
Diagnóstico ambiental

integrado de la cuenca del río Puyo,
Ecuador

Integrated environmental diagnosis
of the Puyo River basin, Ecuador

Darwin Javier Sucoshañay-Villalba¹

José Evelio Gutiérrez-Hernández²

Alberto Enrique García-Rivero³

¹ Secretaría Nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación–SENESCYT. Quito, Ecuador

² Universidad de La Habana, Facultad de Geografía, La Habana, Cuba

³ Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú

javier.dsv6263@gmail.com; gjoseevelio2@gmail.com; albertoenrique.garcia@unmsm.edu.pe

Sucoshañay-Villalba: <https://orcid.org/0000-0002-7724-1190>

Gutiérrez-Hernández: <https://orcid.org/0000-0003-1446-0385>

García-Rivero: <https://orcid.org/0000-0002-8344-9529>

Resumen

El uso de métodos combinados para el diagnóstico ambiental integrado de cuencas hidrográficas, basado en informaciones básicas e imágenes de satélite, es una alternativa eficiente y rápida, principalmente en cuencas con carencia de información, como las de tipo montañosa. Tal es el caso de la cuenca Puyo de la Amazonía ecuatoriana, dado el interés que genera el aumento creciente en ella de actividades antrópicas no planificadas, y la consiguiente contaminación. La metodología empleada combina métodos de la geoecología de los paisajes, geoquímica de las aguas y erosión hídrica potencial, y se apoya en herramientas SIG, para realizar el diagnóstico ambiental integrado de la cuenca. Los resultados advierten que existen unidades de paisaje catalogadas de altamente alteradas, localizadas en áreas que deben tener especial atención, dado que corresponden a zonas de montaña y con disminución de la calidad de las aguas, debido a la fuerte presión de las actividades antrópicas.

PALABRAS CLAVE: cuencas amazónicas; diagnóstico ambiental; geoecología; geoquímica del agua; erosión potencial.

Abstract

The use of combined methods for the integrated environmental diagnosis of watersheds, based on basic information and satellite images, is an efficient alternative mainly for basins lacking information, such as those of a mountainous. That is the case of Puyo watershed on the Ecuadorian Amazon, given the interest generated by the increase of anthropic activities, including pollution. The methodology combines methods of geoecology of landscapes, chemical compositions of groundwaters and erosion hazard, supported by GIS to perform the integrated environmental diagnosis of the watershed. The results advise that there are highly altered landscape units, located in areas that should have special attention, given that they correspond to mountain areas and with a decline of water quality, due to the strong pressure of anthropic activities.

KEYWORDS: Amazon basins; environmental diagnosis; geoecology; geochemistry of water; potential erosion.

1. Introducción

Para el ordenamiento de las cuencas hidrográficas se requiere de una caracterización y posterior diagnóstico de sus componentes físico-geográficos y socioeconómicos, con el fin de evaluar su estado actual e identificar las principales causas de su deterioro ambiental, tal como ocurre en territorios y cuencas amazónicas, que no registran estudios desde una concepción geográfica, y que requieren de un diagnóstico ambiental integrado como punto de partida. Para Hernández *et al.* (2013), la creación de una línea base es fundamental para establecer el análisis de viabilidad ambiental de la utilización futura del territorio, ante la demanda creciente de uso por los programas y planes sectoriales gubernamentales y la iniciativa privada.

La evidencia de degradación ambiental en la alta amazonia originada por el aprovechamiento de los recursos naturales y la realización de prácticas no sostenibles, en áreas especialmente inadecuadas, está ocasionando una serie de desequilibrios de orden natural, acentuadas por el factor antrópico.

Sucoshañay-Villalba *et al.* (2015a) exponen la evolución de la cobertura de la tierra en la cuenca del río Puyo para el período comprendido entre el 2000 y el 2013, manifestando el crecimiento de las áreas agropecuarias a expensas de las forestales, en un 4% anual, acentuadas en el sector superior de la misma. Así también la disminución de la calidad de las aguas, causada fundamentalmente por las descargas de las aguas albañales directamente a los cuerpos de agua sin previo tratamiento (Sucoshañay-Villalba *et al.*, 2015b).

La carencia de datos en los territorios amazónicos es una limitante al momento de aplicar metodologías que se adapten a las características y condiciones de la región. A partir de ello, el objetivo de la presente investigación fue realizar un diagnóstico ambiental integrado con base en las características de la cuenca del río Puyo, apoyados en imágenes de satélite y un grupo de

informaciones básicas, mediante el empleo de métodos combinados, como una alternativa de análisis integrado y eficiente. Para ello se agruparon varias técnicas de evaluación, como base para el diagnóstico.

En Ecuador, los planes de ordenamiento de los territorios están expuestos en el Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización -COOTAD- (Derecho Ecuador, 2010), en el cual se plantean varios principios que determinan la conservación y protección de los ecosistemas, y se pretende materializar un modelo territorial a largo plazo. Sucoshañay-Villalba (2016) expone que el ordenamiento territorial debe considerar la asignación de usos a la tierra rural, así como la jerarquización de asentamientos, la dotación de infraestructura, la conectividad vial, el apoyo a la producción y el componente Plan de Uso de la Tierra (PLUT) para determinar bosques de producción forestal, de protección o recuperación ecológica, y de conversión a usos agropecuarios, así como tierras para plantaciones forestales, sistemas agroforestales y humedales, entre otros.

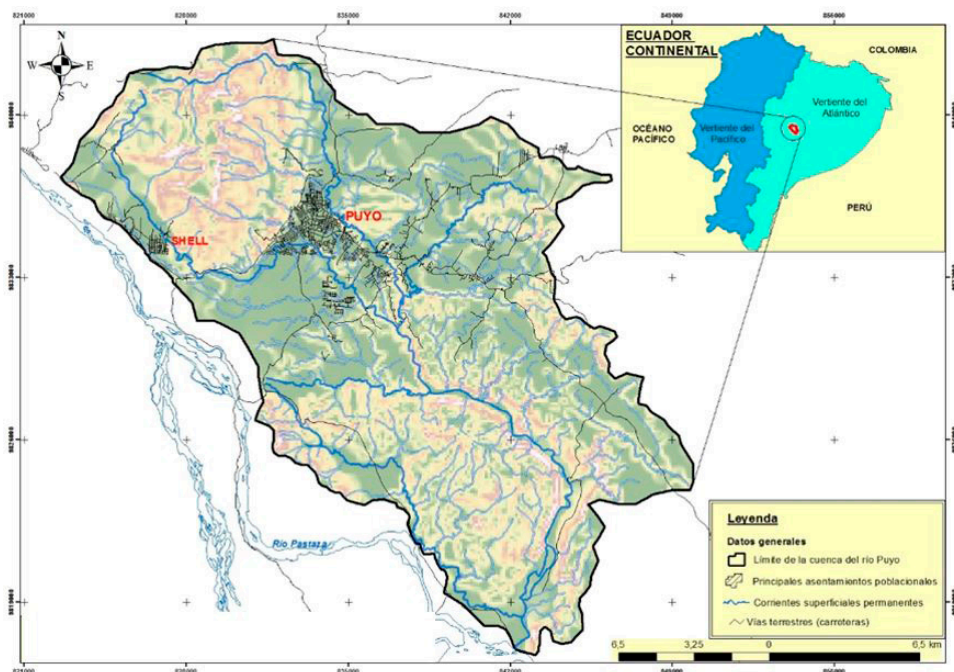
1.1 Área objeto de estudio

La cuenca del río Puyo está localizada en la Amazonia ecuatoriana, en la provincia de Pastaza. Su superficie es de 352 km² aproximadamente (FIGURA 1). La mayoría de los centros poblados son rurales (excepto Puyo, Shell, además de Tarqui y Veracruz, que son cabeceras parroquiales urbanas); en total, la cuenca alberga el 60,4% de la población de la provincia en tan sólo el 1,2% del área de la misma (Sucoshañay-Villalba *et al.*, 2015a).

Geológicamente la cuenca del río Puyo está compuesta por las siguientes formaciones: Formación Mera (Pleistoceno), Formación Arajuno (Mioceno), Formación Napo (Cretáceo) y Formación Tena (Paleoceno-Cretácico). Toda el área está dentro del piedemonte. Se distinguen relieves acolinados, medios (900-1.120 m) y altos (>1.000

FIGURA 1. Localización de la cuenca del río Puyo.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, A PARTIR DE LOS DATOS DEL INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR (2009)



m), con presencia de escarpes muy pronunciados, pendientes mayores de 15° y cimas con pendientes entre $5-10^\circ$, localizados al noroeste, en la formación de la cordillera Oriental de los Andes. También predomina, desde el punto de vista areal, superficies planas con pendientes suaves a media [Instituto Geográfico Militar (IGM), 2009].

Los suelos son del orden Inceptisoles, caracterizados por ser suelos sueltos, limosos, profundos perhúmedos, de fertilidad baja, fuerte susceptibilidad a la erosión, a menudo esterilizados cuando se han dedicado desde largo tiempo al pastoreo directo y permanente (IGM, 2009). La cuenca está compuesta por cinco sistemas hídricos principales: Puyo, Pindo Grande, Sandalias, Chigushimi y Putuimi. De estos cuerpos hídricos se destaca el río Puyo, el cual recorre 44 km aproximadamente hasta su desembocadura en el río Pastaza, sector de Puyopungo, específicamente en la comunidad

indígena Indichuris (Sucoshañay-Villalba *et al.*, 2015b).

Dentro de las principales actividades económicas que se desarrollan en el área, por su extensión, se destaca la agricultura, en la cual se incluye la forestal y piscícola, además de la actividad turística; esta última ha tomado gran auge en los años recientes. La población rural ocupada de la cuenca, y la estructura económica, se caracteriza mayormente por las actividades agrícolas. A partir de entrevistas se obtuvo que el 50% de la población rural son agricultores, el 15% se dedica al libre ejercicio, el 14% realiza otras actividades y menos del 10% son amas de casa, empleados públicos y comerciantes. De acuerdo con la superficie ocupada por los diferentes usos de la tierra, la cuenca está catalogada como un área de cobertura boscosa alta (39%), con predominio de las actividades agropecuarias (42%), distribuidas

espacialmente en los territorios con superficies planas y pendientes suaves.

Las actividades agrícolas son representativas en la cuenca, siendo los principales cultivos de acuerdo a su comercialización: caña de azúcar, naranjilla, plátano, yuca, fibra de palma, papa china (malanga), maíz, además de cítricos, frutales y cacao, entre otros. La actividad pecuaria es de carácter extensivo y dedicada a la producción de carne y leche. El sector forestal cubre las áreas de montaña al noroeste y al sur de la cuenca; la explotación de este recurso aún no está cuantificada por no haber registros y por la explotación ilegal (Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Pastaza, 2014).

Atendiendo a toda esta problemática, la presente investigación ha tenido como objetivo principal, desarrollar un diagnóstico ambiental, con base en la elaboración de las unidades de paisaje y su evaluación integral, tomando en cuenta la calidad de las aguas superficiales, la erosión potencial,

los conflictos de uso del suelo, así como el grado de contaminación y de modificación antrópica.

2. Metodología

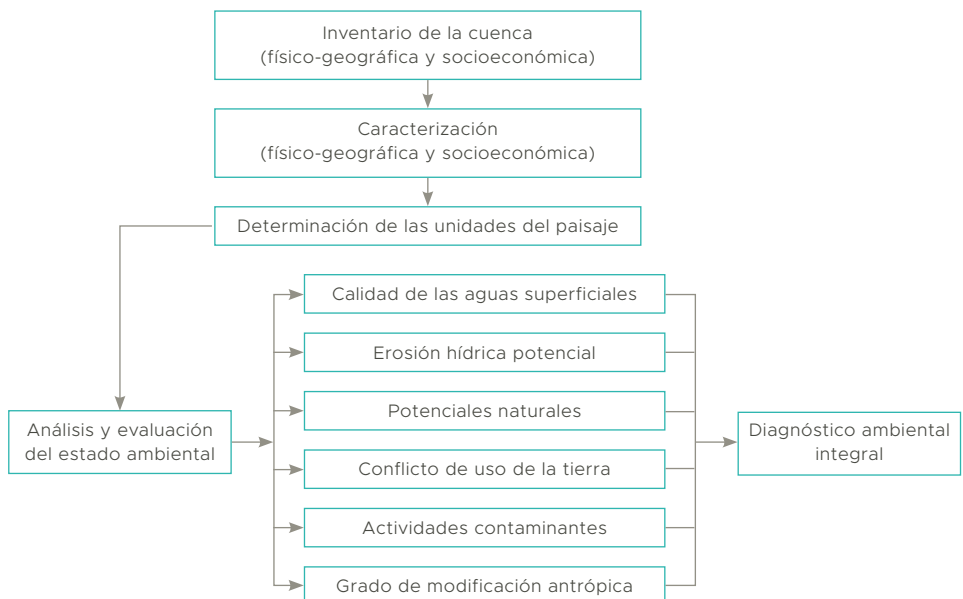
Para realizar este trabajo se empleó un conjunto de métodos que permitieron realizar el diagnóstico ambiental integrado de la cuenca del río Puyo, ajustándose a sus características físico-geográficas y socioeconómicas, así como a sus principales problemas actuales. A continuación, se presenta en la FIGURA 2 el esquema metodológico empleado.

2.1 Determinación de las unidades de paisaje

Para la determinación de las unidades de paisaje se empleó la metodología propuesta por Quintela (1995), y por Salinas *et al.* (2020), con el empleo de las herramientas de los sistemas de información geográfica (SIG), a partir de un levantamiento de los diferentes elementos formadores del paisaje:

FIGURA 2. Esquema metodológico de la investigación.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



relieve, geología, suelo, hidrología y uso de la tierra (FIGURA 3). Para la delimitación, clasificación y cartografía de las unidades de paisaje se empleó la escala de trabajo 1:50.000. En la TABLA 1 se muestran los índices diagnósticos que fueron utilizados para diferenciación de las unidades de primer y segundo orden delimitadas en el área de estudio.

2.2 Análisis y evaluación ambiental

Cada componente ambiental fue analizado y evaluado a partir de métodos particulares; a continuación, se detalla cada uno de ellos.

2.2.1 Calidad de las aguas superficiales

Para la determinación de la calidad de las aguas superficiales se utilizó uno de los índices de calidad de agua (ICA) disponible en la literatura. En el presente estudio se eligió el uso del ICA_{sp}, propuesto por Gutiérrez y García (2014); el cual se ajusta a las características y a la situación ambiental de la cuenca en estudio. Este índice permite evaluar este aspecto, de acuerdo con cinco indicadores físico-químicos y bacteriológicos seleccionados, que propone el método (TABLA 2). En el área se seleccionaron catorce puntos de muestreo, localizados a lo largo de la cuenca.

El cálculo del ICA_{sp}, se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$ICA_{sp} = \sum_1^5 W_i * q_i \quad (1)$$

Donde:

i : indicador de calidad (del 1 al 5)

W_i : peso relativo de cada indicador

q_i : valor en % obtenido de las funciones matemáticas de correlación

En el cálculo de las contribuciones de calidad de cada indicador, así como para el cálculo del propio índice, se usó una hoja Excel con sus especificaciones, con el objetivo de facilitar las evaluaciones. Para la representación cartográfica se usaron cinco categorías de calidad del agua (TABLA 3).

2.2.2 Erosión hídrica potencial (EHP)

Para el cálculo de la EHP se tuvieron en cuenta cuatro factores determinantes: lámina de precipitación, inclinación de la pendiente, porcentaje de cobertura vegetal y tipo de suelo. La evaluación y jerarquización se realizó mediante la técnica del Proceso de Análisis Jerárquico (AHP), propuesto por Saaty (1980), cuyo objetivo va encaminado a escoger la mejor variante entre un conjunto de

FIGURA 3. Generación del mapa de unidades de paisaje.

FUENTE: MODIFICADO A PARTIR DE QUINTELA (1995); SALINAS *et al.* (2020)

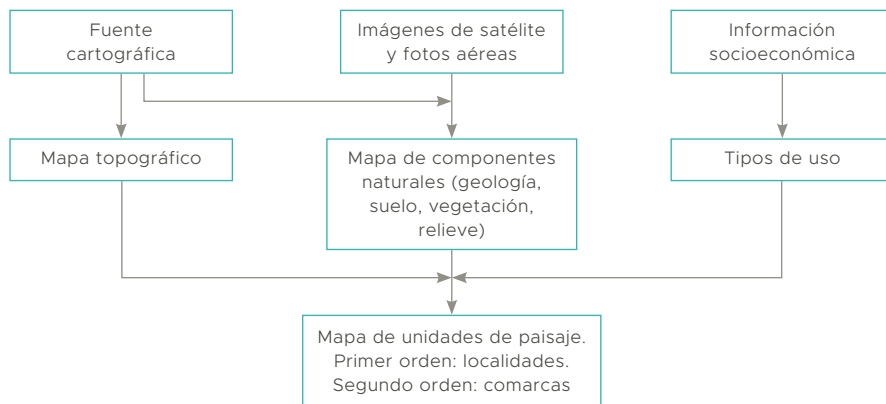


TABLA 1. Índices diagnósticos para la elaboración del mapa de paisaje.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Categoría	Denominación	Índices diagnósticos
Primer orden	Localidades	Asociación de determinadas mesoformas del relieve, la constitución geológica y el comportamiento de la altimetría y la disección vertical
Segundo orden	Comarcas	Diferenciación en cuanto a la inclinación de las pendientes


TABLA 2. Indicadores y pesos relativos para el cálculo del ICA_sp.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, A PARTIR DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA POR GUTIÉRREZ Y GARCÍA (2014)

No.	Indicador	Descripción	Pesos relativos (W _i)
1	pH (pH).	Acidez o basicidad	0,10
2	Conductividad eléctrica (CE)	Contenido de sales solubles o salinidad	0,10
3	Oxígeno disuelto % saturación (ODSAT)	Estado del cuerpo de agua con respecto a su contenido de oxígeno disuelto	0,30
4	Demanda química de oxígeno, método del dicromato (DQO)	Materia orgánica presente	0,25
5	Coliformes fecales (CF)	Densidad de bacterias fecales	0,25

TABLA 3. Clasificación de las aguas superficiales de acuerdo al ICA_sp.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, A PARTIR DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA POR GUTIÉRREZ Y GARCÍA (2014)

Clase	Rango de valores del ICA_sp	Clasificación	Colores
1	90,00 – 100	Excelente calidad	
2	89,99 – 80	Aceptable calidad	
3	79,99 – 70	Medianamente contaminada	
4	69,99 – 60	Contaminada	
5	Menor a 59,99	Altamente contaminada	

soluciones o alternativas posibles, generadas por un panel de expertos, bien ordenándolas de mayor a menor en función de una serie de criterios, o bien ponderándolas en función de esos criterios. La herramienta de trabajo empleada para esta ponderación fue el módulo AHP del QGIS versión 10.2.1, que comprendió las siguientes etapas:

- Selección de la información primaria: mapas de precipitación, inclinación de la pendiente, tipos de suelos y uso de la tierra.
- Reclasificación de los valores de cada uno de estos cuatro mapas en el rango de 1 a 10, tomando como referencia que la ocurrencia de un fenómeno o impacto negativo tomaría el mayor en esta escala del 1 al 10.
- Ponderación de los componentes naturales, dictaminando su nivel de importancia para la ocurrencia del fenómeno.
- Elaboración de un mapa de erosión hídrica potencial de la cuenca.

Para el cálculo de la erosión hídrica potencial se diseñó y aplicó el siguiente modelo, que consiste en la suma lineal ponderada de los factores anteriormente definidos:

$$EHP = aP + bPd + cUt + dTs \quad (2)$$

Donde:

EHP: Erosión hídrica potencial. *P*: Precipitación. *Pd*: Pendiente. *Ut*: Uso de la tierra. *Ts*: Tipo de suelo. *a*, *b*, *c*, *d*: Coeficientes de ponderación por atributos.

2.2.3 Usos potenciales naturales

La determinación de los diferentes usos potenciales de acuerdo a las características naturales del territorio, se realizó mediante el análisis multicriterio, que comprende una serie de métodos como ayuda a la toma de decisiones, explicado anteriormente en el epígrafe de erosión hídrica potencial. Se tuvieron en cuenta las siguientes variables para determinar cada uso potencial:

- **Uso potencial agropecuario:** permite realizar actividades agrícolas y pecuarias en el espacio. Para la evaluación de este potencial se tuvo en cuenta la aptitud agropecuaria de los suelos, la pendiente del terreno y la altimetría.
- **Uso potencial hídrico:** Para su evaluación se tomaron en consideración las corrientes hídricas superficiales, su distribución por la cuenca y la pluviosidad. Dados los altos niveles de precipitación existentes en el territorio estudiado, se consideró todo el territorio con un alto potencial.
- **Uso potencial forestal:** Para la evaluación de este potencial se tomaron en cuenta los factores: pendiente del terreno, tipo de suelo, altimetría y uso de la tierra.
- **Uso potencial de conservación:** Se tiene en cuenta las áreas protegidas existentes y los recursos que por su interés ameriten ser conservados. Para la evaluación de este potencial se tomaron en cuenta los factores: uso de la

tierra, pendiente, áreas declaradas para la protección y fajas hidroreguladoras de los ríos.

2.2.4 Conflictos de uso de la tierra

Los diferentes conflictos de uso de la tierra se determinaron comparando el uso actual y el uso potencial. El análisis de la relación uso actual-uso potencial se realizó para cada una de las unidades de paisaje. Así fueron determinados los casos en los que el uso actual (U) es mayor o menor que el uso potencial (capacidad de soporte de los paisajes) (P) y los casos en que el uso actual está de acuerdo con las posibilidades reales de las unidades de paisajes de acuerdo a su uso potencial, quedando definidas las categorías siguientes:

- **Paisajes subutilizados (U<P):** aquellas subunidades que teniendo un elevado potencial para un determinado uso, son utilizados para otros con menor potencial.
- **Paisajes optimizados (U=P):** aquellos paisajes donde el uso está en correspondencia con su potencial natural; es decir, hay coincidencia entre el uso actual y el potencial.
- **Paisajes sobreexplotados (U>P):** aquellos que, aunque con un potencial bajo para un uso determinado, el uso al cual se destinan atenta contra la conservación y sostenibilidad del territorio.

2.2.5 Actividades contaminantes

Estas fueron evaluadas a partir de la zonificación de las actividades socioeconómicas, que están localizadas en los principales centros poblados y de producción. Se estableció un sistema de puntuación para evaluar el grado la contaminación existente en la cuenca con base a tres escalas de medida (alto, medio y bajo). Para identificarlas y georreferenciarlas, se utilizaron las herramientas de información geográfica ArcGIS 10.5 (licencia académica del Laboratorio de Geomática de la Escuela Profesional de Geografía de la Universidad

Nacional Mayor de San Marcos), con apoyo de las cartas topográficas 1:50.000 del Instituto Geográfico Militar del Ecuador, imágenes satelitales del Landsat 8 (12 m de resolución) y del Sentinel 2 (10 m de resolución), de la información anexa proporcionada por los gobiernos parroquiales y por la información de georreferenciación de campo, a partir del uso de un GPS *Garmin*, modelo *Oregon 750t*, teniendo un error máximo tolerable de 10 m en la ubicación de las fuentes puntuales.

2.2.6 Grado de modificación antrópica

Está asociado a las actividades como el cambio de uso de la tierra, la deforestación para la instalación de actividades pecuarias y agrícolas, así como asentamientos y otros fines; además con focos contaminantes puntuales como, por ejemplo, instalaciones de lavadoras de vehículos, estaciones de servicios de hidrocarburos y otros vertimientos de aguas residuales sin previo tratamiento, que atenten contra la estabilidad y el equilibrio de los componentes del ambiente.

Para su evaluación se tuvo en cuenta la información del uso de la tierra de la cuenca, las áreas pobladas, vías de comunicación, centros productivos y de servicio, balnearios y las canteras. Mediante la superposición de información se determinó el uso y la incidencia en cada unidad de paisaje, sobre la base de tres categorías de evaluación (alta, media y baja). La información fue procesada con las herramientas de ArcGIS 10.5.

2.3 Diagnóstico ambiental integrado

Con base en las unidades de paisaje establecidas en la cuenca, se procedió a evaluar el grado de modificación de cada componente ambiental en bajo, medio, alto y muy alto. Se asignó un valor de 1 a 5, posteriormente, y mediante una suma lineal, se calculó una puntuación total por unidades, la cual se categoriza, según la clasificación de Mateo (2011) y Domínguez (2003), en los siguientes tipos:

- **Paisajes compensados:** aquellos con un grado bajo de modificación antrópica, actividades contaminantes, erosión hídrica potencial y, además, una excelente calidad de agua. Los usos actuales no están en conflicto con los potenciales determinados.
- **Paisajes medianamente compensados:** tienen un grado medio de modificación antrópica, actividades contaminantes, erosión hídrica potencial y aceptable calidad del agua. Los usos actuales tienen un conflicto bajo, con respecto a los potenciales que tiene la cuenca.
- **Paisajes alterados:** poseen un grado alto de modificación antrópica, actividades contaminantes, erosión hídrica potencial, aguas medianamente contaminadas y un conflicto de uso intermedio.
- **Paisajes muy alterados:** aquellos con un grado alto a muy alto de modificación antrópica, actividades contaminantes, erosión hídrica potencial, aguas contaminadas y un alto conflicto de uso.

3. Resultados

3.1 Unidades de paisaje

De acuerdo a los índices diagnósticos (TABLA 1), la cuenca quedó dividida en tres unidades de paisaje de primer orden (localidades) y diez de segundo orden (comarcas), que se presentan a continuación (FIGURA 4).

La unidad de primer orden I (Unidad I), representa el 54% de superficie de la cuenca y la componen los sectores localizados entre los 800-1.120 m, en la que predominan pendientes suaves (0-3°) con pequeñas ondulaciones. En esta unidad se concentran las principales áreas dedicadas a la producción agrícola y pecuaria. Sus suelos son sueltos, limosos, profundos húmedos, de fertilidad baja y fuerte susceptibilidad a la erosión. Las áreas cubiertas por bosque en esta unidad

representan el 41% del total de la cuenca. Está compuesta por dos subunidades: cauces y valles de río, entre 900-1.120 m, con pendientes suaves (I1) y superficies planas, entre los 800-1.200 m, con pendientes suaves (I2), (FIGURA 4).

La unidad de primer orden II (Unidad II), representa el 28% de la superficie de la cuenca y comprende las áreas localizadas entre los 900-1.120 m, con pendientes entre 5-10°. En esta unidad, el 62% de la superficie corresponde al área de bosque natural menos antropizado.

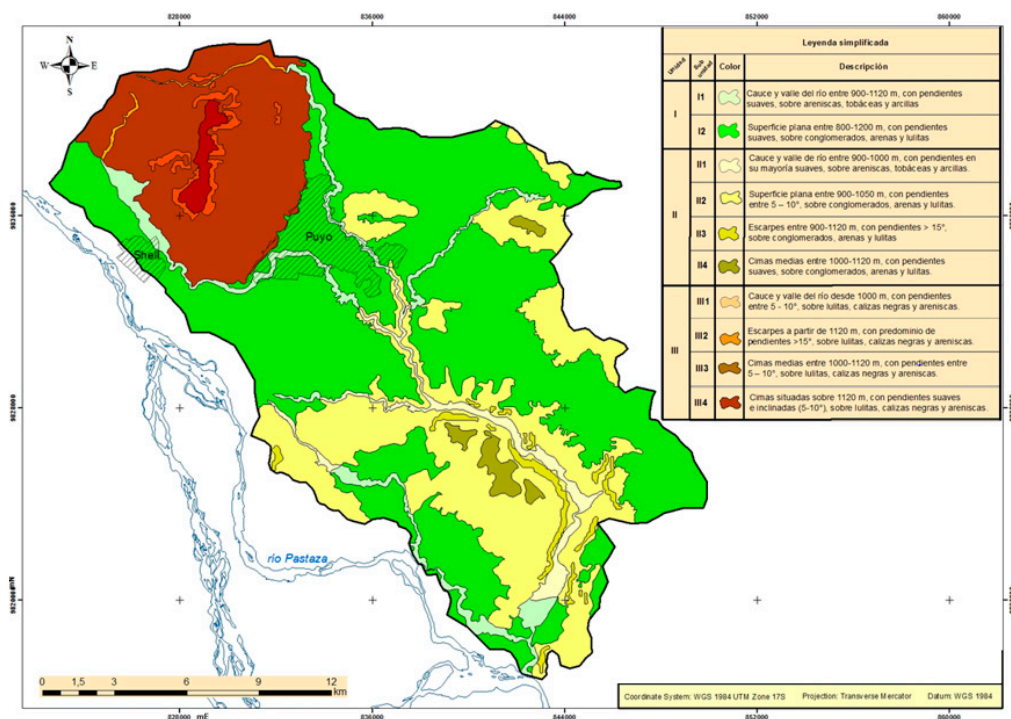
Los suelos se caracterizan por ser sueltos, limosos, profundos perhúmedos, de fertilidad baja y fuerte susceptibilidad a la erosión. Esta unidad está compuesta por las subunidades de cauce y valle de río entre 900-1.000 m, con pendientes en su mayoría suaves (II1); superficies planas entre 900-1.050 m, con pendientes entre 5-10° (II2);

escarpes entre los 900-1.120 m, con pendientes mayores a 15° (II3), y por cimas medias, localizadas entre 1.000-1.120 m, con pendientes suaves (II4), (FIGURA 4).

La unidad de primer orden III (Unidad III), ocupa el 18% del área de la cuenca; se localiza al norte, en las estribaciones de la cordillera Oriental, entre los 1.000-1.480 m, con pendientes entre 5-10°, y en menor medida pendientes mayores a 15°. En esta unidad nacen los principales sistemas hídricos, los ríos Puyo y Pindo Grande. El uso de la tierra está dividido en áreas agropecuarias y forestales. Los suelos son desarrollados, profundos, ricos en materia orgánica en los primeros 30 cm; su perfil con alto desarrollo pedológico y alta retención de humedad. Esta unidad está compuesta por las subunidades de cauce y valle del río, localizados desde los 1.000 m, con pen-

FIGURA 4. Mapa de unidades de paisaje.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



dientes entre 5-10° (III1); escarpes a partir de los 1.120 m, con pendientes mayores a los 15° (III2); cimas medias localizadas entre los 100-1.120 m, con predominio de pendientes entre 5-10° (III3) y cimas situadas sobre los 1.120 m, con pendientes suaves e inclinadas entre 5-10° (III4), (FIGURA 4).

3.2 Resultados del análisis y evaluación ambiental

A continuación, se presentan los resultados de los diferentes aspectos que fueron tenidos en cuenta a la hora de realizar la evaluación ambiental del territorio.

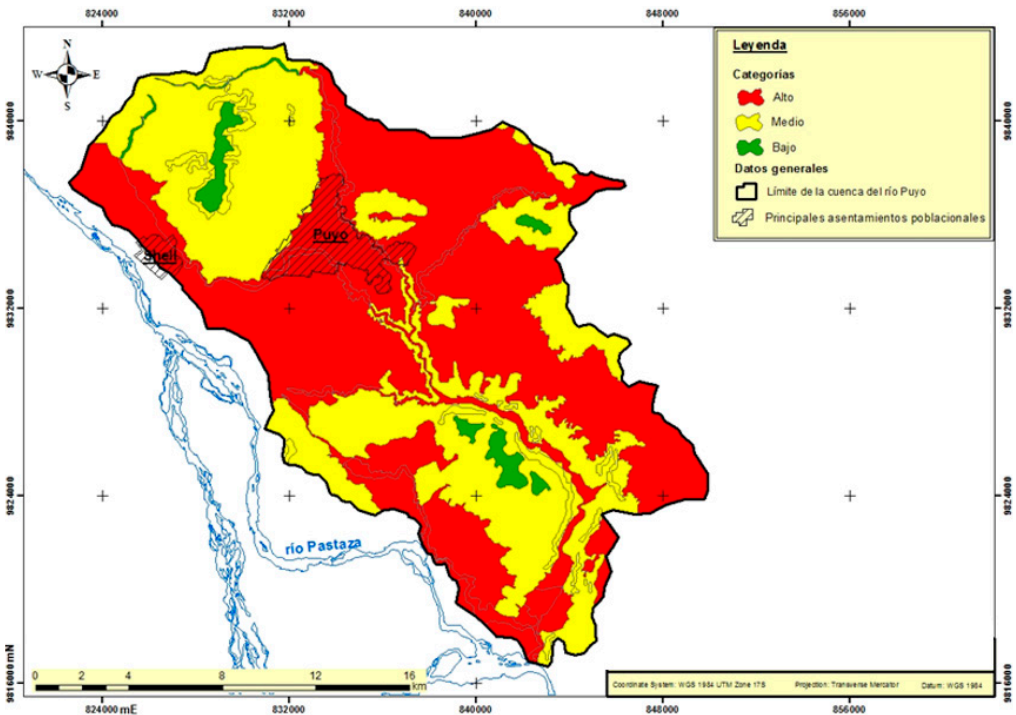
3.2.1 Resultados de la calidad de las aguas superficiales

Como resultado del cálculo del ICA_{sp} en los catorce puntos de muestreo (FIGURA 5), ocho puntos

clasifican como medianamente contaminados: Dique de Fátima (P4), La Isla (P5), Estadio (P6), Cotococho (P10), Indichuris (P11), San Jacinto (P7), Putuimi II (P13) y Putuimi III (P14) -la mayor parte localizados en la corriente principal (río Puyo); tres puntos tienen una aceptable calidad: Colonia 24 de mayo (P1), Pindo Mirador (P2) y Dique de Veracruz (P8); dos de los cuales están ubicados en la parte alta de la cuenca (P1 y P2); dos puntos se catalogan como contaminados, localizados en el río Pindo Grande (Dique de Shell, P3) y río Sandalias (río Sandalias, P9), que requieren de un estudio especial, particularmente el punto en el balneario de Shell (río Pindo Grande), ya que es uno de los sitios turísticos más concurridos por la población local y nacional; y un último punto se clasifica de excelente calidad, que se encuentra en el río Putuimi (Putuimi I, P12), en su nacimiento.

FIGURA 5. Mapa de calidad de las aguas superficiales de la cuenca.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



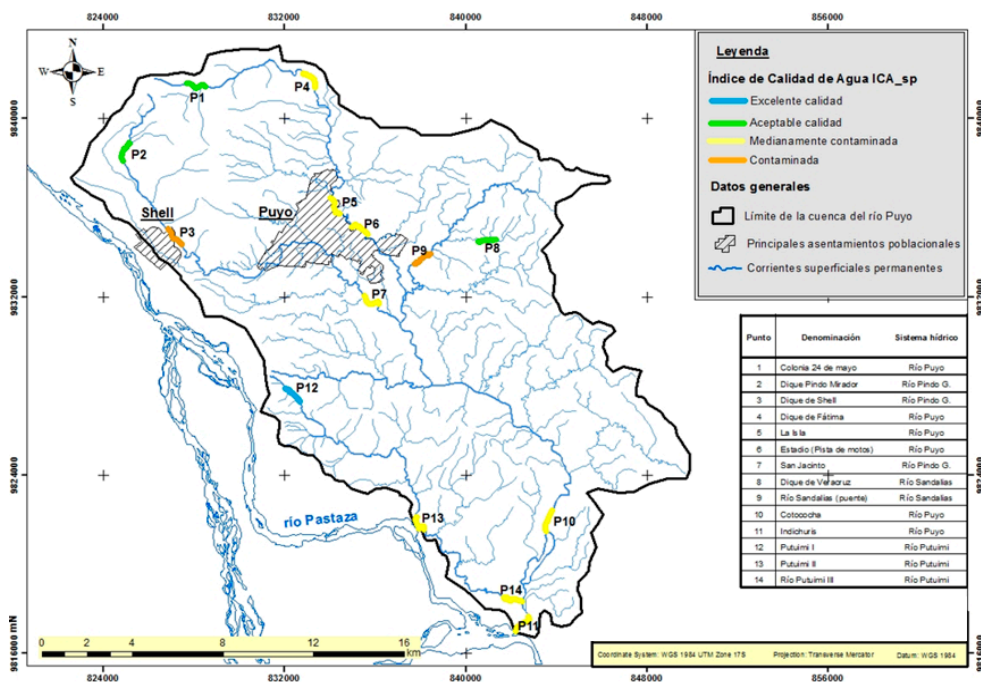
3.2.2 Resultados de la erosión hídrica potencial

En la FIGURA 6 están representada las diferentes categorías de la EHP. La categoría muy alta, corresponde a los sitios de la Unidad III: Escarpes a partir de los 1.120 m, donde predominan pendientes mayores a los 15° (III2), que corresponden al lugar con mayor altitud y valores de pluviosidad (>5.200 mm anual). Así también en los escarpes entre los 900-1.120 m, con pendientes mayores a 15° (II3). La categoría alta, se localiza en las áreas por encima de los 900 m y con pendientes mayores a 5°, correspondientes en su mayoría a las Unidades II y III. Entre ellas aparecen: superficie plana entre 900-1.050 m, con pequeñas ondulaciones (II2); cimas medias localizadas entre los 1.000-1.120 m, con pendientes entre 5-10° (III3); y cimas situadas sobre los 1.120 m, con pendientes suaves e inclinadas (III4).

La categoría media se localiza en gran parte del área de estudio, especialmente en la Unidad III -sector superior de la cuenca- y zona de nacimiento de la mayoría de las más importantes corrientes fluviales. Las subunidades que presentan esta categoría son: cauce y valle del río entre 900-1.120 m, con pendientes suaves (I1); superficie plana entre los 800-1.200 m con pendientes suaves (I2); cauce y valle de río entre 900-1.000 m, con pendientes en su mayoría suaves (II1); superficie plana entre 900-1.050 m, con pequeñas ondulaciones, con pendientes entre 5-10° (II2); cimas medias localizadas entre 1.000-1.120 m, con pendientes suaves (II4); cimas medias localizadas entre los 1.000-1.120 m, pendientes entre 5-10° (III3); y cimas situadas sobre los 1.120 m, con pendientes suaves e inclinadas (III4), mientras que la categoría baja son áreas menos susceptibles a la ocurrencia de erosión. La Unidad I ocupa mayormente esta

FIGURA 6. Mapa de erosión hídrica potencial de la cuenca.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



categoría, y se desarrolla en superficies planas con pendientes bajas. Las subunidades presentes son: superficie plana entre los 800-1.200 m, con pendientes suaves (I2); superficie plana entre 900-1.050 m, con pequeñas ondulaciones, con pendientes entre 5-10° (II2); y cimas medias localizadas entre los 1.000-1.120 m, con pendientes entre 5-10° (III3), (FIGURA 6).

3.2.3 Resultados de la determinación de los usos potenciales naturales

En la TABLA 4 se resumen el comportamiento de los diferentes usos potenciales según las unidades de paisaje reconocidas en la cuenca.

En sentido general, dadas las características de las unidades de estudio, localizadas en un área de montaña de la faja ecuatorial, donde tiene lugar una de las pluviosidades más elevadas del mundo (lluvia media anual del área de estudio está entre los 4.500 y 5.200 mm, con un promedio anual de 4.850 mm), el uso potencial forestal, el de conservación y el hídrico constituyen, sea como

uso potencial principal, o como secundario, los predominantes.

El uso potencial forestal se considera como principal en las subunidades: superficie plana entre los 800-1.200 m, con pendientes suaves (I2); superficie plana entre 900-1.050 m, con pequeñas ondulaciones (II2); escarpes entre los 900-1.120 m, con pendientes mayores a 15° (II3) y cimas medias localizadas entre 1.000-1.120 m, con pendientes suaves (II4). En el caso de la Unidad III, las cuatro subunidades que la conforman presentan el uso potencial forestal como secundario, según se puede apreciar en la TABLA 4.

Por otra parte, el uso potencial de conservación tiene alta relevancia como potencial principal en tres subunidades de la Unidad III, los escarpes localizados a partir de los 1.120 m, en donde predominan pendientes mayores a los 15° (III2); las cimas medias localizadas entre los 1.000-1.120 m, con pendientes entre 5-10° (III3). Y por último, las cimas situadas sobre los 1.120 m, con pendientes suaves e inclinadas (III4). Además, este uso po-

TABLA 4. Comportamiento del uso potencial natural, uso actual y conflicto de uso de las unidades de paisaje de la cuenca.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Unidad (localidad)	Subunidad (comarca)	Uso Potencial Principal (P)	Uso Potencial secundario (PS)	Uso actual (U)	Relación U/P	Conflicto de uso
I	I1	Ph	Pc	A/F	U>P	Alto
	I2	Pf	Pa	A/F	U=P	Bajo
II	II1	Ph	Pc	F/A	U=P	Bajo
	II2	Pf	Pc	F	U=P	Bajo
	II3	Pf	Pc	A	U>P	Alto
	II4	Pf	Pc	F	U=P	Bajo
III	III1	Ph	Pf	F	U=P	Bajo
	III2	Pc	Pf	F/A	U=P	Bajo
	III3	Pc	Pf	A/F	U>P	Alto
	III4	Pc	Pf	F	U=P	Bajo

Ph: Uso potencial hídrico / Pf: Uso potencial forestal / Pc: Uso potencial de conservación
Pa: Uso potencial agropecuario / A: Agropecuario / F: Forestal

tencial aparece como secundario en la subunidad I1 y en las cuatro subunidades que conforman la Unidad II.

En cuanto al uso potencial hídrico, en el rol de potencial principal se localiza siempre asociado al cauce y valle del río en los tres sectores de la cuenca, representado por las subunidades I1, II1 y III1.

Por último, el uso potencial agropecuario como secundario está localizado en la unidad superficie plana entre los 800-1.200 m, con pendientes suaves (I2).

3.3 Conflicto de uso de la tierra

Al evaluar los conflictos de uso es posible reconocer tres subunidades donde los usos potenciales naturales principales y secundarios son o bien el forestal o el de protección y, sin embargo, el uso actual es mayoritariamente agropecuario, lo cual constituye una sobre explotación. Estas unidades son las siguientes: cauce y valle del río entre 900-1.120 m, con pendientes suaves (I1); escarpes entre los 900-1.120 m, con pendientes mayores a 15° (II3); y cimas medias localizadas entre los 1.000-1.120 m, con pendientes entre 5-10° (III3), (TABLA 4).

3.4 Actividades contaminantes

Indudablemente, la contaminación tiene una relación muy estrecha con el nivel de antropización y el manejo de los residuales y residuos dentro del área estudiada. Las subunidades con alto grado de actividades contaminantes son cauce y valle del río entre 900-1.120 m, con pendientes suaves (I1); superficie plana entre los 800-1.200 m, con pendientes suaves (I2); y cauce y valle de río entre 900-1.000 m, con pendientes en su mayoría suaves (II1). En estas tres unidades se ubican los principales asentamientos poblacionales y centros productivos y de servicios que representan las principales fuentes de contaminación.

3.5 Grado de modificación antrópica

Las subunidades que presentan alta modificación ocasionada por actividad antrópica son: cauce y valle del río entre 900-1.120 m, con pendientes suaves (I1); superficie plana entre los 800-1.200 m, con pendientes suaves (I2); y cauce y valle de río entre 900-1.000 m, con pendientes en su mayoría suaves (II1). En estas subunidades se concentra la mayor parte de la población, especialmente en la subunidad I2, en la cual la modificación que ha sufrido el área está determinada por un fuerte cambio de uso de suelo (FIGURA 7).

3.6 Diagnóstico integral ambiental de la cuenca del río Puyo

La conjugación de la calidad del agua, la erosión hídrica potencial, el conflicto de uso, las actividades contaminantes y el grado de modificación antrópica, permitió elaborar el mapa de diagnóstico de las unidades de paisaje de la cuenca del río Puyo (FIGURA 8 y TABLA 5), estableciendo el estado de cada una de las subunidades de paisajes en función de su grado de alteración en: compensadas, medianamente compensadas, alteradas y muy alteradas.

Las subunidades compensadas II4 y III4 corresponden a los sectores más altos de cada unidad, donde la actividad antrópica no tiene gran peso y los peligros que poseen estos sectores tienen mayor influencia natural, por sus características topográficas, como la erosión hídrica potencial. Las consideradas medianamente compensadas III1 y III2 corresponden a la Unidad III (cordillera Oriental), las cuales cumplen un papel importante dentro de la cuenca de estudio, ya que son los centros de protección y conservación del nacimiento de las corrientes superficiales, los que en la actualidad muestran problemas por la incidencia antrópica, por su localización y por constituir el área de mayor altitud (FIGURA 8).

FIGURA 7. Mapa del grado de modificación antrópica de la cuenca.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

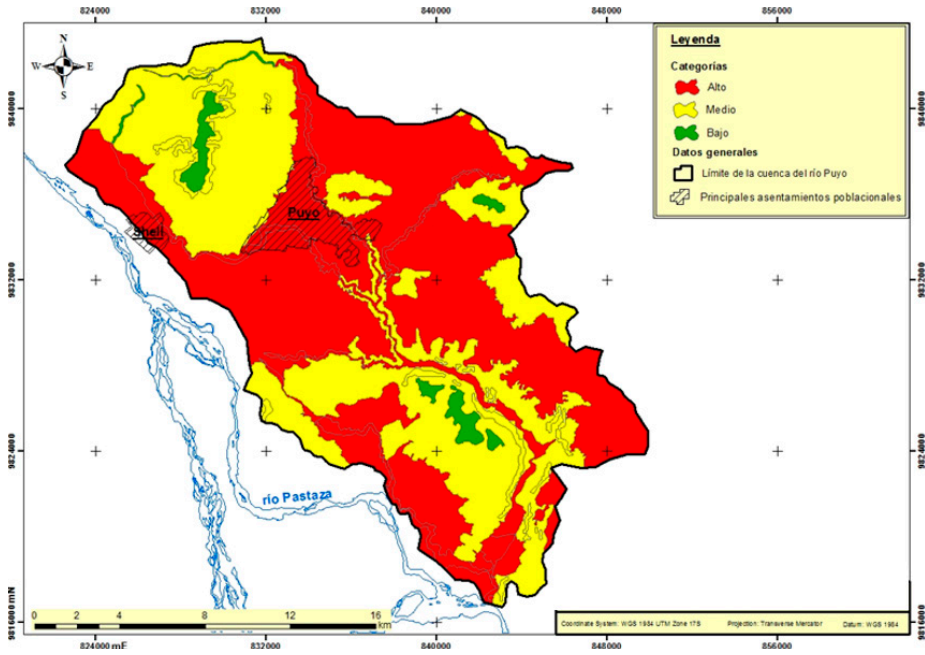


FIGURA 8. Diagnóstico ambiental integral de la cuenca.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

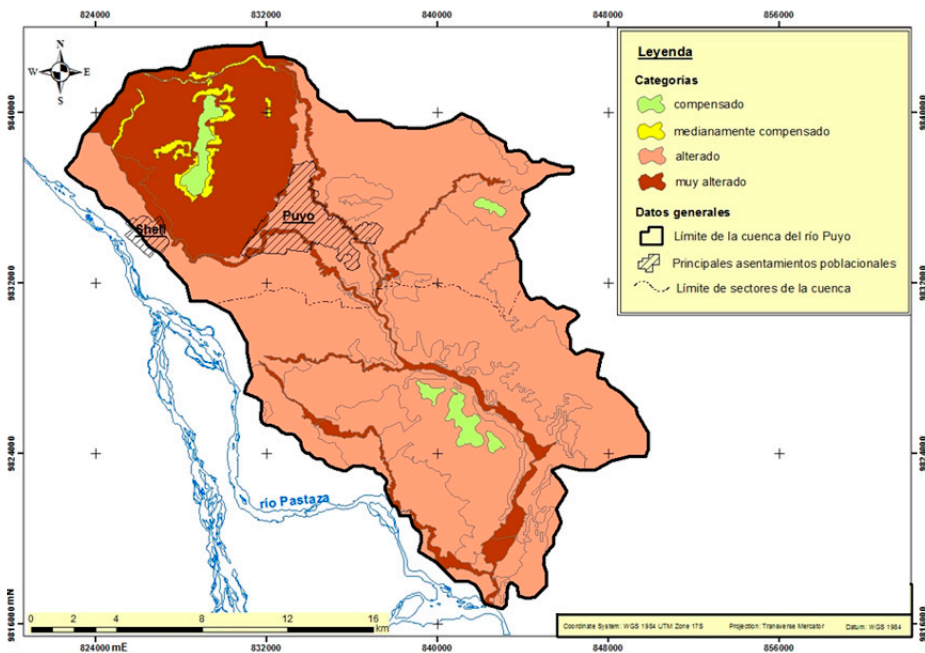


TABLA 5. Diagnóstico integral ambiental por unidad de paisaje.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Unidad (localidad)	Subunidad (comarca)	Calidad de las aguas superficiales	Erosión hídrica potencial	Conflicto de uso de la tierra	Actividades contaminantes	Grado de modificación antrópica	Estado de la unidad de paisaje
I	I1	Muy alta	Bajo	Alto	Alto	Alto	muy alterada
	I2	Muy alta	Bajo	Bajo	Alto	Alto	alterada
II	II1	Alta	Medio	Bajo	Alto	Alto	muy alterada
	II2	Media	Alto	Bajo	Medio	Medio	alterada
	II3	Baja	Muy alto	Alto	Bajo	Medio	alterada
	II4	Baja	Medio	Bajo	Bajo	Bajo	compensadas
III	III1	Media	Medio	Bajo	Medio	Bajo	medianamente compensada
	III2	Baja	Muy alto	Bajo	Bajo	Medio	medianamente compensada
	III3	Media	Alto	Alto	Medio	Medio	muy alterada
	III4	Baja	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	compensada

Las subunidades alteradas son I2, II2 y II3. Se caracterizan por albergar la mayor población de la cuenca y superficie dedicada a las actividades agropecuarias. La localización de las industrias o microindustrias y la disposición de los residuales afectan este sector, y constituyen focos de contaminación, que influyen en la estabilidad y concentran los impactos negativos en este sector de la cuenca (FIGURA 8). Las subunidades muy alteradas son I1, II1 y III3. Uno de los principales problemas de carácter ambiental dentro del área de estudio está vinculado con las aguas, especialmente el deterioro de su calidad, dado el vertimiento directo de los residuales líquidos hacia los cuerpos de agua sin previo tratamiento, que alteran las condiciones de calidad y estabilidad de los recursos hídricos.

En los sectores localizados en el área de influencia directa de las ciudades, se acrecienta más este fenómeno. Además, la subunidad III3, que corresponde a la zona de montaña, donde se han incrementado las superficies deforestadas en los últimos años para dedicarlas a actividades agropecuarias, y por el crecimiento de los centros poblados (Puyo y Shell), apuntan a modificar su

estructura y con ello alterar las condiciones naturales existentes (FIGURA 8).

4. Discusión

El enfoque de estudios del estado del medio ambiente en cuencas fluviales, a partir de las unidades de paisaje, ha tenido importantes resultados a nivel internacional (Salinas *et al.*, 2020 y García-Rivero *et al.*, 2019); sin embargo, en Ecuador ha sido muy limitado, destacando Custode y Sourdat (1986) con su estudio donde describe los paisajes de la Amazonía y su relación con los suelos amazónicos ecuatorianos a escala.

En el presente estudio se ha partido de la identificación y uso de las unidades de paisajes, como unidades básicas para el diagnóstico de las condiciones ambiental y su posterior uso para los planes de gestión ambiental.

En los últimos tiempos se evidencia la potencialidad del algebra de mapa en el cálculo de la erosión de los suelos como indicador del peligro de erosión, similares al que se ha aplicado en el presente estudio. Otros autores como González *et*

al. (2019), han obtenido buenos resultados en esta dirección con vista el ordenamiento agropecuario. Por otra parte, Bravo *et al.* (2017: 261), en un estudio en el Centro-Norte de la Amazonía ecuatoriana concluyeron que...*“la combinación de factores de suelo, sistemas de manejos, condiciones climáticas de las zonas de abundantes precipitaciones y alta intensidad, con un paisaje agrícola de topografía irregular y altas pendientes hace que se magnifiquen los problemas de pérdidas de suelo”*.

Si bien en el área de estudio aún la erosión actual no constituye un problema de consideración, el alto nivel de precipitación en toda la cuenca y los nuevos usos y prácticas agrícolas, unidos al incremento de la explotación forestal no formalizada, pueden intensificar este proceso, fundamentalmente en las subunidades de paisaje con un mayor grado de inclinación de las pendiente y/o un pobre nivel de cobertura del suelo, de ahí la importancia de contar con la información de la erosión potencial a nivel de cuenca.

El crecimiento de los asentamientos rurales, la explotación turística de áreas vinculadas al cauce del río Puyo y el desarrollo de nuevas actividades productivas y de servicio, están incidiendo en la degradación de la calidad de las aguas del río Puyo, lo cual se corresponde con la afirmado por Reyes *et al.* (2014) cuando plantean que gran parte de la cuenca de Puyo, se corresponde con un territorio poco intervenido, donde se conserva la diversidad natural y cultural, y desde las dos últimas dos décadas se ha promovido un acelerado crecimiento y desarrollo turístico.

Si bien en el 2018 el Ecuador presentó su Plan de Desarrollo Turístico Nacional, la mayoría de los destinos emergentes como los ubicados en la cuenca del Puyo, no cuentan con un Plan Estratégico de Desarrollo Turístico, lo cual puede representar

un obstáculo para el logro de un turismo sostenible en armonía con el resto de las actividades socio-productivas de la región.

Coincidiendo con la forma de abordar los problemas ambientales originados por las actividades antrópicas en el presente estudio, Bravo *et al.* (2017), se refieren a la necesidad de que a nivel comunitario, hay que coordinar los enfoques de planificación territorial, promoviendo la transición hacia prácticas agrícolas más sostenibles, productivas y sin deforestación, a partir de fomentar el manejo forestal sostenible, la conservación y restauración en áreas forestadas.

5. Conclusiones

- Los principales problemas ambientales de la cuenca tienen naturaleza antrópica, dado esencialmente por las actividades productivas, el crecimiento de los asentamientos poblacionales y la generación de residuales, sólidos y líquidos, carentes de tratamiento antes de su disposición y de un adecuado manejo.
- Si bien la erosión de los suelos no presenta aún un impacto significativo, la creciente deforestación combinada con la alta pluviosidad en la cuenca, constituye un peligro potencial, lo cual se refleja en los resultados del cálculo de la erosión hídrica potencial, con más de un 70% del área con categoría de media, alta o muy alta.
- El sector de la cuenca más antropizado y que presenta mayores problemas ambientales está localizado en la parte superior de la misma, en el cual se concentran las áreas más densamente pobladas y con una actividad inadecuada en sus diferentes esferas productivas.

6. Referencias citadas

- BRAVO, C.; TORRES, B.; ALEMÁN, R.; MARÍN, H.; DURAZNO, G.; NAVARRETE, H.; TUNIESKY, E. y A. TAPIA. 2017. "Indicadores morfológicos y estructurales de calidad y potencial de erosión del suelo bajo diferentes usos de la tierra en la Amazonía ecuatoriana". *An. geogr. Univ. Complut.*, 37(2): 247-26.
- CUSTODE, E. y M. SOURDAT. 1986. "Paisajes y suelos de la Amazonía ecuatoriana: entre la conservación y la explotación". *Revista del Banco Central del Ecuador*, 24: 325-339.
- DERECHO ECUADOR. 2010. *Ley Orgánica de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización*. Registro Oficial No. 303. Quito, martes 19 de octubre de 2010.
- DOMÍNGUEZ, A. 2003. *Los paisajes de la provincia Sancti Spíritus, Cuba, su uso y conservación*. Facultad de Geografía. Universidad de La Habana. La Habana, Cuba. Tesis de Doctorado.
- GARCÍA-RIVERO, A. E.; MIRAVET, B. L.; SALINAS, E. y A. Z. DOMINGUEZ. 2019. "A cartografia das paisagens com sistemas de informação geográfica como base para o diagnóstico geoecológico da bacia hidrográfica do rio Ariguanabo (Cuba)", *Revista da ANPEGE*, 15(27): 169-194.
- GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO PROVINCIAL DE PASTAZA. 2014. *Diagnóstico participativo de la microcuenca del río Puyo*. Pastaza, Ecuador. Informe Técnico. Ecuador.
- GONZÁLEZ, I.; LAZO, I.; LESVEL, A.; ROMEU, O. y N. COBEÑA. 2019. "Determinación de la erosión potencial para ordenamiento agropecuario mediante álgebra de mapas". *Revista Geográfica Venezolana*, 60(2): 314-327. Disponible en: <http://www.saber.ula.ve/handle/123456789/46554>. [Consulta: enero, 2020]
- GUTIÉRREZ J. y J. M. GARCÍA, 2014. *Resumen metodológico: un índice para evaluar la calidad de los recursos hídricos superficiales en cuencas hidrográficas (ICA_sp)*. Órgano del Consejo Nacional de Cuencas hidrográficas. Informe Técnico. La Habana, Cuba.
- HERNÁNDEZ, J.; BOLLO, M. y A. MÉNDEZ. 2013. "Ordenamiento ecológico general del territorio mexicano: enfoque metodológico y principales experiencias". *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (63): 33-55.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR. 2009. *Generación de geoinformación de la cuenca alta y media del río Pastaza, Quito, Ecuador*. Informe Técnico. Quito, Ecuador.
- MATEO, J. 2011. *Geografía de los paisajes*. Primera parte. Paisajes naturales. Editorial Félix Varela. La Habana, Cuba.
- QUINTELA, J. 1995. *El inventario, el análisis y el diagnóstico geoecológico de los paisajes mediante el uso de los SIG*. Facultad de Geografía, Universidad de La Habana, La Habana, Cuba. Tesis de Doctorado.
- REYES, M. V. y A. F. ORTEGA A. 2014. "Potencial turístico del Circuito Vial Puyo – Fátima – 10 de Agosto, en la provincia de Pastaza – Ecuador". *Revista Amazónica*, 2(2): 53-67. Disponible en: <https://xurl.es/c288z>. [Consulta: abril, 2018].
- SAATY, T. 1980. *The analytic hierarchy process*. McGraw Hill, NY. 2000. RWS Publications. Pittsburg, USA.
- SALINAS, E.; TROMBETA, L. R. e A. C. LEAL. 2020. "Estudo da paisagem aplicado ao Planejamento y Gestão de bacias Hidrográficas", In: A. S. FIGUEIRÓ e C. A. DI MAURO (orgs.), *Governança da água: das políticas públicas à gestão de conflitos*, Campina. EPTEC. Campina Grande, Brasil.

- SUCOSHAÑAY-VILLALBA, D. J. 2016. *Propuesta para el ordenamiento ambiental de la cuenca del río Puyo, en la Amazonía ecuatoriana*. Facultad de Geografía, Universidad de La Habana, La Habana. Cuba. Tesis de Doctorado.
- SUCOSHAÑAY-VILLALBA, D. J.; GARCÍA-RIVERO, A. E. y J. E. GUTIÉRREZ-HERNÁNDEZ. 2015a. "Evaluación de la dinámica de cambio en la cobertura y uso del suelo en la cuenca del río Puyo, en la amazonia ecuatoriana, con el uso de los SIG". *Ciencias de la Tierra y el Espacio*, 16(2): 237-244.
- SUCOSHAÑAY-VILLALBA, D. J.; GARCÍA-RIVERO A. E.; GUTIÉRREZ-HERNÁNDEZ, J. E.; LEDESMA-ACOSTA, R. y J. M. MIRA-VÁSQUEZ. 2015b. "Evaluación de la calidad de las aguas superficiales de la cuenca del río Puyo de la amazonia ecuatoriana a partir de un índice integrador (ICA_sp)". *Ciencias de la Tierra y el Espacio*, 16(2): 225-236.