



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ  
MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

**V EVENTO INTERNACIONAL LA UNIVERSIDAD EN EL SIGLO XXI**

**27, 28 de octubre, 2016**

**AZOLVAMIENTO DEL EMBALSE LA ESPERANZA MANABÍ-ECUADOR  
POR EL CAMBIO DE USO DE SUELO**

Francisco Javier Velásquez Intriago, José Manuel Calderón Pincay, Leonel  
Rolando Lucas Vidal, Flor María Cárdenas Guillén

**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 analizó 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 claves:** Categorías, análisis físicos, químicos y microbiológicos, usos, calidad de agua, río Carrizal.

## 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) menciona que la mayor parte de los cambios sucedidos en ecosistemas terrestres se debe a 3 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). La extracción del recurso forestal y la conversión de hábitat naturales, principalmente para el establecimiento de otros usos, ha conllevado procesos de erosión, desertización, deslizamientos, sedimentación y azolvamiento de las cuencas hidrográficas en sus secciones medias y bajas, y por ende en los embalses en ellas establecidas (Reyna, J. y Vélez, L. 2010).

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) menciona 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.

La falta de evaluación de 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 en la provincia de Manabí, las cuencas de los ríos Chone y Portoviejo; y alteraciones en los ciclos hidrológicos, que se ponen de manifiesto sobretodo en épocas invernales, cuando la provincia enfrenta inundaciones y deslaves (Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo - SENPLADES. 2010).

Para García (2010) la información sobre sedimentos permite también caracterizar las tasas de producción de forma espacial y temporal, así como su relación con los diferentes usos de la tierra y factores morfológicos y climáticos para una mayor comprensión de los procesos de erosión de suelos y sedimentación en la cuenca. Además, sirve de referencia para futuros estudios hidrológicos relacionados con el diseño de obras hidráulicas dentro o fuera de la cuenca.

## **DESARROLLO**

La presente investigación tuvo lugar en la zona central de la provincia de Manabí, (Anexo 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.

En esta investigación se utilizó información retrospectiva y prospectiva, con la cual se evaluó los cambios en el uso de suelo en la cuenca aportante y la cantidad de sedimentos producidos en el embalse "La Esperanza", durante el período 1995-2015, contrastando ambos datos entre sí en el periodo mencionado.

Se aplicó un tratamiento de imágenes satelitales (software ArcGIS versión 10.2.1), por medio del 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 presente en la zona de estudio, donde se analizaron los cambios en el uso del suelo y el azolvamiento en el embalse, 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 a La Esperanza. 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

A<sub>1</sub>: Superficie de bosque al inicio del período

A<sub>2</sub>: Superficie de bosque al final del período

t<sub>1</sub>: Año de inicio del período

t<sub>2</sub>: 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:

$$V_{actual} = (V_{cn} + VDT) - VE_1$$

$$V_{SED} = V_i - V_{actual}$$

Donde:

$V_{cn}$ : Volumen a Curvas de nivel

VDT: Volumen de las depresiones

$VE_1$ : Volumen de elevaciones

$V_i$ : Volumen inicial de la embalse

$V_{actual}$ : Volumen actual embalse

$V_{sed}$ : Volumen de sedimento

En 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, confirmándose en la gráfica obtenida la incidencia del cambio de uso de suelo en la producción de sedimentos dentro del embalse.

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 las visitas realizadas, 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 que es el Samán (*Samanea saman*) que se encuentran en los bordes del embalse (Anexo 2).

Por 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 refleja a continuación (Anexo 3):

- En la microcuenca Carrizal, el cambio de uso de suelo fue del 50%
- En la microcuenca Bejuco, el cambio de uso de suelo resultó en un 70%.
- 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.
- 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 se obtuvo el índice de vegetación en ArcGIS, a través de una clasificación no supervisada, cuyo valor de deforestación en la zona de estudio fue de 0,091% como lo demostraron los cálculos en función de los presentes parámetros:

$$R = \frac{20864,0604 - 3225,0745}{2014 - 1995} \quad R = 733,08 \text{ ha/año}$$

$$q = \left(\frac{3225,0745}{20864,0604}\right)^{1/(2014 - 1995)} - 1 \quad q = 0,091$$

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%, para el periodo comprendido de la investigación. El volumen de sedimento del embalse analizado con los parámetros obtenidos del Sistema Nacional de Información del Ecuador (SNI) y calculados en la EUPS fue:

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

**A = 200123378,31m<sup>3</sup> equivalente a 200 Hm<sup>3</sup> de sedimento** (según la 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 obtuvieron datos para la aplicación de la fórmula, los cuales se reflejan en la tabla N°2 (Anexo 4).

En base a la tabla N° 3 (Anexo 5) se aplicó la siguiente fórmula para obtener el volumen actual de agua con las curvas de nivel medidas:

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



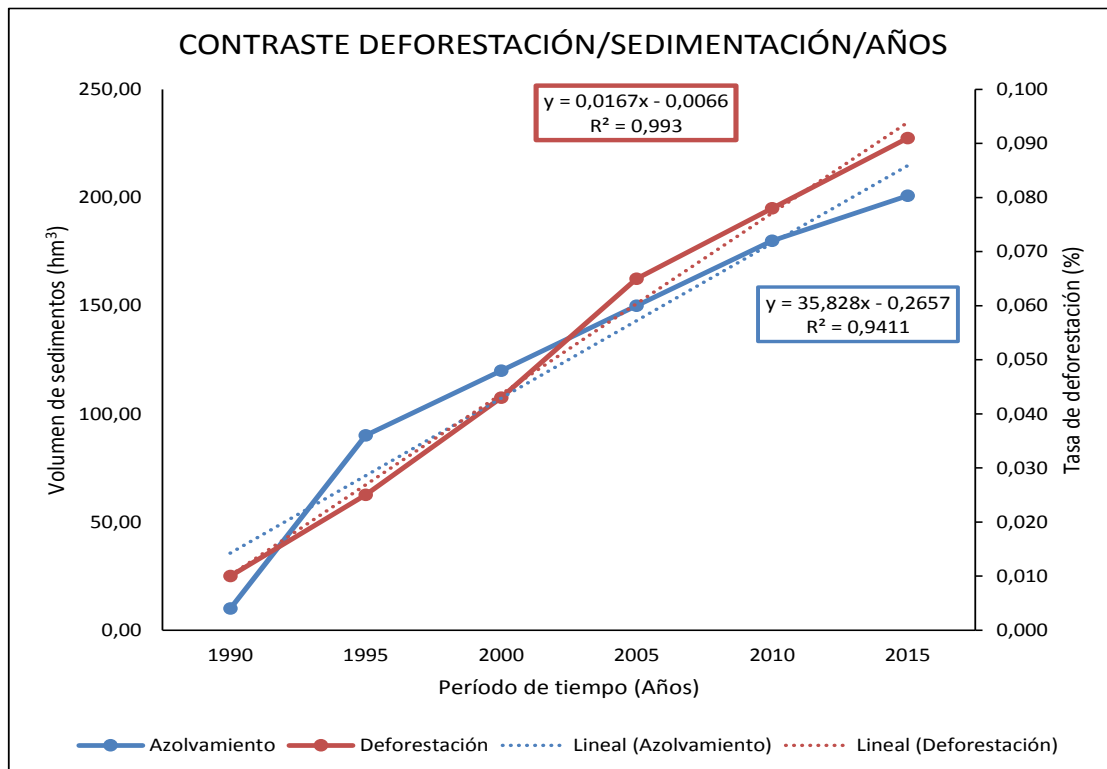
$$V_{\text{actual}} = 225036101,28 \text{ m}^3 \text{ equivalente a } 225,04 \text{ Hm}^3$$

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

$$V_{\text{SED}} = 425000000,00 \text{ m}^3 - 225036101,28 \text{ m}^3$$

$V_{\text{SED}} = 199963898,72 \text{ m}^3$  equivalente a **200 Hm<sup>3</sup> de sedimentos** (según batimetría)

La información obtenida de las variables en estudio se contrastó a través del cruce de las líneas que se obtuvo en el programa SPSS, en el que se interrelacionó el período de años, tasa de deforestación y volumen de sedimentos.



**Figura Nº 2.** Contraste entre los cambios 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.

## **CONCLUSIONES**

Los principales cambios en el uso del suelo que predominan en los márgenes del embalse "La Esperanza" fueron los de suelos forestales a 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 en cultivos de varios tipos; en la microcuenca Bejuco la proporción resultó 70/30, para la microcuenca Membrillo fue de 60/40, mientras que la microcuenca de Cañas el cambio fue de una proporción de 40/60.

La tasa de deforestación en la zona de estudio 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.

## **RECOMENDACIONES**

Se mantengan los márgenes del embalse por sobre la cota 66, protegidos con especies forestales que protejan y retengan el suelo, de preferencia especies nativas de la zona o especies de recarga hídrica.

Se realicen estudios más profundos de la sedimentación del embalse para prolongar la vida útil del mismo, sabiendo que su tasa de azolvamiento actual es del 50%.

Se transmita considerablemente en todos los niveles, la información generada de esta investigación a otras instituciones y centros de educación superior, para su conocimiento y utilización en líneas de investigación aplicadas a esta temática.

Se emplee el mapa de capacidad de uso de las tierras del cantón Bolívar generado por la SENPLADES, MAGAP, Instituto Espacial Ecuatoriano y el Ministerio de Defensa Nacional, para planificar el territorio en cuanto al uso agropecuario, aprovechamiento forestal o con fines de conservación, sin ocasionar cambios de usos del suelo que sean perjudiciales a largo plazo.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Bernal, C. 2010. Metodología de la Investigación. Tercera edición Colombia 320p. 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. pp. 47-56. Universidad Nacional de Santiago del Estero, Santiago del Estero. Argentina. Consultado, 15 de sept. 2015. Formato PDF. Disponible en: <http://www.redalyc.org>

Cayuela, L. 2006. Deforestación y fragmentación de bosques tropicales montanos en los Altos de Chiapas, México. Efectos sobre la diversidad de árboles. Ecosistemas. 2006/3 191-196. Formato PDF. Consultado el 08 de enero. 2015. Disponible en: <http://www.redalyc.org>

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, pp. 115-126. Instituto Mexicano de Tecnologías del Agua. Morelos, México. Formato PDF. Consultado el 08 de enero. 2015. Disponible en: <http://www.redalyc.org>

García, J. A.; Gutiérrez J. G.; Pérez, J. I.; Balderas, M. A. 2011. Cambio de Uso de suelo en una Microcuenca del Altiplano Mexicano. Papeles de Geografía, núm. 53-54, 2011, pp. 125-135, Universidad de Murcia, España. Formato PDF. Consultado el 05 de enero. 2015. Disponible en: <http://www.redalyc.org>

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.

MAE (Ministerio del Ambiente del Ecuador). 2012. Línea Base de Deforestación del Ecuador Continental, Quito-Ecuador. Consultado el 10 de mayo del 2013. Formato PDF. Disponible en <http://simce.ambiente.gob.ec>

Montes-León, M.; Uribe, E.; García, E. 2011. Mapa Nacional de Erosión Potencial. Tecnología y Ciencias del Agua, vol. II, núm. 1, pp. 5-17. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Morelos, México. Formato PDF. Consultado el 05 de enero. 2015. Disponible en: <http://www.redalyc.org>

Reyna, J. y Vélez, L. 2010. Diseño de una máquina automatizada para producción de plantas agroforestales. Tesis. Ing. Agrícola. UTM. Portoviejo – Manabí, EC. p 28. Formato PDF. Disponible en: <http://repositorio.utm.edu.ec>

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, pp. 53-66. Universidad de Colima, México. Formato PDF. Consultado el 05 de enero. 2015. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx>

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. Formato HTML. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx>

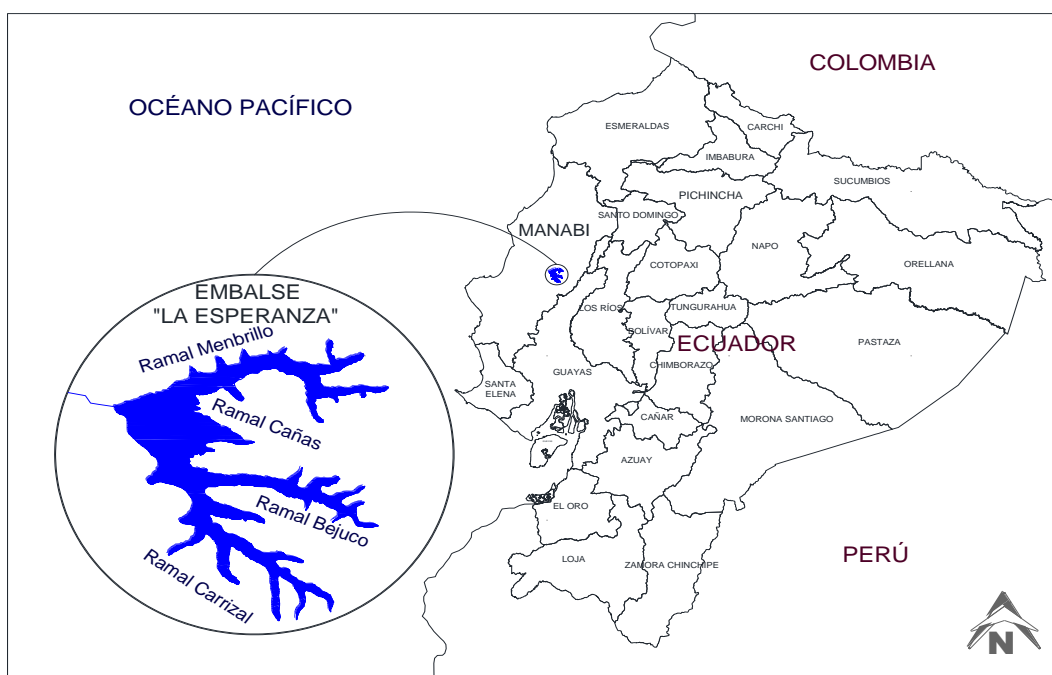
Rubio, G, Schmook, B. Carvajal, I. 2005. Dinámica en el uso del suelo en tres ejidos cercanos a la ciudad de Chetumal, Quintana Roo. Formato PDF. Investigaciones geográficas, boletín del instituto de geografía, UNAM. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx>

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. En formato PDF. Disponible en <http://documentos.senplades.gob.ec>

SNI (Sistema Nacional de Investigación). 2013. Plan de Descentralización y Ordenamiento Territorial de Manabí. Líneas estratégicas. En línea. En formato Word. Consultado el 13 de enero del 2015. Disponible en <https://www.google.com.ec>

## ANEXOS

**Anexo 1. Figura N° 1. Ubicación del embalse "La Esperanza"**

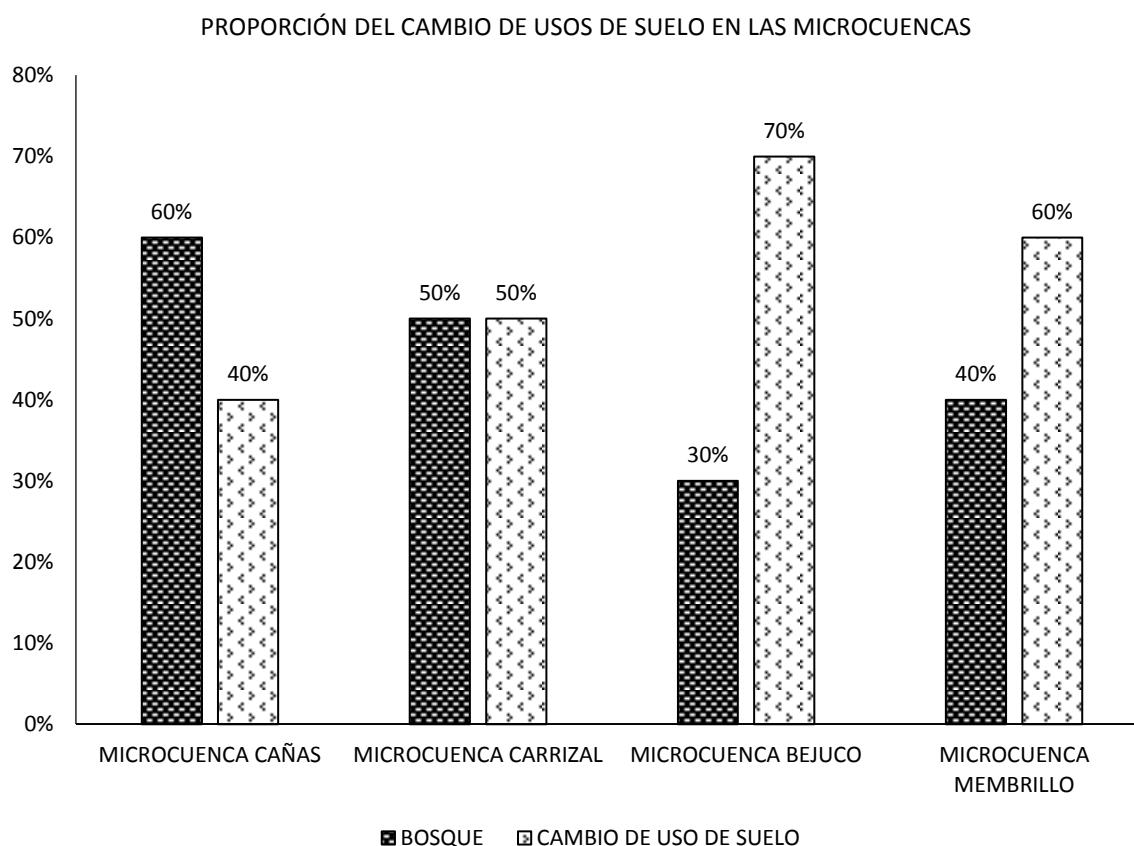


**Anexo 2. Tabla N° 1. Cambios de uso de suelo identificados en el embalse La Esperanza**

### Cambios de uso de suelo identificados en las microcuencas aportantes al embalse

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

**Anexo 3. Figura N° 2.** Proporción del cambio de uso de suelo en las Microcuencas aportantes al embalse la Esperanza.



**Anexo 4. Tabla N° 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)	$A_1$	20864,06
Área de bosque final (ha)	$A_2$	3225,07
Año inicial	$t_1$	1995
Año final	$t_2$	2014

**Anexo 5. Tabla N° 3.** Datos de volúmenes del embalse La Esperanza generadas a través de la opción Civilcad de Autocad.

<b>Volumen a Curvas de nivel</b>	$V_{cn} \text{ (m}^3\text{)}$	201238423,88
<b>Volumen de las depresiones</b>	$V_{DT} \text{ (m}^3\text{)}$	25833103,36
<b>Volumen de elevaciones</b>	$VE1 \text{ (m}^3\text{)}$	2035425,96
<b>Volumen inicial de la embalse</b>	$V_i \text{ (m}^3\text{)}$	425000000,00
<b>Volumen Actual embalse</b>	$V_{actual} \text{ (m}^3\text{)}$	225036101,28