

CARACTERIZACION DE LA DINAMICA AMBIENTAL, A ESCALA DE TIEMPO HUMANO, EN EL CANTON MILAGRO MEDIANTE EL USO DE HERRAMIENTAS GEOESPACIALES

Darwin Sánchez Rodríguez¹, Carlos Montúfar Delgado¹, Edison Lagos Carrasco¹ y Fausto Yerovi Santos¹

¹ Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos (CLIRSEN). Componente Geopedología y Amenazas Geológicas. Correo electrónico: flaquito8380@hotmail.com

RESUMEN

Los procesos de cambio y degradación, en calidad y cantidad de los recursos naturales como consecuencia de actividades antrópicas y no antrópicas hace necesario que se prevean mecanismos de evaluación rápida del estado del recurso, el cual debe ser: aplicable en diversas condiciones, preciso y proveedor de información geoespacial. El presente estudio se desarrolló en el cantón Milagro, provincia de Guayas en Ecuador, y generó una metodología de identificación de cambios en el complejo territorial natural, a través del periodo comprendido entre los años 1983 y 2009. Para el análisis se utilizó información levantada en el país por el Programa de Regularización Agraria (PRONAREG), en el año 1983 y por el Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos (CLIRSEN), en el año 2009, ambos estudios en su momento fueron financiados por el Gobierno del Ecuador a través de sus organismos de planificación; la información levantada utilizó como insumo para la interpretación geomorfológica fotografías aéreas a escala 1: 60 000, la caracterización de suelos se la realizó bajo el enfoque geo pedológico mediante trabajo de campo; para la generación de la información de uso y cobertura del suelo se utilizó igualmente fotografía aérea y comprobación en campo.

Del análisis realizado se deduce que la unidad geomorfológica que sufrió mayor desgaste fueron los bancos y diques aluviales, pues en el período analizado se identificaron 1 113,10 ha que dejaron de serlo, principalmente por intervención antrópica en respuesta al descenso en el precio de productos como el cacao y el café, y el ascenso en el precio de productos como la caña de azúcar y el arroz; razón por la cual los campesinos pelaban literalmente el horizonte mólico a fin de encontrar capas arcillosas que soporten la producción de cultivos “rentables”. Lo anteriormente expuesto sumado al manejo intensivo realizado en la zona de estudio, explican la razón de por qué el tipo de suelo *Fluventic Hapludolls* se degradó principalmente a *Fluventic Eutrudepts* en una superficie de 5 971,83 ha. Finalmente, al igual que en los casos anteriores la dinámica en el uso y cobertura del suelo está relacionada con el precio de los productos, pues el cultivo con mayor incremento en superficie es la caña de azúcar con 6 403.85 ha, lo que ratifica que los procesos de cambio en los geocomplejos del cantón Milagro se deben a factores económicos y de manejo.

Palabras clave: Cantón Milagro, cambio de suelos, cambio de uso y cobertura.

SUMMARY

The processes of change and degradation in the quality and quantity of natural resources as a result of human and natural activities makes it necessary to provide mechanisms for rapid assessment of resource status, which must be: applicable under various conditions, accurate and provider geospatial information. This study was make at the Canton Milagro, Guayas' Province in Ecuador, and the objective of this work was to create a methodology for identifying changes in the natural territorial complex, through the period between 1983 and 2009. This analysis used information gathered in the country by *Prograna Nacional de Regularización Agraria (PRONAREG)* in 1983 and by *Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos (CLIRSEN)*, in 2009, both studies were financed by the Ecuadorian Government and its planning agencies, the information gathered used as input for interpreting geomorphologic aerial photographs at 1: 60 000, and the

characterization of soils was made by geo pedological focus with work field, land cover information used aerial photography and field verification.

The results showed that the main geomorphologic unit that suffered more wear are the bancos y diques aluviales, as in the period under study has identified 113.10 ha that lost that condition, mainly because of human intervention in response to the falling price of commodities such as cocoa and coffee, and the rise in the price of products such as sugar cane and rice, which is why farmers literally peeled mollic horizon to find clay horizons that support crop production "profitable." The above coupled with intensive management made in the study area, explain the reason why the rate was degraded *Fluventic Hapludolls* to *Fluventic Eutrudepts* in an area of 5 971.83 ha. Finally, as in previous cases the dynamics in the use and land cover of Region is closely related to commodity prices, as the crops with greater increase in cultivated area of sugar with 403.85 6 ha. That reason confirms that the process of change in geocomplex at canton Milagro is due to economic factors and management.

Keywords: Canton Milagro, Soil change, Land cover Change.

ENUNCIADO DEL PROBLEMA

El conocimiento de la dinámica de los suelos en escala de tiempo humano, es una necesidad crucial en el estudio del manejo de los recursos naturales en el siglo XXI. Caracterizar el efecto del manejo sobre el suelo es un nuevo paradigma en la Ciencia del Suelo. El cambio sufrido por el suelo se puede aseverar que no ocurre solo, al contrario, es el desencadenante de la variación de todos los procesos que se desarrollan sobre este recurso. Entender los factores biológicos, ecológicos, químicos y los procesos físicos que regulan las funciones del suelo están directamente relacionados a la mayoría sino a todos los desafíos en las ciencias ambientales. Es innegable que dicho proceso de cambio se desarrolla a largo plazo, es por eso que las investigaciones que expliquen de mejor manera dichos fenómenos deben enmarcarse en procesos de diseño e implementación de programas de investigación que faciliten la comprensión de los sistemas de suelo y sus interacciones con los demás subsistemas que en él se desarrollan a fin de adquirir criterios valederos en procesos de planificación territorial que persigan un desarrollo sustentable¹.

Muchas propiedades del suelo han cambiado o pueden cambiar como resultado del manejo, uso del suelo o incluso factores naturales como la sequía e inundaciones. "Las propiedades dinámicas del suelo" se definen como las perceptibles de ser observadas en escala de tiempo humano. Las diferencias que puedan existir en estas propiedades pueden afectar al rendimiento del suelo. Adicionalmente, es importante considerar que algunas de las propiedades de los suelos cambian de manera imperceptible en respuesta al manejo o perturbación del suelo. Algunos suelos que han sufrido cambio o perturbación se pueden recuperar rápidamente, mientras que los que han cambiado de manera significativa, no se podrían recuperar en las condiciones climáticas actuales sin aportes de recursos significativos (Tugel *et al.*, 2008).

Información sobre lo qué cambia, cómo cambia, por qué cambia, y dónde cambia además de lo que se podría recuperar es crucial para alcanzar metas a corto y largo plazo en conservación de suelos. El presente estudio aplicó una metodología que facilitó la identificación de zonas o áreas que presentan una dinámica de cambio acelerado, además aportó en el esclarecimiento de los procesos que inducen el cambio de los suelos en la llanura aluvial reciente del Ecuador, particularmente en el cantón Milagro.

La erosión geológica se ha desarrollado desde siempre en la Tierra y es la responsable del modelado de los continentes y sus efectos se compensan en el suelo, ya que actúan con la suficiente lentitud

¹ Capacidad de una sociedad humana de apoyar en su medio ambiente el mejoramiento continuo de la calidad de vida de sus miembros para el largo plazo; las sustentabilidades de una sociedad es función del manejo que ella haga de sus recursos naturales y puede ser mejorada indefinidamente.

como para que sus consecuencias sean contrarrestadas por la velocidad de formación del suelo. Así que en los suelos de las superficies estables se reproduce el suelo, como mínimo, a la misma velocidad con la que se erosiona. Pero en otros casos la pérdida de los suelos se produce a mayor velocidad. En los países en desarrollo se estima que la pérdida del suelo por erosión duplica la de los países desarrollados.

En el Ecuador se realizan al momento, estudios sobre la planificación y ordenamiento del territorio llevada a cabo por el CLIRSEN, tarea que no se la puede realizar sin saber cómo afecta el manejo tradicional del suelo en cantidad y calidad, para comparar alternativas y tomar decisiones en las que se equilibre los objetivos de producción, economía, sustentabilidad y ambiente. En otras palabras, datos de cambio de suelo son necesarios para (i) establecer criterios de calidad y estándares de desempeño, (ii) interpretar los resultados de seguimiento y evaluación, (iii) predecir los efectos de la gestión en función de la condición del recurso, (iv) apoyo a la gestión de los sistemas de producción sostenible, (v) prevención de la degradación del suelo y su utilización, y (vi) apoyo a las actividades de restauración y remediación del suelo (Tugel *et al.*, 2005).

En la **Tabla 1**, se observa las características del suelo susceptibles de cambio por periodo de tiempo; casi todas las propiedades del suelo cambian con el tiempo. Las propiedades dinámicas del suelo son las que cambian dentro de la escala de tiempo humana, es decir, en periodos de décadas. Los cambios denominados lentamente dinámicos son los cambios significativos en las características intrínsecas del suelo que se dan a nivel de siglos y finalmente los cambios denominados persistentes que se dan en milenios de años.

Tabla 1. Características del suelo susceptibles de cambios por periodos de tiempo.

Dinámicos	Lentamente dinámicos	Persistentes
Carbón Orgánico	Óxidos de Al y Fe	Textura
Acidez y salinidad	Sustancias húmicas	Volumen rocoso
Carga de la superficie dependiente del pH	estabilizadas	Duripanes y plintitas
Densidad aparente y porosidad	Arcilla iluvial	Carga de la superficie no dependiente del pH
Biodisponibilidad de macronutrientes, oligoelemento y contaminantes.	Fraccionamiento de C, N, P, etc.	
Agregación (estructura)		
Características redoximórficas		
Infiltración y conductividad hidráulica		
Profundidad y volumen de la zona radicular.		

Fuente: Richter, 2007.

La facilidad de gestión y análisis que brinda las herramientas geoespaciales permiten realizar de manera ágil comparaciones en el tiempo, como la que se propone en este trabajo. La detección de cambios utilizando Sistemas de Información Geográfica –SIG– es un proceso de comparar bases de datos espacialmente explícitas de dos periodos diferentes de tiempo para determinar la localización y naturaleza de los cambios en el tiempo.

La llanura aluvial reciente en el Ecuador está conformada por bancos y diques aluviales, niveles ligeramente ondulados, con y sin presencia de agua, conos de esparcimiento, y cerros testigos. Todos los paisajes enumerados anteriormente poseen suelos recientes cuya pedogénesis es escasa, lo que evidencia su susceptibilidad a sufrir procesos de cambio, dentro de los estrechos límites entre un tipo de suelo y otro, en la clasificación taxonómica de suelos.

Diferentes estudios realizados sobre el tema estiman que el 47,9 % del territorio ecuatoriano son suelos con elevada susceptibilidad de erosión; de los cuales, 99 millones de hectáreas son suelos “activos potenciales” de erosión, debido a su composición, características geomorfológicas y al grado de amenaza antrópica (PNUMA, 2008: 76).

Por lo anteriormente expuesto, a partir del levantamiento geopedológico realizado por el proyecto “Generación de geoinformación para la gestión del territorio y valoración de tierras rurales de la cuenca del río Guayas, escala 1: 25 000”, ejecutado por el Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos (CLIRSEN) y auspiciado por la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES) (2009), y con el fin de cumplir con el objetivo No. 4, del Plan Nacional para el Buen Vivir 2009-2013, que dice “Garantizar los derechos de la naturaleza y promover un ambiente sano y sustentable”, se realizó el estudio: “Caracterización de la dinámica ambiental con énfasis en el recurso suelo, a escala de tiempo humano en el cantón Milagro con el soporte de herramientas e insumos geoespaciales”, con el fin de realizar una evaluación preliminar del estado actual del recurso, y su proceso de consolidación o deterioro frente al manejo del que ha sido objeto.

OBJETIVO

Caracterizar la dinámica de origen natural y antropogénico de los geocomplejos² del cantón Milagro a escala de tiempo humano, mediante la utilización de herramientas geoespaciales en el periodo 1983–2009.

Objetivos Específicos

- a) Identificar el cambio en las unidades geomorfológicas durante el periodo 1983-2009.
- b) Caracterizar los procesos de degradación ó cambio de los suelos en el periodo de análisis.
- c) Determinar la dinámica del uso y cobertura del suelo en el periodo de estudio establecido.

METODOLOGIA

Area de estudio

El presente estudio se desarrolló en el cantón Milagro, que se encuentra situado en la provincia de Guayas, ubicado en las coordenadas geográficas 1° 59' a 2° 14' de Latitud Sur y de 79° 41' a 79° 27' de Longitud Oeste (**Figura 1**). El cantón se encuentra en la zona de clima Tropical Megatérmico Húmedo, con temperaturas promedias diarias de 25 a 27 °C y precipitaciones promedias anuales de 1 100 a 1 800 mm. En su territorio se encuentran zonas de déficit hídrico para actividades agrícolas de 400 a 600 mm, con una zona de evapotranspiración potencial de 1 400 a 1 500 mm. El número de días secos promedios anuales varían desde 160 al oriente, hasta 190 al occidente, en un intervalo medio anual de junio a diciembre. El número de días del período vegetativo favorable para la agricultura va de 120 al occidente hasta 150 al oriente, entre enero a mayo. Dentro de la división hidrográfica se encuentra inmerso en la cuenca del río Guayas, ocupando el 9,51 % de la subcuenca del río Jujan, 7,04 % de la subcuenca del río Yaguachi y el 0,20 % de Drenajes Menores (CLIRSEN, 2009).

² Los geocomplejos son parte de la superficie terrestre, en la que los componentes individuales de la naturaleza se encuentran en relación estrecha unos con otros, y que, como un todo, interactúan con las partes vecinas de la esfera cósmica y de la sociedad humana. Se denominan también paisajes geográficos, complejos territoriales naturales o geosistemas.

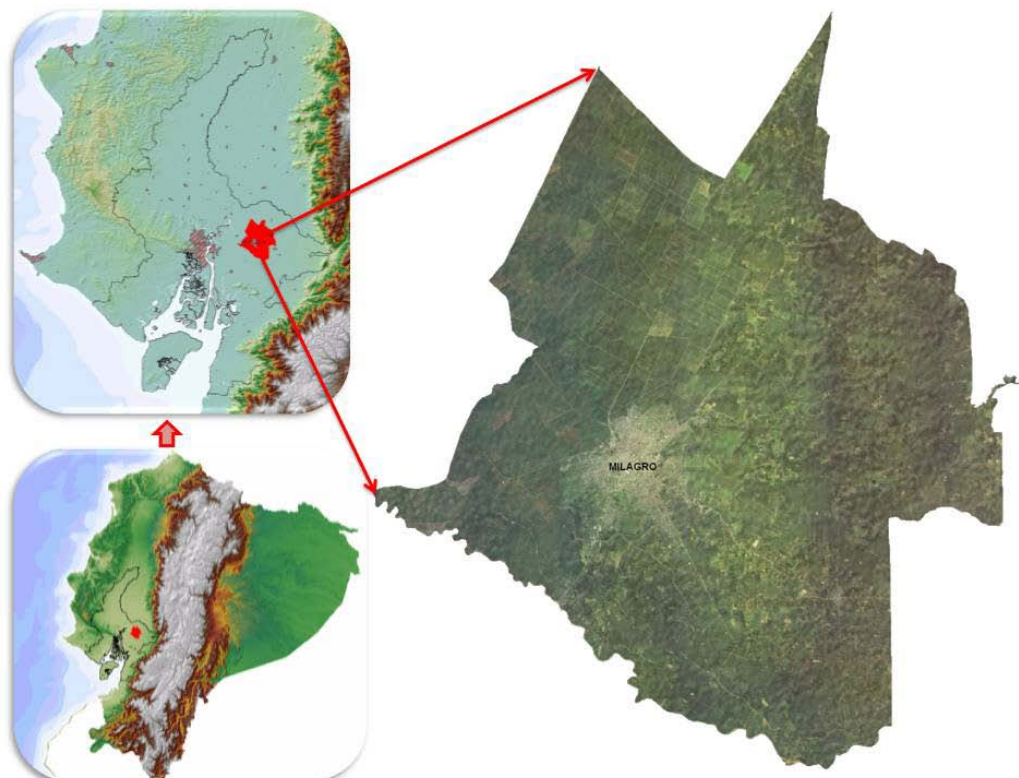


Figura 1. Localización del área de estudio en el Ecuador.

La zona se distingue por su baja altura cuya cota máxima alcanza los 65 msnm. Principalmente domina la forma del relieve “nivel ligeramente ondulado”, caracterizado por pendientes entre el 2 y 5 %, cuyo suelo más productivo, comparado con otros predominantemente arcillosos, permite el cultivo semipermanente de banano, cacao y caña de azúcar. En esta zona se asientan los ingenios azucareros como: Azúcar Valdez y San Carlos, donde se produce caña a gran escala (industrial), y por ende existe una buena infraestructura vial y de riego. La incidencia de este monocultivo se manifiesta en la modificación de los límites de transición de esta forma del relieve hacia los diques, el cual se ha perdido en la mayoría de los casos (CLIRSEN, 2009).

Materiales y métodos

La realización del presente estudio siguió las etapas que se detallan a continuación:

1. Selección y Adquisición de Información.

Esta etapa comprendió la revisión, análisis y evaluación de toda la información geomorfológica, edafológica y cobertura vegetal y uso actual del cantón Milagro de los años 1983 y 2009, a efectos de analizar sus características y establecer su compatibilidad con las especificaciones técnicas aplicables a los propósitos del presente estudio.

La información digital estuvo disponible en formato *vector* y *raster*, y se la clasificó de la siguiente manera:

- Mapa Geopedológico del cantón Milagro: CLIRSEN, 2009. Escala 1: 25 000.
- Mapa de Uso de la Tierra, Parcelas y Riego del cantón Milagro: CLIRSEN, 2009. Escala 1: 25 000.

- Cartografía Base del cantón Milagro: CLIRSEN, 2009. escala 1: 25 000.
- Mapa Morfopedológico, Carta de Guayaquil, escala 1: 200 000 de PRONAREG – ORSTOM, 1983.
- Mapa de Formaciones Vegetales y Uso Actual, Carta de Guayaquil, escala 1: 200 000 de PRONAREG – ORSTOM, 1983.
- Modelo Digital de Elevación –MDE- a partir del *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)*.
- Fotografías aéreas:
 - Ortofoto del cantón Milagro, escala 1: 60 000, años: 1978, 1994 y 2000.
 - Ortofotomosaico del cantón Milagro, 2005, escala 1:30 000.

2. Interpretación y Análisis de los Procesos.

La comparación entre mapas de diferentes épocas tiene por objeto analizar qué rasgos presentes en un determinado territorio se han modificado en el tiempo.

- Para la comparación entre los diferentes mapas de suelos, y los de uso actual, se empleó la misma leyenda temática en las dos fechas, con objeto de que puedan compararse posteriormente.
- El insumo para la realización del mapa Morfopedológico (1983) y Geopedológico (2009) fue la interpretación de las fotografías aéreas escala 1: 60 000, que se realizaron de manera visual y digital, tomando como material de referencia el MDE.).
- Para el mapa de Formaciones Vegetales y Uso Actual se utilizó como insumo las fotografías aéreas a escala 1: 60 000, no obstante el mapa de uso de la tierra, parcelas y riego, utilizó el ortofoto mosaico del año 2005, que se encuentra a escala 1:30 000; razón por la cual, dicha información recibió un tratamiento preliminar para la homologación de escalas.

3. Integración de Información

El análisis espacial se efectuó mediante una sobre posición de mapas, en formato vector, para generar el mapa de cambios (1983–2009). Esto se realizó bajo el ambiente del programa de sistemas de información geográfica “ArcGIS”, por lo que se homogeneizó los datos de las dos fechas: 1983 y 2009, para luego aplicar la matriz de evolución de cambios, en donde se presentan las transiciones que se producen entre las dos fechas. En dicho procedimiento se observó las zonas estables y dinámicas, así como también, cuál era la morfología original y cuál la actual, lo que indica la tendencia del cambio en la zona de estudio. El mismo análisis se utilizó para el cambio de uso y cobertura vegetal.

Con la finalidad de tener una visión espacial de los cambios ambientales y contar con un documento que permita establecer una línea coherente de las modificaciones multitemporales del cantón Milagro, se generó además mapas que indican la dinámica de cambio por su clase, es decir, el tipo de cambio sufrido por el geocomplejo.

En la **Figura 2**, se muestran los pasos metodológicos que se siguieron para la realización de este trabajo.

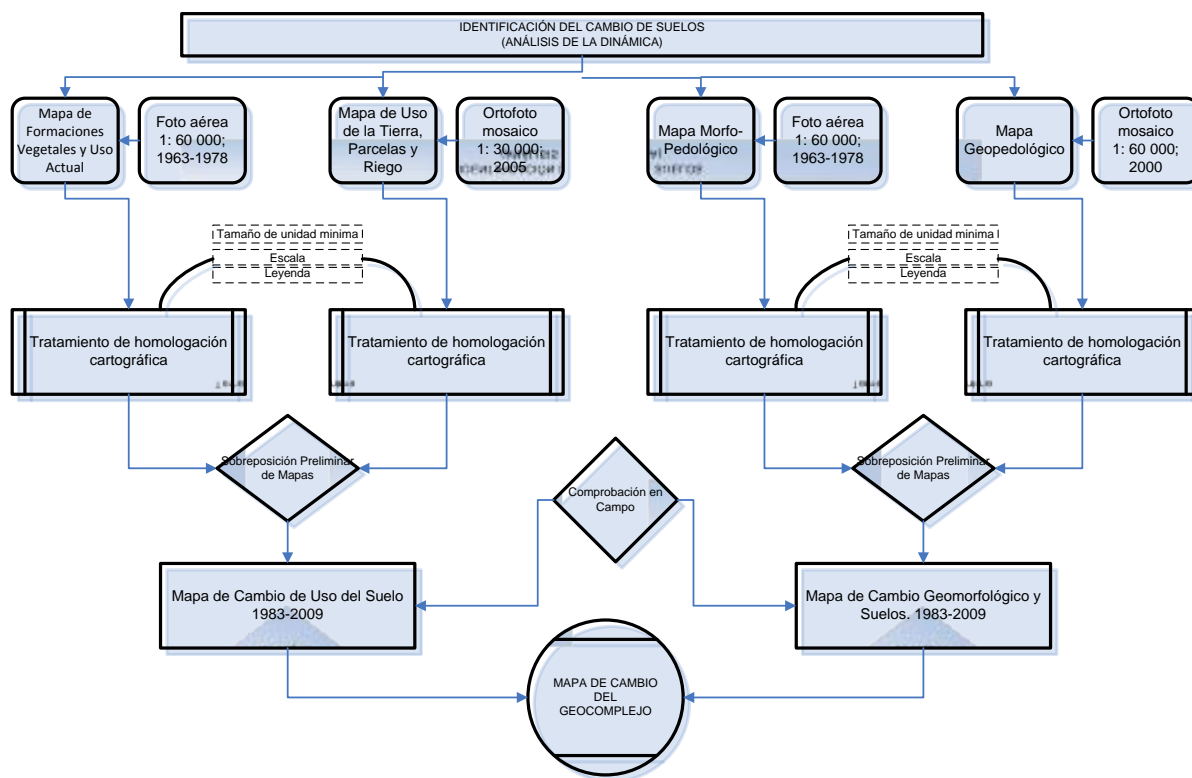


Figura 2. Diagrama de flujo metodológico.

RESULTADOS Y DISCUSION

Geomorfología

La composición geomorfológica del cantón Milagro, posee unidades cuyo origen principalmente es aluvial por la gran influencia del Océano Pacífico (fluvio-marina) y de los diferentes ríos que atraviesan el cantón proveniente de la Cordillera de los Andes, sin dejar de lado al pie de monte representado por el cono de esparcimiento provocado por el río Chimbo. Es así, que la unidad geomorfológica que mayor superficie ocupa, tanto en el año 1983 y en el año 2009, es el nivel ligeramente ondulado, cuya superficie se ha incrementado de 21 968,77 ha a 23 049,93 ha.

Tabla 2. Superficie de ocupación de las unidades geomorfológicas del cantón Milagro.

Año	Nivel Ligeramente Ondulado	Bancos y Diques Aluviales	Superficie de Cono de Esparcimiento	Nivel Ligeramente Ondulado con presencia de Agua	Otras Unidades Geomorfológicas	Área Urbana	TOTAL
Superficie (ha)							
1983	21 968,77	12 023,91	4 873,10	84,75	0,00	1 209,76	40 160,29
2009	23 049,93	10 910,81	4 333,46	248,97	15,78	1 601,35	40 160,29
CAMBIO	1 081,16	-1 113,10	-539,64	164,22	15,78	391,59	0,00

Fuente: CLIRSEN, 2009.

Los bancos y diques aluviales que ocupan el segundo lugar en superficie de ocupación, han sufrido un decremento en superficie en el periodo analizado, ya que de 12 023,91 ha que poseían en el año 1983, para el año 2009 su área de ocupación fue de 10 910,81 ha. El cono de esparcimiento al igual que el banco y dique a disminuido en 539.64 ha durante el periodo en análisis. El nivel ligeramente ondulado

con presencia de agua se ha incrementado en 164,22 ha en el cantón Milagro. Finalmente, la superficie destinada a áreas urbanas ha pasado de 1 209.76 ha en el año de 1989 a 1 601.35 ha en el año 2009.



Figura 3. Paisaje característico de la unidad geomorfológica: a) Cono de esparcimiento, b) Cerro testigo, c) Nivel ligeramente ondulado, d) Banco y dique aluvial.

Los diques o bancos aluviales juegan un importante rol en la protección de los suelos contra la erosión o degradación, la circulación o flujo continuo de agua limpia, en la reducción de los peligros de las inundaciones, y en general en la preservación de la biodiversidad.

Las transformaciones geomorfológicas de las diferentes unidades, se deben tanto a factores naturales como antrópicos que actúan de manera conjunta, manifestándose a través de las formas resultantes del paisaje; en otras palabras, mediante el análisis realizado se comprueba que las geoformas que integran el cantón Milagro son muy sensibles a las acciones de agentes naturales y del género humano, por lo que el conocer el grado de transformación actual permitirá una evaluación posterior de impactos del manejo de los cultivos y por ende una reingeniería en dicho ámbito.

Suelos

El concepto del cambio del suelo y la función del suelo es algo limitado y no son sintetizados por completo. Con información sobre las relaciones entre las propiedades, los procesos y los impactos humanos sobre el suelo y la función del suelo, se puede identificar los patrones de cambio. La variabilidad espacial de las propiedades dinámicas del suelo se asocia a menudo con los patrones espaciales de la vegetación o la morfología de la superficie, como los cacaotales talados, bosques talados frente a espacios desprovistos de vegetación arbórea. Es decir, que depende del tipo de suelo, la comunidad vegetal, la escala de perturbación, y el historial de manejo. Los cambios en la

variabilidad espacial a través del tiempo en escala humana pueden ocurrir como resultado del manejo y los factores naturales como inundaciones y movimientos en masa (Tugel *et al.*, 2008).

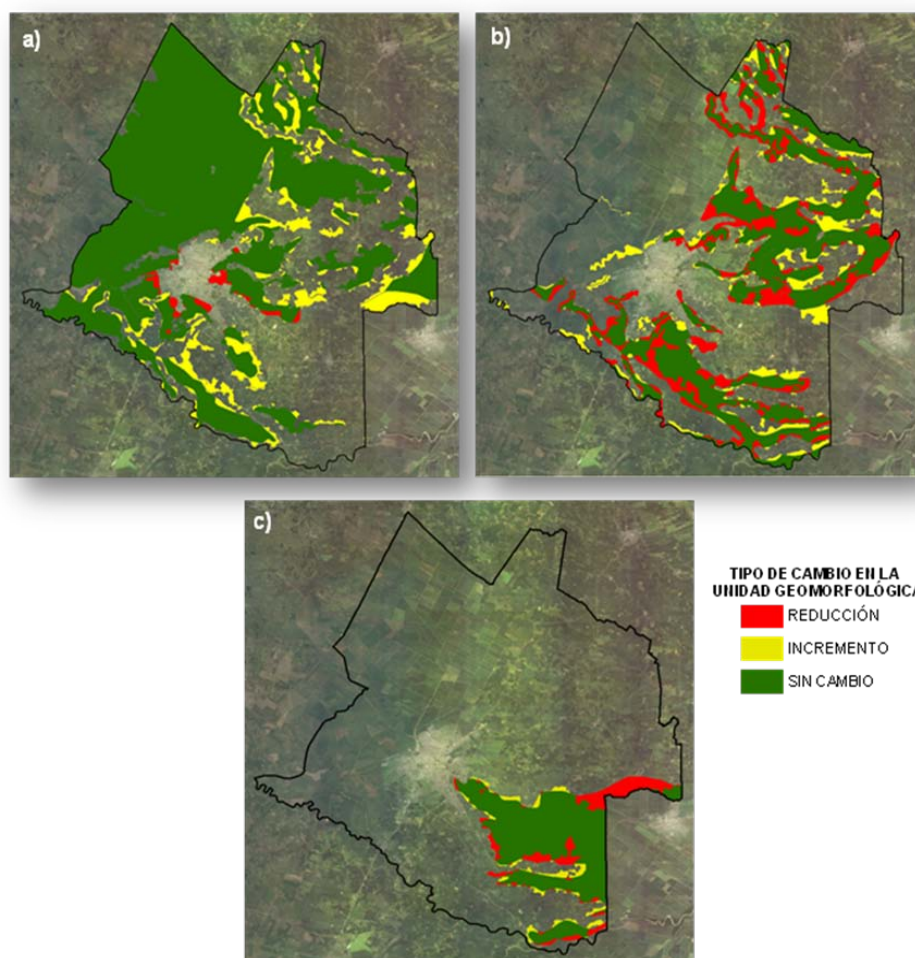


Figura 4. Dinámica de cambio en las diferentes unidades geomorfológicas, el color verde representa zonas que no han sufrido cambios, la roja indica reducción de área y la amarilla indica incremento en superficie de la unidad: a) Nivel ligeramente ondulado, b) Banco y dique aluvial, c) Cono de esparsamiento.

El suelo tiene su propia dinámica y evoluciona en interacción con las condiciones ambientales abióticas y bióticas, sin embargo, esta dinámica está influenciada, en la actualidad, a gran escala y de manera determinante por la acción humana. En un sentido estricto, la relación vital con este ecosistema, como dice Colinvaux (1986) depende, por lo regular, de los primeros treinta centímetros de esta pequeña capa, es decir, de una “epidermis” delgada y como tal, recurso limitado (PNUMA, 2008: 74).

Tabla 3. Dinámica de cambio de suelo por subgrupo taxonómico de suelos en el cantón Milagro.

	Vertic Eutropepts	Fluentic Hapludolls	Typic Ustipsamments	Fluentic Eutropepts	Rhodic Ustorthens	Typic Pelluderts	Fluentic Eutropepts	Typic Ustipsamments	Área Urbana	TOTAL
	Vertic Eutrodepts	Fluentic Hapludolls	Typic Ustipsamments	Fluentic Eutrodepts	Typic Ustorthents	Aquic Hapluderts	Asociación Vertic Eutrodepts-Fluentic Eutrodepts	Vertic Endoaquepts		
1983	5 368,21	12 023,91	4 873,10	5 668,82	9,16	84,75	10 905,58	0,00	1 209,76	40 160,29
2009	5 980,53	6 052,07	4 333,46	11 168,76	8,91	248,97	10 759,37	6,87	1 601,35	40 160,29
CAMBIO	612,32	-5 971,84	-539,64	5 499,94	-0,25	164,22	-146,21	6,87	391,59	0

Fuente: CLIRSEN, 2009.

Como se observa en la **Tabla 3**, los suelos del cantón Milagro son muy inestables, es decir, muy susceptibles a cambios en sus propiedades, que desencadenan en el cambio de clasificación taxonómica en el sistema americano de clasificación *-Soil Taxonomy-* el cambio de nombre taxonómico. Es así, que la mayoría de unidades edafológicas han sufrido cambios en la superficie de ocupación. Esos cambios podrían deberse en parte a procesos cartográficos³, sin embargo, en su mayoría se deben a factores naturales y a intervenciones antrópicas.

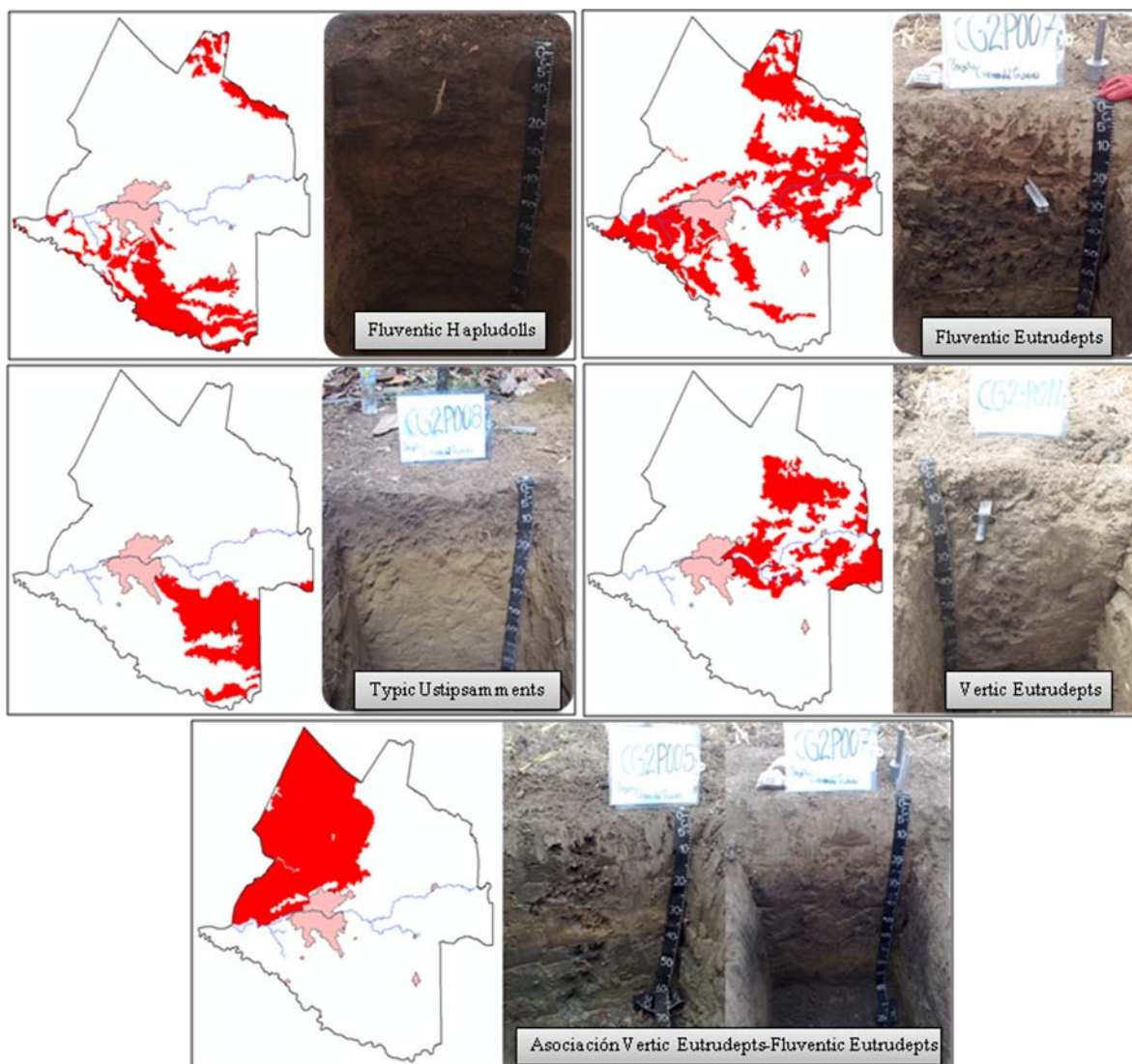


Figura 5. Distribución de los subgrupos de suelos en el cantón Milagro, en el año 2009.

Los subgrupos de suelos que sufrieron cambios significativos son los *Fluventic Hapludolls*, asociados generalmente al banco y dique aluvial, cuya superficie de ocupación se redujo de 12 023,91 ha en 1983 a 6 052,07 ha en 2010. Adicionalmente, el subgrupo de suelos *Fluventic Eutropepts* sufrió un incremento en superficie de 5 499,94 ha. Del análisis del mapa de cambio de suelo se observa el cambio de tipos de suelos mólicos (*Fluventic Hapludolls*) a suelos menos desarrollados como los inceptisoles (*Fluventic Eutrudepts*), producto de la eliminación del epipedón mólico al expandir la frontera del monocultivo, en este caso la caña de azúcar, generalmente.

³ Las técnicas utilizadas en 1983 difieren y mucho de las usadas en el 2008, esto pudo eventualmente producir errores en el análisis de información.

Las consecuencias de la influencia antrópica tales como la deforestación y la degradación del suelo en los diques o bancos, ocasionan la disminución o pérdida de sumideros naturales de carbono (materia orgánica), provocando la emisión directa a la atmósfera de gases de efecto invernadero (CO_2).

Cada año se emiten a la atmósfera alrededor de 6 gigatoneladas de carbono por el uso de combustibles fósiles (carbón e hidrocarburos), y 2 por la deforestación. De estas cantidades emitidas, tan sólo van a permanecer en la atmósfera alrededor de 3,4 gigatoneladas, que se suman a las 760 que ya se encuentran en ella. Existen por lo tanto una serie de mecanismos que van amortiguar la acumulación de CO_2 , siendo los principales *sumideros de las emisiones de CO_2* la absorción de las plantas y la de los océanos. De las 8 gigatoneladas que se emiten cada año a la atmósfera por las actividades humanas, las plantas van a fijar entre 1,7 y 3,2 gigatoneladas de carbono, y los océanos van a absorber entre 1,0 y 2,5, amortiguando el incremento de CO_2 en la atmósfera. Estos datos ayudaron a concluir, que la influencia antrópica en los diques o bancos aluviales y su correlación en la dinámica de sus suelos, eliminan los sumideros naturales de CO_2 aportando de esta manera, un cierto porcentaje de emisiones de CO_2 a las 31 305 kilotoneladas que emite el Ecuador (Seoáñez, 2002; PNUMA, 2008.)

La eliminación de los diques o bancos aluviales o en sí de su biomasa, significará que la mayoría de los nutrientes del ecosistema se pierdan y solo quede un suelo muy pobre. Esta afirmación se realiza, ya que al comparar los resultados obtenidos en este artículo con los datos de uso y cobertura del año 2009, se observa que nivelaron el banco aluvial para sembrar caña de azúcar cambiando su morfología a un nivel ligeramente ondulado con suelo *Fluventic Eutrudepts*.

Las consecuencias de esta destrucción o degradación, provocó que se minimice o desaparezca el epipedón mólico presente en los Mollisoles de los bancos aluviales (*Fluventic Hapludolls*), los mismos que tenían un alto contenido de materia orgánica (5 o 6 %), Según los datos de laboratorio los Mollisoles tienen un contenido de materia orgánica de 4,89 % (2,84 % C.O.) y los Inceptisoles como el *Vertic Dystrudepts* 3,60 % de M.O. (2,09 % de C.O.). Dichas unidades funcionaban como <<sumideros>> de carbono evitando la emisión de gases de efecto de invernadero. El enriquecimiento de un suelo con carbono en forma de materia orgánica muerta, favorece la estructuración del suelo, un aumento de su capacidad de intercambio catiónico, con mayor disponibilidad de nutrientes para el cultivo, lo que disminuye la necesidad de aplicación de abonos inorgánicos. Además, el enriquecimiento en materia orgánica disminuye las pérdidas de suelo por erosión y la capacidad del suelo para actuar como depuradora de aguas contaminadas (Figuroa, 2007: 112).

Uso y cobertura del suelo

El uso y cobertura vegetal del cantón Milagro ha experimentado cambios sustanciales (**Figura 6**). Entre 1983 y 2009, el incremento de zonas cultivadas con caña de azúcar, cacao, banano, arroz, es evidente al igual que la casi desaparición de cultivos de café y zonas cultivadas con pastos.

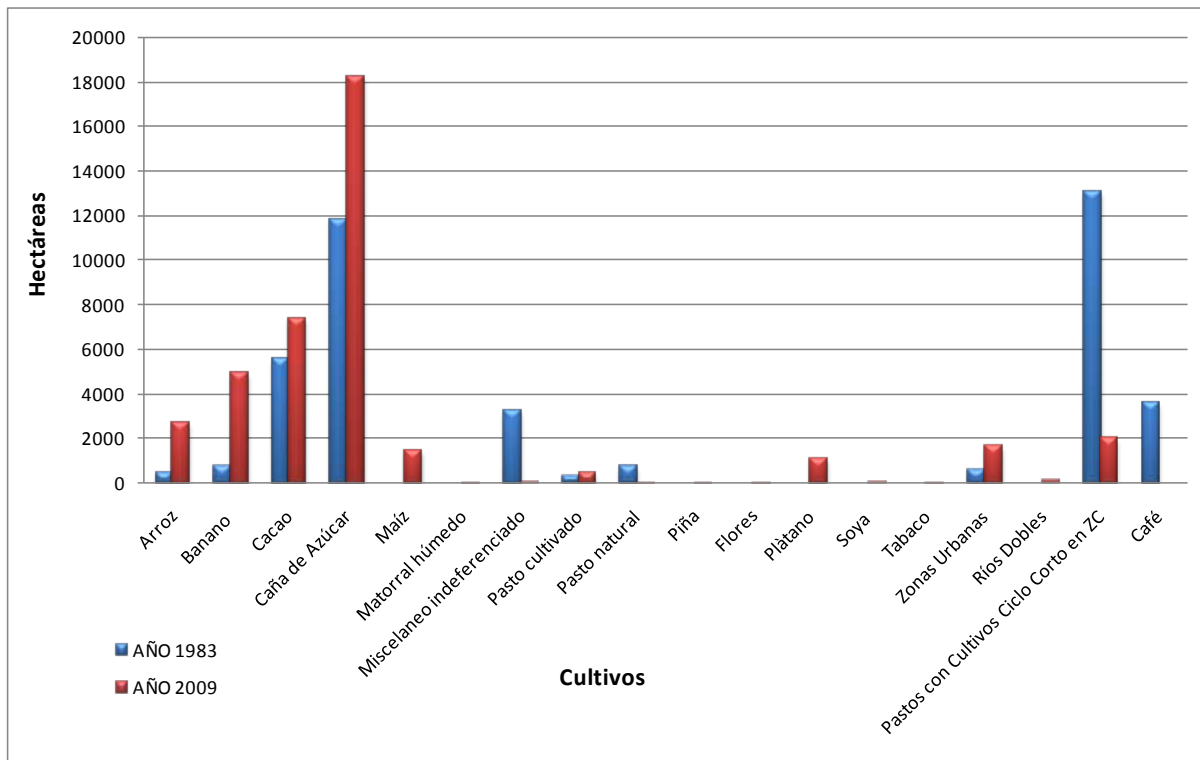
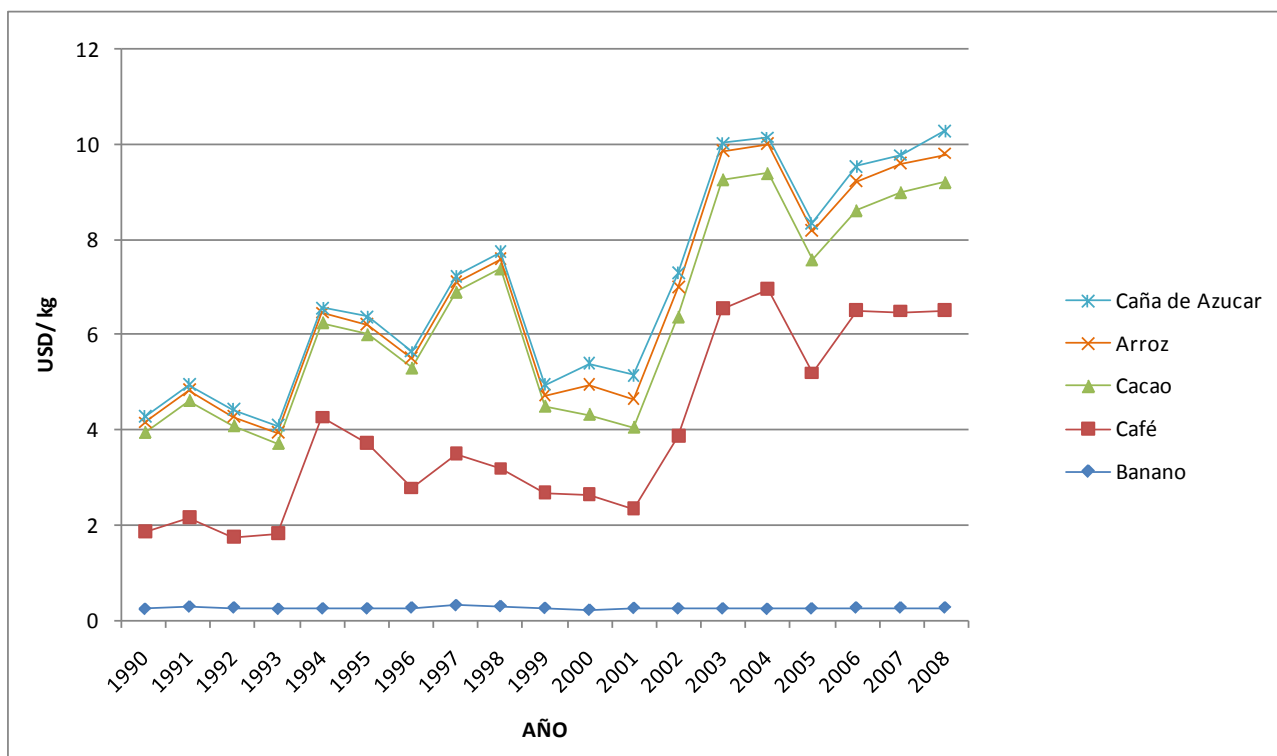


Figura 6. Dinámica del cambio de cobertura vegetal en el cantón Milagro en el periodo 1983-2009.



Fuente: Banco Central del Ecuador.

Figura 7. Comportamiento del precio de los principales productos cultivados en el Cantón Milagro entre los años 1990 a 2008.

En el Ecuador y particularmente en la zona de estudio el rendimiento anual promedio en toneladas métricas por hectárea, utilizando como fuente el Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos – INEC-, es para el arroz 3,6; el banano 26,50; cacao 0,30; café 0,30 y caña de azúcar 70,80.

La explicación del cambio brusco en el uso y cobertura vegetal del cantón Milagro es sin lugar a duda el comportamiento del mercado de los productos agropecuarios de clima tropical. Como se puede evidenciar en la **Figura 7**, la estabilidad del precio del banano, frente a otros cultivos lo hace un cultivo apreciado por los agricultores. La tendencia al alza del precio de la caña de azúcar y del arroz, junto con su elevado rendimiento, explica la predilección por parte de los agricultores a esos cultivos. Si bien los precios del café y el cacao aparentan un comportamiento al alza en su precio, el rendimiento bajo de los cultivos hacen que no sean tan apetecidos por los agricultores de Milagro.

Cambio del Geocomplejo

Los complejos territoriales naturales poseen una estructura que depende de la interacción de los componentes biológicos y no biológicos, y se encuentran caracterizados por procesos de equilibrio dinámico que definen su funcionamiento. Las actividades humanas, en general, sumadas a factores naturales pueden modificar esta situación de equilibrio como ha ocurrido en el cantón Milagro en el periodo 1983 a 2009. En la presente investigación para la conceptualización del geocomplejo únicamente se tomó en cuenta la geomorfología, los suelos y la cobertura vegetal. En el Ecuador, esta relación se ha visto sistemáticamente afectada por factores ambientales como: la intensa actividad antrópica, el crecimiento demográfico y por los desequilibrios socioeconómicos que potencian los problemas ambientales de los cuales el geocomplejo, como parte de la naturaleza, no está al margen del peligro que se cierne sobre la biosfera.

En el cantón Milagro 1 652,64 ha sufrieron deterioro geomorfológico, 6 657,94 ha sufrieron deterioro edafológico, 13 785,52 ha cambiaron de uso y cobertura vegetal. Finalmente, mediante la evaluación integral de los componentes del geocomplejo considerados en el presente estudio se puede aseverar que 15 365,27 ha sufrieron cambios en algún nivel del geosistema.

CONCLUSIONES

- ✓ El uso integral de geoinformación generada a partir de herramientas geoinformáticas, permitió manejar una gran cantidad de datos de manera rápida, ordenada y efectiva; lo que se constituye en una importante herramienta para caracterizar los patrones de cambio en el suelo y su cobertura y uso actual.
- ✓ Una manera de medir el grado de conversión ambiental es mediante el estudio de la dinámica espacio-temporal de suelos, y cobertura y uso del suelo, ya que permite conocer las modificaciones en la vegetación debido al uso humano, así como la distribución e incremento (o decremento) de las propiedades del suelo. La investigación realizada en este estudio sirvió para determinar las diferentes influencias antrópicas sobre los geocomplejos en el cantón Milagro, determinados gracias a la visión espacial que ofrece las fotografías aéreas, la misma que reforzada con trabajo de campo y con la ayuda de los sistemas de información geográfica permitieron identificar las dinámicas de cambio espacio-temporal de los suelos y de sus geocomplejos.
- ✓ La influencia antrópica en la destrucción de los diques o bancos aluviales es evidente, lo que se visualiza en la reconversión del uso del suelo. En términos generales, entre 1983 y 2009, 1 113,10 ha de bancos aluviales se han deteriorado, los cuales morfológicamente han cambiado generalmente a nivel ligeramente ondulado.

- ✓ La influencia del cambio de suelo en la reconversión del uso del suelo es directamente proporcional entre sí, puesto que en áreas donde por diferentes factores ha existido un cambio de suelo, es evidente el cambio de utilización de la tierra.
- ✓ Los cultivos que mostraron mayor predominancia a inicios de los años ochenta fueron los pastos con cultivos de ciclo corto, caña de azúcar, cacao y café, principalmente. Al comparar el uso del suelo de esos años con los años actuales, observamos la disminución de los pastos con ciclo corto, casi en toda su totalidad, e incrementándose el monocultivo de caña de azúcar –principalmente-, cacao, banano y maíz; además, se observa una reducción significativa de las plantaciones de café en todo el cantón.
- ✓ En esta investigación se contempla que la falta de información e incertidumbre sobre los efectos de la degradación de los ecosistemas naturales es una de las razones principales por las que la sociedad decide transformarlos o perderlos. Por la tanto, es indispensable desarrollar, apoyar y aplicar programas sustentables sobre manejo del suelo que ayuden a mantener y en lo posible, aumentar la materia orgánica del suelo.
- ✓ Por todo lo expuesto, se puede afirmar que este estudio es una fuente de información, para contribuir al manejo sustentable y conservacionista del suelo, para mitigar los efectos negativos de la acción antrópica en el medio ambiente, y recuperar en lo posible el equilibrio ecológico perdido: “Que no olvide el hombre que su destino está irremediamente atado al del suelo y que este es el resultado de su inteligencia creadora o de su instinto destructor. El suelo manejado convenientemente es, a no dudarlo, un maravilloso teatro de la vida y esta florece en medio de la paz y el bienestar de la familia humana; pero si persiste en la acción irracional que todo lo destruye, entonces el suelo se convierte, como de hecho ha sucedido, en doloroso escenario de muerte” (Cortés, 2004).
- ✓ Finalmente, la metodología planteada, proporciona indicadores de una evaluación ambiental rápida del cantón Milagro, sobre los cuales se deben desarrollar políticas, planes de manejo y programas ambientales que coadyuven al desarrollo sustentable local el cual incide en la atenuación de problemas ambientales globales.

BIBLIOGRAFIA

- Chuvieco, E. 2007. Teledetección ambiental. La observación de la tierra desde el espacio. Tercera edición. Editorial Ariel Ciencia. Barcelona, ES. p. 434.
- CLIRSEN (Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos), 2009. Mapa Geopedológico del cantón Milagro. Generación de geoinformación para la valorización de tierras rurales y gestión del territorio de la Cuenca del río Guayas. Escala 1: 25 000.
- Cortés, A. 2004. Suelos Colombianos: Una mirada desde la academia. Fundación Universidad de Bogotá “Jorge Tadeo Lozano”. Bogotá, CO. p. 135-136
- De las Salas, G. 1987. Suelos y ecosistemas forestales con énfasis en América Tropical. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, CR. p. 431- 432, 435, 438.
- Figuroa, M., y S. Redondo. 2007. Los sumideros naturales de CO₂. Una estrategia sostenible para el cambio climático y el Protocolo de Kyoto desde la perspectiva urbana y territorial. Primera edición. Grupo Mundi-Prensa. Universidad de Sevilla. ES. p. 112.
- González, A., F. Maldonado, y L. Mejía. 1986. Memoria explicativa del mapa general de suelos del Ecuador. Sociedad Ecuatoriana de la Ciencia del Suelo. Quito, EC. p. 25.

- Gutiérrez Elorza, M. 2008. Geomorfología. Pearson Educación S.A. Madrid, ES. p. 305
- IGAC (Instituto Geográfico “Agustín Codazzi”). 2005. Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras. Bogotá, CO. p. 155-156.
- _____. 2006. Análisis geográficos. Memoria del tercer seminario nacional de suelos. Núm. 33, ISSN. 0120-8551. Bogotá, CO. p. 12.
- Juárez Sanz, M., J. Sánchez Andreu, y A. Sánchez. 2006. Química del suelo y medio ambiente. Publicaciones Universidad de Alicante. ES. p. 145-160.
- Moreno, C. 1992. Fundamentos de geomorfología. Universidad Autónoma Agraria. Editorial Trillas. MX. p. 44, 75-76.
- Pacheco, R. 2009. El Ecuador: Recursos naturales agrícolas y del medio ambiente. Imprenta Colón. Quito, EC.
- PNUMA (Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente), 2008. Geo Ecuador 2008: informe sobre el estado del medio ambiente.
- PRONAREG (Programa Nacional de Regionalización Agraria) – Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (ORSTOM). 1983. Mapa morfopedológico de Guayaquil. Escala 1: 200 000.
- Seoáñez, M. 2002. Tratado de la contaminación atmosférica. Problemas, tratamiento y gestión. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, ES.
- Tarbut, E., F. Lutgens, y D. Tasa. 2005. Ciencia de la tierra. Una introducción a la geología física. Universidad Autónoma de Madrid. Octava edición. Pearson Educación S.A. Madrid, ES. p. 2.
- _____. 2006. Ciencias de la tierra. Una introducción a la Geología Física. Pearson Education. 6ta Edición. p. 2.
- Tugel, A., W. Skye, y H. Jeffrey. 2008. Soil Change Guide: Procedures for Soil Survey and Resource Inventory, Version 1.1. USDA, Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE.
- UNAM (Universidad Nacional Autónoma de México). 2007. Dinámica de cambio espacio-temporal de uso del suelo de la subcuenca del río San Marcos. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, *Puebla, MX*. ISSN 0188-4611 Núm. 64, 2007, p. 75-89.