

# Cambio de uso de suelo en el azolvamiento del embalse “La Esperanza” Manabí-Ecuador

## Land use change in the reservoir siltation “La Esperanza” Manabí-Ecuador

Francisco Velásquez I.<sup>1</sup>, José Calderón P.<sup>1</sup>, Lisseth Urdánigo I.<sup>1</sup>, Flor Cárdenas G.<sup>1</sup>

RECIBIDO: 15/06/2016 - APROBADO: 30/06/2016

### RESUMEN

La sustitución de bosques por otros usos ha incidido significativamente en el azolvamiento de los embalses.

En esta investigación se utilizó información retrospectiva y prospectiva, con el cual se evaluó los cambios en el uso de suelo y la cantidad de sedimentos en el embalse “La Esperanza”, durante el período 1995-2015. Se aplicó técnicas de observación directa, encuestas y tratamiento de imágenes satelitales (software ArcGIS versión 10.2.1), por medio del cual se determinó la tasa de deforestación. Para el cálculo de la producción de sedimentos de la cuenca aportante al embalse se aplicó la ecuación universal de la pérdida del suelo (EUPS), que se complementó con la batimetría. El contraste de las variables se analizaron en el software SPSS, confirmándose en la gráfica obtenida la incidencia del cambio de uso de suelo en la producción de sedimentos. Los resultados indican que el principal cambio de uso del suelo es el de bosques por de agricultura tropical; la tasa de deforestación de la zona de estudio fue de 0,091% equivalente a 733,08 ha/año y la producción de sedimentos alcanzó los 200 Hm<sup>3</sup>. El fin de esta publicación es proponer una herramienta de gestión hídrica a los organismos encargados de su gestión y fiscalización.

**Palabras clave:** Deforestación, usos de suelo, sedimento, azolvamiento, embalse.

### ABSTRACT

The substitution of forests for other uses has significantly influenced on the siltation of reservoirs.

In this research was used information retrospective and prospective, with which was evaluated the changes in land use and the amount of sediments in the dam “La Esperanza,” during the period 1995-2015, was applied techniques of direct observation, surveys and satellite image processing (software ArcGIS version 10.2.1), through which was determined the deforestation rate. For the calculation of sediment production of the contributing basin to the dam was applied The Universal Soil Loss Equation (USLE), which was complemented with bathymetry. The contrast of the variables were analyzed in the SPSS software, the graph obtained confirming the impact of land use change on sediment production. The results indicate that the main change in land use is the forest for tropical agriculture; the deforestation rate in the study was of 0.091% equivalent to 733.08 ha / year and the sediment production reached 200 Hm<sup>3</sup>. The end of this publication is to propose a tool of water management at the bodies responsible of their management and control.

**Keywords:** Deforestation, land use, sediment, siltation, reservoir.

<sup>1</sup> Carrera de Ingeniería Ambiental, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, 10 de agosto N° 82 y Granda Centeno. Calceta-Manabí- Ecuador. E-mail: ing.franciscovelasquez@gmail.com

**I. INTRODUCCIÓN**

El cambio de uso de suelo ha provocado la degradación y transformación de muchos ecosistemas en todo el mundo (Rubio *et al.*, 2005), que junto a las actividades antropogénicas y el deterioro ambiental global provocan cambios drásticos en la estructura de los mismos (Rodríguez *et al.*, 2010), cuya situación se ve agravada debido al aumento de las tasas de deforestación (Rubio *et al.*, 2005) de manera significativa en las zonas tropicales. Los diferentes usos en que se emplea un terreno y su cubierta vegetal se conocen como usos del suelo (García *et al.*, 2011) definen el término uso de suelo como aprovechamiento para fines económicos.

Rosete *et al.*(2007) mencionaron que la mayor parte de los cambios sucedidos en ecosistemas terrestres se debe a tres factores: a) conversión de la cobertura del terreno, b) degradación del terreno y, c) intensificación en el uso del terreno. A esto se suma el hecho de que la deforestación en los trópicos es uno de los problemas ambientales más importantes, con serias consecuencias económicas y sociales (Cayuela, 2006).

Por lo expuesto por Del Pilar *et al.* (2011), se deduce que en los últimos años, el número de embalses creados por el hombre han aumentado drásticamente por la urgente necesidad de suministrar agua para consumo humano, agropecuario y generación de energía hidráulica.

Jiménez *et al.* (2004) mencionan que los embalses representan un recurso fundamental para el adecuado aprovechamiento de los recursos hídricos, permitiendo modular el suministro de agua a las necesidades de consumo. Sin ellos, un porcentaje muy grande del agua dulce terminaría sin uso en los océanos.

**I.1. Ubicación**

La presente investigación tuvo lugar en la zona central de la provincia de Manabí, (Figura N° 1), específicamente en la cuenca aportante al embalse “La Esperanza”, el cual tiene una extensión de 428,50 Km<sup>2</sup>, ubicada entre las coordenadas N 9°907.500m - E 602.500m y N 9°885.000m - E 622.470m de la zona 17M de la cuadrícula UTM.

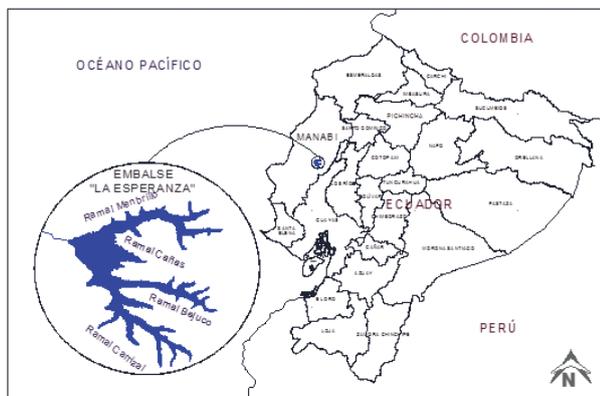


Figura N.º 1. Ubicación del embalse “La Esperanza”

**1.2. Situación problemática**

La carencia efectiva de evaluar los volúmenes de sedimentos que ingresan a los embalses y de la consecuente pérdida en la capacidad de almacenamiento de agua, se conjugan como situaciones que han ocasionado múltiples consecuencias, entre ellas: la disminución de la vida útil de los embalses de las cuencas hidrográficas (Jiménez *et al.*, 2004), por ejemplo de los ríos Chone y Portoviejo; y alteraciones en los ciclos hidrológicos, que se ponen de manifiesto sobre todo en épocas invernales, cuando la provincia enfrenta inundaciones y deslaves (SENPLADES, 2010).

Según el SNI (2013), Manabí cuenta con una diversidad biológica que se caracteriza por una presencia de variados ecosistemas de múltiples especies vegetales y animales; sin embargo, este recurso natural se está perdiendo aceleradamente. En efecto el deterioro de hábitats, la sobreexplotación de las especies marinas, la contaminación de sus estuarios y humedales, los procesos de deforestación por actividades antrópicas y extracción de madera, amenazan con extinguir la biodiversidad de la provincia (SNI, 2013) situación que no es ajena en la cuenca circundante al embalse La Esperanza. Este conjunto de razones es lo que ha motivado la realización de este estudio con el fin de evaluar la relación existente entre el cambio de usos del suelo y los efectos de esta acción en el azolvamiento del vaso del embalse.

**II. MATERIALES Y MÉTODOS**

En el desarrollo de este estudio se estableció la siguiente proceso metodológico:

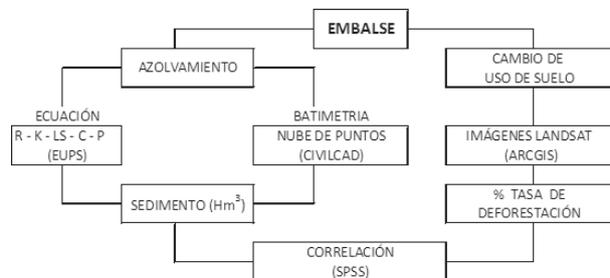


Figura N.º 2. Estructura metodológica del embalse “La Esperanza”.

En esta investigación se utilizó información retrospectiva y prospectiva, con el cual se evaluó los cambios en el uso de suelo y la cantidad de sedimentos en el embalse “La Esperanza”, durante el período 1995-2015.

Se aplicó técnicas de observación directa, encuestas y tratamiento de imágenes satelitales (software ArcGIS versión 10.2.1), por medio cual se analizaron imágenes landsat cada 5 años, determinándose los cambios de usos de la tierra y calculando de esta manera la tasa de deforestación, donde se analizaron los cambios en el uso del suelo y el azolvamiento en el mismo, para lo cual se emplearon los métodos descriptivo e histórico comparativo propuestos por Bernal (2010), que permitieron determinar un antes y un después de la situación actual de las microcuencas (Membrillo, Cañas, Bejuco y Carrizal), que

aportan con sus aguas al embalse. Se complementó el estudio con técnicas como la observación y la aplicación de encuestas que determinaron las condiciones actuales del embalse y se obtuvo datos referentes a la deforestación en la zona de estudio, al aplicar los índices de la FAO (Carnevale *et al.*, 2007) para valores anuales y porcentuales:

$$R = \frac{A_1 - A_2}{t_2 - t_1}$$

$$q = \frac{A_2}{A_1}^{1/(t_2 - t_1)} - 1$$

Donde:

- R : Índice de deforestación total de la FAO  
 q: Tasa porcentual de deforestación de la FAO  
 A1: Superficie de bosque al inicio del período  
 A2: Superficie de bosque al final del período  
 t1: Año de inicio del período  
 t2: Año final del período

De acuerdo a Montes-León *et al.* (2011), de las imágenes evaluadas se dedujo ciertos parámetros para la aplicación ecuación universal de la pérdida del suelo (EUPS), cuyo modelo tiene la siguiente expresión:

$$A = R * K * L * S * C * P$$

Donde:

- A= Pérdida de suelo en ton/ha para la unidad de R  
 R= Factor de erosividad de la lluvia  
 K= Factor de erosionabilidad del suelo  
 LS= Factor de longitud y grado de pendiente  
 C= Factor de cultivo o cobertura vegetal  
 P= Factor de prácticas mecánicas

La aplicación de la EUPS se complementó con la batimetría del embalse, el cual consistió en la medición de las profundidades (*z*) por medio de un rollo de medición artesanal anclado a una canoa, y las coordenadas norte (*y*) y este (*x*) fueron tomados con un equipo de posicionamiento global "GPS GARMIN ETREX 10", que permitió obtener una nube de coordenadas que se ingresaron al software Civilcad de Autocad versión 2014, de esta manera se obtuvo las curvas de nivel del embalse y a su vez el volumen actual de almacenamiento de agua, que restado a la capacidad de almacenamiento de inicio de operación de la presa, se dedujo el volumen de sedimento, cantidad que fue aproximada a la calculada por la EUPS, en el cual se aplicó las siguientes fórmulas empíricas:

Donde:

- Vcn: Volumen a Curvas de nivel  
 VDT: Volumen de las depresiones

- VE1: Volumen de elevaciones  
 Vi: Volumen inicial de la embalse  
 Vactual: Volumen actual embalse  
 Vsed: Volumen de sedimento

El contraste de las variables se correlacionó el índice de deforestación y la producción de sedimentos, las cuales se analizaron en el software estadístico IBM SPSS, confirmando en la gráfica obtenida la incidencia del cambio de uso de suelo en la producción de sedimentos.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Cambios en los usos de suelo en la cuenca aportante del embalse La Esperanza, entre los años 1995-2015

En base a las visitas técnicas realizadas, se resume a continuación las condiciones de la zona de estudio identificadas: las especies que predominan en los márgenes del embalse son el samán, guachapelí, frutillo y el guarumo; la vegetación presente a partir de los 800 m desde el margen del agua hacia el bosque es de tipo arbustiva y algunas áreas de las laderas se encuentran cubiertas de pasto, en donde el suelo está dedicado al pastoreo de ganado. El principal cambio de usos del suelo identificado fue el de bosques por huertos familiares, frutales, cultivos agrícolas y silvopastoriles.

De la visita realizada, se observó que los principales cambios de uso del suelo, correspondieron a maíz, plátano, cacao y árboles frutales tales como naranja, mandarina, mango, entre otras. También se tiene en cuenta dos factores importantes como son las especies introducidas, en este caso la Teca (*Tectona grandis*) y la dominante Samán (*Samanea saman*) que se encuentran en los bordes del embalse.

Tabla N.º 1. Cambios de uso de suelo identificados en el embalse La Esperanza

Uso anterior	Uso actual	Microcuenca aportante
	Huertos familiares	Bejuco, Carrizal, Membrillo, Cañas
	Silvopastoriles	Bejuco, Carrizal, Membrillo, Cañas
Suelos Forestales (Bosques secundarios)	Cultivos agrícolas	Bejuco, Carrizal, Membrillo, Cañas
	Frutales	Bejuco, Carrizal, Membrillo, Cañas
	Cultivo comercial (Teca)	Bejuco, Carrizal, Cañas
	Establecimiento de viviendas	Bejuco, Carrizal, Membrillo, Cañas

Por lo tanto, de la recopilación de información realizada y de las visitas de observación hechas a la zona de estudio, se constató los cambios de usos del suelo, situación que se resumen a continuación:



Figura N.º 2. Proporción del cambio de uso de suelo en la microcuenca Carrizal.

En la microcuenca Carrizal, el cambio de uso de suelo fue del 50%

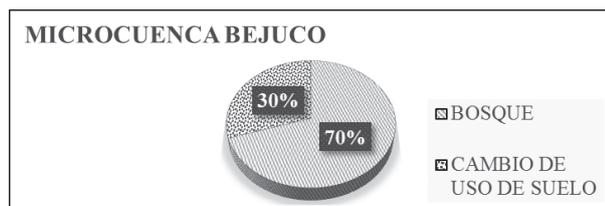


Figura N.º 3. Proporción del cambio de uso de suelo en la Microcuenca Bejuco.

En la microcuenca Bejuco, el cambio de uso de suelo resultó en un 70%.



Figura N.º 4. Proporción del cambio de uso de suelo en la Microcuenca Membrillo.

En la microcuenca Membrillo, la realidad es muy diferente que en Bejuco, ya que cambio de uso de suelo estuvo alrededor del 40% frente a un 60%, de bosques.

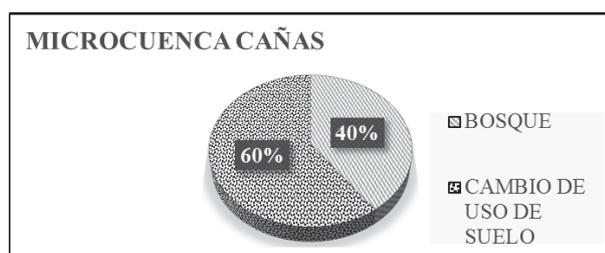


Figura N.º 5. Proporción del cambio de uso de suelo en la Microcuenca Cañas.

En la microcuenca Cañas, el cambio de uso de suelo es mayor que en Bejuco, con un total del 60% frente al 40% de suelo forestal, en esta zona el cambio de uso de suelo identificado fue el de pastoreo y arboricultura tropical.

En base a la información recopilada en instancias gubernamentales; los valores sobre la tasa de deforestación anual o el valor acumulado de la misma fluctúan de un

autor a otro, en el mismo Ministerio del Ambiente, existe documentación en que la deforestación anual va desde 75000 ha de USAID, a las 400000 ha según CLIRSEN, esto hasta el año 1990. Apoyados en los resultados expuestos en el documento: Línea Base de Deforestación del Ecuador Continental del MAE (2012), se tiene que la tasa de deforestación para el período 1990 – 2000, fue del 0,71%, que corresponde a 89944 ha/año, mientras que para el período 2000 – 2008, se redujo la tasa a 0,66%, que corresponde a 77647 ha/año que se convirtieron de bosques naturales a otros tipos de uso y cobertura. En el período 1990 – 2000, la mayor tasa de deforestación se registró en la región Costa, que tuvo una deforestación anual de 37967 ha/año, seguida por la Llanura Amazónica con 19768 ha/año. Para el período 2000-2008 al igual que el período anterior, la mayor tasa de deforestación se presentó en la región Costa con 25481 ha/año.

Teniendo como marco global lo expuesto y con los cruces de información de las imágenes satelitales por el cual se obtuvo el índice de vegetación en ArcGIS, a través de una clasificación no supervisada, se obtuvo que el índice de deforestación en la zona de estudio fue de 0,091% como lo demostraron los cálculos en función de los presentes parámetros:

Tabla N.º 2. Parámetros obtenidos para el cálculo de la tasa de deforestación en la zona de estudio.

Cálculo de la tasa de deforestación de la zona de estudio en el embalse La Esperanza		
Área de bosque inicial (ha)	A <sub>1</sub>	20864,06
Área de bosque final (ha)	A <sub>2</sub>	3225,07
Año inicial	t <sub>1</sub>	1995
Año final	t <sub>2</sub>	2014

De lo cual se concluyó que el índice de deforestación fue de 773,08 ha/año y la tasa de deforestación resultó un 0,091%, período comprendido de la investigación.

### 3.2. Volumen de azolvamiento del embalse “La Esperanza”, generado en el período 1995 – 2015

El volumen de sedimento del embalse analizados con los parámetros obtenidos de los sistema nacional de información del Ecuador (SNI) y calculados en la EUPS fueron:

$$A = (2345,957462) * (5,210648881) * (11668,24633) * (0,704872786) * (1,990533774)$$

A = 200123378,31m<sup>3</sup> equivalente a **200 Hm<sup>3</sup>** de sedimento (según ecuación universal de la pérdida del suelo)

En base a las curvas de nivel del embalse generadas en el programa Civilcad de Autocad mediante el ingreso de la nube de coordenadas realizada los días 16 y 17 de septiembre del 2015, se obtuvo:

Tabla N.º 3. Datos de volúmenes del embalse La Esperanza generadas a través de la opción Civilcad de Autocad.

Volumen a curvas de nivel	$V_{cn}$ (m <sup>3</sup> )	201238423,88
Volumen de las depresiones	VDT (m <sup>3</sup> )	25833103,36
Volumen de elevaciones	VE1 (m <sup>3</sup> )	2035425,96
Volumen inicial de la embalse	$V_i$ (m <sup>3</sup> )	425000000,00
Volumen actual embalse	$V_{actual}$ (m <sup>3</sup> )	225036101,28

Del cuadro anterior se aplicó la siguiente fórmula para obtener el volumen actual de agua con las curvas de nivel medidas:

$$V_{actual} = (201238423,88 \text{ m}^3 + 25833103,36 \text{ m}^3) - 2035425,96 \text{ m}^3$$

$$V_{actual} = 225036101,28 \text{ m}^3 \text{ equivalente a } 225,04 \text{ Hm}^3$$

Posteriormente se realizó una diferencia entre el volumen actual y el volumen inicial en la que entró en operación la presa:

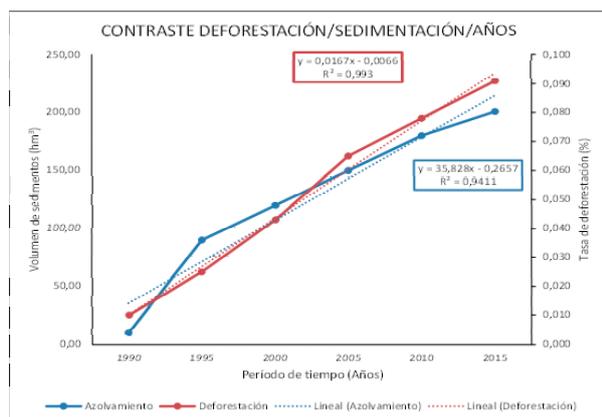


Figura N.º 6. Contraste entre los cambio de uso de suelo y el azolvamiento del embalse La Esperanza.

Se constató que el cambio de uso de suelo influye directamente en la cantidad de sedimentos que se depositan en el embalse y que dentro de esos cambios, la deforestación es la acción de mayor peso.

Según Rubio *et al.* (2005), el cambio de uso de suelo ha provocado la degradación y transformación de muchos ecosistemas en todo el mundo y las microcuencas aportantes al embalse “La Esperanza” no están excluidas de dichos cambios. La acción de las actividades agropecuarias en la zona son un factor importante de cambio, considerando que 81815,68 ha de suelo están dedicadas en un 70% a la arboricultura tropical y el 30% restante corresponde a bosque intervenido producto de la deforestación. En la zona de estudio comprendida entre las microcuencas aportantes al embalse, la deforestación estimada para el período 1994-2015 es de 733,08 ha/año o equivalente a un 0,091% anual. A esta situación se agrega otra igual de preocupante tal como lo considera Barrantes *et al.* (2010), en la cual se crean conflictos por los usos del suelo ya que la falta de cobertura vegetal en las

orillas del embalse, incide a que las partículas de suelo sean arrastradas por la acción del viento o de la escorrentía, siendo depositados en el embalse favoreciendo así el azolvamiento. Por otro lado, de los cálculos realizados con las variaciones de los volúmenes inicial y actual del embalse; y de la aplicación de la Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo, se obtuvo que el valor actual de la sedimentación en el embalse es de 200 Hm<sup>3</sup>, lo que representa aproximadamente el 50% de su capacidad inicial. Finalmente se contrastó, el volumen de los sedimentos con la tasa de deforestación, comprobándose así que los cambios de usos de suelo influyen significativamente en el azolvamiento del embalse “La Esperanza”.

#### IV. CONCLUSIONES

Los principales cambios en el uso del suelo que predominan en los márgenes del embalse “La Esperanza” fueron de suelos forestales secundarios por cultivos agrícolas y siembra de pasto para ganado.

En la microcuenca del Carrizal la proporción de uso de suelo fue 50% bosque y el 50% restante otros cultivos; en la microcuenca Bejuco la proporción resultó 70/30, para la microcuenca Membrillo resultó 60/40, mientras que la microcuenca de Cañas se concluyó en una proporción de 40/60.

La tasa de deforestación en la zona de estudios se estableció en 0,091% equivalente a 733,08 ha/año y el volumen de sedimentos del embalse La Esperanza alcanzó los 200 Hm<sup>3</sup> en el período en estudio.

Se constató que los cambios en los usos de suelo influyen significativamente en la cantidad de sedimentos que se depositan en el embalse La Esperanza.

#### V. AGRADECIMIENTOS

Se agradece a las autoridades de la Escuela Superior Politécnica Agronómica de Manabí Manuel Félix López por las facilidades brindadas en todo momento, a la Dra. Gladys Torres Ch. por el aporte científico, así como también al Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos por esta publicación.

#### VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barrantes, G., Chaves, H., Vinuesa, M. (2010). El bosque en el Ecuador. Una visión transformada para el desarrollo y la conservación. (En línea). EC. <http://comafors.org> (visitado 27-10-2014)
- Bernal, C. (2010). *Metodología de la Investigación*. Tercera edición Colombia 320 p. Formato PDF.
- Carnevale, N., Alzugaray, C., Di Leo, N. (2007). Estudio de la deforestación en la Cuña Boscosa santafesina mediante teledetección espacial. Quebracho – *Revista de Ciencias Forestales*, núm. 14. p: 47-56. Universidad Nacional de Santiago del Estero, Santiago del Estero. Argentina. <http://www.redalyc.org> (visitado 15-09-2015)

4. Cayuela, L. (2006). Deforestación y fragmentación de bosques tropicales montanos en los Altos de Chiapas, México. Efectos sobre la diversidad de árboles. Ecosistemas. p: 191-196. <http://www.redalyc.org> (visitado 08-01-2015)
5. Del Pilar, M., Días-Pardo, E., Gutiérrez-Hernández, A. (2011). Diagnóstico de la calidad del agua en un sistema de embalses de cascada, cuenca del río San Juan, Querétaro, México. Tecnologías y ciencias del Agua, vol. II, núm.3. julio-septiembre, p: 115-126. Instituto Mexicano de Tecnologías del Agua. Morelos, México. <http://www.redalyc.org> (visitado 08-01-2015)
6. García, J., Gutiérrez J., Pérez, J., Balderas, M. (2011). Cambio de Uso de suelo en una Microcuenca del Altiplano Mexicano. Papeles de Geografía, núm. 53-54, (2011), p: 125-135, Universidad de Murcia, España. Formato PDF. <http://www.redalyc.org> (visitado 05-01-2015)
7. Jiménez, O., Farías, H., Rodríguez, C.(2004). Procesos de Sedimentación en embalses en Ambientes Tropicales. Estudios de Casos en Costa Rica. (En línea). Costa Rica. Consultado el 3 de oct. 2014. Formato PDF.
8. MAE (Ministerio del Ambiente del Ecuador). (2012). *Línea Base de Deforestación del Ecuador Continental*, Quito-Ecuador. <http://simce.ambiente.gob.ec> (visitado 10-05-2016)
09. Montes-León, M., Uribe, E., García, E. (2011). Mapa Nacional de Erosión Potencial. Tecnología y Ciencias del Agua, vol. II, núm. 1, p: 5-17. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Morelos, México. <http://www.redalyc.org> (visitado 05-01-2015)
10. Rodríguez, F., Pompa-García, M., Juárez-Reyes, A. (2010). Patrón de distribución de la pérdida y recuperación vegetal en Durango, México. Avance en investigación agropecuaria, vol. 14, núm. 1. Enero-abril, p: 53-66. Universidad de Colima, México. <http://redalyc.uaemex.mx> (visitado 05-01-2015)
11. Rosete, F., Pérez, J., Bocco, G. (2007). Cambio de uso del suelo y vegetación en la Península de Baja California, México. (En línea). Consultado, 29 de oct. 2014. <http://www.scielo.org.mx> (visitado 29-10-2014)
12. Rubio, G., Schmook, B., Carvajal, I. (2005). Dinámica en el uso del suelo en tres ejidos cercanos a la ciudad de Chetumal, Quintana Roo. Formato PDF. Investigaciones geográficas, boletín del instituto de geografía, UNAM. <http://www.scielo.org.mx>
13. SENPLADES (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo). (2013). Plan Nacional de Desarrollo/ Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017. Quito, Ecuador. Primera edición, 11000 ejemplares. <http://documentos.senplades.gob.ec>
14. SNI (Sistema Nacional de Investigación). (2013). Plan de Descentralización y Ordenamiento Territorial de Manabí. Líneas estratégicas. <https://www.google.com.ec> (visitado el 13-01-2015)