

EVALUACIÓN DEL RIESGO AGROAMBIENTAL DE SUELOS ALTOANDINOS Y PROPUESTAS DE MITIGACIÓN SOSTENIBLES EN LA PROVINCIA DE HUAMANGA, AYACUCHO

AGRI-ENVIRONMENTAL RISK ASSESSMENT OF HIGH ANDEAN SOILS AND PROPOSALS FOR SUSTAINABLE MITIGATION IN THE HUAMANGA PROVINCE OF AYACUCHO

PALOMINO M. R. J.

RESUMEN

Con el propósito de evaluar el riesgo agroambiental de los suelos de las cuencas alta y baja del ex Proyecto Especial Río Cachi en Huamanga, Ayacucho que están siendo sometidos a una intensa actividad agropecuaria mediante el uso intensivo e indiscriminado de las tierras, y agroquímicos, y con indicios de un lento, y progresivo deterioro ambiental, se evaluaron 21 unidades de tierras con cinco usos agropecuarios: papa y pasto (con y sin fertilización) para la cuenca alta, y maíz, y trigo para la cuenca baja. La evaluación se hizo mediante el uso del sistema de ayuda a la decisión para la evaluación agroecológica de suelos (MicroLEIS), a través de los modelos Raizal y Pantanal los cuales permiten evaluar la vulnerabilidad potencial, de manejo y real según los riesgos de erosión hídrica y agrocontaminación. La vulnerabilidad real a la erosión que considera simultáneamente los riesgos biofísicos y de manejo, oscila de moderadamente baja a media, condicionado por la escorrentía superficial en suelos de laderas pronunciadas y por características físicas, y químicas de los suelos. En referencia a la agrocontaminación, la vulnerabilidad oscila de baja a media. Los usos de papa y pasto con fertilizante (cuenca alta) y maíz, y trigo (cuenca baja), son los que generan mayores riesgos de contaminación. Se concluye que los suelos presentan una degradación de baja a media para las unidades evaluadas y la necesidad de mitigarlas mediante prácticas agronómicas y mecánico estructurales para reducir el riesgo ambiental.

Palabras claves: Riesgo, agrocontaminación, erosión, deterioro, vulnerabilidad

ABSTRACT

We sought to assess the agri-environmental risk to soils in the upper and lower basins of the former Cachi River Special Project in Huamanga, Ayacucho. This area is subject to intense agricultural activity through intensive and indiscriminate use of soils and agrochemicals and we have observed indications of slow and progressive environmental deterioration. We evaluated 21 plots of land with five agricultural uses: potato and pasture (with and without fertilization) for the upper basin, and corn and wheat in the lower basin. The evaluation was done using the MicroLEIS land evaluation decision support system Raizal and Pantanal models to evaluate the potential vulnerability associated with current land uses and the risk of erosion by water and agrocontamination. The real erosion vulnerability, which simultaneously considers biophysical and management risks, range from moderately low to medium, conditioned by surface runoff on steep slopes and the physical and chemical characteristics of soils. Agrocontamination - vulnerability ranges from low to medium. The production of potatoes and pasture with fertilizer (upper basin) and maize and wheat (lower basin), are the land uses that generate the highest risk of contamination. We conclude that the soil plots we studied experienced low to medium degradation. We recommend mitigation through different agronomic practices and structural mechanics to reduce environmental risk.

Keywords: Risk, agrocontamination, erosion, degradation, vulnerability

Introducción

Una de las manifestaciones más importantes del deterioro ambiental es la degradación de tierras causada por las actividades humanas. La importancia de este tema resulta de sus consecuencias directas sobre la seguridad alimentaria, la pobreza, la migración y la calidad del ambiente. La degradación del suelo está avanzando en todo el mundo, llegando a constituirse en un problema con alcance mundial que trae consigo la disminución de la producción agrícola, inundaciones frecuentes en las cuencas bajas, afectaciones a la biodiversidad y otros desequilibrios del ecosistema. Por estas consideraciones y frente a indicios de riesgo de erosión y contaminación de los suelos, se ha propuesto la investigación con el objetivo de evaluar y cuantificar el grado de riesgo agroambiental en las cuencas alta y baja del Exproyecto Especial Río Cachi. Se evalúan 21 perfiles modales con cinco cultivos predominantes, mediante trabajos de campo, laboratorio y gabinete, usando el sistema de ayuda a la decisión para la evaluación agroecológica de suelos (MicroLEIS), software que ha sido desarrollado por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas y el Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla, España, con los modelos Raizal y Pantanal, en un área aproximada de 35.000 ha en la provincia de Huamanga, Ayacucho, en el año 2010.

Materiales y métodos

La investigación es de tipo comparativo ya que pretende medir el grado de impacto de la erodabilidad de varias unidades de tierra en relación con la degradación, del mismo modo, para el caso de la contaminación, por el aporte continuado de agroquímicos. La degradación de las tierras se evalúa bajo estos conceptos considerando que las dos variables indicadas son las que más inciden en la zona en estudio. Para lograr los resultados, se emplea un software interactivo denominado MicroLEIS DSS para la evaluación agroecológica de suelos (De la Rosa, 2008).

Fase de campo

La selección del área y la toma de muestras se realizan considerando la organización de la Junta de Usuarios de Riego del Exproyecto Especial Río Cachi que delimita las áreas irrigables en dos cuencas: alta y baja. En ambas, se considera la importancia agrícola, la ecología de la zona y el relieve; es decir, se tiene en cuenta el tipo de vegetación natural y el tipo de cultivos predominantes tratando de seleccionar en cada zona un suelo representativo.

Del mismo modo se recopila información sobre el uso y manejo de las tierras, enfatizando en las principales prácticas agrícolas o pecuarias. Cabe mencionar que en la cuenca alta están constituidas siete juntas de usuarios de riego, mientras que en la cuenca baja existen trece.

Para la apertura, descripción, designación y muestreo de los horizontes de los perfiles del suelo, se procedió de acuerdo a las normas descritas en la Guía para la descripción de perfiles de suelo (segunda edición) de la FAO (1977) y la guía descrita por Porta *et al.* (1994). Se lleva a cabo la apertura de 21 perfiles modales cuyas localizaciones y algunas características se muestran en el Cuadro 1.

CUADRO 1
RELACIÓN DE PERFILES MODALES Y FECHAS
DE REALIZACIÓN

CÓDIGO DEL PERFIL	FECHA DE DESCRIPCIÓN	UBICACIÓN
CUENCA ALTA		
RJPM001	23 de junio 2008	Unión Potrero
RJPM002	23 de junio 2008	Punkupata
RJPM003	23 de junio 2008	Catalinayocc
RJPM004	12 de julio de 2008	Cuchuquesera
RJPM005	12 de julio de 2008	Munaypata
RJPM006	12 de julio de 2008	Satica
RJPM007	13 de julio de 2008	Cusibamba
RJPM008	13 de julio de 2008	Llachoccmayo
RJPM009	13 de julio de 2008	Allpachaka
RJPM010	22 de julio de 2008	Manzanayocc
RJPM011	22 de julio de 2008	Tambocuchu
CUENCA BAJA		
RJPM 012	12 de septiembre de 2008	Chupas
RJPM 013	12 de septiembre de 2008	Chiara
RJPM 014	12 de septiembre de 2008	Tinte
RJPM 015	05 de octubre de 2008	Uchuypampa
RJPM 016	05 de octubre de 2008	Pucuhuilca
RJPM017	05 de octubre de 2008	Pinao
RJPM018	20 de octubre de 2008	Ccechcca
RJPM029	20 de octubre de 2008	Tambillo
RJPM020	25 de octubre de 2008	Pampamarca
RJPM021	25 de octubre de 2008	Acocro

Fuente: Elaboración propia.

Fase de laboratorio

Las muestras de suelo de los 21 perfiles fueron transportadas al laboratorio de análisis de suelos, plantas y aguas Nicolás Roulet del Programa de Investigación en Pastos y Ganadería de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, en una cantidad aproximada a 2 kg. En el laboratorio se procedió a las labores de secado, molienda, tamizado, embolsado, etiquetado y almacenado para facilitar su posterior análisis. La metodología seguida en el análisis es el convencional con los procedimientos analíticos adaptados para los suelos altoandinos. De manera resumida, se indican a continuación en el Cuadro 2.

CUADRO 2
METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS
DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS

COMPONENTE	MÉTODO
pH	Potenciométrico usando una relación suelo: solvente de 1:2.5
Conductividad eléctrica	Conductímetro
Materia orgánica	Óxido – reducción siguiendo la metodología de Walkley-Black
Carbonatos	Titulación
Fósforo disponible	Colorimetría según Bray-Kurtz I
Potasio disponible	Colorimetría según Morgan-Peech
Calcio, magnesio, potasio y sodio cambiables	Absorción atómica
Hidrógeno y aluminio cambiable	Titulación
Capacidad de intercambio catiónico	Acetato de amonio
Textura	Hidrómetro

Fase de gabinete

Se estudiaron separadamente la erosión y contaminación agroquímica de suelos mediante el empleo de los modelos Raizal (riesgo de erosión hídrica) y Pantanal (riesgo de contaminación), respectivamente. El modelo Raizal considera los factores de degradación, erosión hídrica y eólica; y el modelo Pantanal evalúa la vulnerabilidad a la contaminación por fósforo, nitrógeno, metales pesados (Cu, Zn, Cd, Hg, Pb) y pesticidas (general, hidrófila, hidrófoba) (De la Rosa y Crompvoets, 1998, Fernández *et al.*, 1998, De la Rosa *et al.*, 2004). El software MicroLeis determinó los riesgos de erosión y agrocontaminación de la siguiente manera: las características de tierra y manejo, generalizadas en clases o niveles,

fueron combinadas por medio de árboles de decisión para obtener las cualidades de tierra y manejo. Estas fueron asociadas a través de árboles de decisión basados en la metodología de sistema experto para generar las clases de vulnerabilidad. La evaluación generó clases de vulnerabilidad que, para el caso del modelo Raizal, están comprendidas desde la clase V1 hasta la clase V10 para la vulnerabilidad potencial y actual; y entre las clases V1 a la V4 para la vulnerabilidad de manejo. Para el caso del modelo Pantanal, las clases de vulnerabilidad potencial y manejo van desde la clase V1 hasta la clase V4; y para la vulnerabilidad real, las clases van de V1 a V5 (De la Rosa *et al.*, 2004).

El Manejo Sostenible de la Tierra se define como el uso de los recursos de la tierra, incluyendo el suelo, el agua, los animales y las plantas, para la producción de bienes destinados a satisfacer las necesidades humanas, mientras que simultáneamente garantiza el potencial productivo de largo plazo de esos recursos y el mantenimiento de las funciones ambientales. En este contexto, para cada unidad de mapeo, se proporciona una recomendación referida a las intervenciones sobre cómo abordar la degradación en los siguientes aspectos: adaptación, prevención, mitigación y rehabilitación.

Resultados

Riesgo a la erosión de los suelos

Según la información proporcionada por la FAO (2011), la degradación de tierras, en función a su grado de severidad inducida por actividades humanas, es severa, con un 32% atribuido a la deforestación y sobrepastoreo causado por la erosión hídrica y deterioro químico. El riesgo de erosión en nuestro país está cuantificado en 389,000 km² que representa el 30% del área total (GLASOD, 1990). En Huamanga, el riesgo a la erosión está condicionado al relieve y características físicas y químicas del suelo cuya aptitud puede ser dañada en una o más de sus funciones ecológicas (véase Cuadro 3).

Riesgo a la agrocontaminación

El suelo es el factor fundamental en la difusión de los contaminantes, a causa del efecto filtro que realiza en el mecanismo de transporte a las aguas superficiales y, sobre todo, subterráneas (Bonnieux *et al.*, 1998). En una agricultura productivista como la actual, lo que se trata es conseguir los mayores rendimientos mediante la aplicación de altas dosis de fertilizantes, uso frecuente de herbicidas y pesticidas, y excesiva mecanización y laboreo, que ha ocasionado importantes daños ambientales (Cotler *et al.*, 2007) (véase Cuadro 4).

Propuestas de mitigación

Respecto a la erosión, se hacen necesarias las prácticas agronómicas y mecánicas estructurales a nivel comunitario y con aporte técnico y económico del gobierno regional. A propósito de la agrocontaminación, se impone el conocimiento del estado nutricional de los suelos y de las buenas prácticas en el abonamiento y en el

control integrado de plagas y enfermedades; recuperar los suelos degradados mediante la evaluación de la inestabilidad estructural y proponiendo su restablecimiento mediante el aporte orgánico, enmiendas o cobertura con especies vegetales nativas; así mismo incrementar la capacidad de biofiltro del suelo, acrecentando el nivel de materia orgánica del mismo.

CUADRO 3
VULNERABILIDAD POTENCIAL A LA EROSIÓN HÍDRICA EN LA ZONA EN ESTUDIO

Nº PERFIL	LUGAR	SUELO REPRESENTATIVO	EROSIÓN HÍDRICA	% DEL ÁREA TOTAL
CUENCA ALTA				
RJPM 001	Unión Potrero	<i>Inceptic Haplustalfs</i>	V3k	30
RJPM 003	Catalinayocc	<i>Inceptic Haplustalfs</i>	V3k	
RJPM 004	Cuchiquesera	<i>Inceptic Haplustalfs</i>	V3k	
RJPM 006	Satica	<i>Inceptic Haplustalfs</i>	V3k	
RJPM 010	Manzanayocc	<i>Inceptic Haplustalfs</i>	V3k	
RJPM 011	Tambocuchu	<i>Inceptic Haplustalfs</i>	V3k	
RJPM 002	Punkupata	<i>Inceptic Haplustalfs</i>	V2	70
RJPM 005	Munaypata	<i>Inceptic Haplustalfs</i>	V2	
RJPM 007	Cusibamba	<i>Ultic Haplustalfs</i>	V2	
RJPM 008	Llachoccmayo	<i>Humic Haplustands</i>	V2	
RJPM 009	Allpachaka	<i>Ultic Haplustalfs</i>	V2	
TOTAL		8,610.9 ha		100
CUENCA BAJA				
RJPM 012	Chupas	<i>Inceptic Haplustalfs</i>	V2	49
RJPM 015	Uchuy pampa	<i>Inceptic Haplustalfs</i>	V2	
RJPM020	Pampamarca	<i>Ultic Haplustalfs</i>	V2	
RJPM021	Acocro	<i>Inceptic Haplustalfs</i>	V2	30
RJPM 013	Chiara	<i>Inceptic Haplustalfs</i>	V3k	
RJPM 016	Pucuhuillca	<i>Lithic Ustorthents</i>	V3k	
RJPM019	Tambillo	<i>Lithic Haplustolls</i>	V3k	21
RJPM 014	Tinte	<i>Lithic Ustorthents</i>	V4tk	
RJPM017	Pinao	<i>Lithic Ustorthents</i>	V4tk	
RJPM018	Ccehcaca	<i>Lithic Ustorthents</i>	V4tk	
TOTAL		27,076.6 ha		100

V2: erosión potencial y actual muy baja; V3: erosión laminar baja; V4: erosión moderadamente baja; k: Erosionabilidad del suelo a la erosión hídrica; t: Relieve.

CUADRO 4
VULNERABILIDAD POTENCIAL DE AGROCONTAMINACIÓN EN LA ZONA DE ESTUDIO

PERFIL	LUGAR	SUELO REPRESENTATIVO	P	N	M. PESADOS	PESTICIDAS	ÁREA (%)
CUENCA ALTA							
RJPM 001	Unión Potrero	<i>Inceptic Haplustalfs</i>	V2	V2	V2	V3	65
RJPM 002	Punkupata	<i>Inceptic Haplustalfs</i>	V2	V2	V2	V3	
RJPM 003	Catalinayocc	<i>Inceptic Haplustalfs</i>	V2	V2	V2	V3	
RJPM 004	Cuchuchesera	<i>Inceptic Haplustalfs</i>	V2	V2	V2	V3	
RJPM 005	Munaypata	<i>Inceptic Haplustalfs</i>	V2	V2	V2	V3	
RJPM 006	Satica	<i>Inceptic Haplustalfs</i>	V2	V2	V2	V3	
RJPM 007	Cusibamba	<i>Ultic Haplustalfs</i>	V2	V2	V2	V3	
RJPM 009	Allpachaka	<i>Ultic Haplustalfs</i>	V2	V2	V2	V3	
RJPM 008	Llachoccmayo	<i>Humic Haplustands</i>	V3	V3r	V3r	V2or	21
RJPM 010	Manzanayocc	<i>Inceptic Haplustalfs</i>	V2	V2r	V2	V3	14
RJPM 011	Tambocuchu	<i>Inceptic Haplustalfs</i>	V2	V2r	V2	V3	
CUENCA BAJA							
RJPM 012	Chupas	<i>Inceptic Haplustalfs</i>	V2	V2	V2	V3	28
RJPM 013	Chiara	<i>Inceptic Haplustalfs</i>	V2	V2	V2	V3	
RJPM 015	Uchuypampa	<i>Inceptic Haplustalfs</i>	V2	V2	V2	V3	
RJPM020	Pampamarca	<i>Ultic Haplustalfs</i>	V2	V2	V2	V3	
RJPM021	Acocro	<i>Inceptic Haplustalfs</i>	V2	V2	V2	V3	
RJPM 014	Tinte	<i>Lithic Ustorthents</i>	V3r	V3r	V3r	V4r	44
RJPM 016	Pucuhuilca	<i>Lithic Ustorthents</i>	V3r	V3r	V3r	V4r	
RJPM017	Pinao	<i>Lithic Ustorthents</i>	V3r	V3r	V3r	V4r	
RJPM018	Ccechcca	<i>Lithic Ustorthents</i>	V3r	V3r	V3r	V4r	
RJPM019	Tambillo	<i>Lithic Haplustolls</i>	V3	V2	V2	V3or	

V2; Contaminación agroquímica potencial y actual nula; V3; agrocontaminación baja; V4; agrocontaminación moderada; r: escorrentía superficial; o: absorción de pesticidas.

Discusión

Riesgo a la erosión de los suelos

El cuadro 3 muestra que en nueve localidades se evalúa como de riesgo biofísico muy bajo (V2). Esta evaluación es el resultado de la naturaleza edáfica y la configuración del relieve (Páez y Rodríguez, 1989). Al tener en común estas zonas un relieve ondulado suave a ligeramente inclinadas con pendientes que no superan un 20%, la superficie coberturada con gramíneas de porte rastrero que la cubren amortiguan el impacto de las gotas de lluvia y disminuyen el riesgo de erosión de tipo laminar. Por otro lado, la clase textural de los suelos son arcillosos a franco arcillosos con un horizonte subsuperficial argílico que le permite una gran estabilidad (Perret *et al.*, 1996). Actualmente es posible verificar erosión laminar en las laderas más pronunciadas que no se usan para la actividad agropecuaria y ahí la necesidad de plantear prácticas agronómicas y mecánicas estructurales para evi-

tar que la erosión se intensifique y cauce estragos a mediano y largo plazo.

Por otro lado, en nueve localidades, el riesgo potencial ha sido tipificado como V3k que implica una vulnerabilidad baja a la erosión hídrica. Las tierras en estas localidades están ubicadas en su mayor parte en laderas con pendientes superiores al 30%. Los suelos son poco desarrollados y presentan un perfil somero y con baja cobertura vegetal que ha permitido que estén sujetos a una mayor incidencia de erosión de tipo laminar. La escorrentía superficial es evidente en la época de lluvias; sobre todo, en los meses de mayor registro de precipitación como son enero a marzo. Se practica agricultura en suelos que deberían ser destinados a producción de pastos o forestal.

En esta cuenca, tres localidades han sido caracterizadas como V4tk que significa que tienen una vulnerabilidad moderadamente baja con comprobados rasgos de erosión hídrica de tipo laminar. Tanto el relieve como la

topografía de los suelos, coadyuvan a un desarrollo incipiente del perfil, cuya cobertura superficial es escasa, incrementando el riesgo de pérdida de suelos a través de la escorrentía. En áreas no usadas para propósitos agropecuarios se nota una gran erosión de suelos con presencia de cárcavas profundas que es necesario mitigar mediante la forestación, reforestación o infraestructura de protección de suelos. En estos paisajes, tal como mencionan Páez y Rodríguez (1989), dada su constitución fisiográfica, existe una gran propensión al desarrollo de procesos geomorfológicos de erosión y de remoción en masa.

Riesgo a la agrocontaminación

La mayor parte de los suelos representativos tienen baja vulnerabilidad (V2) respecto a la contaminación por fósforo. A pesar de las elevadas aportaciones de este nutriente en la práctica del abonado cuyas dosis pueden representar hasta 250 unidades de P_2O_5 por hectárea usando como fuente el superfosfato triple de calcio y fosfato diamónico, la capacidad de almacenamiento del suelo es alta, el grado de lavado y escorrentía superficial son bajos. La fertilización con fósforo se realiza al inicio de la campaña agrícola (octubre-noviembre). No se realiza el fraccionamiento dada la baja movilidad y alta estabilidad que tiene este nutrimento en los suelos alfisoles que tienen la capacidad de retenerlo en el complejo arcillo-húmico (Buol *et al.*, 1990). Dada la naturaleza edáfica de estos suelos, cuya clase textural es franco-arcilloso, de reacción ácida y con un contenido medio a alto de materia orgánica, su acumulación en el tiempo puede constituir una fuente potencial de contaminación en la capa superficial con poco riesgo de lixiviación; sin embargo, el relieve ondulado con áreas de elevada pendiente, constituye una posibilidad de inestabilidad dado el riesgo de erosión hídrica en la zona. Respecto al nitrógeno, los suelos clasificados como alfisoles tanto en la cuenca baja como alta, se catalogan como de vulnerabilidad baja (V2). Esta respuesta es análoga a la del fósforo y se debe a la naturaleza del suelo en cuanto a sus características edáficas dominadas en el horizonte superficial, por la presencia de materia orgánica y una CIC media a alta que asegura la retención del $N-NH_4^+$. El horizonte subsuperficial argílico asegura una baja movilidad de este compuesto por lixiviación, dado el alto contenido de arcilla que inhibe la tasa de infiltración del suelo (Casanova, 2005). Este elemento es aplicado a los suelos en forma de úrea o fosfato diamónico en cantidades variables que oscilan de 150 a 250 partes por hectárea y es fraccionado en dos partes: a la siembra y primer aporque en cultivos alimenticios. En cuanto se refiere a metales pesados, la evaluación resulta muy similar en comparación a la del nitrógeno; es decir, baja vulnerabilidad (V2). A los pesticidas aplicados se les considera como fuente contaminante, cuyos ingredientes activos poseen elementos

considerados contaminantes pesados (Cr, As, Ni, etcétera). La actividad agropecuaria de la zona en estudio no reporta adiciones de materiales tales como residuos sólidos, urbanos, compostados o lodos de depuradora, lo que permite inferir que el grado de contaminación es bajo. Los suelos tienen una gran aptitud natural de retenerlos en el complejo arcillo-húmico (Uribe *et al.*, 2002).

Es relevante la evaluación respecto a los pesticidas. Los alfisoles en ambas cuencas reportan una moderada vulnerabilidad a la contaminación (V3). La explicación radica en la capacidad de residualidad de los compuestos aplicados al suelo que a pesar de tener una CIC media a alta, es un potencial riesgo de contaminación. Los pesticidas hidrófilos, utilizados en su mayor parte, son aquellos que aplicados al suelo tienen una buena movilidad, coadyuvados por la humedad del suelo que en condiciones de secano no es posible controlar. Bajo estas circunstancias, el grado de contaminación es potencialmente de riesgo futuro ya que las aportaciones son cada vez más intensas (Ongley, 1997).

Relevancia del resultado y su aporte a la realidad nacional, regional o local

Los resultados muestran indicios de riesgos de erosión y contaminación que es necesario tener en cuenta para proponer medidas de control que sean eficaces y sostenibles. La situación aún no es preocupante, sin embargo, en el mediano plazo podría constituir un problema ambiental irreversible por el uso continuado de las tierras y la intensificación de la actividad agropecuaria sin considerar el aporte técnico de los profesionales relacionados al agro. No existen estudios realizados en nuestro país en este tema en el que se ha enfatizado la evaluación del riesgo agroambiental en áreas relativamente extensas mediante el uso del software MicroLeis con sus modelos Raizal y Pantanal. En Venezuela, Lugo-Morin (2006), realizó una investigación similar para suelos de las comunidades indígenas de Anzoátegui, demostrando que presentan una degradación agroambiental de moderada a alta para las unidades evaluadas. La utilización de tecnologías de información, incluyendo la ingeniería de datos y conocimientos materializados en los modelos empleados, nos ofrece extraordinarias posibilidades en el desarrollo como en la aplicación de los procedimientos de evaluación de los suelos y ejercen un impacto importante en la toma de decisiones para un uso sostenible de los recursos naturales. La investigación realizada ofrece considerables oportunidades para una mayor cooperación en la investigación interdisciplinaria y en la aplicación de la información y el conocimiento para resolver problemas sobre protección del suelo. La investigación tiene el código 20 y pertenece al eje temático 1: Gestión Integrada de Recursos Hídricos. Los mapas

resultantes de la evaluación agroecológica permitirán enfatizar en la necesidad de evaluar las tierras para su adecuada planificación y propuesta de medidas de mitigación sostenibles.

Conclusiones

- ♦ Con el uso de un sistema de apoyo a la decisión agroecológica (MicroLeis) se evaluó exitosamente el riesgo agroambiental, a partir del análisis de la erosión y agrocontaminación que presentan los suelos de las cuencas alta y baja del Exproyecto Especial Río Cachi en Huamanga, Ayacucho.
- ♦ Los suelos evaluados a partir de los usos agropecuarios: papa, pasto (cuena alta), maíz y trigo (cuena baja) presentaron una vulnerabilidad agroambiental de baja a media.
- ♦ Se recomienda la realización de prácticas de conservación de suelos (agronómicas y mecánicoestructurales). Estas prácticas mejorarán la estabilidad estructural del suelo así como su capacidad de retener la humedad y el flujo interno.

Agradecimientos

Va nuestro agradecimiento a la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, institución con tradición y liderazgo que permite formar futuros profesionales del agro con vocación humanística y tecnológica bajo los preceptos del desarrollo sostenible.

A la Escuela Universitaria de Posgrado de la Universidad Nacional Federico Villarreal, que me ha permitido realizar mis estudios de doctorado en la especialidad de Ingeniería Ambiental.

Al Dr. Walter Gómez Lora, asesor de la tesis, por haberme alentado y brindado su valioso tiempo en la planificación, ejecución y culminación del presente trabajo de investigación.

Referencias

BONNIEUX F., CARPENTIER A. y WEAVER R. (1998). Reducing soil contamination: economic incentives and potential benefits. *Agr. Ecosyst. Environ.* 67, 275-288.

BUOL, S.; HOLE, F. y McCRACKER, R. (1990). *Génesis y clasificación de suelos*. Primera edición. México, D. F.: Editorial Trillas S. A.

CASANOVA, E. (2005). *Introducción a la ciencia del suelo*. Universidad Central de Venezuela. Segunda edición. Venezuela: Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico.

COTLER, H., SOTELO, J., DOMÍNGUEZ, M., ZORRILLA, S., CORTINA, M. y QUIÑONES, L. (2007). La conservación de suelos: un asunto de interés público. *Gaceta Ecológica* 83: 5-71.

DE LA ROSA, D., MAYOL, F., DÍAZ-PEREIRA, E., FERNÁNDEZ, M. y DE LA ROSA, D. JR. (2004). A land evaluation decision support system (MICROLEIS DSS) for agricultural soil protection. *Environmental Modelling & Software*. 19: 929-942. Disponible en: www.microleis.com

FAO. (2011). Adaptación al cambio climático y manejo de riesgos en los andes tropicales. Buenas prácticas sistematizadas en Perú. Encontrado en: www.fao.org/climatechange/68071/es. Visitado el 23 de marzo de 2011.

GLASOD PROJECT, (1990). *Mapa mundial del estado de degradación antropogénica de los suelos*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Centro Internacional de Referencia e Información de Suelos, 1992. Wageningen, Países Bajos: Winand Staring Center.

LUGO-MORIN D. R. (2007). Evaluación del riesgo agroambiental de los suelos de las comunidades indígenas del estado Anzoátegui. *Ecosistemas* 16, 69-79. Venezuela.

ONGLEY O. (1997). *Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos*. Estudio FAO Riego y Drenaje-55. Roma, Italia.

PÁEZ M. y RODRÍGUEZ O. (1989). El riesgo de erosión hídrica como criterio de diagnóstico en la evaluación de tierras. *Alcance* 37, 9-19, Rev. Fac. Agronomía-UCV.

PERRET S., MICHELLON R., BOYER, J. y TASSIN J. (1996). Soil rehabilitation and erosion control through agro-ecological practices on Reunion Island (French Overseas Territory, Indian Ocean). *Agric. Ecosyst. Environ.* 59: 149-157.

URIBE-GÓMEZ S., FRANCISCO-NICOLÁS N. y TURRENT-FERNÁNDEZ A. (2002). Pérdida de suelo y nutrientes en un entisol con prácticas de conservación en los Tuxtlas, Veracruz. *Agrociencia* 36, 161-168. México.