



Boletín 2

ISSN 2411-6890



APLICACIONES DE LA GEOMÁTICA PARA ESTUDIOS SOBRE EL MEDIO FÍSICO Y LA PLANIFICACIÓN EN LA SUBCUENCA DE LA QUEBRADA CHUCUMAYO

DISTRITO MATUCANA, PROVINCIA HUAROCHIRÍ, DEPARTAMENTO DE LIMA

Juan Felipe Meléndez De la Cruz
Miguel Ernesto Alva Huayaney

RESUMEN

La subcuenca de la quebrada de Chucumayo es un afluente del río Rímac por su margen izquierda y se encuentra enmarcada en una morfología de montañas.

Los aportes de esta investigación son las siguientes:

- a) Levantamiento de nueva información temática sobre geomorfología, vegetación y capacidad de uso mayor de suelos, que sirvió como base para evaluar el medio físico en su conjunto y las tendencias de antropización del territorio.
- b) Diseño y ejecución de modelos aplicando el enfoque geográfico para evaluar cada una de las unidades ecológicas económicas en relación con su productividad, la conservación y conflictos de usos de suelo.
- c) Identificación de unidades espaciales con problemas sobre conflictos de uso y riesgos de desastres.
- d) Zonificación Ecológica y Económica (ZEE) del área de estudio como insumo geoespacial para preparar una propuesta de usos de suelo.

En resumen, se detectó que la mayoría de actividades económicas se encuentran en situación de insostenibilidad porque están expuestas al impacto de peligros de origen natural, correspondiendo a espacios en conflicto de usos de suelo.

PALABRAS CLAVE: *planificación del uso de suelo, cuencas hidrográficas, geomorfología, aptitud del territorio, Zonificación Ecológica y Económica (ZEE).*

DATOS DE LOS AUTORES

Juan Felipe Meléndez de la Cruz. Geógrafo de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM) con grado de Maestro en Geografía (UNAM), Doctor en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible (UNFV). Docente del Departamento de Ciencias Geográficas de la UNMSM. Especialista en Geografía Física y Riesgos de desastres.

Miguel Ernesto Alva Huayaney. Geógrafo y profesor de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM), con estudios de maestría en Geografía, Mención en Gestión y Ordenamiento Territorial (UNMSM) y especialización en Sistemas de Información Geográfica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas en Santafé de Bogotá. Especialista en Sistemas de Información Geográfica, Teledetección y Ordenamiento Territorial.

© Este artículo es de acceso abierto sujeto a la licencia Reconocimiento 4.0 Internacional de *Creative Commons*. No se permite un uso comercial de la obra original ni la generación de obras derivadas. Para más información, visite: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

TITLE

Physical environment and the planning of sub- basin of the quebrada de Chucumayo. application of geomatics

Matucana district, Huarochirí province, Lima department.

ABSTRACT

The sub basin of the Quebrada de Chucumayo is a contributor of the Rimac River (RR) on its left bank and is framed in morphology of mountains.

The contributions of this research are: a) Lifting of new thematic information on geomorphology, vegetation and use capacity Soils, which was the basis for assessing land use and know the natural soil suitability. b) The design and implementation of models to assess the geographic applying each of the ecological economic units on productivity, conservation and land use conflicts approach. c) Identification of spatial units with problems of conflict of Use and disaster risks. d) Ecological and Economic Zoning study area as input geospatial prepare a proposed land uses through a (planning).

In summary, we found that most of the economic activities in a situation of unsustainable because they are exposed to the impact of natural hazards spaces corresponding to conflicting land uses.

KEYWORDS: *land use planning, watersheds, geomorphology, fitness territory, Ecological and Economic Zoning (EEZ).*

© This article is of open access to the public and subject to the Creative Commons Attribution Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License. The commercial use of this original work and the production of derived works from this article is not allowed. For more information, please visit: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

La investigación se dividió en dos grandes fases. En la primera etapa se llevó a cabo un análisis temático del medio físico levantando información nueva como la geomorfología, pendientes del terreno, vegetación y capacidad de uso mayor de suelos. La segunda parte del estudio consistió en analizar la aptitud del territorio utilizando como base la metodología de Zonificación Ecológica y Económica (ZEE). En ambas etapas del estudio se utilizaron sistemas de información geográfica como herramienta de análisis geoespacial.

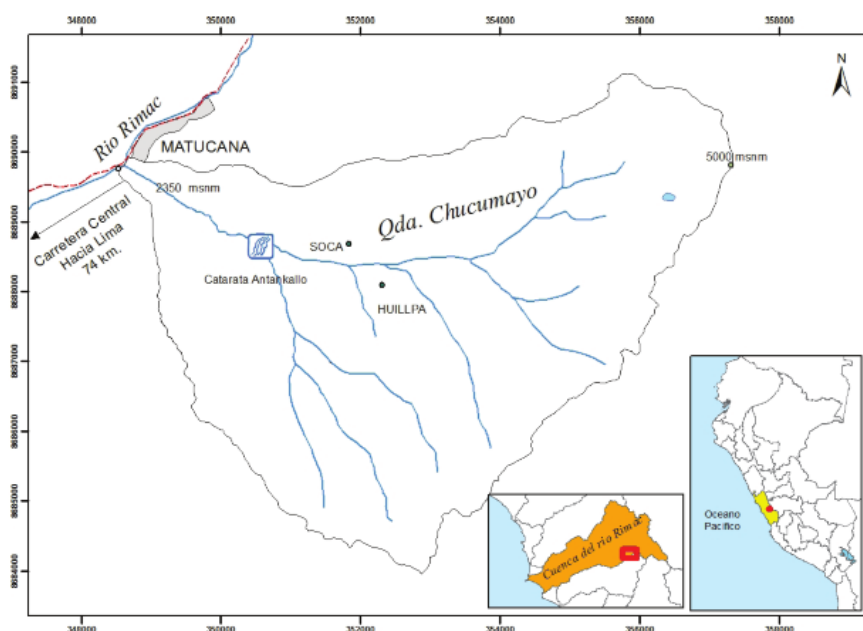
Además, se diseñó e implementó una base de datos geográfica (Geodatabase - GdB) para dar consistencia y estructurar la información geoespacial organizándola en capas temáticas integradas, incluyendo tablas de atributos que describen las entidades. Los sistemas de información geográfica permiten integrar datos y generar nueva información como parte del análisis espacial mediante la superposición y otras operaciones. *Las imágenes satelitales permitieron extraer información actualizada de la cobertura y uso actual del suelo.* Para este caso se trabajó con una imagen satelital WorldView-2 del 24 de abril del 2013 y con una resolución espacial de 0.50 metros.

LOCALIZACIÓN

El área de estudio se encuentra comprendida dentro de las siguientes coordenadas geográficas:

Izquierda: -76.390576 Longitud Oeste
Superior: -11.837105 Latitud Sur
Derecha: -76.309721 Longitud Oeste
Inferior: -11.901790 Latitud Sur

GRÁFICO 1. LOCALIZACIÓN DE LA SUBCUENCA DE LA QUEBRADA CHUCUMAYO



Fuente: elaborado por los autores

Políticamente, la subcuenca de la quebrada Chucumayo se localiza en el distrito de Matucana, provincia de Huarochirí, departamento Lima. La localidad de Matucana, capital de la provincia de Huarochirí, se encuentra aledaña a la desembocadura de esta quebrada en el Rímac por la margen derecha. Asimismo, el Ferrocarril Central cruza muy cerca de la mencionada desembocadura.

CUENCA HIDROGRÁFICA

La subcuenca de la quebrada de Chucumayo desemboca en el río Rímac por su margen izquierda, ubicándose en la parte central de la vertiente del Pacífico del Perú. La subcuenca de la quebrada Chucumayo tiene un área aproximada de 34.74 km² y el cauce tiene una longitud de 9200 metros y un declive general de 21°. Las nacientes o contribuyentes de la quebrada pueden llegar hasta los 5000 m.s.n.m. y su nivel de base se encuentra aproximadamente a 2350 m.s.n.m.

MORFOMETRÍA DE LA SUBCUENCA

La forma de la cabecera subcuenca subredondeada en su cabecera porque la longitud de sus vertientes es bastante simétrica y las laderas son escarpadas, de modo que la escorrentía se concentra rápidamente cuando hay lluvias intensas. Sin embargo, en la parte media de la subcuenca las vertientes tienen longitudes cortas y con escasa vegetación natural, debido a la naturaleza semiárida del clima. Estos parámetros geomorfológicos, los depósitos aluvionales encontrados en las terrazas de la quebrada, así como las pendientes escarpadas de los interfluvios evidencian una importante actividad torrencial en el pasado.

La quebrada discurre en forma más o menos perpendicular al río por lo que en las crecidas los caudales podrían tender a alterar la dinámica del río e incluso llegar a represarlo, sobre todo si ocurrieran fuertes aluviones. El cono de deyección de la quebrada y la topografía de sus terrazas más bajas están totalmente alteradas por la construcción de infraestructuras **físicas del área de expansión urbana de Matucana** y las actividades agropecuarias.

PARÁMETROS CLIMÁTICOS

Las condiciones climáticas que presenta el área de estudio son variadas debido al fuerte contraste en las altitudes que presenta la subcuenca, que en general, se caracteriza por un clima semiárido. La precipitación promedio anual en la subcuenca tiene 200 mm en zonas cercanas al nivel de base de la quebrada, 350 mm en la parte media y 500 mm en la parte alta. El periodo de lluvias sucede durante el verano austral con máximas precipitaciones entre los meses de diciembre y abril. La temperatura media anual es 16 °C. Las variaciones de temperatura entre el día y la noche son muy marcadas, comprendiendo promedios entre 6° y 16°.

GEOLOGÍA

La geología del área de estudio es consecuencia del levantamiento de la cordillera andina desde el Cretácico Superior hasta la época actual. Es decir, los sucesivos ciclos orogénicos, sobre todo, los plegamientos ocurridos en los últimos 100 millones de años acompañados de etapas con intensos procesos de erosión reflejados en el material sedimentario de edades variables.

Destaca el grupo Rímac, porque abarca gran parte del área de estudio. Está formado por rocas volcánico – sedimentarias que afloran, sobre todo, en las laderas y están cubiertas por materiales depositados durante el Cuaternario por diferentes procesos, incluyendo aluviones por transporte proglaciario, transporte eólico y coluviones incluyendo movimientos en masa y deslizamientos o caídas por simple gravedad.

TABLA 1.
Geología de la subcuenca de la quebrada Chucumayo

Litología	Simbología	Edad	Descripción
Depósitos aluviales	Qr-al	Cuaternario reciente	Formados por gravas, arenas y cantos, en los cauces y terrazas aluviales.
Depósitos fluvioglaciares	Qr-pl	Cuaternario pleistoceno	Material que fue arrastrado y sedimentado durante periodos de glaciación. Se observan en terrazas aluviales. En algunas zonas, debido al mal drenaje han aparecido los bofedales.
Depósitos glaciares	Qr-pl	Cuaternario pleistoceno	Depósitos morrénicos antiguos y recientes que se encuentran en la cabecera de la subcuenca entre los 3500 a 5000 m.s.n.m.
Volcánico Pacocha	Ts-p	Terciario superior	Conjunto de derrames volcánicos andesíticos y basálticos con algunas intercalaciones de flujos de brecha volcánica y andesita tobáceas.
Grupo Rímac	Tm-r	Terciario superior	Conjunto de unidades de rocas volcánicas y sedimentarias constituidas por andesitas, flujos de brecha, andesita tufaceas, con ocasionales intercalaciones de arenisca tobáceas.

Fuente: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET).

Las rocas de basamento están constituidas mayormente de rocas volcánicas lávicas de composición riodacíticas, traquiandesítica, de color gris, gris brunáceo, textura porfirítica, intercalados con tobas y brechas riolíticas y riodacíticas y algunos horizontes de limolitas y areniscas constituidas de material volcánico (Centro de Estudios y Prevención de Desastres, PREDES. 1984).

GEOMORFOLOGÍA

FORMAS DEL RELIEVE A NIVEL REGIONAL

A nivel regional, la subcuenca de la quebrada Chucumayo se localiza en la unidad de la Cordillera Occidental o Flanco Andino Occidental. A gran escala se observan montañas disectadas por la red de drenaje que incluye a esta quebrada. En mayor detalle, las vertientes o laderas de las

montañas han sido modeladas en las rocas volcano-sedimentarias disectados por torrentes y cárcavas. En el fondo del valle hay terrazas aluvionales y en su desembocadura hay un pequeño cono de deyección.

PENDIENTES DEL TERRENO

Normalmente, en los interfluvios, las pendientes superan los 40° de inclinación. El cono deyección de la quebrada Chucumayo tiene una pendiente que fluctúa en el rango de los 3° a 6°. Las terrazas aluvionales tienen pendientes menores al 1° 30'. En los sectores de cabecera de cuenca donde se ubican morrenas se encuentran pendientes de 20° a 10° y pequeñas mesetas con declives entre los 3° a 6°. Los taludes y conos de derrubios localizados al pie de las laderas tienen declives con un promedio de 30°. Para poder relacionarlas con los procesos geomorfológicos, las pendientes se clasificaron empleando los criterios que describe la tabla 2.

TABLA 2.

Pendientes del terreno de la subcuenca de la quebrada Chucumayo

Rangos de pendientes	Cualidad	Área aproximada en km ²	Porcentaje %
➤ 45°	Muy escarpado	12.39	35.68
45° - 40°	Escarpado	5.55	15.98
40° - 30°	Algo escarpado	9.61	27.67
30° - 25°	Muy inclinado	2.29	6.59
25° - 20°	Inclinado	0.35	1.01
20° - 10°	Algo inclinado	4.47	12.87
10° - 3°	Moderadamente ondulado	0.05	0.14
3° - 1° 30'	Suave	0.01	0.03
< 1° 30'	Llano	0.01	0.03
Total		34.74	100

Fuente: elaborado por los autores.

CLASIFICACIÓN GEOMORFOLÓGICA

La clasificación de las formas del relieve fue diseñada para relacionarla con la geodinámica externa, teniendo en cuenta su vinculación con los peligros de origen natural. Por esa razón, se elaboró un levantamiento de geomorfología por unidades con una tabla de atributos que considera la litología, la geodinámica externa, los peligros de origen natural y la descripción morfológica.

Considerando la clasificación geomorfológica, que divide las formas del relieve por su morfogénesis sea endógena o exógena, encontramos que la primera de ellas es la morfología predominante. En este contexto, normalmente encontramos las laderas de roca volcano-sedimentarias. La estructura de las mencionadas laderas se refleja en su disección y pendientes debido a que hay sectores que están densamente fracturados por discontinuidades con dirección subvertical o subhorizontal. Estas condiciones morfoestructurales favorecen la erosión hídrica concentrada como cárcavas y surcos, y en algunas zonas el desencadenamiento de movimientos en masa sobre todo en el interior de pequeños valles o en las laderas fracturadas.

TABLA 3.

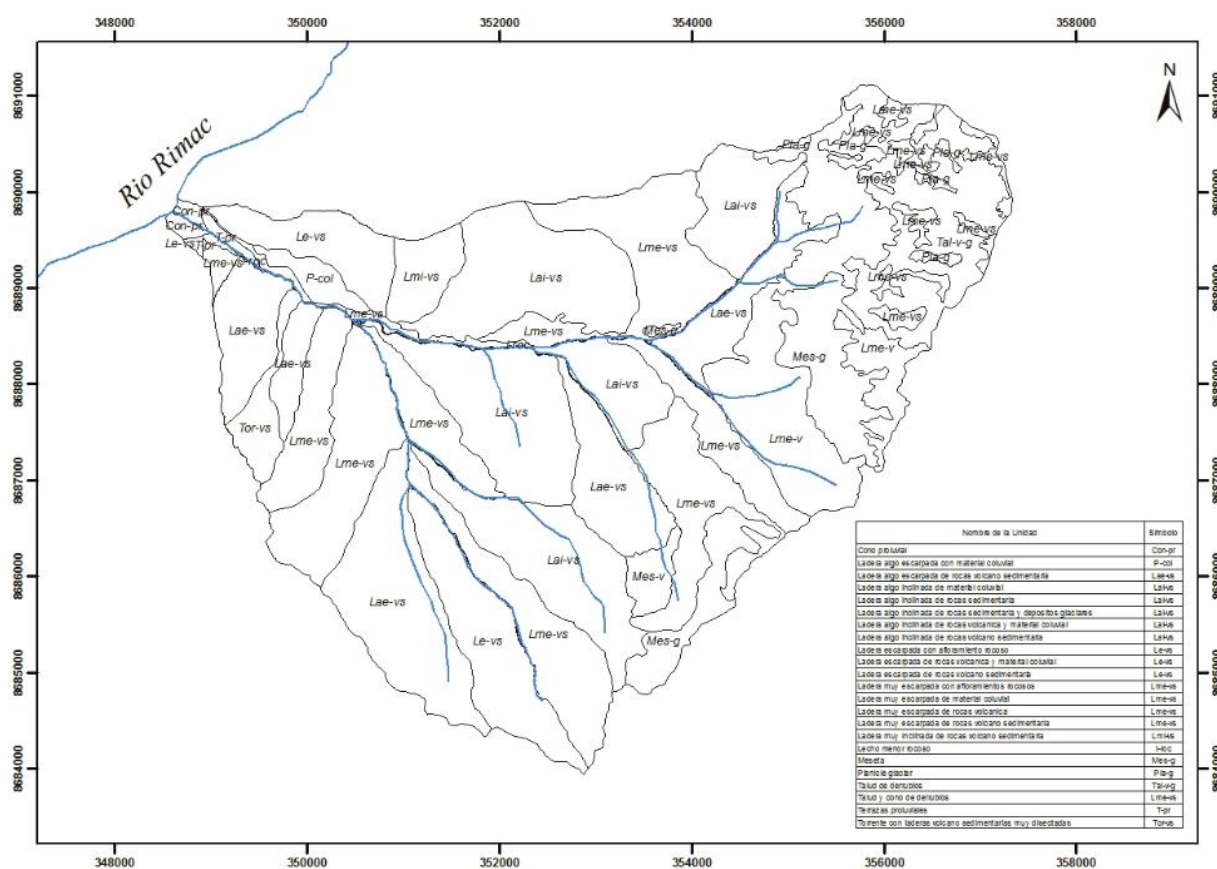
Unidades geomorfológicas y su relación con los peligros de origen natural en la subcuenca de la quebrada Chucumayo

Nombre de la Unidad	Símbolo	Peligros de origen natural
Cono proluvial	Con-pr	Expuestas a aluviones e inundaciones por crecidas de la quebrada Chucumayo o del río Rímac
Ladera algo escarpada con material coluvial	L-col	Caídas y deslizamientos
Ladera algo escarpada de rocas volcano sedimentaria	Lae-vs	Caídas y deslizamientos así como erosión hídrica concentrada
Ladera algo inclinada de rocas sedimentaria y depósitos glaciares	Lai-vs	Caídas y deslizamientos así como erosión hídrica concentrada
Ladera algo inclinada de rocas volcánica y material coluvial	Lai-vs	Caídas y deslizamientos así como erosión hídrica concentrada
Lecho menor rocoso	L-roc	Erosión fluvial
Meseta	Mes-g	Erosión eólica y arenamiento

Nombre de la Unidad	Símbolo	Peligros de origen natural
Planicie glaciar	Pla-g	Erosión eólica y arenamiento
Talud y cono de derrubios	T-d	Caídas y deslizamientos
Terrazas proluviales	T-pr	Erosión fluvial e inundaciones durante crecidas
Torrente con laderas volcano sedimentarias muy disectadas	Tor-vs	Deslizamientos

Fuente: elaborado por los autores.

GRÁFICO 2.
Geomorfología de la Subcuenca de la quebrada Chucumayo



Fuente: elaborado por los autores.

PROCESOS GEOMORFOLÓGICOS Y PELIGROS DE ORIGEN NATURAL

Los procesos geodinámicos internos como la orogénesis, suceden en una escala geológica de millones de años. En los trabajos de geografía física aplicada interesan los efectos del proceso de subducción de las placas, causantes de los sismos, y que a su vez producen caídas de rocas, deslizamientos y licuación de suelos. Los procesos de geodinámica externa son más evidentes para la población, particularmente los deslizamientos y aluviones (huaycos). En el área de estudio, los deslizamientos y caídas son frecuentes en las laderas más inclinadas, donde generan taludes y conos de derrubios que se localizan al pie de escarpes.

Por ejemplo, a las afueras de localidad de Matucana se han realizado obras para mejorar el acceso de los turistas a la catarata *Antankallo* construyendo una carretera afirmada de corto recorrido que continúa con un camino empedrado, lo que ha originado una aglomeración de pequeñas viviendas y negocios que se encuentran alledaños al establo. Sin embargo, esas construcciones han cortado y eliminado en parte el talud de derrubios que se encuentra dónde se depositan o impactan los materiales generados por caídas o por gravedad desde las laderas con pendientes mayores a 40°.

El resultado es ahora un escenario de riesgo en este espacio

Un segundo ejemplo son las terrazas aluvionales de la quebrada Chucumayo que están densamente ocupadas por pequeños predios agrícolas y ganaderos que están expuestos al impacto de inundaciones y aluviones. Además, estas actividades económicas, incrementan los riesgos naturales porque generan infiltraciones artificiales que afectan a la estabilidad de los taludes de las terrazas.

Un tercer ejemplo son las laderas con pendientes mayores a 30° que están cubiertas por suelos delgados de origen coluvial que la población ha alterado mediante la construcción de terrazas para cultivos (andenería). Uno de esos cultivos es la *tuna*, que se emplea para extraer la *cochinilla*. Hemos observado que estas áreas están expuestas a caídas de rocas y deslizamientos debido a las pendientes elevadas y a la eliminación de la vegetación natural (originalmente compuesta por matorrales) que protegía al suelo de la erosión.

VEGETACIÓN NATURAL

La vegetación, que juega un papel importante en la configuración ecológica, muestra una clara diferenciación a lo largo de la subcuenca. En la parte baja, contiguas al lecho menor de la quebrada se encuentran asociaciones ripícolas de vegetación herbáceas.

En los interfluvios de la parte media de la subcuenca predominan los matorrales, aunque en muchos sectores se han eliminado para introducir los cultivos altoandinos. Como ejemplo pueden citarse las parcelas de cultivos de flores, alfalfa, habas, quinua y cebada que se encuentran en la zona de Socas.

En la parte alta de la subcuenca se desarrollan formaciones de pastos naturales como el Ichu, así como varias especies de *Calamagrostis* y *Festuca*. También hay un bosque residual de *Polylepis* que desempeña una importante función pues favorece la fitoestabilización de los suelos. Además, hay árboles introducidos como los eucaliptos.

TABLA 4.
Vegetación de la subcuenca de la quebrada Chucumayo

Tipo de vegetación	Símbolo	Descripción	Área aproximada en km ²	Área (%)
Pajonal y césped de puna	Paj-puna	Son herbáceas altoandinas conformadas por el pajonal de puna y el césped o grass pegadas al piso.	16.64	47.88
Matorral espinoso	Mat-Esp	Vegetación xerofita arbustiva y herbácea.	10.82	31.14
Matorrales	Mat	Vegetación natural arbustiva y herbácea de poca densidad.	2.16	6.22
Bosque de eucalipto	Bos-euc	Corresponden a la especie Eucalyptus sp y se presenta en forma de fragmentos o "parches".	0.01	0.03
Bofedales	Bof	Vegetación herbácea altoandina adaptada a suelos saturados por agua.	1.70	4.89
Terrenos de cultivo	Tr-C	Actividades agrícolas.	3.34	9.61
Asociaciones ripícolas	Aso-Riber	Conformado por comunidades perennifolias como plantas arbustivas, arbóreas (poca densidad), postradas y herbáceas.	0.03	0.09
Urbano	Urb	Zonas de expansión urbana.	0.05	0.14
Total			34.75	100

Fuente: elaborado por los autores.

CAPACIDAD DE USO MAYOR DE SUELOS

En planificación hay dos aspectos fundamentales: el potencial del medio físico en cuanto a recursos naturales, y el uso de suelo idóneo o viable que se puede asignar a determinados espacios de un territorio.

La parte del presente estudio que contiene información espacial sobre las mencionadas potencialidades se refiere a la *Capacidad de Uso Mayor¹ de Suelo* para lo cual se ha realizado un levantamiento sobre esa cuestión para la subcuenca de la quebrada de Chucumayo. Con esa finalidad se han utilizado los criterios técnicos señalados en el Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor (CUM) aprobado mediante el Decreto Supremo nro 017-2009-AG el 1 de setiembre del 2009. El levantamiento de la información se realizó en el campo mediante calcatas, considerando únicamente los criterios o propiedades físicas en las áreas más importantes de la subcuenca de la quebrada Chucumayo.

TABLA 5.

Resumen sobre Capacidad de Uso Mayor (CUM) de la subcuenca de la quebrada Chucumayo

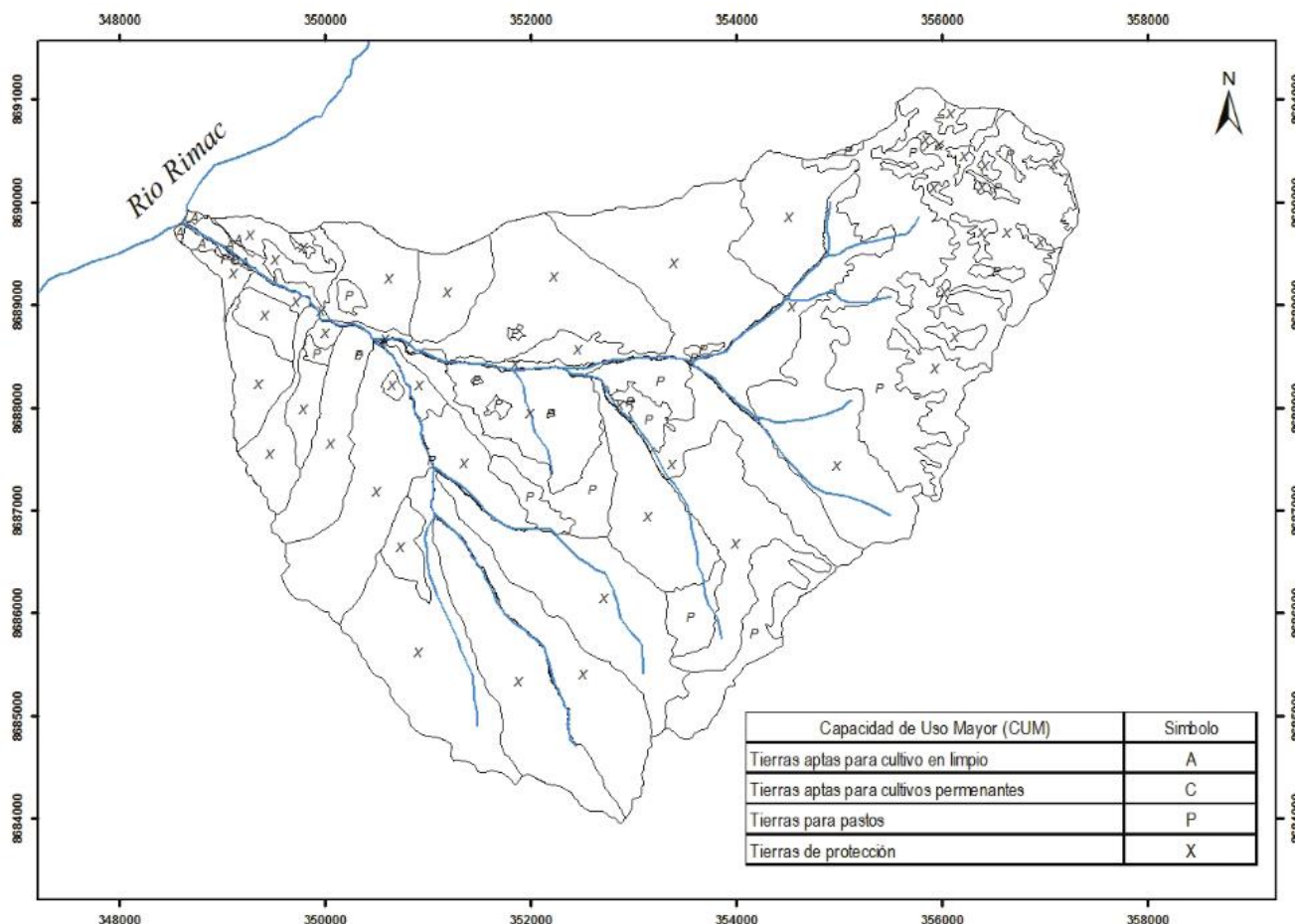
Capacidad de Uso Mayor (CUM)	Símbolo	Área aproximada (Ha)	Área (%)
Tierras aptas para cultivo en limpio	A	22.84	0.67
Tierras aptas para cultivos permanentes	C	0.46	0.01
Tierras para pastos	P	410.88	11.82
Tierras de protección	X	3040.65	87.50
Total		3474.83	100.00

Fuente: elaborado por los autores.

¹ La Capacidad de Uso Mayor (CUM) de una superficie geográfica es definida como su aptitud natural para producir en forma constante, bajo tratamientos continuos y usos específicos.

GRÁFICO 3.

Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor (CUM) de la subcuenca de la quebrada Chucumayo



Fuente: elaborado por los autores.

USO ACTUAL DEL SUELO

En la localidad de Matucana los espacios de expansión urbana se localizan sobre el cono de deyección y las terrazas aluvionales de la quebrada Chucumayo, y en las terrazas aluviales del río Rímac. En las tres áreas hay antecedentes de desastres porque en los años 1959 y 1983 fueron impactados por avenidas procedentes de la quebrada Chucumayo y por las inundaciones del río Rímac que dañaron el ferrocarril y viviendas aledañas.

Otras áreas de expansión urbana de Matucana se han desarrollado sobre los taludes y conos de derrubios, donde están expuestos a procesos de caídas de rocas por gravedad y deslizamientos. Las citadas zonas se localizan en el piedemonte por la margen derecha de la quebrada Chucumayo. Esa expansión urbana es causada por el proceso de urbanización que ocurre en todo el país, y en este caso, particularmente, por la construcción de una corta carretera afirmada que continúa con un

camino empedrado acondicionado para mejorar la accesibilidad hacia las cataratas de *Antakallo* que es la atracción turística de Matucana.

El sector primario está dominado por las actividades agropecuarias, sobre todo por pequeños predios donde se combinan las actividades agrícolas y las ganaderas. En áreas aledañas a la localidad de Matucana dichas actividades se desarrollan intensamente llegando incluso a ocupar el borde del lecho menor que se encuentra en el fondo de la quebrada.

En los interfluvios próximos a la localidad de Matucana también se han instalado pequeñas actividades agrícolas mediante la construcción de andenerías, a pesar que en las laderas, las pendientes superan los 40° de inclinación. En estos espacios se aprovechan suelos muy delgados desarrollados en materiales de origen coluvial, eliminando previamente los matorrales y construyendo caminos muy estrechos. En los interfluvios por la margen izquierda de la quebrada Chucumayo los taludes de derrubios se han transformado para realizar pequeños cultivos. Sin embargo, también es una zona natural de acumulación de material superficial producto de caídas y deslizamientos, contribuyendo a la aparición de espacios afectados por riesgo de desastres.

En los espacios anteriormente descritos, entre los 2400 a 2800 m.s.n.m., se cultivan flores cuyo mercado final es Lima, así como alfalfa, habas, maíz y frutas como níspero y manzanas para el consumo local. El ganado porcino y vacuno es un complemento para dichas actividades agrícolas. Además, en las laderas son frecuentes los cultivos de tuna y alfalfa.

En las partes medias y altas de la subcuenca de Chucumayo, la población se concentra en pequeños asentamientos humanos (caseríos) como Huillpa y Soca. En estos espacios se pueden encontrar laderas con pendientes entre 20° y 30° donde se desarrollan cultivos en andenería. También se pueden identificar cultivos en espacios con pendientes onduladas entre los 10° a 3°, donde los cultivos más frecuentes son alfalfa, papa, maíz y habas que se abastecen por canales de regadío revestidos con cemento.

ZONIFICACIÓN ECOLÓGICA Y ECONÓMICA DE LA SUBCUENCA DE LA QUEBRADA CHUCUMAYO

En el Perú, para conocer la capacidad de acogida o aptitud de un territorio se emplea el modelo de Zonificación Ecológica y Económica. Lo recomendable es utilizar ese modelo adecuándolo a la realidad físico- geográfica del área de estudio. Eso es lo que se ha hecho para el caso de la subcuenca de la quebrada de Chucumayo, para el que se conocía de antemano cuales eran, de manera general, sus principales, problemas como por ejemplo los antecedentes de desastres o las limitaciones existentes en relación con los recursos agua y suelo.

Para llevar a cabo el modelo se ha realizado, en primer lugar, un levantamiento temático sobre las siguientes materias: geología, geomorfología, pendientes del terreno, vegetación, capacidad de uso mayor de suelos, uso de suelo actual (esta etapa ya fue analizada líneas arriba). Luego se identificó la ecología y los usos de suelo mediante la delimitación de unidades ecológicas y unidades ecológicas económicas.

Unidades ecológicas (UE). Para este fin se consideró el medio inerte y su dinámica como soporte de medio biótico. De este modo, se relacionaron las unidades geomorfológicas con la vegetación lo que significó proyectar los ecosistemas sobre las formas del relieve (por ejemplo, los matorrales con las laderas muy inclinadas).

Unidades ecológicas económicas (UEE). El objetivo fue delimitar esas unidades y revisar la vinculación de aspectos ecológicos con los usos de suelo actual. De ese modo, se intensifican los sectores que presentan problemas por incompatibilidad o conflicto de uso, así como las potencialidades de unidades que aún no han sido transformadas. Previamente, se llevó a cabo un levantamiento de los usos de suelo en el que se delimitaron Unidades Socioeconómicas (USE). A continuación, utilizando el criterio de homogeneidad geográfica, se relacionaron las Unidades Ecológicas (UE) y las Unidades Socioeconómicas (USE) obteniendo Unidades Ecológicas Económicas (UEE).

EVALUACIÓN DE LAS UNIDADES ECOLÓGICAS ECONÓMICAS MEDIANTE MODELOS

Se evaluó cada una de las Unidades Ecológicas Económicas (UEE) para conocer su uso idóneo en un contexto de desarrollo sostenible. En el plano práctico, para llevar a cabo esta evaluación se diseñaron modelos con el objetivo de conocer su aptitud productiva, sus conflictos de uso o ambientales, su valor biológico ecológico o su aptitud urbano industrial. De acuerdo a las condiciones ecológicas y ambientales del área de estudio se han diseñado y ejecutado tres modelos de evaluación: aptitud productiva, conflicto de uso de suelo y valor bio-ecológico.

MODELO DE APTITUD PRODUCTIVA

La aptitud productiva se midió considerando los resultados de la capacidad de uso mayor de suelos. Como complemento se utilizó información sobre geomorfología para estimar los peligros de origen natural. En este contexto se dio “peso” a cada subvariable mediante valores del 1 al 10 para el caso de la capacidad de uso mayor de suelo (CUM) y del 1 a 3 para los parámetros relacionados con los peligros.

Sobre la evaluación de los peligros de origen natural que afectan cada una de las Unidades Ecológicas Económicas (UEE), se identificaron las zonas con mayores pendientes del terreno y con alta densidad de disección fluvial, relacionándolas con los procesos de erosión. Por lo tanto, tienen menor “peso” en su valoración con respecto a la productividad. Igualmente, su exposición al impacto de las inundaciones hace decrecer su “peso” en cuanto a su valor productivo. También, se valoraron las posibilidades de aprovechamiento que pueden tener las formas del relieve considerando que no estén expuestas a algún peligro de origen natural. Luego se corrió² el modelo en un archivo Excel, para evaluar la aptitud productiva de cada una de las UEE, utilizando la siguiente clasificación por quintiles.

² (execute, run, correr). En informática, ejecutar es la acción de iniciar la carga de un programa o de cualquier archivo ejecutable.

TABLA 6.
Niveles de productividad

Rango de valoración	Nivel
1 - 0.8	Muy alto
0.8-0.6	Alto
0.6-0.5	Medio
0.5-0.4	Bajo
< 0.4	Muy bajo

Fuente: elaborado por los autores.

MODELO DE CONFLICTOS DE USO DE SUELO (O AMBIENTAL)

El diseño del modelo de conflictos de uso tiene como objetivo identificar las Unidades ecológicas económicas (UEE) que se están utilizando en discordancia con su vocación natural, normalmente mediante la capacidad de uso mayor de suelos (CUM). Adicionalmente, se ha tomado en cuenta los peligros de origen natural. Por lo tanto, en la valoración se realizó una contrastación del CUM con los usos de suelo actual.

MODELO DE VALOR BIO-ECOLÓGICO (CONSERVACIÓN)

Mediante el diseño del modelo bio-ecológico se determinaron las UEE con mayor interés para su conservación, por su condición de ser espacios de recarga hídrica, superficial y subterránea, lo que contribuye a la sostenibilidad ecológica de la subcuenca. Para este fin se seleccionaron como variables a valorar “cuerpos de agua”, “pendientes del terreno”, “vegetación” y “geomorfología”. Después se corrió el modelo en un archivo Excel, para evaluar el valor bio-ecológico de cada una de las UEE.

ZONIFICACIÓN ECOLÓGICA Y ECONÓMICA (ZEE)

La Zonificación Ecológica y Económica (ZEE) es un proceso dinámico y flexible para identificar diferentes alternativas de uso sostenible de un territorio determinado. La ZEE se basa en la evaluación de las potencialidades y limitaciones de un territorio con criterios físicos, biológicos, sociales, económicos y culturales. Adicionalmente, en este caso se ha tomado en cuenta el criterio de la diferenciación espacial en el contexto ecológico y ambiental de diversos territorios o cuencas hidrográficas. Esta situación obliga a diseñar nuevas metodologías, estrategias y modelos para llevar adelante cualquier investigación de carácter territorial o ecológico. Es decir, todo modelo es solo una aproximación o una orientación con carácter general porque desde un punto de vista práctico o aplicado hay que diseñar nuevos patrones.

En el caso de la subcuenca de la quebrada de Chucumayo, se ha demostrado que los espacios con aptitud productiva para cultivos en limpio o permanentes son escasos. Las pocas áreas donde se están desarrollando las citadas actividades están expuestas al impacto de algún peligro de origen natural.

Luego de haber evaluado la aptitud territorial de cada una de las UEE presentamos la zonificación ecológica y económica para la subcuenca de la quebrada Chucumayo. Este resultado expresa los usos de suelo y su utilización como base para hacer una propuesta de uso mediante la planificación. Queda en manos de la gestión local la decisión de tomar en cuenta los resultados del este estudio. En todo caso, esta investigación también es un ejemplo de geografía aplicada y estamos seguros que servirá de guía para futuros trabajos académicos. A continuación, presentamos una tabla y un gráfico con la ZEE para el área de estudio.

TABLA 7.

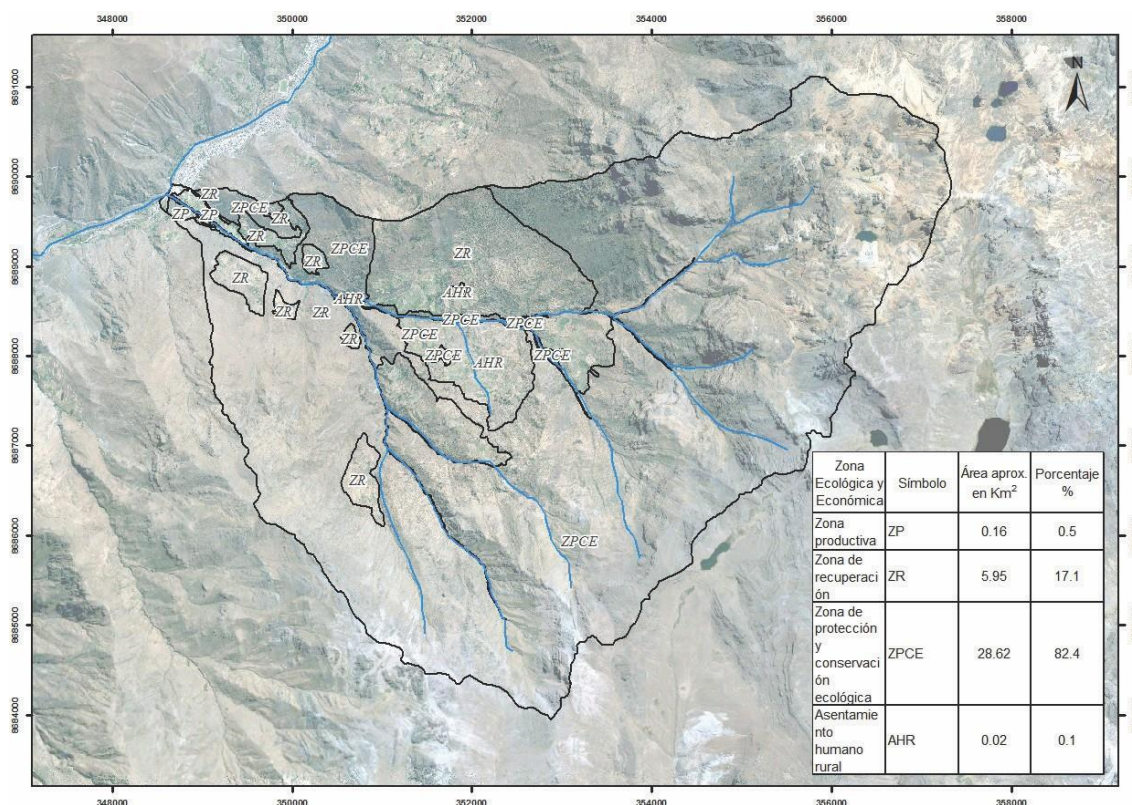
Resumen de la Zonificación Ecológica Económica para la sub-cuenca de la quebrada Chucumayo

Nro. Zona	Zona Ecológica y Económica	Símbolo	Área (km²)	Porcentaje (%)
ZEE1	Zona productiva	ZP	0.16	0.5
ZEE2	Zona de recuperación	ZR	5.95	17.1
ZEE3	Zona de protección y conservación ecológica	ZPCE	28.62	82.4

Fuente: elaborado por los autores.

GRÁFICO 4.

Zonificación Ecológica Económica para la subcuenca de la quebrada Chucumayo



Fuente: elaborado por los autores.

CONCLUSIONES

Las conclusiones de la investigación son las siguientes:

- Esta investigación es un caso de geografía aplicada a la planificación física porque se han utilizado métodos geográficos para identificar y delimitar espacios de una porción de un territorio desde los puntos de vista físico, ecológico y ambiental.
- La base ecológica del estudio se obtuvo a partir de una clasificación geomorfológica, relacionando las formas del relieve con su litología y pendiente.
- Se logró el objetivo principal de la investigación al relacionar el medio físico con la planificación del uso del suelo. Para este fin se diseñaron modelos de evaluación que permitieron conocer la aptitud productiva de cada espacio delimitado y el uso de suelo recomendable.
- Gran parte de las actividades económicas o de uso de suelo que se desarrollan en la subcuenca se encuentran en situación de "conflicto de uso" porque difieren de su aptitud productiva. Asimismo, están expuestas a algún peligro de origen natural como deslizamientos, caídas de rocas, aluviones e inundaciones.
- El uso de la tecnología como herramienta de análisis fue fundamental para estudiar el territorio. Para este caso se diseñó e implementó una base de datos geográfica (Geodatabase-GdB) para darle consistencia y estructurar la información geoespacial organizándola en capas temáticas e integradas con sus correspondientes tablas de atributos y describiendo las entidades.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Centro de Estudios y Prevención de Desastres. Predes (1984). *Estudio de seguridad física contra Huaycos, desbordes y deslizamientos Distrito de Matucana – Provincia de Huarochiri – Dpto. Lima.*
- Huggett, Richard (2011). *Fundamentals of Geomorphology*. New York: Taylor & Francis Group.
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. INGEMMET. (1983). *Geología de los cuadrángulos de Matucana y Huarochiri*. Boletín N° 36.
- Instituto Nacional de Defensa Civil. INDECI. (2013). *Escenario de riesgos de desastres – Sector Huachipa – Distrito Lurigancho Chosica – Lima Metropolitana – Volumen I y II*. Lima.
- Martínez, Pablo. (2006). *Planificación y Ordenación del Territorio*. Madrid: Editorial Dykinson.