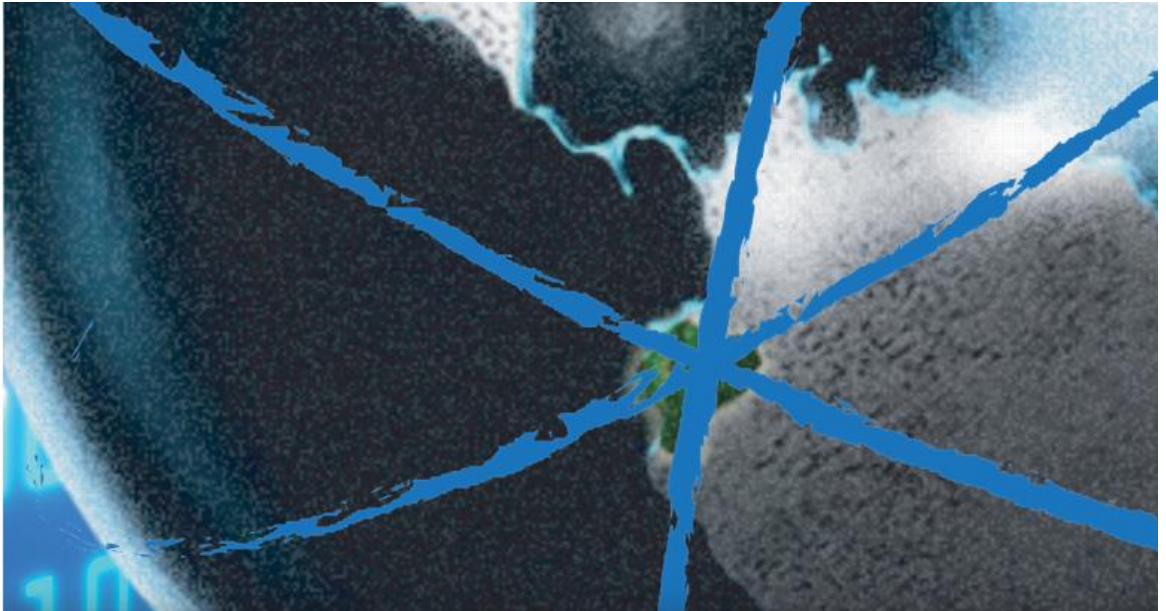


Revista Geoespacial Vol. 15 N°2



Departamento de Ciencias de la Tierra y Construcción
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE

Revista Geoespacial 2018

Revista Geoespacial Vol. 15 N° 2

Revista oficial de difusión científica y tecnológica en el área de las Ciencias Geoespaciales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

Periodicidad:

La revista Geoespacial es publicada semestralmente

Revista Geoespacial, Volumen 15 N° 2, diciembre 2018**Editor:**

Dr. Alfonso Tierra

Departamento de Ciencias de la Tierra y Construcción de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

Comité Editorial:

Dr. Theofilos Toulkeridis

M. Sc. Mario Cruz

Dr. Oswaldo Padilla

Comité Científico:

Dr. Roberto Luz Teixeira	– IBGE - Brazil
Dr. Gustavo Barrantes	– Universidad Nacional - Costa Rica
M. Sc. Rodrigo Márquez	– Universidad Osorno - Chile
Dr. Vinicio Carrera	– ESPE - Ecuador
Ph.D Luis Cumbal	– ESPE-Ecuador
Dr. Pascal Podwojewski	– IRD - France
Dr. Christoph Heubeck	– Freie Universitat Berlin - Germany
Dr. Hans Joachim Massonne	– University of Stuttgart - Germany
Dr. Arne Willner Ruhr	– University of Bochum - Germany
Dr. Mariano Cerca	– UNAM - México
M.Sc. Noris Martínez	– Universidad Tecnológica de Panamá - Panamá
Ph.D. Robert Buchwaldt	– MIT - USA
Ph.D. Steven Taylor	– University of Illinois - USA
Ph.D. Aaron Addison	– Washington University - USA

Diseño de portada y contraportada:

B.A. David Cabrera R.

Edición gráfica, diseño y diagramación:

B.A. David Cabrera R.

Preguntas y Correspondencia

Departamento de Ciencias de la Tierra y Construcción de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

Av. Gral. Rumiñahui S/N. Sangolquí – Pichincha – Ecuador. artierra@espe.edu.ec

Los contenidos de los artículos, aquí publicados, son de responsabilidad de los autores.

Revista Geoespacial Vol. 15 N° 2, diciembre 2018

ISSN 1390-3993

Sumario

Volumen 15 N° 2, 2018

PREDICTION OF PRECIPITABLE WATER VAPOR WITH A NEURAL NETWORK FROM THE ECUADORIAN GNSS AND METEOROLOGICAL DATA	
Ricardo Romero; Cristian Pilapanta; Luis Porras	1
CARACTERIZACIÓN DE VARIABLES METEOROLÓGICAS A SER USADAS COMO FUENTES DE ENERGÍA EN LA REGIÓN SUR DEL ECUADOR.	
Marco Armijos-Cabrera, Víctor González-Jaramillo, Andreas Fries	13
LEVANTAMIENTO, ANÁLISIS Y PUBLICACIÓN DE GEOINFORMACIÓN EN UN VISUALIZADOR 3D.	
Fabián Santander, Villie Morocho	24
IMPLANTACIÓN DE UNA APLICACIÓN MÓVIL PARA PPGIS DESTINADA A DESLIZAMIENTOS E INTEGRADA A UNA IDE	
Rosario Achig, Villie Morocho, Fabián Santander, Natalia Pacurucu	38
MAPEO DE ZONAS VULNERABLES A DESLIZAMIENTOS USANDO PP GIS Y TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN	
Natalia Pacurucu Caceres, Enrique Acosta, Villie Morocho	53
POLÍTICAS PARA LA GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN EN LA PLANIFICACIÓN TERRITORIAL	
Lorena Vivanco Cruz, Raúl Mejía, Villie Morocho	67
ANÁLISIS DE LA POSICIÓN HORIZONTAL DEL SISTEMA GALILEO EN EL ECUADOR CONTINENTAL UTILIZANDO EL SOFTWARE RTKLIB	
Dennys Enríquez; Alfonso Morillo	80
ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE ISLAS DE CALOR EN EL CANTÓN RUMIÑAHUI MEDIANTE EL TRATAMIENTO DE IMÁGENES LANDSAT 7 ETM+	
Lisseth Jami, María Belén Mora, Oswaldo Padilla, Eduardo Kirby	95
BENEFICIOS ECONÓMICOS DE LA CONSERVACIÓN DE LAS ÁREAS PROTEGIDAS ANDINAS	
Fabián Rodríguez-Espinosa, Remigio Galarraga, Roberto Salazar-Córdova, Nixon Narváez, Paola Ananganó-Ayala	112
ANÁLISIS DE LA SERIE TEMPORAL DE LA ESTACIÓN DE MONITOREO CONTINUO CUEC - REGME	
Marco P. Luna, Alejandra Staller, Kerby Harnisth, Darío Echeverría, Roger Castro, Óscar Portilla	127

PREDICTION OF PRECIPITABLE WATER VAPOR WITH A NEURAL NETWORK FROM THE ECUADORIAN GNSS AND METEOROLOGICAL DATA

RICARDO ROMERO¹; CRISTIAN PILAPANTA¹; LUIS PORRAS¹.

¹ INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR, QUITO, ECUADOR. Seniergues E4-676 y Gral. Telmo Paz y Miño, Quito, Ecuador. E-mail: luis.porras@igm.gob.ec

Recibido: 24 de agosto de 2018 / Aceptado: 15 de noviembre de 2018

RESUMEN

El Sistema de posicionamiento global (GPS) consiste en una constelación de satélites que transmiten señales de radio a un gran número de usuarios en cuanto a navegación, transferencia de tiempo y posicionamiento relativo. Estas señales de radio de banda L se retrasan por el vapor de agua contenido en la atmósfera mientras viajan desde los satélites GPS a los receptores GPS en tierra. El vapor de agua desempeña un papel crucial en diferentes procesos atmosféricos, actuando en una amplia gama de escalas temporales y espaciales: desde el clima global hasta la micrometeorología. Los científicos han desarrollado una variedad de medios para medir la distribución vertical y horizontal del vapor de agua. En este trabajo, se estudió un modelo para la predicción del contenido de agua precipitable a partir de datos GNSS utilizando una red neuronal. En este caso, se estableció como parámetros iniciales: presión, temperatura, posiciones y retardo total del cenit; y en cuanto a la red neuronal fue una red neuronal de función base radial (RBFNN) con tres capas. Los resultados demostraron que el RBFNN logró predecir vapor de agua precipitable con un RMS hasta 2 mm en la red GNSS general, es decir, esta metodología es una alternativa valiosa para establecer un modelo para estas condiciones y parámetros.

Palabras claves: Vapor de agua atmosférico, GNSS, Vapor de agua precipitable, Red neuronal de función base radial.

ABSTRACT

The Global Positioning System (GPS) consists of a constellation of satellites that transmit of radio signals to large numbers of users engaged in navigation, time transfer, and relative positioning. These L-band radio signals are delayed by atmospheric water vapor while they travel from GPS satellites to ground GPS receivers. Water vapor plays a crucial role in atmospheric processes that act over a wide range of temporal and spatial scales, from global climate to micrometeorology. Atmospheric scientists have developed a variety of means to measure the vertical and horizontal distribution of water vapor. In this work, was studied a model for the prediction of precipitable water content from GNSS data using a neural network. In this case was set as the initial parameters: Pressure, temperature, positions and zenith total delay and for the neural network was one of type a radial basis function neural network (RBFNN) with three layers. Results demonstrated that the RBFNN achieved to predict precipitable water vapor with a RMS until to 2 mm in overall GNSS network, it means, this methodology is a valuable alternative to establish a modeling for these conditions and parameters.

Keywords: Atmospheric Water Vapor, Global Navigation Satellite System, Precipitable Water Vapor, Radial Basis Function Neural Network.

INTRODUCTION

Space geodesy refers to observations that are transmitted or received by natural or artificial objects outside the lower portions of the atmosphere, i.e., in space where the density of the atmosphere is sufficiently small to allow stable satellite orbits. Space-geodetic techniques like VLBI, GNSS, SLR, or DORIS are used to observe Earth rotation variations, a large part of which is caused by atmospheric effects (Böhm and Schuh, 2013).

The atmosphere has been modeled for the purpose of analysis, short-term weather forecasts and climate projections (Nilsson et al., 2013). Such models, which are produced and used by the world's major research and weather forecast centers are based on the principles of atmospheric physics which frame an analysis of the weather and climate system.

The Global Positioning System (GPS) consist of a constellation of satellites that transmit of radio signals to large numbers of users engaged in navigation, time transfer, and relative positioning (Bevis et al, 1994). These L-band radio signals are delayed by atmospheric water vapor as they travel from GPS satellites to ground receivers. Water vapor plays a crucial role in atmospheric processes that act over a wide range of temporal and spatial scales, from global climate to micro-meteorology. The neutral atmosphere is a mixture of dry gases and water vapor (Bevis et al, 1992), furthermore, the water vapor is unique in this mixture because it is the only constituent which possesses a dipole moment contribution to its refractivity.

The amount of precipitable water vapor (PWV) contained in the neutral atmosphere can be inferred from the propagation delay of Global Positioning System (GPS) signals passing through the troposphere (Nistor and Buda, 2015). Throughout most of the troposphere the dipole component of the refractivity is about 20 times larger than the nondipole component (Bevis et al, 1992). For this reason it has become common to treat the dipole component of the water vapor refractivity separately from the nondipole components of the refractivity of the water vapor and other constituents in the atmosphere. These two components are referred to as the wet (ZWD) and hydrostatic (ZHD) delays which both are constituents of the zenith total delay (ZTD).

Since the observables of space geodetic typically are measurements of the travel time of the signals, the absorption is typically not important since it does not affect the propagation delay (Böhm and Schuh, 2013). Of course, absorption will affect the delay measurements by increasing the noise; higher attenuation will cause the signal-to-noise-ratio to be lower, and thus the accuracy of the measured delay will be worse (in the worst case the signal cannot be detected).

Meteorologists and GPS specialists working together should be able to design procedures that can be used to characterize the troposphere in more detail. Mathematical techniques have been developed to map the delay at any elevation and the removal of the tropospheric delay by estimation has become an integral part of precise VLBI and GPS analyses (Niell, 1996; Herring, 1992; MacMillan and Ma, 1994).

In space geodesy normally the travel time (or difference in travel time) between a source in space (a satellite or a quasar) to a receiver on the surface of the Earth is measured. If the variations in the refractivity over the distance of one wavelength is negligible, we can use the geometric optics approximation (Nilsson et al., 2013). This means that the propagation of an electromagnetic wave can be described as a ray. When calculating the propagation time of the electromagnetic wave we thus only have to consider the refractivity along the ray path. Similarly, for the microwaves, the refractivity can also be divided into a hydrostatic and a non-hydrostatic (wet) part (Nilsson et al., 2013). It is common to refer the slant delays to the delays in the zenith direction. The zenith hydrostatic delay is subtracted from the zenith neutral delay to determine the zenith wet delay, which is then transformed into an estimate of precipitable water. By incorporating a few remote global tracking stations (and thus long baselines) into the geodetic analysis of a regional GPS network, it is possible to resolve the absolute (not merely the relative) value of the zenith neutral delay at each station in the augmented network. The integrated water vapor in zenith direction can also be provided as precipitable water vapor (PWV) which corresponds to the height of the equivalent water column above the station following by Nilsson et al, 2013.

Water vapor is an extremely important variable for severe weather forecasting and operational numerical weather prediction, because moisture distribution is directly related to the formation of clouds and precipitation (Kuo et al, 1996). The aim of this work is to establish a model for prediction of precipitable water content using the GNSS data processing with a spatio-temporary-meteorological neural network. This model can provide recommendations to make decisions related with the analysis of atmospheric parameters.

ARTIFICIAL NEURAL NETWORK (ANN)

In this work was used a radial basis function neural network (RBFNN) by its interpolation approach in a space high-dimensionally (Broomhead and Lowe, 1988). RBFNN are supervised, feedforward and fully connected networks in which the learning process consists in calculate weights and bias in a defined number of iterations until reaching a close response to desired output.

The RBFNN typically have three layers of which hidden layer performances non-linear modeling with free parameters and it maps the input space onto a new space. Thus, output layer implements a linear combination on this new space to adjust linear parameters (weights) (Chen et al, 1991). The fundamentals of RBFNN derives from the theory of approximation, where function f is intended to look for:

$$f(x) = \sum_{i=1}^K b_i \varphi((x - c_i)) \quad (1)$$

where j is the radial basis function, c_i are K centers (weights) which have to be calculated and b_i is the bias vector for each hidden neuron.

The performance of training of an Artificial Neural Network (ANN) could be measured by various statistical methods, following different evaluation criteria such as the coefficient of correlation (COR), the root mean squared error (RMSE), the mean absolute error (MAE) and the Willmott's index of agreement (Ladlani et al, 2012).

In order to implement the process with the RBFNN was necessary to choose a set of data to the learning process and another set to validate the parameters calculated in the earlier procedure. Input data was selected according certain precedents, for example, the derivation of PWV from ZTD (zenith wet delay) (Bevis et al, 1994; Bevis et al, 1992; Hagemann et al, 2003), which it demonstrates an interdependence for each variable. Although the potential use of GNSS data comes given by its high temporal resolution, the corresponding time derivative of PWV highlights changes in the atmospheric water content on the different time scales (Bordi et al, 2015). Additionally, the atmospheric delays are highly correlated with the elevation of the site (Xu et al, 2011).

Furthermore, Senkal (2015) shows a high degree of correlation between meteorological parameters and location with the PWV value, which it suggests that a process with an Artificial Neural Network is more cheaper and faster in relation with others meteorological methods for the estimation of the PW content. However, PWV time series have been proved a poor correlation with precipitation, which that affects the process of the Precipitable Water availability in the middle atmosphere (Bordi et al, 2015).

METHODOLOGY

The strategy of GNSS data processing gave as a result values of PWV defined by meteorological data from global models available in a geodetic software processing, and which for this study it was chosen the GPT model (Global Pressure and Temperature) in Gamit/Globk (Herring et al, 2015). For covering the majority of the continental territory, all the Ecuadorian GNSS Permanent Network formed by 34 meteorological stations (model 4A) was processed (Figure 1). The data of processing was selected for all the year 2015 with an interval of record of 1 second and precisions for Pressure: better than + 0.08 hPa, Temperature: better than + 0.5 °C and for the relative humidity: better than + 2% a 25°C.

With this background, the variables selected were location (latitude, longitude and ellipsoidal height), the meteorological parameters (temperature and pressure), the ZTD and the epoch of occurrence, all of them with the purpose of predicting the values of PWV.

The processing of data was made of the following form: a) Download and quality control of the rinex data obtained from each of the continuous monitoring GNSS stations, b) Data processing using GAMIT/GLOBK, c) Quality control of raw fi and d) Calculation of atmospheric parameters using GAMIT metutil tool. The fi contain the following precisions:

A standard established for training an ANN is about of the selection of training, generalization and validation of data sets, where the first one is intended for to calculate the parameters of the learning, which the conditions to assign this data set for this study was based on spatial criteria. The second is for to determine the influence of smoothness of function with respect to different inputs and in the last case, this is the validation data set is not taken in account in training process because the purpose of this data is to measure at the end the capability of learning of the ANN.

In this study were selected only two data sets for training and for test, the training and generalization data were merged into the software. In figure 1 is shown the distribution of training and test data of the Ecuadorian GNSS Permanent Network.

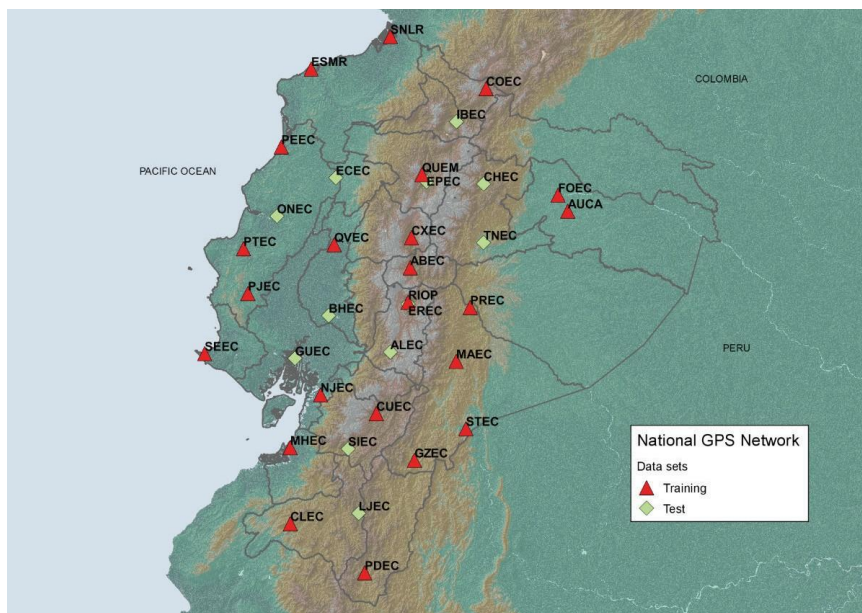


Figure 1: Distribution of meteorological stations in Ecuador and the distribution of data set for training RBFNN. Fuente: Instituto Geográfico Militar, 2018.

For the analysis, 22 stations were selected for the training and generalization functions of the ANN where these stations are located in zones with lowest and highest altitudes covering all Continental Ecuadorian territory, however the data set were chosen randomly. The next step was to implement the RBFNN with inputs and outputs normalized and where the objective was to perform the learning. After that, the initialization function was started for to calculate the weights of the connections according to the input patterns.

Firstly, the procedure selects centers c_i randomly from the input patterns and assigns them to the links between input and hidden layer. Afterward the bias b_i is set to a value in all hidden neurons and f_i the links (w_{jK} , b_2) between the hidden and output layers are calculated (Bergmeir and Benitez, 2012) following the equation 2 and where the activation function was a Gaussian function (ϕ_1) and the output function (ϕ_2) was a linear regression.

$$y_j = \phi_2 [b_2 + w_{jK} \sum_{i=1}^K \phi_1 (\|x - c_i\|) b_i] \quad (2)$$

The implementation was achieved in R software with models provided by the RSNNS package (Bergmeir and Benitez, 2012; Zell et al, 1998) with parameters for Gaussian functions. The training process was made with the framework listed in the table 1.

Table 1. Fundamental parameters/functions implemented in RBFNN to predict PWV in Ecuador.

Parameter/Function	Value/Name
Activation Function	Gaussian Function
Output Function	Linear Function
Normalization	Scaling Between 0 And 1
Number of Hidden Neurons	50
Max. Iterations	50000
Spread	0,63
Learning Rate	1 E -8
Error	1e-3
Momentum	0,9

RESULTS AND DISCUSSION

The first analysis carried out in this study was a comparison between selected inputs and the PWV from training data established to define some type of correlation inwardly. This fact is showed in the figure 2 in which is illustrated the affinity with the PWV.

Six input data sets were studied, that were latitude, longitude, ellipsoidal height, zenith, total delay, pressure and temperature. Only the epoch was not analyzed because that it determines a temporal characteristic of the neural network.

In the Figures 2a. and 2b. did not show an explicit correlation, which implies that PWV values do not depend of the spatial location, however in the graph 2b is easy to identify

that PWV has an increase when the longitudes are for the coast region (-80° , -81°) and for the amazon region (-77° , $-77,5^{\circ}$). This fact is probably because of the dense cloudiness in these zones.

On the other hand, in relation to the Ellipsoidal Height, in the Figure 2c, showed an inverse relation with the PWV values, the reason is due to low values of relative humidity in highlands of Ecuador. This fact is similar for the ZTD (Figure 3d) because PWV values are derivable of the ZWD values that it is a component of ZTD. Finally, the meteorological parameters as pressure and temperature suggest a direct relation with the PWV values. To confirm these approximations, a matrix of correlation was calculated in order to prove earlier statements. The product of the matrix appears in the table 2.

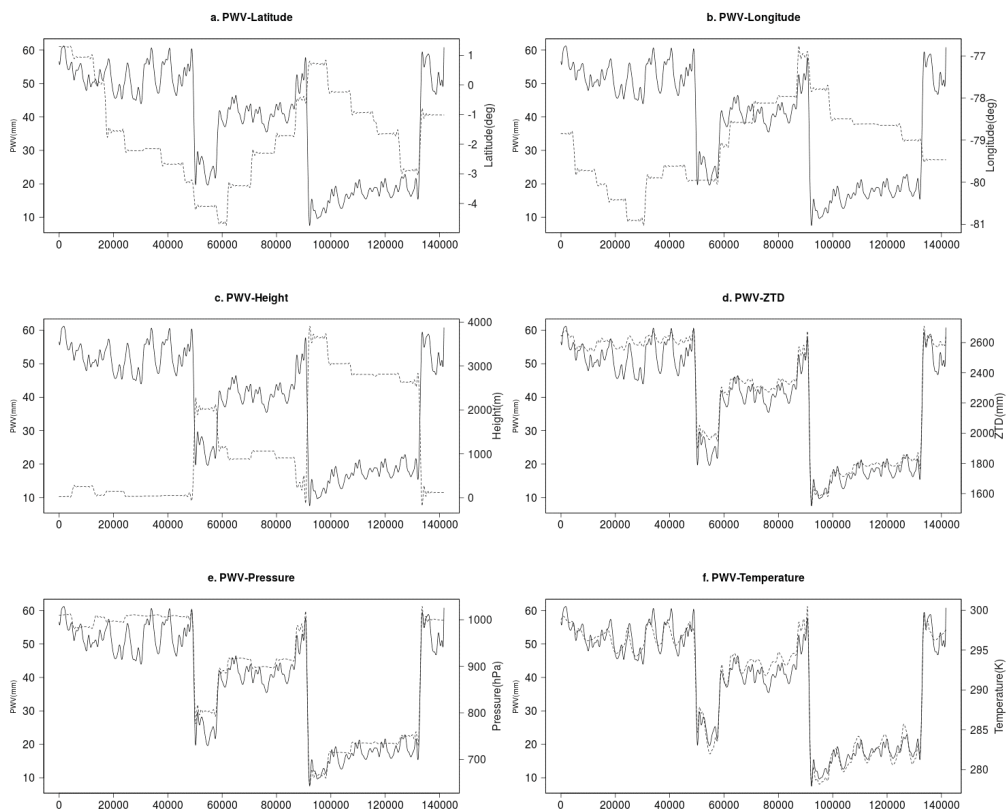


Figure 2. Graphical correlation between PWV and input variables of RBFNN. Continuous lines represent the PWV values and the dash lines represent the individual inputs, (a) Graphical correlation between PWV and the Ellipsoidal Latitude, (b) Graphical correlation between PWV and the Ellipsoidal Longitude, (c) Graphical correlation between PWV and the Ellipsoidal Height, (d) Graphical correlation between PWV and the ZTD, (e) Graphical correlation between PWV and the Atmospheric Pressure, and (f) Graphical correlation between PWV and the Temperature. Fuente propia, 2018

Table 2. Correlation between the inputs parameters of the RBFNN and the PWV values.

	Latitude	Longitude	Height	ZTD	Pressure	Temperature
PWV	0,002	-0,41	-0,96	0,98	0,96	0,97

As it mentioned before, the neural network was trained with RSNNS package in R, with all input patterns, given by a multiple variations one another. The Figure 3 shows the interaction of inputs in a heat map.

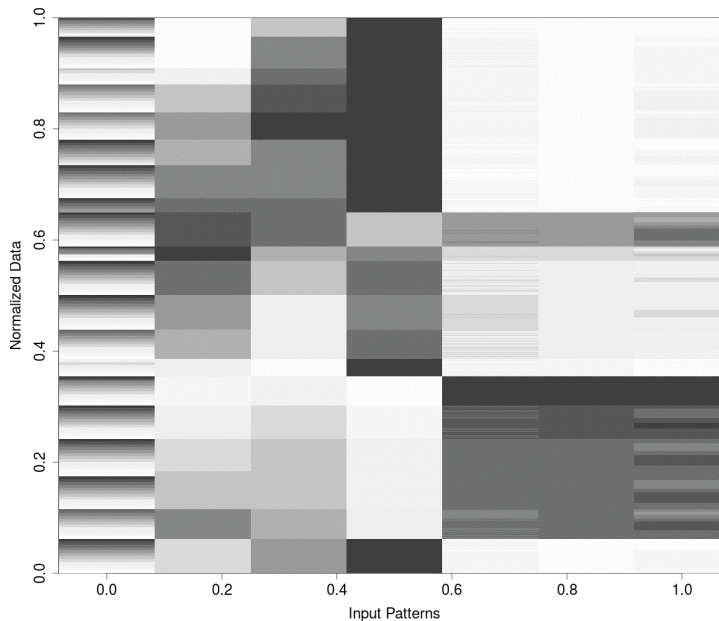


Figure 3. Mapping of Distribution and interaction among inputs represented in a heat map.

In the figure 3 is represented all inputs in columns (epoch, latitude, longitude, height, ZTD, pressure and temperature) in a heat map for to display the way of activation of each normalized parameter. Black color represents low values that is degraded to white color that represents high values. This technique of representation allows the supervisor interpreting heterogeneity of data sets therefore the conduct of inputs.

The training process was executed with parameters indicated in the Table 1. The process is evidenced in the Figure 4a, reaching an error by the sum of squares of 22.32 from 141362 data patterns. The training curve shows a considerable decrease in fi stages of learning, after the time, it has demonstrated a stabilization of error close to optimum minimum.

The outcomes of the RBFNN were compared with a desired output in order to establish the coefficient of determination (R^2), which indicates the response of fit of the ANN with normalized real values. It was obtained one R^2 of 0.9971 indicating a good training.

For the validation process, was used a desnormalized data to decide if the generalization of the RBFNN can be implemented to predict confident spatio-temporary-meteorological values of PWV. In this case was obtained a value of 0,98 for R^2 (this fact denotes that the ANN achieves the main purpose of learning). The statistical fundament of this model was based principally on the correlation coefficient (COR), the root mean squared error (RMSE), the mean absolute error (MAE) and the Willmott's index of agreement; all of them are displayed in the table 3.

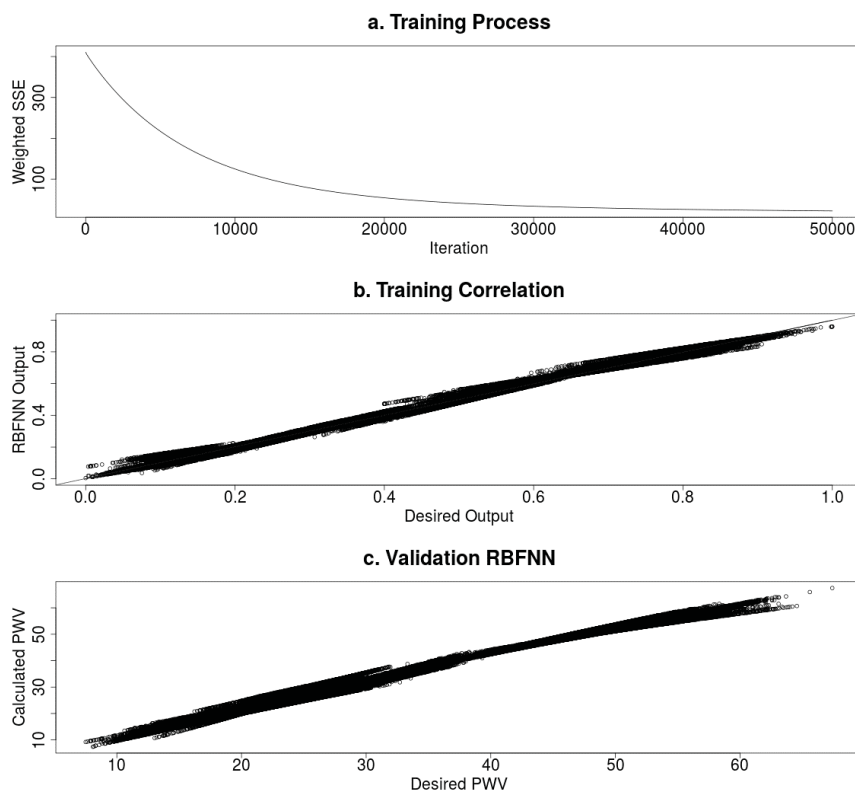


Figure 4. The learning process of RBFNN to predict the PWV with inputs related to epoch, location, altitude, ZTD and meteorological parameters. (a) The training process to adjust the error. (b) Training correlation where it indicates how well ANN response fit with normalized real values. (c) Validation process between the calculated values by RFBNN and desired values of PWV.

Table 3. Main Statistical Parameters for the Validation Process.

Parameter	Values
COR	0,99
RMSE	2,33 mm
MAE	1,95 mm
Index of Agreement	0,99
Standard Deviation	1,33 mm

These results can be looked at the Figure 5, where a double y-axis plot illustrates in light grey line the real values of PWV and in black line the values calculated by RBFNN model. Additionally, the dash line represents the error in mm of each calculated value.

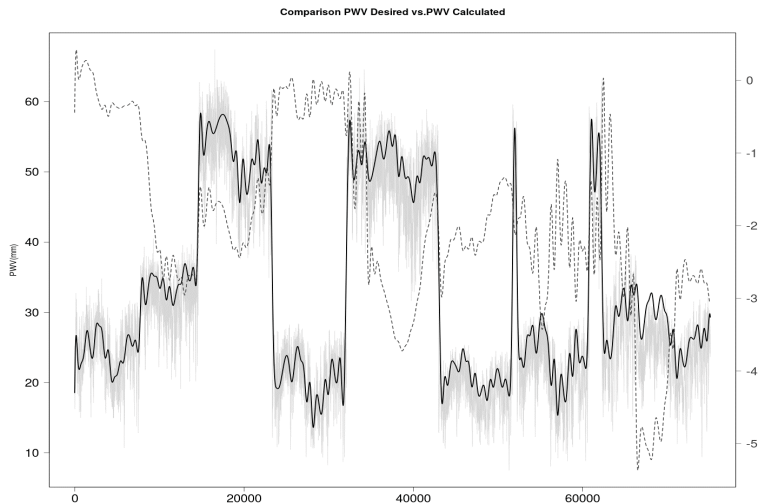


Figure 5. Comparison between the desired PWV (Light grey line) and the calculated values by the RBFNN (Black line) and its corresponding error (Dash line).

For the validation of model is used the MODIS sensor and the results were showed in the table 4. In this case there is a correlation in stations near of the coast but is not the same for the others regions in Ecuador. It's important to know the fact of the climate in Ecuador is very complex.

Table 4. Model Validation Process with the MODIS sensor.

Month	Sensor	Meteorological Station				
		GUEC	PTEC	SEEC	ALEC	MAEC
Jan	IGM	55,58	52,65	51,16	25,31	28,92
	MODIS	46,99	49,95	52,2	36,99	16,34
Feb	IGM	53,77	51,33	49,67	26,82	39,73
	MODIS	47,03	50,6	51,74	39,4	16,08
Mar	IGM	57,08	54,84	52,96	27,99	41,78
	MODIS	50,45	53,67	53,71	42,13	17,7
Apr	IGM	59,06	56,55	55,21	27,76	42,03
	MODIS	51,26	53,87	54,99	43,04	18,53
May	IGM	59,49	56,48	55,55	28,19	41,52
	MODIS	51,23	53,78	55,6	40,86	18,35
Jul	IGM	51,87	50,73	48,98	23,78	38,69
	MODIS	45,82	50,19	49,82	40,17	16,83

Aug	IGM	48,56	46,25	45,7	21,41	36,7
	MODIS	44,28	47,07	45,16	38,99	16,66
Sep	IGM	48,21	47,99	45,85	26,36	37,05
	MODIS	46,62	47,43	47,17	37,88	16,34
Oct	IGM	54,1	49,08	51,27	25,76	40,9
	MODIS	47,32	50,5	50,19	40,78	18,45
Nov	IGM	53,86	50,56	52,37	25,5	42,66
	MODIS	45,17	48,85	47,76	29,7	17,94
Dic	IGM	57,19	58,69	53,73	25,81	40,08
	MODIS	49,42	52,45	54,58	40,71	16,91

CONCLUSIONS

The model for predicting Precipitable Water Vapor (PWV) values based on a Radial Basis Function Neural Network was calculated with a data from the Ecuadorian GNSS Permanent Network and with an accuracy obtained around 2 mm for stations near of coast.

The input pattern was formed with parameters such as epoch, position, altitude, Zenit Wet Delay and meteorological parameters, in which some of them confirmed a degree of correlation with PWV values. For this reason it is important to take in account spatio-temporary-meteorological values for the prediction values and where this assertion have been ratified with the graphical relationships between inputs and PWV values.

The methodology used for the ANN has demonstrated to be a valuable alternative to establish a model for predicting of PWV values, considering the heterogeneity of the input data set and the low correlation with a few parameters.

REFERENCES:

- Bevis M., Businger S., Chiswell S., Herring T.A., Anthes R.A., Rocken C. and Ware R.H. (1994). GPS meteorology: Mapping zenith wet delays onto precipitable water. *Journal of applied meteorology*, 33(3), 379-386.
- Bevis M., Businger S., Herring T., Rocken C., Anthes R. and Ware R. (1992). GPS meteorology: Remote sensing of atmospheric water vapor using the Global Positioning System. *Journal of Geophysical Research*, 97(D14), 15787-15801.
- Böhm J., and Schuh H. (2013). *Atmospheric effects in space geodesy* (pp. 1-33). Berlin, Germany: Springer
- Bordi I., Raziei T., Pereira L.S., and Sutera A. (2015). Ground-based GPS measurements of precipitable water vapor and their usefulness for hydrological applications. *Water Resources Management*, 29(2), 471-486.
- Bordi I., Zhu X., and Fraedrich K. (2015). Precipitable water vapor and its relationship with the Standardized Precipitation Index: ground-based GPS measurements and reanalysis data. *Theoretical and Applied Climatology*, 1-13.

- Broomhead D., and Lowe D. (1988). Multi-variable functional interpolation and adaptive networks. *Complex Systems*, 2, 321-355.
- Chen S., Cowan C.F., and Grant P.M. (1991). Orthogonal least squares learning algorithm for radial basis function networks. *Neural Networks, IEEE Transactions on*, 2(2), 302-309.
- Hagemann S., Bengtsson L., and Gendt G. (2003). On the determination of atmospheric water vapor from GPS measurements. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984–2012), 108(D21).
- Herring T.A., King R.W., Floyd M., and McClusky S. (2015). Introduction to GAMIT/GLOBK, Release 10.6. Available in Department of Earth, Atmospheric and Planetetary Science at MIT. <http://www-gpsg.mit.edu/>.
- Herring T.A. (1992). Modeling atmospheric delays in the analysis of space geodetic data. *Proceedings of Refraction of Transatmospheric signals in Geodesy*, eds. JC De Munck and TA Spoelstra, Netherlands Geodetic Commission Publications on Geodesy, 36.
- Kuo, Y. H., Zou, X., and Guo, Y. R. (1996). Variational assimilation of precipitable water using a nonhydrostatic mesoscale adjoint model. Part I: Moisture retrieval and sensitivity experiments. *Monthly Weather Review*, 124(1), 122.
- Ladlani I., Houichi L., Djemili L., Heddami S., and Belouz K. (2012). Modeling daily reference evapotranspiration (ET₀) in the north of Algeria using generalized regression neural networks (GRNN) and radial basis function neural networks (RBFNN): a comparative study. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 118(3-4), 163-178.
- MacMillan D.S., Ma C. (1994): Evaluation of very long baseline interferometry atmospheric modeling improvements. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* (1978–2012), 99(B1), 637-651.
- Niell A.E. (1996). Global mapping functions for the atmosphere delay at radio wavelengths. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* (1978–2012), 101(B2), 3227-3246.
- Nilsson T., Böhm J., Wijaya D.D., Tresch A., Nafisi V., and Schuh H. (2013). Path delays in the neutral atmosphere. In *Atmospheric Effects in Space Geodesy* (pp. 73-136). Springer Berlin Heidelberg.
- Nistor S., and Buda A.S. (2015). Using Different Mapping Function In GPS Processing For Remote Sensing The Atmosphere. *Journal of Applied Engineering Sciences*, 5(2), 73-80.
- Senkal O. (2015). Solar radiation and precipitable water modeling for Turkey using artificial neural networks. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 1-8.
- Xu W.B., Li Z.W., Ding X.L., and Zhu J.J. (2011). Interpolating atmospheric water vapor delay by incorporating terrain elevation information. *Journal of Geodesy*, 85(9), 555-564.
- Zell A., Mache N., Hübner R., Mamier G., Vogt M., Schmalzl M., and Herrmann K.U. (1994). SNNS (Stuttgart Neural Network Simulator). In *Neural Network Simulation Environments* (pp. 165-186). Springer US.

CARACTERIZACIÓN DE VARIABLES METEOROLÓGICAS A SER USADAS COMO FUENTES DE ENERGÍA EN LA REGIÓN SUR DEL ECUADOR.

CHARACTERIZATION OF METEOROLOGICAL VARIABLES TO BE USED AS SOURCES OF ENERGY IN THE SOUTHERN REGION OF ECUADOR.

MARCO ARMIJOS-CABRERA¹, VÍCTOR GONZÁLEZ-JARAMILLO², ANDREAS FRIES²

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL¹, DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL². UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA. San Cayetano Alto, Marcelino Champagnat s/n, 1104608. Loja - Ecuador. mvarmijos3@gmail.com, vhgonzalez@utpl.edu.ec, aefries@utpl.edu.ec

Recibido: 13 de agosto 2018 /Aceptado: 11 de noviembre 2018

RESUMEN

El avance tecnológico a nivel mundial, conlleva al desarrollo de las sociedades, incrementando la demanda de energía eléctrica en los hogares. La energía producida actualmente es obtenida principalmente de combustibles fósiles, los cuales, aparte de no ser sustentables, contaminan el medio ambiente e incrementan la emisión de gases de efecto invernadero. En este trabajo, se presenta una alternativa al uso de combustibles fósiles para la generación de energía para consumo doméstico, específicamente la energía solar. La información necesaria respecto a la radiación solar fue derivada de imágenes satelitales (NOAA-AVHRR), generando mapas promedios mensuales para evaluar el potencial de aprovechamiento de esta energía renovable en la parte sur del Ecuador y para determinar zonas posibles para la implementación de sistemas de abastecimiento. Los resultados indicaron que el aprovechamiento de energía solar es viable en los valles interandinos y las regiones sur – occidentales donde la radiación solar es fuerte y constante durante la mayoría de los días del año. Los meses con radiación solar más altos son septiembre y octubre alcanzando promedios diarios hasta 500 W/m². Estos resultados confirman que la radiación solar es una fuente potencial para la generación de energías limpias/renovables en el sur del Ecuador.

Palabras clave: Energías alternativas, Variables meteorológicas, Radiación solar, NOAA-AVHRR.

ABSTRACT

The technological advance worldwide leads to the development of societies, increasing their energy demand. Nowadays, the energy is mainly produced by means of fossil fuels, which are not sustainable, pollute the environment and increase greenhouse gas emissions. This research presents an alternative for the generation of energy for domestic consumption without fossil fuels, specifically solar energy. The required information respective to solar radiation was derived from satellite images (NOAA-AVHRR), which were used to generate mean monthly maps to evaluate the potential of this renewable energy in southern Ecuador, and to determine possible areas for the implementation of supply systems. The results indicated that solar energy is viable in the inter- Andean valleys and the south - western regions where solar radiation is strong and constant throughout the year. The months with highest solar radiation are September and October reaching daily average values up to 500 W / m². These results confirm that solar radiation is possible sources for the generation of clean / renewable energies in southern Ecuador.

Keywords: Alternative energies, Meteorological variables, Solar radiation, NOAA-AVHRR.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento de las sociedades, con miras al desarrollo social y económico, así como las mejoras en la calidad de vida, salud y bienestar de las personas tiene como consecuencia una demanda elevada de energía (IPCC, 2010). La fuente primaria actualmente para la generación de energía son los combustibles fósiles (Mohtasham, 2015), como son el carbón o derivados del petróleo. El consumo de estos materiales ha causado daños visibles en el medio ambiente en varias formas (Nada, 2014), teniendo deforestación, ecosistemas marítimos y terrestres contaminados, como también emisión de gases de efecto invernadero. De ahí nace la importancia de presentar alternativas y promover tecnologías para el aprovechamiento de energías limpias como fuentes sustentables y renovables para la generación de energía eléctrica (IPCC, 2010). Una alternativa es la radiación solar, que aprovecha la energía o el calor emitido del Sol (Davis, 1990), que no contamina el ambiente ni produce gases invernaderos. La energía solar recibida en la superfi terrestre es equivalente a 178000 TW/año. Sin embargo, cerca del 30% de esta energía es reflejada directamente al espacio (albedo planetario); solo el 50% es absorbida por la superfi terrestre, el resto queda en la atmosfera (CIE, 2008). En general, la radiación solar recibida en la superfi terrestre depende principalmente de la posición y altura del Sol, como también de la nubosidad del sitio (Strahler, 2013). Durante temporadas con posición vertical del Sol, mayor energía esta recibida en la superfi porque el camino a través de la atmosfera es más corto y menos energía esta absorbida por partículas (aerosoles) o gases. Lo mismo es válido para sitios elevados, donde el camino a través de la atmosfera es reducido, porque más energía es recibida en las cadenas montañosas. Por eso, la radiación solar muestra generalmente un aumento con la altura (gradiente positivo). Otro factor importante es la exposición y la pendiente del terreno, porque lomas orientadas al Sol reciben más energía. Sin embargo, la radiación solar depende de la nubosidad también. En sitios nublados, gran parte de la radiación solar es absorbida y reflejada por las nubes, reduciendo la energía recibida en la superfi. Debido a esto, más energía solar llega a la superfi durante épocas secas que durante épocas lluviosas, si la position del Sol es equivalente.

En el sur de Ecuador el aprovechamiento de la radiación solar es deficiente todavía, es por ello que este estudio pretende determinar zonas factibles para la implementación de estas tecnologías para promover proyectos a pequeña y mediana escala. Para determinar estas zonas se necesita cartografía adecuada, como también información meteorológica, que se puede obtener mediante imágenes satelitales o estaciones meteorológicas (Arozarena, 2002). En el sur del Ecuador, como generalmente en toda la zona tropical, la red meteorológica es escasa (González y Bosque, 2008; Fries et al., 2014), por lo que este estudio combina Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Teledetección para localizar sitios factibles para la implementación de tecnologías sustentables para la generación de energía eléctrica.

MATERIALES Y MÉTODOS

AREA DE ESTUDIO

El área de estudio es el sur del Ecuador, e incluye las provincias El Oro, Loja y Zamora Chinchipe (~3° S a 5°S; ~ 77° O a 81°O), las cuales cubren el territorio desde el Océano

Pacífico hasta la Amazonia. Los rangos altitudinales varían desde el nivel del mar hasta ~3800 en las partes más altas de las cadenas de los Andes. Debido a los Andes que cruzan Ecuador del norte al sur, el área de estudio es dividida en tres regiones climáticas diferentes (INAMHI, 2013; Oñate-Valdivieso et al., 2018), específicamente la Costa (oeste), la Sierra (centro) y la Amazonía (este; Figura 1).

El clima en la Costa es caracterizado por dos estaciones anuales bien marcadas (estación húmeda y estación seca). Durante el verano del hemisferio sur (diciembre hasta abril) la evaporación es la más alta y consecuentemente las precipitaciones (época lluviosa), mientras que durante el invierno del hemisferio sur (junio hasta septiembre) la evaporación está reducida (época seca) debido a la posición del Sol que se encuentra vertical sobre el hemisferio norte, más lejos del área de estudio (Rollenbeck and Bendix, 2011). Las precipitaciones anuales en la Costa varían entre 500 mm y 2000 mm, donde la parte sur generalmente es más seca debido a la cercanía al desierto del norte de Perú (zona de transición). Las temperaturas son más o menos constante durante todo el año (~26°C) en consecuencia a la ubicación del Ecuador en la zona tropical (Strahler, 2013).

El clima de la Sierra depende de la posición del Sol durante el año, la cual es vertical en marzo/ abril y septiembre/ octubre, cuando se observa las precipitaciones máximas también (evaporación más alta). Al contrario de la Costa, la Sierra no muestra una estación seca bien marcada; sin embargo, el clima puede cambiar rápidamente entre los valles debido a la topografía, específicamente debido a las cadenas montañosas que forman barreras para el transporte de la humedad (Fries et al., 2014). En general, los meses más secos son agosto y septiembre, cuando la posición vertical del Sol es sobre el hemisferio norte (final del invierno del hemisferio sur). Las precipitaciones como también las temperaturas dependen de la altura, alcanzando valores entre 700 mm y 1200 mm (precipitación) y 10°C y 16°C (temperatura) donde hay centros poblados.

La Amazonia muestra un clima lluvioso durante todo el año. Sin embargo, dos máximas son observables en marzo y octubre simultáneamente con la posición vertical del Sol. Las precipitaciones varían entre 2000 mm y 4000 mm, dependiendo de la topografía local y la altura sobre el nivel del mar (Richter y Moreira-Muñoz, 2005). Las temperaturas son un poco más bajas comparado con la Costa (entre 20°C y 22°C), debida a la alta nubosidad que absorbe y refleja gran parte de la radiación solar (Fries et al., 2012).

La vegetación natural en la zona está relacionada con las regiones climáticas y sus características (Richter, 2003). En la Costa predominan sabanas, y bosques caducifolios o semi-caducifolios, mientras que en la Sierra bosques montanos y páramos (Aguirre et al., 2017; González et al., 2018). La vegetación natural en la Amazonía es bosque lluvioso tropical (Richter y Moreira-Muñoz, 2005).

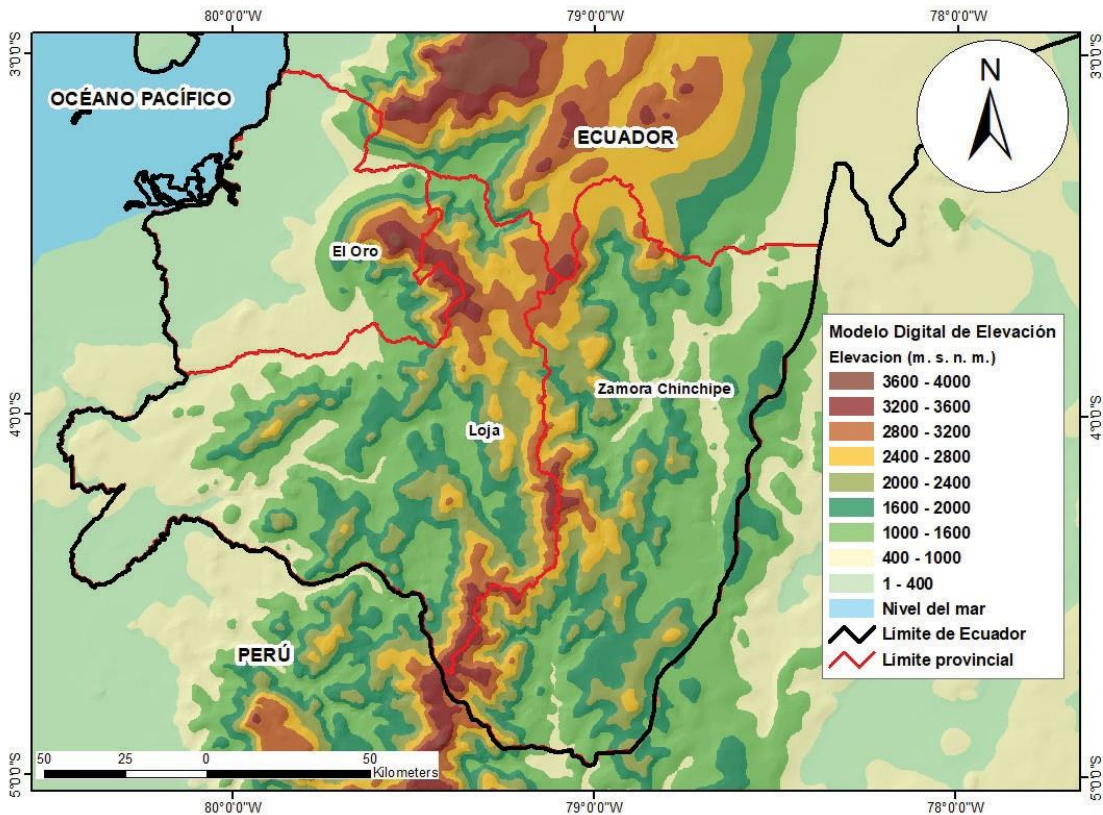


Figura 1. Área de estudio, comprende la zona sur de Ecuador.

MÉTODOS

Los mapas de radiación solar fueron generados mediante imágenes satelitales de la zona sur del Ecuador (Región 7), específicamente imágenes del satélite NOAA 17, con su sensor AVHRR, que facilita información de 5 canales espectrales en una resolución de 1.1 km. Los canales 1 ($0.58\mu\text{m} - 0.68\mu\text{m}$) y 2 ($0.725\mu\text{m} - 1.10\mu\text{m}$), miden la radiación solar reflejada por la superficie en longitudes de onda de luz visible e infrarrojo cercano, respectivamente; mientras que los canales 3 ($3.55\mu\text{m} - 3.93\mu\text{m}$), 4 ($10.50\mu\text{m} - 11.30\mu\text{m}$) y 5 ($11.50\mu\text{m} - 12.50\mu\text{m}$) detectan la radiación emitida en infrarrojo medio hasta infrarrojo térmico (González-Jaramillo et al., 2016). La información utilizada consistió de 55 imágenes satelitales de los meses marzo, abril, septiembre y octubre del año 2008. Para la estimación de la radiación solar se usa las bandas 1 y 2, que proporcionan la cantidad de energía reflejada en la superficie terrestre, la cual está expresada en el coeficiente de reflexión o albedo de la superficie. Los canales 4 y 5 permiten estimar la radiación, proveniente del Sol. La combinación entre las dos variables (albedo y radiación solar) indica la cantidad de energía aprovechable para la generación de energía renovable. (EOI, 2012).

Para la generación de mapas de radiación solar se utilizó el software IDRISI (versión Taiga, IDRISI, 2018), la cual permite el pre-procesamiento necesario de las imágenes satelitales respecto a errores atmosféricos y geométricos, aplicando coeficiente de calibración (NOAA, 2015). Mediante las imágenes corregidas, se calculó el albedo (bandas 1 y 2), lo cual es expresado en porcentaje con valores entre 0 y 1 (K_e), donde el valor 1 indica una reflexión completa y el valor 0 una absorción completa de la radiación solar en la superficie. Las bandas 4 y 5 presentan valores digitales entre 0 y 1023 los cuales deben ser ajustados mediante ecuaciones dadas por NOAA (2015), que convierten los dígitos en temperaturas absolutas (T) en grados Kelvin ($^{\circ}K$). Para estimar la energía solar en W/m^2 y calcular la energía solar aprovechable dentro de cada celda (x,y), se aplicó la ecuación de Stefan- Boltzmann multiplicando el albedo (Ecuación 1; Vásquez, 2014):

$$H=K_e*\sigma*T^4 \quad (1)$$

Dónde:

H = Energía solar sobre la superficie terrestre expresado en (W/m^2)

K_e = Constante de emisividad dependiendo del cuerpo entre 0 y 1 (albedo).

σ = La constante de Stefan – Boltzmann ($5,6703+10^{-8}$) expresado en ($W/m^2 * K^4$)

T^4 = Temperatura absoluta ($^{\circ}K$)

Sin embargo, esta metodología solo es aplicable para celdas que no presentan nubes, porque la nubosidad impide el análisis de la superficie terrestre (González-Jaramillo et al., 2016). La discriminación de píxeles nublados como también del tipo de superficie se realizó mediante la metodología descrita por Bendix et al. (2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los mapas de radiación solar fueron generados para los meses extremos, específicamente marzo/ abril (final de la estación lluviosa) y septiembre/ octubre (final de la estación seca; INAMHI, 2013). La **Figura 2** presenta el mapa para el mes de marzo de la radiación aprovechable para la generación de energía solar (Ecuación 1; Vásquez, 2014), indicando una radiación promedia entre de 200 a 400 W/m^2 , lo que concuerda con el balance energético según CIIFEN (2000). Los valores más altos se observan en la Costa (provincia El Oro) como también en la parte central y sur-occidental de la provincia de Loja donde la nubosidad es generalmente baja. Para la Amazonia valores mínimos fueron calculados debido a la nubosidad frecuente sobre esta región (Bendix et al., 2009). Las cadenas de los Andes muestran valores bajos también, especialmente en las cumbres, donde la alta nubosidad reduce la radiación solar (Fries et al., 2012).

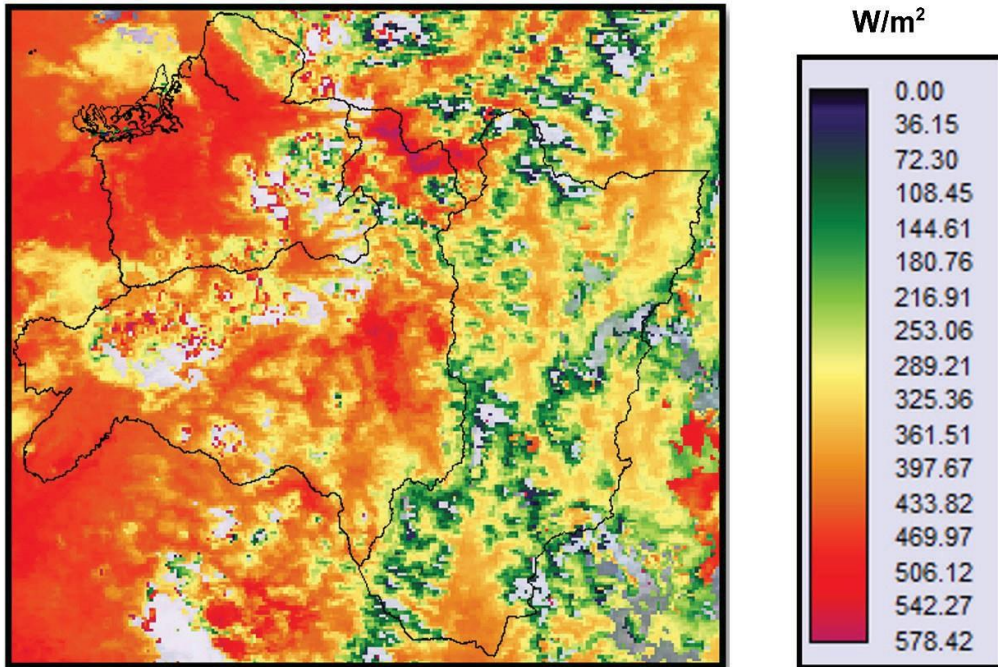


Figura 2. Radiación solar promedio en el mes de marzo de 2008.

La radiación solar en el mes de abril (Fig. 3) muestra la misma distribución que el mes de marzo (Fig. 2), aunque los valores calculados son un poco más bajos. Esto se debe a la formación frecuente de tormentas durante la estación lluviosa en el sur del Ecuador (Fries et al., 2014), la cual reduce la radiación recibida en la superficie. Las tormentas se forman generalmente alrededor de media día y en las tardes cuando la radiación solar es más fuerte también (10 am a las 03 pm; Orellana y Sarango, 2015). En la **Figura 3** los sistemas grandes de nubes se observan sobre la Amazonia y sobre la Costa, como también sobre las cadenas montañosas, donde la radiación solar es particularmente baja. Sin embargo, la parte central y sur-occidental de la provincia de Loja muestra valores altos, que indica que la nubosidad sobre estas regiones es menos frecuente.

Durante la estación seca (septiembre y octubre) la nubosidad es generalmente baja en la zona de estudio, específicamente en la Costa y sobre los valles interandinos, porque la radiación solar es más intensa alcanzando valores máximos promedios sobre 500 W/m² (CIIFEN, 2000). Sin embargo, neblinas son frecuentes en la franja costera, lo cual reduce la radiación recibida en la superficie. La **Figura 4** indica la radiación solar durante el mes de septiembre, donde se observa valores muy altos, específicamente la provincia de Loja y partes de la Costa (El Oro) no cubiertos de neblina. Los valores máximos se encuentran en los valles interandinos y en la parte sur-occidental de la provincia de Loja (zona de transición al desierto del norte de Perú), donde nubosidad generalmente es ausente durante esta época del año (Rollenbeck and Bendix, 2011; Bendix et al., 2017). Volares mínimos ocurren sobre la Amazonia y en las cadenas montañosas, debido a la alta nubosidad, como también en la franja costera, donde neblinas son frecuentes.

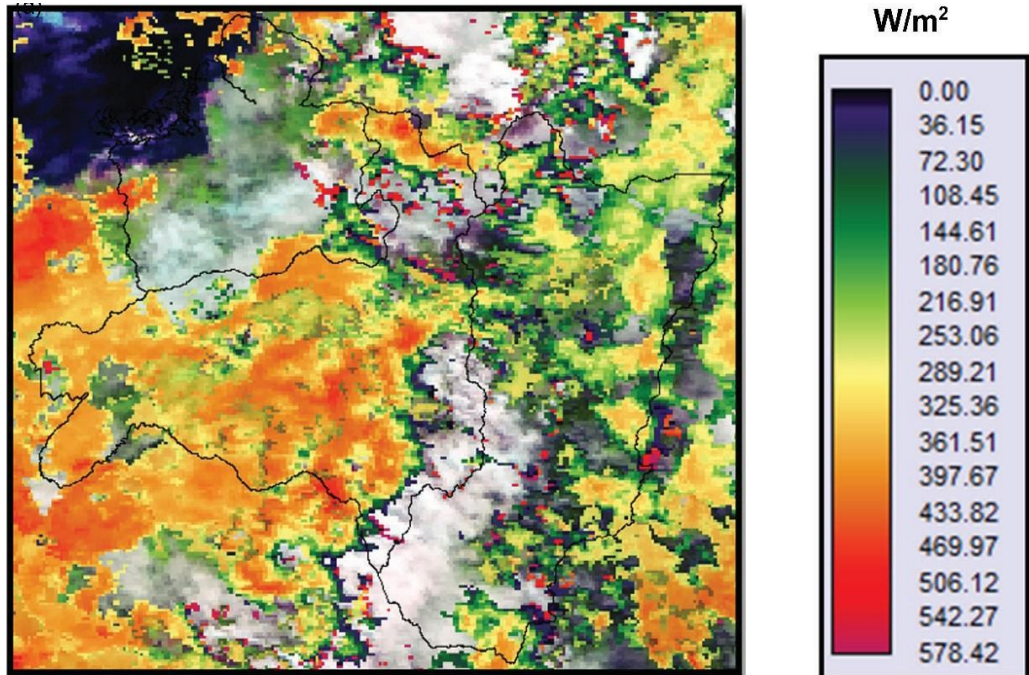


Figura 3. Radiación solar promedio en el mes de abril de 2008.

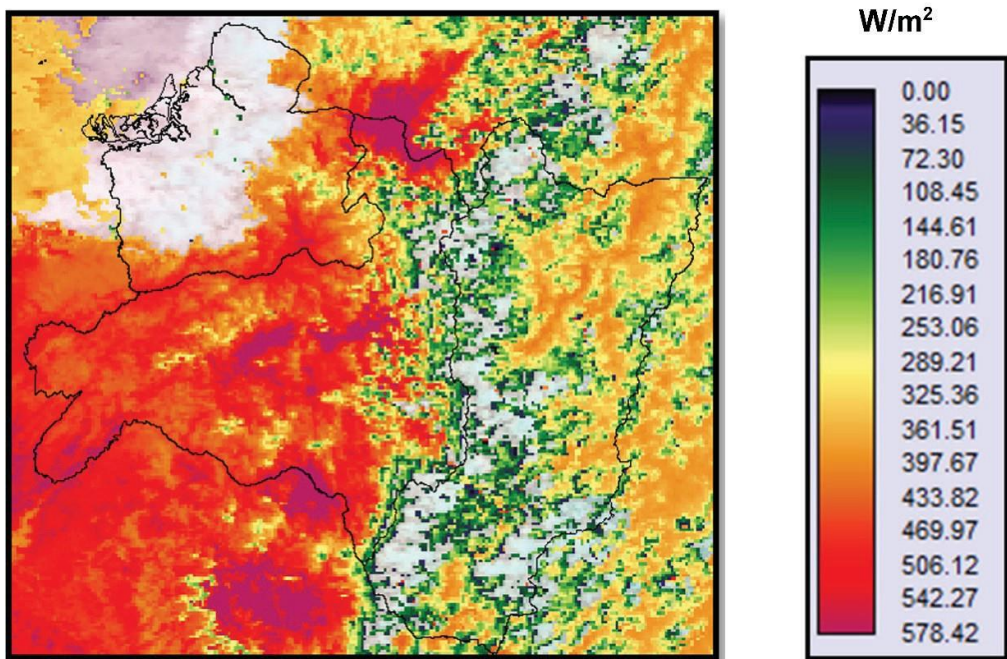


Figura 4. Radiación solar promedio en el mes de septiembre de 2008.

La **Figura 5** muestra la radiación solar en octubre, la cual indica la misma distribución que en septiembre (Fig.4). Sin embargo, los valores en la Amazonia y en la parte oriental de la provincia de Loja son más bajos, porque octubre es el mes de transición entre la estación seca y la estación húmeda, y la formación de tormentas comienza (Rollenbeck and Bendix, 2011). El inicio de la estación lluviosa es visible sobre la Costa también, donde algunas áreas muestran valores muy bajos, debido a las nubes de tormenta que absorben y refl gran cantidad de la radiación incidente. Los valores máximos se observan sobre los valles interandinos (provincia de Loja) como en la parte sur-occidental del área de estudio. La radiación extremadamente alta sobre los valles interandinos se debe a la posición vertical del Sol sobre el área de estudio y las cadenas montañosas que impiden el transporte de la humedad (barreras; Fries et al., 2014; Oñate-Valivieso et al., 2018).

En resumen, la radiación solar en el sur de Ecuador es generalmente alta durante todo el año, debido a la su ubicación en la zona tropical (Strahler, 2013). Solo en regiones donde nubosidad es frecuente (Amazonia y cadenas montañosas) la energía recibida en la superfi es reducida (Bendix et al., 2008; González-Jaramillo et al., 2016). Las regiones más favorables para la implementación de sistema de abastamiento para la generación de energía son los valles interandinos como también la parte sur-occidental del área de estudio (transición al desierto), donde la nubosidad es generalmente baja (Bendix et al., 2017). Los valores calculados (entre 200 W/m^2 a 600 W/m^2) coinciden con los resultados de estudios previos (CIIFEN, 2000; Orellana y Sarango 2015), indicando que la radiación solar es una fuente potencial para la generación de energías limpias/renovables en el sur del Ecuador.

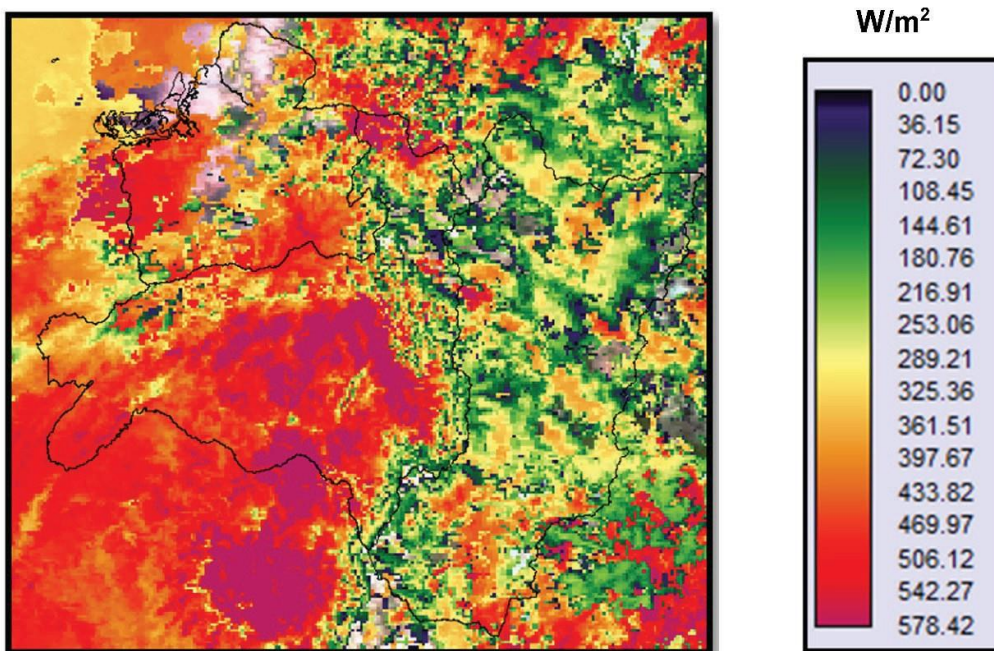


Figura 5. Radiación solar promedio en el mes de octubre de 2008.

CONCLUSIONES

Este estudio muestra que la estimación de la radiación solar aprovechable para la generación de energía es factible mediante SIG y Teledetección para regiones en donde estaciones meteorológicas son escasas o inexistentes. Las diferentes bandas de los satélites (p.ej. NOAA-AVHRR) permiten el cálculo realista de la radiación solar en alta resolución con un error máximo estimado de 5% en sitios con cielos despejados y 15 % para cielos nublados (Vera, 2005). En base de los mapas generados se puede identificar el potencial en las diferentes regiones para la implementación de sistemas de abastecimiento de este tipo de energía renovable.

En general, Ecuador es favorecido respecto a la radiación solar debido a su posición geográfica en la zona tropical donde la energía solar es alta hasta extrema durante todo el año (WHO, 2003). Respecto a la parte sur del Ecuador (Región 7), los sitios más favorables para la implementación de sistemas para la generación de energía solar son los valles interandinos y la parte sur-occidental (zona de transición al desierto), donde la nubosidad es generalmente baja. La Amazonia, como también las cadenas montañosas son frecuentemente cubiertas de nubes por lo que la generación de energía solar es limitada. Sin embargo, las cumbres pueden proveer otra fuente de energía renovable (EKOS, 2014), específicamente energía eólica, debido a los vientos fuertes y constantes observados en estos sitios (Windhorst et al., 2013).

Estos resultados pueden servir como una guía referencial para la implementación potencial de sistemas de generación eléctrica a pequeña y mediana escala, realizando adicionalmente un análisis de factibilidad de ejecución y de costos.

REFERENCIAS

- Aguirre-Mendoza, Z., Aguirre, N., Merino, B., Ochoa, I. (2015). Los páramos del Parque Nacional Podocarpus: Una aproximación a su diversidad ecosistémica y florística. En: Cambio climático y Biodiversidad: Estudio de caso de los páramos del Parque Nacional Podocarpus; Aguirre, N., Ojeda, T., Eguiguren, E., Aguirre, Z., Eds.; Edilaja: Loja, Ecuador, 2015; pp. 22–45.
- Arozarena, A. (2002). Sistemas de captura y análisis de la información territorial. Madrid – España. Cap.3.
- Bendix, J., Rollenbeck, R., Palacios, E.W. (2004). Cloud detection in the tropics- a suitable tool for climate- ecological studies in the high mountains of Ecuador. Faculty of Geography, University of Marburg. Marburg – Germany.
- Bendix, J., Rollenbeck, R., Richter, M., Fabian, P., Emck, P. (2008). Climate. In Gradients in a Tropical Mountain Ecosystem of Ecuador; Beck, E., Bendix, J., Kottke, I., Makeschin, F., Mosandl, R., Eds.; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2008; Volume 198, pp. 63–74.
- Bendix, J., Trachte, K., Cermak, J., Rollenbeck, R., Nauß, T. (2009). Formation of convective clouds at the foothills of the tropical eastern Andes (South Ecuador). *J Appl Meteorol*, 48, 1–17.

- Bendix, J., Fries, A., Zárate, J., Trachte, K., Rollenbeck, R., Pucha-Cofrep, F., . . . Achilles, S. (2017). RadarNet-sur first weather radar network in tropical high mountains. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 98(6), 1235-1254. doi:10.1175/BAMS-D-15-00178.1
- CIE. (Corporación para la Investigación Energética). (2008). Atlas solar del Ecuador con fines de Generación Eléctrica. Quito - Ecuador. 5-7.
- CIIFEN. (2000). (Centro internacional para la investigación del fenómeno del niño. Guayaquil, Ecuador. http://www.ciifen.org/index.php%3Fopcion%3Dcom_content%26view%3Dcategory%26layout%3Dblog%26id%3D99%26Itemid%3D132%26lang%3Des Ingresado: 5 de mayo de 2015.
- Davis, G. (1990). Energy for planet earth. *Scientific American*, 263, 3, 20-7.
- EKOS. (2014). Central Eólica Villonaco le ahorra a Ecuador USD 13,2 millones. <http://www.ekosnegocios.com/negocios/verArticuloContenido.aspx?idArt=3314>. Ingresado: 6 de octubre de 2015.
- EOI. 2012. Radiación directa, difusa y reflejada. http://www.eoi.es/wiki/index.php/Radiaci%C3%B3n_directa,_difusa_y_reflejada_en_Ecomateriales_y_construcci%C3%B3n_sostenible. Ingresado: 15 de septiembre de 2017.
- Fries, A., Rollenbeck, R., Nauss, T., Peters, T., Bendix, J. (2012). Near surface air humidity in a megadiverse Andean mountain ecosystem of southern Ecuador and its regionalization. *Agricultural and Forest Meteorology*, 152, 17–30.
- Fries, A., Rollenbeck, R., Bayer, F., Gonzalez, V., Oñate-Valivieso, F., Peters, T., Bendix, J. (2014). Catchment precipitation processes in the San Francisco valley in southern Ecuador: combined approach using high-resolution radar images and in situ observations. *Meteorol. Atmos. Phys*, 126, 13–29, DOI:10.1007/s00703-014-0335-3.
- González, F., D., y Bosque, S., J. (2008). Generación de un mapa de vientos en un sig. *Boletín de la A.G.E. N°47*. Universidad de Alcalá. Madrid – España. p.51-77.
- González-Jaramillo, V., Fries, A., Rollenbeck, R., Paladines, J., Oñate-Valdivieso, F., Bendix, J. (2016). Assessment of deforestation during the last decades in Ecuador using NOAA-AVHRR satellite data. *Erdkunde*, 70, 217–235, DOI:10.3112/erdkunde.2016.03.02.
- González-Jaramillo, V., Fries, A., Zeilinger, J., Homeier, J., Paladines-Benitez, J., Bendix, J. (2018). Estimation of above ground biomass in a tropical mountain forest in southern Ecuador using airborne LiDAR data. *Remote Sensing*, 10(5) doi:10.3390/rs10050660
- IDRISI. (2018). Remote Sensing Guide Individual Tutorials by Chapter. <https://clarklabs.org/download/remote-sensing-guide-tutorial-data/>. Ingresado: 10 de marzo de 2017.
- INAMHI (1990–2013). Anuarios Meteorológicos. Quito, Ecuador. <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/biblioteca/>. Ingresado: 30 de octubre de 2017.
- IPCC. (2010). Informe especial sobre fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climático. Informe del Grupo de trabajo III del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/srren_report_es.pdf. Ingresado: 3 de octubre de 2017
- Mohtasham, J. (2015). Review Article-Renewable Energies. *Energy Procedia*, 74, 1289 – 1297.
- NOAA, 2015. NOAA KLM User’s Guide, Section 7.1, AVHRR. <http://www.ncdc.noaa.gov/oa/podguide/ncdc/docs/klm/html/c7/sec7-1.htm>. Ingresado: 20 de febrero de 2017.
- Nada, Kh. M. A. (2014). Renewable Energy Types. *Journal of Clean Energy Technologies*, 2, 1, 61-64.

- Oñate-Valdivieso, F., Fries, A., Mendoza, K., Gonzalez-Jaramillo, V., Pucha-Cofrep, F., Rollenbeck, R., & Bendix, J. (2018). Temporal and spatial analysis of precipitation patterns in an andean region of southern Ecuador using LAWR weather radar. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 130(4), 473-484. doi:10.1007/s00703-017-0535-8
- Orellana, A., y Sarango, J. (2015). Estudio de factibilidad para el uso de energía solar y eólica en sistemas de alumbrado público para la vía de integración barrila, sector el Plateado servido por empresa eléctrica regional del Sur. Tesis de Ingeniería. Ecuador, Cuenca.
- Richter, M. (2003): Using epiphytes and soil temperatures for eco-climatic interpretations in southern Ecuador. *Erdkunde*, 57 (3), 161–181. DOI: 10.3112/erdkunde.2003.03.01
- Richter, M., & Moreira-Muñoz, A. (2005). Heterogeneidad climática y diversidad vegetal en el sur de Ecuador: un método de fitoindicación (in Spanish). *Revista Peruana de Biología*, 12, 217-238.
- Rollenbeck, R., y Bendix, J. (2011). Rainfall distribution in the Andes of southern Ecuador derived from blending weather radar data and meteorological field observations. *Atmos Res*, 99, 277-289.
- Strahler, A., H. (2013). *Introducing Physical Geography* (6th ed.). USA: Wiley. ISBN: 978-1-118-39620-9
- Vera, N. (2005). “Atlas climático de irradiación solar a partir de imágenes del satélite NOAA. Aplicación a la península Ibérica, Barcelona (Tesis Doctoral de Vera Mella Nelson, Barcelona 2005).
- Vázquez, C. (2014). Análisis, modelamiento y gestión de una micro red eléctrica para edificaciones residenciales usando paneles fotovoltaicos. Tesis de Ingeniería. Ecuador, Quito.
- Windhorst, D., Waltz, T., Timbe, E., Fred, H. G., Breuer, L. (2013). Impact of elevation and weather patterns on the isotopic composition of precipitation in a tropical montane rainforest. *Hydrol Earth Syst Sci*, 17, 409–419
- World Health Organization. (2003): *ÍNDICE UV SOLAR MUNDIAL: GUIA PRACTICA*. Catalogación por la Biblioteca de la OMS. ISBN 92 4 159007 6

LEVANTAMIENTO, ANÁLISIS Y PUBLICACIÓN DE GEOINFORMACIÓN EN UN VISUALIZADOR 3D.

GATHERING, ANALYSIS AND PUBLICATION OF GEOINFORMATION IN A 3D VISUALIZER.

FABIÁN SANTANDER¹, VILLIE MOROCHO²

^{1,2}DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN, FACULTAD DE INGENIERÍA, Universidad de Cuenca. Av. 12 de Abril y Agustín Cueva, Cuenca, Ecuador. 1fabian.santander@ucuenca.edu.ec, 2villie.morocho@ucuenca.edu.ec.

Recibido: 15 de agosto 2018 /Aceptado: 25 de septiembre 2018

RESUMEN

Los Sistemas de Información Geográfica (GIS) son herramientas para encontrar respuestas de ámbito espacial, que permiten apoyar con las necesidades estratégicas de una entidad. El presente trabajo muestra el resultado de un proyecto SIG sobre el deslizamiento de masas en un territorio, que pretende exponer el resultado de un trabajo mediante el proceso que se ha llevado a cabo en un proyecto enfocado a la vulnerabilidad ante eventos naturales, centrado en los deslizamientos de masa que puede sufrir un territorio determinado a consecuencia de distintos factores. En este documento se va a describir como al utilizar distintas tecnologías se puede obtener información geográfica en tres dimensiones. Partiendo de la participación de un ciudadano común, para la generación de geometrías en dos dimensiones que van a servir para un posterior análisis, que permitirá dar paso al uso de equipos tecnológicos capaces de levantar información con precisión geográfica, para una evaluación detallada de una zona determinada.

Palabras clave: Infraestructura de Datos Espaciales, Visualizador de mapas, 3D, Nube de puntos, SIG.

ABSTRACT

The Geographic Information Systems (GIS) are tools to find answers of spatial scope, that allow to support with the strategic needs of an entity. The present work shows the result of a GIS project on the landslide in a territory, which aims to expose the result of a work through the process that has been carried out in a project focused on vulnerability to natural events, focused on the landslides that a determined territory can suffer as a result of different factors. In this document we will describe how using different technologies you can obtain geographic information in three dimensions. Starting from the participation of a common citizen, for the generation of geometries in two dimensions that will serve for a later analysis, that will allow to give way to the use of technological equipment able to raise information with geographic precision, for a detailed evaluation of an area determined.

Keywords: Spatial Data Infrastructure, Map viewer, 3D, Point cloud, GIS.

INTRODUCCIÓN

La información geográfica ha revolucionado, y lo sigue haciendo en la manera de representar la superficie terrestre y los objetos situados sobre ella. De tal manera, cada vez es más la información geográfica que es representada digitalmente en distintas formas, ya

sean en 2D, 2.5D o 3D, todas estas con el fin de ofrecer un mejor análisis y obtener los mejores resultados para la toma de decisiones.

Para justificar la importancia de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y el papel que estos juegan hoy en día, es importante citar el hecho de que aproximadamente un 60 % de la información que manejamos en cualquier tipo de disciplina esta georreferenciada (Hahmann & Burghardt, 2012). Es decir, que se trata de información a la cual puede asignarse una posición geográfica, y es por tanto información que viene acompañada de otra información adicional relativa a su localización (Olaya, 2014).

Si bien es probable que este porcentaje de la información georreferenciada ha crecido de manera favorable en comparación de años anteriores, se puede decir que esto ha permitido el desarrollo de múltiples herramientas para hacer uso de toda esa información con el fin de visualizarla y analizarla de distintas maneras. Tal es el caso de un visualizador de nube de puntos geográfico (3D - Tres dimensiones) que ha puesto a disposición la Universidad de Cuenca, con la finalidad de ofrecer una perspectiva adicional a la que ha venido trabajando en los últimos años en el tema de las IDE (Infraestructura de Datos Espaciales).

La implementación de un visualizador de nube de puntos o visualizador 3D, nace de la necesidad de exponer la información geográfica que se ha venido obteniendo gracias a los equipos con los que cuenta la Universidad de Cuenca (Drone eBee y Escáner laser LIDAR). La posibilidad de visualización de una nube de puntos una representación más real de la información obtenida, al contrario que una representación básica en dos dimensiones. Considérese además que la visualización 3D de una nube de puntos es más real para un usuario no familiarizado con mapas vectoriales. El lograr un visualizador de estas características permite aprovechar al máximo la ventaja de los sensores remotos utilizados en el proyecto y que un usuario pueda verlos sin necesidad de una computadora de mayores características más que una conexión a internet.

El presente artículo enmarca la descripción de un conjunto de herramientas y procesos, como parte de un proyecto que busca la manera de relacionar varias tecnologías, con la finalidad de proporcionar información geográfica que pueda estar a disposición en la WEB exhibida en varios formatos dimensionales.

APLICACIÓN MÓVIL

Los dispositivos móviles inteligentes abarcan una gran cantidad de beneficios haciendo uso de las aplicaciones correspondientes; estas aplicaciones ayudan en la solución de problemas que se pueden presentar en diversos escenarios. Con tal fin la Universidad de Cuenca ha desarrollado una aplicación móvil en el lenguaje de Android, que sirve como un complemento para aportar información geográfica a la plataforma IDE.

Debido a que Ecuador se encuentra en una zona con diversidad de riesgos naturales que pueden incidir sobre una gran parte de la población, la APP móvil que se ha desarrollado en este proyecto involucra el concepto PPGIS (Public Participation Geographic Information System), este término tiene como finalidad apoyar la participación pública con el objeto de incluir a las poblaciones locales o marginales en los procesos de planificación o decisión (Brown, 2012).

APP MÓVIL Y LA PLATAFORMA IDE UCUENCA

El diseño del esquema funcional entre la APP móvil y la Plataforma IDE UCuenca, está planteado con cualidades dinámicas, enfocándose principalmente en la emisión de información y la actualización de los elementos que componen la APP móvil mediante la interacción de la Plataforma IDE (Figura 1).

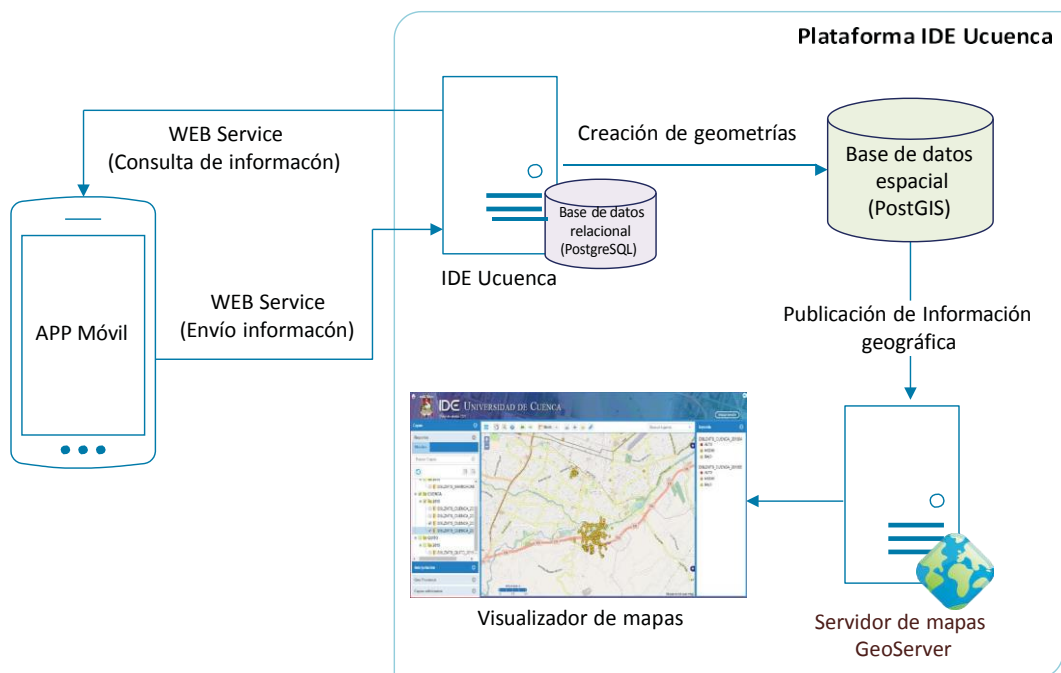


Figura 1. Esquema funcional entre la APP móvil y la Plataforma IDE UCuenca.

Tratándose de un proyecto que busca la participación ciudadana para la generación de información geográfica, la APP móvil está diseñada para encuestar al usuario mediante formularios que puedan ser interpretados de una manera intuitiva, asistiendo únicamente con información necesaria al momento de ser presentada, es decir, no todos los parámetros de la encuesta van a estar visibles en un solo formulario, éstos van a visualizarse según la selección que realice el usuario (Figura 2). Esta técnica es conocida como encuesta de tipo árbol, que simplemente es una versión modificada de la técnica de encuesta habitual caracterizada por que las preguntas que se le hacen a cada individuo depende de las respuestas que ha dado con anterioridad, con arreglo a un cuestionario rígido, establecido previamente que define las diferentes rutas posibles (Sequeiros, 2012).

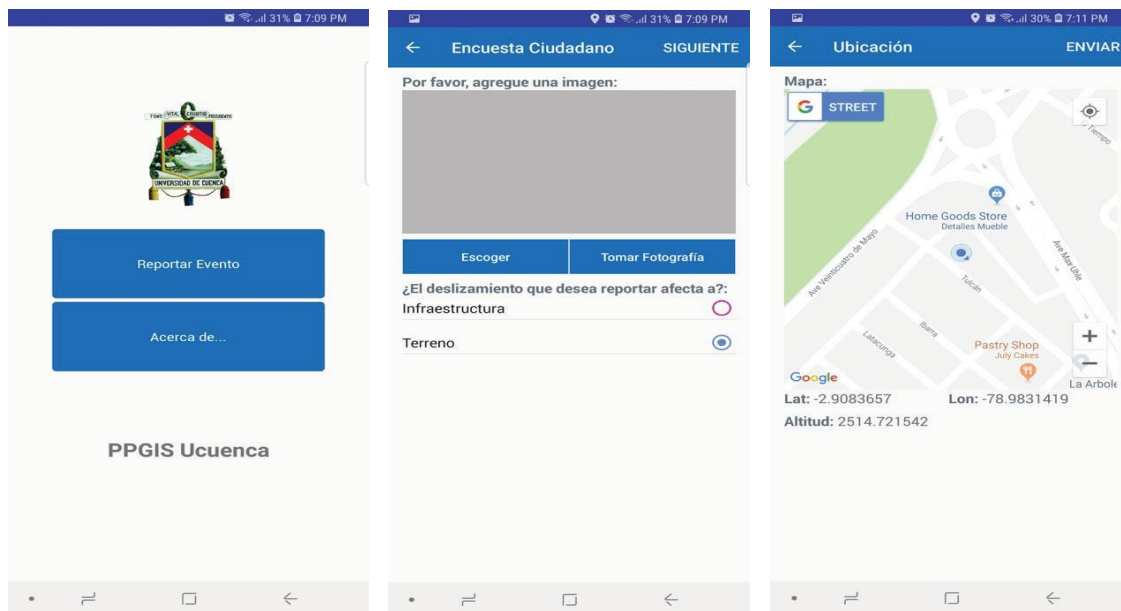


Figura 2. Capturas de la APP móvil

Por otra parte, la APP móvil cuenta con un sistema capaz de actualizar los formularios de manera remota, esto debido a que está programada para interpretar un archivo en formato JSON, que contiene los parámetros de la encuesta construida desde la plataforma IDE Ucuena, para transformarlo en formularios con elementos HTML. De esta manera, la información de los formularios va a estar almacenada en el servidor de la IDE UCuenca y las actualizaciones se realizarán desde aquel sitio, sin la necesidad de actualizar la estructura desarrollada de manera nativa en la APP móvil (Figura 1).

La encuesta que reporte el usuario va a ser emitida hacia el servidor de la IDE UCuenca, para cumplir con un proceso de clasificación, almacenamiento en una Base de Datos espacial PostGIS y publicación de la información en el servidor de mapas GeoServer. Al contar esta información con un formato georreferenciado (Shapefile) es posible utilizarla para realizar un análisis que permita tomar decisiones para confrontar una situación. Entre las decisiones que se pueden tomar, están las de realizar una evaluación de la zona con equipos que puedan dar más detalle de la situación.

EQUIPOS TECNOLÓGICOS Y LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN

EQUIPOS TECNOLÓGICOS

La Universidad de Cuenca ejecuta diversos proyectos de investigación enfocado al análisis geográfico, por los cuales han servido de exigencia para la adquisición de equipos como: El FARO Laser Scanner Focus3D (LIDAR) y el dron eBee (AG y RTK), que son tecnologías con características y funcionalidades diferentes, pero cuyos resultados pueden ser complementarios entre el uno y el otro.

FARO Laser Scanner Focus3D

El Focus3D es un escáner láser 3D de alta velocidad para documentar y medir en forma detallada. El Focus3D utiliza tecnología láser para crear imágenes tridimensionales extraordinariamente detalladas de entornos complejos y geometrías de gran escala en tan solo algunos minutos (FARO, 2013).

Drone eBee (AG y RTK)

El senseFly eBee es un dron de mapeo completamente autónomo y fácil de usar. Su uso está enfocado principalmente para capturar fotos aéreas de alta resolución que puede transformar en ortomosaicos precisos y modelos 3D. El eBee puede cubrir hasta 12 km² (4,6 mi²) en un solo vuelo de mapeo automatizado, mientras que los vuelos sobre áreas más pequeñas, a altitudes más bajas, pueden adquirir imágenes con una distancia de muestreo de tierra de hasta 1.5 cm (0.6 in) por píxel (Sensefly, 2018).

LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

PartiendodelainformaciónquesehaobtenidomediantelaAPPmóvil(2.1),sepuededeterminar mediante una discusión y tomando en cuenta diferentes factores, si es factible o no realizar un análisis detallado de la zona, dando paso al despliegue del personal y el equipamiento (Drone y LIDAR) para realizar los estudios necesarios y proceder al levantamiento de la información.

Debido a que el Cantón Cuenca, perteneciente a la provincia del Azuay, se encuentra en una zona topográfica con problemas de erosión y terrenos inestables, la Municipalidad y su departamento técnico detectaron 60 lugares en los que se producen derrumbes y la destrucción de más de un centenar de viviendas (Telégrafo, 2012). Por lo tanto, este proyecto se ha centrado en evaluar algunas zonas que principalmente están activas con efectos de deslizamientos, estas zonas están situadas a los alrededores del cantón mencionado, entre ellas están: El Sector de Reina del Cisne, Trigales Altos y el sector de la Universidad de Azuay. Cada una de estas zonas se encuentran en una situación de riesgo, debido a que éstas abarcan a viviendas que han sido o están siendo afectadas de manera directa por los deslizamientos de terreno.

En esta sección del documento se va a exponer la metodología del levantamiento de la información en la zona del sector de la Universidad del Azuay, que puede ser ubicado geográficamente en las coordenadas: Latitud. -2.919889, Longitud. -79.001139. El estudio se inició el 06 de diciembre del 2017 y culminó el 20 de junio del 2018. Se compone de tres vuelos realizados con el dron eBee y un monitoreo utilizando el escáner láser terrestre FARO 3D X130 el 6 de diciembre del 2017.

Levantamiento de información con el Escáner Láser

Esta tecnología tiene un alcance de 130m con una precisión de +- 2 mm, dispara un láser infrarrojo en forma de onda y calcula la distancia a los objetos en función del desfase de la onda al momento del disparo y llegada al sensor. Esto es ideal para el estudio de zonas pequeñas (Revuelto, y otros, 2013), debido a que se debe dedicar una jornada extensa en la ubicación del LiDAR y sus esferas.

Se efectuaron 15 escaneos tridimensionales con el escáner LiDAR el seis de diciembre del 2017, en una zona montañosa hacia al norte de la autopista Cuenca – Azogues, y el siete de diciembre del 2017 se realizaron 12 escaneos hacia la zona sur de la autopista correspondiente a la Universidad del Azuay.

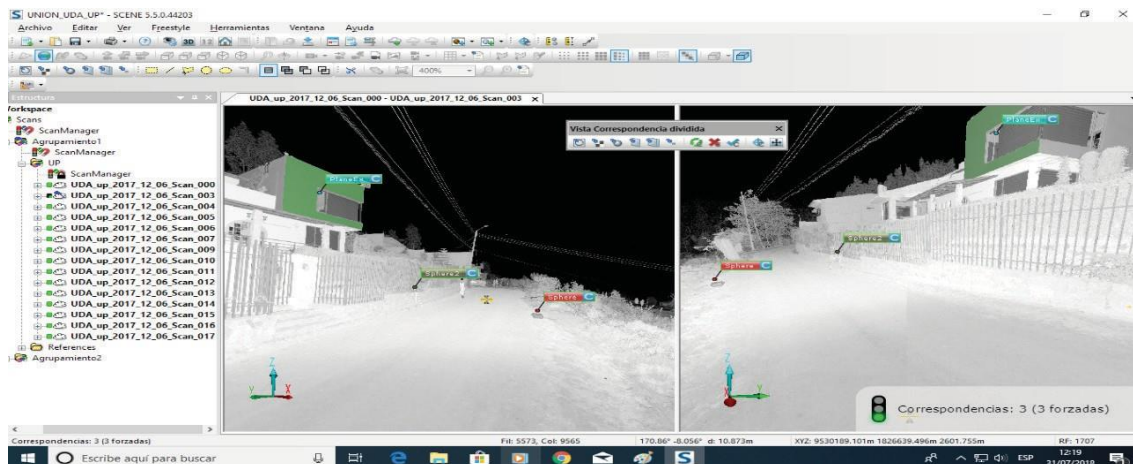


Figura 3. Unión de nube de puntos del LiDAR utilizado el Software FARO SCENE.

Los 27 levantamientos realizados por el escáner LiDAR terrestre de la zona norte y sur a la autopista, fueron unidos mediante el software FARO SCENE (Figura 3), utilizando esferas de 0.0698m y 0.12335m de radio, seis esferas como máximo para cada uno de los levantamientos (tres de vista frontal y posterior) y en algunos casos se utilizaron planos para disminuir el error de unión. Los escaneos realizados se ejecutaron en diferentes días; 15 de ellos fueron levantamientos en la parte superior, y los 12 restantes en la parte inferior; el procesamiento de la información se realiza de manera individual dado que son proyectos diferentes, pero la unificación de todos los escaneos se hizo posible gracias al software CloudCompare.

Levantamiento de información con el drone eBee

Los tres vuelos con el drone eBee se realizaron el 2 de febrero, 18 de abril y 20 de junio del 2018. Este drone cubrió 1.0618 km² en un tiempo aproximado de 35 minutos para recorrer el área. El vuelo del mes de abril se realizó con un tamaño de pixel de 11cm, el cual sirvió para obtener el DSM (Modelo Digital de Superficie) que se utilizó para referenciar las elevaciones superficiales que compone el terreno, y así realizar vuelos posteriores con un tamaño de pixel más pequeño para obtener información más detallada. Adicionalmente se realizó un geoprocesamiento de la información para obtener el NDVI mediante el software ArcGIS 10.5.

Para un estudio más detallado, se obtuvieron ortofotos de la zona pertenecientes a cada año, que están a disposición en el Instituto Geográfico Militar (IGM), de los años 1963, 1977, 1979, 1994 y 2008. Con esto se obtuvo información para evaluar el deslizamiento por medio de una visión estereoscópica de esos años, en cuyas imágenes se aprecia la

aparición de la cicatriz del escarpe y el hundimiento cercano a éste, en consecuencia, esta es la zona con mayor actividad de masa deslizada en la zona urbana del cantón Cuenca. Entre las jordanas realizadas durante el periodo de monitoreo de la zona de estudio, se realizaron levantamientos de información con estación total de puntos fijos y móviles en las fechas de diciembre del 2017, pero debido a los constantes mantenimientos de infraestructura que la Universidad del Azuay realiza en su terreno, se ubicaron nuevos puntos móviles en zonas más estratégicas en los meses de abril y junio del 2018.

Para monitorear el deslizamiento se realizaron dos vuelos con dron eBee en el mes de febrero y junio del 2018, con el fin realizar la comparación de nube de puntos; al ser un área muy grande, el dron es imprescindible para realizar una comparación de nube de puntos, pero tiene la desventaja de no ser muy precisa como otros instrumentos de medición (Escáner láser), por lo que se debe complementar con material topográfico (Carrullas & Corominas J., 2017).

Una vez obtenida las fotografías del dron eBee, la información fue procesada mediante el software Agisoft PhotoScan Professional (febrero 2018) y Pix4D (junio 2018) (Figura 4). Estos programas computacionales trabajan con un algoritmo estándar llamado Structure From Motion (SFM), que realiza comparaciones cruzadas entre todas las fotografías, calculando los puntos comunes de forma similar a la fotogrametría estereográfica, pero con una matriz de imágenes para generar una nube de puntos (Tavani, y otros, 2014), en donde, entre los principales resultados se pudo obtener un modelo digital de elevación y un ortomosaico de la zona correspondiente.

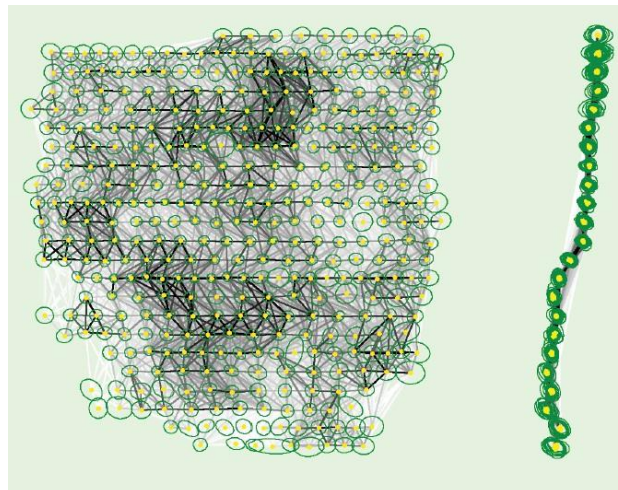


Figura 4. Unión de puntos de control con el software Pix4D.

Estudios Adicionales

Utilizando el software CloudCompare se realizaron geoprocesos para la unión de las nubes de puntos con el fin de obtener sus perfiles correspondientes. Se realizó la comparación entre la nube de puntos generada por el LiDAR terrestre en diciembre del 2017 y la nube

de puntos generada por el drone de febrero del 2018 y una comparación entre las nubes de puntos generadas por el drone en los meses de febrero y junio del 2018.

Mediante el software AutoCAD Civil 3D se creó la representación del perfil de la zona de estudio de cada fecha el cual fue dividido en dos partes para un análisis más detallado debido a la extensa superficie de la zona.

Se tomaron dos muestras de suelo en la zona; la primera ubicada en la parte superior del deslizamiento y la otra cercana al río Yanuncay para realizar estudios de granulometría, expansividad y límites de atterberg. Para ampliar el conocimiento sobre qué material se encuentra bajo tierra se hizo una Tomografía de Resistividad Eléctrica con los equipos otorgados por la Red Sísmica del Austro de la Universidad de Cuenca.

Proyección de puntos al eje “Z” (2d a 3d)

Una de las deficiencias que se puede encontrar en la APP móvil es la de obtener coordenadas con alta precisión; esto principalmente depende de la tecnología GPS (Global Positioning System) que dispone el dispositivo móvil, y el tiempo de espera para obtener la ubicación. los dispositivos antiguos pueden tener un margen de error de hasta 50 metros de exactitud (Cid F. P., 2017). Por otra parte, en la actualidad los nuevos dispositivos han mejorado notablemente su eficiencia con respecto a la precisión de la posición, reduciendo el margen de error de hasta 30 centímetros (Cid M. , 2017).

Parte de la información que emite la APP móvil no cuenta con la coordenada en el eje Z (Altitud), ya que en ciertas ocasiones las coordenadas se obtienen mediante la Operadora Móvil (No provee la altitud o no es aproximada) y no desde el dispositivo GPS. Debido a este inconveniente se ha realizado un proceso para proyectar cada punto reportado por la APP móvil hacia el eje Z, tal como se puede observar en la Figura 5, esto utilizando aplicaciones GIS de escritorio como ArcGIS.

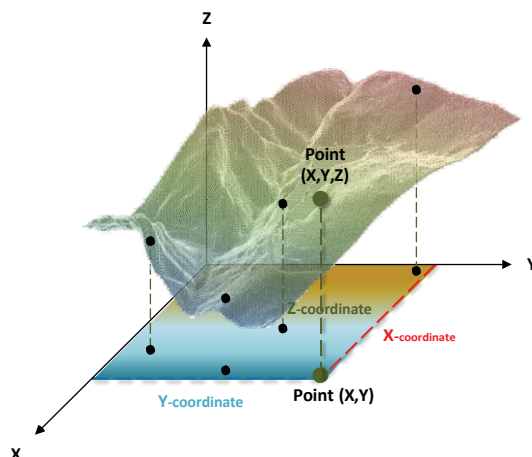


Figura 5. Proyección de puntos al eje Z.

PREPARACIÓN DE LA INFORMACIÓN

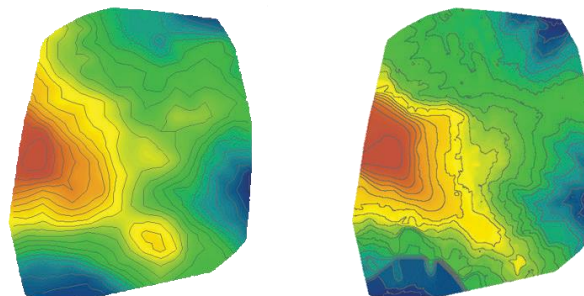
Para llevar a cabo este objetivo se utilizó las herramientas ArcMap y ArcScene, la primera con el fin de realizar todos los geoprocursos necesarios para proyectar los puntos que se encuentran en el eje X, Y hacia el eje Z, y la segunda principalmente para visualizar la información con una perspectiva en 3D. Adicionalmente se utilizó un orto mosaico en RGB obtenida por el dron eBee, con la finalidad de visualizar los resultados obtenidos de una manera que se aproxime a la realidad.

En este proceso se llevó a cabo un procedimiento que utiliza el DEM (Modelo Digital de Elevaciones) de la zona de estudio, obtenido de manera gratuita desde el sitio WEB EarthExplorer de la USGS, y otro DEM obtenido desde un geoprocuremento por parte del software PIX4D a partir del levantamiento de la información del dron eBee. Adicionalmente se obtuvo el Orto mosaico en RGB.

MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES Y GEOPROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Proporcionar esta elevación nos permite que la ortofoto se acomode al modelo de elevación con la finalidad de aproximarla a la forma del terreno real. Como resultado se obtiene las elevaciones de la ortofoto de la zona de estudio. En este proyecto el procedimiento mencionado se realizó para todas las zonas de estudio, pero en esta sección del documento se expone los resultados de la zona de Trigales Altos, que puede ser ubicado geográficamente en las coordenadas: Lat: -2.870294, Lon: -78.990772.

El motivo de utilizar información de diferente procedencia, tiene como fin observar cual es el grado de precisión o el margen de error que se puede obtener cuando se trabaja con información obtenida por un Satélite y un dron. Como ejemplo se puede observar en la Figura 6 un DEM obtenido desde el sitio WEB EarthExplorer y un dron eBee (3cm/px). De éstos se han obtenido las curvas de nivel con un intervalo de 5m y notoriamente se puede observar que existe una diferencia en la transición de colores e intervalos que representan las elevaciones del terreno.



DEM EarthExplorer

DEM dron eBee

Figura 6. DEM y curvas de nivel obtenido por EarthExplorer y el dron eBee.

En la Tabla 1 se pueden observar parámetros que claramente pueden reflejar la diferencia entre un DEM y el otro, dando como resultado el nivel de detalle que existe entre ellos.

Tabla 1. Comparación de parámetros entre el DEM de EarthExplorer y el drone eBee.

Tipo	Descripción	DEM EarthExplorer	DEM drone eBee
DEM	Filas y columnas	17 x 20	2862 x 3451
	Tamaño de celda	30,81172816 x 30,81172816	0,17316 x 0,17316
Curvas de nivel	Nro. de contornos	39	335
	Altura mínima	2565	2600
	Altura máxima	2665	2690

Para tener una perspectiva de la elevación terrestre en las zonas de estudio, se utilizó la opción *Properties (Propiedades de la Capa) > Base Heights > Floating on a custom superficie*, y se seleccionó el modelo digital de elevaciones correspondiente. Este procedimiento se realizó tanto para el DEM, Ortomosaico RGB y los puntos reportados por la APP móvil. Este resultado puede ser apreciado tanto en la Figura 7 y Figura 8.

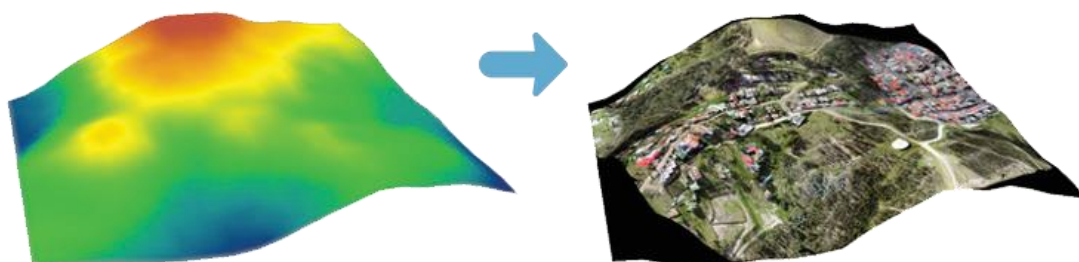


Figura 7 DEM Obtenido por el EarthExplorer.

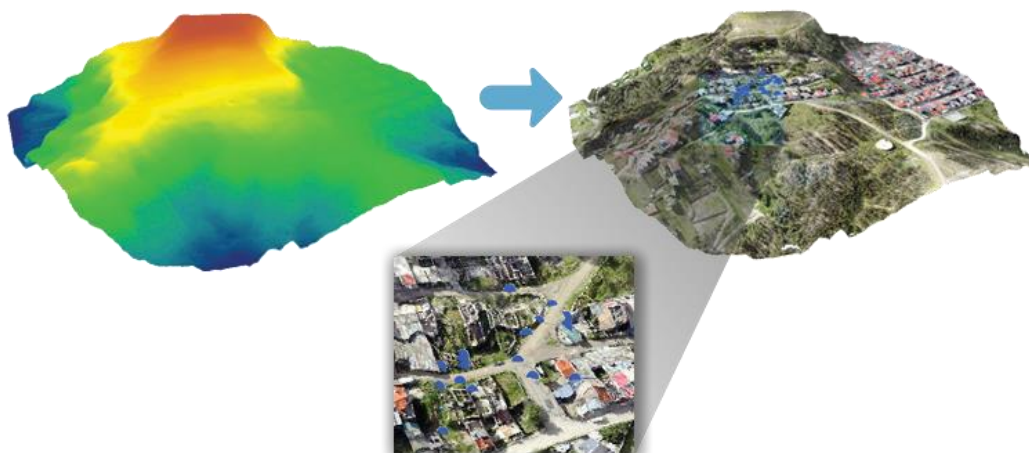


Figura 8. DEM Obtenido por el drone junto con la Interpolación de Puntos.

Se puede observar como la Figura 7 muestra un terreno diferente a la Figura 8, que ha sido obtenida con un dron de alta precisión.

La Figura 8 expone las imágenes que representan el DEM, la Ortofoto con un modelo de elevaciones y los puntos proyectados en el eje Z. Para obtener los valores de los puntos en el eje Z se realizaron ciertos procedimientos utilizando la herramienta ArcScene.

En este proceso se utilizó la herramienta 3D Analyst > Functional Surface > Interpolate Shape de ArcScene.

Adicionalmente para obtener la coordenada Z en la tabla de atributos de la capa, se utilizó la herramienta XTools Pro > Table Operations > Add XYZ Coordinaties

Como resultado se ha observado que los valores en el eje Z proyectados por el DEM obtenido por EarthExplorer y el dron eBee varían parcialmente, en algunos casos hasta 34 metros de margen de error, esto debido a la escala con la que está representada la información; exponiendo de esta manera la precisión que puede ofrecer un dron en comparación con imágenes geográficas que se pueden encontrar en la WEB. Algunos de los resultados se dan a conocer en la Tabla 2. Esto motiva a que un usuario pueda preferir la información generada por el dron asegurando una mejor precisión para la evaluación de deslizamientos y movimientos de masa.

La información que receipta el Servidor de la IDE UCuenca mediante la APP móvil tiene diferentes objetivos, y uno de ellos es visualizar la información en una perspectiva de tres dimensiones, con la finalidad de complementar la información que se ha levantado mediante los equipos como el dron y Escáner Láser. En la Figura 9 se puede observar los puntos reportados por la APP móvil posicionados geográficamente en el eje X, Y, Z, del visor 3d de la plataforma IDE UCuenca.

VISUALIZADOR DE NUBE DE PUNTOS WEB

De manera constante la Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) de la Universidad de Cuenca ha tratado de ofrecer a los usuarios tecnologías que puedan ser capaces de visualizar o analizar diferentes tipos de información geográfica. Actualmente las tecnologías GIS (Geographic Information System) pueden brindar diferentes perspectivas para el análisis de las dificultades que se pueden encontrar en un territorio determinado, una de estas perspectivas es la visualización tridimensional (3D).

Al contar con una nube de puntos factible para ser utilizada en el visualizador 3D, existe la posibilidad de publicar esta información a nivel de la WEB (Figura 9), obteniéndose la gran ventaja de acceder y utilizar esta información mediante un navegador, en cualquier instante o lugar.

Una de las ventajas de esta herramienta, está principalmente la posibilidad de compartir un servicio WEB de la nube de puntos para que sea consumida por un cliente que utilice la misma tecnología, haciendo posible la integración de información adicional disponible en otro servidor.

Tabla 2. Comparación de resultados del eje Z con el DEM de EarthExplorer y drone eBee.

DEM EarthExplorer			DEM drone eBee		
Eje X	Eje Y	Eje Z	Eje X	Eje Y	Eje Z
723374,745	9682514,9	2622,731173	723374,745	9682514,9	2653,78225
723387,551	9682471,71	2618,19061	723387,551	9682471,71	2651,750129
723381,931	9682530,21	2622,176481	723381,931	9682530,21	2656,777288
723345,752	9682543,93	2625,520684	723345,752	9682543,93	2657,370627
723344,471	9682531,53	2626,361987	723344,471	9682531,53	2655,707108
723339,346	9682540,37	2627,63226	723339,346	9682540,37	2657,006863
723374,745	9682514,9	2622,731173	723374,745	9682514,9	2653,78225
723348,786	9682504,33	2628,922368	723348,786	9682504,33	2660,39539
723349,767	9682523,61	2626,523087	723349,767	9682523,61	2655,272466
723328,26	9682525,25	2633,177918	723328,26	9682525,25	2659,464655
723328,26	9682525,25	2633,177918	723328,26	9682525,25	2659,464655
723364,627	9682513,01	2624,79075	723364,627	9682513,01	2654,583539
723374,024	9682489,23	2622,356047	723374,024	9682489,23	2654,009856

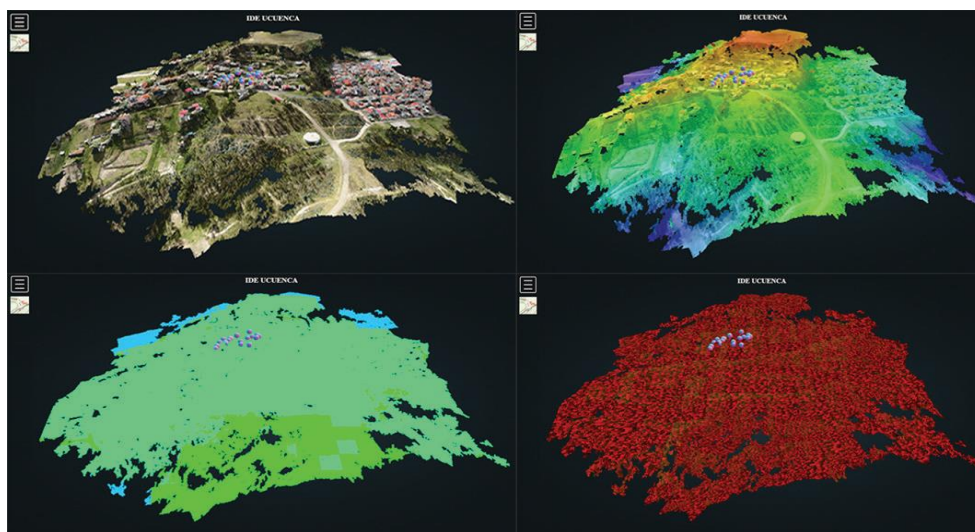


Figura 9. Capturas del visualizador de nube de puntos

CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos se puede concluir lo siguiente:

- A partir del uso de una APP móvil se puede obtener información geográfica capaz de contribuir al análisis de una superficie terrestre, y mediante ello a la toma de decisiones.
- La precisión obtenida por el dron eBee se acerca mucho más a la realidad en comparación de imágenes satelitales, ya que el nivel de detalle de la información es formidable, evidencia las ventajas para determinar movimientos en masa por comparación de nube de puntos en tomas realizadas en tiempos diferentes.
- El visualizador 3D permite a los usuarios visualizar, medir y anotar cualquier nube de puntos desde un simple navegador WEB.
- La combinación de diferentes tecnologías contribuye a la obtención de diferentes tipos de información geográfica y al análisis en diferentes perspectivas.

TRABAJOS FUTUROS

- Es necesario determinar con mayor precisión los niveles mínimos de determinación de movimientos en masa, se está trabajando en una metodología para conseguir mayor precisión utilizando RTK en los vuelos.
- El visualizador 3D aún puede tener mayores funcionalidades, en la medida que se permita el análisis de información. Por ahora la integración de nube de puntos es manual siguiendo un tutorial, sin embargo, así como ya se ha logrado la incorporación de herramientas para la integración de imágenes ráster en el IDE UCuenca, se está trabajando en la incorporación de herramienta similar para el visor 3D. Esto permitirá a un usuario no especializado fácilmente integrar la nube de puntos propia y visualizarla.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto es financiado por los fondos DIUC bajo el XV concurso de proyectos, con el nombre "Geoprocesamiento IDE como apoyo al análisis de vulnerabilidades y planificación territorial" 2017-2018. Especial agradecimiento al Ing. Ricardo Peñaherrera e Ing. Leonardo Espinosa de la Secretaría de Gestión de Riesgos por su apoyo para la colaboración de dicha entidad en lo referente a alertas tempranas. Al GT-IDE (Grupo de Trabajo IDE) de CEDIA por su constante apoyo en temas relacionados a las Infraestructura de Datos Espaciales.

BIBLIOGRAFÍA

- Brown, G. (Juny de 2012). Public Participation GIS (PPGIS) fro Regional and Environmental Planning: Reflections on a Decade of Emprical Research. *Urisa Journal*, 25(2):5-16.
- Carrullas, J., & Corominas J., H. M. (2017). Experiencias con drones para el estudio de movimientos de ladera. *IX Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables*.
- Cid, F. P. (Junio de 2017). Comparativa de métodos de Localización con Smartphones. Barcelona.

- Cid, M. (22 de 09 de 2017). *XtakaMóvil*. Obtenido de <https://www.xatakamovil.com>: <https://www.xatakamovil.com/movil-y-sociedad/el-gps-de-tu-proximo-movil-sera-mucho-mas-preciso-solo-30-centimetros-de-margen-de-error>
- FARO. (10 de 2013). *Runco*. Obtenido de http://www.runco.com.ar/IMG/pdf/FARO_Focus3D-S_SPA_.pdf.
- Hahmann, S., & Burghardt, D. (23 de Nov de 2012). How much information is geospatially referenced? Networks and cognition. *International Journal of Geographical Information Science*.
- Olaya, V. (2014). *Sistemas de Información Geográfica* (Vol. 2).
- Revuelto, J., López-Moreno, J. I., Azorín-Molina, C., Arguedas, G., Vicente-Serrano, S. M., & Serreta, A. (2013). Application of terrestrial laser scanner techniques for monitoring dynamic geomorphological processes: snow accumulation and ice masses in mountain areas. *Cuadernos de Investigación Geográfica*. doi:<https://doi.org/10.18172/cig.1994>
- Sensefly. (2018). *Sensefly*. Obtenido de <https://www.sensefly.com/drone/ebee-mapping-drone/>.
- Sequeiros, C. (30 de Oct de 2012). Teoría y Práctica de la Encuesta en Árbol. *VIII Congreso Nacional de Sociología*, 2-3.
- Tavani, S., Granado, P., Corradetti, A., Girundo, M., Iannace, A., Arbués, P., . . . Mazzoli, S. (February de 2014). Building a virtual outcrop, extracting geological information from it, and sharing the results in Google Earth via OpenPlot and Photoscan: An example from the Khaviz Anticline (Iran). *Computers & Geosciences*, 63. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cageo.2013.10.013>
- Telégrafo, E. (18 de 06 de 2012). <https://www.eltelegrafo.com.ec>. Obtenido de <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/2012/1/cuenca-tiene-60-sitios-en-riesgo-por-los-deslizamientos>.

IMPLANTACIÓN DE UNA APLICACIÓN MÓVIL PARA PPGIS DESTINADA A DESLIZAMIENTOS E INTEGRADA A UNA IDE

IMPLEMENTATION OF A MOBILE APPLICATION FOR LANDSLIDES ORIENTED TO PPGIS AND INTEGRATED TO A SDI

¹ROSARIO ACHIG, ¹VILLIE MOROCHO, ¹FABIÁN SANTANDER, ²NATALIA PACURUCU

¹DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN DE LA UNIVERSIDAD DE CUENCA.

²FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO DE LA UNIVERSIDAD DE CUENCA.

Av. 12 de Abril y Agustín Cueva. Cuenca, Ecuador. e-mail: rosario.achig@ucuenca.edu.ec, villie.morocho@ucuenca.edu.ec, fabian.santander@ucuenca.edu.ec, natalia.pacurucu@ucuenca.edu.ec.

Recibido: 15 de agosto 2018 /Aceptado: 25 de septiembre 2018

RESUMEN

Se ha generado una aplicación móvil para participación ciudadana aplicada a Sistemas de Información Geográfica –SIG- para que la población pueda proporcionar datos específicos sobre zonas que hayan sufrido deslizamientos o propensas a este fenómeno, de manera que los investigadores o tomadores de decisiones puedan contar con datos actualizados y geo localizados de estas zonas. En base a información proporcionada por la Secretaría de Gestión de Riesgos –SGR– y la experiencia del personal del proyecto, se definieron los perfiles y contenidos de la encuesta implementada a través de la aplicación móvil. Posteriormente se utilizó esta aplicación para levantamiento de información en determinadas áreas de la ciudad de Cuenca en las que se realizaron estudios sobre deslizamiento. Los resultados de la información levantada pueden ser visualizados en la plataforma de Infraestructura de Datos Espaciales de la Universidad de Cuenca –IDE UCuenca–, en diferentes formatos. Adicionalmente, el contenido de la aplicación móvil fue validado por el personal de la SGR.

Palabras clave: Deslizamientos, Participación Ciudadana, PP GIS, Aplicación Móvil, IDE.

ABSTRACT

A mobile application for citizen participation applied to Geographic Information Systems –GIS- has been created so that population can provide specific data on areas with landslides or susceptible to this phenomenon. With this information, researchers or decision makers can have updated and geo-located data from these areas. Based on information provided by the Secretariat of Risk Management -SGR- and the experience of the project staff, the profiles and contents of the survey implemented through the mobile application were defined. Later this application was used to get information in certain areas of the city of Cuenca in which studies of landslides were performed. The results of the information obtained can be visualized in the Spatial Data Infrastructure platform of the University of Cuenca –Ucuenca SDI-, in different formats. Additionally, the content of the mobile application was validated by the staff of the SGR.

Keywords: Landslides, Public Participation, PP GIS, Mobile Application, IDE.

INTRODUCCIÓN

La participación ciudadana tiene un impacto directo en la formulación, aplicación de políticas y la gestión del territorio. Los ciudadanos son vistos como una parte integral del proceso de gobernanza y su participación activa, se considera esencial para las decisiones críticas que enfrenta una comunidad (Callahan 2007).

Por otro lado, las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), en la Sociedad de la Información (SI), no solamente surgen como herramientas para ser aplicadas, sino como procesos para ser desarrollados (Castells 2008), lo que permite que los usuarios puedan tomar el control de las tecnologías. Así, las TIC deben estar al servicio de la comunidad, permitiendo el acceso a la información y concientizando a la población sobre ello. Las NTIC (Nuevas TIC) han generado un nuevo espacio de democracia para que la ciudadanía pueda ejercer su derecho a involucrarse en las decisiones del Estado. Una de las herramientas de las NTIC que promueve la participación pública o participación ciudadana es la Public Participation Geographic Information Systems (PP GIS). Dicho término es usado para referirse a un campo de los sistemas de información geográfica (SIG), que busca mejorar la participación del ciudadano y fomentar el empoderamiento de las organizaciones no gubernamentales, los grupos de base y comunidades locales (Sheppard et al. 1999; Sieber 2006).

En (Pearce 2003) se describe la importancia de la integración de la planificación comunitaria a la planificación para la gestión de desastres. Se detalla la visión de un enfoque exitoso en la mitigación sostenible de riesgos a través de la participación derivada de la vinculación con el nivel local en la toma de decisiones.

Una investigación de NTIC aplicada a participación ciudadana (Abhik y Toshniwal 2013) permite utilizar datos de medios sociales georreferenciados para facilitar la búsqueda y ubicación de sub-eventos con la finalidad de facilitar las actividades de ayuda y rescate durante los eventos por desastres naturales.

Para el caso de Ecuador, la promoción de la participación ciudadana ha tomado auge, sin embargo, estas prácticas aún no han sido instauradas. Es así que la tecnología no se ha aprovechado para estos fines y se necesita de un primer acercamiento que pueda incorporar el conocimiento local en la ordenación territorial (Pacurucu y Morocho 2017).

La iniciativa que se presenta a continuación, ha explorado nuevas formas de involucrar a la población a través de la recopilación de información cartográfica relevante que pueda convertirse en insumos para la planificación territorial, de modo que la población no solamente proporcione datos, sino también se capacite y concientice sobre cómo usar el suelo y con ello evitar los asentamientos en zonas vulnerables (Morocho 2013).

Este proceso se realiza a través de una aplicación móvil orientada a deslizamientos, la cual fue probada con un grupo de estudiantes simulando el uso de un ciudadano común y que permitió levantar tres zonas de estudio. Finalmente, se validó la encuesta por parte de personal técnico de la SGR para tener la versión fi que estará puesta a disposición del ciudadano por parte de la SGR. La información levantada es almacenada en línea para su posterior análisis y visualización en la plataforma IDE-UCuenca (Morocho y Santander 2015).

DISEÑO DE LA APLICACIÓN MÓVIL

El principal objetivo de la aplicación móvil es reportar la información de los eventos registrados al servidor de la plataforma IDE-UCuenca, la cual consta de dos partes, una fotografía geo-referenciada y una encuesta relacionada al mismo. Es necesario que las interfaces sean lo más claras y sencillas posibles, evitando unir en un mismo formulario un gran número y variedad de parámetros (preguntas). Para ello se ha diseñado una encuesta dinámica, en la cual las preguntas van a ir surgiendo de acuerdo a las opciones que el usuario vaya seleccionando (encuesta tipo árbol), como se puede ver en la Figura 1. De esta manera el usuario visualizará únicamente los parámetros necesarios, los cuales estarán organizados en varios formularios, mostrando un ambiente intuitivo que facilita y optimiza el tiempo en el envío de la información.

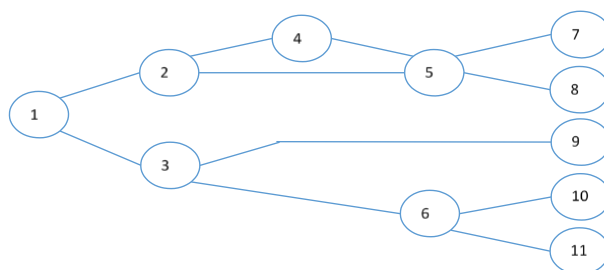


Figura 1. Encuesta tipo árbol

El contenido de la encuesta, se realizó tomando como base una ficha de campo para estimación de vulnerabilidades, elaborada por la SGR, e incorporando la experiencia del personal del proyecto en el área de deslizamientos.

La ficha de campo de la SGR contiene información general para estimación de varios tipos de vulnerabilidad. Se divide en 5 secciones: ubicación, registro de la observación, exposición, fragilidad y resiliencia. En este análisis, se han considerado las secciones y parámetros significativos para cumplir el objetivo de integrar a la plataforma IDE-UCuenca, la información obtenida a través de la participación ciudadana.

En lo referente a los usuarios de la aplicación, se han definido dos perfiles: uno para el ciudadano en general que desea reportar un evento y otro para un usuario especializado o

técnico, que levantará información más detallada, y podría ser utilizado por funcionarios o voluntarios de la SGR.

PERFILES DE LA APLICACIÓN MÓVIL

Perfil Ciudadano

Este perfil tendrá secciones que podrán ser llenados de manera intuitiva por parte de la población de modo que la información esté disponible de manera inmediata por parte de la SGR para que pueda tomar las medidas pertinentes.

Ubicación: En esta sección se obtendrán automáticamente las coordenadas de localización a partir de la ubicación del dispositivo móvil. Adicionalmente, si el usuario lo desea puede tomar una fotografía del evento.

Registro de la observación: Se elige el tipo de amenaza, en este caso se presenta la opción de “Deslizamientos”, sin embargo este proceso puede ser aplicado a otro tipo de evento como inundación, sismo, erupción volcánica, entre otros.

Exposición y fragilidad: En primer lugar el usuario podrá elegir si el evento que desea reportar afecta a una infraestructura o terreno.

En el caso de infraestructura deberá elegir el tipo: edificación (vivienda, hospital, etc.) o vía/puente. Para cualquiera de las opciones, deberá indicarse los años de construcción.

En caso de edificación deberá indicarse el número de pisos, y en el caso de vía/puente deberá indicarse el tipo de vía y el estado de la red vial.

A continuación se solicitará información relacionada al deslizamiento, como la aparición de grietas, tiempo, ubicación, posibles causas, entre otras.

Perfil Técnico

Este perfil permitirá obtener información más especializada en la sección “Exposición y fragilidad”

En el caso de infraestructura deberá elegir el tipo: edificación (vivienda, hospital, etc.) o vía/puente. Para cualquiera de las opciones, deberá indicarse los años de construcción y la captación de agua potable.

En caso edificación deberá indicarse el número de pisos, sistema estructural, tipo de material de las paredes, tipo de material de la cubierta, sistema de alcantarillado, estado del sistema de alcantarillado. En el caso de vía/puente deberá indicarse el tipo de vía y el estado de la red vial.

De igual manera en la información relacionada al deslizamiento se solicitará más detalle.

DISEÑO DE BASE DE DATOS

Para el almacenamiento de la información se contará con dos bases de datos: una relacional PostgreSQL, que guardará información vinculada al evento, y una base de datos espacial PostGIS que almacenará la información geográfica del mismo. En la Figura 2 se puede ver la relación que existe entre las dos bases de datos, relacionadas a través de un campo de identificación.

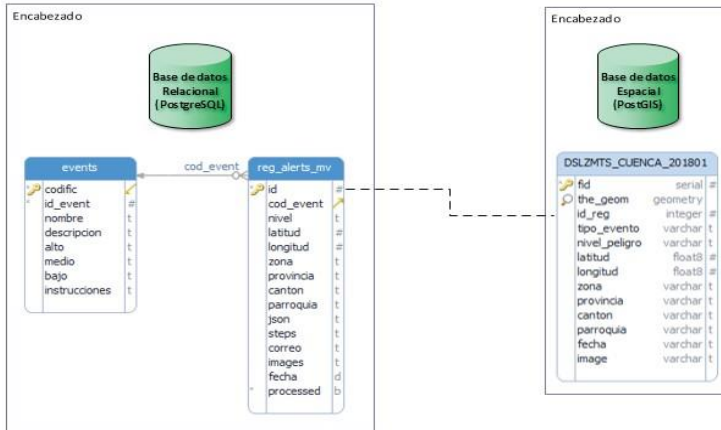


Figura 2. Diseño de bases de datos

DESARROLLO DE LA APLICACIÓN MÓVIL

Para desarrollar la aplicación móvil se consideró la funcionalidad de la encuesta tipo árbol. Adicionalmente, se codificó un sistema que permite interpretar un archivo JSON, el mismo que contiene todos los parámetros de la encuesta. Estos parámetros serán convertidos en formularios con diferentes elementos HTML (Cajas de texto, Checklist, Labels, etc.), lo que permitirá actualizar las encuestas en la aplicación móvil de una manera dinámica. Como se puede ver en la Figura 3, el archivo JSON está almacenado en el servidor IDE UCuenca y las actualizaciones de los formularios se realizarán en el servidor, por lo tanto, si se realiza un cambio en el archivo JSON, no será necesario actualizar la aplicación.

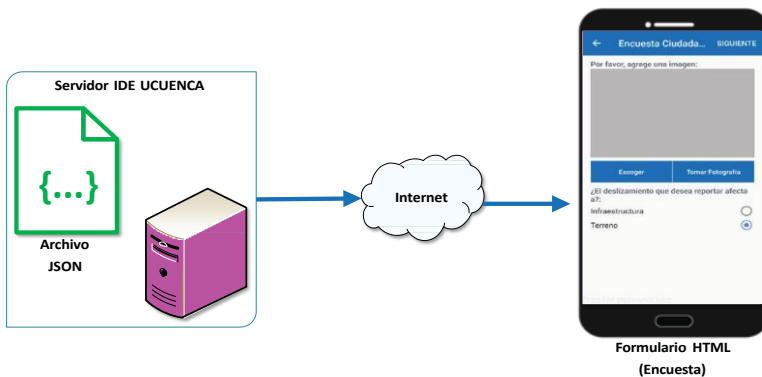


Figura 3. Obtención del archivo JSON en la Aplicación Móvil

En la Figura 4 se expone un fragmento del archivo correspondiente a la encuesta que se va a realizar a un ciudadano, en formato JSON.

El archivo JSON puede ser modificado fácilmente, esto evita que la aplicación móvil sea rígida y modificar las encuestas directamente desde el código fuente.

Una vez finalizada la construcción del archivo JSON, la aplicación móvil visualizará de manera automática los formularios HTML que fácilmente pueden ser interpretados por el usuario, como se puede ver en la Figura 5.

Actualmente la generación del archivo JSON se está realizando de forma manual, pero en un futuro se pretende generar este archivo de forma dinámica mediante un entorno de administración gráfica.

```
{
  "count": "9",
  "step1": {
    "title": "Encuesta Ciudadano",
    "next": "stepInfra",
    "fields": [
      {
        "key": "chooseImage",
        "type": "choose_image",
        "label": "Por favor, agregue una imagen:",
        "uploadButtonText": "Escoger",
        "TakePictureButtonText": "Tomar Fotografía",
        "v_required": {
          "value": "false",
          "err": "Por favor escoga una imagen para proceder."
        }
      },
      {
        "key": "radioEncuesta",
        "type": "radio_redirect",
        "label": "¿El deslizamiento que desea reportar afecta a?:",
        "v_required": {
          "value": "true",
          "err": "Por favor, seleccione al menos una opcion."
        },
        "options": [
          {
            "key": "Infraestructura",
            "step": "stepInfra",
            "text": "Infraestructura"
          },
          {
            "key": "Terreno",
            "step": "stepInfoDesli",
            "text": "Terreno"
          }
        ],
        "value": "Terreno"
      }
    ]
  }
},
```

Figura 4. Extracto de archivo JSON

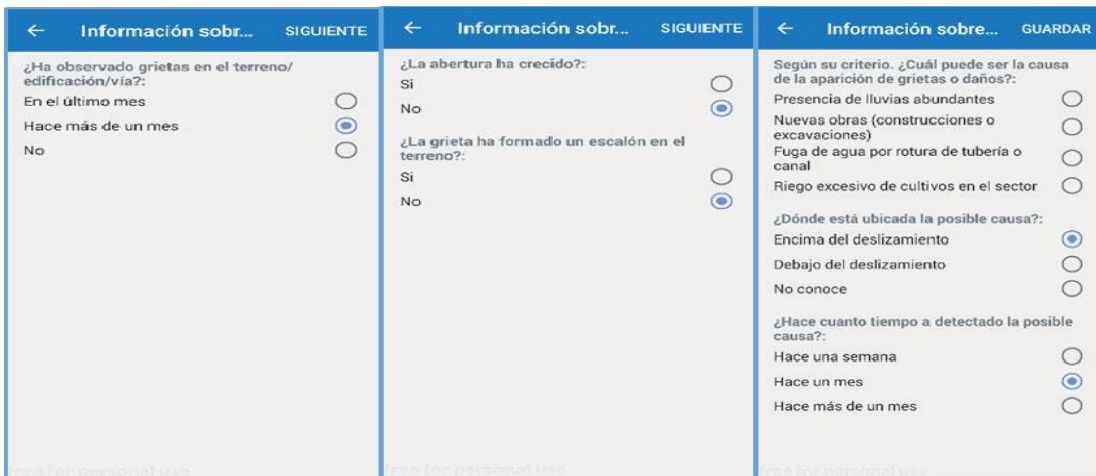
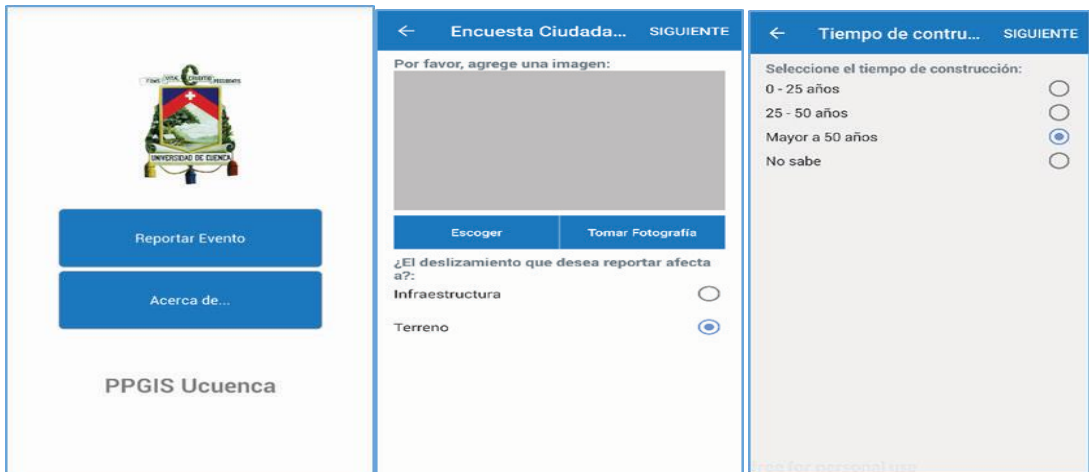


Figura 5. Capturas de formularios de la Encuesta

INTEGRACIÓN DE LA APLICACIÓN MÓVIL CON LA IDE-UCUENCA

En la Figura 6 se muestra un esquema general del proceso secuencial y automatizado que permitirá almacenar la información en la base de datos espacial y visualizarla en la plataforma IDE-UCuenca. Este proceso se desencadena cuando el usuario termina de reportar la información en su aplicación móvil.

A continuación se detalla el proceso completo:

- a. Se guardan los eventos reportados en una tabla relacional de la Base de Datos PostgreSQL (para tener un registro del número de reportes realizados), como se puede ver en la Tabla 1.

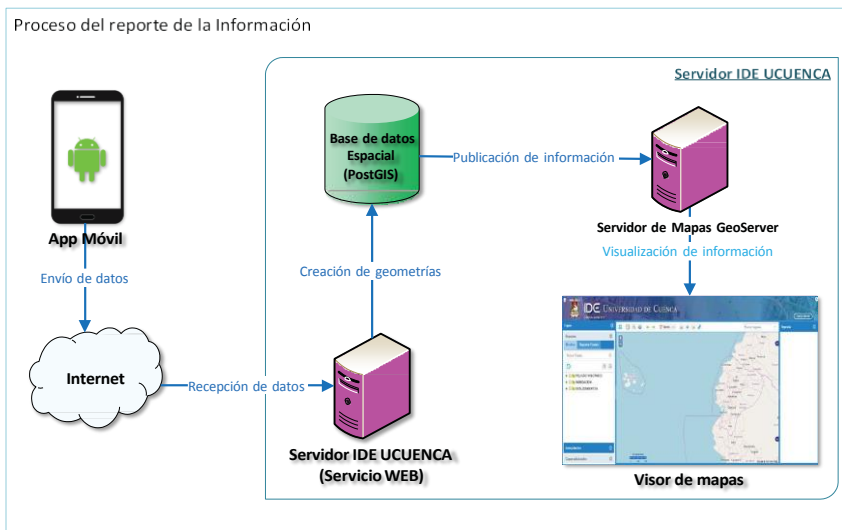


Figura 6. Proceso de envío de la información

Tabla 1. Registros de todos los eventos reportados mediante la Aplicación Móvil

id	cod_evento_nivel	latitud	longitud	zona	provincia	canton	parroquia	jsr
1	DSLZMTS	null	-0.12084833333333332	-79.183958333333334 Zona 04	SANTO DOMINGO DE LOS TSACHILAS	SANTO DOMINGO	SANTO DOMINGO DE LOS COLORADOS	{'stepNumPisos': {'next': 'biemp
2	ANMMS	null	-0.12084833333333332	-79.183958333333334 Zona 04	SANTO DOMINGO DE LOS TSACHILAS	SANTO DOMINGO	SANTO DOMINGO DE LOS COLORADOS	{'stepNumPisos': {'next': 'biemp
3	INFRA	null	-0.12084833333333332	-79.183958333333334 Zona 04	SANTO DOMINGO DE LOS TSACHILAS	SANTO DOMINGO	SANTO DOMINGO DE LOS COLORADOS	{'stepNumPisos': {'next': 'biemp
4	DSLZMTS	null	-0.12084833333333332	-79.183958333333334 Zona 04	SANTO DOMINGO DE LOS TSACHILAS	SANTO DOMINGO	SANTO DOMINGO DE LOS COLORADOS	{'stepNumPisos': {'next': 'biemp
5	DSLZMTS	null	-0.12084833333333332	-79.183958333333334 Zona 04	SANTO DOMINGO DE LOS TSACHILAS	SANTO DOMINGO	SANTO DOMINGO DE LOS COLORADOS	{'stepNumPisos': {'next': 'biemp
6	DSLZMTS	null	-0.12084833333333332	-79.183958333333334 Zona 04	SANTO DOMINGO DE LOS TSACHILAS	SANTO DOMINGO	SANTO DOMINGO DE LOS COLORADOS	{'stepNumPisos': {'next': 'biemp
7	DSLZMTS	null	-2.9011683333333333	-79.010413333333333 Zona 06	AZUAY	CUENCA	CUENCA	{'stepNumPisos': {'next': 'biemp
8	DSLZMTS	null	-2.9011683333333333	-79.010413333333333 Zona 06	AZUAY	CUENCA	CUENCA	{'stepNumPisos': {'next': 'biemp
9	DSLZMTS	null	-2.9011683333333333	-79.010413333333333 Zona 06	AZUAY	CUENCA	CUENCA	{'stepNumPisos': {'next': 'biemp
10	DSLZMTS	null	-2.9011683333333333	-79.010413333333333 Zona 06	AZUAY	CUENCA	CUENCA	{'stepNumPisos': {'next': 'biemp
11	DSLZMTS	null	-2.9011683333333333	-79.010413333333333 Zona 06	AZUAY	CUENCA	CUENCA	{'stepNumPisos': {'next': 'biemp
12	DSLZMTS	null	-2.9011683333333333	-79.010413333333333 Zona 06	AZUAY	CUENCA	CUENCA	{'stepNumPisos': {'next': 'biemp
13	DSLZMTS	null	-2.9011683333333333	-79.010413333333333 Zona 06	AZUAY	CUENCA	CUENCA	{'stepNumPisos': {'next': 'biemp
14	DSLZMTS	null	-2.9011683333333333	-79.010413333333333 Zona 06	AZUAY	CUENCA	CUENCA	{'stepNumPisos': {'next': 'biemp
15	DSLZMTS	null	-2.9011683333333333	-79.010413333333333 Zona 06	AZUAY	CUENCA	CUENCA	{'stepNumPisos': {'next': 'biemp

- b. De acuerdo a las coordenadas reportadas por el dispositivo móvil: se calculan los siguientes datos: zona, provincia, cantón, parroquia.
- c. Se generan geometrías (puntos georreferenciados) a partir de las coordenadas reportadas por la Aplicación Móvil y se almacenan en la base de datos espacial PostGIS.
- d. Se clasifica la información receptada, que consiste en generar una tabla (capa) por mes mediante la siguiente información.
 - Generación del nombre de las capas según el tipo de evento, cantón, año y mes.
 - Generación de las tablas con sus respectivos nombres en la base de datos espacial. Si existe un reporte con un mismo tipo de evento en el mismo cantón y el mismo mes, se actualiza la tabla agregando nuevos puntos, caso contrario se genera una nueva tabla en la base de datos espacial, como se puede ver en la Tabla 2.

Tabla 2. Base de Datos Espacial (Capa)

fid	the_geom	id_reg	tipo_evento	nivel_peligro	latitud	longitud	zona
1	0101000020E6100000959C11F391012641A4A6C3E125766...	43	DESLIZAMIENTOS	MEDIO	-2,9010383333	-79,010925	Zona 06
2	0101000020E6100000959C11F391012641A4A6C3E125766...	44	DESLIZAMIENTOS	MEDIO	-2,9010383333	-79,010925	Zona 06
3	0101000020E6100000959C11F391012641A4A6C3E125766...	45	DESLIZAMIENTOS	MEDIO	-2,9010383333	-79,010925	Zona 06
4	0101000020E6100000959C11F391012641A4A6C3E125766...	46	DESLIZAMIENTOS	MEDIO	-2,9010383333	-79,010925	Zona 06
5	0101000020E6100000959C11F391012641A4A6C3E125766...	47	DESLIZAMIENTOS	MEDIO	-2,9010383333	-79,010925	Zona 06
6	0101000020E6100000959C11F391012641A4A6C3E125766...	48	DESLIZAMIENTOS	MEDIO	-2,9010383333	-79,010925	Zona 06
7	0101000020E6100000959C11F391012641A4A6C3E125766...	49	DESLIZAMIENTOS	MEDIO	-2,9010383333	-79,010925	Zona 06
8	0101000020E61000001F68849CF0052641C4DCF15632766...	50	DESLIZAMIENTOS	MEDIO	-2,9001283333	-79,0058966667	Zona 06
9	0101000020E61000001F68849CF0052641C4DCF15632766...	51	DESLIZAMIENTOS	MEDIO	-2,9001283333	-79,0058966667	Zona 06
10	0101000020E61000001F68849CF0052641C4DCF15632766...	52	DESLIZAMIENTOS	MEDIO	-2,9001283333	-79,0058966667	Zona 06
11	0101000020E61000001F68849CF0052641C4DCF15632766...	53	DESLIZAMIENTOS	MEDIO	-2,9001283333	-79,0058966667	Zona 06
12	0101000020E61000001F68849CF0052641C4DCF15632766...	54	DESLIZAMIENTOS	MEDIO	-2,9001283333	-79,0058966667	Zona 06
13	0101000020E61000001F68849CF0052641C4DCF15632766...	55	DESLIZAMIENTOS	MEDIO	-2,9001283333	-79,0058966667	Zona 06
14	0101000020E61000001F68849CF0052641C4DCF15632766...	56	DESLIZAMIENTOS	MEDIO	-2,9001283333	-79,0058966667	Zona 06

Se publican automáticamente las capas que se encuentran en la base de datos espacial, en el servidor de mapas GeoServer.

Se organiza y clasifica la información reportada, como se puede ver en la Figura 7 (Nombre del tipo de evento/Cantón/Año/Nombre de la capa). El nombre de la capa se asignará dependiendo del tipo de evento (código del evento, actualmente se está trabajando con deslizamientos), cantón, año y mes, por ejemplo: DLZMTS_CUENCA_201801.

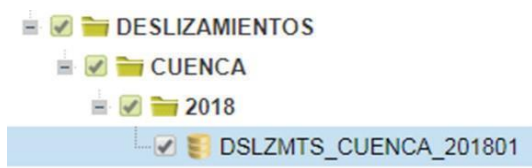


Figura 7. Organización y clasificación de la información reportada

Se visualiza la información en el visor de mapas de la IDE-UCuenca, cuya dirección de enlace es: http://ide.ucuenca.edu.ec/ide/alerts_tdt/

PRUEBAS DE LA APLICACIÓN

La aplicación ha sido probada en tres zonas de la ciudad de Cuenca que se han definido como áreas de estudio dentro del proyecto, Zona 1: Trigales Altos, Zona 2: Reina del Cisne (Acero et al. 2017) y Zona 3: Gapal-Universidad del Azuay (UDA). Para el levantamiento de información utilizando la aplicación móvil, se capacitó a 15 estudiantes de la asignatura de Geoinformática, que cursaban el octavo ciclo de la carrera de Informática de la Universidad de Cuenca, quienes levantaron un total de 493 puntos, de los cuales 196 corresponden a infraestructura y 297 a terreno. Los puntos están distribuidos de la

siguiente manera: zona 1: 193 puntos, zona 2: 100 puntos, zona 3: 200 puntos. En la Figura 8 se puede observar una fotografía de una grieta en el sector Gapal-UDA, tomada a través de la aplicación móvil.



Figura 8. Fotografía sector Gapal - UDA

En la Figura 9, Figura 10 y Figura 11, se puede observar el total de puntos levantados en los 3 sectores, dentro del visor de la plataforma IDE-UCuenca.

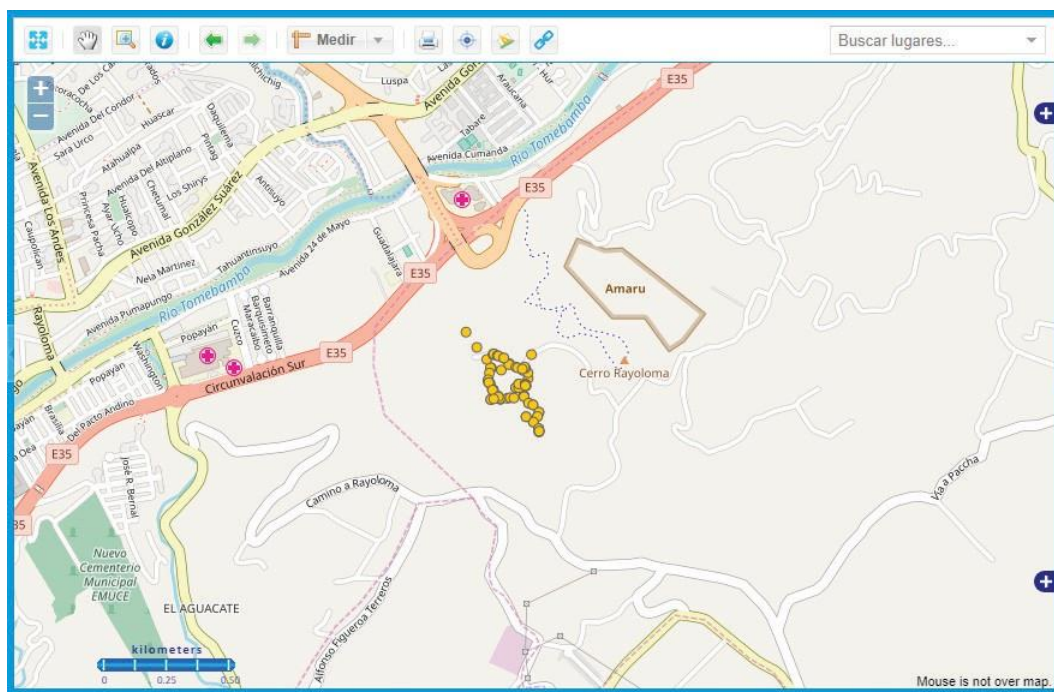


Figura 9. Puntos levantados por los usuarios en el sector Los Triguales

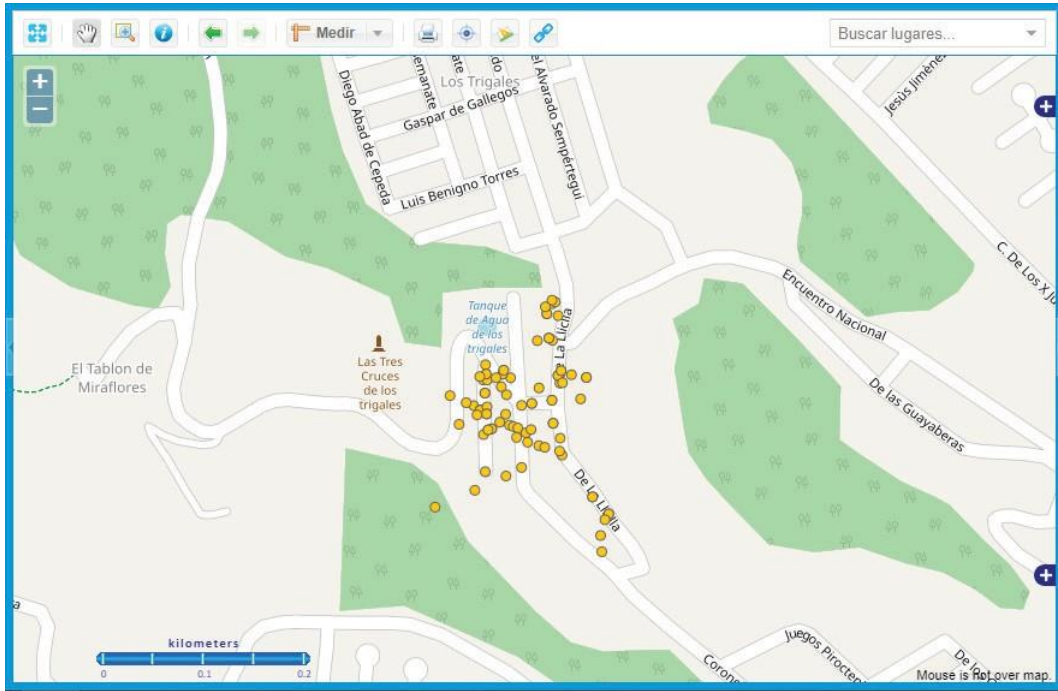


Figura 10. Puntos levantados por los usuarios en el sector Reina del Cisne

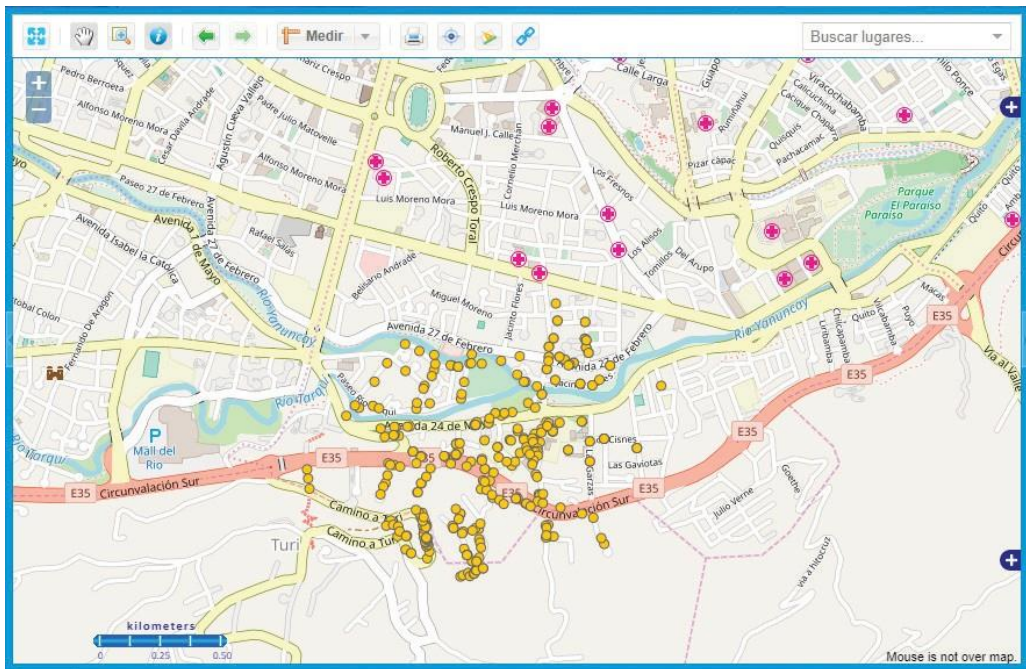


Figura 11. Puntos levantados por los usuarios en el sector Gapal-UDA

VALIDACIÓN DEL DISEÑO DE LA ENCUESTA

Una vez implementada la aplicación móvil, se procedió a la validación de las preguntas de la encuesta por parte del personal de la SGR, que emitió observaciones y recomendaciones principalmente para añadir información de utilidad para la institución relacionada al uso del suelo, vulnerabilidad, resiliencia y detalles del deslizamiento. A continuación se presentan los esquemas correspondientes a los perfiles de ciudadano y técnico, con las modificaciones incluidas. Para una mayor comprensión los esquemas se han dividido en dos secciones, la primera contiene información general sobre el lugar y la segunda parte tiene información relacionada al deslizamiento.

En la Figura 12 se muestra la primera sección del perfil de ciudadano común.

En la Figura 13 se presenta un esquema con la información que el usuario deberá ingresar respecto al deslizamiento que desea reportar.

En la Figura 14 se muestra el esquema de la información general correspondiente al perfil técnico.

En la Figura 15 se presenta un diagrama con la información que el técnico deberá ingresar respecto al deslizamiento que desea reportar.

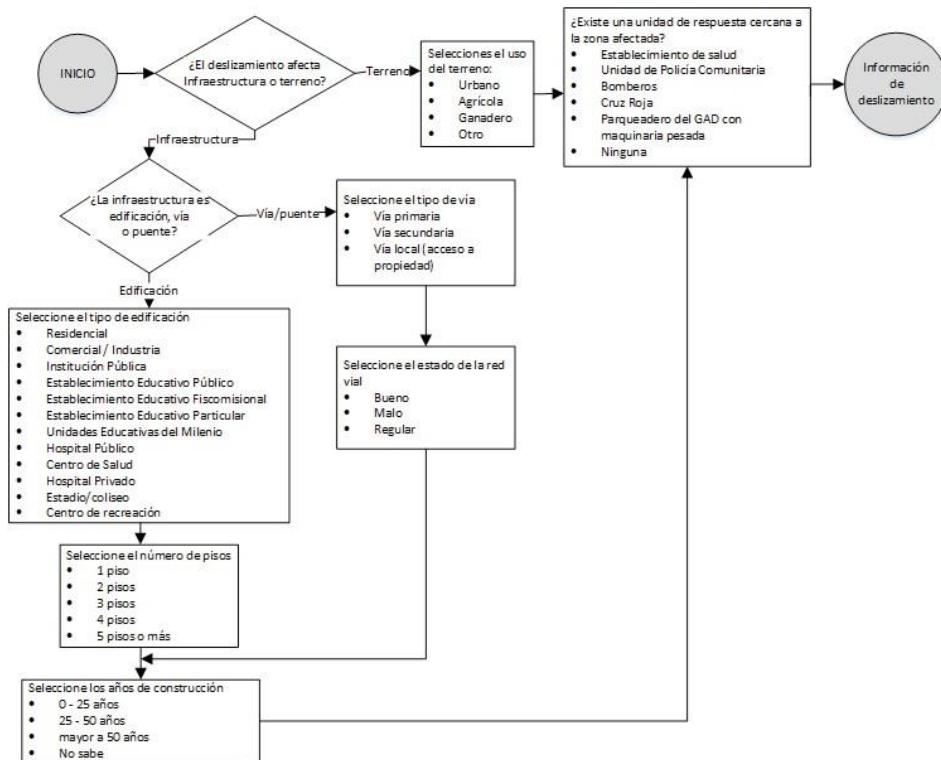


Figura 12. Encuesta al Ciudadano. Datos generales.

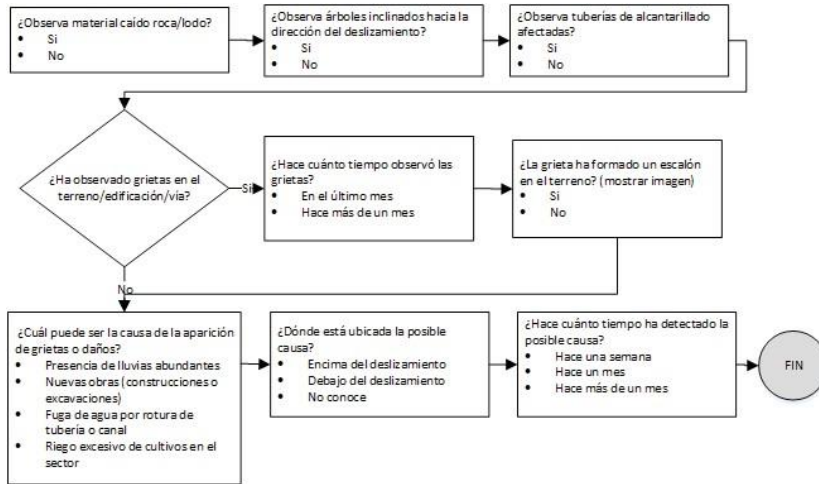


Figura 13. Encuesta al Ciudadano. Datos del deslizamiento

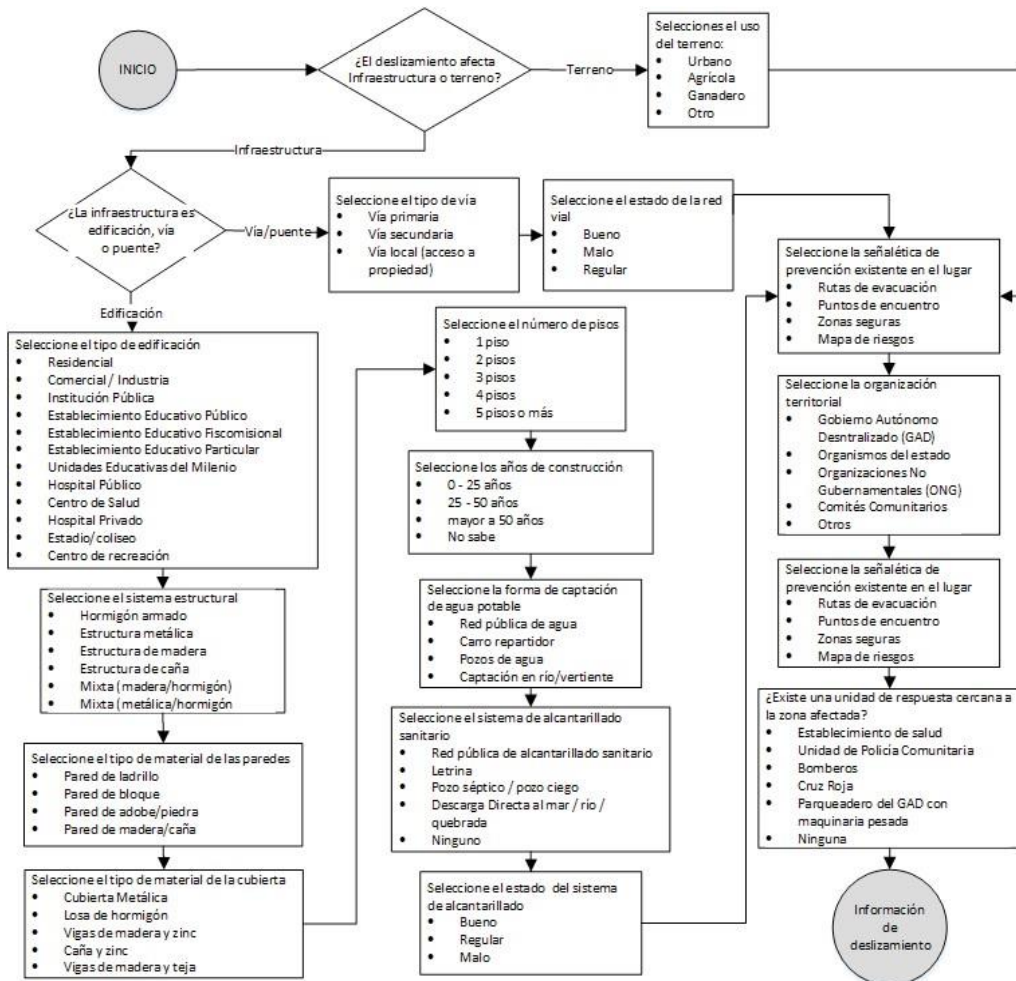


Figura 14. Encuesta al Personal Técnico. Datos generales.

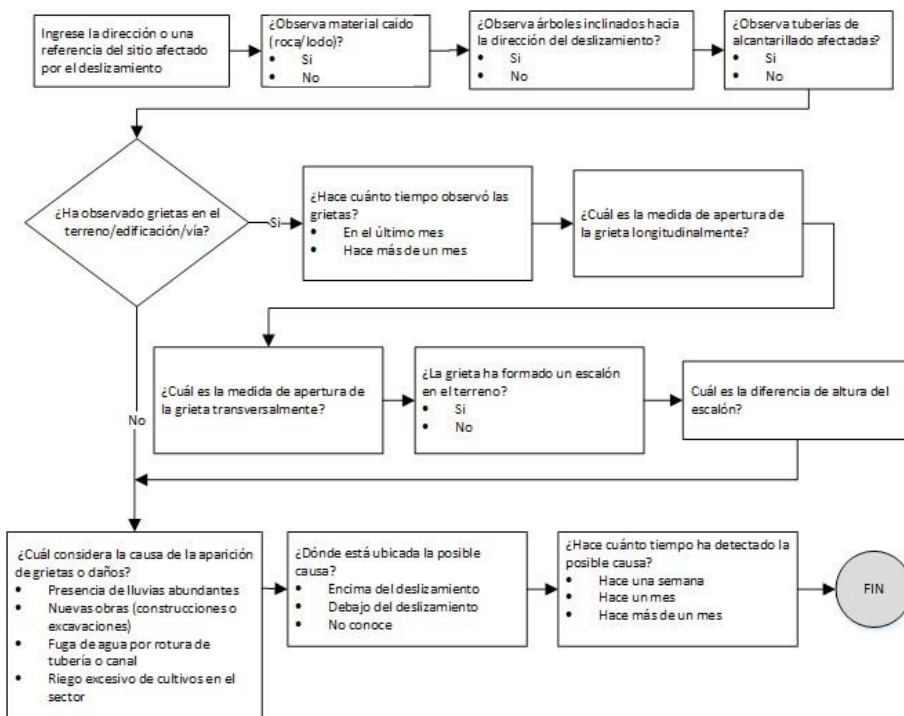


Figura 15. Encuesta al Personal Técnico. Datos del deslizamiento.

CONCLUSIONES

Según los datos analizados, en Ecuador no se han generado sistemas aproximados a los PP GIS por lo que este trabajo se presenta como una oportunidad para la promoción y fortalecimiento de estos sistemas. Como prueba piloto se realizó el levantamiento de información con estudiantes, simulando el uso de un ciudadano común, fue una primera aproximación importante que servirá de base para la interacción con la población.

El resultado de esta aplicación no sólo consiguió que la generación de información por los diferentes medios aporte a la planificación, sino incluso promovió el uso de dicha información por parte de otras organizaciones como es la SGR. Normalmente dicha entidad también genera información utilizando cierto tipo de encuestas, consideradas dentro del “Plan de respuesta ante desastres” (Ocles 2018), las que en este proyecto se integraron como parte de la aplicación móvil, que permite la participación ciudadana. Así, este aporte es acoplado a una estructura validada por la SGR lo que permite que el aporte del ciudadano, en caso de eventos que puedan afectar a vidas o infraestructura, también sean parte de una alerta temprana. Dicha información puede ser capturada por el ciudadano a través de la aplicación móvil y enviada en tiempo real para que la SGR pueda analizarla y activar una alerta temprana usando la plataforma IDE-UCuenca. Si bien es cierto, esta activación dependerá de muchos otros factores, sin embargo, la posibilidad de tener mayor información relevante y en tiempo real, contribuye a un mejor análisis y tiempo de respuesta de la entidad.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por la Dirección de Investigación de la Universidad de Cuenca (DIUC) bajo el XV concurso de proyectos, con el nombre “Geoprocesamiento IDE como apoyo al análisis de vulnerabilidades y planificación territorial” 2017-2018. Especial agradecimiento al Ing. Ricardo Peñaherrera e Ing. Leonardo Espinosa de la SGR y a la Fundación RedCEDIA por su apoyo al desarrollo de las IDEs académicas por medio del GT-IDE.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abhik, Dhekar, y Durga Toshniwal. 2013. «Sub-event detection during natural hazards using features of social media data». En *22nd International Conference on World Wide Web*, 783-88. New York, NY, USA. <https://doi.org/10.1145/2487788.2488046>.
- Acero, P, M Caldas, P Mejía, C Pesántez, R Piedra, C Morocho, y E Acosta. 2017. «Tipología y cinética del deslizamiento Reina del Cisne (Cuenca) a partir de fotografías aéreas, GPS, escáner láser terrestre y ensayos geotécnicos del suelo.» 14 (2): 50-56.
- Callahan, Kathe. 2007. «Citizen Participation: Models and Methods». *International Journal of Public Administration* 30 (11): 1179-96. <https://doi.org/10.1080/01900690701225366>.
- Castells, Manuel. 2008. «Comunicación, poder y contrapoder en la sociedad red (II). Los nuevos espacios de la comunicación». *Telos* 75: 11-23.
- Morocho, Villie. 2013. «Aportes a la lectura de la vulnerabilidad, a partir de los resultados de los análisis realizados a nivel cantonal». <http://repositorio.cedia.org.ec/handle/123456789/866>.
- Morocho, Villie, y Fabian Santander. 2015. «De los rígidos códigos internos de una IDE a un ambiente gráfico de administración y gestión: IDE Ucuencia V3.5». *Revista GEOESPACIAL*, 2015.
- Ocles, Alexandra. 2018. «Plan Nacional de Respuesta SGR». <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/08/Plan-Nacional-de-Respuesta-SGR-RespondeEC.pdf>.
- Pacurucu, Natalia, y Villie Morocho. 2017. «Los PP GIS como geo-herramienta para el mapeo de zonas vulnerables, en el contexto de la planificación territorial: una revisión bibliográfica» 14 (2): 116-25.
- Pearce, Laurie. 2003. «Disaster Management and Community Planning, and Public Participation: How to Achieve Sustainable Hazard Mitigation». *Natural Hazards*, 211-28.
- Sheppard, Eric, Helen Couclelis, Stephen Graham, James W Harrington, y Harlan Onsrud. 1999. «Geographies of the information society». *International journal of geographical information science* 13 (8): 797-823.
- Sieber, Renee. 2006. «Public Participation Geographic Information Systems: A Literature Review and Framework». *Annals of the Association of American Geographers* 96 (3): 491-507. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8306.2006.00702.x>.

MAPEO DE ZONAS VULNERABLES A DESLIZAMIENTOS USANDO PP GIS Y TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN

MAPPING OF VULNERABLE ZONES TO SLIDES USING PP GIS AND TELEDETECTION TECHNIQUES

NATALIA PACURUCU CACERES¹, ENRIQUE ACOSTA² VILLIE MOROCHO³

¹FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO.

²FACULTAD DE INGENIERIA

³DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN. FACULTAD DE INGENIERÍA.

Universidad de Cuenca. Avenida 12 de Abril y Agustín Cueva, Cuenca, Ecuador
natalia.pacurucu@ucuenca.edu.ec; villie.morocho@ucuenca.edu.ec; enrique.acosta@ucuenca.edu.ec

Recibido: 16 de agosto de 2018 / Aceptado: 27 de noviembre de 2018

RESUMEN

Las nuevas tecnologías de la información y la comunicación permiten que no solo los técnicos especializados sean los que generen información geoespacial. En la actualidad sistemas como los PP GIS, permiten que la población pueda ser generadora de información, permitiendo así que los datos geoespaciales puedan ser actualizados constantemente. En este artículo se presenta una aplicación PP GIS que ha permitido levantar datos geoespaciales de zonas vulnerables a deslizamientos en el cantón Cuenca y se ha comparado con la información levantada a través de técnicas de teledetección como son los drones y el láser scanner terrestre.

Palabras clave: participación ciudadana; NTIC; PP GIS; datos geoespaciales; zonas vulnerables; deslizamientos.

ABSTRACT

The new information and communication technologies allow not only specialized technicians to generate geospatial information. At present, systems such as PP GIS allow the population to generate information, thus allowing geospatial data to be constantly updated. This article presents a PP GIS application that has allowed to collect geospatial data from vulnerable areas to landslides in the canton of Cuenca and has been compared with the information raised through remote sensing techniques such as drones and the terrestrial laser scanner.

Key words: public participation; NTIC; PPGIS; geospatial date; vulnerable áreas; landslides

INTRODUCCIÓN

Este trabajo propone la identificación de zonas vulnerables a través del uso de las NTIC en conjunto con la participación ciudadana, de manera que esta información sirva de insumo para los procesos de ordenación territorial, debido a que el Ecuador regularmente enfrenta las catástrofes de eventos naturales y antrópicos que afectan severamente a la población, las actividades productivas y las inversiones (Morocho, 2013).

Para la planificación territorial es necesario que la cartografía esté lo más actualizada posible. En el caso de las zonas vulnerables más aún se debe contar con mapas con información fiable de manera que permita la toma de decisiones oportuna, ya sea frente a un desastre o para la planificación del uso del suelo, tomando en cuenta que en este tipo de áreas en nuestro país se encuentren asentamientos poblacionales.

En esta investigación se ha generado una aplicación PPGIS que ha sido integrada a la IDE Ucuena y se ha probado el uso de la misma en tres zonas de estudio del cantón Cuenca. Los datos proporcionados por la población a través de la aplicación móvil han sido comparados con los datos geoespaciales obtenidos de la aplicación de laser scanner terrestre y vuelos aéreos de un dron.

IDENTIFICACIÓN DE LAS ZONAS DE ESTUDIO

Según el Plan de Ordenamiento Territorial de la Provincia del Azuay, el territorio presenta varias áreas de afección con riesgo muy alto, debido a amenazas latentes como es el caso de deslizamientos derrumbes, o caídas de rocas, que ponen en peligro a sectores con presencia de infraestructura y/o población, convirtiendo el área en una zona de alto riesgo inminente para la vida de los habitantes como para el transporte y comunicación en el caso de las vías (GAD Azuay, 2015).

Dentro de la provincia del Azuay, en el cantón Cuenca, presenta mayor frecuencia de deslizamientos. Los sectores de Nulti, Los Trigales, Llacao, Paccha, Turi, Sinincay, Sayausí y Sidcay son los sectores que durante muchos años soportan este problema. Si bien durante algún tiempo los deslizamientos bajaron su intensidad, eso no significó que el peligro pasó (El Tiempo, 2010).

En la Figura 1 se observan las amenazas a nivel del Azuay, en color rojo se presentan los deslizamientos, evidenciándose más en las zonas de Santa Isabel y San Fernando; en tanto que para el cantón Cuenca es más notable las zonas con amenazas a material aluvial, reptación, hundimientos y asentamientos.

De acuerdo a la información anterior, el cantón Cuenca se ha seleccionado como una zona macro para el estudio. Para la identificación de las zonas específicas se recopiló información de noticias a nivel local en las que se hayan registrado diferentes sucesos respecto a deslizamientos. Con esta información se conformó una matriz, en la que se constató la frecuencia de los eventos para las distintas localidades, encontrando que se ha repetido mayormente estos sucesos en Los Trigales y Reina del Cisne y otra zona en la que el nivel de afección ha sido alto, tal es el caso de Chalacay. Cabe destacar que durante el proceso se descartó Chalacay por inconvenientes como el clima de la zona para los levantamientos de información, daños en los equipos y dificultades relacionadas con el desplazamiento pues la zona se encuentra a una distancia de 75 Km. de la ciudad de Cuenca. Por ello, se ha buscado un lugar en el que las infraestructuras presentes estén

siendo afectadas por algún otro deslizamiento. Así se ha identificado el deslizamiento del sector de la 24 de Mayo - Universidad del Azuay - autopista Cuenca-Azogues. Estos tres asentamientos han sido entonces seleccionados como Áreas Específicas de Estudio, a continuación se describe cada una de ellas.

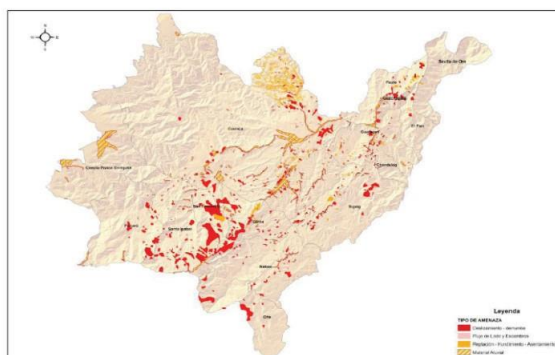


Figura 1. Movimientos de masa de suelo de la provincia del Azuay.

Fuente: estudios e investigación de amenaza, vulnerabilidad y riesgos 2012, unidad de riesgos del g.P.A. **Elaboración:** Dirección de Planificación G.P.A.

TRIGALES ALTOS

Se encuentra ubicada al Noreste del área urbana del cantón Cuenca, en la parroquia Hermano Miguel.

En el 2007 el movimiento de tierra afectó, por primera vez, a los habitantes de Trigales Altos. La administración municipal de aquel entonces realizó pequeños desfuegos para el agua. Con ello, el movimiento frenó, pero luego de dos años, a fi del 2009, nuevamente los deslizamientos afectaron al sector. En total 105 edifi resultaron afectadas con paredes cuarteadas y pisos rotos; se lograron desalojar a varias familias y en las fachadas de las casas se pintó el mensaje: “Zona en Riesgo” (El Tiempo, 2010). El límite del área de estudio está entre las calles De La Liclla, Coronel Monsalve y Gregorio Cordero Crespo (Ver Figura 2).



Figura 2. Límite de la zona de estudio en Trigales Altos.

Fuente: Elaboración Propia

REINA DEL CISNE

Es una comunidad de la parroquia Paccha, localizada al Sureste del cantón Cuenca.

Paccha es una parroquia rural en donde aún se mantiene la población indígena. La población -situada en las faldas del Guagualluma, en terrenos muy deleznales- era indígena que ya existía antes de la conquista, y fue fundada por los españoles en el año 1582 con el nombre de San Francisco de Paccha, integrando de inmediato el antiguo Corregimiento de Cuenca.

Apartir de 1957, una serie de deslizamientos advirtieron a la población que sus condiciones geológicas eran peligrosas; estos deslizamientos cobraron mayor intensidad a partir de 1993 y obligaron a muchos de sus pobladores a abandonar sus casas, muchas de ellas destruidas o «tragadas» por la tierra («Paccha (Azúay) - Geografía del Ecuador», 2016).



Figura 3. Límite de la zona de estudio en Reina del Cisne.

Fuente: Elaboración Propia

SECTOR GAPAL-UNIVERSIDAD DEL AZUAY

La zona de estudio se encuentra localizada en la ciudad de Cuenca, cabecera cantonal del cantón del mismo nombre. El sector está ubicado al Surde la ciudad limitado por la Av. 24 de Mayo, la Circunvalación Sur y parte de la Parroquia Turi. Es el más grande de los tres deslizamientos estudiados. La mayor parte del deslizamiento afecta a un depósito coluvial sobre el que también encontramos la autopista Cuenca-Azogues, parte del campus universitario de la UDA y una zona residencial situada junto a la Av. 24 de mayo.

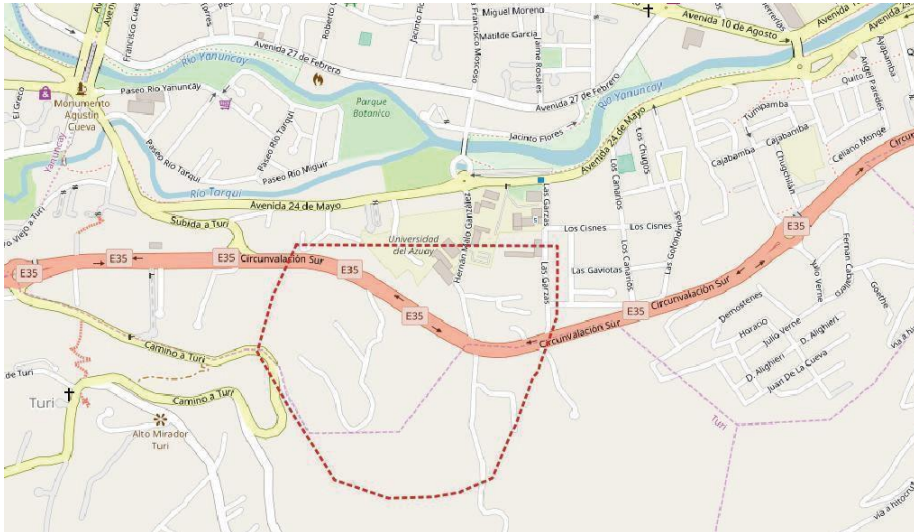


Figura 4. Localización zona de estudio sector UDA.

Fuente: Elaboración Propia

El sector comenzó a presentar problemas de hundimientos a partir de la construcción de la Circunvalación Sur. Según técnicos, el movimiento de tierra activó una falla geológica que estuvo a punto de derribar las edificaciones de la UDA (El Tiempo, 2012).

No solo las edificaciones de la Universidad del Azuay han sufrido estragos, varios barrios cercados de la zona como el Cinco de Junio, El Romero han quedado afectados, algunas viviendas han tenido que ser deshabitadas ante el peligro que se desplomen («Drama en el Azuay por deslizamientos», 2011).

En la zona se presentaban quebradas de drenaje natural, sin embargo al construir la autopista se rellenaron y no se colocaron los drenajes adecuados, provocando cambios de régimen en nivel freático (Diario El Mercurio, 2011).

MAPEO DE DESLIZAMIENTOS EN LAS ZONAS DE ESTUDIO A TRAVÉS DE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN Y PARTICIPACIÓN CIUDADANA

TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN USADAS

Como técnicas de teledetección se ha utilizado los vuelos a través de un vehículo aéreo no tripulado y el uso de laser scanner terrestre. Los datos obtenidos fueron pos procesados generando así la cartografía actualizada de los deslizamientos de las tres zonas de estudio. A continuación se describen los materiales utilizados en el proceso:

- Escáner láser terrestre (TLS) FARO Focus 3D X130 (Figura 15A).

- Drone multirrotor DJI Phantom 4 equipado con cámara RGB 4K, propiedad del Ing. Gerardo Arbito (Figura 15B).
- Drone de ala fija Sensefly eBee AG equipado con cámara RGB (Sony S110) y multiespectral de 5 bandas (Sensefly Sequoia) (Figura 15C).
- Estación total Ruide (Figura 15D).
- Estación total Trimble R3 (Figura 15E).
- GPS diferencial Trimble R4 (Figura 15F).
- Equipo de tomografía de resistividad eléctrica (ERT) y tomografía sísmica de refracción PASI 16S24-N del Ing. Alfredo Vázquez (Figura 15G).
- Equipo de tomografía de resistividad eléctrica (ERT) de la Red Sísmica del Austro (RSA) IRIS Instruments SYSCAL Pro. SWITHC 48 (Figura 15H).
- Fotografías aéreas del IGM de los años 60, 70, 80, 90 y 2000 y estereoscopio (Figura 15I).
- Brújula para medición de estructuras geológicas (Figura 15J).
- Tamices para granulometría (Figura 15K).
- Útiles de laboratorio para determinar densidad de las muestras de suelo (Figura 15L).
- Cuchara de Casagrande para el límite líquido (Figura 15M).
- Edómetro para realizar el ensayo de expansividad de arcillas (Figura 15N).

Para el mapeo de las zonas, se recopiló información existente, fundamentalmente en el Departamento de Geomática del Municipio de Cuenca y en la oficina de Gestión del Riesgo.

Se tomaron muestras de suelo en campo y realización de ensayos geotécnicos en laboratorio de suelos de la Universidad de Cuenca para determinar ciertas propiedades físicas y mecánicas de dichas muestras.

Ya en campo, se realizaron levantamientos parciales del deslizamiento (a lo largo del perfil longitudinal) con TLS (escáner láser terrestre) en distintas fechas y se realizó la unión de los escaneos individuales de cada fecha con Scene o AutoDesk Recap 360.

Los primeros resultados de las nubes de puntos TLS de distintas fechas fueron comparados a partir de 3 puntos de referencia externos al deslizamiento. Esta tarea se ha realizado con CloudCompare.

Posterior a este proceso se generó los perfiles longitudinales y transversales en AutoCAD Civil 3D para la acotación de los movimientos que ha experimentado el terreno y las infraestructuras situadas sobre él, validando los resultados obtenidos con TLS mediante puntos de control medidos con GPS diferencial y estación total.

El levantamiento fotogramétrico multitemporal del deslizamiento completo se obtuvo mediante un drone equipado con cámara RGB y multiespectral. La precisión de estos levantamientos es menor que la del TLS. Sin embargo, la fotogrametría

drone proporciona una valiosa información más allá del perfil longitudinal del deslizamiento, donde no llega el TLS.

Una vez realizado el vuelo, se obtuvo la nube de puntos, modelo digital de superficie (MDS), modelo digital del terreno (MDT), ortofoto y modelos de índice de vegetación (NDVI) mediante Pix4D, Agisoft Photoscan y QGIS.

Estas nubes de puntos fotogramétricas de distintas fechas fueron comparadas con CloudCompare a partir de puntos de referencia estáticos situados fuera del deslizamiento. Los resultados se validaron mediante puntos de control medidos con GPS diferencial y estación total.

Finalmente se realizaron prospecciones geofísicas con equipos de tomografía de resistividad eléctrica (ERT) y tomografía sísmica para identificar la morfología y profundidad de la superficie del deslizamiento, y por lo tanto la tipología del mismo.

APLICACIÓN PP GIS PARA EL LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN

Los PP GIS son sistemas que permiten la participación ciudadana, a través de la recopilación de información cartográfica relevante que pueden convertirse en insumos para la planificación territorial. Con estos sistemas la población podrá no solo proporcionar datos, sino también capacitarse y concientizarse sobre cómo usar el suelo y con ello evitar los asentamientos en zonas vulnerables.

En esta investigación se ha generado una aplicación de participación ciudadana SIG en la que la población puede proporcionar datos específicos sobre zonas que ya han sufrido deslizamientos o propensas a este fenómeno de manera que los investigadores o los tomadores de decisiones puedan contar con datos actualizados y geo localizados de estas zonas.

Para receptar la información proveniente de los ciudadanos tanto que residen en zonas propensas a deslizamientos como aquellos que no, se ha generado una aplicación web móvil con la que la población puede alertar sobre estos fenómenos y localizar las áreas afectadas. Con estos insumos se podrán generar mapas más precisos y que evitarán futuros desastres como asentamientos, aportando así a la planificación territorial.

La App móvil “PPGIS UC” fue desarrollada en la Plataforma Android Studio, con la finalidad de realizar reportes de eventos de vulnerabilidad, mediante la selección y registro de ciertos parámetros en formularios dinámicos. En el proyecto que se ejecutó para el desarrollo de esta aplicación, se centró en el reporte para deslizamientos de terrenos, pero, la aplicación está diseñada para adaptarse a diferentes escenarios.



Figura 5. Interfaz de la aplicación

Los reportes que se realizan son enviados a la Plataforma IDE y son:

- Tabla que registra todos los reportes realizados.
- Clasificación de la Información.
- Generación de geometrías y almacenamiento en la Base de Datos espacial PostGIS.
- Publicación en el servidor de mapas GeoServer (Es posible utilizar los diferentes servicios WMS, WFS para utilizarlos en diferentes herramientas GIS).
- Visualización de la Información en un Visualizador de Mapas.

id (PK)	cod_event	nivel	latitud	longitud	zona	provincia	canton	parroquia	json	steps	correo	images	fecha	processed
integer	text	numeric	numeric	numeric	text	text	text	text	text	text	text	text	timestamp without time zone	boolean
1	DELINCS	su11	-2.9041072	-79.0002134	Zona 04	ASRAY	CUENCA	CUENCA		[step1, stepIn.fabian.sas]			2017-11-30 20:27:52	FALSE
2	DELINCS	su11	-2.8996797	-79.9709458	Zona 04	ASRAY	CUENCA	CUENCA		[step1, stepIn.fabian.sas]	[http://1.2017-12-01 02:47:57]			FALSE
3	DELINCS	su11	-2.9152542	-79.0008607	Zona 04	ASRAY	CUENCA	CUENCA		[step1, stepIn.fabian.sas]	[http://1.2017-12-01 20:17:30]			FALSE
*														

Figura 6. Base de datos de almacenamiento

La aplicación permite reportar eventos sin conexión a internet, y posteriormente ser enviada la información al servidor al detectar una conexión a internet de manera automática.

Tiene la posibilidad de poner a disposición del usuario varios tipos de formularios (por ejemplo, para un ciudadano común o experto); estos formularios pueden ser integrados o removidos desde la plataforma IDE de la Universidad de Cuenca.

ANÁLISIS DE LAS ZONAS DE ESTUDIO

TRIGALES ALTOS

En el deslizamiento de Trigales Altos algunas infraestructuras se han desplazado más de 20 cm en el periodo de tiempo analizado en este proyecto, y hasta 4 m desde la fecha de construcción de la urbanización (Figura 7 a Figura 9). En la Figura 9 se representan las posibles superficies de deslizamiento. La profundidad de la superficie de rotura principal se ha obtenido a partir de los datos de las tomografías sísmicas realizadas. También se realizó una tomografía de resistividad eléctrica (ERT) según el perfil longitudinal del deslizamiento, pero debido a un fallo en uno de los cables del equipo, los resultados no fueron fiables y no se presentan en este informe. Todo este trabajo ha servido para la realización de una tesis de grado del estudiante Irwin Rashid Samaniego Placencia, la cual será defendida en abril de 2018.

Además se ha realizado un vuelo con dron de todo el deslizamiento. En la Figura 10 se puede observar la nube de puntos.

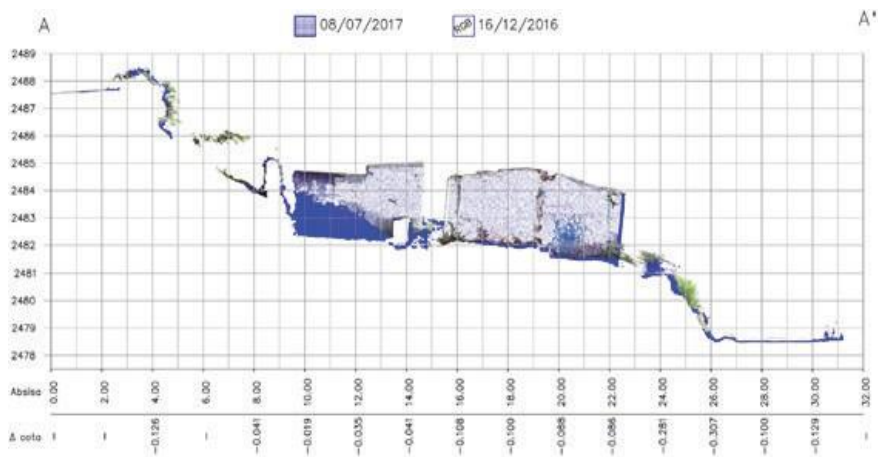


Figura 7. Perfil A-A': levantamiento 1 (RGB) Vs levantamiento 3 (azul).

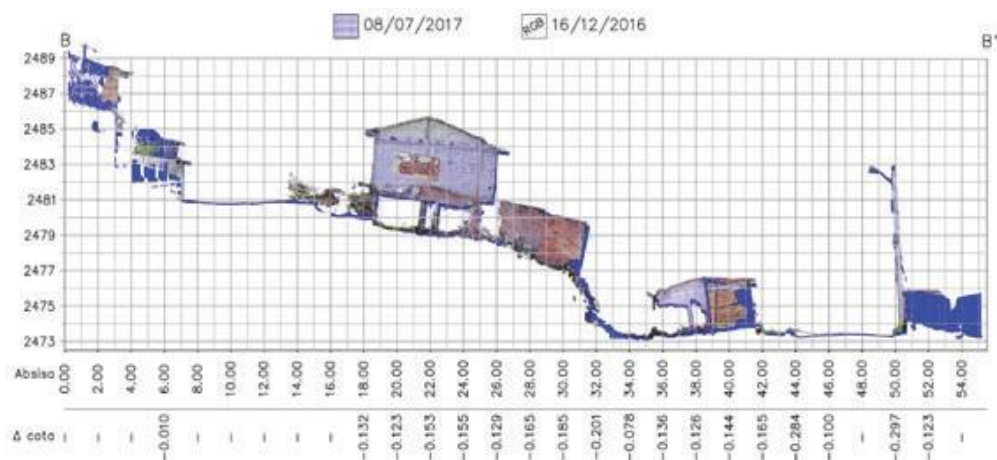


Figura 8. Perfil B-B': levantamiento 1 (RGB) Vs levantamiento 3 (azul).

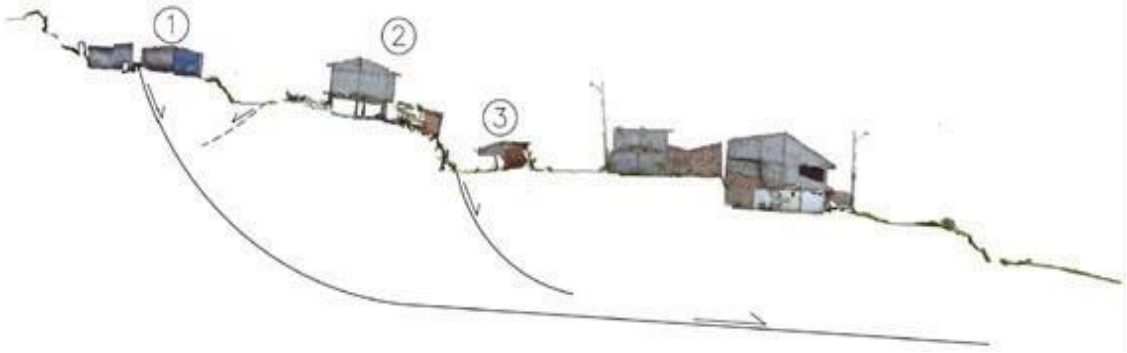


Figura 9. Esquema de posibles superficies de deslizamiento a lo largo del perfil longitudinal de la urbanización Trigales Altos.



Figura 10. Nube de puntos obtenida mediante fotogrametría drone en Trigales Altos.

REINA DEL CISNE

En Reina del Cisne el deslizamiento ha sido evidentemente activo durante el periodo de tiempo analizado. Como se aprecia en la Figura 11, el escarpe principal ha aumentado su altura a mayor velocidad durante los meses de lluvia (marzo a mayo). Ladera abajo, esto se ha traducido en importantes deformaciones en una vivienda, con desplazamientos de hasta 2.28 m en un fragmento de losa. Los desplazamientos de la masa deslizada medidos con LiDAR en los puntos de control coinciden con los obtenidos con la estación total. Este trabajo ha sido recientemente publicado:

Acero P, Caldas M, Mejía P, Pesántez C, Piedra R, Morocho C y Acosta E. (2017). Tipología y cinética del deslizamiento Reina del Cisne (Cuenca) a partir de fotografías aéreas, GPS, escáner láser terrestre y ensayos geotécnicos del suelo. *Geoespacial* Vol. 14 N° 2. 50-66.

También se ha realizado un vuelo con drone de todo el deslizamiento. En la Figura 12 se puede observar la nube de puntos obtenida con Agisoft Photoscan.

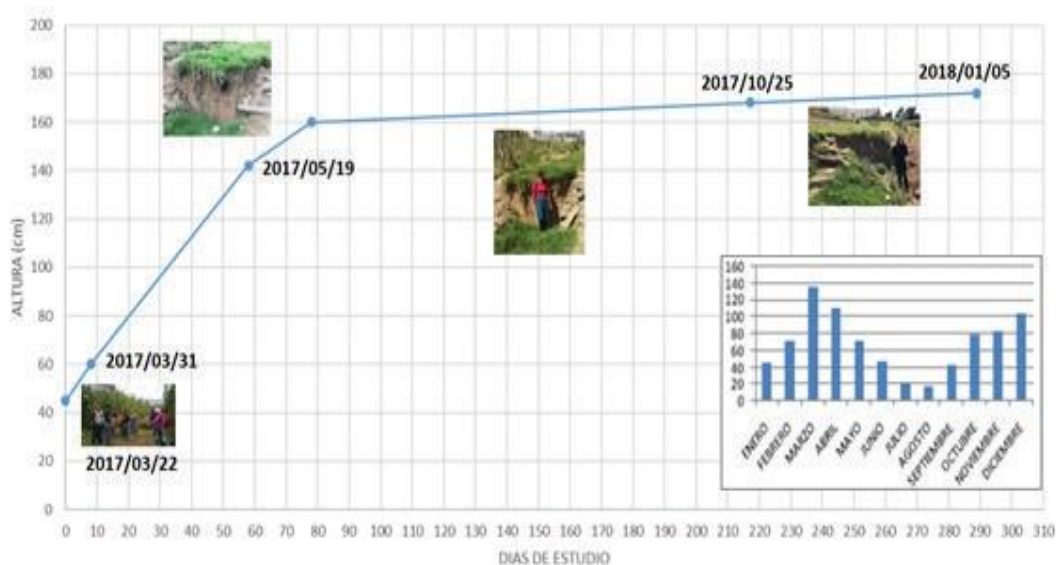


Figura 11. Aumento de altura del escarpe principal del deslizamiento.



Figura 12. Nube de puntos obtenida mediante fotogrametría drone en Reina del Cisne.

SECTOR GAPAL-UNIVERSIDAD DEL AZUAY

En el deslizamiento de la UDA todavía no se tienen aún resultados definitivos porque sólo se ha realizado un levantamiento drone de toda la zona (Figura 13) y un levantamiento TLS (Figura 14) de algunas infraestructuras situadas en el eje longitudinal del deslizamiento. Es necesario dejar pasar unos meses, especialmente los de lluvia, para que el movimiento se reactive y pueda ser detectado por los equipos.



Figura 13. Nube de puntos del deslizamiento UDA obtenida mediante fotogrametría drone.



Figura 14. Nube de puntos TLS a lo largo del eje longitudinal del deslizamiento UDA.

COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LAS ZONAS DE ESTUDIO

Para la comparación de resultados se ha tomado como capas base la cartografía del Proyecto PRECUPA 2011, el servicio WMS de la susceptibilidad de movimientos en masa de la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos y los datos registrados a través de la aplicación móvil.

Según estos datos se puede constatar que el uso de la aplicación móvil ayuda en gran medida al mapeo de datos respecto a las zonas afectadas por deslizamientos y que así se puede reportar nuevos fenómenos o a su vez mantener actualizada la cartografía.

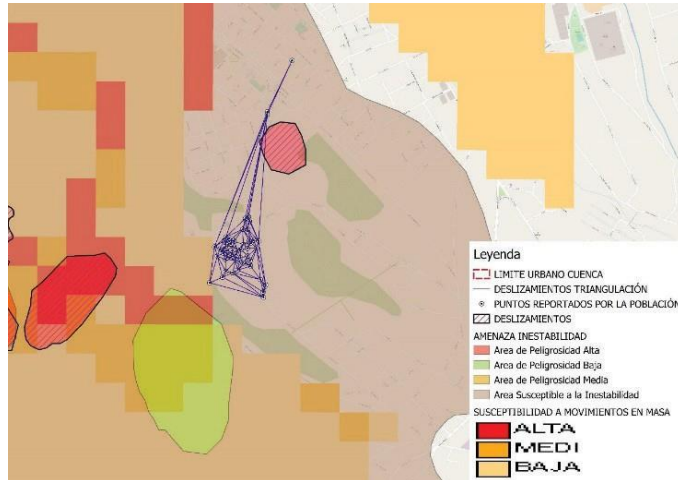


Figura 15. Comparación de cartografía y datos levantados por la población, sector Triguales Altos

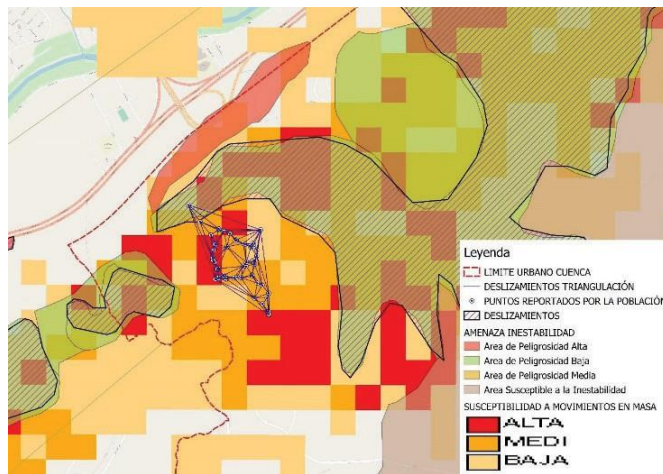


Figura 16. Comparación de cartografía y datos levantado por la población, sector Reina del Cisne

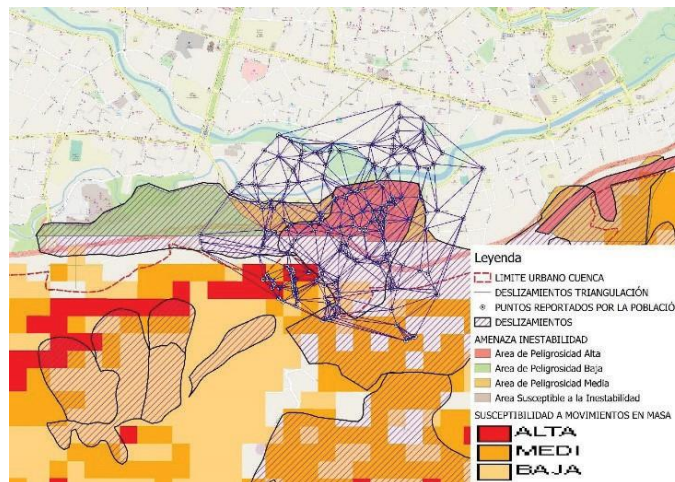


Figura 17. Comparación de cartografía y datos levantado por la población, sector Gapal-UDA

Es importante recalcar que los puntos que reporta la población no son del todo precisos, sin embargo, pueden ayudar a los tomadores de decisiones y técnicos a contar con un insumo de fácil acceso, de primera mano y actualizado.

Esta potencialidad podrá ser aprovechada, sobretodo, por aquellos GAD que no disponen de recursos económicos ni el contingente para mantener actualizada la cartografía de vulnerabilidades.

CONCLUSIONES

Los PPGIS son una herramienta que ofrece un enfoque alternativo para la participación del público en la toma de decisiones, permitiendo incorporar los conocimientos locales, integrar y contextualizar la información espacial compleja. En este caso específico se ha implementado una aplicación web móvil que permite al ciudadano identificar las zonas vulnerables, de acuerdo a parámetros establecidos de fácil entendimiento para cualquier usuario.

Las técnicas de teledetección también permiten analizar y actualizar los datos geospaciales para contar con cartografía más actualizada y que sirven de insumo para la planificación territorial.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto ha sido financiado por la Dirección de Investigación de la Universidad de Cuenca (DIUC). Agradecimientos al grupo de trabajo de IDE del Departamento de Ciencias de la Computación.

REFERENCIAS

- Acero P, Caldas M, Mejía P, Pesántez C, Piedra R, Morocho C y Acosta E. (2017). Tipología y cinética del deslizamiento Reina del Cisne (Cuenca) a partir de fotografías aéreas, GPS, escáner láser terrestre y ensayos geotécnicos del suelo. *Geoespacial* Vol. 14 N° 2. 50-66.
- Brown, G. (2012). Public Participation GIS (PPGIS) for Regional and Environmental Planning: Reflections on a Decade of Empirical Research, 25(2).
- CONSULSUA. (2013). Estudio de impacto ambiental definitivo (eiad) sistema de transmisión de extra alta tensión y sistemas asociados. Recuperado a partir de <file:///C:/Users/USUARIO/AppData/Roaming/Mozilla/Firefox/Profiles/trbao6iw.default/zotero/storage/CQVRAA9P/An%C3%A1lisis%20de%20Riesgos.pdf>
- Costa, J. C., López, L., & Taberner, J. (2000). Epistemological pluralism, participative science and knowledge dialogue as cultural renovation methods. *Cultura y Educación*, 12(1-2), 181-187. <https://doi.org/10.1174/113564000753837287>
- Morocho, V. (2013). Aportes a la lectura de la vulnerabilidad, a partir de los resultados de los análisis realizados a nivel cantonal. Recuperado a partir de <http://repositorio.cedia.org.ec/handle/123456789/866>

POLÍTICAS PARA LA GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN EN LA PLANIFICACIÓN TERRITORIAL

POLICIES FOR THE MANAGEMENT OF INFORMATION IN TERRITORIAL PLANNING

LORENA VIVANCO CRUZ¹, RAÚL MEJÍA², VILLIE MOROCHO³

¹UNIVERSIDAD DE CUENCA - FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO.

²PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR - FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

³UNIVERSIDAD DE CUENCA – DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACION, FACULTAD DE INGENIERÍA.

Universidad de Cuenca. Avenida 12 de Abril y Agustín Cueva, Cuenca, Ecuador

lorena.vivanco@ucuenca.edu.ec; raul.mejia@gmail.com; villie.morocho@ucuenca.edu.ec

Recibido: 24 de septiembre de 2018 / Aceptado: 4 de diciembre de 2018

RESUMEN

Este artículo, pone a debate la política de gestión de información en Ecuador, a partir del entendimiento de algunos conceptos desde tres puntos de vista –gestión del conocimiento, gestión de la información y gestión de contenidos–, para luego profundizar el marco normativo existente en materia de acceso y uso a la información pública en Ecuador, así como también analizar los sistemas de información geoespacial a nivel nacional y local, como una forma de abordar las políticas públicas. Más aún cuando, la disponibilidad de información territorial es necesaria para la gestión de los territorios, en diferentes escalas y entre diferentes niveles de Gobierno. Confirmando que la sola disponibilidad de datos no es suficiente, sobre todo cuando existen inconsistencias entre diferentes fuentes de información. Resulta común que para un mismo territorio existan datos que provienen de diferentes fuentes institucionales y que no son consistentes entre sí, en cuanto a la escala, detalle o fecha de adquisición. Esto provoca un problema a la hora de seleccionar una fuente de información, más aún cuando esa fuente institucional resulta ser una “copia parcial” o una “actualización” o “mejoramiento” de otra, volviendo incierta la “originalidad del dato”. La implementación de una política nacional de “registros originales” puede ser la salida al desorden en las fuentes de información, como una política integral de gestión de la información pública, que mejorar la disponibilidad y consistencia de los datos que describen el territorio.

Palabras clave: gestión de la información; datos geoespaciales; territorio, planificación territorial, registros originales, sistemas de información territorial

ABSTRACT

This article discusses the information management policy in Ecuador, based on the understanding of some concepts from three points of view - knowledge management, information management and content management-. After of this a review of the existing regulatory framework around of access and use of Ecuadorian public information is done. On the other hand, some local and national geospatial information systems are discussed, as a way to address public policies. Considering that the availability of territorial information is necessary for the territorial management, especially at different scales and different Government levels. It is confirming that isolated availability of data is not enough, especially when there are possible inconsistencies such as, for the same territory there are data that come from different institutional

sources and are not consistent with each other, in terms of scale, detail or acquisition date. This causes a problem in deciding “the best” source of information, finding even “partial copies” or an “updating” or “improvement” of another, which results in uncertain “originality of the data”. The implementation of a national policy of “original records” may be the way out of the disorder in the sources of information, such as a comprehensive public information management policy, which will improve the availability and consistency of the data describing the territory.

Key words: land information systems, geospatial data, land use planning, key registers.

INTRODUCCIÓN

La gestión de la información para la planificación del territorio, según Alonso, Julio (2007), precisa diferenciar de partida tres conceptos, referidos a: “**Datos.** *Se trataría de una medición objetiva; Información.* *Conjunto de datos relacionados e interpretados; Conocimiento.* *Conjunto de información desarrollada, que permite prever y planificar”.*

La comprensión de una política integral de gestión de la información pública, “que permitan transformar datos en información geoespacial relevante, para observar, experimentar, analizar y comprender el comportamiento del sistema territorial y urbano” (LaVCiTe. 2017), requiere considerar tres aspectos:

El primero, **la gestión de la información**, que define procesos y se refiere a la creación, captura, clasificación, recuperación y transferencia de la información que genera, recibe o adquiere una organización; lo que coincide con lo que sostiene Alonso, Julio (2007), que es la “explotación de la información para la consecución de los objetivos de la entidad. Su creación, adquisición, procesamiento y difusión”.

El segundo, **la gestión del conocimiento**, que “vendría a ser el nivel superior, y estaría relacionado con las políticas de información, y además implicaría su asimilación por parte de los individuos que operan en la institución”, (Alonso Julio, 2007); y, que además demanda una “arquitectura de información”, sustentada en plataformas tecnológicas y sistemas de redes que posibiliten los flujos de intercambio de información y comunicación entre los individuos y los equipos para la realización de diversas actividades asociadas a los procesos de creación de conocimiento.

El tercero, **la gestión de contenidos, que involucra una** “serie de acciones y destrezas profesionales que permite la creación y administración de contenidos”, (Alonso Julio, 2007), es decir la gestión de documentos y datos tanto internos como externos.

Para lograr una efectiva y coherente, gestión de información y el conocimiento, es necesario no solo emplear herramientas que permitan agilizar y optimizar los procesos, sino también conocer el marco jurídico de la gestión de información para la planificación del ordenamiento del territorio. Además, es primordial que éste cuente con *políticas*

claras de producción, actualización, acceso y uso de los datos. Así como, políticas para la creación y gestión de metadatos, estándares para la información, junto con lineamientos sobre administración de tierras que describan su valor, propiedad y uso.

Todo proceso de gestión de información territorial como lo describe el Servicio Geológico Colombiano (2017), implica la, “planeación, adquisición, recibo, generación, administración, depuración, archivo, conservación, uso y difusión”, entre otras características implícitas en un sistema de información, en el que interactúan individuos, información y los correspondientes procesos para generar un valor añadido a la misma. Un aspecto que surge con claridad en Ecuador es la necesidad de contar con políticas públicas que consideren la información de manera integral. Una forma de abordar las políticas públicas es la consideración de los marcos normativos existentes, como bien lo señala Natalia Torres (2014), “las leyes de acceso a la información imponen nuevas obligaciones a las administraciones que destacan la necesidad de una buena gestión de la información”.

En este artículo hemos optado por relevar, exclusivamente los desarrollos regulatorios en materia de acceso y uso a la información pública en Ecuador, para luego analizar los sistemas de información geoespacial a nivel nacional y local, para proponer reflexiones y acciones hacia una política integral de gestión de la información pública.

ORDENAMIENTO JURÍDICO PARA LA GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN TERRITORIAL

Respecto del desarrollo de la información territorial, Naciones Unidas (2015) señala que ésta “*se constituye a partir del conjunto de datos fundamentales que comprende la información oficial del territorio para que cualquier usuario y aplicación pueda referenciar sus datos*”.

Algunas características de esta información son: diversidad (variedad de contenidos temáticos), calidad (actualización, atributos, escala), accesibilidad (inmediatez, de libre descarga), y usabilidad (mejor utilizable para darle un valor agregado, análisis territorial). Por lo tanto, se debe saber: *¿cómo se produce?, ¿Cómo se accede a ella? y ¿cuánto de pertinente es para determinados usos?*.

Para establecer los requerimientos de la información territorial, es necesario conocer las “*necesidades*” y “*los usuarios*”, como es el caso de los 1061 niveles de Gobiernos Autónomos Descentralizados –GAD–, los cuales, de acuerdo a la legislación nacional tienen la competencia de planificar el desarrollo y ordenamiento territorial. Otros usuarios lo constituyen también las Instituciones que tiene incidencia en la planificación del territorio incluyendo a los actores privados como son los consultores.

La generación de la información territorial procede tanto del Estado como de la sociedad y requiere de tecnologías, personas, acuerdos organizativos, normas, entre otros, aspectos que lejos están de ser puramente informáticos. Tales requerimientos, plasman el valor social de la colaboración en la integración de la información territorial. Hernández, A. (2018), sostiene que el *“valor social es entonces el resultado del acceso, pero sobre todo del tratamiento de la información con un objetivo concreto”*. Entonces, **la información territorial proporcionada por las instituciones públicas tiene un valor social, y su utilidad radica en la utilidad que los ciudadanos le dan y no meramente en su carácter público**. Por lo que, transparentar las acciones de gobierno, y en general cualquier ejercicio del poder público, facilita la rendición de cuentas y por lo tanto combate a la corrupción, en la medida que la ciudadanía tiene la posibilidad y las condiciones de analizar la información que de otro modo sería asequible únicamente a las élites técnicas y/o burocráticas. De los beneficios sociales, que se desprendan de esta evaluación depende que el derecho a la información pública se consolide en Ecuador, como un precepto constitucional.

Hernández, A. (2018) propone que *“Las políticas de transparencia deben evaluarse en primer lugar por la oferta de información disponible y su calidad, y luego por la posibilidad de ésta de generar valor social. El carácter público de los datos no es suficiente al momento de procurar el derecho a la información, debe también promoverse que éstos puedan ser utilizados por cualquier ciudadano interesado”*. En el caso de Ecuador, es necesario entender que esa política de transparencia, se tipifica como un derecho constitucional, dado la posibilidad de que *“Todas las personas, en forma individual o colectiva, tienen derecho a: El acceso universal a las tecnologías de información y comunicación”*, Constitución (2008). Además de quedar garantizado el acceso libre *“a la información generada en entidades públicas, o en las privadas que manejen fondos del Estado o realicen funciones públicas”*, Constitución (2008).

Vale señalar que una de las políticas de transparencia y acceso a los datos, básica para la gestión de la información, lo constituyen la información que generan los sistemas de planificación y de finanzas públicas, que de acuerdo al Código Orgánico de Planificación y Finanzas Públicas -COPFP- (2010), *“es de libre acceso, tanto para las personas naturales como para las jurídicas públicas y privadas”*.

La información para la planificación tiene carácter oficial y es pública, y debe generarse y administrarse en función de las necesidades establecidas en los instrumentos de planificación como son el Plan Nacional de Desarrollo, la Estrategia Territorial Nacional, Planes sectoriales, Planes estratégicos Nacionales, Planes de desarrollo y ordenamiento territorial de las regiones, provincias, cantones y parroquias rurales, entre otros definidos en la Ley, tanto para el ámbito supranacional, nacional, regional, provincial, cantonal, parroquial rural, regímenes especiales y otros instrumentos de planificación sectoriales, especiales y complementarios. No obstante, habrá de considerarse que la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, como ente rector

de la planificación nacional, “define el carácter de oficio de los datos relevantes para la planificación nacional, y los lineamientos para la administración, levantamiento y procesamiento de la información, que serán aplicables para las entidades que conforman el sistema”, a la vez que establece los mecanismos, metodologías y procedimientos aplicables a la generación y administración de la información para la planificación así como sus estándares de calidad y pertinencia.

Es necesario señalar que tanto la “Norma Técnica para la creación, consolidación y fortalecimiento de los sistemas de información local”, como las “Normas técnicas nacionales para el catastro de bienes inmuebles urbanos - rurales y avalúos de bienes; operación y cálculo de tarifas por los servicios técnicos de la dirección nacional de avalúos y catastros”, no se han implementado en su integralidad. Particularmente las normas referidas al catastro de bienes inmuebles urbanos - rurales y avalúos de bienes, tiene a la fecha dos propuestas debido a la inaplicabilidad de la norma catastral.

En Ecuador, “el tratamiento de la información territorial”, se sustenta en un marco regulatorio que considera al menos de manera directa las siguientes leyes: Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública -LTAIP-(2004); Constitución de la República de Ecuador -CRE-(2008); Código Orgánico de Planificación y Finanzas Públicas -COPFP- (2010); Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión de Suelo -LOOTUGS- (2016) y otras normas emitidas para el cumplimiento operativo de dichas leyes, tal como se indica en la siguientes figuras.

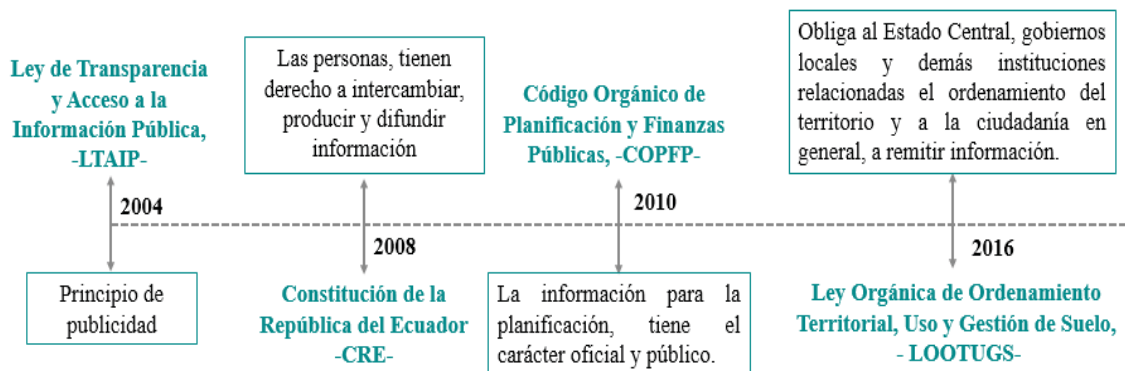


Figura 1. Marco regulatorio vigente para la información territorial en Ecuador, como principio constitucional

Fuente: LTAIP, 2004; CRE, 2008; COPFP, 2010; LOOTUGS, 2016.

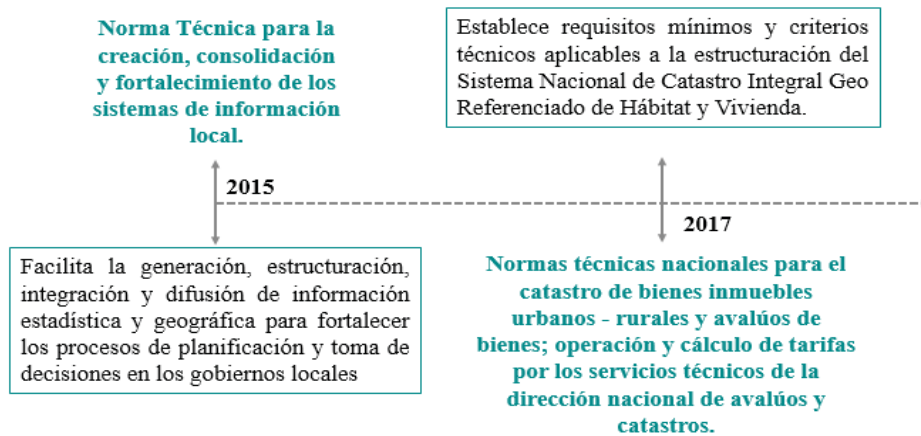


Figura 2. Normas complementarias para la información territorial en Ecuador.

Fuente: Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo, 2015; Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2017.

Sin embargo, a pesar de tener un marco regulatorio vigente para la información territorial en Ecuador, existen algunos problemas que enfrenta, como: dispersión y fragmentación de los datos; información geográfica y estadística, limitada; escasa coordinación de la información territorial disponible; carencia de un sistema que integre datos e información estadística y geográfica relevante; duplicidad en las fuentes de datos, provocado por el desconocimiento de quien tiene la competencia del dato (registros originales); débiles mecanismos de homologación y estandarización de la información territorial; automatización incompleta; restringido acceso a los datos y pocas fuentes “originales” que liberan la información territorial con la que disponen ; y, escaso soporte técnico a las pocas fuentes que brindan servicios de información territorial. En un intento por estandarizar a cierto nivel la información espacial, se creó el Catalogo Nacional de Objetos Geográficos (CONAGE, 2015), sin que al momento haya conseguido su fin, pues son muy pocos los geoportales que evidencian el uso de dicho catálogo.

Sobre las Normas técnicas nacionales para el catastro de bienes inmuebles urbanos - rurales y avalúos de bienes, es necesario señalar que este esfuerzo, por homologar la información para la planificación, no ha logrado concretarse en el país, debido a que tradicionalmente la normativa catastral trabajaba el catastro como insumo para la valoración de los bienes inmobiliarios y por ende del impuesto predial. En este sentido, la antigua Ley Orgánica de Régimen Municipal -LORM-, hace hincapié en el levantamiento de características de los predios que inciden en su valoración, y donde la geometría de los predios y sus construcciones se describen únicamente como áreas. Haciéndose nula referencia a la geometría y ubicación absoluta de los predios en un mapa. Esta ha sido la gestión tradicional de datos catastrales en el Ecuador.

Más recientemente y desde la aparición de los computadores personales, a partir de la década de los 90, ciertos municipios, principalmente los de mayor tamaño como los de Quito, Guayaquil y Cuenca, incursionaron en describir a los predios no solamente con características de valoración y áreas de terreno y construcción, sino también con una representación geométrica, más específicamente de polígonos coincidentes con los linderos del terreno y algunos casos con los linderos del suelo ocupado con construcciones. Inicialmente mediante la utilización de aplicativos como los CAD (para diseño asistido por computadora) y actualmente mediante Sistemas de Información Geográfica -SIG-.

Sin embargo, la mayoría de municipalidades, continuaron cumpliendo mínimamente con lo requerido por la LORM y luego por el Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomías y Descentralización -COOTAD-, es decir, el levantamiento de características prediales para valoración, y en pocos casos usando la geometría de los predios como instrumento accesorio sin valor legal. En este contexto, aparece una normativa con un fuerte enfoque instrumental, de carácter geográfico, y con algunas limitaciones conceptuales lo que dificulta su aplicación en los 221 municipios del país. Vale decir, que la normativa incluso llega a tratar temas demográfico-censales, que son totalmente ajenos al accionar de las municipalidades, aspecto que aleja aún más a los funcionarios municipales del cumplimiento de sus tareas de mantenimiento catastral.

Respecto de los Sistemas de Información Local, impulsados desde la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo -SENPLADES-, estos han sido concebidos por las municipalidades como instrumentos de reporte, de su gestión sobre el territorio, de allí que un enfoque adecuado, sería el que el Gobierno Central impulse la construcción de estos sistemas como herramienta de gestión del territorio municipal, con una doble función, en primera instancia como instrumento de reporte, y luego como segundo paso, estaría el que esa herramienta plenamente instaurada en la gestión municipal pueda ser usada por el gobierno central. Pues, tal como se emite esta normativa, se interpreta que es una herramienta que debe ser construida por las municipalidades para beneficio del gobierno central únicamente.

ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN NACIONALES Y LOCALES EN ECUADOR

Dagnino, J. (2010), señala que *“la información puede mejorar el bienestar individual y social [...]”*, desde una visión dinámica, induciendo progresos futuros referidos a:

“a) Desplegando la función de utilidad: ampliando las dimensiones y las magnitudes del bienestar.

b) Expandiendo la frontera de posibilidades de producción: mejorando la calidad de los factores de producción, incluso de la tecnología, de las instituciones y de aspectos sociales, y su uso.

c) Ampliando las interfaces entre la producción y el consumo: creando más posibilidades de comercio y de financiamiento”, a través de la educación, la difusión tecnológica y el

funcionamiento institucional, lo cual disminuye la incertidumbre y el riesgo presente en la toma de decisiones que la ciudadanía, políticos, académicos, planificadores y otros, hacen respecto de los procesos de planificación del territorio.

La nueva tendencia de ciudades inteligentes, coloca al ciudadano en el centro del desarrollo, incorporando las TICs como un elemento primordial para la gestión urbana. Dichos elementos deberían ser utilizados como herramientas para conseguir el diseño de un gobierno efectivo que incluya la planeación colaborativa y la participación ciudadana. Ello porque, una ciudad inteligente se vuelve más innovadora, competitiva, atractiva y resiliente, mejorando la calidad de vida de sus ciudadanos.

La producción y consumo de la información territorial debe obligatoriamente, además de ser pública, provenir de los “registros originales”. **Esto implica que un dato está certificado, se recolecta una sola vez, y una entidad del gobierno -ente rector o GAD, es el responsable de producir, actualizar y mantener el dato.**

En base a la legislación ecuatoriana, la competencia del dato está en varias entidades, de acuerdo al ámbito de sus competencias establecidas en la Constitución y otras leyes. Por ejemplo, los gobiernos autónomos descentralizados regionales (aún no conformadas) delimitan los ecosistemas de escala regional y las cuencas hídricas, en coordinación con la Secretaría Nacional del Agua (como autoridad única del agua). Los gobiernos autónomos descentralizados provinciales, son responsables de definir la vialidad provincial – es decir la infraestructura vial rural. En tanto que, a las municipalidades les corresponde definir la vialidad urbana. Mientras al Ministerio de Transporte y Obras Públicas -MTOPE-, la red vial estatal. Finalmente, los gobiernos autónomos descentralizados municipales y metropolitanos definen la clasificación del suelo en urbano y rural, entre otros aspectos.

En base a la competencia del dato y de acuerdo a la legislación nacional, existen algunos “sistemas” albergados en Instituciones Públicas, que proveen de datos estadísticos y geográficos a los procesos de planificación, entre ellos se puede citar:

Sistema Estadístico y Geográfico Nacional (INEC): “es la fuente de información para el análisis económico, social, geográfico y ambiental, que sustente la construcción y evaluación de la planificación de la política pública en los diferentes niveles de gobierno.

La información estadística y geográfica que cumpla con los procedimientos y normativa establecida, tendrá el carácter de oficial y deberá ser obligatoriamente entregada por las instituciones integrantes del Sistema Estadístico Nacional al organismo nacional de Estadística para su utilización, custodia y archivo”. (Artículo 32 del Código Orgánico de Planificación y Finanzas Públicas, 2010).

Sistema Nacional de Información –SNI– (SENPLADES): “constituye el conjunto organizado de elementos que permiten la interacción de actores con el objeto de

acceder, recoger, almacenar y transformar datos en información relevante para la planificación del desarrollo y las finanzas públicas. Sus características, funciones, fuentes, derechos y responsabilidades asociadas a la provisión y uso de la información serán regulados por este código, su reglamento y las demás normas aplicables.

La información que genere el Sistema Nacional de Información deberá coordinarse con la entidad responsable del registro de datos y la entidad rectora de las finanzas públicas, en lo que fuere pertinente”. (Artículo 33 del Código Orgánico de Planificación y Finanzas Públicas, 2010).

Sistema de Información Local (Gobiernos Autónomos Descentralizados): “es el conjunto organizado y sistemático de elementos, –dependencias técnicas y administrativas; talento humano; medios técnicos; procedimientos en general; productos informativos– que permitan la interacción de los Gobiernos Autónomos Descentralizados con la ciudadanía en el territorio, en el marco de la rendición de cuentas y control social; para acceder, recoger, almacenar, transformar y difundir datos en información relevante para la planificación, el desarrollo y la gestión pública, local y nacional”. (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. Reforma a la Norma Técnica para la creación, consolidación y fortalecimiento de los Sistemas de Información Local, 2018).

Sistema de Información Pública Agropecuaria (Ministerio de Agricultura y Ganadería): tiene por objeto “generar, administrar y proveer información oportuna a los productores y agentes económicos que participan en la producción y en los mercados agropecuarios y de servicios relacionados con la tierra rural. En este sistema se integrará información relativa a:

- a) Aspectos económicos relevantes de la actividad agro productiva, desarrollo rural y de la soberanía alimentaria;
- b) Aptitud y uso de la tierra rural;
- c) Niveles de productividad, fertilidad y vulnerabilidad del suelo;
- d) Información relativa a la oferta y demanda de tierra rural y de agua para riego;
- e) Tipo de propiedad y forma de adquisición;
- f) Estadística agropecuaria;
- g) Condiciones climatológicas;
- h) Comercialización de la producción agropecuaria y precios;
- i) Márgenes de intermediación comercial relativos a la agricultura familiar campesina;
- j) Contratos agrícolas, modalidades de arrendamiento y agricultura por contrato;
- k) Fuentes y condiciones de crédito, estructura de distribución del crédito agropecuario;
- l) Infraestructura rural: movilidad, riego, acopio y comercialización;
- m) Cartografía;
- n) Tecnología y servicios técnicos;
- o) Catastro rural; y,
- p) Otros temas que requiera la integralidad del sistema.

La Autoridad Agraria Nacional, en coordinación con la Autoridad del Sistema Nacional de Registro de Datos Públicos y los Gobiernos Autónomos Descentralizados, implementará y mantendrá actualizado este sistema de conformidad con la Ley”, (Artículo 41 de la Ley Orgánica de Tierras Rurales y Territorio Ancestrales, 2016).

Sistema Nacional de Información Municipal (Asociación de Municipalidades Ecuatorianas): es una plataforma virtual de acceso restringido que contiene información relativa a: agua potable y alcantarillado gestión integral de residuos sólidos, cooperación internacional, tránsito y transporte.

Sistema Nacional de Administración de Tierras -SINAT-, (Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales): es una solución informática innovadora diseñada para la gestión catastral de los predios rurales. “El SINAT, conforme las políticas nacionales, está desarrollado en software libre, es administrado a nivel local y nacional, y está enfocado principalmente en gestionar los trámites catastrales necesarios para obtener la emisión predial con fines tributarios de conformidad con la legislación vigente”. (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2018).

Sistema Nacional de Catastro Integral Georreferenciado (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda -MIDUVI-): “Es un sistema de información territorial generada por los Gobiernos Autónomos Descentralizados municipales y metropolitanos, y las instituciones que generan información relacionada con catastros y ordenamiento territorial, multifinalitario y consolidado a través de una base de datos nacional, que registrará en forma programática, ordenada y periódica, la información sobre los bienes inmuebles urbanos y rurales existentes en su circunscripción territorial.

El Catastro Nacional Integrado Georreferenciado deberá actualizarse de manera continua y permanente, y será administrado por el ente rector de hábitat y vivienda, el cual regulará la conformación y funciones del Sistema y establecerá normas, estándares, protocolos, plazos y procedimientos para el levantamiento de la información catastral y la valoración de los bienes inmuebles tomando en cuenta la clasificación, usos del suelo, entre otros. Asimismo, podrá requerir información adicional a otras entidades públicas y privadas. Sus atribuciones serán definidas en el Reglamento de esta Ley.

La información generada para el catastro deberá ser utilizada como insumo principal para los procesos de planificación y ordenamiento territorial de los Gobiernos Autónomos Descentralizados municipales y metropolitanos, y alimentará el Sistema Nacional de Información”, (Artículo 100 de la Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión de Suelo, 2016).

Sistema Único de Información Ambiental -SUIA- (Ministerio del Ambiente), es una aplicación WEB que fue desarrollada para integrar toda la información ambiental en un solo lugar para generar indicadores geográficos, documentales, estadísticos

y automatización de procesos institucionales, encaminados al control, registro, mantenimiento y preservación del medio ambiente.

Aunque estos sistemas son los más relacionados con la planificación del territorio, existen otros sistemas y entidades que generan información territorial, tal es el caso de algunos institutos de investigación, pero con acceso restringido o de uso interno para la entidad académica.

Actualmente todos los sistemas descritos funcionan, exceptuando el Sistema Nacional de Catastro Integral Georreferenciado y el Sistema de Información Pública Agropecuaria, que aunque están establecidos por ley, aún no han sido conformados en su integralidad.

La gestión de la información, en cada uno de los sistemas descritos, presenta algunas debilidades que deben ser consideradas por aquellas entidades que están encargadas de certificar los datos, con el objeto de mejorar las normas y estándares para implementar y fortalecer los sistemas de información geoespacial para los procesos de planificación de los diferentes niveles de gobiernos autónomos descentralizados del país. Dichas debilidades son:

El territorio es un tema integral, que por su carácter puede incluir un sinnúmero de aspectos, variables e indicadores, por lo tanto los sectores o entidades, que lo planifican, deben tener presente que el territorio es uno solo, por lo que no es necesario dividirlo en dos: el “geográfico” y el “estadístico”.

El catastro no es una temática puramente informática, ni tampoco cartográfica, es necesario superar la interpretación instrumental por una más conceptual. Por ejemplo, ver al catastro como una descripción de la fragmentación de la tierra, lo cual lo hace invaluable en infinidad de aplicaciones. La ejecución del catastro es competencia municipal, no del gobierno central, aunque la regulación sí la sea.

No excluir de los sistemas de información territorial a aquellos datos que no son considerados “cartográficos”, es así que resulta mucho más integrador el usar el concepto de información geoespacial, donde datos con un componente geoespacial son bien recibidos: direcciones, tabulaciones demográficas entre otros.

En un intento de “especialización” de datos, muchas entidades asumen como suyos datos que originalmente provienen de otras instituciones. Es así que se genera una suerte de “colisión” entre fuentes de información, solo una entidad será considerada el registro original.

El INEC, no ha “especializado” sus estadísticas a pesar de que todas tienen una ubicación en el territorio (coropletas). El INEC dispone de mucha información “geoespacial”, donde el componente espacio está bien determinado y delimitado por las diferentes polígonos de la división política administrativa.

Cada institución asume de forma obligatoria la “competencia del dato” (registros originales), misma que estará muy ligada a las competencias institucionales.

CONCLUSIONES

Disponer de información oficial y registros originales, sirve para reconocer y expresar los fenómenos y estructuras que se dan sobre un territorio específico, vale decir “*explicar el desarrollo territorial, [...] de una manera inteligente*”, (Vries, 2009). Entonces, para mejorar la arquitectura interorganizacional de los sistemas de información territorial de los Gobiernos Autónomos Descentralizados y del Estado Central, es necesario trabajar con los registros o fuentes originales prescindiendo de copias en las diferentes instituciones, esto como una forma de inteligencia territorial. Un gobierno moderno y dinámico, nunca pregunta dos veces sobre un dato, menos aún lo almacena dos veces, con un entramado de registros originales, de los diferentes aspectos del territorio puede estar bien enterado, por lo tanto es eficiente.

La necesidad de información territorial, no es exclusiva de los tomadores de decisiones, sino también de otros actores del sistema, de forma individual u organizada, ya que sirve para orientar el diseño, ejecución y evaluación de las dinámicas y procesos de planificación. En este sentido la academia, puede ser la institución encargada de integrar la información autónoma, como lo ha hecho la Universidad de Cuenca, a través de la plataforma del Laboratorio Virtual de Ciudad y Territorio –LaVCiTe– en un intento por superar las limitaciones de los diferentes entes generadores de información e integrarlos manteniendo la responsabilidad sobre la originalidad del dato en la institución generadora. Sin duda, estas iniciativas académicas incorporan tecnologías de la información y comunicación para afrontar retos urbanos, complejos y persistentes.

La posibilidad de que la información sea accesible a la ciudadanía, y tenga el carácter oficial y público, como precepto constitucional, es el primer paso hacia la generación de una política integral de gestión de la información pública, pero también la implementación de una política nacional de “registros originales” puede ser la salida al desorden en las fuentes de información, aspecto que está muy relacionado con las competencias institucionales. Entonces una política adecuada para la gestión de información, lo constituye la originalidad del dato como una política a mejorar la disponibilidad y consistencia de los datos que describen el territorio.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto ha sido financiado por la Universidad de Cuenca - Facultad de Arquitectura y Urbanismo.

REFERENCIAS

- Asamblea Nacional (2015). Constitución de la República del Ecuador. Incluye las reformas aprobadas en el Referéndum y Consulta Popular de 7 de mayo de 2011 y las Enmiendas Constitucionales publicadas en el Registro Oficial No. 653 del 21 de diciembre de 2015.
- Asamblea Nacional (2010). Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización. Registro Oficial N° 303.
- Asamblea Nacional (2010). Código Orgánico de Planificación y Finanzas Públicas. Registro Oficial N° 306.
- Asamblea Nacional (2016). Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión de Suelo. Registro Oficial N° 790.
- Asamblea Nacional (2016). Ley Orgánica de Tierras y Territorios Ancestrales. Registro Oficial N° 711.
- Alfonso Arévalo, J. (2007). Gestión de información, gestión de contenidos y conocimiento. Recuperado a partir de http://eprints.rclis.org/11273/1/Jornadas_GRUPO_SIOU.pdf
- Asociación de Municipalidades Ecuatorianas (2018). Sistema Nacional de Información Municipal. Recuperado a partir de <http://www.snim.ame.gob.ec/>
- Catálogo Nacional de Objetos Geográficos. V2.0 - Ambar DataStore. (s. f.). Recuperado 21 de septiembre de 2018, de <http://ambar.utpl.edu.ec/es/dataset/catalogo-nacional-de-objetos-geograficos-v2-0>
- Hernández, A. (2018). El valor social de la información. Recuperado a partir de <https://www.jornada.com.mx/2018/07/25/opinion/018a1pol>
- Ministerio del Ambiente (2018). Sistema Único de Información Ambiental (SUIA). Recuperado a partir de <http://www.ambiente.gob.ec/sistema-unico-de-informacion-ambiental-suia/>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (2018). Sistema Nacional para la Administración de Tierras (SINAT). Recuperado a partir de <http://www.sigtierras.gob.ec/sistema-nacional-para-la-administracion-de-tierras-sinat/>
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (2018). Acuerdo Ministerial No. SNPD-006-2018.
- Servicio Geológico Colombiano (2017). Políticas de gestión de la información geo científica. Proceso gestión del conocimiento geo científico. Recuperado a partir de <https://www2.sgc.gov.co/sgc/mapas/Documents/PDF%20POL%C3%8DTICAS/politicas-gestion-informacion-dgi0.pdf>
- Torres, N. (2014). Hacia una política integral de gestión de la información pública. Recuperado a partir de https://www.palermo.edu/cele/pdf/Hacia_una_politica_integral-kk.pdf
- Vries, A. (2009). Gestión de información territorial para la toma de decisiones en Cohesión e Inteligencia Territorial (pp. 139-152).

ANÁLISIS DE LA POSICIÓN HORIZONTAL DEL SISTEMA GALILEO EN EL ECUADOR CONTINENTAL UTILIZANDO EL SOFTWARE RTKLIB

HORIZONTAL POSITION ANALYSIS OF GALILEO SYSTEM IN CONTINENTAL ECUADOR USING RTKLIB SOFTWARE

DENNYS ENRÍQUEZ¹; ALFONSO MORILLO²

¹ CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE. UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE. Av. General Rumiñahui s/n, Sangolquí, Ecuador. E-mail: daenriquez5@espe.edu.ec

² INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR – IGM. Siniergues y Telmo Paz y Miño s/n. Quito, Ecuador. E-mail: alfonso.morillo@mail.igm.gob.ec

Recibido: 30 de agosto de 2018 / Aceptado : 10 de diciembre de 2018

RESUMEN

La navegación por satélite ha evolucionado de manera que se ha podido evidenciar un rápido crecimiento del Sistema de Navegación Global por Satélite (GNSS), que actualmente, está conformado por GPS, GLONASS, BeiDou, QZSS, IRNSS y Galileo. La ausencia de información del comportamiento de la constelación Galileo sobre el Ecuador continental muestra problemas, ya que no se ha identificado el error que presenta el sistema sobre la posición horizontal, esto implica el desconocimiento de las aplicaciones útiles para dicha constelación. Por lo tanto, el objetivo del presente proyecto es analizar la posición horizontal del Sistema Galileo, a partir del cálculo de la distancia entre coordenadas UTM obtenidas mediante el método PPP estático con soluciones semanales SIRGAS, para determinación del error en posición que presenta esta constelación en el Ecuador Continental. Para cumplir con esto, se rastreó la constelación mediante 3 Estaciones de Monitoreo Continuo del Ecuador pertenecientes a la REGME, enlazadas a la red SIRGAS-CON. Los datos obtenidos se procesaron en cuatro bloques con diferentes lapsos de tiempo con la técnica PPP estático en el software RTKLIB versión 2.4.2. Esto se realizó con intervalos de procesamiento de 1 y 30 segundos. Finalmente, se calculó la distancia horizontal con respecto a las soluciones semanales SIRGAS. Los resultados obtenidos, muestran que en los bloques 1 y 2 las estaciones EPEC, BHEC y CXEC presentan un error aproximado de 8, 2 y 1 metro respectivamente. El bloque 4, cuyos lapsos de tiempo están entre 1.5 y 24 horas, poseen un error por debajo de los decímetros. Como conclusión de este trabajo, se muestra que las estaciones BHEC y CXEC presentaron un error medio de 1.5 metros durante los primeros 30 minutos de rastreo, que es aplicable para diferentes actividades como la navegación o la georreferenciación de cartografía a escalas menores que 1:5000. Mientras que, la estación EPEC, presentó un error más alto que las otras dos estaciones, aproximadamente 8 metros durante los primeros minutos de rastreo, esto puede deberse a la ubicación geográfica, la geometría de los satélites, y a posibles pérdidas de señal.

Palabras clave: GNSS, PPP, SIRGAS, REGME, UTM, GLONASS, BEIDOU, GPS.

ABSTRACT

Satellite navigation has evolved in a way which can be evidenced by the fast growth of the Global Navigation Satellite System (GNSS). Nowadays, it is conformed by GPS, GLONASS, BeiDou, QZSS, IRNSS, and Galileo. The absence of information on the behavior of the Galileo constellation on continental Ecuador shows a problem; since the error that the system presents on the horizontal position has not been identified, it implies that it is unknown for which applications it would be useful. For this reason, this project has raised the objective of analyzing the horizontal position of the Galileo System; from the calculation of the distance between UTM coordinates obtained by the static PPP method with weekly solutions SIRGAS, to determine the error in position that presents this constellation in the Continental Ecuador. To accomplish this, the constellation was traced through 3 continuous Monitoring Stations of Ecuador belonging to the REGME, linked to the SIRGAS-CON network, where data obtained were processed in four blocks with different time periods with the static PPP technique using the software RTKLIB version 2.4.2, this was carried with processing intervals of 1 and 30 seconds. Finally, the horizontal distance was calculated with respect to the weekly SIRGAS solutions. The results obtained show that in blocks 1 and 2 the EPEC, BHEC, and CXEC stations present an approximate error of 8, 2, and 1 meter, respectively. For Block 4, its time lapses are between 1.5 and 24 hours, having an error below the decimeters. As a conclusion of this work, it is presented that the BHEC and CXEC stations showed an average error of 1.5 meters during the first 30 minutes of tracking, which is applicable for different activities such as navigation or georeferencing of cartography at scales smaller than 1:5000. While, the EPEC station, showed a higher error than the other two stations, approximately 8 meters during the first minutes of tracking, this may be due to the geographical location, the geometry of the satellites, and possible signal losses.

Key words: GNSS, PPP, SIRGAS, REGME, UTM, GLONASS, BEIDOU, GPS.

RESUMO

A navegação por satélite tem evoluído de forma que é possível evidenciar o rápido crescimento do Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS), que atualmente é conformado de GPS, GLONASS, BeiDou, QZSS, IRNSS y Galileo. A ausência de informação sobre o comportamento da constelação Galileo no Equador continental mostra problemas, uma vez que o erro que o sistema apresenta na posição horizontal ainda não foi identificado, isto implica o desconhecimento das aplicações úteis para dita constelação. Portanto, o objetivo do presente projeto é analisar a posição horizontal do Sistema Galileo, a partir do cálculo da distância entre coordenadas UTM obtidas pelo método PPP estático com soluções semanais SIRGAS para determinação do erro em posição que apresenta esta constelação no Equador continental. Para alcançar isto, a constelação foi rastreada através de três estações de monitoramento contínuo do Equador pertencentes à REGME, ligadas à rede SIRGAS-CON. Os dados obtidos foram processados em quatro blocos com diferentes espaços de tempo mediante a técnica PPP estática no software RTKLIB versão 2.4.2. Isto foi realizado com intervalos de processamento 1 e 30 segundos. Finalmente, calculou-se a distância horizontal em relação às soluções semanais do SIRGAS. Os resultados alcançados apresentam que no bloco 1 e 2, as estações EPEC, BHEC e CXEC tem um erro aproximado de 8,2 e 1 metro, respectivamente. No bloco 4, cujos intervalos de tempo situam-se entre 1.5 e 24 horas, contém um erro de ordem menor dos decímetros. Para concluir este trabalho, mostra-se que as estações BHEC e CXEC apresentam um erro médio de 1.5 metros durante os primeiros 30 minutos de rastreamento, que tem aplicação para várias atividades como navegação ou referência para mapeamento de diferentes escalas menores que 1:5000. Enquanto, a estação EPEC, apresentou um erro maior que as outras duas estações, aproximadamente 8 metros durante os primeiros minutos de rastreamento, isto pode ser devido à localização geográfica, a geometria dos satélites, e possíveis perdas de sinal.

Palavras chaves: GNSS, PPP, SIRGAS, REGME, UTM, GLONASS, BEIDOU, GPS.

INTRODUCCIÓN

Décadas atrás, el sistema GPS, fue el primer sistema de posicionamiento que brindaba contribuciones al sector científico con muchas aplicaciones, principalmente al estudio de las ciencias de la tierra, así como también al área de ingeniería (Li et al., 2015). Posterior a este, se desarrolló GLONASS, el sistema de posicionamiento Ruso, que similar a GPS se crearon con fines militares y las aplicaciones civiles eran muy limitadas (Huerta et al., 2005).

La navegación por satélite ha evolucionado de manera que se ha podido evidenciar un rápido crecimiento del Sistema de Navegación Global por Satélite (GNSS), que actualmente, está conformado por GPS, GLONASS, BeiDou, QZSS, IRNSS y Galileo; las ventajas que brinda GNSS es que sus sistemas trabajan independientemente de los demás, son interoperables entre sí y cada constelación transmitirá tres frecuencias, es por lo que se lo considera multi-constelación y multi-frecuencia. Realizar un posicionamiento GNSS trae beneficios para la calidad del punto rastreado a través del incremento significativo de la visibilidad de los satélites, la reducción de la dilución de la precisión también ayuda a mejorar la confiabilidad para aplicaciones como el posicionamiento del punto preciso (PPP) (Montenbruck et al., 2017).

Galileo, es un sistema de navegación por satélite desarrollado por la Agencia Espacial Europea que entró en funcionamiento el 15 de diciembre de 2016. Se caracteriza por ser de uso civil y ofrece una amplia gama de servicios avanzados de posicionamiento. Además, la Comisión Europea, (2016), afirma que Galileo es totalmente interoperable con GPS, pero Galileo será más preciso y fiable para los usuarios finales cuando el sistema se complete en 2020.

Alrededor del mundo, se han realizado trabajos que utilizan datos de la señal del sistema Galileo, como es el caso del proyecto publicado por Li et al., (2015), quienes utilizan la técnica PPP estático para procesar datos de la constelación Galileo, el error que presenta durante las primeras 6 horas de rastreo es mayor al orden del metro y, a partir de las 18 horas de rastreo, el error es menor a 10 centímetros. Por otro lado, en el trabajo publicado por Cai et al., (2015), procesan datos de GPS mediante PPP obteniendo errores en posición de 3.9 cm, 1.6 cm y 5.7 cm para este, norte y altura respectivamente; al añadir datos de la constelación Galileo al procesamiento, no se notó un significativo cambio debido al limitado número de satélites del sistema europeo.

Cogo et al., (2012), en Argentina, analizaron la Multi-constelación GNSS mediante el empleo de datos de 3 constelaciones, GPS, GLONASS y Galileo. Se determinó el error en posición utilizando 2 métodos (Steepest Descent y Quasi Newton). Los resultados muestran que, mediante el uso del primer método, Steepest Descent, se obtienen errores en posición horizontal de entre 20 – 30 metros con ninguna iteración y se puede llegar a tener errores de 5 centímetros con hasta 30 iteraciones. El método, Quasi Newton,

muestra errores en posición horizontal con una iteración de entre 20 y 30 metros, mientras que, con 5 iteraciones, se obtiene un error centimétrico.

En el Ecuador, no se han realizado trabajos utilizando datos de la constelación Galileo. Por otro lado, existe un trabajo realizado por Albán et al., (2017), en el cual hace referencia al procesamiento de datos GPS mediante la técnica PPP estático. Los resultados obtenidos muestran que a partir de esta técnica se puede obtener errores de 1 m, 50 cm, 30 cm y 20 cm, empleando 2, 7, 10 y 20 minutos respectivamente.

La ausencia de información del comportamiento de la constelación Galileo sobre el Ecuador continental muestra problemas, ya que no se ha identificado el error que presenta el sistema sobre la posición horizontal, esto implica el desconocimiento de las aplicaciones útiles para dicha constelación. Por lo tanto, el objetivo del presente proyecto es analizar la posición horizontal del Sistema Galileo, a partir del cálculo de la distancia entre coordenadas UTM obtenidas mediante el método PPP estático con soluciones semanales SIRGAS, para determinación del error en posición que presenta esta constelación en el Ecuador Continental.

CONSTELACIÓN GALILEO

Galileo es el Sistema Global de Navegación por Satélite perteneciente a la Unión Europea, sistema que está bajo el control civil el cual ofrecerá servicios de posicionamiento de alta precisión con cobertura mundial (Ventura-Traveset, 2016). Todos los productos de Galileo están referidos al Marco de Referencia Terrestre de Galileo (GRTF, por sus siglas en inglés). De la realización y mantenimiento de éste está encargado el Proveedor de Servicios Geodésicos de Galileo (GGSP). El GRTF será compatible con el último ITRF con una precisión dentro de los 3 centímetros. La conexión al ITRF es realizada y validada por las estaciones de la IGS (International GNSS Service) (Gendth, 2011).

El programa Galileo será independiente del sistema GPS, pero como ventaja será complementario e interoperable con él. Además, facilitará la robustez del GNSS permitiendo el desarrollo de nuevas aplicaciones bajo la explotación de las capacidades de un sistema civil. Este sistema de navegación tendrá una cobertura global lo que permitirá proveer un mercado mundial, y una de las diferencias claves con GPS, es que Galileo permanecerá bajo el control de autoridades civiles (ESA, 2017). En la actualidad, el sistema Galileo posee en órbita 26 satélites y, se espera que para el 2020 esta constelación se complete con un total de 30 (ver figura 1) (ESA, 2018).

El sistema Galileo consta de dos fases de validación y operacional. La primera fase, se la conoce como IOV (In Orbit Validation). Para esta, se utilizaron los satélites GIOVE-A y GIOVE-B, que fueron lanzados en el 2005 y en 2008, respectivamente. Además de esto, en el año 2011, se lanzaron 2 satélites que iban a conformar una mini constelación de cuatro satélites, los 2 satélites restantes se lanzaron en el 2012, totalmente operativos

y con su correspondiente infraestructura terrestre. Y la segunda fase, se la conoce como FOC (Full Operational Capability), que incluye una fase intermedia con 18 satélites operativos (4 de la fase de validación IOV y otros 14 satélites). El sistema de navegación se completará con 30 satélites, sus respectivos centros de control se ubicarán en Europa, además de una red de estaciones permanentes que estarán distribuidas por todo el mundo.



Figura 1.- Constelación Galileo
Fuente: (Martínez, 2013)

SEGMENTOS DEL SISTEMA GALILEO

El Sistema Galileo está conformado por 3 segmentos: el espacial, el terrestre y el de usuario. El Segmento Espacial, consiste en 30 satélites, de los cuales 27 son operativos y 3 de reserva, ubicados en 3 órbitas aproximadamente a 23222 km de altitud con respecto al geocentro. Cada plano orbital tiene una inclinación de 56 grados con respecto al Ecuador de referencia, el período orbital demorará cerca de 14 horas 21.6 minutos solares (Katsigianni, 2018), esta elección asegura que el ciclo del trayecto de cada satélite se repita cada 17 órbitas o lo que equivale a 10 días (Bartolomé, et al., 2015).

El Segmento Terrestre de Galileo, consta de un Centro de Control (GCC) ubicado en territorio perteneciente a la Unión Europea, este se encarga del control de los satélites

y del cálculo de los distintos mensajes de navegación para enviar a los satélites. La Red Global de Sensores Galileo (GSS), toman las observaciones de los satélites, estas se envían al Centro de Control de Galileo mediante una red que facilita la comunicación. El centro de control sincroniza las distintas señales de tiempo de todos los satélites de galileo con los osciladores de la tierra. Las estaciones de unión son las encargadas del intercambio de información entre los satélites y los centros de control terrestre.

Los servicios que ofrece el sistema Galileo son el Open Service, Safety Of Life, Commercial Service, Public Regulated Service, Search and Public Rescue Service (Bartolomé, et al., 2015), que se detallan a continuación:

Open Service (OS): Servicio abierto sin cargo para cualquier usuario que posea un equipo de navegación compatible con Galileo. Estará provisto en las bandas E1 y E5, además será comparable con el servicio que ofrece GPS en sus señales civiles L1C/A, L2C o L5. Este servicio, transmitirá el mensaje F/NAV (Free accesible Navigation message).

Safety Of Life (SOL): Seguridad de la vida, este servicio mejora las prestaciones del Open Service incluyendo la provisión de la integridad del sistema mundial. Además, transmitirá el mensaje I/NAV (Integrity Navigation message).

Commercial Service (CS): Servicio comercial, la información que se deriva de este posee una mayor precisión para motivo de posicionamiento o navegación, es decir, que brinda un valor agregado a los datos con respecto al Open Service. Una ventaja que presenta CS con respecto a cualquier otro sistema de GNSS, es la capacidad de transmitir globalmente datos en tiempo real mediante el uso de la banda E6. Y, transmitirá el mensaje I/NAV (Integrity Navigation message) y el C/NAV (Commercial Navitation message).

Public Regulated Service (PRS): El Servicio público regulado, dará servicio de posicionamiento a los usuarios que requieran un alta continuidad, el acceso será restringido únicamente para usuarios gubernamentales autorizados. La política de control de acceso está implementada mediante la encriptación de la señal PRS y la administración de las claves de descifrado. El mensaje transmitido por este servicio es el G/NAV (Governammental Navigation message).

Search and Public Rescue Service (SAR): Servicio público de búsqueda y rescate, a nivel mundial, se encargará de transmitir mensajes de alerta que serán recibidos en tiempo real, este servicio ofrecerá el apoyo en varias operaciones de riesgo.

En la siguiente fi 2, se detallan las frecuencias y las bandas en las que se transmiten los diferentes servicios de Galileo, además, se expresa la compatibilidad del sistema con GPS.

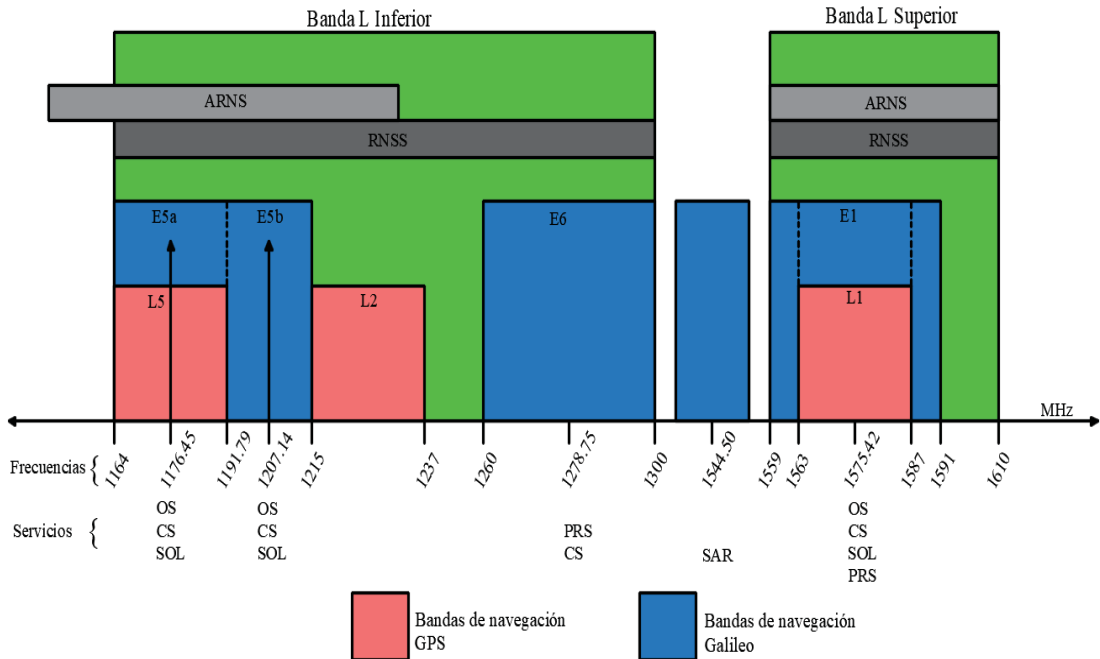


Figura 2.- Frecuencias y bandas de los Servicios de Galileo
Fuente: (Martínez, 2013) adaptado por el autor

METODOLOGÍA

Para obtener datos del Sistema Galileo, se seleccionaron 3 bases (Tabla 1) pertenecientes a la Red GNSS de Monitoreo Continuo del Ecuador (REGME) y enlazadas a la red SIRGAS – CON. El rastreo de esta constelación se realizó por un período que abarca desde el día 200 (semana GPS 1958) hasta el día 224 (semana GPS 1961), año 2017. La ubicación de estas estaciones, se muestran en la figura 3.

Tabla 1.- Estaciones de Monitoreo Continuo

Nombre de la Estación	Ubicación (Provincia)
BHEC	Los Ríos (Costa)
CXEC	Cotopaxi (Sierra)
EPEC	Pichincha (Sierra)

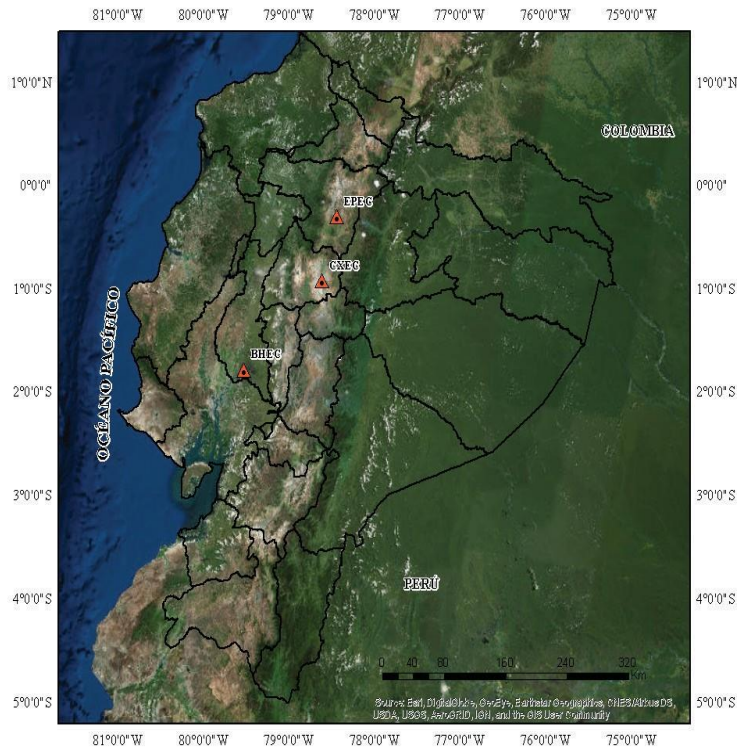


Figura 3.- Mapa de ubicación del Proyecto

Los equipos utilizados para el rastreo de señal de GALILEO corresponden a las especificaciones que se muestran en la Tabla 2:

Tabla 2.- Descripción de equipos GNSS

Descripción	Especificación
Tipo de Receptor	TRIMBLE NETR9
Modelo de Antena	GNSS CHOKE w/SCIS Dome
Sistema Satelital	GPS + GLONASS + GALILEO
Intervalo de Registro	1 Segundo
Ángulo de máscara	0 Grados
Formato de Archivo	Original TRIMBLE (T02)

Fuente: <http://www.geoportaligm.gob.ec>

Los datos crudos (nombre.t02), obtenidos a partir del rastreo de cada estación de monitoreo continuo (EMC), que contienen la información de las tres constelaciones satelitales (GPS, GLONASS y Galileo), por el período de 25 días, se transformaron para obtener los archivos RINEX con sus diferentes extensiones, como se muestra en la siguiente tabla 3:

Tabla 3.- Extensiones de los archivos RINEX.

Detalle	Extensión
Archivo de observación	.##o
Archivo de navegación GPS:	.##n
Archivo de navegación GLONASS:	.##g
Archivo de navegación GALILEO:	.##l
Archivo de información meteorológica:	.##m

Fuente: <https://cddis.nasa.gov>

El procesamiento de datos se realizó mediante el uso del software RTKLIB versión 2.4.2, que se puede descargar en: www.rtklib.com, con su aplicación RTKPOST, donde los insumos que se utilizaron fueron los archivos de observación (.##o) y los archivos de navegación de GALILEO (.##l), la interfaz de procesamiento se puede observar en la siguiente figura 4.

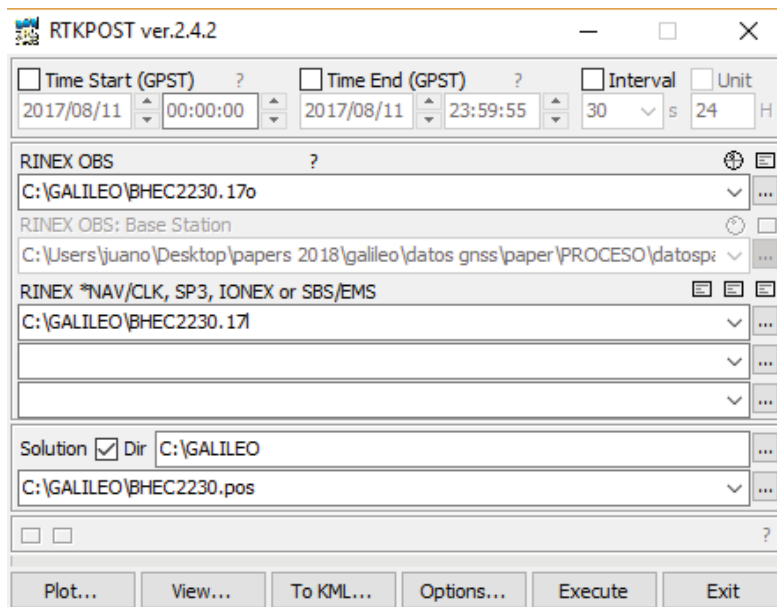


Figura 4.- Interfaz aplicación RTKPOST

Para determinar las coordenadas geodésicas (latitud, longitud y altura elipsoidal), se configuró el software para que utilice PPP estático como método de posicionamiento, la elevación de la máscara de 15 grados, efemérides transmitidas de los satélites, y únicamente la constelación GALILEO, como se muestra en la figura 5.

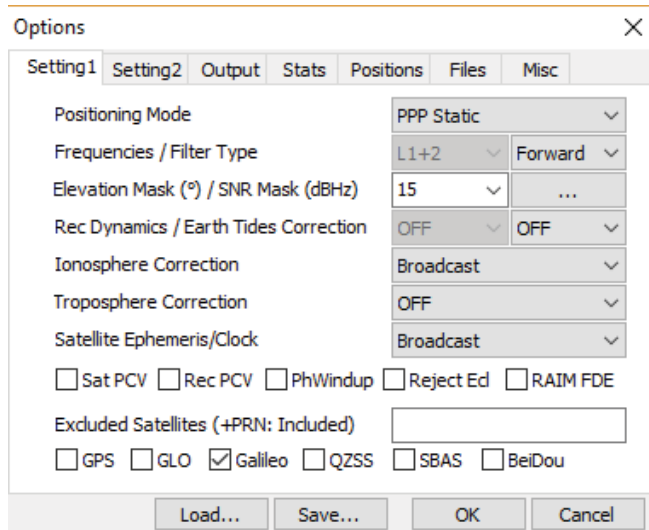


Figura 5.- Configuraciones para el procesamiento

El proceso consistió en varias etapas, en la primera se procesaron los datos de las 3 estaciones de monitoreo de todos los días, identificando las soluciones (coordenadas). Si no existía solución, se descartaba el día respectivamente de la estación. Una vez identificados los días que efectivamente presentaban soluciones, estos se procesaron por bloques. En la tabla 4, se muestra los intervalos e incrementos de cada bloque:

Tabla 4.- Bloques de tiempo para procesamiento

Bloque	Lapsos de tiempo	Incremento
1	1 segundos – 10 min	30 segundos
2	10 min – 30 min	1 minuto
3	30 min – 1h 30 min	10 minutos
4	2 horas – 24 horas	1 hora

Se construyó el bloque 1 con el lapso de 10 minutos, para asemejar a los diferentes tipos de posicionamiento cinemático como stop and go y continuo. El bloque número 2, se construyó con tiempos desde 10 minutos hasta 30 minutos, estos lapsos de tiempo asemejan un posicionamiento estático rápido. El bloque 3, tiene su lapso entre 30 minutos hasta 1.5 horas, este tiempo, en comparación, es similar al utilizado por el método estático, que dependiendo de la base se utiliza para alcanzar una precisión a nivel centimétrico. El último bloque, tuvo sus lapsos de 2 horas hasta 24, este brinda una muy buena precisión ya que puede alcanzar el nivel centimétrico, utilizando un método relativo.

El procesamiento por bloques se realizó en 2 fases correspondiente a intervalos de procesamiento 30 y 1 segundo. En la primera, si se verificaba la variación de datos entre lapsos se procedía a la siguiente fase (intervalo de 1 segundo), caso contrario se descartaba el día. Una vez procesados todos los datos, y obtenidas las coordenadas geodésicas, se transformaron a UTM. A partir de éstas, se calculó la distancia horizontal entre las coordenadas determinadas con Galileo mediante la técnica PPP estático y las soluciones semanales SIRGAS. Esta distancia entre coordenadas indica el error en posición horizontal que presenta la constelación Galileo las 3 EMC.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Del análisis realizado, las estaciones presentan buenos resultados ante la recepción de datos de Galileo, BHEC (día 223), CXEC (día 219) y EPEC (día 213). A continuación, se muestran los gráficos de estas estaciones, donde, el eje de las ordenadas representa el error de las coordenadas determinadas únicamente con Galileo con respecto a las soluciones semanales SIRGAS; y el eje de las abscisas representa los lapsos de tiempo. En la figura 6, se muestra la gráfica error distancia horizontal vs tiempo que se presentaron durante el rastreo Galileo de la estación BHEC durante el día 223 (24 horas). Donde la línea azul corresponde a los datos a 30 segundos, y la línea roja corresponde a 1 segundo de intervalo de procesamiento.

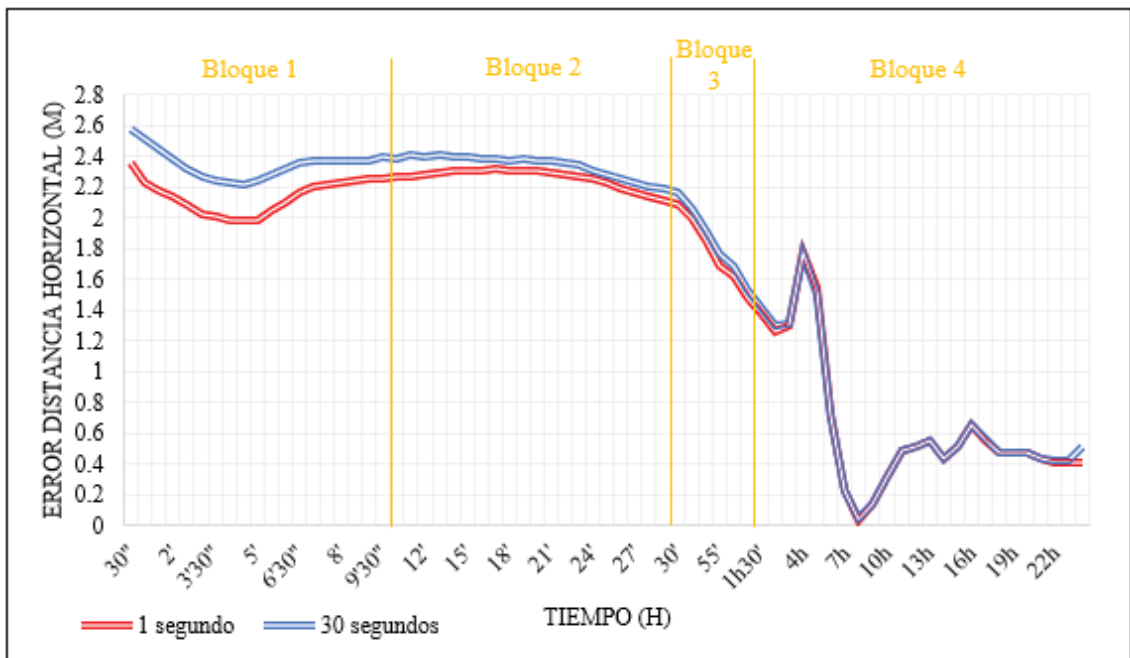


Figura 6.- Error en posición, estación BHEC

Como se muestra en la figura 6, el bloque 4 que abarca desde 1 hora 30 minutos hasta 24 horas, es el que tiene menor error, llegando incluso hasta los 5 cm, cabe considerar que

para las 4 horas, existe un pico (variación significativa), esto probablemente se debe a la geometría de los satélites en ese tiempo; el bloque 3 tiene su lapso entre 30 minutos y 1 hora 30 minutos, y presenta errores entre 2 metros y 1.40 metros, debido al tiempo que ocupan estos, no es aplicable la técnica PPP ya que para estos tiempos es recomendable un posicionamiento relativo. Además, se aprecia que las diferencias entre intervalos de procesamiento de 1 y 30 segundos son despreciables.

Por otro lado, el bloque 1, el mayor error de entre 2.6 m y 2.2 m corresponde al procesamiento a intervalo de 30 segundos, mientras que el procesamiento a 1 segundo tiene su error entre 2.4 m y 2m. Finalmente, en el bloque 2, se aprecia que la diferencia entre observaciones procesadas con intervalos de 1 y 30 segundos varía por unos pocos centímetros y el error en este lapso corresponde a un promedio de 2.3 metros.

En la figura 7, se puede apreciar la gráfica del error en posición correspondiente a la estación CXEC. El rastreo Galileo, se llevó a cabo durante las 24 horas del día 219, con intervalos de procesamiento de 1 (línea roja) y 30 segundos (línea azul).

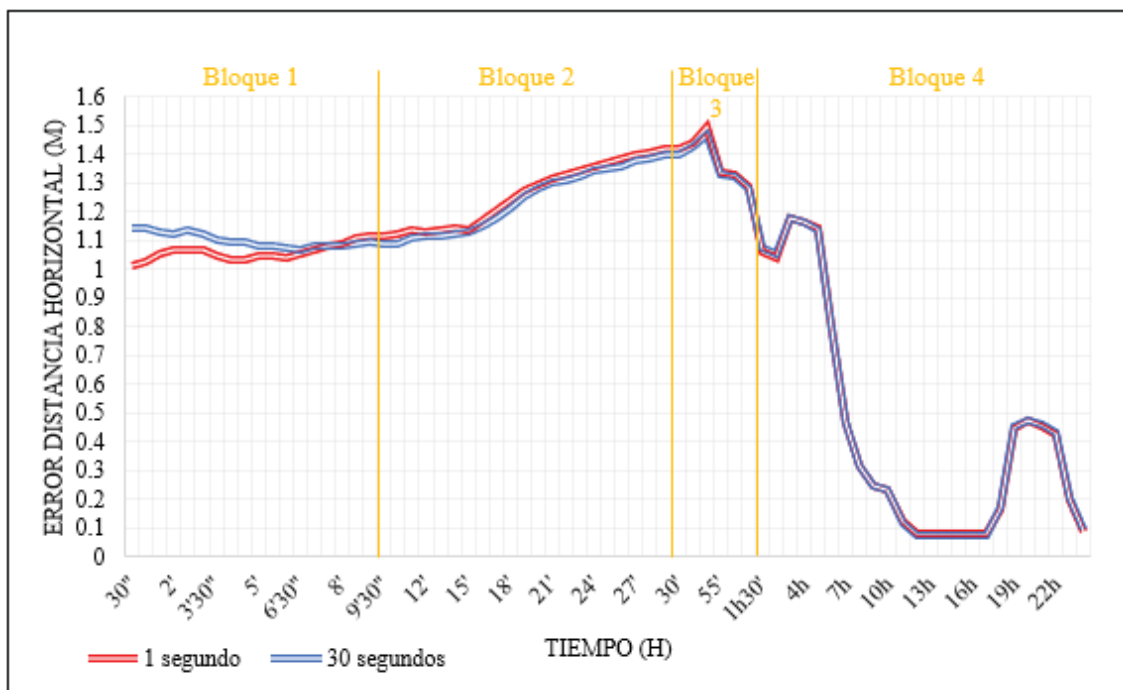


Figura 7.- Error en posición, estación CXEC

Como se muestra en la figura 7, el bloque 4, presenta un error mayor que sobrepasa el metro, y el menor error llega hasta 10 centímetros. El bloque 3, muestra errores superiores a 1 metro. El procesamiento con 1 y 30 segundos para los dos bloques es similar y no presentan diferencias significativas.

El bloque 1, presenta un error medio de 1.05 metros, se puede apreciar que al inicio de la sesión, hay una diferencia de 10 centímetros entre los errores a 1 y 30 segundos, pero esta se vuelve despreciable a los 8 minutos de rastreo. Finalmente, el bloque 2 presenta errores desde 1.1 m que se incrementa hasta 1.4 m.

En la figura 8, se muestran los errores correspondientes a la estación EPEC, durante el día 219 (24 horas).

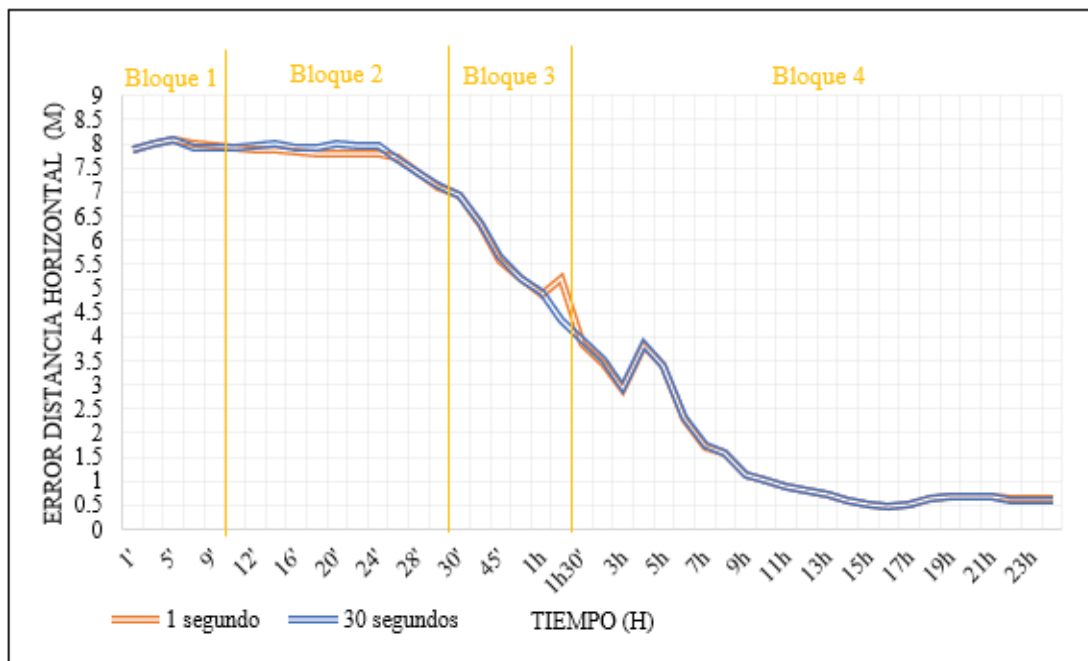


Figura 8.- Error en posición, estación EPEC

Como se muestra en la figura 8, el bloque 4 presenta un error que está entre los 4 metros hasta 50 centímetros. El bloque 3, presenta un error que va desde 7 metros hasta 4. El bloque 1 posee un error de 8 metros que se mantiene por el lapso de tiempo. Finalmente, el bloque 2, presenta un error de 8 metros y disminuye hasta los 7 metros. Esta estación presenta un problema, ya que a comparación de las estaciones anteriores (CXEC y BHEC) presenta un error mucho más grande.

Utilizando las estaciones BHEC y CXEC (véase figura 6 y 7) durante los primeros 30 minutos de rastreo se puede conseguir un error medio de 1.5 metros, que es aplicable para diferentes actividades como la navegación o la georreferenciación de cartografía a escalas menores que 1:5000.

En vista de estos resultados, el estudio de la constelación Galileo sobre el Ecuador debe continuar, se debe analizar los errores en posición a partir de este sistema cuando se haya

completado el segmento espacial. Posteriormente, se debe realizar un análisis empleando 3 constelaciones de GNSS: GPS, GLONASS y Galileo, a partir de éstas se debe analizar el error en posición mediante la utilización de un software científico como Bernese o Gamit Globk.

CONCLUSIONES

El intervalo de procesamiento de 1 y 30 segundos es similar para ambos casos, únicamente una variación considerable se puede apreciar para la estación CXEC, donde las diferencias son de aproximadamente 20 centímetros.

De los bloques utilizados para el procesamiento, el que presenta un menor error es el bloque 4, donde se pueden obtener errores a nivel inferior a los decímetros.

Los bloques 1 y 2, son los que presentan un mayor error, para la estación BHEC un error a nivel de los 2 metros, y para la estación CXEC de 1 metro. La estación EPEC, presenta un error más alto que las otras dos estaciones, aproximadamente 8 metros, esto puede deberse a la ubicación geográfica, la geometría de los satélites y a posibles pérdidas de señal.

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento especial al Instituto Geográfico Militar de Ecuador por facilitar los datos para el desarrollo de esta investigación.

REFERENCIAS

- Agencia Espacial Europea, ESA. (2017). Galileo Navigation. Obtenido de http://www.esa.int/.../What_is_Galileo. Recuperado el 20 de agosto de 2018.
- Agencia Espacial Europea, ESA. (2018). Un Nuevo Lanzamiento Amplía el Alcance Global de Galileo. Obtenido de: <http://www.esa.int/>. Recuperado el 20 de agosto de 2018.
- Albán, M., Romero, R., Tierra, A. (2017). Cálculo de coordenadas usando el método Precise Point Positioning – PPP estático mediante el software RTKLIB. *Geociencia & Geodatos*, 63 – 69.
- Bartolomé, J. P., Maufroid, X., Hernández, I. F., Salcedo, J. A. L., & Granados, G. S. (2015). Overview of Galileo system. In *GALILEO Positioning Technology* (pp. 9-33). Springer, Dordrecht.
- Cai, C., Gao, Y., Pan, L., & Zhu, J. (2015). Precise point positioning with quad-constellations: GPS, BeiDou, GLONASS and Galileo. *Advances in space research*, 56(1), 133-143.
- Cogo, J., Garcia, J. G., Roncagliolo, P. A., & Muravchik, C. H. (2012). GNSS multi-constellation positioning problem: A numerical optimization approach.
- Comisión Europea en España. (2016). Comunicado de prensa: “GALILEO entra en funcionamiento”.
- Gendt, G., Altamimi, Z., Dach, R., Söhne, W., & Springer, T. (2011). GGSP: realisation and maintenance of the Galileo terrestrial reference frame. *Advances in Space Research*, 47(2),

174-185.

- Huerta, E., Mangiaterra, A., & Noguera, G. (2005). GPS, Posicionamiento Satelital. Rosario: UNR Editora.
- Katsigianni, G., Loyer, S., Perosanz, F., Mercier, F., Zajdel, R., & Sośnica, K. (2018). Improving Galileo orbit determination using zero-difference ambiguity fixing in a Multi-GNSS processing. *Advances in Space Research*.
- Li, X. et al. (2015). Precise positioning with current multi-constellation Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo and BeiDou. *Sci. Rep.* 5,8328; DOI:10.1038/srep08328
- Martínez, J. (2013). Sistema Galileo: El concepto europeo de la navegación por satélite. Universidad Politécnica de Catalunya.
- Montenbruck, O., Steigenberger, P., Prange, L., Deng, Z., Zhao, Q., Perosanz, F., ... & Schmid, R. (2017). The Multi-GNSS Experiment (MGEX) of the International GNSS Service (IGS)—achievements, prospects and challenges. *Advances in space research*, 59(7), 1671-1697.
- Ventura-Traveset, (2016). La Navegación por satélite y el Sistema Europeo Galileo. Agencia Espacial Europea, ESA.

ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE ISLAS DE CALOR EN EL CANTÓN RUMIÑAHUI MEDIANTE EL TRATAMIENTO DE IMÁGENES LANDSAT 7 ETM+

ANALYSIS OF THE PRESENCE OF HEAT ISLANDS IN THE RUMIÑAHUI CANTON THROUGH THE TREATMENT OF ETM+ LANDSAT 7 IMAGES

LISSETH JAMI, MARÍA BELÉN MORA, OSWALDO PADILLA, EDUARDO KIRBY.

CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE, DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN, UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE. Av. General Rumiñahui s/n, Sangolquí, Ecuador. liseth_dic@hotmail.com, mabelenmorap@gmail.com, ovpadilla@espe.edu.ec, epkirby@espe.edu.ec

Recibido: 02 de agosto 2018 / Aceptado: 20 de diciembre 2018

RESUMEN

Se considera que en los últimos años la temperatura superficial ha aumentado, debido a factores como cambio de uso de suelo, crecimiento de zonas urbanas y densidad poblacional dando lugar a fenómenos térmicos tales como las islas de calor. Mediante el uso de sensores remotos con banda térmica, es posible determinar las variaciones en los patrones de temperatura superficial, su extensión e intensidad. El cantón Rumiñahui está ubicado en Ecuador, provincia de Pichincha, donde los asentamientos en las zonas urbanas han ido en aumento en los últimos años, es por ello que se hace necesario el análisis de temperatura superficial además de su relación con factores tales como vegetación, agua y construcciones para determinar si estos son incidentes en su variación. Para ello se utilizó dos imágenes Landsat 7 ETM+ la primera correspondiente al 2001 y la segunda al 2016 a partir de las cuales se determinó temperatura superficial e índices tales como NDVI (Índice Diferencial Normalizado de Vegetación), NDWI (Índice Diferencial Normalizado de Agua), NDBI (Índice Diferencial Normalizado de Construcciones) para establecer si existe relación entre ellos mediante un análisis de correlación de variables obteniéndose que estos factores presentan una fuerte correlación con valores que varían entre 0,6 a 0,9. Finalmente se determinó que las zonas con mayor temperatura se encuentran en el centro de la ciudad de Sangolquí y San Rafael.

Palabras Claves: agua, construcción, vegetación, índices, temperatura.

ABSTRACT

It is considered that in recent years the surface temperature has increased, this phenomenon may be due to the change in land use, growth of urban areas and population density leading to thermal phenomena such as heat islands. Through the use of remote sensors with thermal band, it is possible to determine the variations in the surface temperature patterns, their extension and intensity. Rumiñahui canton is located in Ecuador, in the province of Pichincha, where settlements in urban areas has been increasing in recent years, which is why it is necessary to analyze surface temperature in addition to its relationship with other factors such as vegetation, water and buildings to determine if these are incidents in the variation thereof. To do this, two Landsat 7 ETM+ images were used, the first corresponding to 2001 and the second to 2016, from which surface temperature was determined and indexes such as NDVI (Normalized Vegetation Differential Index), NDWI (Normalized Water Differential Index), NDBI (Normalized Differential Construction Index) to establish if there is a relationship between them by means of a correlation analysis of variables, obtaining that these factors present a strong correlation with values that vary between 0.6 to 0.9. Finally, it was determined that the zones with the highest temperature are in the center of the city of Sangolquí and San Rafael.

Key words: water, building, vegetation, rating, temperature.

INTRODUCCIÓN

Los procesos de urbanización y cambio de uso del suelo son constantes, lo que trae una serie de problemas relacionados con el cambio climático, siendo uno de estos, el fenómeno de islas de calor (Moreno & Serra, 2016).

En los últimos años, el análisis de islas térmicas ha tomado interés de organizaciones enfocadas a estudios ambientales, de la misma manera organismos como el Panel Intergubernamental de Cambio Climático-IPCC (IPCC, 2007) y la Organización Mundial de Meteorología (OMM, 2010) analiza el incremento en la ocurrencia de olas de calor que puede estar vinculada a efectos de cambio climático; durante la mitad del siglo XX y la primera década del XXI, ha tomado interés por parte de comunidad científica encargada de estudios ambientales principalmente por investigadores que se centran en las modificaciones climáticas antropogénicas en el sector urbano, así como también su relación con el dosel urbano, vegetación, hidrografía y atmósfera debido principalmente al impacto ambiental que generan estas islas térmicas. (Carreras & Martín, 1990); (Moreno M. , 1993); (Stewart, 2011); (Noro & Lazzarin, 2015).

Para el estudio de estas islas de calor, es necesario una red completa de estaciones hidroclimáticas, radiómetros y sondeos verticales atmosféricos (EPA, 2009), lo cual implica un alto costo de adquisición y mantenimiento de los mismos, por lo que el uso de sensores remotos y la aplicación de técnicas de percepción remota se ha convertido en una opción viable (Preciado & Aldana, 2011).

El impacto ambiental al darse el fenómeno de islas de calor es evidente, ya que se hace necesario el uso de sistemas de climatización, lo que involucra la calidad del aire por los contaminantes emanados, lo que implica en el bienestar de la población que habita en el sector como en la salud (Tumini, 2010).

Existen numerosas ventajas del uso de sensores remotos para este tipo de estudios, entre ellos se incluye la posibilidad de abarcar grandes extensiones, además de ello se puede realizar análisis complementarios como los obtenidos con los siguientes índices: Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI), Índice de Construcciones Diferencial Normalizado (NDBI) e Índice de Agua Diferencial Normalizado (NDWI) para determinar si estos factores tienen influencia en el comportamiento térmico de la ciudad y los alrededores (Preciado & Aldana, 2011). La elaboración de mapas de temperatura posibilita la identificación de áreas expuestas a mayor riesgo asociado a eventos extremos de calor y contribuye con el diseño de estrategias de mitigación o atención a la población. Las islas térmicas suelen asociarse con anomalías superficiales de temperatura, por ello es primordial su cuantificación y caracterización (Córdova, 2011).

Existen estudios realizados del fenómeno de islas de calor en las ciudades de Quito, Guayaquil en donde se pudo constatar que las temperaturas más frescas están en lugares

con cercanía a las áreas verdes; y Cuenca en la cual se llegó a determinar que la temperatura superficial supera a la temperatura ambiente y los puntos de mayor calor superficial corresponden a zonas con espacios de poca y nula vegetación, mayor afluencia vehicular, mayor afluencia de personas y de actividades industriales; en los estudios mencionados se aplicaron diferentes técnicas, de cualquier forma se llegó a conclusiones similares en cuanto a la influencia de áreas urbanas en la temperatura superficial, sin embargo en esta área de estudio se encuentran zonas que no cuentan con las características que presenta un valle principalmente en cuanto a clima; por lo que el desarrollo de esta investigación contribuye a tener una referencia en la presencia de islas de calor en las zonas que se encuentren ubicadas en valles (Palacios, 2013); (Guillen Mena, 2016).

En el 2010 con los Códigos y Leyes del COOTAD en los que se encuentra la obligatoriedad del desarrollo de planes de desarrollo y ordenamiento territorial para los gobiernos autónomos, obligaron al desarrollo del mismo para el cantón Rumiñahui, sin embargo datos del INEC en el mismo año muestran que cerca del 92% de la población ya se encuentra ubicada en zonas urbanas por ende existe presión en medio natural y construido ya para ese año, la rápida ocupación del suelo para construcciones ocasionan la formación de cañones profundos que obstruyen el paso del viento aumentando la presencia de islas de calor, una medida de mitigación puede ser realizar un correcto trazado urbano (Palacios et al., 2017), es por lo que el desarrollo de este proyecto aporta como un insumo para el desarrollo de una planifi urbana sostenible del cantón Rumiñahui.

El cantón Rumiñahui se ubica al sureste de la Provincia de Pichincha del Ecuador a cerca de veinte minutos de la ciudad de Quito, se caracteriza por un clima agradable y su temperatura promedio de 17 °C. Este cantón se encuentra ubicado en el Valle de los Chillos y su capital es la ciudad de Sangolquí, su extensión es de 134.15 km². En el cantón hay un notable crecimiento urbanístico, también se puede encontrar vegetación a lo largo de todo el sector, por lo cual el objetivo de este trabajo es calcular la temperatura superficial para determinar las islas de calor e índices como Diferenciado de Vegetación Normalizada (NDVI) con el fin de realzar las áreas con mayor vigor vegetal, Diferenciado de Construcción Normalizada (NDBI) con el cual se identifica que tan sensible es el área urbanizada en la zona de estudio y Diferenciado de Agua Normalizada (NDWI) que permite identificar la medida de cantidad de agua que posee la vegetación o el nivel de saturación de humedad que posee el suelo (Preciado & Aldana, 2011); de dos imágenes Landsat 7 ETM+ correspondientes a octubre de 2001 y noviembre de 2016 con resolución espacial de 60 m de la zona de estudio para así determinar si existe cambio en la cobertura del suelo ya sea de aumento o disminución de vegetación, agua y construcciones y si los índices mencionados tienen influencia en la presencia de islas de calor mediante una análisis de correlación.

MÉTODO

CÁLCULO DE TEMPERATURA

Para la realización de este trabajo se seleccionaron dos imágenes LANDSAT 7 ETM+, correspondientes a octubre-2001 y noviembre-2016 las cuales fueron obtenidas de la página web del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS).

Las imágenes seleccionadas, al ser de nivel L1, ya incorporan correcciones geométricas, por lo cual se llevó a un proceso de corrección radiométrica con el objeto de reducir los efectos atmosféricos logrando de esta manera corregir la nubosidad y otros factores que afectan la interpretación y el análisis de las mismas.

Los valores de temperatura superficial se obtienen de la banda 6 del infrarrojo térmico (10,44 a 12,42 μm) en modo de alta ganancia (6-2 high gain), que tiene una resolución espacial de 60m. Para ello es necesario convertir los números digitales de la banda térmica en radiancia espectral en el techo de la atmósfera utilizando (1) dada por (Barsi, 2005):

$$L_{\text{TOA}} = \tau * \varepsilon_{iv} * L_{\text{U}} + \tau * (1 - \varepsilon_{ig}) * L_{\text{D}} \quad (1)$$

Donde: τ es la transmisividad atmosférica, L_{T} es la banda de radiancias calibradas, ε_{iv} es la emisividad, L_{U} es la radiancia ascendente, L_{D} es la radiancia descendente, L_{TOA} es determinado por la radiancia espectral en el techo de la atmósfera.

Caselles, 2001 muestra la emisividad tabulada en ciertas coberturas y por longitudes de onda, estos se pueden visualizar en la Tabla 1, donde ε_{ig} y ε_{iv} corresponde a la emisividad del suelo y vegetación respectivamente, se determina que en la región de 10,5 – 12,5 (μm) la ecuación operativa propuesta en su investigación, proporciona la emisividad sin desviación sistemática y con un error de $\pm 0,011$, por lo que se ha tomado el valor de emisividad de 0,985, valor que fue obtenido mediante la media de los valores propuestos tomando en cuenta las coberturas que se pueden presentar en la zona de estudio.

Tabla 1. Valores de emisividad según regiones espectrales (Caselles, 2001).

	8 – 9 μm	10,5 – 11,5 μm	11,5 – 12,5 μm	10,5 – 12,5 μm
ε_{ig}	0,9 \pm 0,06	0,95 \pm 0,02	0,97 \pm 0,01	0,96 \pm 0,014
ε_{iv}	0,985 \pm 0,005	0,985 \pm 0,007	0,985 \pm 0,008	0,985 \pm 0,005
$\langle d\varepsilon_i \rangle$	0,04 \pm 0,03	0,022 \pm 0,014	0,013 \pm 0,009	0,017 \pm 0,011

Los parámetros tales como transmisividad (τ), radiancia ascendente (L_{U}) y descendente (L_{D}) indicados en la tabla 2, se obtuvieron en la página de corrección atmosférica de la NASA: <https://atmcorr.gsfc.nasa.gov/>, en la cual es necesario llenar campos como la fecha de toma de la imagen, la hora, la latitud y longitud media, la estación correspondiente a la fecha de toma de la imagen, el sensor y el tipo de interpolación la cual se escogió el uso

de perfil atmosférico para una longitud y latitud dada, para que así se interpole en torno a las cuatro esquinas de la imagen (NASA, 2017), de lo cual se obtuvieron los parámetros indicados en la Tabla 2:

Tabla 2. Coeficientes de corrección atmosférica.

	Imagen (3/11/2001)	Imagen (27/10/2016)
τ	0,55	0,43
L_u	3,36	4,54
L_d	5,11	6,48

Estos valores de radiancia de la banda térmica fueron transformados a temperatura de brillo de superficie usando las constantes de calibración térmica de Landsat 7 ETM+ obtenidas de los metadatos de la imagen mediante (2) dada por (Chuvieco, 2010):

$$T_b = \frac{K_1}{\ln\left(\frac{K_2}{L} + 1\right)} \quad (2)$$

Donde: L es el valor de radiancia [$W / (m^2 \text{ sr } \mu m)$], K_1 y K_2 son las constantes de calibración [$W / (m^2 \text{ sr } \mu m)$], T_b es determinado por la temperatura de brillo superficial [K] del área en cuestión.

A continuación, se procede al cálculo de la temperatura superficial para la cual se tuvo en cuenta la corrección de la emisividad espectral. Esta se calculó mediante el uso de (3) proporcionada por (Chuvieco, 2010):

$$T_s = \frac{T_b}{1 + \left(\frac{\lambda T_b}{\rho}\right) * \ln e} \quad (3)$$

$$\rho = \frac{h * c}{k} \quad (4)$$

Donde: T_b es la temperatura de brillo superficial (K), λ es el centro de la longitud de onda (μm), la constante $\rho = 13608,69565 (\mu m/K)$ se la obtuvo a partir de (4), teniendo en cuenta a como la constante de Planck ($6,26 * 10^{-34} \text{ Js}$), c velocidad de la luz ($3 * 10^8 \text{ m/s}$) y k la constante de Boltzman ($1,38 * 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$); e representa la superficie de emisividad, T_s es determinada por la temperatura superficial (K) del área en cuestión.

CÁLCULO DE ÍNDICES

Para realizar el cálculo de los diferentes índices es necesario realizar una corrección radiométrica de reflectancias a las imágenes, para el proceso mencionado se ha utilizado el método de mínimos del histograma.

Índice De Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI)

El Índice Normalizado de Vegetación (NDVI), es un cociente empleado para discriminar masas vegetales calculado usando (5) dada por (Marini, 2008):

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (5)$$

Donde: NIR es la Banda del infrarrojo cercano, es la Banda de visible rojo, es determinado por el Índice de Vegetación Normalizado del área en cuestión.

Índice De Agua Diferencial Normalizado NDWI

El Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI) es sensible a los cambios en el contenido de agua de la vegetación y se utiliza como una medida de la cantidad de agua que posee la vegetación o el nivel de saturación de humedad que posee el suelo calculado mediante (6) dada por (SNIA, 2016).

$$NDWI = \frac{NIR - SWIR_1}{SNIR - SWIR_1} \quad (6)$$

Donde: NIR es la Banda del infrarrojo cercano, $SWIR_1$ es la banda del Infrarrojo de onda corta.

Índice De Construcción Diferencial Normalizado NDBI

El Índice Diferenciado de Construcciones Normalizada (NDBI) destaca las áreas urbanas con mayor reflectancia en la región infrarroja de onda corta ($SWIR$), en comparación con la región cercana al infrarrojo (NIR), se calculó mediante el uso de (7) dada por (Gao, 1996).

$$NDBI = \frac{SWIR_2 - NIR}{SWIR_2 + NIR} \quad (7)$$

Donde: $SWIR_2$ es la banda del infrarrojo de onda corta, NIR banda del infrarrojo cercano, NDBI es determinado por el Índice Diferenciado de Construcciones Normalizada del área en cuestión.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Como parte de estudio se realizó un análisis estadístico de correlación entre las variables temperatura y los diferentes índices obtenidos para determinar si estos influyen en su comportamiento.

Para ello se partió de los datos obtenidos de los diferentes procesos y se analizó si dentro de estos existen valores atípicos que puedan infl en los resultados y se procedió a eliminarlos mediante un análisis por cuartiles. Finalmente se obtuvo el coefi de correlación lineal entre las diferentes variables utilizando (8) dada por (Montgomery , 2011).

$$r = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{(n - 1)S_x S_y} \quad (8)$$

Donde: x, y representan las variables, \bar{x}, \bar{y} son las medias de cada variable, n es el tamaño de la muestra y S_x, S_y son las desviaciones estándar de cada muestra.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

CUANTIFICACIÓN DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL

Se evidencia un aumento de temperatura superficial en varias zonas del cantón durante los años tomados para el estudio. En la imagen del año 2016, la isla formada en la parte urbana del cantón Rumiñahui no muestra el patrón clásico concéntrico, ésta presenta un carácter geométrico en la ciudad de Sangolquí y San Rafael, mientras que en las poblaciones de Amaguaña y Cotogchoa de cierta forma si es concéntrica como se muestra en la Figura 1, las temperaturas oscilan entre 25 y 28°C. Se nota que los espacios densamente ocupados y por ende con poca vegetación tienen una mayor temperatura superficial que las zonas de la periferia urbana.

Las áreas con una temperatura relativamente fresca (14-18°C) se han visto disminuidas notablemente, aumentando considerablemente el área de temperaturas altas. Para este estudio se ha considerado como islas de calor a aquellas áreas cuya temperatura sobrepasa los 26°C dando como resultado que estas se hallan en el cantón Rumiñahui en las áreas urbanas de Sangolquí y San Rafael además se encontraron pequeñas islas a lo largo de la parte rural, como se muestra en la Figura 2 donde se nota la diferencia de islas de calor del año 2001 al 2016.

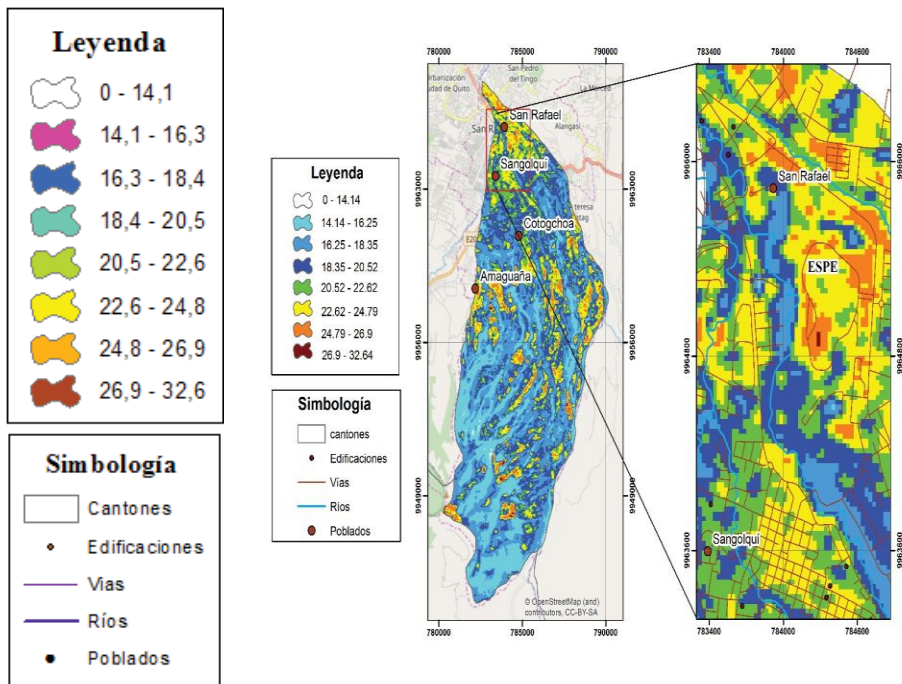


Figura 1. Mapa de temperatura (Imagen 2001)

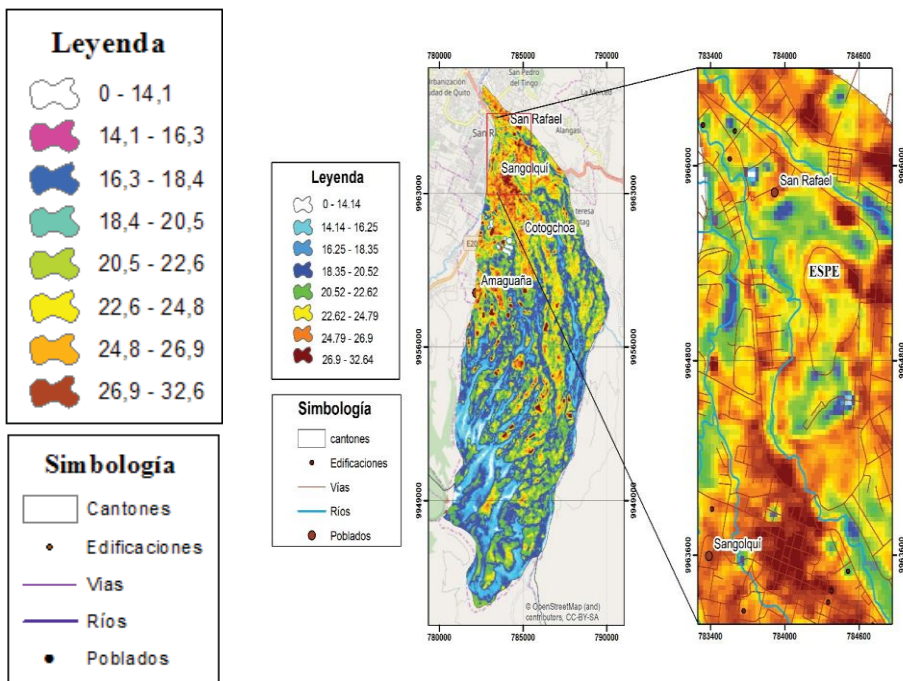


Figura 2. Mapa de temperatura (Imagen 2016)

Las imágenes Landsat analizadas mostraron importantes diferencias en la temperatura superficial registrada en la zona urbana y periurbana, estas diferencias en el área que abarca cada rango de temperatura están cuantificadas mediante el porcentaje correspondiente en relación al área total del cantón Rumiñahui en la Tabla 3.

Tabla 3. Comparación de valores de área de temperatura en las dos fechas analizadas

Temperatura (°C)	Área (%)	
	Imagen 2001	Imagen 2016
0 – 14,14	0,11	0,15
14,1 – 16,3	17,9	0,21
16,3 – 18,4	25,3	9,55
18,4 – 20,5	31,6	36,41
20,5 – 22,6	11,3	25,25
22,6 – 24,8	10,5	17,22
24,8 – 26,9	3,28	10,96
26,9 – 32,6	0,12	0,25

Como puede verse en la Tabla 3, las áreas con una temperatura relativamente fresca que oscila entre 14 a 18°C se han visto disminuidas notablemente, aumentando considerablemente el área de temperaturas altas. Para este estudio se ha considerado como islas de calor a aquellas áreas cuya temperatura sobrepasa los 26°C dando como resultado que estas se encuentran en el área urbana de Sangolquí y San Rafael además se encontraron pequeñas islas a lo largo de la parte rural que puede ser resultado de edificaciones construidas en ese sector en las dos fechas analizadas como se distingue en la Figura 3.

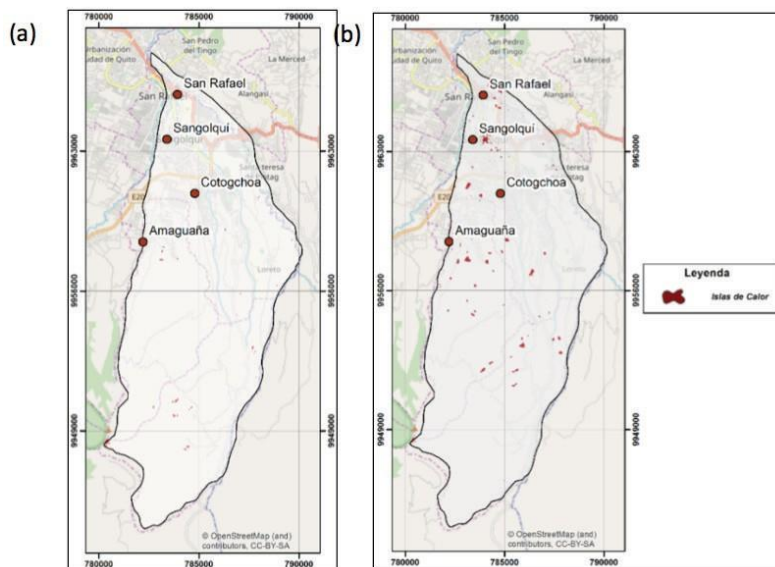


Figura 3. Islas de calor a lo largo del cantón Rumiñahui.: (a). Imagen 2001. (b) Imagen 2016

De la misma manera se puede ver las diferencias en cuanto al valor de los índices: en los valores de NDVI es evidente que en la imagen correspondiente al 2001 se encuentra un gran porcentaje de vegetación saludable y vegetación en crecimiento, en las zonas urbanas (Sangolquí, Amaguaña, Cotogchoa) se observa que hay presencia de suelo desnudo y con poca vegetación como se ve en la Figura 4; en la imagen correspondiente al 2016 se encuentra mayores proporciones de suelo desnudo en la zona urbana. En cuanto a los valores de NDWI existe una mayor presencia de agua en la imagen tomada en el 2001 como se ve en la Figura 5 a comparación de la imagen del 2016 la cual presenta valores más bajos y en menor área, esto es consistente de acuerdo a los valores de vegetación mostrados en ambas imágenes. Por su parte, los valores de NDBI en la imagen de noviembre 2001 obtenidos, muestran en su gran mayoría, valores bajos como se ilustra en la Figura 6, lo que evidencia que no existe una gran presencia de construcciones mientras que en la imagen de octubre 2016 se muestra un gran incremento principalmente en lo que es el sector de Sangolquí y San Rafael.

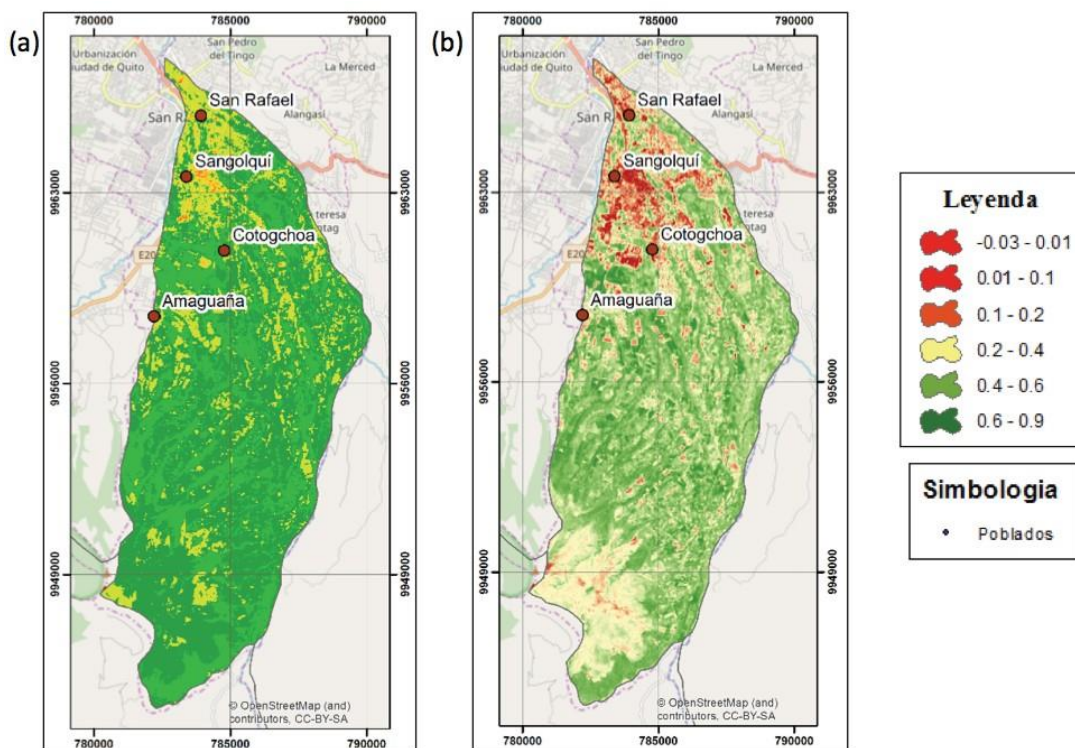


Figura 4. NDVI: (a). Imagen 2001. (b) Imagen 2016

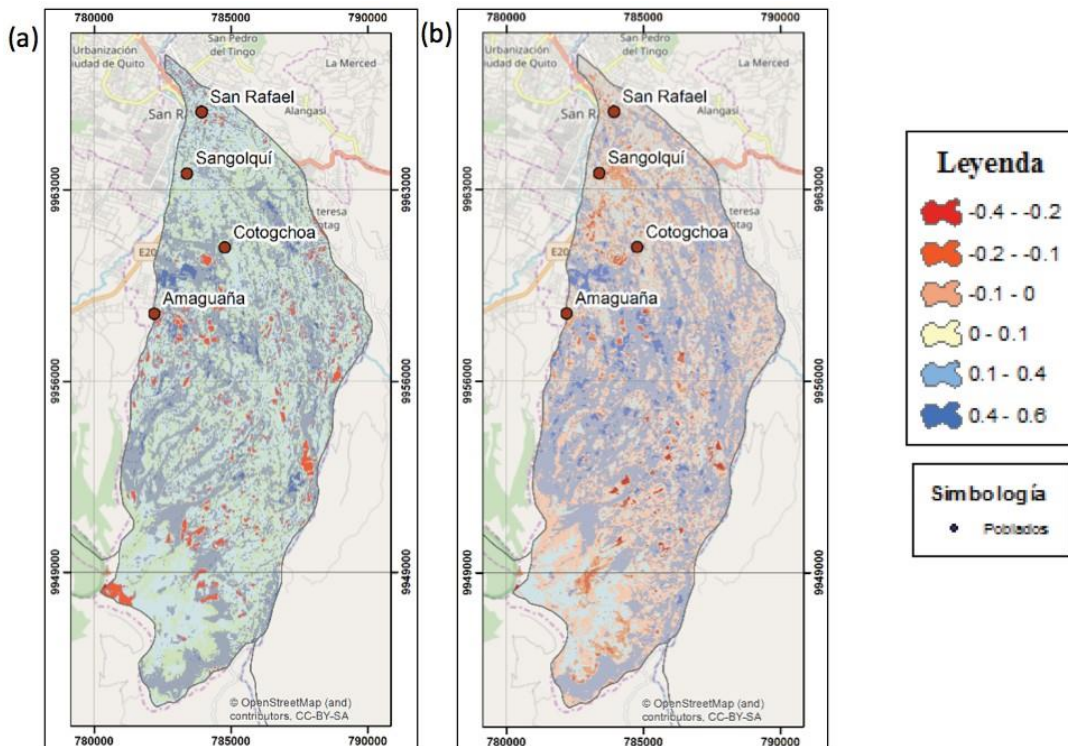


Figura 5. NDWI: (a). Imagen 2001. (b) Imagen 2016

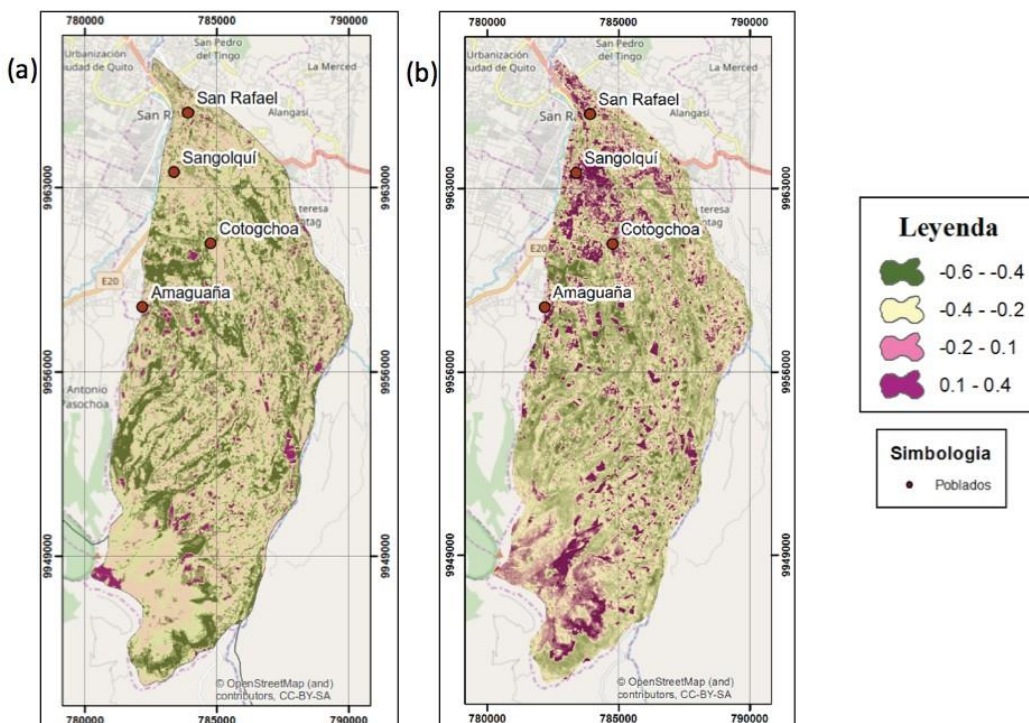


Figura 6. NDWI: (a). Imagen 2001. (b) Imagen 2016

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Con los datos depurados se realizó el análisis de correlación entre las variables temperatura y los índices: NDVI, NDBI, NDWI y su fuerza de correlación se evaluó de acuerdo con los valores propuestos por (Montgomery , 2011) como se ve en la Tabla 4:

Tabla 4. Valores de correlación.

Tipo de correlación	Rango del valor del coeficiente de correlación
Correlación perfecta	$r = -1$
Correlación excelente	$-1 < r < -0,9$
Correlación aceptable	$-0,9 < r < -0,8$
Correlación regular	$-0,8 < r < -0,6$
Correlación mínima	$-0,6 < r < -0,3$
No hay correlación	$-0,3 < r < 0$

En la figura 7 se observa que para la imagen del 2001 entre temperatura superficial y NDVI el coeficiente de correlación fue de $-0,95$, lo que indica una excelente correlación de tipo inversa entre las dos variables, en la figura 8 se muestra que la relación de temperatura superficial y NDWI la correlación arrojó un valor de $-0,67$ lo que indica que existe una correlación de tipo inversa regular; por último, en la figura 9 se observa que el coeficiente de correlación entre la temperatura superficial y el NDBI dio un valor de $0,68$, es decir una correlación directa regular, de esta manera la relación Temperatura – NDVI y NDWI es inversa mientras que con el NDBI es directa.

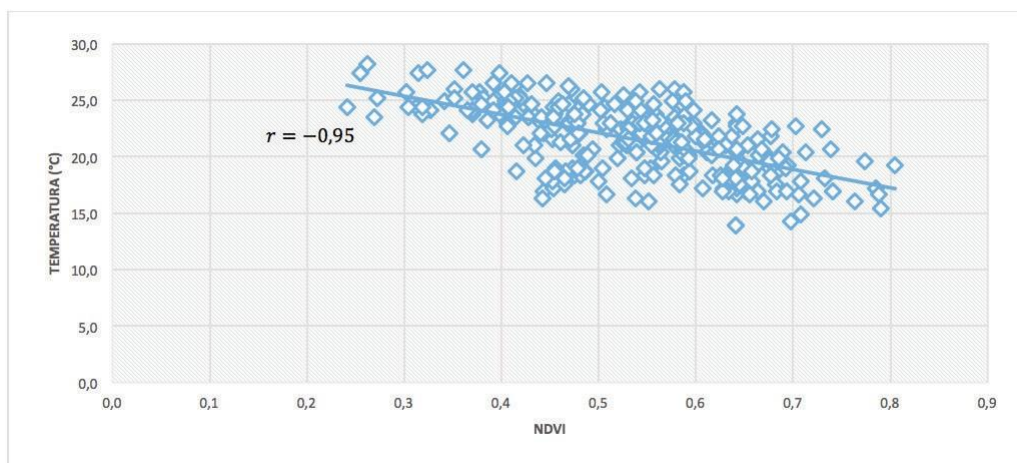


Figura 7. Diagrama de dispersión NDVI vs Temperatura (2001)

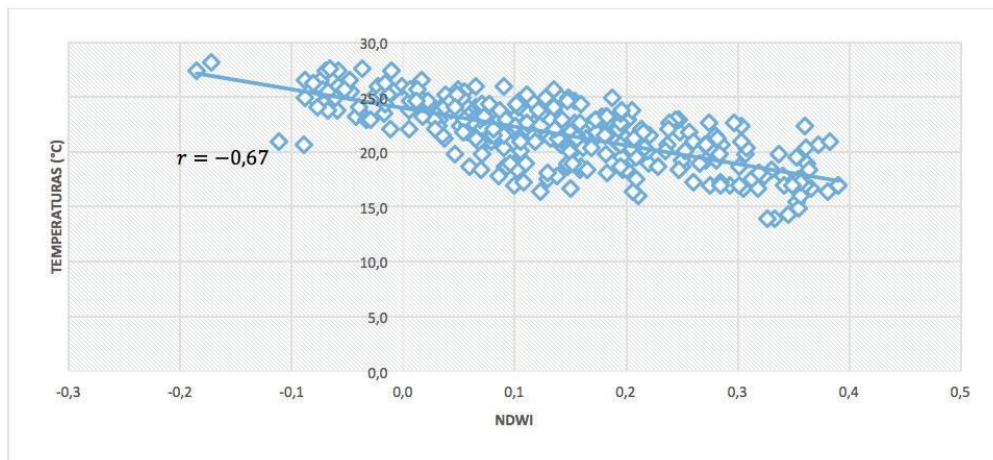


Figura 8. Diagrama de dispersión NDWI vs Temperatura (2001)

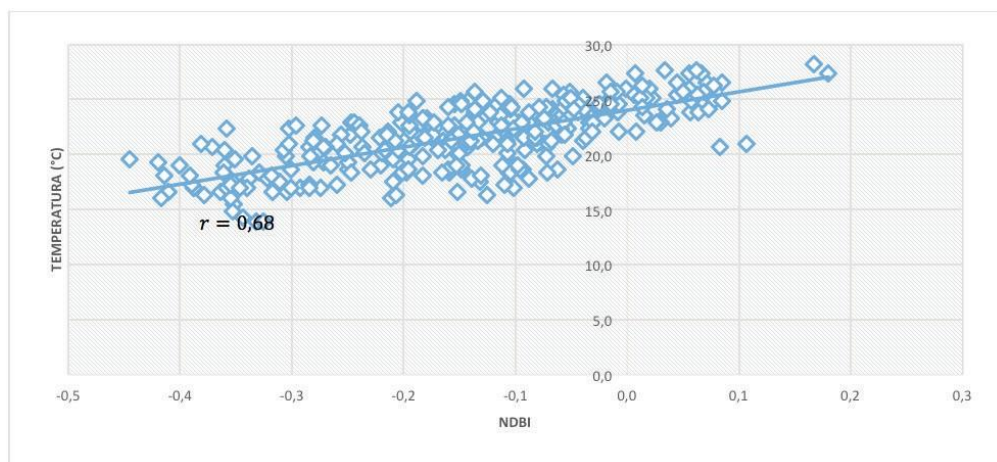


Figura 9. Diagrama de dispersión NDBI vs Temperatura (2001)

En cuanto a la imagen del 2016, como se muestra en la fi 10, la correlación se mostró notablemente más fuerte dando como resultado un coefi de $-0,92$ entre Temperatura y NDVI, lo que indica una excelente correlación de tipo inversa. En cuanto de NDWI se obtuvo un coefi de correlación inverso aceptable de $-0,85$ como se indica en la fi 11 y con respecto a NDBI se obtuvo un coefi de correlación directo aceptable de $0,87$ como se muestra en la fi 12. Las relaciones de proporcionalidad se mantienen iguales que en la imagen del 2001 entre las variables temperatura superfi e índices.

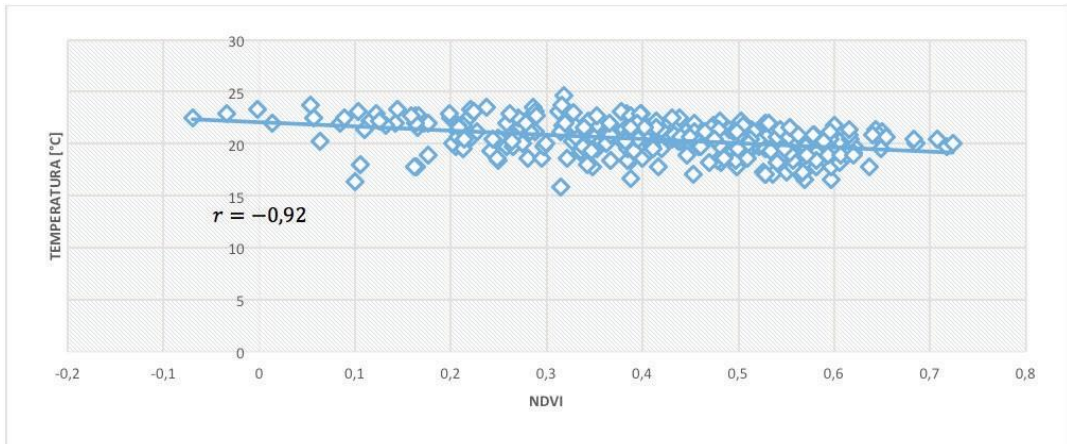


Figura 10. Diagrama de dispersión NDVI vs Temperatura (2016)

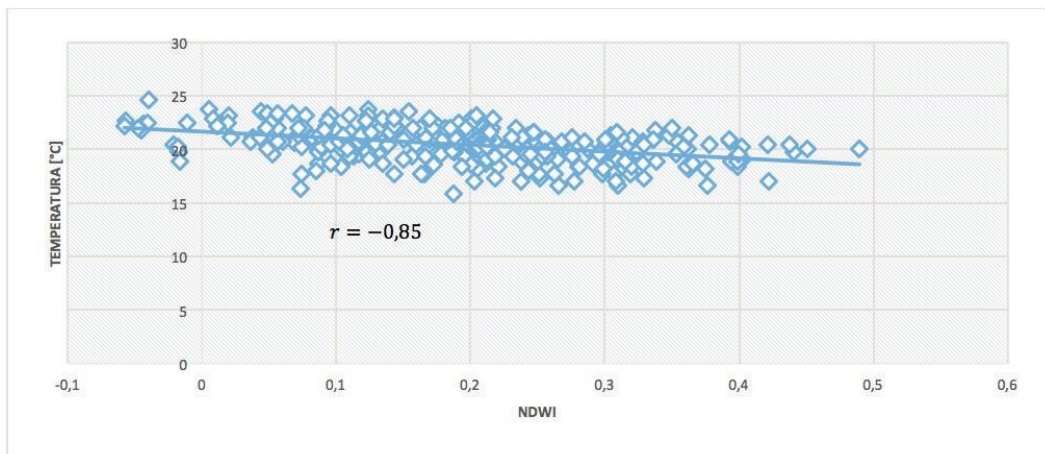


Figura 11. Diagrama de dispersión NDWI vs Temperatura (2016)

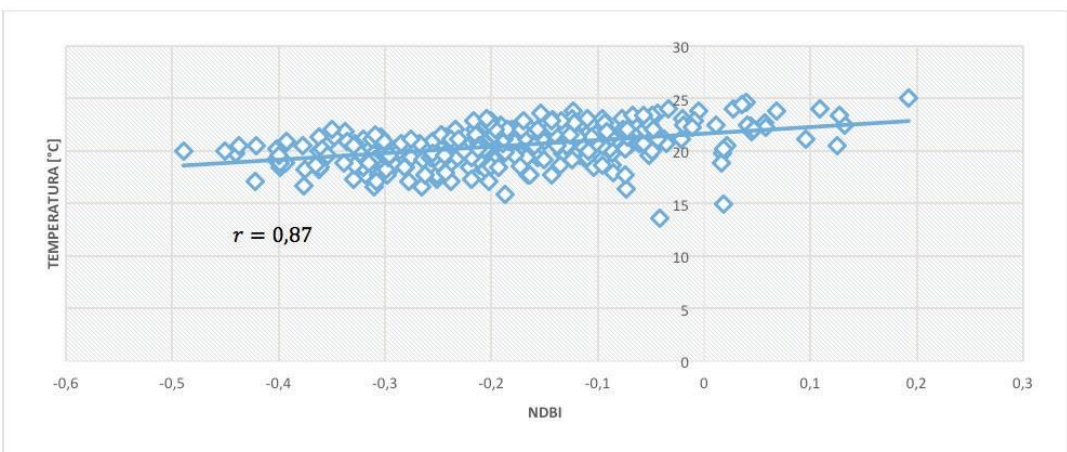


Figura 12. Diagrama de dispersión NDBI vs Temperatura (2016)

Tabla 5. Valores de correlación obtenidos.

Gráfico	Año	Correlación
NDVI-TEMPERATURA	2001	-0,95
	2016	-0,92
NDWI-TEMPERATURA	2001	-0,67
	2016	-0,85
NDBI-TEMPERATURA	2001	0,68
	2016	0,87

DISCUSIÓN

El porcentaje de islas de calor incrementó notablemente del 2001 al 2016, las temperaturas superficiales encontradas principalmente en los cascos urbanos tienen coherencia respecto a los valores de los diferentes índices, lo cual se evidencia con los valores de correlación encontrados entre las diferentes variables.

En la presente investigación se tuvo un coeficiente de correlación de 0,68 y 0,87 en cuanto a la TS – NDBI, esta es mayor a la encontrada en (Stamour & Stella, 2014), la cual es de 0,45, lo cual posiblemente tiende a mostrarse diferente debido a los espacios disponibles para asentamientos humanos de años pasados frente a los actuales, lamentablemente en la actualidad se opta por ocupar espacios propios de vegetación.

En cuanto a la TS – NDVI, el coeficiente de -0,95 y -0,92 es bastante similar al indicado en (Soberón & Obregón, 2016), el cual es de 0,89 valores que reflejan lo mencionado en (Stamour & Stella, 2014), que las temperaturas encontradas en las áreas verdes fueron relativamente bajas frente a otras coberturas diferentes a ésta.

En lugares donde existe abundante vegetación, igualmente podemos encontrar un alto índice de agua, lo cual se comprueba con el valor de 0,85 encontrado en la correlación TS-NDWI.

La similitud encontrada son diferentes estudios también evidencia la eficacia del uso de sensores remotos para este tipo de estudios.

CONCLUSIONES

La distribución espacial de la temperatura superficial en el Cantón Rumiñahui, indica que existe presencia de islas de calor en los sectores de Sangolquí y San Rafael tanto en el año 2001 como en el 2016, cabe recalcar que en el año 2001 su porcentaje era 0,12% equivalente a 16,7 ha de área total del cantón mientras que en el 2016 aumento al 0,25% en el 2016 lo que equivale a aproximadamente 34 ha del área total del cantón.

El NDVI y NDWI muestran una correlación negativa (inversamente proporcional) con respecto a la temperatura, es decir, mientras la vegetación y agua presentes en el sector sean bajos, mayores temperaturas se encuentran en el mismo. Esta relación de proporcionalidad de muestra estable para las dos fechas tomadas, pero en cuanto al NDWI para el año 2016 la correlación se mostró más fuerte que en la fecha anterior.

El NDBI tiene relación directa con la temperatura superficial, el índice de construcciones es alto y la temperatura de la misma forma, también muestra como que se ha incrementado el dosel urbano a lo largo de los años además de indicar como se ha reducido la vegetación, es un claro ejemplo del cambio en el uso del suelo, ya que como se observa en el mapa en la parte rural del cantón se observa un mayor grado de vegetación en la imagen del 2001 a comparación del 2016. La correlación se mostró directa, es decir en las zonas donde se encuentra un índice elevado de construcciones también se encontró altas temperaturas.

Los resultados obtenidos tanto en temperatura superficial como en los diferentes índices contribuyen como referencia en la presencia de islas de calor principalmente en las zonas que se encuentren ubicadas en valles, o con características geográficas o climáticas similares a las del cantón Rumiñahui ubicado en el valle de Los Chillos.

REFERENCIAS

- Barsi, J. (2005). Validation of a Web-Based Atmospheric Correction Tool for Single Thermal Band Instruments [en línea]. *Earth Observing Systems*, 5882, 2. Retrieved Marzo 2017, from https://atmcorr.gsfc.nasa.gov/Barsi_AtmosCorr_SPIE05.pdf
- Carreras, C., & Martín, J. (1990). Modificaciones térmicas en las ciudades. Avances sobre la isla de calor en Barcelona. *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 17, 51-77.
- Caselles, V. (2001). Desarrollo de una ecuación operativa para el cartografiado de emisividad. *Teledetección*, 2-5.
- Chuvieco, E. (2010). *Teledetección Ambiental* (Tercera ed.). Barcelona, España: Planeta.
- Córdova, K. (2011). Spatial Geotechnology applied to urban climate studies: Thermal analysis of urban surface and urban land use in the city of Caracas. *Urban Climate News*, 15-21.
- EPA. (2009). Urban Heat Island Basics, Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies, Environmental Protection Agency, U.S. [Online]. *Terra*. Retrieved mayo 2017, from <http://www.epa.gov/hiri/resources/compendium.htm>
- Gao, B. (1996). A normalized difference water index for remote sensing of vegetation [en línea]. *Remote Sensing of Environment*, 58, 257-266. Retrieved Junio 2017, from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425796000673>
- Guillen Mena, V. (2016). Un acercamiento a caracterizar la Isla de Calor en Cuenca, Ecuador. *CONAMA2016*, 14. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/311509860_UN_ACERCAMIENTO_A_CHARACTERIZAR_LA_ISLA_DE_CALOR_EN_CUENCA_ECUADOR
- IPCC. (2007). *Cambio climático 2007; Informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II, III al cuarto informe de evaluación del grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático*. Ginebra, Suiza.
- Marini, F. (2008). Análisis del estado de la vegetación en el área de influencia de la EEA [en

- línea]. Retrieved mayo 2017, from http://inta.gov.ar/bordenave/contactos/autores/fabian/indice_verde_area_INTA_bordenave.pdf
- Montgomery, D. (2011). *Probabilidad y Estadísticas aplicadas a la Ingeniería*. New York: John Wiley.
- Moreno, M. (1993). Estudio del clima urbano de Barcelona: la «isla de calor». (p. 193). Oikos-tau.
- Moreno, M., & Serra, J. (2016, Noviembre 25). El estudio de la isla de calor urbana en el ámbito mediterráneo: una revisión bibliográfica. *GeoCritica*, XXI(1.179). Retrieved Febrero 28, 2018, from <http://www.ub.edu/geocrit/b3w-1179.pdf>
- NASA. (2017). Retrieved Julio 2017, from https://atmcorr.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/atm_corr/atm_corr.pl
- Noro, M., & Lazzarin, R. (2015). Urban heat island in Padua, Italy: simulation analysis and mitigation strategies. *Urban Climate*, 14, 187-196.
- OMM. (2010). *Statement on the status of the global climate in 2009*. Ginebra, Suiza.
- Palacios et al. (2017). La Forma Espacial de la Isla de Calor en la Ciudad de Guayaquil. *INVESTIGATIO*(9), 93.
- Palacios, C. (2013). Caracterización del fenómeno “Isla Urbana de Calor” en la zona central de la ciudad de Guayaquil. *Revista científica de la Universidad de Guayaquil*, 10. Retrieved from https://issuu.com/editorialeduquilig/docs/edicion_116/11
- Preciado, M., & Aldana, A. (2011). Analisis de presencia de islas de calor en Santiago de Cali empleando técnicas de Teledetección. (p. 96). Manizales-Colombia: ISSN: 0123-9678.
- SNI. (2010). Cifras generales 2010. 2. Retrieved Abril 2017, from http://app.sni.gov.ec/sni-link/sni/Portal%20SNI%202014/FICHAS%20F/1705_RUMI%C3%91AHUI_PICHINCHA.pdf
- SNIA. (2016). *SNIA*. Retrieved Mayo 10, 2017, from http://dlibrary.snia.gub.uy/maproom/Monitoreo_Agroclimatico/INDICES_VEGETACION/NDWI/
- Soberón, V., & Obregón, E. (2016). Identificación de islas de calor en la ciudad de Lima metropolitana utilizando imágenes del satélite Landsat 5TM., (p. 1). Lima-Perú. doi:<http://dx.doi.org/10.21704/ac.v77i1.475>
- Sosa, M. (2004). Manual de diseño para edificaciones energéticamente eficientes en el trópico. *Universidad Central de Venezuela*.
- Stamour, A., & Stella, M. (2014). Estimation of land surface temperature and urban patterns relationship for urban heat island studies., (p. 7). Greece. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/260244679>
- Stewart, I. (2011). A systematic review and scientific critique of methodology in modern urban heat island literature. *International Journal of Climatology*, 31(2), 200-217.
- Tumini, I. (2010). Estrategias para reducción del efecto isla de calor en los espacios urbanos. Estudio aplicado al caso de Madrid. *Ponencia SB10 MAD, Edificación sostenible, Revitalización y Rehabilitación de Barrios.*, (p. 3).
- United Nations. (2009). World urbanization prospects [en línea]. Retrieved Julio 2017, from <http://esa.un.org/unpd/wup/index.htm>

BENEFICIOS ECONÓMICOS DE LA CONSERVACIÓN DE LAS ÁREAS PROTEGIDAS ANDINAS

ECONOMIC BENEFITS OF CONSERVATION OF ANDEAN PROTECTED AREAS

FABIÁN RODRÍGUEZ-ESPINOSA^{1,2}, **REMIGIO GALARRAGA**³, **ROBERTO SALAZAR-CÓRDOVA**⁴, **NIXON NARVÁEZ**⁵, **PAOLA ANANGANÓ-AYALA**¹

¹DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y CONSTRUCCIÓN, UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE, Sangolquí, Ecuador. ffrrodriguez3@espe.edu.ec; mpanangano@espe.edu.ec

²FACULTAD DE ECONOMÍA, PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR, Quito, Ecuador.

³Gerente, DESARROLLO SUSTENTABLE AGUA Y SALUD CORIDEAS CIA. LTDA., Quito, Ecuador. remigala@gmail.com; corideas@gmail.com

⁴CEO & Senior Researcher, HEXAGON GROUP/CSP – INC. TECH. LATAM&UK, Santiago, Chile. rsalazar@hexagon-group.net.

⁵CENTRO DE GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO EN SECRETARÍA DE AMBIENTE MUNICIPIO DE QUITO, Quito, Ecuador. nixonnarvaez@yahoo.es

Recibido: 01 de septiembre de 2018 / Aceptado: 22 de diciembre de 2018

RESUMEN

Sobre la base de la formación una mancomunidad cuyo objetivo principal es cuidar el agua de los páramos a través de corredores ecológicos se realizó una revisión y actualización de un estudio previo de valoración económica de los beneficios de los bienes y servicios del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP). La metodología se basa en la relación beneficio costo para evaluar si es conveniente o no la inversión del Estado en la protección del SNAP. El nivel de inversión del Estado ecuatoriano fue estimado a partir de las necesidades de financiamiento del SNAP. Los beneficios económicos fueron estimados a partir de la oferta de agua de las áreas protegidas que se encuentran a lo largo de la Cordillera de los Andes. Los resultados del estudio demuestran que la relación B/C de 1,66 justifica una inversión mayor del Estado en la conservación de sus áreas protegidas.

Palabras Claves: Áreas Protegidas; acceso al agua; microcuencas; inversión; Ecuador

Abstract

A Commonwealth recently created by Andean province governments of Ecuador seeks to conserve main water sources through ecological corridors. This important agreement set off a review and upgrade of a previous study about the economic value of environmental services provided by protected forest of the National Protected Forest System (SNAP). The method applied was a benefit-cost analysis. The national investment for conservation of the SNAP was the measured of cost and benefits were estimated from water supply originated in 21 national parks and natural reserves of the SNAP located in the Andean Mountains. The upgraded results B/C analysis is 1.66 and validates any State higher investment.

Key words: Protected forest, water Access, watersheds, investments, Ecuador.

INTRODUCCIÓN

El recurso más importante para garantizar un desarrollo sostenible es sin lugar a dudas el agua. El recurso es tan importante que fue incluido como parte de los objetivos del milenio de las Naciones Unidas (ODM) cuya fecha límite fue el año 2015. El Ecuador declaró que había alcanzado las metas planteadas y con relación al agua la meta fue reducir a la mitad el número de familias sin acceso a agua potable y servicios de saneamiento (Senplades/INEC/PNUD/SNU, 2015). La meta propuesta por las Naciones Unidas en los ODM fue el 66,2 por ciento de la población con acceso a agua potable y servicios de saneamiento, el Ecuador alcanzó el 71,4 por ciento en saneamiento y 77,5 con acceso a agua potable por red pública y que cumple con la Norma INEN 1108, un 18,3% de agua clorifi (INEC, 2016, 2017). Adicionalmente, se han creado nuevas áreas protegidas para un total de 54 áreas protegidas que forman parte del SNAP en la actualidad, especialmente en regiones marino-costeras con 630 mil hectáreas bajo alguna forma de conservación y manejo sostenible llegando a un total de 33 por ciento del territorio bajo conservación o manejo sostenible (Senplades/INEC/PNUD/SNU, 2015).

Sin embargo y a pesar de loable de los alcances logrados, el objetivo 7, garantizando los derechos de la naturaleza y reduciendo la pérdida de la biodiversidad, aún queda como tarea debido a la limitada inversión que hace el estado ecuatoriano en la conservación de sus áreas naturales protegidas y que forman parte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas SNAP. En la proforma del presupuesto general del estado para el año 2018 apenas de 6,7 millones de USD son presupuestadas para la administración y manejo de 54 áreas protegidas del SNAP, pero cubre solo el manejo básico de las áreas protegidas. En el año 2005 un estudio realizado por la empresa Mentefactura en el marco del proyecto MAE/GEF TF 28700 EC estimó las necesidades de fi del SNAP y analizó dos escenarios fi El manejo básico, el primer escenario, incluye la implementación de dos programas: (1) administración, control y vigilancia, y (2) planifi participativa con presupuesto estimado de 6,3 millones de USD. El segundo escenario “manejo integral” implica la implementación de una amplia gama de actividades que garantizan el cumplimiento de los objetivos del área protegida en el largo plazo. Este escenario supone la implementación de los dos programas arriba mencionados y tres adicionales: (3) desarrollo comunitario y educación ambiental, (4) turismo y recreación, e (5) investigación, manejo de recursos naturales y monitoreo ambiental con presupuesto estimado de 12,2 millones de USD (MAE, 2005).

En el año 2007, los autores (Rodríguez et al., 2009) participaron en un estudio se realizó como parte de las actividades del proyecto MAE/GEF TF 28700 EC para determinar la valoración económica de los bienes y servicios ambientales del SNAP, los resultados globales del estudio reposan en el Ministerio de Ambiente del Ecuador. Los beneficios fueron estimados a partir de la valoración económica de los servicios ecológicos de las

áreas protegidas y entre otros bienes y servicios ecológicos, se determinó la oferta de agua y determinó el valor de agua que pagan los usuarios (consumidores) y se estimó un valor de conservación del bosque nativo para garantizar calidad del agua para consumo a partir de varios estudios y programas de pago por servicios ambientales (PSA) realizados en el país.

El estudio tuvo como objetivo principal demostrar el aporte de las áreas protegidas a la economía nacional y a partir de ese valor estimado impulsar en los tomadores de decisiones el diseño de políticas públicas que permitan conservar sus áreas naturales. El valor económico (precio) utilizado para estimar los beneficios económicos del agua fue de 0,05 USD/m³ de agua, un valor promedio de varios estudios de pago por servicios ambientales realizados en el Ecuador (Rodríguez et al., 2009). Este es un valor de conservación de los bosques y vegetación natural donde se encuentran las fuentes de agua, por lo que se considera como el valor (precio) de conservación.

A partir de este valor de conservación, los autores multiplicaron por la cantidad (volumen) de agua concesionado por la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA) hasta la fecha del estudio y solo con relación al agua, los beneficios económicos fueron superiores a 1.515 millones de dólares, sobre la base del valor establecido por la Ley de Agua de 1972. Adicionalmente, los autores determinaron una relación beneficio/costo de 122,39, es decir que por cada dólar invertido en la conservación de las áreas protegidas genera 122,23 dólares de beneficios para el país tomando en cuenta el escenario de financiamiento integral determinado por MAE (2005). Con todo, el estudio se concentró en la oferta del recurso y no analizó la demanda.

El estudio de Rodríguez et al. (2009) retoma importancia debido a que en abril de 2017 11 provincias firmaron un acuerdo de conservación de los páramos y humedales andinos formando una mancomunidad cuyo objetivo principal es cuidar el agua de los páramos a través de corredores ecológicos impidiendo el avance de la frontera agrícola y pastoreo (Moreta et al., 2018).

Debido a la importancia del páramo y sus humedales, como también el hecho que 12 parques nacionales y reservas ecológicas del SNAP se encuentran a lo largo de la región andina del Ecuador y que estas reservas protegidas son las fuentes principales de agua de todas las ciudades y comunidades de los valles interandinos y estribaciones de los Andes Ecuatorianos, el presente estudio tiene como objetivo demostrar los beneficios económicos de las 12 reservas naturales no solo para la mancomunidad, como también para el resto del país. No obstante, difiere del estudio original al concentrarse su análisis desde la demanda y actualizar su tabla de valores con los valores y tarifas establecidos por la nueva Ley de Aguas y su Reglamento.

UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN GEOGRÁFICA

El agua es considerada como uno de los recursos más importantes para alcanzar un desarrollo económico y la reducción de la pobreza. La Comisión Mundial del Agua estima que se necesitará doblar la inversión en países del tercer mundo para alcanzar los objetivos del milenio, esto es que se necesitará un incremento anual de aproximadamente 100 billones (millón de millones) de dólares en los próximos 50 años (The International Water Academy, 2003). En el Ecuador la inversión necesariamente deberá realizarse en los páramos y humedales andinos (Figura 1) y apoyar a iniciativas como la de la mancomunidad de los 11 gobiernos provinciales.

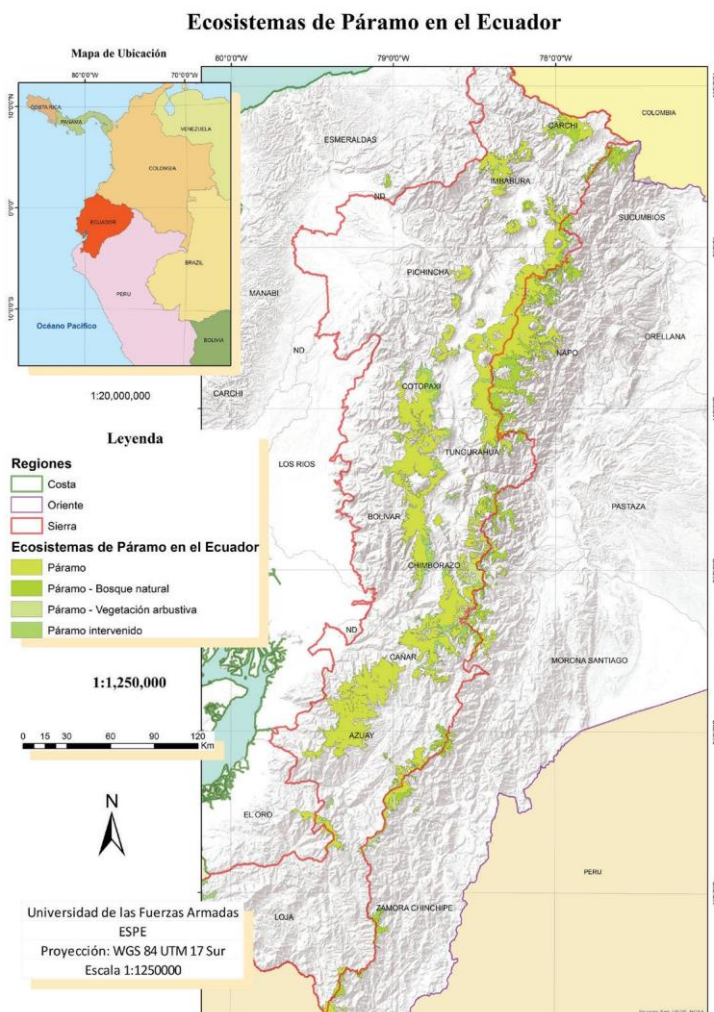


Figura 1. Ubicación del ecosistema de páramo en el Ecuador.

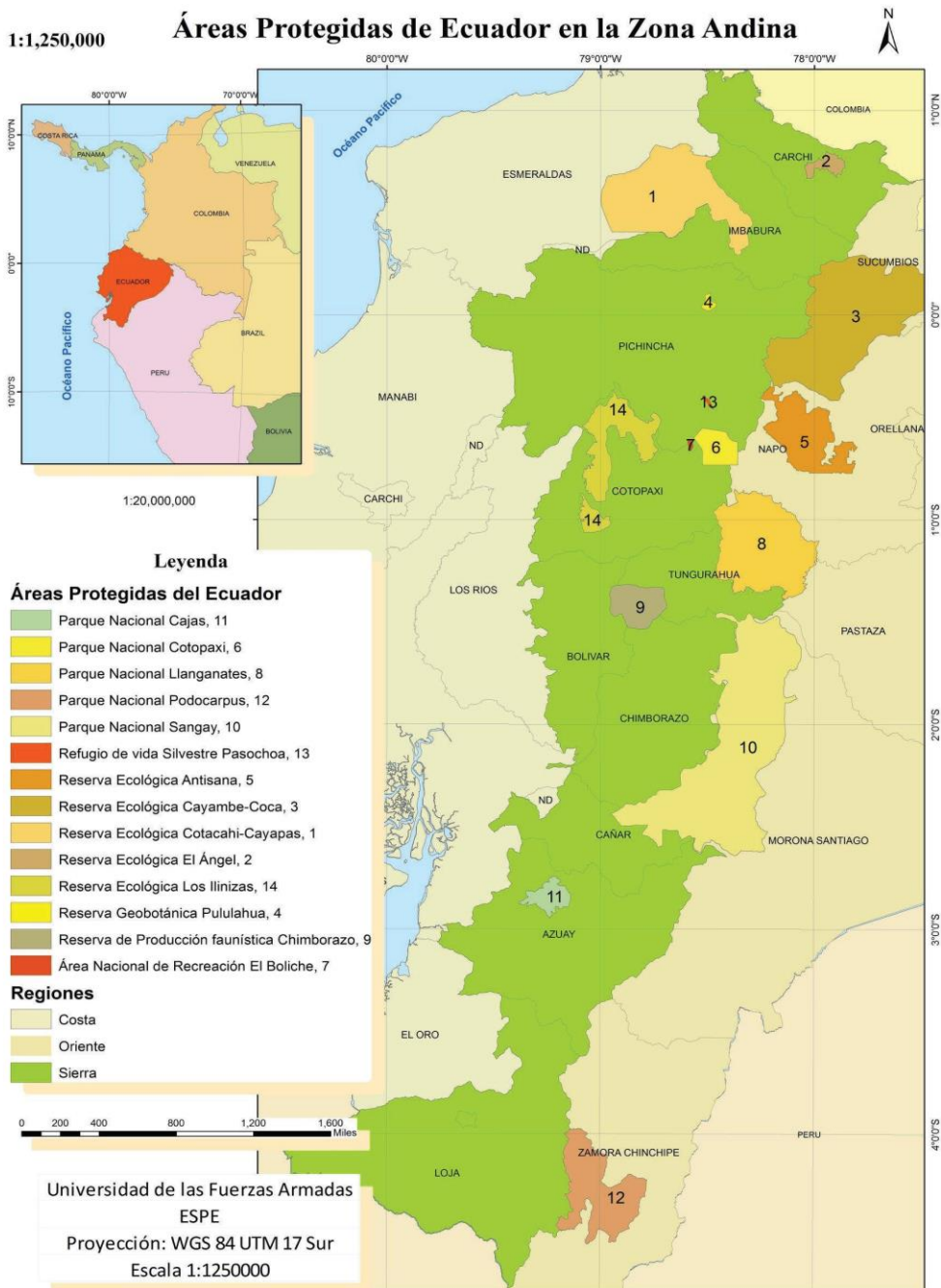
A nivel nacional parte de las inversiones ya fueron realizadas mucho antes de la declaración de los ODM a través de la creación áreas protegidas y entre los objetivos de su creación está el conservar el recurso agua. Diecisiete de las 54 áreas protegidas del Ecuador se encuentran en la Cordillera de los Andes (Tabla 1) donde el ciclo del agua empieza (captura, filtración, y almacenaje). De estas 17 áreas, solo 12 fueron tomadas en cuenta en el análisis. Hay 5 reservas que fueron creadas posteriormente a la estimación de la oferta de agua que nace en las reservas naturales y del cálculo de la demanda a partir de los datos de Senagua. Por otro lado, es necesario aclarar que la vegetación introducida ya sea como bosques y pastos plantados no fueron incluidos como parte de la vegetación natural y es así que el Parque Nacional Cotopaxi, por ejemplo, tiene solo 71 por ciento de vegetación andina y montana a pesar de que se encuentra completamente entre las cordillera Real y Occidental de los Andes.

Tabla 1. Áreas Protegidas del Ecuador en la Zona Andina

ÁREA PROTEGIDA	Año creación	Área total (ha)	% Vegetación andina y montana
PARQUE NACIONAL CAJAS	1977	28.808	96,50
RESERVA ECOLOGICA CAYAMBE-COCA	1970	402.000	75,69
PARQUE NACIONAL COTOPAXI	1975	33.393	71,03
PARQUE NACIONAL LLANGANATES	1996	219.707	91,71
PARQUE NACIONAL PODOCARPUS	1982	146.280	93,73
PARQUE NACIONAL SANGAY	1979	517.725	77,62
RESERVA ECOLOGICA ANTISANA	1993	120.000	68,15
RESERVA ECOLOGICA EL ANGEL	1992	15.715	96,44
RESERVA ECOLOGICA COTACACHI-CAYAPAS	1968	243.638	48,20
RESERVA ECOLOGICA LOS ILINIZAS	1996	149.900	90,12
RESERVA GEBOTANICA PULULAHUA	1978	3.383	96,03
RESERVA FAUNISTICA CHIMBORAZO	1987	58.560	62,73
REFUGIO DE VIDA SILVESTRE PASOCHOA	1982	500	100,00
ÁREA NACIONAL DE RECREACION EL BOLICHE	1979	227	39,07
TOTAL		1'939.609	47,49

Fuente: MAE (2005); Elaboración: Autores.

Los parques nacionales, reservas ecológicas, refugios del SNAP ubicados a lo largo de la Cordillera de los Andes tiene una gran variedad de ecosistemas debido a que se encuentran entre varios pisos altitudinales desde el bosque húmedo tropical, pasando por bosque nublado y de neblina, bosque andino hasta los páramos de pajonal y almohadillas (Figura 2). Esta variedad permite a estas reservas naturales tener una enorme biodiversidad con un alto número de especies endémicas. Una breve descripción de las 12 áreas naturales objetivos de este estudio del SNAP se presenta a continuación (MAE, 2018).



Fuente: MAE, 2015. Elaboración: Autores
Figura 1. Áreas protegidas del SNAP en la zona andina

El Parque Nacional Cajas tiene una superficie de 28.808 hectáreas y fue creado el 04/07/1977 Registro Oficial A203 y publicado en el R. O. No. 317 del 4 de julio de 1977. Está ubicada entre los 3.200 y 4.450 metros de altura. La temperatura promedio de la zona está en los 10 grados centígrados y las precipitaciones van desde los 1.200 a 2.000 mm anuales, características pertenecientes al ecosistema de bosque alto andino y páramo en el Ecuador.

El Parque Nacional Cayambe Coca fue creado por el gobierno del Ecuador mediante Decreto Ejecutivo No. 818 del 17 de noviembre de 1970 y publicado en el R. O. No. 104 del 20 de noviembre de 1970. La RECA Y tienen 403.103 hectáreas de superficie localizadas en la zona integrada por las provincias norandinas de Imbabura y Pichincha y las nororientales de Napo y Sucumbíos, a una altitud que varía desde los 750 hasta los 5.790 metros sobre el nivel del mar, clima frío, templado y subtropical según la altura, con precipitaciones anuales de 500 a 3.000 milímetros. El parque nacional tiene una gran variedad de ecosistemas desde páramos y humedales de páramo hasta bosque nublado tropical.

El Parque Nacional Cotopaxi se encuentra ubicado en las provincias de Pichincha, Cotopaxi, y Napo, posee una extensión de 33 393 has que incluyen varias estructuras montañosas como el volcán Cotopaxi, el Rumiñahui, Sincholagua; la laguna de Limpiopungo y algunas ruinas arqueológicas. Fue creado el 11 de agosto de 1975 mediante Acuerdo Ministerial A-259 y publicado en R. O. No. 876 del 27 de agosto de 1975. Posee un clima frío de altura cuyas temperaturas por la mañana pueden alcanzar los 18 a 20 grados y en las tardes y noches descender a los 3 o 4 grados. PNC se encuentra entre los 3000m llegando hasta los 5897msnm. El ecosistema predominante es de páramo principalmente de pajonal y arbustivo andino.

El Parque Nacional Llanganates fue creado el 18 de enero de 1996 por Resolución No. 00002 y publicado en el R. O. No. 907 del 19 de marzo de 1996. El parque nacional tiene un área de 219.707 Has., este territorio protegido ocupa además las provincias de Cotopaxi, Napo y Pastaza. Se trata principalmente de un bosque andino y páramo incluyendo de almohadillas, tiene a los macizos montañosos de los Llanganates como principal atractivo. Forman parte de estos el denominado Cerro Hermoso, el sistema lacustre Pisayambo y los torrentes de las estribaciones montañosas. También hay bosques amazónicos exuberantes.

El Parque Nacional Podocarpus se estableció mediante Acuerdo Ministerial No. 398 del 15 de diciembre de 1982 y publicado en el R. O. No. 404. Tiene una extensión de 146.280 hectáreas. El parque nacional se ubica en la zona de confluencia entre los húmedos Andes del norte y los bosques más secos de la zona tumbesina del sur.

El Parque Nacional Sangay se estableció mediante acuerdo ministerial No. 190 del 26 de julio de 1979 y publicado en el R. O. No. 840. Tiene una superficie de 271.925, hectáreas que ocupan gran parte de las jurisdicciones territoriales de las provincias

de Tungurahua, Chimborazo y Morona Santiago. En 1983, la UNESCO declara al Parque Nacional Sangay Patrimonio Mundial de la Humanidad, reconociendo su gran importancia biológica, ecológica y cultural que abarca múltiples ecosistemas existentes desde la región amazónica ecuatoriana hasta el páramo húmedo de almohadillas y las nieves perpetuas. El 20 de mayo de 1992, mediante registro Oficial N°. 939, se ampliaron los límites a 517.725 hectáreas, en donde se incluye parte de la Provincia del Cañar.

La Reserva Ecológica Antisana fue creada por Resolución No. 18 del 21 de julio de 1993 y publicado en R. O. No. 265 del 31 de agosto de 1993. Está ubicada entre las provincias de Pichincha y Napo, tiene una superficie de 120.000 hectáreas y está situada entre los 1.400 y 5.700 metros sobre el nivel del mar. Lleva el nombre del volcán Antisana cubierto de nieves perpetuas y bosques andinos, lagunas y ríos en sus alrededores y, en el sector oriental, vegetación en la llanura amazónica que también la integra.

La Reserva Ecológica El Ángel se creó el 5 de agosto de 1992 por Decreto Ejecutivo A-415 y publicado en el R. O. No. 21 del ocho de septiembre de 1992. La Reserva esta ubicada en la jurisdicción del cantón Espejo, provincia del Carchi, con una extensión de 15.715 hectáreas y una altura que va desde los 3.644 hasta los 4.768 metros sobre el nivel del mar, con un clima frío de páramo, temperaturas que varían entre 0 y 18 grados centígrados y precipitaciones anuales de 1.000 a 1.500 milímetros.

La Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas fue creada el 29 de agosto de 1968 con Decreto Ejecutivo No. 1468, publicado en el R.O. No.17 del 20 de septiembre de 1968. Se encuentra localizada entre las provincias de Esmeraldas e Imbabura, con una extensión de 243.638 hectáreas y altitudes que ascienden desde uno hasta los 1.600 metros sobre el nivel del mar, en la zona baja, que registra una temperatura promedio de 25 grados centígrados; y de 1.600 a 4.939 metros en la zona alta, con una temperatura de 15 grados centígrados. El clima, determinado por la topografía, vana de templado periódicamente húmedo a frío de alto andino y de tropical lluvioso a templado periódicamente seco. Con relación a las precipitaciones anuales, éstas varían entre 3.000 a 5.000 milímetros.

La Reserva Ecológica Illinizas fue creada el dos de diciembre de 1996 mediante Resolución No. 066 y el decreto ejecutivo de creación fue publicado en el R. O. No. 92 del 12 de diciembre de 1996, con una superficie de 149.900 hectáreas, localizadas entre los 800 y 5.265 metros sobre el nivel del mar. La temperatura es de 0 grados centígrados en la zona alta y alcanza un máximo de 24 grados en la zona baja, con precipitaciones de entre 1.000 y 2.000 milímetros. La reserva se ubica en ecosistemas de bosque nublado, bosque andino y arbustivo, y páramo de pajonal.

La Reserva Geobotánica Pululahua fue creada por decreto supremo No. 194 y Acuerdo Ministerial No. 137 del 28 de enero de 1966 y publicado en el R. O. No. 715 del 21 de marzo de 1978, está ubicada al noroccidente de San Antonio de Pichincha, a 23 kilómetros de la ciudad de Quito, limitada al norte por el río Guayllabamba; al sur, las

poblaciones de Calacalí y Caspigasi del Carmen; al este, el cerro Sincholagua, la loma El Lavadero y la quebrada Aguacatal; y al oeste, el río Blanco y la quebrada de Playa. Tiene una gran variedad de microclimas donde se destaca el bosque andino, arbustos y bosque de neblina.

La Reserva Faunística Chimborazo fue creada el 26 de octubre de 1987, mediante Acuerdo Interministerial No. 437 y el acuerdo fue publicado en RT. O. No. 806 del 9 de noviembre de 1987, cubre una superficie de 58.560 hectáreas localizadas entre las provincias de Chimborazo, Tungurahua y Bolívar, con altitudes que van desde los 3.800 hasta los 6.310 metros sobre el nivel del mar. El clima predominante es el frío de alto andino con variaciones de templado permanente húmedo a templado periódicamente seco, con temperaturas de entre 0 y 10 grados centígrados.

El Refugio de Vida Silvestre Pasochoa fue creado mediante acuerdo ministerial del 26 de noviembre de 1982, por las características especiales de la zona, declaró Bosque y Vegetación Protectora a una superfi de 500 hectáreas de la Hacienda "Pilopata", propiedad del Ministerio de Salud. En 1996 y dada la importancia del área, el Pasochoa fue declarado Refugio de Vida Silvestre, con una extensión de 502 hectáreas de bosque andino.

El Área Nacional de Recreación El Boliche fue creada el 26 de julio de 1979 mediante acuerdo ministerial A-322 publicado en el R. O. No. 69 del 20 de noviembre de 1979, está ubicada a 60 kilómetros de la ciudad de Quito y a 30 kilómetros de Latacunga en los límites de las provincias de Cotopaxi y Pichincha; tiene una superfi total de 227 hectáreas y la elevación más alta de la zona es el cerro Sunfana de 3.704 metros de altura. El rango altitudinal está comprendido entre los 3.000 y 3.600 metros sobre el nivel del mar.

METODOLOGÍA

La creación de las áreas protegidas es en sí un paso importante para garantizar el acceso a bienes y servicios ambientales, mejorar el bienestar de las personas y reducir la pobreza. Sin embargo, es necesario determinar la eficiencia económica de mantener estas áreas protegidas para lo cual se requiere establecer tanto los beneficios definidos como.

$$B = P \times Q \quad (1)$$

La estimación de la oferta de agua de las áreas protegidas fue estimada a partir de las estaciones de meteorológicas cercanas a cada área protegida (Tabla 2) y estimó los valores de escorrentía, evaporación e infiltración. El modelo general de escorrentía es el siguiente:

$$Q + G = P - E - I - ET \quad (2)$$

Donde, Q es caudal superficial de la cuenca a ser analizada, G es el flujo neto de aguas subterráneas desde la cuenca hacia el exterior, P es la precipitación, E es la evaporación, I es la infiltración en el suelo, y ET es la evapotranspiración la cual es puede ser un valor insignificante por lo que no fue tomado en cuenta.

Tabla 2. Estaciones meteorológicas cercanas a las áreas protegidas

ÁREA PROTEGIDA	NOMBRE	COD.	ALTURA (m)	RÍO DE MEDICIÓN
PARQUE NACIONAL CAJAS	MATADERO EN SAYAUSI	H-896	2645	S / N
PARQUE NACIONAL COTOPAXI	PITA AJ SALTO JATUNYACU DJ	H-158	3550	RIO PITA
PARQUE NACIONAL LLANGANATES	ILOCULIN UCHIMA AJ	H-721	570	RIO ILOCULIN
PARQUE NACIONAL PODOCARPUS	CHAMBA OZOGOCHÉ EN	H-627	1544	S / N
PARQUE NACIONAL SANGAY	LOS LAGOS MISAHUALLI EN	H-783	3715	S / N
RESERVA ECOLOGICA ANTISANA	COTUNDO	H-720	800	RIO MISAHUALLI
RESERVA ECOLOGICA EL ANGEL	GRANDA AJ JATIVA	H-091	3120	RIO JATIVA
	BOBO EN PLANTA	H-093	2880	S / N
RESERVA ECOLOGICA CAYAMBE-COCA	ELEG TULCÁN GUAYLLABAMBA	H-148	1690	RÍO GUAYLLABAMBA
RESERVA ECOLOGICA	DJ PISQUE	H-011	475	RIO LITA
COTACACHI-CAYAPAS RESERVA ECOLOGICA	MIRA EN LITA TOACHI AJ	H-161	820	RIO TOACHI
RESERVA GEOBOTANICA PULULAHUA	PILATON GUAYLLABAMBA DJ PACHIJAL	H-147	410	RIO GUAYLLABAMBA
RESERVA FAUNISTICA CHIMBORAZO	BALSACON EN SAN ANDRES	H-791	3000
REFUGIO DE VIDA SILVESTRE PASOCHOA	SAN PEDRO EN MACHACHI	H-159	2680
AREA NACIONAL DE RECREACION EL BOLICHE	PITA AJ SALTO	H-158	3550	RIO PITA

Los costos fueron determinados a partir del presupuesto estimado para la conservación de las áreas protegidas del estudio fue realizado por la empresa Mentefactura antes mencionado.

Por otro lado, los beneficios fueron estimados a partir de un estudio realizado por Hexagon Consultores sobre valoración económica de los servicios ecológicos de las áreas protegidas y la elaboración de la estrategia de financiamiento del SNAP. En este estudio se estimó, entre otros bienes y servicios ecológicos, la cantidad de agua que es ofertada por las áreas protegidas, se determinó el valor de agua que pagan los usuarios (consumidores) y se estimó un valor de conservación del bosque nativo para garantizar calidad del agua para consumo a partir de varios estudios y programas de pago por servicios ambientales (PSA) realizados en el país.

Para determinar si la conservación de áreas protegidas es conveniente para el país se determinó la tasa costo beneficio la cual se sustenta en el principio de obtener y alcanzar niveles considerables de producción con el mínimo uso de recursos, que en términos de conservación de áreas protegidas, simplemente dice alcanzar los máximos beneficios a un mínimo costo.

$$\frac{B}{C} = \frac{\sum_{t=0}^T \frac{b_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^T \frac{c_t}{(1+r)^t}} \quad (2)$$

Donde T es el tiempo del análisis, b_t corresponde a los beneficios, c_t son los costos totales, y r es la tasa de descuento

Como referencia, el criterio para cualquier proyecto donde la tasa $B/C \geq 1.0$ es considerada como aceptable. Si la tasa es igual a 1, el proyecto produciría cero beneficios netos sobre la vida útil del proyecto. Si la tasa es menos que 1 significaría que el proyecto está produciendo pérdidas desde el punto de vista económico (Randall, 1987).

RESULTADOS

La estimación del aporte de agua de las áreas protegidas andinas al país se resume en la Tabla 3. El volumen total de agua que nace en las áreas protegidas estimado es de 548 mil millones de metros cúbicos al año, la demanda por otro lado es de 68 mil millones de metros cúbicos al año. La gran mayoría de la demanda es para el riego, un resultado esperado, aproximadamente el 81% de la demanda de agua es para sistemas de riego de acuerdo con la FAO y su sistema AQUASTAT (FAO/AQUASTAT, 2015).

El promedio del aporte (oferta) de las áreas protegidas es aproximadamente de 39 mil millones de m^3 de agua para distintos usos (Tabla 3). Las áreas naturales que más aportan son el Parque Nacional Llanganates y la Reserve Ecológica Cotacachi Cayapas que aportan con el 69% de la oferta de agua. Sin embargo, si se considera la demanda, el

Parque Nacional Cayambe Coca es el más importante con relación a sus usos tanto en el riego, consumo e industrial. La demanda de este parque nacional representa el 12,1% de la oferta total de agua.

Tabla 3. Oferta de agua de las áreas protegidas andinas y demanda por actividad

ÁREA PROTEGIDA	V o l u m e n anual -m ³ /año- (miles)	D e m a n d a - m ³ / a ñ o - (miles)	Riego año- (miles)	-m ³ / - m ³ /a ñ o - (miles)	Consumo - m ³ /a ñ o - (miles)	Industrial - m ³ /a ñ o - (miles)
PARQUE NACIONAL CAIAS	1.185.378,66	600.188,74	486.152,88	78.024,54	36.011,32	
PARQUE NACIONAL COTOPAXI	1.872.340,00	6.463,05	5.235,07	840,20	387,78	
R E S E R V A E C O L O G I C A CAYAMBE-COCA	17.846.426,37	66.242.837,58	53.656.698,44	8.611.568,89	3.974.570,25	
PARQUE NACIONAL LLANGANATES	174.539.361,70	997.941,74	808.332,81	129.732,43	59.876,50	
PARQUE NACIONAL PODOCARPUS	9.738.411,22	1.229,90	996,22	159,89	73,79	
PARQUE NACIONAL SANGAY	47.448.163,49	88.916,70	72.022,53	11.559,17	5.335,00	
R E S E R V A E C O L O G I C A ANTISANA	68.124.065,21	3.027,46	2.452,24	393,57	181,65	
R E S E R V A ECOLOGICA EL ANGEL	2.240.809,02	40.744,51	33.003,05	5.296,79	2.444,67	
R E S E R V A E C O L O G I C A C O T A C A C H I - CAYAPAS	203.688.240,01	184.855,20	149.732,71	24.031,18	11.091,31	
R E S E R V A ECOLOGICA LOS ILINIZAS	17.455.593,20	44.449,27	36.003,91	5.778,40	2.666,96	
R E S E R V A G E O B O T A N I C A PULULAHUA	738.320,75	283,82	229,90	36,90	17,03	
R E S E R V A F A U N I S T I C A CHIMBORAZO	1.269.544,92	83.696,54	67.794,20	10.880,55	5.021,79	
REFUGIO DE VIDA SILVESTRE PASOCHOA	31.052,36	1.040,69	842,96	135,29	62,44	
AREA NACIONAL DE RECREACION EL BOLICHE	1.872.340,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
TOTAL	548.050.046,91	68.295.675,20	55.319.496,91	8.878.437,78	4.097.740,51	

Fuente SENAGUA, 2006; FAO AQUASTAT, 2005; Elaboración: Autores

Una vez establecida la cantidad, el volumen de agua tanto de la oferta como de la demanda, la estimación de los beneficios se realizaron sobre la base de 3 principales uso y los valores (precios) que Senagua tiene establecido para cada actividad (Tabla 4).

Tabla 4: Tarifas y valores para los usos del agua

TIPO DE USO	VALOR
Valor de conservación (US\$/m ³)	0,0012806
Valor consumo Senagua (US\$/m ³)	0,00039
Valor riego Senagua (promedio) (US\$/m ³)	0,0000875
Valor electricidad Senagua (US\$/m ³)	0,0049
Valor electricidad industrial (US\$/m ³)	0,001

Fuente: SENAGUA, 2017; Elaboración: Autores

Los beneficios estimados de las 12 áreas protegidas del SNAP alcanzan un valor de 20'307.529,31 USD/año basados en las tarifas establecidas por Senagua (Tabla 5). El resultado de los beneficios económicos del bien y servicio ambiental agua es un flujo, es decir es un valor anual. El mayor aporte a este valor proviene del agua para consumo humano para el cual se aplicó el valor de conservación, es decir el valor de la disposición a pagar para la conservación de los ecosistemas donde se encuentran las principales fuentes de agua de las ciudades. El beneficio económico tanto de riego como industrial son muy parecidos y se debe a las distintas tarifas establecidas por Senagua; sin embargo hay que tomar en cuenta que la diferencia en la demanda es enorme.

Tabla 5. Beneficios económicos por el bien y servicio ambiental agua

USO	m ³ /año (miles)	Beneficio
Demanda	68.295.675,20	-
Riego	55.319.496,91	4.840.455,98
Consumo	8.878.437,78	11.369.332,82
Industrial	4.097.740,51	4.097.740,51
Total		20.307.529,31

Fuente SENAGUA, 2006; FAO AQUASTAT, 2005; Elaboración: Autores

En análisis beneficio costo para determinar si la inversión en las áreas protegidas es rentable o no, se estimó el valor requerido para financiar el SNAP. El nivel de financiación integral del SNAP alcanza un valor de 12'211.681,00 dólares al año en el marco de los dos escenarios de financiamiento del estudio del Ministerio del Ambiente (2005). Los resultados (Tabla 6) demuestran que los beneficios de protección de las 12 áreas protegidas sobrepasan los costos del financiamiento de todas las 34 áreas protegidas existentes en el año 2017.

Tabla 6 Análisis beneficio-costo (B/C)

Á r e a s	BENEFICIOS	
	(millones)	B/C
Protegidas	20,31	1,66
PGE 2017	34.853	0,00058
PIB 2017	103.100,00	0,0002
B/Sgasolina	1.302,00	0,016

Fuente: BCE: 2018; Elaboración: Autores

La relación beneficio costo es de 1,66 que establece que por cada dólar invertido se recupera 66 centavos de ganancia neta. Los beneficios totales solo por el bien y servicio ambiental agua comparados con el presupuesto general del estado (PGE) es mínimo, de igual forma ocurre con relación al PIB. Sin embargo, se debe considerar que solo se habla de un bien y servicio ambiental. Si se añadiera otros servicios ambientales como la función de sumidero y almacenamiento de carbono, estos valores cambiarían radicalmente.

Der igual forma, si se compara los beneficios de protección de las áreas protegidas con el subsidio a la gasolina, la cual beneficia en su mayoría a quienes si pueden pagar un precio real, la protección de las áreas protegidas tiene más sentido y genera directos beneficios para el bienestar de la población.

CONCLUSIONES

Los resultados presentados en la Tabla 6 no dejan duda que la inversión en el fi de todo el sistema de SNAP es provechoso para el país. El volumen de agua ofertado por solo las 12 áreas protegidas de zonas andinas y montanas es sufi justifi para que el Gobierno Nacional invierta más en la protección de todo el SNAP, actualmente solo cubre parte (escenario básico de fi y tomando en cuenta que estos escenarios fueron estimados cuando el número de áreas protegidas eran 34, hoy en día son 52 áreas protegidas, 18 nuevas las cuales requieren un fi global para su real conservación.

Los valores presentados en el presente estudio difieren de aquellos presentados por Rodríguez et al. (2009) debido a que se actualizaron los valores, sobre todo tarifas establecidas en la nueva Ley de Aguas, el valor de conservación. En el estudio original, el valor de conservación se multiplicó directamente por la oferta de agua que nace de las áreas protegidas. En este estudio, se concentra principalmente en la demanda y en los distintos tipos de uso que se muestran en la Tabla 6. Adicionalmente, el PIB en 2007 llegó a 44 mil millones, hoy sobrepasa los 100 mil millones.

Por otro lado, las tarifas utilizadas en el presente estudio son más bajas en comparación con las existentes en 2007, una indicación que no se cubre los costos totales que incluyen costos ambientales y sociales.

En definitiva, el presente estudio representa un apoyo a la iniciativa de la mancomunidad de 11 provincias que firmaron un acuerdo de conservación de los páramos y humedales andinos formando con el objetivo principal es cuidar el agua de los páramos a través de corredores ecológicos impidiendo el avance de la frontera agrícola y pastoreo.

REFERENCIAS

- INEC. (2016). Ecuador en Cifras: Medición de los indicadores ODS de Agua, Saneamiento e Higiene (ASH) en el Ecuador. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, Quito, Ecuador. 25 pp.
- INEC. (2017). Ecuador en Cifras: Estadística de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales Agua y Alcantarillado (2015). Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, Quito, Ecuador. 23 pp.
- Ministerio del Ambiente. (2018). Punto Verde, Sistema Nacional de Áreas Protegidas, Quito, Ecuador. Recuperado: <http://areasprotegidas.ambiente.gob.ec/es/todas-areas-protegidas-por-region?t=S>
- Ministerio del Ambiente. (2005). Análisis de las Necesidades de Financiamiento del Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador. Génesis Ediciones, Quito, Ecuador.
- Moreta, M., Castillo, L., y Benalcázar, W. (2018). 11 provincias del Ecuador se integran a favor del páramo. El Comercio, Actualidad, Ecuador. Compañía Anónima El Comercio, 10 de abril de 2018. Recuperado en: <https://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador-provincias-agua-paramo-humedales.html>
- Randall, A. (1987) Resource Economics: An Economic Approach to Natural Resource and Environmental Policy. John Wiley & Son, Inc. Publishers. New York. pp. 247-250.
- Rodríguez, F., Galárraga, R., Salazar, R., y Narváez, N. (2009). Ecuador y los objetivos del Milenio: inversiones para la conservación del agua. *Letras Verdes*, Vol. 3, pp. 23-25.
- Senagua. 2017. Reforma Acuerdo Ministerial No. 2017-1522. Secretaría Nacional del Agua, Gobierno de la República del Ecuador, 27 de junio de 2017. Quito, Ecuador.
- Senplades/INEC/PNUD/SNU. (2015). Objetivos del Milenio: Balance Ecuador 2014. Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, Secretaría de Seguimiento y Evaluación. Senplades – INEC – PNUD – SNU / 1ª Edición, Quito, Ecuador. 32pp.
- The International Water Academy (2003) Water for the Poorest: Responding to the Millennium Goals. A Conference in Support of the United Nations Commission for Sustainable Development, 4-5 November 2003.

ANÁLISIS DE LA SERIE TEMPORAL DE LA ESTACIÓN DE MONITOREO CONTINUO CUEC - REGME

ANALYSIS OF TIME SERIES OF THE CONTINUOUS MONITORING STATION CUEC-REGME

MARCO P. LUNA¹, ALEJANDRA STALLER², KERBY HARNISTH¹, DARÍO ECHEVERRÍA¹, ROGER CASTRO¹, ÓSCAR PORTILLA¹

¹ UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE, Av. General Rumiñahui s/n y Ambato, P.Box 171-5-231B, Sangolquí, Ecuador.

² UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, ETSI Topografía, Geodesia y Cartografía. Campus Sur - UPM, Madrid, Spain

Recibido: 29 de septiembre de 2018 / Aceptado: 23 de diciembre de 2018

RESUMEN

En el presente estudio se realiza un análisis exhaustivo de la serie temporal de la estación de monitoreo continuo CUEC en el periodo 2008-2014. Para tal efecto se obtuvieron soluciones diarias de coordenadas con sus respectivas precisiones en cada una de sus componentes tanto horizontales como verticales, para posteriormente realizar un análisis riguroso de la serie mediante una descomposición aditiva determinando la estacionalidad o periodicidad, la tendencia y el tipo de ruido presente en la serie. Previo a la descomposición se realizó una limpieza o depuración de los datos mediante la detección y corrección de saltos en la serie y eliminación de valores atípicos. Para la determinación de la tendencia utilizamos una regresión lineal ponderada cuya solución se obtuvo mediante un ajuste mínimo cuadrático, en la determinación de la estacionalidad se realizó un análisis espectral de la serie en el dominio de las frecuencias, ya que esta es una medida que sirve para representar los ciclos, y en cuanto a la obtención del ruido se lo realizó mediante el estudio del espectro de potencia. Los resultados obtenidos muestran que la estación CUEC tiene una periodicidad anual (1.03 años) en todas sus componentes y un tipo de ruido gaussiano fraccionario con un índice espectral entre 0 y -1, considerando que estos valores no reflejan el verdadero tipo de ruido existente, debido principalmente a un alto porcentaje de datos perdidos.

Palabras clave: análisis espectral, tendencia, estacionalidad, ruido

ABSTRACT

In the present study an exhaustive analysis of the time series of the continuous monitoring station CUEC in the period 2008-2014 is carried out. For this purpose, daily solutions of coordinates were obtained with their respective precisions in each one of their components, both horizontal and vertical, to subsequently carry out a rigorous analysis of the series by means of an additive decomposition determining the seasonality or periodicity, the tendency and the type of noise present in the series. Prior to decomposition, data was cleaned or purified by detecting and correcting jumps in the series and eliminating outliers. For the determination of the trend we used a weighted linear regression whose solution was obtained by a minimum square adjustment, in the determination of the seasonality a spectral analysis of the series was made in the frequency domain, since this is a measure that serves to represent the cycles, and in terms of obtaining the noise was made by studying the power spectrum. The results obtained show that the CUEC station has an annual periodicity (1.03 years) in all its components and a type of fractional Gaussian noise with a spectral index between 0 and -1, considering that these values do not reflect the true existing noise type, mainly due to a high percentage of lost data.

Key words: spectral analysis, trend, seasonality, noise

INTRODUCCIÓN

El objetivo principal del análisis de series temporales es frecuentemente encontrar un modelo óptimo que describa los procesos estocásticos que se pueden haber generado en las series. Lo que usualmente se hace es separar la información de la serie de tiempo en una parte determinística llamada “señal” y otra parte estocástica conocida como “ruido” (Peña, 2010).

La serie obtenidas en este estudio corresponden a datos diarios de la estación de monitoreo continuo CUEC, perteneciente a la Red GNSS de Monitoreo Continuo del Ecuador (REGME), tomados en el periodo 29-10-2008 al 31-12-2014, semanas GPS 1503 hasta 1825. Los resultados se obtuvieron en coordenadas cartesianas (X, Y, Z) en el sistema ITRF2008 (IGb08). Para un mejor análisis e interpretación de las series temporales, las coordenadas cartesianas geocéntricas globales (X, Y, Z) obtenidas como solución final en el procesado con Bernese, se convierten a coordenadas locales, respecto de un sistema de coordenadas topocéntrico, centrado en un punto de la superficie terrestre y orientado según la Figura 1. Este tipo de coordenadas nos proporciona una idea más clara del comportamiento de cada serie en sus respectivas componentes. Otra ventaja importante es el hecho de trabajar con valores pequeños, ya que estas pueden ser centradas en cero, lo que facilita su estudio.

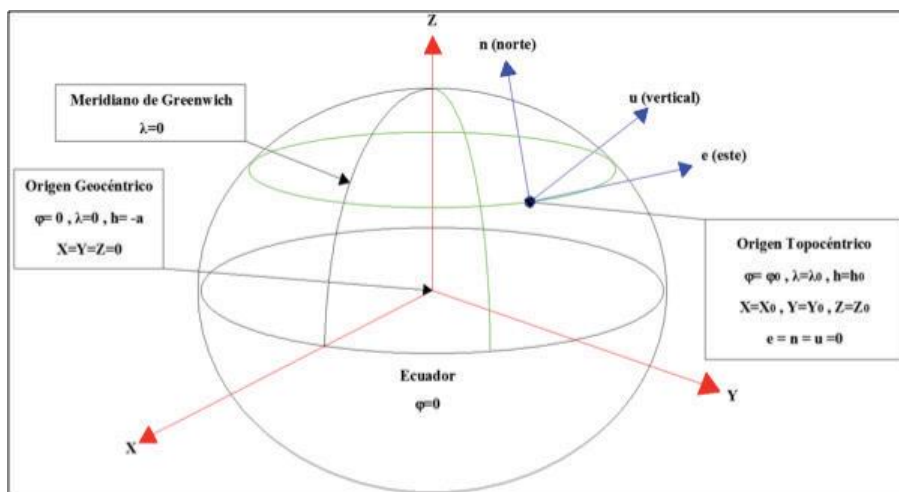


Figura 1. Sistema de coordenadas cartesianas globales (X, Y, Z) y topocéntricas locales (e, n, u). Modificada de Drewes (2014).

Las coordenadas de la serie temporal en este trabajo, cambia con el tiempo principalmente por el movimiento de las placas tectónicas. Existen además errores en su determinación debido a diferentes causas de tipo físico como instrumentales que en ciertos casos hace que se tengan valores anómalos respecto a los de su alrededor. Así pues, antes de realizar propiamente el análisis de la serie, es necesario trabajar con una serie depurada o limpia, es decir que estén libres de valores atípicos (*outliers*) y de saltos (*offsets*).

La estrategia utilizada es la descomposición aditiva de la serie que considera que los datos se generan como la suma de tres factores que son: la tendencia, la estacionalidad o periodicidad y el ruido. Los métodos clásicos de descomposición suponen que tanto la tendencia como la estacionalidad son deterministas y el ruido la parte aleatoria o estocástica (García, 2016).

En el presente estudio, el análisis y la determinación del tipo de ruido se realiza mediante el análisis del espectro de potencia aproximado por una ley de potencia dependiente de la frecuencia, propuesto por Agnew (1992). Además, se calculan la estacionalidad y la tendencia de cada serie. La periodicidad o estacionalidad se determina mediante el análisis espectral para series temporales con datos que no están igualmente espaciados, según el procedimiento propuesto por Lomb (1976) y la tendencia de la serie se determina utilizando regresión lineal ponderada.

MÉTODOS

ANÁLISIS DE SERIES TEMPORALES

Detección y Corrección De Outliers Y Offsets

En las series de tiempo de datos de estaciones de monitoreo continuo suelen observarse dos tipos de valores anómalos: los saltos en las series (*offsets*) y los valores atípicos (*outliers*). La secuencia en la que tratamos estos valores es en primer lugar detectar y corregir los *offsets*, si los hubiese, para posteriormente eliminar los valores atípicos encontrados.

El método utilizado para la corrección del *offset* se basa en calcular las tendencias de las series antes y después del *offset* mediante un ajuste de mínimos cuadrados, obteniéndose las ecuaciones de las rectas para cada lado del *offset*. (García, 2016).

El valor de salto del *offset* corresponde a las diferencias entre los valores obtenidos al evaluarse las ecuaciones de las rectas en el tiempo donde inició el *offset*; así tenemos:

$$\Delta(t_{\text{offs}}) = y_1(t_{\text{offs}}) - y_2(t_{\text{offs}}) \quad (1)$$

En cuanto a los *outliers* o valores atípicos en las series temporales pueden existir dos tipos: aquellos en los que el dato es anómalo respecto a los de su alrededor, o también puede darse el caso en que el valor de la coordenada no sea discordante con el resto, pero el error con respecto a la tendencia de la serie sí que lo sea y en este caso también se puede considerar un valor atípico. Por tanto, para la determinación de los mismos se va a proceder a su detección utilizando para cada caso técnicas diferentes.

Es evidente que nuestras series no son estables en el tiempo debido a que las coordenadas de la estación se encuentran sobre la superficie de la corteza en placas tectónicas que están en continuo movimiento. Éstas, en particular, tienen una tendencia creciente o decreciente,

obteniéndose series no estacionarias en la media. Así pues, para no involucrar a la tendencia desde un inicio en la eliminación de los valores atípicos, recurrimos a la utilización de los procesos integrados, que para este estudio resultó ser de grado 1, donde el orden de integración es el número de diferencias necesarias para obtener un proceso estacionario.

Es así que, para una serie temporal de un conjunto de observaciones, Z_1, Z_2, \dots, Z_N en los instantes de tiempo t_i con $i=1,2,3,\dots,N$ siendo el tamaño muestral de la serie, el proceso integrado de orden 1 está dado por:

$$\Delta Z_i = Z_1 - Z_2, Z_2 - Z_3, Z_3 - Z_4, \dots, Z_{N-1} - Z_N \quad (2)$$

La nueva serie oscila alrededor de una media constante, considerándose valores atípicos aquellos que sobrepasan el siguiente intervalo:

$$\overline{\Delta Z_i} \pm 3 \cdot \sigma_{\Delta Z} \quad (3)$$

siendo $\overline{\Delta Z_i}$ y $\sigma_{\Delta Z}$ la media y desviación estándar de los procesos integrados.

Una vez depurada la serie usando los procesos integrados de orden 1, se determina la tendencia de la serie mediante regresión lineal simple y se consideran valores atípicos aquellos residuales que sobrepasen tres desviaciones estándar de los errores (Mao et al., 1999).

Descomposición aditiva de las series temporales

Es ampliamente conocido que cualquier señal periódica está compuesta por la frecuencia principal, así como sus armónicos más altos. Debido a esto, asumimos que la serie de tiempo contiene tanto la parte determinista mediante el modelo funcional que incluye la tendencia y la estacionalidad, así como el ruido de fondo (Amiri-Simkooei et al., 2007). Una vez eliminados y corregidos los valores atípicos y saltos se obtiene una serie depurada o limpia. El propósito fundamental de este estudio es obtener un modelo de la serie que mejor se ajuste a ella, tomando en consideración la tendencia, variaciones estacionales y el tipo de ruido, de tal forma que la suma de todas estas componentes represente la serie temporal real. El modelo teórico es

$$y_t = T_t + S_t + N_t \quad (4)$$

donde

y_t = Valor observado

T_t = Tendencia

S_t = Estacionalidad

N_t = Ruido, componente irregular, fluctuaciones aleatorias no explicadas por otros componentes.

Al introducir la estacionalidad y el tipo de ruido tendremos una mejor estimación del parámetro que querramos estudiar, como por ejemplo la velocidad y su precisión. A continuación, se describe el proceso llevado a cabo para obtener el modelo propuesto.

Tendencia

La tendencia de una serie viene dada por el movimiento a largo plazo de los datos que la conforman, caracterizada por un patrón gradual y variaciones de la propia serie, que en nuestro caso se consideran como consecuencia del movimiento y deformación de la corteza terrestre que afectan al crecimiento o disminución de la misma.

Por lo general, la tendencia a largo plazo se aproxima a una línea recta que describe el movimiento de una determinada estación. El modelo funcional será:

$$T(t)=y_0+rt+\varepsilon \quad (5)$$

donde y_0 representa la ordenada en el origen, r la pendiente, t el instante de tiempo y ε el error de ajuste. Nuestros datos corresponden a las posiciones que tienen asociadas una precisión procedente de la matriz varianza-covarianza del procesado de los datos. Utilizamos esta precisión para obtener, mediante una regresión lineal ponderada, la tendencia de la serie donde los pesos están dados por:

$$W_i = 1/\sigma_i \quad (6)$$

La solución se determina utilizando un ajuste mínimo cuadrático mediante el siguiente sistema de matrices:

$$X = (A'WA)^{-1}A'WY \quad (7)$$

siendo X la matriz de los parámetros a determinar (y_0, r), A la matriz de los coeficientes, W matriz diagonal de pesos e Y la matriz de valores observados (Wolf y Ghilani, 1997).

Estacionalidad

La estacionalidad de una serie se refiere a las fluctuaciones periódicas u oscilaciones que se repiten cada cierto periodo de tiempo. La componente estacional de una serie debe recoger estas oscilaciones y deben incorporarse al modelo de las series temporales. La importancia de modelar esta señal estacional radica en que puede afectar a los parámetros de interés estimados a partir de las series de tiempo, en particular la velocidad de la estación (Blewitt and Lavallée, 2002; Bos et al., 2008). Para obtener la estacionalidad es necesario realizar el análisis espectral de las series de tiempo en el dominio de las frecuencias, ya que esta es una medida que sirve para representar ciclos.

El promedio estadístico de una determinada señal o tipo de señal (incluido el ruido), tal como se analiza en términos de su contenido de frecuencia, se denomina espectro. El espectro de potencia de una serie temporal describe la distribución de potencias en componentes de frecuencia que componen esa señal. Se pueden usar varios términos para referirse al espectro de potencia, uno de los más utilizados es la densidad espectral de potencia (PSD, *Power Spectral Density*). Para muestras discretas la PSD se generaliza a series de tiempo finitas como señal muestreada a intervalos discretos de tiempo en un periodo de medición neto.

Cuando se tiene el espectro de potencia, se pueden calcular varias características útiles de la señal de entrada, tales como potencia, frecuencia, armónicos y nivel de ruido. El cálculo del espectro de potencia se realiza con los residuales de las series, es decir con la serie eliminada la tendencia. En el apartado anterior se vio cómo determinar los valores de la pendiente r y la ordenada en el origen mediante el análisis de tendencia, por tanto el valor de los residuales sería:

$$v_i = y_{i\text{ obs}} - (y_o + rt_i) \quad (8)$$

Para determinar el espectro de potencia por medio de un periodograma para series discretas igualmente espaciadas se define la Transformada de Fourier como (Scargle, 1982):

$$P(f_n) = \frac{1}{N} \left[\left(\sum_{i=1}^N v_i \cos(2\pi i f_n) \right)^2 + \left(\sum_{i=1}^N v_i \sin(2\pi i f_n) \right)^2 \right] \quad (9)$$

donde $f_n = n/T$, T es el periodo fundamental, v_i es el residuo y $n=1,2,\dots,N/2$.

Fourier demostró que toda función periódica puede representarse como sumas de funciones sinusoidales de distinta amplitud y frecuencia. Este resultado sugiere generalizar el análisis realizado para un ciclo permitiendo que la función periódica sea la suma de varias funciones armónicas con distintas frecuencias o periodos, por tanto, el modelado de la estacionalidad estará representado por una función armónica de periodo T . Así pues, la alternativa más simple para representar la estacionalidad como una función periódica es suponer una función armónica, como el seno y el coseno.

Este procedimiento es ampliamente utilizado cuando las series tienen datos igualmente espaciados (Mao et al., 1999). Sin embargo, nuestra serie corresponde a observaciones influenciadas por varios factores que producen datos anómalos los cuales deben ser

eliminados previo a su análisis para que no influyan en la determinación de los parámetros a estimar. Además, hay vacíos o *gaps* en las series debido a múltiples factores como pérdida de datos o problemas en las estaciones que hacen que no tengamos información para todos los días procesados y consecuentemente no estén igualmente espaciados. Por tanto, para obtener el espectro de potencia por medio del periodograma para este caso Mao et al. (1999) recomiendan seguir el procedimiento propuesto por Lomb (1976) para series que no están igualmente espaciadas, donde se calcula mediante la inclusión del retardo definido por:

$$\tan(4\pi f\tau) = \frac{\sum_{i=1}^N \sin(4\pi t_i f)}{\sum_{i=1}^N \cos(4\pi t_i f)} \quad (10)$$

De esta ecuación se despeja el valor de τ y se reemplaza en la ecuación (11) para obtener los valores del espectro de potencia (Press et al., 2007).

$$P(f) = \frac{1}{2} \left\{ \frac{[\sum_{i=1}^N v_i \cos(2\pi f(t_i - \tau))]^2}{\sum_{i=1}^N \cos^2(2\pi f(t_i - \tau))} + \frac{[\sum_{i=1}^N v_i \sin(2\pi f(t_i - \tau))]^2}{\sum_{i=1}^N \sin^2(2\pi f(t_i - \tau))} \right\} \quad (11)$$

Los valores más altos del espectro de potencia representan las frecuencias y periodos predominantes, obteniendo de esta manera el periodograma de la serie en estudio. Las variaciones estacionales están dadas por:

$$S(t) = \sum_{k=1}^p (A_k \cdot \sin(2\pi f_k t) + B_k \cdot \cos(2\pi f_k t)) + \varepsilon \quad (12)$$

$$A = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N v_i * \sin(2\pi f t_i) \quad B = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N v_i * \cos(2\pi f t_i) \quad (13)$$

Para el análisis de nuestra serie hemos tomado hasta tres armónicos.

Ruido – Análisis espectral

La comprensión del contenido del ruido es muy importante para que se puedan asignar incertidumbres realistas a los parámetros estimados en las series de tiempo. Existen varios factores que hacen difícil determinar la fuente que los genera y las incertidumbres en las observaciones de las estaciones de monitoreo continuo.

En los últimos años se ha detectado y estudiado la correlación temporal de las coordenadas, ya que su determinación se ve afectada por numerosos efectos geofísicos y/o meteorológicos que dependen del tiempo (García, 2016). Ya algunos autores han determinado la presencia de ruido correlado con el tiempo y su efecto en la estimación de la incertidumbre en las series con observaciones GPS. Varios autores indican que éstas son subestimadas si solo se considera el ruido blanco en las series (i.e. Johnson y Agnew, 1995; Zhang et al., 1997; Mao et al., 1999; Williams et al., 2004; Hackl et al., 2011).

El análisis espectral de una serie cronológica es el método tradicional utilizado para determinar las características de las observaciones, entre ellas la de establecer el tipo de ruido existente en cada serie mediante el estudio del espectro de potencia. El espectro de potencia P , de muchos fenómenos geofísicos están bien aproximado por una ley de potencia dependiente de la frecuencia de la forma (Agnew, 1992):

$$P(f) = P_0 f / f_0^\alpha \quad (14)$$

donde f es la frecuencia temporal, P_0 y f_0 son constantes de normalización y α es el índice espectral. Por lo general el índice espectral no es un número entero y sus valores varían entre $0 < \alpha < -3$, que es el que aparece en la mayoría de los fenómenos geofísicos (Agnew, 1992). El conocimiento del índice espectral es importante porque permite identificar el tipo de ruido presente en la serie y así poder modelarlo y tenerlo en cuenta al momento de estimar las velocidades y mejorar su precisión.

El método para la obtención del valor de α es ajustando una recta $\alpha \cdot \log(P(f)) - \log(f)$, siendo la pendiente el valor correspondiente al índice espectral. Si $-1 < \alpha < 0$ recibe el nombre de ruido gaussiano fraccionario y se suele considerar que es estacionario, es decir, sus propiedades estadísticas son invariantes con el tiempo.

Existen tres tipos de ruidos específicos que se encuentran dentro del estudio de series temporales en observaciones de estaciones de monitoreo continuo, estos son: ruido blanco, ruido de parpadeo o rosa (*flicker*) y ruido rojo, browniano o de camino aleatorio (*random walk*) cuando el índice espectral toma valores de 0, -1 y -2, respectivamente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

OFFSETS Y OUTLIERS

Una forma clara de identificar los *offsets* es mediante la determinación visual en el gráfico de las series temporales, para posteriormente recurrir a los archivos y obtener la fecha exacta del salto. La Figura 2 muestra la serie temporal de la estación CUEC afectada por un *offset* con su correspondiente corrección en todas sus componentes.

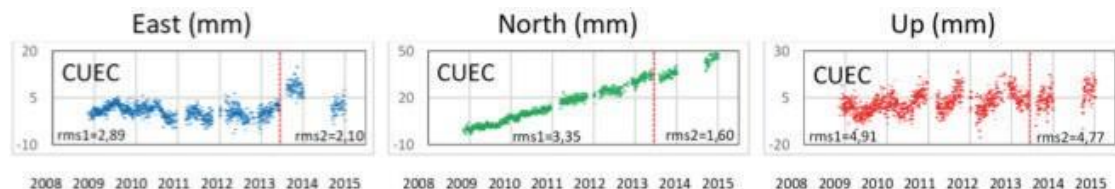


Figura 2. Estación CUEC con *offset* y *outliers*. La línea roja representa el momento en que se produjo el *offset*, se presenta el error cuadrático medio antes de la eliminación de *outliers* y corrección de *offset* (rms1) y el error cuadrático medio de los datos depurados (rms2).

La Tabla 1 muestra el valor de *offsets* para cada una de sus componentes, siendo mayor en la componente este con un valor de 10.07 mm, seguido por la componente vertical con -7.19 mm y un valor menor para la componente norte con -3.52 mm.

Tabla 1. Fecha y valor de los *offsets* detectados en la estación CUEC.

ESTACIÓN	FECHAS		VALORES DE OFF-SET		
	Primer <i>Offset</i>	Segundo <i>offset</i>	<i>e</i> (mm)	<i>n</i> (mm)	<i>u</i> (mm)
CUEC	04-jun-13	28-dic-13	10.07	-3.52	-7.19

En cuanto a los *outliers* o valores atípicos, como resultado del algoritmo de limpieza utilizado se eliminó un promedio de un 5.8% de datos (Tabla 2). Estos valores no están acordes con el porcentaje obtenido en otros estudios, como por ejemplo Nikolaidis (2002), quien alcanzó el nivel promedio de limpieza de datos de 1-4%. El método empleado por este autor se basa en la utilización de la mediana y el rango intercuartílico (IQR) como estadísticos para determinar los valores atípicos.

Tabla 2. Porcentaje de valores atípicos eliminados para cada estación.

ESTACIÓN	# datos originales	# datos depurados	% datos eliminados
CUEC	1547	1458	5.8

Los valores atípicos de las series de la estación CUEC posiblemente indican un cambio temporal, como un movimiento repentino del monumento geodésico, que pronto se recuperaría.

TENDENCIA

La tendencia de la serie con sus incertidumbres es una primera aproximación de la velocidad. La Tabla 3 muestra la estimación de la velocidad de la estación CUEC con sus respectivas precisiones. Los valores del error medio cuadrático (*rms*) y el error cuadrático medio ponderado (*wrms*), llamado repetibilidad, son valores de precisiones más realistas. Las diferencias encontradas entre estos dos parámetros no son significativas por ser los pesos semejantes entre sí. Los valores de *wrms* corresponden a la repetibilidad a largo plazo de la serie y está en el orden de 1.94 mm y 1.63 mm para la componente horizontal (*e*, *n*) y entre 4.80 mm para la componente vertical (*u*), siendo estos resultados más conservadores.

En cuanto a las incertidumbres asociadas a la estimación de las velocidades para la componente horizontal son de 0.06 mm/año y 0.05 mm/año, y para la componente vertical de 0.15mm/año.

Tabla 3. Primera aproximación de las velocidades GNSS de las estaciones REGME. Las componentes de velocidad este, norte y vertical (*Ve*, *Vn*, *Vu*) y las incertidumbres al 95% de confianza (σV_e , σV_n , σV_u) se expresan en mm/año.

Estación	Posición			<i>Ve</i> (mm/a)	<i>Vn</i> (mm/a)	<i>Vu</i> (mm/a)	σV_e	σV_n	σV_u	<i>rms_e</i>	<i>rms_n</i>	<i>rms_u</i>	<i>wrms_e</i>	<i>wrms_n</i>	<i>wrms_u</i>
	Long. (°)	Lat. (°)	Elev. (m)												
CUEC	-79.00	2.883	2631.2	-0.30	7.89	1.90	0.06	0.05	0.15	1.97	1.68	4.88	1.94	1.63	4.80

Los valores del error medio cuadrático y la repetibilidad a largo plazo corresponden al error de ajuste respecto a la recta de regresión, estas precisiones están más acordes con la repetibilidad semanal o repetibilidad a corto plazo, como lo indica la Tabla 3, pues es conocido que los valores de la repetibilidad son de 2 a 20 veces peores que la desviación estándar para la mayoría de las estaciones, siendo mayor para la componente vertical, que en nuestro caso es de aproximadamente 10 veces. En cambio, los valores de la precisión de las coordenadas están más acordes a la estimación de la incertidumbre de la tendencia. En la Tabla 3 se puede observar que la precisión de las coordenadas es prácticamente 2 veces superior que la incertidumbre de la tendencia.

La solución final obtenida tiene asociado una precisión procedente de la matriz de varianza-covarianza del ajuste final de la solución diaria en el procesado de los datos. Estas precisiones son muy optimistas y no reflejan la verdadera dispersión debido a los errores que no se toman en cuenta en los diferentes modelos usados a lo largo del procesado y a los errores producidos por aquellas causas que no se pueden modelar (García, 2016). Con respecto a la incertidumbre de la tendencia, ésta depende básicamente del número de observaciones de la serie.

La Figura 3 muestra la serie temporal de la estación CUEC con la tendencia o la evolución a largo plazo, donde se indican sus valores y precisiones correspondientes.

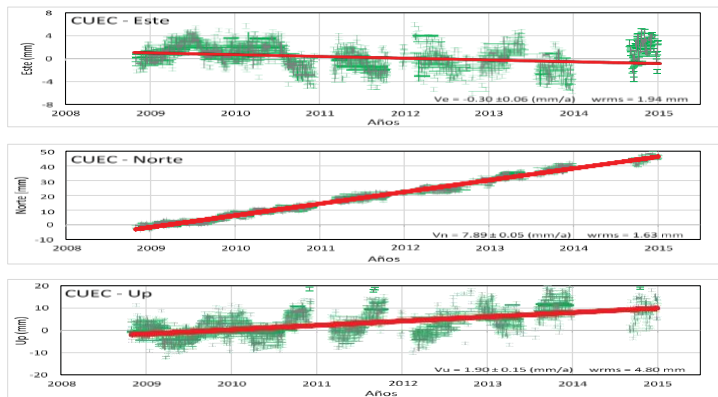


Figura 3. Serie temporal de la estación CUEC en sus tres componentes (e, n, u). Se muestra la tendencia (línea roja) en cada componente, con sus valores e incertidumbres.

ESTACIONALIDAD

La Figura 4 muestra los periodos predominantes de la estación CUEC donde se puede observar el pico que presenta en el periodo estacional anual (~365 días) en todas sus componentes.

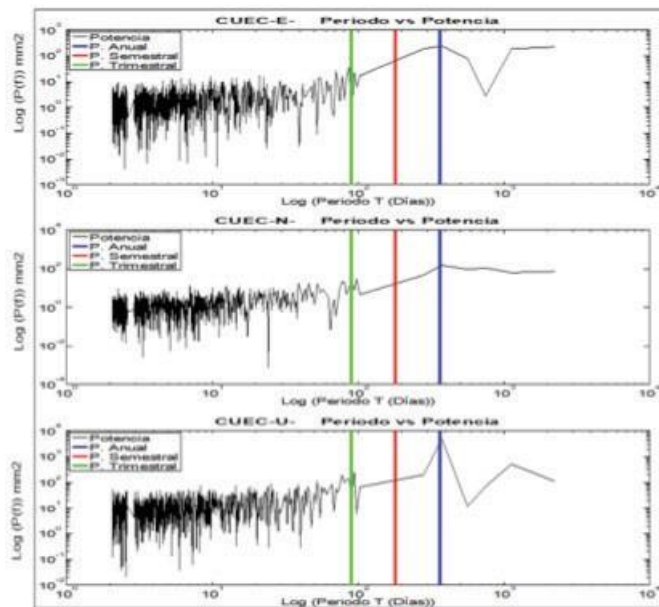


Figura 4. Periodos predominantes de la estación CUEC. Los valores en el eje de las abscisas corresponden al periodo (días) y el eje de las ordenadas al espectro de potencia (mm^2). Los dos ejes se encuentran en escala logarítmica.

La Tabla 4 muestra las frecuencias y potencias de observaciones de las series temporales. Para la estación CUEC se obtienen valores de potencia de 245.32 mm², 163.17 mm² y 4929.50 mm² para la componente este, norte y vertical, respectivamente. Estos valores son proporcionales a la amplitud de la onda de la serie, es decir a mayor potencia mayor amplitud de onda.

Tabla 4. Frecuencia y potencia de observaciones de la estación CUEC.

EST.	Este			Norte			Up		
	Frec. (1/día)	P(f) (mm ²)	Amp. (mm)	Frec. (1/día)	P(f) (mm ²)	Amp. (mm)	Frec. (1/día)	P(f) (mm ²)	Amp. (mm)
CUEC	0.0027	245.32	0.81	0.0027	163.17	0.66	0.0027	4929.5	3.66

La Figura 5 representa de forma gráfica la estacionalidad en la estación CUEC donde se observa claramente la mayor amplitud de la componente vertical con respecto a las componentes horizontales y la estacionalidad anual como periodo predominante.

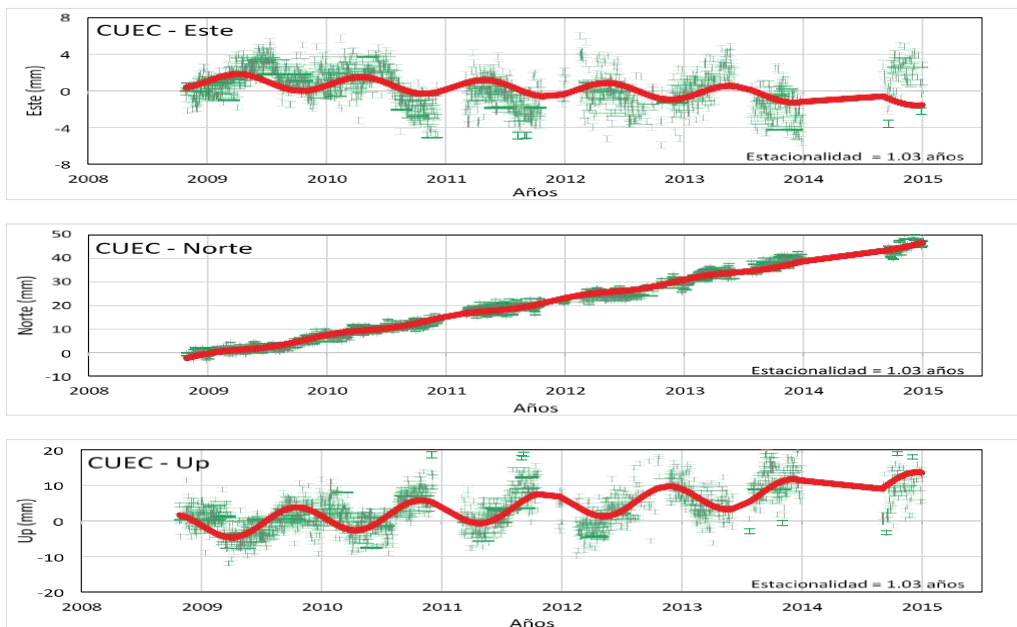


Figura 5. Serie temporal de la estación CUEC en sus tres componentes (*e*, *n*, *u*). Se muestra la estacionalidad (línea roja) en cada componente, con sus valores.

La Tabla 5 muestra los periodos predominantes de la estación CUEC. Se puede observar que los periodos estacionales anuales están presentes en todas sus componentes. Estudios realizados por Amiri-Simkooei et al. (2007) en series temporales de 10 años, con registros diarios de un conjunto de 71 estaciones con distribución global concluyeron que, para cualquier modelo de ruido, los componentes horizontales tienen menor amplitud de ruido que el componente vertical en el orden de un factor entre 2 y 4.

Tabla 5. Periodos fundamentales y tiempos de observación de la estación CUEC.

ESTA- CIÓN	Este		Norte		Vertical		Tiempo de observa- ción
	1er Periodo Días	1er Periodo Años	1er Periodo Días	1er Periodo Años	1er Periodo Días	1er Pe- riodo Años	Años
	CUEC	376.00	1.03	376.00	1.03	376.00	

Amiri-Simkooei et al. (2007) clasifican las estaciones en tres categorías de acuerdo a su periodicidad:

Movimiento periódico del suelo no modelado: En esta categoría se encuentran las series con estacionalidad anual y semianual, se refiere a que el sitio se está moviendo periódicamente (Amiri-Simkooei et al., 2007). Las señales anuales y semianuales, por ejemplo, pueden ser especificadas en esta categoría.

Variación periódica de las series temporales estimadas: Corresponden a estaciones que aparentemente se mueven en forma periódica. Los errores sistemáticos periódicos no modulados (por ejemplo, las mareas) presentes en una estación producirán efectos sistemáticos periódicos más espurios en las series temporales resultantes (Stewart et al., 2005; Amiri-Simkooei et al., 2007).

Las variaciones periódicas que se encuentran correlacionadas con los años de observación: En esta categoría se encuentran las estaciones que tiene como primer periodo fundamental a la mitad del tiempo de observación o al tiempo total de observación.

RUIDO

El método utilizado para obtener los diferentes tipos de ruido ha sido el análisis espectral para analizar los datos en el dominio de la frecuencia. Se ha utilizado la técnica propuesta por Lomb (1976) para obtener el espectro de potencia en series que no están igualmente espaciadas y luego ajustar a una recta el logaritmo del espectro, donde el valor del índice espectral corresponde a la pendiente de la recta.

Los valores del índice espectral obtenidos para la estación CUEC para sus tres componentes se encontraron en el rango (Tabla 6) que corresponden al ruido gaussiano fraccionario, considerado estacionario, es decir se trata de ruido sin dependencia con el tiempo.

Tabla 6. Valores de índice espectral de la estación CUEC.

STA- TION	Este, α	Norte, α	Up, α
CUEC	-0.46 ± 0.09	-0.55 ± 0.09	-0.45 ± 0.09

La Figura 6 muestra los valores de los índices espectrales para la estación CUEC en cada una de sus componentes, sus valores corresponden a ruido blanco fraccionario.

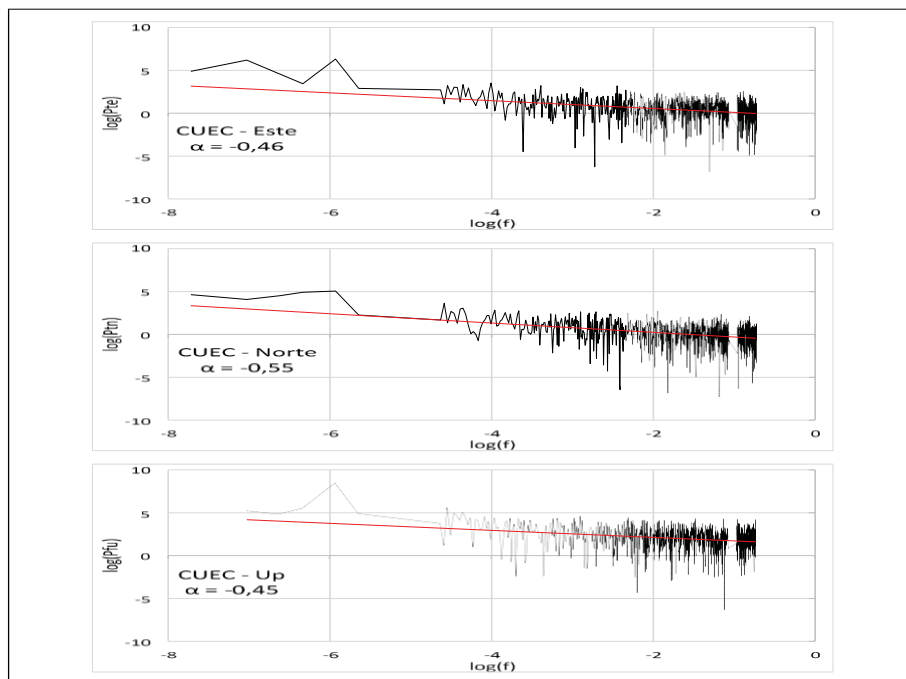


Figura 6. Valores de los índices espectrales para la estación CUEC en cada una de sus componentes, sus valores corresponden a ruido blanco fraccionario. Los valores de ambos ejes se encuentran en escala logarítmica. El eje de las abscisas corresponde al logaritmo de las frecuencias (día^{-1}) y el eje de las ordenadas al logaritmo del espectro de potencia (mm^2).

Varios autores sugieren que el ruido blanco y ruido rosa dominan el espectro de ruido de coordenadas de estaciones de monitoreo continuo para las series temporales y en una pequeña cantidad el ruido browniano (Zhang et al., 1997; Mao et al., 1999; Williams, 2003b; Williams et al., 2004). Sin embargo, nuestros resultados arrojan ruido gaussiano fraccionario (índice espectral entre 0 y -1) en todas las componentes. Se esperaba encontrar al menos ruido rosa, puesto que la serie tiene periodos de observación de 6 años. La serie de tiempo de las estaciones de monitoreo continuo tienen un comportamiento no lineal complejo y, por lo tanto, el modelo estadístico de la serie de tiempo es más complicado que el simple ruido blanco. Por tanto, suponemos que el valor de ruido obtenido no refleja el verdadero tipo de ruido existente, debido principalmente a los *gaps* encontrados en cada serie. La estación CUEC inicia sus operaciones en los años 2008 pero tienen un 34.69% de pérdida de datos. Los índices espectrales determinados por Zhang et al. (1997) a partir del análisis de 10 estaciones con mediciones diarias en 1.6 años de observación varían entre -0.05 y -0.52 con un promedio de -0.40. Se ha demostrado que para tiempos de observación cortos el ruido blanco es la contribución de ruido dominante, mientras que para las observaciones más largas es el ruido browniano (Hackl et al., 2011).

CONCLUSIONES

Se han aplicado dos métodos de eliminación de valores atípicos: primero mediante la aplicación de los procesos integrados que detectan los valores atípicos de dos observaciones consecutivas, algunos de estos valores generalmente no son visibles en la serie porque se encuentran dentro de la tendencia de la misma y luego considerando la tendencia de la serie y eliminando todos aquellos que se encuentren fuera del rango establecido, generalmente tres desviaciones estándar. Para nuestra estación en estudio se detectó un porcentaje del 5.8% de eliminación de datos, considerado alto si se compara con Nikolaidis (2002), quien alcanzó el nivel promedio de depuración de datos de 1 a 4%.

La detección y corrección de los *offsets*, así como la eliminación de los valores atípicos encontrados en las series influyen de manera importante en la determinación de los parámetros en estudio, en nuestro caso la estacionalidad, tendencia y tipo de ruido.

La estación CUEC es una estación de monitoreo continuo perteneciente a la categoría de movimiento periódico no modelado de acuerdo a la clasificación de Amiri-Simkooei et al., 2007, por tener una estacionalidad anual.

De acuerdo a varios autores descritos anteriormente el ruido predominante para estaciones de monitoreo continuo es ruido rosa. Sin embargo, nuestros resultados arrojan ruido gaussiano fraccionario (índice espectral entre 0 y -1), se esperaba encontrar al menos ruido rosa, puesto que las series de la estación CUEC tiene un periodo de observación de aproximadamente 6 años. Las series de tiempo de las estaciones de monitoreo continuo tienen un comportamiento no lineal complejo y, por lo tanto, el modelo estadístico de la serie de tiempo es más complejo que el simple ruido blanco. Por ende, suponemos que el valor de ruido obtenido no refleja el verdadero tipo de ruido existente, debido principalmente a los gaps encontrados en la serie (34.69%). Esta es una desventaja importante en nuestro estudio, lo que significa que la longitud total de la serie no es lo suficientemente larga o está con demasiados valores perdidos dentro de ella que no nos permiten detectar algunos modelos de ruido específicos sobre otros ruidos. Como resultado los parámetros en estudio como la tendencia, estacionalidad, tipo de ruido y velocidades finales pueden estar sesgados.

REFERENCIAS

- Agnew, D. C. (1992). The time-domain behavior of power-law noises. *Geophysical research letters*, 19(4), 333-336.
- Amiri Simkooei, A. R., Tiberius, C. C. J. M., & Teunissen, S. P. (2007). Assessment of noise in GPS coordinate time series: methodology and results. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 112(B7). DOI: 10.1029/2006JB004913.
- Blewitt, G., & Lavallée, D. (2002). Effect of annual signals on geodetic velocity. *Journal of*

- Geophysical Research: Solid Earth, 107(B7). DOI: 10.1029/2001JB000570.
- Bos, M. S., Fernandes, R. M. S., Williams, S. D. P., & Bastos, L. (2008). Fast error analysis of continuous GPS observations. *Journal of Geodesy*, 82(3), 157-166. DOI: 10.1007/s00190-007-0165-x.
- García, L., (2016) Análisis de series temporales en estaciones permanentes GPS. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Ciencias Matemáticas. Madrid, España.
- Drewes, H., O. (2014). Curso Sistemas de Referencia. Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut – DGFI, International Association of Geodesy – IAG, Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas – SIRGAS.
- Hackl, M., Malservisi, R., Hugentobler, U., & Wonnacott, R. (2011). Estimation of velocity uncertainties from GPS time series: Examples from the analysis of the South African TrigNet network. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 116(B11). DOI: 10.1029/2010JB008142.
- Johnson, H. O., & Agnew, D. C. (1995). Monument motion and measurements of crustal velocities. *Geophysical Research Letters*, 22(21), 2905-2908.
- Lomb, N. R. (1976). Least-squares frequency analysis of unequally spaced data. *Astrophysics and space science*, 39(2), 447-462.
- Mao, A., Harrison, C. G., & Dixon, T. H. (1999). Noise in GPS coordinate time series. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 104(B2), 2797-2816.
- Nikolaidis, R (2002). Observation of Geodetic and Seismic Deformation with the Global Positioning System. Ph.D. thesis, University of California.
- Peña, D. (2010). Análisis de series temporales. Madrid – España. Alianza Editorial S.A.
- Press, W. H., Teukolsky, S. A., Vetterling, W. T., & Flannery, B. P. (2007). *Numerical recipes third edition: the art of scientific computing*. Cambridge University Press, 32, 10013-2473.
- Scargle, J. D. (1982). Studies in astronomical time series analysis. II-Statistical aspects of spectral analysis of unevenly spaced data. *The Astrophysical Journal*, 263, 835-853.
- Stewart, M. P., N. T. Penna, and D. D. Lichti (2005), Investigating the propagation mechanism of unmodelled systematic errors on coordinate time series estimated using least squares, *J. Geod.*, 79, 479 – 489, doi:10.1007/s00190-005-0478-6.
- Williams, S. D. (2003b). Offsets in global positioning system time series. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 108(B6).
- Williams, S. D., Bock, Y., Fang, P., Jamason, P., Nikolaidis, R. M., Prawirodirdjo, L., Miller, M. & Johnson, D. J. (2004). Error analysis of continuous GPS position time series. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 109(B3).
- Wolf, P. R., & Ghilani, C. D. (1997). *Adjustment computations: statistics and least squares in surveying and GIS*. Wiley-Interscience.
- Zhang, J., Bock, Y., Johnson, H., Fang, P., Williams, S., Genrich, J.,... & Behr, J. (1997). Southern California Permanent GPS Geodetic Array: Error analysis of daily position estimates and site velocities. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 102(B8), 18035-18055. DOI: 10.1029/97JB01380.

ESPECIFICACIONES GENERALES DEL FORMATO PARA LOS AUTORES

Todo artículo sometido debe ser original y se enviará al Comité, quién decidirá la aceptación o no para la publicación en base a la revisión de pares académicos conformados por especialistas del área.

Idioma: Los artículos pueden ser escritos en español, inglés, o portugués

Extensión: La extensión de los artículos puede ser de hasta 15 páginas. Deberán ser escritos en papel tamaño Ejecutivo (18.41x26.67 cm), en procesador de palabras, a simple espacio, con el tipo de letra TIMES NEW ROMAN, dejando los siguientes márgenes:

- Arriba 2.5 cm - Izquierdo 2cm - Abajo 2.5 cm -Derecho 1.5 cm

Título: El título deberá contener máximo 20 palabras, con 14 ptos, en mayúsculas, negrito y justificado;

Autor(es) y Afiliación: Nombre y Apellido en 10 ptos, mayúsculas y negrito. La afiliación en 10 ptos, y tendrá el nombre de la institución en mayúsculas, seguido de la dirección de la institución en minúsculas, y el correo electrónico del autor(es) en minúsculas

Resumen: Cada artículo debe ser precedido por un resumen corto (no debe exceder de 500 palabras), el cual debe permitir al lector tener una idea de la importancia y el campo que abarca el artículo. El resumen deberá presentarse en español. La palabra RESUMEN debe ser de 10 ptos, centrado, mayúsculas y con negrito. El cuerpo del resumen es de 10 ptos sin negrito y justifi En caso que el artículo sea en Inglés no es necesario colocar el resumen, o el resumo. En caso sea en portugués o español se debe colocar el abstract.

Abstract: Igual que resumen en Inglés.

Resumo: Igual que resumen pero en portugués.

Palabras clave (Key words): un máximo de 10 palabras.

Páginas del texto: El texto se escribirá con TIMES NEW ROMAN 12 ptos. Los títulos de capítulos de primer orden, serán escritos con mayúsculas, negrito y justifi Los de segundo orden con mayúsculas, sin negrito y justifi Los de tercer orden, sin negrito, justifi y las primeras letras con mayúsculas. Después de cada título dejar un espacio.

Ecuaciones: Se debe dar especial atención a la ubicación de índices y subíndices con el propósito de evitar errores. Las ecuaciones deben ser numeradas secuencialmente en paréntesis en el lado derecho de la página. Se debe dar especial atención a las ecuaciones a fin de que los símbolos sean claramente identificados.

Tablas: El título debe ser colocado en la parte superior y la primera letra con mayúscula (11 ptos), debe estar numerada secuencialmente.

Figuras, gráficos, imágenes: Sólo podrán incluirse ilustraciones originales (fotografías de alto contraste, gráficas, mapas, dibujos, figuras, etc.) listos para impresión. El título debe ser colocado en la parte inferior y la primera letra con mayúscula (11 ptos), debe estar numerada secuencialmente.

Encabezados: No se utilizarán encabezados.

Numeración: No se enumerarán las páginas.

URL: Las URL que se utilicen en las referencias, se deberán comprobar que sean válidas al momento de enviar la ponencia.

Expresión de Códigos de programas: Código fuente o comandos de programa en el texto se establecen normalmente en fuente Courier New, 9 ptos.

Citas: Para citas de texto colocar Apellido del autor coma y año (Ferreira, 2013), en caso de dos autores (Freire y Freitas, 2015), para más de dos autores usar et al. (Criollo et al., 2014).

Agradecimientos: En caso de existir colocarlos a 11 ptos con negritas y mayúsculas

Referencias: Todas las referencias se listarán en orden alfabético. Deben ser citadas de la siguiente forma con 11 ptos:

- De un libro: Autor apellido e inicial del nombre, año de publicación en parentesis, seguido del título con mayúsculas las primeras letras, editorial, edición, lugar de publicación. Ejemplo:

Hernández, E., Rojas, H., Ramírez, J., y González, R. (1998). Algunos Aportes De La Psicología Al Estudio De Los Valores. Pirámide. (4a ed.). Madrid, España

- De una revista: Autor apellido e inicial del nombre, año de publicación, seguido del nombre del artículo, nombre de la revista con mayúsculas la primera letra, volumen, número de revista, páginas del artículo separado por guion. Ejemplo:

Mora, H., y Domínguez, L. (2010). La psicología cognoscitiva y su relación con las ciencias del cerebro. Actualidades en Ciencias Cognoscitivas, 14, 1, 330- 337.

- De fuentes electrónicas, Autor apellido(s) e inicial(es) del nombre, año de publicación. seguido del título con mayúsculas las primeras letras, dirección en Internet, fecha de acceso,. Ejemplo:

Magallón, M. (1993). Filosofía Política De La Educación. http://bidi.unam.mx/libroe_2007/0638679/Index.html. Ingresado: 5 de febrero de 2009

Sólo podrán incluirse ilustraciones originales (fotografías de alto contraste, gráficas, mapas, dibujos, figuras, etc.) listos para impresión. Debe adjuntarse una lista completa de ilustraciones. Cada ilustración será numerada y acompañada de una leyenda de identificación e indicación de su ubicación exacta dentro del texto; adicionalmente deberá ser suavemente etiquetada en la parte posterior a fin de identificar claramente la parte superior e inferior y el número que le corresponde. Las figuras, fotos, imágenes, y otros, cuyos archivos deberán ser generadas con una resolución mínima de 600 pixeles en formato .tiff, recomendamos comprimirlas para su envío (formato .zip).

