

Uso de sistemas de información geográfica para determinar pérdida de bosque y suelo de las nacientes administradas por acueductos rurales de la Zona Huetar Norte, Costa Rica.

Using GIS to determine forest and land loss around water springs administered by rural aqueducts in the Northern Zone of Costa Rica

Alfonso Navarro-Garro¹, Freddy Araya-Rodríguez², Cristian Moreira-Segura³, Keren Ruiz-Agüero⁴

Fecha de recepción: 26 de junio de 2016
Fecha de aprobación: 8 de octubre de 2016

Navarro-Garro, A; Araya-Rodríguez, F; Moreira-Segura, C; Ruiz-Agüero, K. Uso de sistemas de información geográfica para determinar pérdida de bosque y suelo de las nacientes administradas por acueductos rurales de la Zona Huetar Norte, Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 30-2. Abril-Junio 2017. Pág 75-86.

DOI: 10.18845/tm.v30i2.3199



- 1 Ingeniero en Seguridad Laboral e Higiene Ambiental. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Seguridad Laboral e Higiene Ambiental. Costa Rica. Correo electrónico: alnavarro@itcr.ac.cr.
- 2 Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: freddyaraya1966@gmail.com
- 3 Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: cristianmoreiras@gmail.com
- 4 Instituto Tecnológico de Costa Rica. Correo electrónico: kerenruiza@gmail.com

Palabras clave

Sistemas de información Geográfica; pérdida de bosque; pérdida de suelo.

Resumen

En Costa Rica el suministro de agua para la población rural está dado mayoritariamente por las Asociaciones Administradoras de los Acueductos y Alcantarillado (ASADAS).

Con el levantamiento espacial de las nacientes mediante un Sistema de Información Geográfica (GIS), además de realizar cálculos para determinar pérdida de bosque y suelo mediante las fórmulas Puyravaud (2003) y Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE), durante el periodo 1997 al 2012. Este proceso realizado en un radio de 200 metros a la redonda de la naciente. Con estos procesos se determina la cobertura boscosa y la erosión en la superficie que rodea la naciente.

En la naciente denominada Caimitos y San Francisco, para el año 1997 la cobertura en los 200 metros a la redonda, era un superficie deforestada, contando con 12.3 hectáreas, lo cual se mantuvo en la misma condición para el año 2012, esta condición genera pérdidas de suelo importante para la naciente calculadas en 12.28 toneladas por hectárea por año, esto se clasifica como una erosión ligera, sin embargo hay nacientes que muestran erosión moderada, severa y muy severa.

La determinación de pérdida de bosque y erosión, junto con la elaboración de mapas y los de Sistemas de Información Geográfica (SIG), permiten establecer el comportamiento del bosque y la erosión, mediante modelados espaciales.

Keywords

Geographic information systems; forest loss; soil loss.

Abstract

In Costa Rica, the water supply for rural population is mainly provided by the Rural Water Management Boards (ASADAS).

With the location of the water springs, calculations are performed to determine forest and soil loss by using Puyravaud formula (2003) and Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) during the period 1997 to 2012. This process was conducted within 200 meter radius from the water spring. With these processes it was determined the erosion on the surface surrounding the water spring and reinforced its functions as a buffer zone to natural and manmade phenomena.

In the water spring called Caimitos and San Francisco in the 1997 coverage in the 200 meter radius, was a deforested area, with 12.3 hectares, which remained in the same condition to the year 2012, this condition generates important soil losses for the water spring calculated in 12.28 tons per hectare per year. This amount is classified as slight erosion; however there are emerging areas that show moderate, severe and very severe erosion.

The determination of forest loss and erosion along with mapping, also using geographic information systems (GIS), allow setting the behavior of the forest and erosion through spatial modeling.

Introducción

En Costa Rica el suministro de agua para el consumo humano, está dado en un 30% por las Asociaciones Administradoras de los Sistemas de Acueductos y Alcantarillado (ASADAS), [1].

Estas asociaciones tienen una legislación limitada, que no les permite conocer su condición en cuanto a bosques y suelos para la toma de decisiones en la protección y asignación del recurso hídrico [2].

Estas condiciones se desarrollan a menos de 200 metros de las nacientes, haciéndolas vulnerables a los diferentes eventos antropogénicos y naturales, generando la pérdida de bosque, suelo y generando erosión [3].

La problemática de los suelos en Costa Rica, se centra en la gran pérdida de las zonas boscosas, por consiguiente una disminución de la fertilidad. Ya para 1994, la degradación equivalía al 7,7 por ciento del producto interno bruto [3].

El proceso de deforestación debe ser controlado dado que la tasa de consumo no debe ser mayor que la tasa de regeneración natural, de lo contrario se entra en procesos de deterioro ambiental [4].

Las pérdidas de bosque y suelo también se ven afectadas por variables tales como, precipitación, pendiente del terreno, distancia y recorrido del agua de lluvia, evolución fisiológica de la corteza terrestre, situación considerada crítica dado el deterioro ambiental que generan. Ambas situaciones de bosque y suelo se abordan mediante los SIG, con el objetivo de analizar y buscar entender los diferentes fenómenos desde un punto de vista espacial y la variación del medio ambiente.

La pérdida de bosque se aborda haciendo uso de la fórmula denominada Tasa Estandarizada de Puyravaud (2003), con la cual se determina un porcentaje de cambio en la zona de estudio [5].

Para la pérdida de suelo se hace uso de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE) (Renard, 1997), para determinar la erosión hídrica laminar y en surcos. Con estas metodologías, el modelaje de datos y mapas temáticos, se busca dar una propuesta para la toma de decisiones y solución de una serie de problemas ambientales [6].

Material y métodos

El análisis se inicia con un acercamiento ante las diferentes organizaciones locales administradoras del recurso hídrico para el consumo humano, con el fin de abordar la problemática del agua y específicamente los aspectos de bosque y suelo de las áreas de protección de las nacientes. Identificadas y seleccionadas las ASADAS, mediante la selección de una muestra estadística, aplicando el método de muestra sin ajustar (n'), correspondiente a la siguiente expresión:

$$n' = \frac{S^2}{V^2}$$

Una vez hecha la selección, se geo-referencia espacialmente cada una de las nacientes, además se debe procesar la información, haciendo uso de SIG. Esto con el fin de establecer las áreas forestales y no forestales, al entorno de cada una de las diferentes nacientes.

Para el procesamiento y elaboración de mapas temáticos, mediante el uso del software Quantum GIS (Q GIS 2.6), el Atlas 2008 y 2014 [7]. Además de fotografías aéreas Carta 2003

y 2005 [8]. Estos procesos se realizaron bajo el Sistema de Referencia CR05 y la Proyección Transversal de Mercator para Costa Rica CRTM05 [7].

Para lo cual se establece trabajar en un radio de 200 metros a la redonda de la naciente, teniendo en cuenta el Manual de Buenas Prácticas Ambientales, emitido por el Tribunal Ambiental Administrativo [9]. Además de lo contemplado en la ley Forestal 7575 y el Reglamento a la ley forestal [10].

Una vez determinada el área de estudio se desarrolla la fórmula Tasa Anual de Pérdida de Bosque para las ASADAS en estudio, representada por la siguiente expresión:

$$r = \frac{1}{(t_2 - t_1)} \times \ln\left(\frac{A_2}{A_1}\right) \quad [11].$$

Haciendo uso del atlas 2008 y 2012 se determinó la cobertura forestal para 1997 y para la cobertura forestal del 2012, se usa la capa forestal denominada tipos de bosque 2012 CRTM05, con este proceso se determina el área forestal y no forestal para el año 1997 y el 2012 respectivamente, determinándose las hectáreas alrededor de la naciente.

En cuanto a la pérdida de suelo se aplica la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisado (RUSLE), representada por la siguiente expresión: $A = R \times K \times LS \times C \times P$

Cabe aclarar que este método se está aplicando a una zona no agrícola por lo que la variable Factor de prácticas de conservación P se le asigna un valor de 1.

Resultados

El proceso da inicio con la participación de representantes locales del Ministerio de Salud, la Caja Costarricense de Seguro Social, la Municipalidad de San Carlos y las ASADAS. Una vez conocidas las ASADAS participantes, se aplica el estadístico de muestra no ajustada para determinar el tamaño de la muestra de 220 organizaciones, resultando una muestra sin ajustar de $n' = 19$ y una muestra ajustada de $n = 17.49$ ASADAS ≈ 18 .

Seleccionado el número de muestra, se debió seleccionar las organizaciones participantes. Para lo cual se debía contar con al menos una naciente administrada por la ASADA, dado que el proceso estaba enfocado a las nacientes, esto hizo que algunas organizaciones interesadas no se tomaran en cuenta dentro de la muestra dado que no contaban con una naciente propia.

Determinada la muestra y sus participantes, se procedió al levantamiento espacial de las diferentes nacientes, haciendo uso de GPS para su ubicación en la Región Huetar Norte, de Costa Rica. En el cuadro 1 que se da a continuación se muestra cada una de las nacientes correspondientes a cada, ASADA bajo las coordenadas X – Y para ser procesadas, haciendo uso de los SIG (ver cuadro 1).

El proceso generado se realizó para todas las 18 nacientes en estudio, mediante mapas temáticos, con Buffers de 200m a la redonda. Tomando las capas del Atlas Costa Rica 2008 y 2012. El proceso se inició con la capa de cobertura 1997 contenida en el Atlas 2008 con la cual se determinó la cantidad de bosque o área forestal (bosque primario y secundario) y no forestal (potreros, pastizales, actividades urbanas, agrícolas y ganaderas), generando el siguiente modelo cartográfico que se muestra a continuación en la figura 1.

Cuadro 1. Ubicación espacial en coordenadas X / Y de cada una de las nacientes según ASADA de la Zona Huetar Norte, Costa Rica.

Asada	Coordenada x	Coordenada y	Observaciones
Aguas Zarcas	455233	1140141	Naciente
Boca Arenal	453960	1152457	Naciente
Caimitos y San Francisco	450905	1146242	Naciente
Cedral Dulcenombre	455177	1140115	Naciente
Cuestillas Ron Ron	448376	1143804	Naciente
El Parque	427085	1211167	Naciente
Florencia	450973	1145983	Naciente
La Abundancia	451298	1141067	Naciente
La Lucha La Vega	449397	1144264	Naciente
Muelle	452534	1152258	Naciente
Pavon	433071	1197228	Naciente
Penjamo	447859	1142821	Naciente
Pitalito	464052	1145490	Naciente
Platanar	453768	1152423	Naciente
San Francisco La Palmera	458705	1145808	Naciente
San Jose La Gloria	460518	1151796	Naciente
Santa Fe	455209	1141867	Naciente
Santa Clara	507129	1088471	Naciente

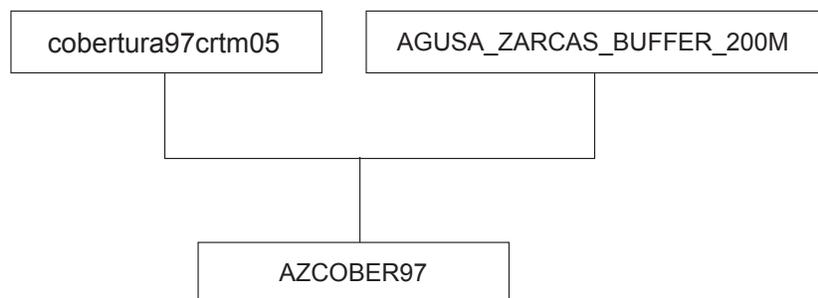


Figura 1. Modelo cartográfico forestal y no forestal para 1997

Paralelamente se generó el modelo para el año 2012, el cual es un tanto similar al anterior, solamente que haciendo uso de datos del año 2012, en donde se determina la cobertura forestal y no forestal para dicho año, modelo que se muestra en la figura 2.

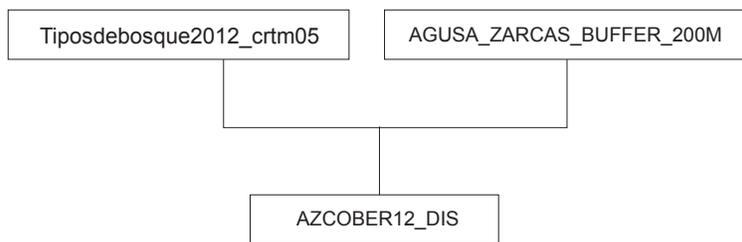


Figura 2. Modelo cartográfico forestal y no forestal para el 2012.

Con estos dos procesos para 1997 y 2012 se logró determinar el área forestal y no forestal a lo largo de este periodo, necesario para determinar el proceso de Tasa Anual de Pérdida de Bosque, (Puyravaud 2003), representada por la expresión.

$$r = \frac{1}{(t_2 - t_1)} \times \text{Ln} \frac{A_2}{A_1}$$

Este proceso permitió obtener datos tales como área forestal y no forestal, en hectáreas, para las zonas de protección de todas las nacientes en estudio, en el cuadro 2 se da una muestra de dicho calculo.

Cuadro 2. Cobertura forestal y no forestal según año para la naciente de la ASADA Aguas Zarcas.

Cobertura	Año	
	1997 /Hectáreas	2012/Hectáreas
Forestal	5.84	9.78
No Forestal	6.52	2.58

Determinadas cada una de las áreas, se procede a obtener la Tasa Porcentual de Cambio del área forestal, según [11] para dicho periodo, la información resultante se muestra en el cuadro 3.

Determinada la Tasa Porcentual de Cambio de bosque, 1997 y 2012, se calcula la pérdida de suelo mediante la RUSLE. Generando un proceso en el software Q GIS 2.6, utilizando en primera instancia la ubicación de la naciente y denominada PUNTO_CENTRAL_AGUAS_ZARCAS, posteriormente se creó el buffer de 200 metros de radio a la redonda del punto central, que corresponde a la naciente, en este caso se seleccionó Aguas Zarcas como uno de los procesos desarrollados para cada una de las nacientes según ASADA. La utilización de orto-fotos de Costa Rica, permite ubicar la cobertura forestal del lugar, en la cual se muestran las áreas forestales y no forestales, las cuales fueron digitalizadas en una capa (ver figura número 5).

Haciendo uso del SIG se determina las variables correspondientes a la ecuación RUSLE, la cual se muestra en el cuadro 4 [13].

Integrados los diferentes factores se obtiene un resultado de la erosión de las diferentes superficies analizadas en toneladas por hectáreas por año (t/h/a), también se clasifica la erosión en términos de, Ligera si la pérdida está entre 0 a 10 t/h/a, Moderada entre 10 a 50 t/h/a, Severa entre 50 a 200 t/h/a y Muy Severa con > 200 t/h/a.

Cuadro 3. Cobertura forestal y no forestal según año para cada una de las nacientes de las ASADAS en estudio.

Nombre de la naciente	Año					Tasa % de cambio
	1997		2012			
	Forestal	No forestal	Forestal	No forestal	Nubes	
Caimitos y San Francisco	0	12.36	0	12.36	0	0
Cedral Dulcemombre	3.351	9.009	5.867	6.493	0	0.03733897
Aguas Zarcas	5.84	6.52	9.7849	2.5758	0	0.03440731
Boca Arenal	8.36	4	11.0541	1.3066	0	0.01862286
Cuestillas Ron Ron	12.36	0	11.482	0.879	0	-0.00491232
Florencia1	2.64	9.72	4.0384	8.3223	0	0.02833798
La Abundancia	0.0636	12.2971	3.5425	8.8182	0	0.2679983
La Lucha La Vega	9.63	2.73	10.5604	1.8002	0	0.00614853
Muelle	7.92	4.44	9.5737	2.7869	0	0.0126419
Pavon	1.06	11.3	6.6435	4.2442	1.4728	0.122358
Penjamo	12.361	0	12.361	0	0	0
Pitalito	5.77	6.59	9.7689	2.5917	0	0.03510212
Platanar	10.43	1.93	11.939	0.4216	0	0.00900827
San Francisco La Palmera	0.63	11.73	6.3311	6.0296	0	0.15383396
San Jose La Gloria	1.48	10.88	6.4066	5.954	0	0.09768577
Santa Fe	11.05	1.31	10.894	1.4666	0	-0.00094788
Santa Clara	3.26	9.1	5.9132	6.4475	0	0.03969733
La Vieja	12.05	0.31	11.6581	0.7026	0	-0.00220423

Cuadro 4. Determinación de las variables de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (RUSLE) Aguas Zarcas.

Cobertura	Orden	Gran grup	Caract terr	Hectares	C	Ls	K	R	A	Clase	Erosión total
Bosque	Inceptisoles	Moderadamen	Moderadamen	0.34	0.00300	5.62000	0.16000	432.60000	1.16698	Ligera	0.35476
Pasto	Inceptisoles	Moderadamen	Moderadamen	0.22	0.01000	5.62000	0.16000	432.60000	3.88994	Ligera	0.85579
Pasto	Inceptisoles	Moderadamen	Moderadamen	1.438	0.01000	5.62000	0.16000	432.60000	3.88994	Ligera	5.59373
Pasto	Inceptisoles	Moderadamen	Moderadamen	3.79	0.01000	5.62000	0.16000	432.60000	3.88994	Ligera	14.74287
Bosque	Inceptisoles	Moderadamen	Moderadamen	6.609	0.00300	5.62000	0.16000	432.60000	1.16698	Ligera	7.71257

En el cuadro 5 que se da a continuación, se determinan la pérdida de suelo en toneladas por hectárea por año (t/ha/año), para cada una de las zonas de protección.

Cuadro 5. Pérdida de suelo según área de estudio

Naciente	Pérdida De Suelo (A) T/Ha/Año
Caimitos Y Sanfrancisco	12.27632
Cedral Dulcemombre	13.82049
Aguas Zarcas	14.00378
Boca Arenal	6.79783
Cuestillas Ron Ron	6.13816
Florencia1	789.92818
La Abundancia	11.22918
La Lucha La Vega	6.58034
Muelle	6.13816
Pavon	3.58309
Penjamo	1.4165
Pitalito	24.11238
Platanar	10.85982
San Francisco La Palmera	407.92986
San Jose La Gloria	26.92988
Santa Fe	7.00533
Santa Clara	396.0935
La Vieja	15.97441

Determinada la pérdida de suelo, se analizan los datos de forma comparativa en el cuadro 6, en la cual se muestra, que a mayor pérdida de bosque mayor pérdida de suelo, claro está, que algunas nacientes han recuperado bosque, pero siempre tienen una buena cantidad de pérdida de suelo, dado que algunas áreas se encuentran desprotegidas de bosque en ambos periodos del estudio.

Las pruebas realizadas fueron la determinación de la función generadora de momentos, basada en la similitud de la media, moda y la mediana, otras fueron, la prueba de curtosis, asimetría, máximos y mínimos, además del gráfico comparativo de una distribución normal, ver cuadro 7.

En cuanto a la asimetría de los datos, se dice que estos son asimétricos cuando los mismos se encuentran distribuidos asimétricamente respecto a la media, en este caso son mayores a cero lo que indica que los datos se agrupan a la derecha de una curva normal.

Cuadro 6. Comparación de resultados entre la tasa porcentual de cambio pérdida de bosque y pérdida de suelo.

Nombre de la naciente	Año					Tasa % de cambio en el tiempo cobertura forestal	Pérdida Suelo t/ha/año
	1997		2012				
	Forestal ha	No forestal ha	Forestal ha	No forestal ha	Nubes ha		
Caimitos y Sanfrancisco	0	12.36	0	12.36	0	0	12.27632
Cedral Dulcenombre	3.351	9.009	5.867	6.493	0	0.037339	13.82049
Aguas Zarcas	5.84	6.52	9.7849	2.5758	0	0.0344073	14.00378
Boca Arenal	8.36	4	11.0541	1.3066	0	0.0186229	6.79783
Cuestillas Ron Ron	12.36	0	11.482	0.879	0	-0.0049123	6.13816
Florencia1	2.64	9.72	4.0384	8.3223	0	0.028338	789.92818
La Abundancia	0.0636	12.2971	3.5425	8.8182	0	0.2679983	11.22918
La Lucha La Vega	9.63	2.73	10.5604	1.8002	0	0.0061485	6.58034
Muelle	7.92	4.44	9.5737	2.7869	0	0.0126419	6.13816
Pavon	1.06	11.3	6.6435	4.2442	1.4728	0.122358	3.58309
Penjamo	12.36	0	12.36	0	0	0	1.4165
Pitalito	5.77	6.59	9.7689	2.5917	0	0.0351021	24.11238
Platanar	10.43	1.93	11.939	0.4216	0	0.0090083	10.85982
San Francisco La Palmera	0.63	11.73	6.3311	6.0296	0	0.153834	407.92986
San Jose La Gloria	1.48	10.88	6.4066	5.954	0	0.0976858	26.92988
Santa Fe	11.05	1.31	10.894	1.4666	0	-0.0009479	7.00533
Santa Clara	3.26	9.1	5.9132	6.4475	0	0.0396973	396.0935
La Vieja	12.05	0.31	11.6581	7026	0	-0.0022042	15.97441

Cuadro. 7 Determinación de la normalidad de los datos usando las diferentes pruebas estadísticas.

Datos	Media	Moda	Mediana	Curtosis = 3	Asimetría
Tasa% de Cambio bosque	0.0475	0.0000	0.0235	4.7487	2.1372
Pérdida de suelo	97.8231	6.1382	11.7527	6.3027	2.5565

También se realizaron otras pruebas como el coeficiente de correlación de PERSON, resultando 0,0981, lo cual no es significativo, por lo tanto el coeficiente es igual a cero, en este caso según el estadístico las dos variables no están correlacionadas linealmente. Lo cual indica que los datos de ambas variables no son normales.

En vista de los resultados anteriores, se efectuó el análisis de correlación de SPEARMAN, para datos no normales, generando un coeficiente de correlación de 0,4101, el cual resulta significativo al 10%, lo que indica que las dos variables están correlacionadas positivamente.

Discusión

La Ecuación Tasa Anual de Pérdida de Bosque Puyravaud 2003, determina la proporción de bosque existente en un área espacial durante un periodo de tiempo determinado, en este caso para los años 1997 y 2012, sin embargo el proceso muestra que los cambios son muy variados entre una y otra área en donde se encuentran las nacientes. Hay áreas en las cuales las nacientes recuperan bosque, tal es el caso de Cedral Dulcenombre, Aguas Zarcas y Boca Arenal, por el contrario otras pierden bosque, tales como San Francisco la Palmera, Santa Fe y Cuestillas Ron Ron. Solamente la naciente de Pénjamo mantiene un área forestal similar al inicio y al final del periodo.

Con la aplicación de la ecuación Puyravaud 2003, además con el uso de SIG apoyado del Atlas 2008 y 2012 y haciendo uso de las capas del periodo 1997 y 2012, también se logra establecer las proporciones de superficie forestal y no forestal, dentro de los 200 metros en que se hace el análisis. En las figuras 3 y 4 se muestran las capas con la cantidad de bosque o cobertura forestal y no forestal para el año 1997 y el 2012 respectivamente.

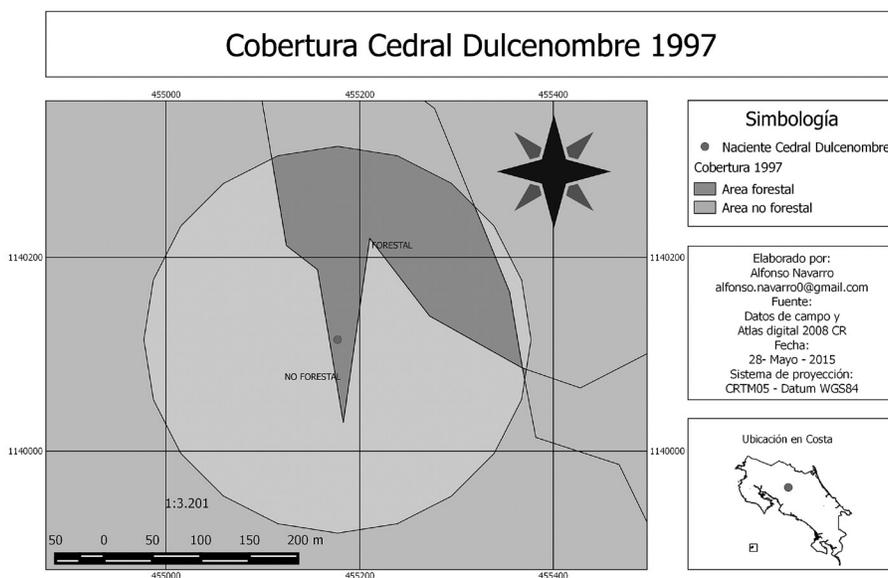


Figura 3. Superficie forestal y no forestal para el período 1997

En las figuras 4 y 5 se muestra una marcada diferencia de la cobertura forestal y las no forestales de un periodo a otro, estas coberturas están dadas en hectáreas, también mediante los SIG se puede apreciar en los mapas, los cambios de ubicación de dichas áreas boscosas. Estas zonas varían con el tiempo, en donde un periodo no era bosque, ahora sí lo es y viceversa.

Si bien se determina la condición forestal y no forestal de estas áreas en estudio, también se hace una determinación de la pérdida del suelo, haciendo uso de la ecuación RUSLE, con la cual se determina la pérdida del suelo en las mismas áreas donde se pierde bosque. Para la naciente de la ASADA Pénjamo se determinan una pérdida de suelo de 1.4165 toneladas por hectárea por año (t/h/a).

A diferencia de la ASADA Florencia, en la cual se determinan 789.9282 toneladas por hectárea por año, está perdida varia de una naciente a otra, registrándose perdidas de suelos que van desde los 3.58309 t/h/a, Pavón, 6.7978 t/h/a, Boca Arenal, 14.003 t/h/a, Aguas Zarcas 24.1123

t/h/a, Pitalito 407.9298 t/h/a, San Francisco La Palmera, en los cuadros 5 y 6 se registran cada uno de los valores determinados para estos procesos de erosión.

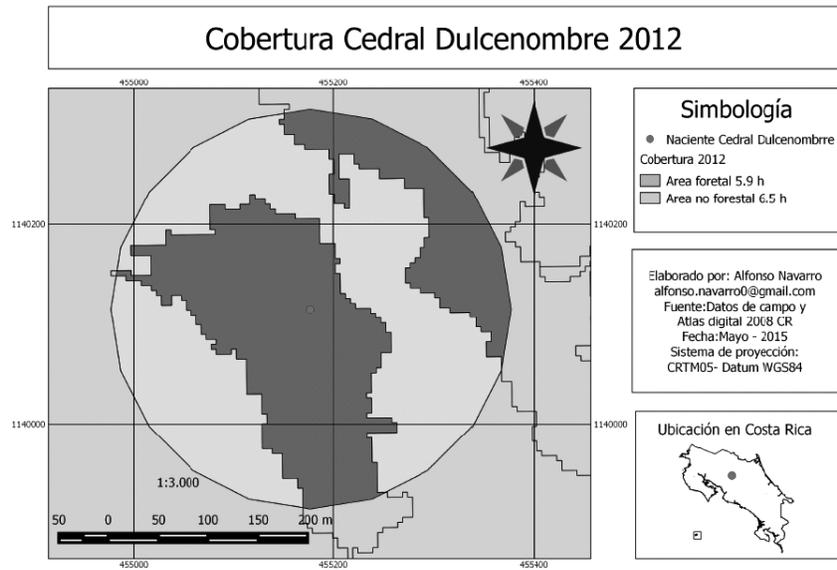


Figura 4. Superficie forestal y no forestal para el período 2012

La determinación de la pérdida de suelo, se relaciona con la pendiente del lugar, el tipo de suelo, además de la distancia y la precipitación que se genera a nivel local. Estos procesos se determinan no solo por la ecuación RUSLE, también se determina con la elaboración de mapas en los cuales se ubica espacialmente las áreas afectadas por la erosión (ver figura 5).

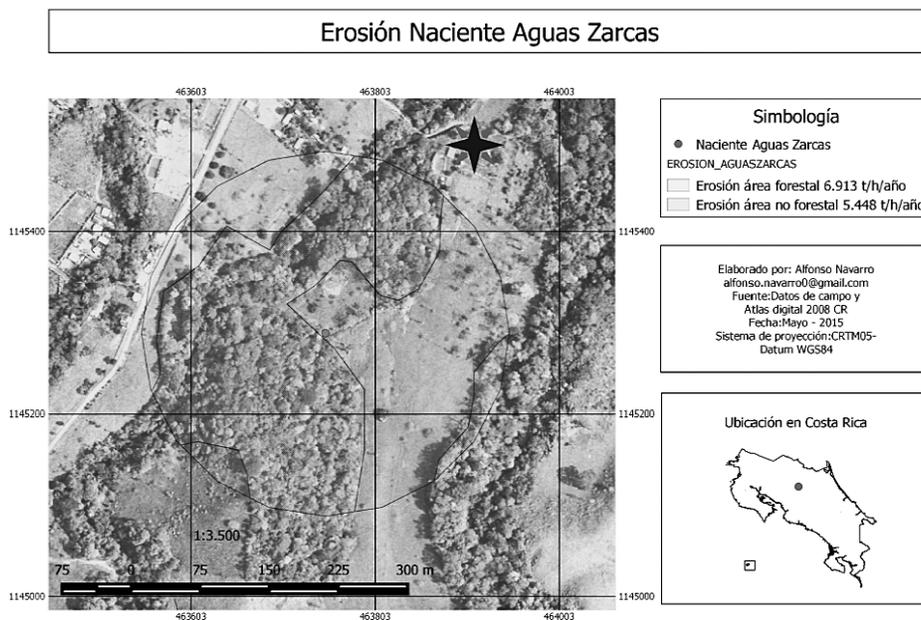


Figura 5. Erosión de la Naciente Aguas Zarcas, según área forestal y no forestal.

En este proceso se determinó la pérdida de bosque en nacientes, tales como en la naciente denominada Cuestillas Ron Ron, la cual el año 1997 contaba con un área de 12.36 hectáreas de bosque y para el año 2012 se redujo a 11.48 hectáreas. En otros casos se determinó que el área forestal aumentó, tal es el caso de la naciente Cedral Dulcenombre, ya que en 1997 contaba con 3.51 hectáreas y para el 2012 tenía un área de 5.867 hectáreas. Otro de los casos es cuando la naciente no sufrió ningún impacto, es decir no se dio pérdida de bosque, tampoco crecimiento, tal es el caso de la naciente Pénjamo la cual registró 12.361 hectárea en ambos períodos.

Conclusiones

Mediante el uso de la Tasa Anual de Pérdida de Bosque, Puyravaud 2003 se logra determinar el área forestal y no forestal de las nacientes en estudio y haciendo uso de los SIG, permiten determinar espacialmente la cobertura de las áreas de protección de las nacientes, en un radio de 200 metros a la redonda, además se determina que en el área en estudio hay una dinámica en cuanto a la pérdida de bosque y la recuperación del mismo. También se determina que los suelos con menor cobertura boscosa presentan una mayor pérdida de suelo, además aquellas áreas espaciales con actividades urbanas, agrícolas y ganaderas generan procesos de erosión sumamente elevados.

Tanto la erosión como la pérdida de bosque son variables las cuales se abordaron haciendo uso de los SIG, con las cuales se modelan las diferentes coberturas, relacionando la pérdida de bosque y la erosión, en las áreas de protección de las nacientes.

El uso de los SIG permite la elaboración de mapas para determinar la cobertura, así como la erosión de las áreas de protección, teniendo en cuenta variables tales como, tipo de pendiente, distancia, tipo de suelo, entre otras. La condición de pérdida de bosque y suelo son fenómenos que generan presión sobre los sistemas de protección de las nacientes.

Referencias

- [1] Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, «Manual para las Asociaciones Administradoras de Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Sanitarios (ASADAS) de Costa Rica.», CEDARENA, San José, 2013.
- [2] I. Gentes y R. Madrigal, «Sostenibilidad para los acueductos comunales en Costa Rica,» *Vertigo*, 14 abril 2010. [En línea]. Available: <https://vertigo.revues.org/9786#article-9786>. [Último acceso: 17 abril 2017].
- [3] CADETI, «Programa de Acción Bacional de Lucha contra la Degradación de Tierras en Costa Rica,» Ministerio del Ambiente y Energía, San José, 2004.
- [4] Academia Nacional de Ciencias, «Conservación del Bosque en Costa Rica,» Centro Centroamericano de Población, octubre 1998. [En línea]. Available: <http://ccp.ucr.ac.cr/libros/bosques/pdf/memoria.pdf>. [Último acceso: 17 abril 2017].
- [5] A. Calvo y E. Ortiz, «Fragmentación de la cobertura forestal en Costa Rica,» *Kurú*, vol. 9, n° 22, pp. 10-20, 2012.
- [6] C. Clérico y F. García, «Aplicación del modelo USLE/RUSLE para estimar pérdida de suelo,» *Agrociencia*, vol. 5, n° 1, pp. 92-103, 2001.
- [7] E. Ortiz, «Atlas 2014,» Cartago, 2014.
- [8] CENAT, «Fotografías aéreas,» CENAT, San José, 2005.
- [9] T. A. Administrativo, «Manual de buenas prácticas ambientales en Costa Rica,» Infoterra Editores S.A., San José, Costa Rica, 2010.
- [10] A. L. d. I. R. d. C. Rica, «Ley Forestal 7575,» La Gasetta, San José, Costa Rica, 1996.
- [11] J. Puyravaud, «Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation,» Elsevier, India, 2003.
- [12] K. Renard y G. Foster, «Predicting Soil Erosion by water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE),» U.S. Government Printing Office, Washington, 1997.