderse como fuente de recursos, soporte de actividades, receptor de residuos y generador de peligros naturales (Molina, 2007).

Como **recurso**, el medio físico es la fuente de las materias primas que el hombre utiliza o transforma en beneficio propio. Para esto, se deben conocer cuáles son esos recursos, su ubicación, la manera de aprovecharlos, etc. Finalmente, como generador de **peligros** es necesario conocer la distribución espacial y temporal de fenómenos como: movimientos en masa (deslizamientos), aluviones o avenidas torrenciales, inundaciones, volcanes, sismos, etc., (Molina, 2007).

Para la evaluación de medio físico se plantea 3 parámetros: el paisaje, los recursos y los peligros. Esta evaluación está basada en la construcción de mapas en base SIG que permite una fácil calificación y ponderación de los espacios. Estos espacios básicos de evaluación según la metodología planteada corresponden a las unidades geomorfológicas (Carlotto et al., 2010) ya que en la práctica existe una estrecha relación entre la geomorfología, el uso de suelos, la ubicación de centros poblados, los peligros geológicos, etc. Además, la geomorfología es el componente que permite o sirve de base para la integración de la valoración de los otros subsistemas como económico-productivo, social y construido. Por lo tanto las unidades geomorfológicas son consideradas como unidades estructurantes o integradoras que determinan sectores territoriales básicos en la evaluación del potencial del medio físico y en la toma de decisiones para su ordenamiento.

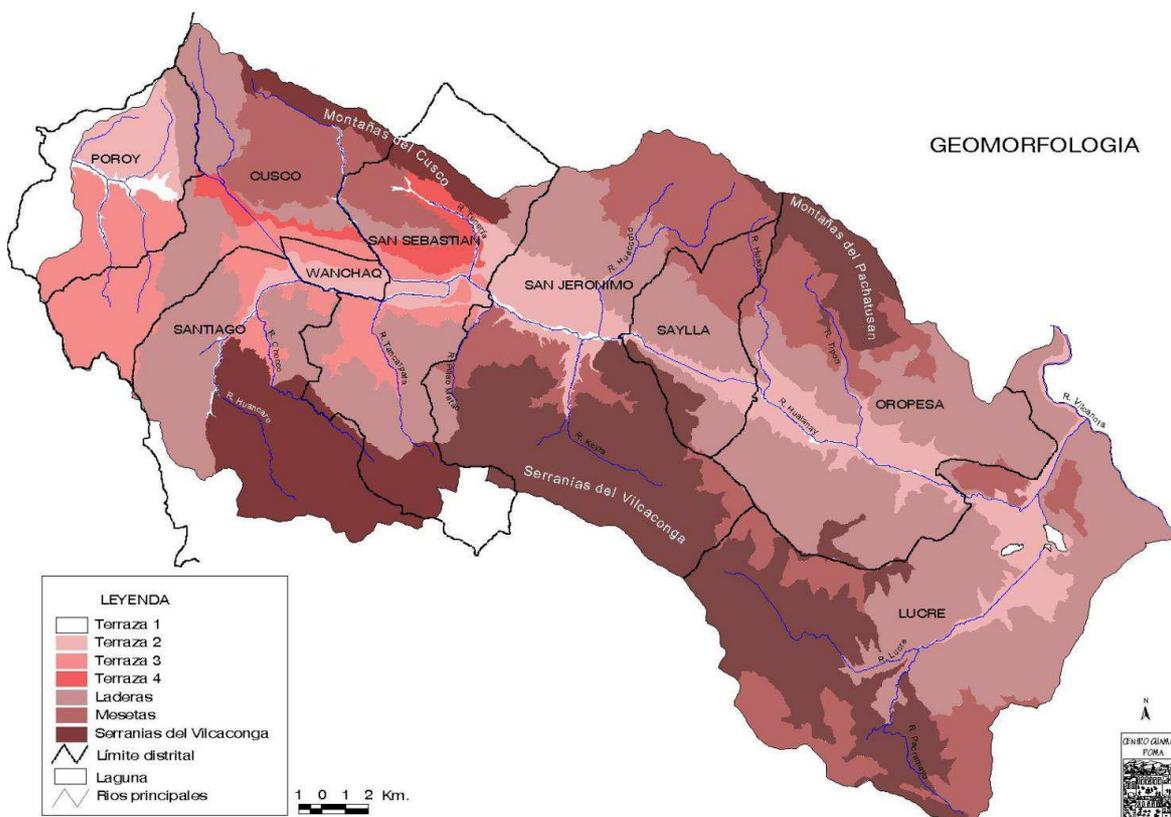


Fig. 2. Mapa geomorfológico del Valle de Huatanay donde se halla la ciudad de Cusco. Nótese la simplicidad de la clasificación de las unidades geomorfológicas: Piso de Valle (Terrazas 1 al 4), Laderas, Mesetas y Serranías o Montañas (Tomado de Carlotto et al., 2011b).

METODOLOGÍA DE PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITRIAL

Se propone la metodología planteada para los estudios de POT del Valle Sur del Huatanay en Cusco, realizado por el Centro Guamán Poma (2007) y para la región de Cusco (Carlotto et al., 2011a). Esta metodología propone evaluar el Valle Sur del río Huatanay (sub-cuenca del Bajo Huatanay) como un **Sistema**, el que es entendido como un todo y donde todos sus componentes están interrelacionados.

El Sistema puede ser un distrito, una provincia, una región o una cuenca. Para su estudio es dividido en 4 subsistemas:

Subsistema Natural,
Subsistema Construido,
Subsistema Económico y
Subsistema Social.

Estos subsistemas son parte del Sistema y presentan características homogéneas en cuanto a su comportamiento geológico, ecológico y en general natural, así como su funcionamiento económico, su soporte social y su parte construida.

Dentro de cada subsistema se tiene unidades de comportamiento o parámetros: que muestran su caracterización, dinámica y funcionalidad. En los subsistemas, se hace el análisis valorativo (matrices) y se plantea los lineamientos preliminares. Luego, se obtiene Unidades de Territorio que son partes del mismo, delimitados de acuerdo a sus potencialidades y comportamientos de sus componentes y caracterizada por el tipo de recursos con los que cuentan.

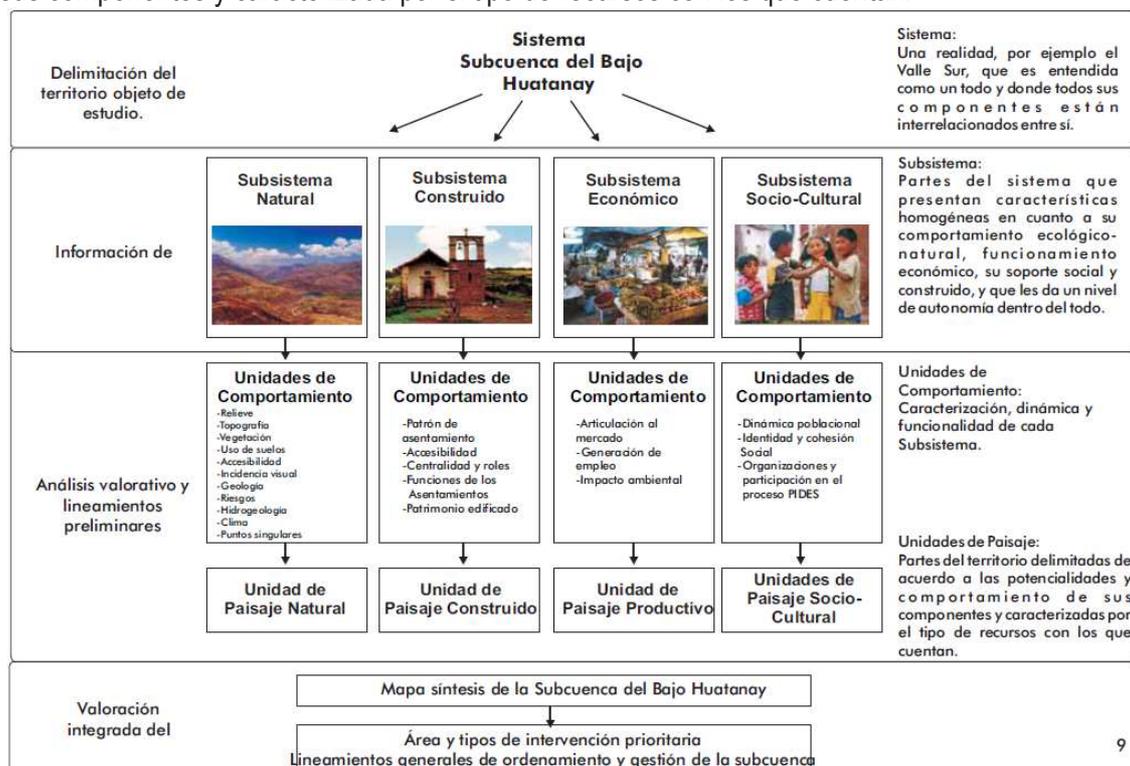


Fig. 3. Cuadro mostrando la metodología seguida para los estudios de POT para el Valle Sur del Huatanay (Centro Guaman Poma, 2006). Nótese el uso de Unidades de Paisaje Natural, Construido, Productivo y Socio-Cultural. En la presente metodología se usa el nombre de Unidades de Territorio en vez de Unidades de Paisaje.

PLANTEAMIENTO DE LA EVALUACION DEL MEDIO FÍSICO

Para la evaluación del medio físico o subsistema natural, se plantea 3 grandes parámetros: el paisaje, los recursos y los peligros (Carlotto et al., 2010). Esta evaluación está basada en la construcción de mapas en base SIG que permite una fácil calificación y ponderación de los espacios (Carlotto et al., 2011a). Estos espacios básicos de evaluación corresponden, según la metodología planteada a las **unidades geomorfológicas**, ya que en la práctica existe una estrecha relación entre la geomorfología, las actividades humanas, como la vegetación y el uso de suelos, la ubicación de centros poblados, así como los peligros geológicos. Además, la geomorfología sirve de base para la integración de las variables como suelo, agua, mineral, peligros, etc. Las unidades geomorfológicas son en realidad unidades estructurantes o integradoras, pues también sirven para la evaluación de los otros subsistemas y por lo tanto, determinan unidades territoriales básicas en la evaluación del potencial, no solo del medio físico sino también del construido, productivo y socio-cultural, y finalmente en la toma de decisiones para el ordenamiento.

REALIZACIÓN DE LOS MAPAS DE UNIDADES TERRITORIALES

El mapa de Unidades Territoriales es una herramienta utilizada para decidir a escala regional o local, la distribución de territorios de alto valor, mediano y bajo valor, que en consecuencia requieren ser aprovechadas, potenciadas y desarrolladas, o ser recuperadas, regeneradas, y/o de algún tipo de conservación y protección. El mapa incluye decisiones o recomendaciones respecto a la distribución de actividades en el territorio en función de las características naturales y sociales.

El método de trabajo se basa en el Mapa Geocientífico de Valencia, España, 1986 (Centeno et al., 1994), que ha sido modificado y adaptado al territorio peruano (Carlotto et al., 2000; Centro Guaman Poma, 2004, 2006; Carlotto et al., 2011a), en casos como los planes de ordenamiento territorial de Aguas Calientes (Machupicchu), del Valle Sur del Huatanay (Cusco), del Valle Sagrado de los Incas (Cusco), entre otros, realizados por los autores de este manual.

Luego de evaluado los territorios y calificada las unidades de alto, mediano o bajo valor, se plantean, las potencialidades, aptitudes, limitaciones, uso actual y conflictos, que son herramientas importantes que deben cruzarse con los resultados de los otros subsistemas como el económico, social y el construido, etc.; para finalmente dar las propuestas de desarrollo local o regional, es decir plantear un modelo de desarrollo.

La metodología propuesta es flexible para cada caso de los territorios, pues estos son particulares y tiene características geográficas, geomorfológicas y geológicas propias, que los hace diferentes de otros territorios. Por ejemplo, las ciudades o las cuencas de la costa son diferentes a los de la sierra y estos a su vez, a los de la selva. Sin embargo, los grandes parámetros, las matrices y sobre todo el análisis detallado del territorio, según esta metodología permite llegar a un modelo de desarrollo inclusivo y sostenible, que tiene por objetivo luchar contra la pobreza y contribuir al desarrollo de cada territorio estudiado.

EVALUACIÓN DEL PAISAJE: CALIDAD DEL PAISAJE

La metodología propuesta primero plantea la valoración del Paisaje y luego del Territorio Físico, que incluye, además del paisaje, los recursos y los peligros.

Cálculo de la matriz para obtención de valores para la evaluación del paisaje (Matriz 1 y 2).

Este parámetro es el más difícil de evaluar debido a que el valor de un paisaje, su belleza o su calidad, depende de aspectos no cuantificables desde un punto de vista individual. Socialmente, es posible cierta evaluación cuantitativa, pero el número de parámetros a considerar hace extremadamente difícil la creación de un método utilizable en todos los casos.

El método propuesto consiste en desglosar el paisaje visual en una serie de parámetros o elementos simples, cuya valoración es relativamente sencilla. Para cada uno de los parámetros considerados, se han distinguido una serie de elementos, a los cuales, se les ha asignado un valor en una escala de uno a cinco, tanto en lo que se refiere a calidad, como a la fragilidad.

Se entiende por **Calidad** el valor intrínseco de un paisaje desde el punto de vista visual y por **Fragilidad** el riesgo de deterioro del mismo, como consecuencia de la actividad geodinámica, de contaminación, de los peligros geológicos, así como de la implantación de actividades humanas u otros.

Este método está basado en las unidades geomorfológicas, por tanto el mapa geomorfológico es de suma importancia, pero este debe ser sencillo y práctico (Fig. 2). Este mapa muestra las diferentes unidades geomorfológicas, muchas de las cuales deben ser subdivididas (sub-unidades) por motivos prácticos y aplicables al ordenamiento del territorio. Por ejemplo, piso de valle 1 (entre Pisac y Calca), piso de valle 2, (entre Calca y Urubamba), piso de valle 3 (entre Urubamba y Ollantaytambo); o ladera baja 1, ladera baja 2; etc.

A cada parámetro o elemento se le asigna un valor de calidad y uno de fragilidad. Los parámetros utilizados son (Matriz 1):

- Relieve y complejidad topográfica (mapa topográfico y geomorfológico).
- Desnivel (Mapa de pendientes).
- Vegetación, cobertura vegetal y/o usos de suelo (Mapa de cobertura vegetal y/o uso actual).
- Presencia de masas de agua (Mapa hidrográfico/hidrogeológico).
- Actuaciones humanas (Mapa topográfico y otros).
- Accesibilidad (Mapa topográfico).
- Incidencia visual.

Valores para cada parámetro

A partir de los mapas antes mencionados y particularmente del mapa geomorfológico, se debe cuantificar las unidades o sub-unidades geomorfológicas, dándole valores, siguiendo la metodología propuesta (Carlotto et al., 2011a).

Se propone las siguientes valoraciones, pero que cambian para cada distrito, provincia, región, cuenca, etc., según la evaluación de los especialistas.

1). RELIEVE Y COMPLEJIDAD TOPOGRÁFICA (Mapas topográfico y geomorfológico).

C-F (C = calidad; F = fragilidad)

- 1-5 Llanuras (piso de valle)
- 2-4 Relieves alomados, laderas suaves (cono aluvial)
- 3-3 Montañas de relieve moderado (laderas bajas, laderas de quebradas)
- 4-2 Elevaciones y relieves prominentes (ladera media)
- 5-1 Relieves abruptos (Montaña)

2). DESNIVEL (Mapa de pendientes)

C-F

- 1-1 0-10%
- 2-2 10-20%
- 3-3 20-30%
- 4-4 30-40%
- 5-5 > 40%

3). VEGETACIÓN Y USOS (Mapa de Cobertura vegetal y/o uso actual). Elaborado por los especialistas en el tema.

C-F

- 1-5 Vegetación rala
- 2-3 Matorrales
- 3-1 Bosques cultivados
- 4-5 Bosques nativos
- 3-2 Cultivos estacionales
- 4-4 Pastizales naturales
- 5-2 Cultivos intensivos
- X-X xxxxxxxxxxxxxxxx

4). PRESENCIA DE MASAS DE AGUA (Mapa Hidrográfico)

C-F

- 1-1 Unidad sin agua
- 2-2 Unidad con canales o acequias
- 3-3 Unidad con ríos
- 4-4 Unidad con humedales-manantes
- 5-5 Unidad con lagunas
- 5-5 Unidad con glaciares
- X-X xxxxxxxxxxxxxxxx

5). ACTUACIONES HUMANAS (Mapa Topográfico)

C-F

- 1-1 Zonas industriales semiurbanas, canteras y vertederos
- 2-2 Zona rural con poblaciones y edificaciones medianamente abundantes
- 3-3 Zonas con urbanizaciones de alta densidad
- 4-4 Zona rural con poblaciones y edificaciones dispersas
- 5-5 Construcciones muy dispersas, escasas e inexistentes

6). ACCESIBILIDAD (Mapa Topográfico)

Este tema puede ser calificado con calidad o fragilidad dependiendo la zona y el desarrollo regional.

C o F según el territorio a tratar

- 5 Unidades que tienen carretera asfaltada
- 4 Unidades que tienen carreteras afirmadas
- 3 Unidades que tienen trochas de acceso a gran sector
- 2 Unidades con trochas pero muy parcialmente
- 1 Unidades sin carretera

7). INCIDENCIA VISUAL

Es una valoración muy subjetiva y de acuerdo a los especialistas respecto a la belleza del paisaje de cada unidad geomorfológica. Se puede obtener del promedio de la valoración de los especialistas.

C

- 5 Muy buena
- 4 Buena
- 3 Regular
- 2 Mala
- 1 Muy Mala

Ponderaciones

Todos estos parámetros o elementos tienen una ponderación, tanto para la calidad, así como para la fragilidad, de acuerdo a las características e importancia local y regional.

La ponderación propuesta varía para cada caso o estudio.

Las ponderaciones propuestas, como ejemplo, son las siguientes:

Ponderación para Calidad C

Ponderación para Fragilidad F

C-F

- (2-2)- Relieve y complejidad topográfica (mapa topográfico y geomorfológico)
- (1-1)- Desnivel (Mapa de pendientes)
- (3-3)- Vegetación y usos de suelo (Mapa de cobertura vegetal y uso actual)
- (2-3)- Presencia de masas de agua (Mapa hidrográfico)
- (2-1)- Actuaciones humanas (Mapa topográfico y otros)
- (1-1)- Accesibilidad (Mapa topográfico)
- (1-)- Incidencia visual.

El cálculo de los índices de calidad (V_c) y fragilidad (V_f) se realiza mediante la siguiente expresión:

$$V_c = \frac{\sum V_i \times P_i}{\sum P_i}$$
$$V_f = \frac{\sum V_i \times P_i}{\sum P_i}$$

Donde V_i es el valor del parámetro i y P_i es la ponderación del parámetro i .

La **Calidad del paisaje o Unidades de Paisaje** (C_p) se obtiene por combinación de los índices de calidad y fragilidad según la expresión.

$$C_p = 2 V_c + V_f/3$$

Este primer valor, luego va a sumar en la valoración de Unidades de Territorio

UNIDADES PARAMETROS	CODIGO	Relieve y complej. top. (mapa geomorfológico)			Desnivel (Mapa de pendientes)			Vegetación y usos (Mapa de cobertura vegetal)			Presencia de masas de agua (Mapa hidrográfico)			Actuaciones			Accesibilidad			incidencia visual			Calidad de paisaje (Cp)	Fragilidad (Vf)	Calidad (Vc)
		VAL. CAL.	POND. CAL.	FRAG. CAL.	VAL. CAL.	POND. CAL.	FRAG. CAL.	VAL. CAL.	POND. CAL.	FRAG. CAL.	VAL. CAL.	POND. CAL.	FRAG. CAL.	VAL. CAL.	POND. CAL.	FRAG. CAL.	VAL. CAL.	POND. CAL.	FRAG. CAL.	VAL. CAL.	POND. CAL.	FRAG. CAL.			
EJEMPLO		1	2	2	1	1	1	5	3	15	5	2	10	5	1	5	3	2	3	3.27	3.70	3.42			
Piso de Valle 1	PV-1	1	2	2	1	1	1	5	3	15	5	2	10	4	2	8	5	2	4	3.46	3.82	3.58			
Piso de Valle 2	PV-2	1	2	2	1	1	1	5	3	15	5	2	10	3	2	6	5	2	6	3.46	3.91	3.61			
Piso de Valle 3	PV-3	1	2	2	1	1	1	5	3	15	5	2	10	2	2	4	5	2	8	3.46	4.00	3.64			
Piso de Valle 4	PV-4	1	2	2	1	1	1	5	3	15	5	2	10	4	2	8	5	2	4	3.46	3.82	3.58			
Piso de Valle 5	PV-5	1	2	2	1	1	1	5	3	15	5	2	10	3	2	6	5	2	6	3.46	3.91	3.61			
Laderas Bajas N1	LN-1	3	2	6	4	1	4	3	3	9	3	2	6	4	2	8	2	2	4	3.00	2.64	2.88			
Laderas Medias 1	LM-1	4	2	8	4	1	4	3	3	9	5	2	10	4	2	8	3	2	6	3.69	3.09	3.49			
Meseta N1	MM-1	3	2	6	2	1	2	3	3	9	3	2	6	4	2	8	4	2	4	3.00	3.18	3.06			
Montañas N1	M-1	5	2	10	4	1	4	3	3	9	5	2	10	4	2	8	4	2	6	3.92	3.55	3.80			
Lomadas 1	L-1	3	2	6	2	1	2	3	3	9	1	2	2	3	2	6	2	2	2.23	2.00	2.15				

UNIDADES PARAMETROS	CODIGO	Relieve y complej. top. (Mapa geomorfológico)			Desnivel (Mapa de pendientes)			Vegetación y uso (Mapa de vegetación)			Presencia de masas de agua (Mapa hidrográfico)			Actuaciones			Accesibilidad			incidencia visual			Fragilidad (Vf)
		VAL. FRAG.	POND. FRAG.	FRAG. FRAG.	VAL. FRAG.	POND. FRAG.	FRAG. FRAG.	VAL. FRAG.	POND. FRAG.	FRAG. FRAG.	VAL. FRAG.	POND. FRAG.	FRAG. FRAG.	VAL. FRAG.	POND. FRAG.	FRAG. FRAG.	VAL. FRAG.	POND. FRAG.	FRAG. FRAG.	VAL. FRAG.	POND. FRAG.	FRAG. FRAG.	
EJEMPLO		5	2	10	1	1	1	2	3	6	5	3	15	0	5	1	5	3.70					
Piso de Valle 1	PV-1	5	2	10	1	1	1	3	3	9	5	3	15	2	1	2	5	3.82					
Piso de Valle 2	PV-2	5	2	10	1	1	1	3	3	9	5	3	15	3	1	3	5	3.91					
Piso de Valle 3	PV-3	5	2	10	1	1	1	3	3	9	5	3	15	4	1	4	5	4.00					
Piso de Valle 4	PV-4	5	2	10	1	1	1	3	3	9	5	3	15	2	1	2	5	3.82					
Piso de Valle 5	PV-5	5	2	10	1	1	1	3	3	9	5	3	15	3	1	3	5	3.91					
Laderas Bajas N1	LN-1	3	2	6	4	1	4	2	3	6	3	3	9	2	1	2	2	2.64					
Laderas Medias 1	LM-1	2	2	4	4	1	4	2	3	6	5	3	15	2	1	2	3	3.09					
Laderas Medias 2	LM-2	2	2	4	4	1	4	3	3	9	5	3	15	1	1	2	2	3.18					
Meseta N1	M-1	3	2	6	2	1	2	4	3	12	3	3	9	2	1	2	4	3.55					
Montañas N1	M-1	1	2	2	4	1	4	4	3	12	5	3	15	2	1	2	4	2.00					
Lomadas 1	L-1	3	2	6	2	1	2	2	3	6	1	3	3	3	1	3	2	3.73					
Quebrada N1	QN1	4	2	8	2	1	2	3	3	9	5	3	15	2	1	2	5	3.09					
Laderas de la quebrada N1	QNL-1	3	2	6	4	1	4	2	3	6	4	3	12	2	1	2	4	3.18					
Quebrada N2	QN2	4	2	8	1	1	1	3	3	9	3	3	9	5	1	5	3	3.18					

Matriz 2. Valoración de la Calidad del Paisaje (izquierda) y Matriz 3. Valoración de la Fragilidad (derecha)

ELABORACIÓN DEL MAPA DE UNIDADES TERRITORIALES DEL MEDIO FÍSICO O SUBSISTEMA NATURAL (Matriz 3)

Este mapa es la síntesis del medio físico o del subsistema natural, y asigna a cada unidad o sub-unidad geomorfológica, un valor que indica sus potencialidades, aptitudes, limitaciones, uso actual, conflictos, entre otros (Carlotto et al., 2011a).

Para la evaluación de este mapa se utilizan:

- Mapa de cobertura vegetal y/o uso actual
- Mapa geológico: características mecánicas de las rocas
- Mapa geológico/hidrogeológico: características hidrogeológicas
- Mapa de recursos geológicos: mapa metalogenético y de rocas y minerales industriales RMI
- Mapa de peligros geológicos: mapa de susceptibilidad
- Mapa de clima
- Mapa de Calidad del Paisaje o Unidades de Paisaje (obtenido de la matriz 1 y 2)
- Mapa de puntos singulares (suma de mapas de patrimonio geológico, paleontológico, arqueológico, cultural, etc.)

Cada unidad o sub-unidad geomorfológica, obtiene un valor derivado de cada uno de dichos elementos. El elemento Puntos Singulares es un “elemento mejorante” de modo que cada unidad aumenta su valoración en un punto (o medio punto, según los casos), por cada punto singular importante incluido en ella.

Para calcular el valor de cada elemento, en cada unidad, se usa los siguientes criterios.

COBERTURA VEGETAL

- 1 Vegetación rala
- 2 Matorrales
- 3 Bosques cultivados
- 4 Bosques nativos
- 4 Cultivos estacionales
- 5 Pastizales naturales
- 5 Cultivos intensivos

MAPA GEOLÓGICO (CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE ROCAS)

- 1 Rocas muy malas
- 2 Rocas malas
- 3 Rocas regulares
- 4 Rocas buenas
- 5 Rocas muy buenas

MAPA HIDROGEOLÓGICO

- 1 Acuícludo
- 2 Acuitardo
- 3 Acuíferos porosos consolidados y fisurado de mediana-baja productividad y extensión local
- 4 Acuíferos porosos no consolidados
- 5 Acuíferos fisurados y consolidado de alta productividad y extensión regional

RECURSOS GEOLÓGICOS (MAPA METALOGÉNICO Y DE RMI)

- 1 Material con poco o nada valor en contenido de material metálico o no metálico
- 2 Material con poco valor en contenido de material metálico o no metálico
- 3 Material con mediano valor
- 4 Material con alto valor
- 5 Material con muy alto valor

MAPA DE PELIGROS GEOLÓGICOS

- 1 Zonas con presencia de deslizamientos activos y potenciales
- 2 Zonas con peligro de inundaciones
- 3 Zonas con presencia de deslizamientos, huaycos, etc muy localizados o muy particulares
- 4 Zonas relativamente estables a deslizamientos
- 5 Zonas estables a deslizamientos

CLIMA

- 1 Muy malo
- 2 Malo
- 3 Regular
- 4 Bueno
- 5 Muy bueno

PUNTOS SINGULARES (Mapas de patrimonio, geológico y topográfico)

Se consideran los sitios de patrimonio culturales como iglesias, casas de haciendas y sitios arqueológicos, y los de patrimonio geológico-paleontológico.

CÁLCULO DE UNIDAD TERRITORIAL

La puntuación para cada unidad geomorfológica se obtiene de la matriz 3, mediante la siguiente expresión:

$$V_{ut} = \sum (V_i \times P_i) + n$$

Donde:

- V_{ut} = Valor de la Unidad Territorial
 V_i = Valor de calidad del elemento considerado
 P_i = Ponderación del elemento considerado
 N = Numero de puntos de interés singular.

Ponderación

Los pesos de ponderación son variables para cada territorio estudiado. Se propone la siguiente ponderación a manera de ejemplo para el valle sur de Huatanay y el Valle Sagrado de los Incas (Carlotto et al., 2011a):

- Cobertura vegetal (3)
- Mapa geológico: Características mecánicas de rocas (1)
- Mapa geológicos/hidrogeológico: Características hidrogeológicas (3)

- Recursos geológicos (2)
- Peligros geológicos (2)
- Clima (2)
- Paisaje (3)
- Puntos singulares (1)

Una vez realizado los cálculos con ayuda de la matriz 3, se obtiene un valor para cada una de las unidades o subunidades geomorfológicas, es decir Unidad de Territorio: Vut⁹.

ELEMENTOS (Peso) (V _u PI) UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS	CODIGO	Mapa de cobertura vegetal			Mapa geológico (características mecánicas de rocas)			Mapa hidrogeológico			Recursos geológicos			Peligros geológicos			Clima			Paisaje			Puntos Singulares (a)			Valor unidad paisajista (V _{up})
		VAL. CAL.	POND. CAL.	CAL.	VAL. CAL.	POND. CAL.	CAL.	VAL. CAL.	POND. CAL.	CAL.	VAL. CAL.	POND. CAL.	CAL.	VAL. CAL.	POND. CAL.	CAL.	VAL. CAL.	POND. CAL.	CAL.	VAL. CAL.	POND. CAL.	CAL.	VAL. CAL.	POND. CAL.	CAL.	
Piso de Valle 1	PV-1	5	3	15	1	1	1	4	2	8	4	2	8	1	2	2	5	1	5	3.6	3	10.7	1	1	1	50.74
Piso de Valle 2	PV-2	5	3	15	1	1	1	4	2	8	4	2	8	2	2	4	5	1	5	3.6	3	10.8	1	1	1	52.83
Piso de Valle 3	PV-3	5	3	15	1	1	1	4	2	8	4	2	8	2	2	4	5	1	5	3.6	3	10.9	2	1	2	53.92
Piso de Valle 4	PV-4	5	3	15	1	1	1	4	2	8	4	2	8	1	2	2	5	1	5	3.6	3	10.7	2	1	2	51.74
Piso de Valle 5	PV-5	5	3	15	1	1	1	4	2	8	4	2	8	2	2	4	4	1	4	3.6	3	10.8	2	1	2	52.83
Laderas Bajas N1	LN-1	3	3	9	5	1	5	4	2	8	2	2	4	4	2	8	3	1	3	2.9	3	8.6	1	1	1	46.64
Laderas Bajas N2	LN-2	2	3	6	5	1	5	4	2	8	2	2	4	4	2	8	4	1	4	3.0	3	9.0	3	1	3	46.97
Laderas Bajas N3	LN-3	2	3	6	5	1	5	5	2	10	2	2	4	4	2	8	4	1	4	2.6	3	7.8	1	1	1	45.84
Laderas Bajas N4	LN-4	2	3	6	4	1	4	5	2	10	2	2	4	4	2	8	4	1	4	3.2	3	9.6	1	1	1	46.55
Laderas Bajas N5	LN-5	3	3	9	4	1	4	1	2	2	2	2	4	4	2	8	4	1	4	2.6	3	7.7	1	1	1	39.69
Laderas Bajas S1	LS-1	3	3	9	4	1	4	3	2	6	3	2	6	4	2	8	3	1	3	2.9	3	8.8	2	1	2	46.83
Laderas Bajas S2	LS-2	2	3	6	5	1	5	4	2	8	2	2	4	3	2	6	3	1	3	2.9	3	8.6	1	1	1	41.60
Laderas Bajas S3	LS-3	2	3	6	5	1	5	4	2	8	2	2	4	4	2	8	3	1	3	2.6	3	7.9	2	1	2	43.87
Laderas Bajas S4	LS-4	2	3	6	1	1	1	2	2	4	2	2	4	2	2	4	3	1	3	2.5	3	7.5	2	1	2	31.47
Laderas Bajas S5	LS-5	2	3	6	4	1	4	1	2	2	2	2	4	4	2	8	3	1	3	2.3	3	7.0	2	1	2	36.04
Laderas Medias 1	LM-1	3	3	9	5	1	5	4	2	8	2	2	4	5	2	10	2	1	2	3.5	3	10.5	1	1	1	49.48
Laderas Medias 2	LM-2	3	3	9	5	1	5	4	2	8	2	2	4	5	2	10	2	1	2	3.6	3	10.7	2	1	2	50.72
Laderas Medias 3	LM-3	3	3	9	5	1	5	4	2	8	2	2	4	3	2	6	2	1	2	3.4	3	10.1	1	1	1	45.10
Laderas Medias 4	LM-4	3	3	9	4	1	4	4	2	8	2	2	4	5	2	10	2	1	2	3.5	3	10.5	0	1	0	47.48
Laderas Medias 5	LM-5	1	3	3	4	1	4	1	2	2	2	2	4	4	2	8	2	1	2	2.5	3	7.5	2	1	2	32.54
Meseta N1	MN-1	3	3	9	1	1	1	1	2	2	2	2	4	5	2	10	3	1	3	3.1	3	9.2	2	1	2	40.18
Meseta N2	MN-2	3	3	9	1	1	1	1	2	2	2	2	4	5	2	10	2	1	2	3.5	3	10.6	0	1	0	38.62
Meseta S 1	MS-1	5	3	15	2	1	2	2	2	4	1	2	2	3	2	6	3	1	3	3.3	3	9.8	0	1	0	41.83
Meseta S 2	MS-2	3	3	9	4	1	4	5	2	10	4	2	8	5	2	10	3	1	3	3.5	3	10.4	0	1	0	54.38

Matriz 3. Cruce de variables utilizado para el cálculo de las unidades territoriales del medio físico o subsistema natural

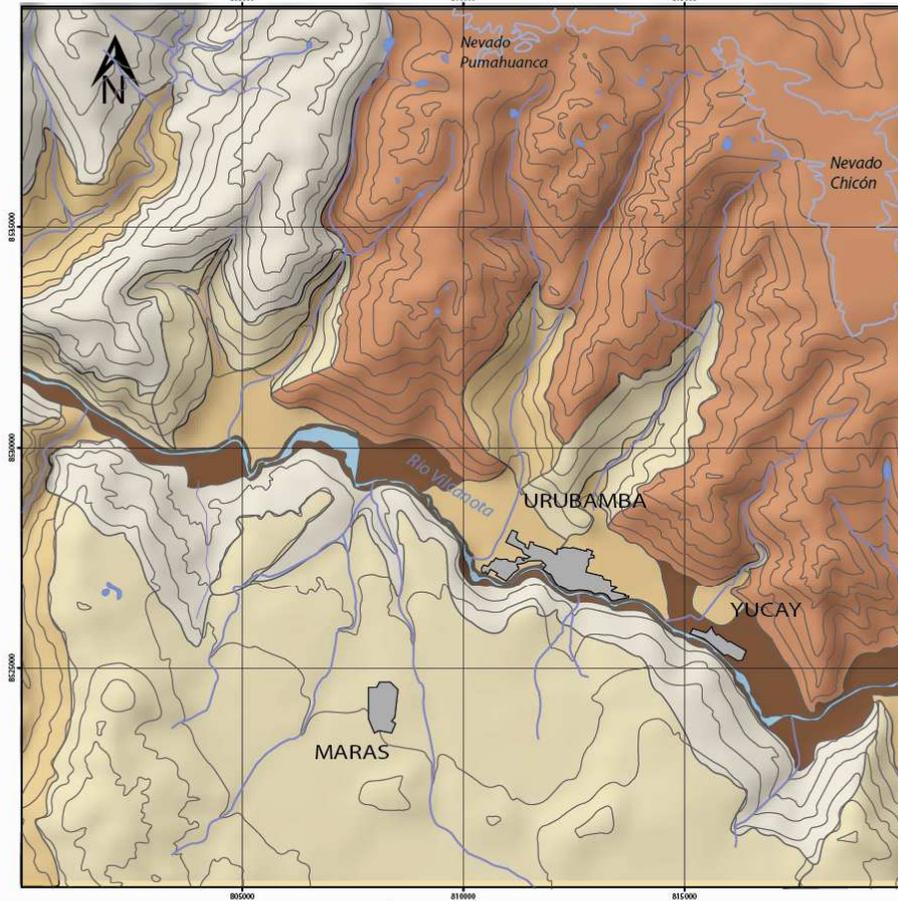
MAPA DE UNIDADES HOMOGÉNEAS

Los mapas de **Unidades de Territorio** permiten identificar y clasificar unidades homogéneas (Fig. 4) que se pueden llamar Unidades de Aptitud, en las que se puede hacer una clasificación de zonas con características similares en cuanto a la calidad y cantidad de sus recursos naturales, incluyendo los mineros, suelos, disponibilidad de agua, ventaja climática, agrícola, forestal, pastizales, etc; o a las limitaciones o fragilidad como los peligros geológicos, depredación de bosques, pastos, suelos, contaminación de acuíferos, etc.

Se puede obtener Unidades de Aptitud Alta, Media, Baja, Muy Baja, etc., dependiendo de las variables a utilizar.

En consecuencia cada unidad debe tener su valoración para usos y aprovechamientos, así como de protección, para lo cual se recomienda tener en cuenta las siguientes consideraciones:

MAPA DE AREAS HOMOGENEAS



Leyenda

CLASIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
Áreas de Muy Alto Valor	Corresponde al espacio territorial del piso de valle requieren proteger y conservar por sus suelos de alta calidad productiva bajo riego, ventaja climática
Áreas de Alto Valor	Representan áreas de alto valor paisajístico a proteger y conservar. Zona de grandes acuíferos, lagunas, bofedales, pastizales, bosques y nieve perpetua, que tienen influencia en las actividades de piso de valle
Áreas de Mediano Valor	Corresponde a las laderas de quebradas, que se encuentran por encima del piso de valle. Se trata de áreas de mediano valor a potenciar.
Áreas de Bajo Valor	Corresponde a la Meseta Chinchero-Maras, ubicada en la margen izquierda del Valle del Vilcanota., área que debe ser recuperada y regenerada,
Áreas de Muy Bajo Valor	Corresponde a la ladera baja que se sitúa por encima del piso de valle en la margen izquierda del Río Vilcanota, que debe ser recuperada y regenerada

Fig. 4. Mapa de áreas homogéneas de Urubamba-Maras

Aptitud

- Aptitud actual o potencial: agrícola, minera, forestal, pastizales.
- Protección: áreas paisajísticas, humedales, patrimonio geológico, paleontológico.
- Recuperación: grandes áreas depredadas.

Potencialidad Natural

Característica de los recursos naturales que permiten el desarrollo de la aptitud: ejm. la pendiente, el suelo, las ventajas climáticas, la disponibilidad del agua, el paisaje, etc.

Limitaciones

Limitaciones o fragilidad de los recursos naturales para el desarrollo de la aptitud: principalmente los peligros geológicos, expansión urbana no planificada, depredación de bosques, de pastos, de suelos, de la biodiversidad, contaminación de acuíferos, etc.

Ejemplos de Unidades Homogéneas

UNIDAD	POTENCIALIDADES	APTITUD	LIMITACIONES	USO ACTUAL Y CONFLICTOS
Muy Alto Valor	Piso de valle con pendiente llana, con buena disponibilidad de agua para riego en la temporada lluviosa. Fertilidad buena de suelos, especialmente para maíz gigante y otros amiláceos, frutales y hortalizas. Ventaja climática alta. Con buena vialidad. - Alta oferta paisajística. Potenciales acuíferos en sedimentos no consolidados.	Aptitud para agricultura intensiva. Agro clima ideal para el cultivo y conservación del maíz gigante tipo exportación. Paisaje natural.	Limitaciones de agua en la estación de secas para el cultivo de piso de valle. Áreas con riesgo a inundaciones en terrenos ganados en orillas de río.. Suelos con mediana a alta contaminación por desechos sólidos y líquidos. Erosión de los suelos por la acción fluvial.	Uso intenso de suelos de cultivo bajo riego. Contaminación de áreas de cultivo por agroquímicos: escases y conflictos por el agua en la época de secas. Cambio de uso de suelos agrícolas por ocupación urbana. Presión de la flora nativa por extracción de recursos mineros no metálicos. Ocupación de la faja marginal. Conflictos sociales por la compra venta de terrenos de cultivo.
Mediano Valor	Protección ecológica especialmente en las montañas. Pastos naturales. Presencia de canteras para la extracción de rocas aptas para la construcción. Potenciales acuíferos en rocas fisuradas.	Aptitud para el pastoreo en Huayanay. Aptitud paisajística. Aptitud para el ecoturismo. Presencia de bosque montano y matorral de bosque seco en la sub cuenca de Patacancha.	Falta de vialidad. Clima adverso para el desarrollo de la agricultura. Zonas con pendiente fuerte y presencia local de deslizamientos en la margen izquierda.	Extracción de rocas graníticas en la parte alta de la margen izquierda. Uso para pastizales especialmente de ovinos y vacunos.
Bajo Valor	Fertilidad de regular a mala especialmente en mesetas de la margen derecha. Intensa actividad agrícola en secano con cultivos localizados bajo riego. Clima de bueno a medio, diversidad biológica de flora y fauna propias de ecosistemas de laderas. Paisaje natural de mediano a alto. Pendientes moderadas.	Aptitud agrícola de mediano a bajo. Protección ecológica. Protección y conservación in situ de variedades nativas de papa.	Escasa vialidad. Pendientes altas a medias. Presencia de derrumbes y deslizamientos. Presencia de acuitardos.	Incendios forestales y quema de pastos accidental o provocado. Presión sobre bosques suelos y biodiversidad. Agricultura en ladera que reactiva deslizamientos. Escases de agua por acción del cambio climático. Agricultura en alta pendiente

REFERENCIAS

- Carlotto, V., Apaza, D., Machicao, P., Tintaya, D., Cárdenas, J. & Benavente, R. (2000). Geología y geodinámica del poblado de Machu Picchu (Aguas Calientes): cálculo de matrices y zonificación para el Plan de Ordenamiento Urbano. Perú. X Congreso Peruano de Geología. Resúmenes, Sociedad. Geológica del Perú. p 125.
- Carlotto, V., Fidel, L. & Chirif, H. (2010). La geología en la planificación del territorio: guía para la zonificación ecológica económica. XV Congreso Peruano de Geología. Resúmenes extendidos 4 p.
- Carlotto, V., Cárdenas, J. & Concha, R. (2011a). La valoración de la geología en las unidades territoriales del medio físico para los Planes de Ordenamiento Territorial en la Región Cusco. UNSAAC., 25 p.
- Carlotto, V., Cárdenas, J. & Carlier, G. (2011b). Geología del Cuadrángulo de Cusco 28-s, 1:50,000. *INGEMMET, Boletín Serie A: 138, 258 Carta Geológica Nacional*, 138, 258 p., 6 mapas.
- Centeno, J.D., Fraile, M.J., Otero, M.A. & Pividal, A.J. (1994). Geomorfología práctica. Ejercicios de Fotointerpretación y Planificación Ambiental. Editorial Rueda, 66 p.
- Centro Guaman Poma De Ayala (2004). Amanecer en el Bajo Huatanay, 553 p.
- Centro Guaman Poma De Ayala (2006). Aportes al Plan de acondicionamiento territorial del Valle Sur, 66 p.
- Molina, J. M. (2007). Consideraciones del subsuelo en el ordenamiento territorial. Tesis Doctoral en Recursos Naturales y medio Ambiente. Universidad Politécnica de Cataluña Manvesa. 266 p.