

Dynamic model and geospatial study for soil loss in the ancestral community of La Toglla

David Vinicio Carrera Villacrés^{1,2}, César Alberto Leiva González¹, María Belén Zapata Ramos¹, Esteban Adrián Aguirre Rosales¹, Mayleen Fernanda Díaz Valarezo¹, Luis Francisco Galarraga Benavidez¹, Andrés Sebastián Jaramillo Bravo¹

¹ Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción. Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente - Av. General Rumiñahui s/n, Sangolquí, Ecuador, dvcarrera@espe.edu.ec

² Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ingeniería en Geología Minas Petróleos y Ambiental FIGEMPA. Carrera de Ambiental. Av. Universitaria, Quito, Ecuador, dvcarrera@uce.edu.ec
Grupo de Investigación en Contaminación Ambiental (GICA)

Abstract– The ancestral community of La Toglla is located in the parish of Guangopolo which has a steep slope, which together with the rainy season and its poor infiltration capacity increases its erosion problem, generating fertility problems and continuous soil deterioration ; therefore, the objectives of the present work were to perform the stratified random sampling based on the elaboration of the base cartography which corresponds to the orthophoto of the plot to be studied, in turn by means of the infiltration rate of the soil, humidity variable and chemical physical parameters It is intended to perform dynamic modeling for soil loss and ordinary geo-co-Kriging statistical geography applying Geographic information systems, thus defining the most critical areas within the plot of the ancestral community of La Toglla. To determine the infiltration rate in the soil it was necessary to use the Porchet method, the calculation of the percentage of humidity in which the method and norm Gravimetry NOM-021-AS5 was applied, the pH and electrical conductivity was based on the method of pH meter HANNA / APHA-4500 HB - conductivity meter HANNA / APHA - 2510.B respectively; finally, for the evaporated and calcined dry residue, the methodology presented in NOM-AA-34-2001 referring to the 1: 5 extract of the 51 samples that were obtained in the previously determined places with stratified random sampling was used. the behavior of the variables through statistical geo modeling where the most affected area was located within the fields of study applying Ordinary Co-Kriging. Finally, the dynamic model of soil loss was considered in which the factors of the USLE formula were included, resulting in an approximate loss of 2 ton / year. It was concluded that thanks to the amount of data it can be modeled by applying Ordinary Co-Kriging having results close to reality, for which reason, the strip of maximum affectionation in the Toglla fields was the same as those corresponding to the slope area medium - lower this by the deficit of organic matter and nutrient absorption

Keywords– Modeling, Ordinary, Vensim, Co-Kriging location.

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.156>
ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

Modelo dinámico y estudio geoespacial para la pérdida de suelos en la comunidad ancestral La Toglla

David Vinicio Carrera Villacrés^{1,2}, César Alberto Leiva González¹, María Belén Zapata Ramos¹, Esteban Adrián Aguirre Rosales¹, Mayleen Fernanda Díaz Valarezo¹, Luis Francisco Galarraga Benavidez¹, Andrés Sebastián Jaramillo Bravo¹

¹ Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción. Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente - Av. General Rumiñahui s/n, Sangolquí, Ecuador, dvcarrera@espe.edu.ec

² Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ingeniería en Geología Minas Petróleos y Ambiental FIGEMPA. Carrera de Ambiental. Av. Universitaria, Quito, Ecuador, dvcarrera@uce.edu.ec
Grupo de Investigación en Contaminación Ambiental (GICA)

Resumen— La comunidad ancestral La Toglla se encuentra ubicada en la parroquia de Guangopolo, cantón Quito, la cual presenta una pendiente escarpada, que en conjunto con la época de lluvia y su deficiente capacidad de infiltración aumenta su problemática de erosión, generando problemas de fertilidad y un continuo deterioro del suelo. Por consiguiente, el objetivo del presente trabajo fue realizar el modelamiento dinámico de pérdida de suelo y geoestadístico co-Kriging Ordinario para la afectación del mismo, partiendo de la elaboración de cartografía base con la ortofoto de la parcela a estudiar, se realizó el muestreo aleatorio estratificado de 51 muestras para posteriormente en el extracto 1:5 calcular la tasa de infiltración mediante el método de Porchet, el porcentaje de humedad en el que se aplicó el método y norma Gravimetría NOM-021-AS5, los parámetros físico-químicos del suelo que se basó en el método de pH metro HANNA/ APHA-4500 HB - conductímetro HANNA / APHA – 2510.B, mientras que para el residuo seco evaporado y calcinado se utilizó la metodología presentada en la NOM-AA-34-2001.

Con ayuda de los Sistemas de Información Geográfica se modeló las variables analizadas definiendo así las zonas más afectadas dentro de la parcela en la comunidad ancestral la Toglla. Finalmente, se planteó el modelo dinámico de pérdida de suelo en la que se incluyeron los factores de la fórmula USLE dando como resultado una pérdida aproximada de 2 ton/año. Se concluyó que gracias a la cantidad de datos se puede modelar parámetros físico – químicos del suelo aplicando co-Kriging Ordinario teniendo resultados cercanos a la realidad, por lo cual, se tuvo la faja de máxima afectación en los campos de la Toglla los mismos que corresponden a la zona de pendiente media - baja esto por el déficit de materia orgánica y de absorción de nutrientes.

Palabras Clave-- Modelamiento, Co-Kriging Ordinario, localización, Vensim.

I. ANTECEDENTES

Un primer trabajo de estudio de suelos corresponde al “Estudio cuantitativo de la erosión con fines de protección de los suelos: Las parcelas de Alangasí e Ilaló” [1] en el que realizaron parcelas de escurrimiento, tomando muestras aleatorias de manera mensual en tres años, donde el coeficiente de escurrimiento promedio fue del 20%, lo cual muestra la problemática de esta parte del sector.

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.156>
ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

Siendo relevante para el presente trabajo de investigación ya que se relacionan varias variables como intensidad-tiempo, sedimentos-lluvia, para la elaboración del modelo dinámico.

Otro trabajo importante es el “Modelo Dinámico para la gestión de los recursos hídricos y la aptitud del agua para el riego de la garganta Togllahuayco en la microcuenca Guangopolo” [2] en el cual se indica que la gestión del agua es uno de los principios fundamentales para la gestión integral, donde se implementa un modelo dinámico de la gestión del agua, por lo que es una base importante para poder manejar las variables, sus relaciones y las unidades de una manera óptima y correcta para modelo de pérdida de suelos.

Referente al modelamiento geoespacial para predicción de datos es la “Aplicación de la geo estadística al estudio de las propiedades del suelo” [3] en este definen a la geo estadística como una herramienta primordial en los estudios de suelos, ya que en función de una variable que se quiera estudiar se pueden predecir valores a lo largo de toda una extensión de terreno partiendo de un número suficiente de muestras.

El trabajo más actual es la “Caracterización Físico-Química y estudio de la infiltración para la remediación del suelo en la Toglla-Ecuador” [4]; cálculo de parámetros: humedad, densidad real y aparente, porosidad, pH, conductividad eléctrica, residuo seco evaporado y calcinado, concentración de nitratos y fosfatos en extractos de suelo, por ello el presente trabajo de investigación es de vital importancia ya que se realizó un estudio geo estadístico en la zona de análisis, y se pretende realizar una comparación para observar la diferencia cuando se trabaja con un número mayor de muestras, únicamente evaluado para el extracto 1:5.

II. INTRODUCCIÓN

El Ecuador presenta primordialmente variedad y riqueza en recursos naturales renovables y en particular el suelo, por esto es considerado como un país, distinguidamente, agrícola; en la actualidad alrededor del 50% del territorio ecuatoriano se ve afectado por problemas de procesos erosivos; se considera que la erosión es el principal aspecto de degradación de los recursos naturales [5]. Los desafíos que enfrenta la región andina son

conservar suelos idóneos para la agricultura y reducir la erosión; el pasado volcánico dentro de esta región ha originado formaciones edafológicas con características que imposibilitan su cultivo [6].

Para estudiar la problemática del suelo en la Toglla se usó el muestreo aleatorio estratificado, este puede ser uno de los más costosos pero también tiene uno de los mayores índices de exactitud en los análisis y predicción para estudio de suelos [7], debido a la cantidad de muestras en el momento que se realiza la caracterización físico-química se aplicó únicamente el análisis para el extracto de suelo 1:5, esto debido al tiempo de análisis de muestras; sin embargo es necesario aplicar las mediciones en tres extractos 1:1, 1:5 y 1:10.

La humedad, es decir el contenido de agua del suelo es expresado como una relación entre la masa de agua contenida en una muestra de suelo y la masa seca de la muestra de suelo o el volumen original de la muestra. El método gravimétrico es el único método directo, consiste en tomar una muestra de suelo, pesarla antes y después de su desecado, la muestra se considera seca cuando su peso permanece constante a una temperatura de 105°C [8].

La infiltración es un proceso en el que el agua es el principal factor penetrando la superficie del suelo, está directamente relacionada con la época del año [9]. El suelo de La Toglla se ve afectado por este problema, su principal producción es el pastoreo libre de ganado, el principal problema que afecta al sector es la erosión y una reducción en la fertilidad de los suelos [10]. Por este motivo se debe estudiar esta problemática, por lo que es necesario contar con un plan de muestreo adecuado, para una correcta extracción de las muestras.

Por consiguiente, el objetivo del presente trabajo fue realizar el modelamiento dinámico de pérdida de suelo y geoestadístico co-Kriging Ordinario para la afectación del mismo, partiendo de la elaboración de cartografía base con la ortofoto de la parcela a estudiar, se realizó el muestreo aleatorio estratificado de 51 muestras para posteriormente en el extracto 1:5 calcular la tasa de infiltración, la humedad y los parámetros físico-químicos del suelo. Con ayuda de los Sistemas de Información Geográfica se modeló las variables analizadas definiendo así las zonas más afectadas dentro de la parcela en la comunidad ancestral la Toglla y mediante el software Vensim se obtuvo el Modelo Dinámico de pérdida de suelos.

III. MÉTODOS Y MATERIALES

A. Zona de Estudio

La zona de estudio corresponde a la parroquia rural de Guangopolo, perteneciente al cantón Quito, provincia de Pichincha. Dentro de la cual se encuentra localizada la comuna de la Toglla [6]. La comunidad ancestral la Toglla se encuentra ubicado espacialmente a 0°15'31.06'' latitud Sur, 78°25'56.54'' longitud Oeste, que comprende una superficie de 5 hectáreas, como se presenta en la Fig 1.

B. Diseño Experimental

Se divide la población en grupos en función de un carácter determinado y después se muestrea cada grupo aleatoriamente, para obtener la parte proporcional de la muestra; este método se aplica para evitar que por azar que algún grupo de especie este menos representado que los otros.

Este muestreo estratificado tiene interés cuando la característica en cuestión puede estar relacionada con la variable que queremos estudiar [11].

Una vez obtenida la cartografía base de estudios previos se procedió a dividir el terreno en tres zonas para sus correspondientes extractos, estas según su pendiente en alta, media y baja. En las cuales por cada zona se propuso a ingresar un número considerable de muestras para finalmente obtener las 35 propuestas en estudio. La distribución fue realizada de la siguiente manera como lo muestra la Fig 1.

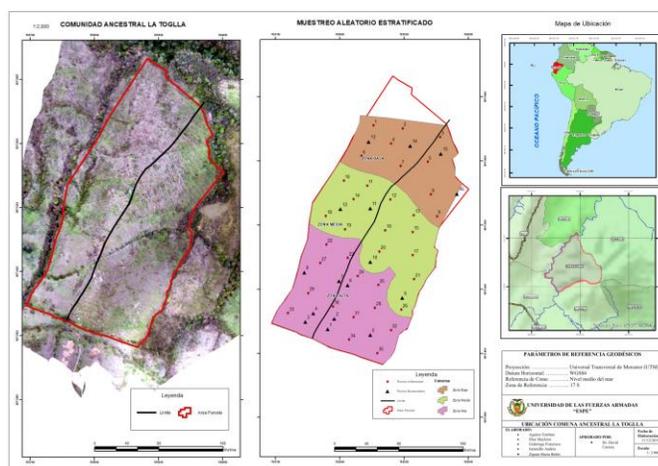


Fig. 1 Zona de Estudio la Toglla
Fuente: Autores, 2019

C. Procedimiento

Para la caracterización del suelo se tomaron 16 muestras del estudio previo de “Caracterización físico-química y estudio de infiltración para la remediación de suelos en la TOGLLA-ECUADOR” [4], al cual se le añadieron 35 muestras del estudio actual de 0-20 cm de profundidad como lo establece el TULSMA [12]. Las muestras se extrajeron en cuanto a la subdivisión por pendiente en tres franjas: alta, media y baja con ayuda de la cartografía previamente obtenida de la zona. Una vez obtenidas las 51 muestras se realizó el extracto en proporción 1:5 debido a la aglomeración de muestras y falta de tiempo, sin embargo, su dilución es óptima para el presente estudio.

La siguiente tabla presenta parámetros y/o elementos medidos para el estudio con su respectivo método y referencia aplicada.

$$Dap = \frac{50}{Volumen} \quad (4)$$

TABLA 1
MÉTODOS APLICADOS

Parámetro/elemento	Método/Referencia
Ph	pH metro HANNA/ APHA-4500 HB
Conductividad eléctrica (CE)	Conductivímetro HANNA / APHA – 2510.B
Densidad Real	Picnómetro / NOM-021-RECNAT-2000
Densidad Aparente	Probeta/ Gandoy, 1991 [13]
Residuo Seco Evaporado (RSE)	Gravimetría mediante estufa / NOM-AA-341981
Residuo Seco Calcinado (RSC)	Gravimetría mediante mufla / NOM-AA-341981
Humedad	Gravimetría mediante estufa / NOM-021-AS5
Tasa de Infiltración	Método de porchet

Fuente: Autores, 2020

Para el análisis de la tasa de infiltración se aplicó la siguiente ecuación [14]

$$f = \frac{R}{2(t_2 - t_1)} * \ln \left(\frac{2h_1 + R}{2h_2 + R} \right) \quad (1)$$

Donde:

R: Radio del hoyo cilíndrico, t_1 : tiempo inicio, t_2 : tiempo fin, h_1 : altura inicial, h_2 : altura final.

Referente a la tasa de humedad se aplicó la gravimetría mediante estufa donde se considera como suelo seco aquél secado a la estufa a 105°C hasta obtener un peso constante [15], se aplica mediante la fórmula mostrada a continuación:

$$\theta_g = \frac{(P_B + P_{sh}) - (P_B + P_{ss})}{(P_B + P_{ss}) - P_B} * 100 \quad (2)$$

Donde:

P_B : Peso del bote. (g), $(P_B + P_{sh})$: Peso del bote más peso del suelo húmedo. (g), $(P_B + P_{ss})$: Peso del bote más peso del suelo seco. (g)

La caracterización lleva consigo los parámetros físico – químicos por lo que con la finalidad de optimizar el tiempo por medida de cada muestra obtenida en la primera fase de muestreo se precedió a elaborar el extracto 1:5, analizando así la densidad real con el método del picnómetro acompañado de la fórmula:

$$Dr = \frac{ps}{Vs} \quad (3)$$

Donde:

ps: Peso de las partículas del suelo, Vs: Peso del agua desplazada por la partícula.

La densidad aparente refiriéndose a la probeta de Gandoy se aplica la siguiente fórmula.

El pH y conductividad eléctrica aplicaron el método presentado en la Tabla 1 las mismas que requieren de una calibración previa en buffers de 4, 7, 10 y solución de conductivímetro, respectivamente.

La obtención de materia orgánica e inorgánica es fundamental para analizar la cantidad de riqueza que posee el suelo, es así que se requiere del cálculo del residuo seco evaporado aplicando la siguiente formula en la que se calcula la concentración de materia orgánica e inorgánica.

$$RCE(ppm) = \frac{(peso_{cápsula\ residuo} - peso_{cápsula})}{25} * 10^6 \quad (5)$$

Por otro lado, el residuo seco calcinado obtiene la concentración de materia inorgánica con la siguiente fórmula:

$$RSC(ppm) = \frac{(peso_{cápsula\ residuo\ calcinado} - peso_{cápsula})}{25} * 10^6 \quad (6)$$

$$ST(organico) = RCE - RSC \quad (7)$$

Una vez obtenidos los parámetros, se procede a modelar mediante el método de predicción espacial co-kriging ordinario el cual consiste en hacer predicción espacial de una variable con base en su información y en la de algunas variables auxiliares correlacionadas espacialmente con ella. Una ventaja del método co-kriging Ordinario frente al kriging consiste en que cuando la variable auxiliar está ampliamente correlacionada con la variable de interés se puede obtener una disminución en la varianza de predicción, no obstante, dicha variable tenga menor densidad de muestreo. En situaciones en las que la variable objetivo tiene costos altos de muestreo se recomienda la aplicación de esta metodología [16].

El modelo dinámico se realizó con el software Vensim, que es una herramienta visual de modelización que permite conceptualizar, documentar, simular, analizar y optimizar modelos de dinámica de sistemas, la cual realiza presentaciones de una forma simple y flexible de construir modelos de simulación mediante diagramas de influencias y diagramas de Forrester [17].

El Diagrama Causa – Efecto recoge los elementos clave del sistema y las relaciones entre ellos, las diferentes relaciones están representadas por flechas entre las variables afectadas por ellas.

Los bucles positivos responden a una relación directamente proporcional mientras un bucle negativo responde a una relación inversamente proporcional [18]

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 2 se tiene los parámetros que corresponden a la caracterización físico – química del suelo analizados en el extracto 1:5, los cuales serán modelados posteriormente para obtener la zona de mayor afectación, erosión y pérdida del suelo presenta la comunidad ancestral de la Toglla.

TABLA 2
CARACTERIZACIÓN DEL SUELO

N ^a Muestra	COORDENADAS UTM			%	EXTRACTO 1:5							
	Este	Norte	Elevación		HUMEDAD	Densidad Aparente [g/ml]	Densidad Real [g/ml]	pH	Conductividad [dS/m]	RSE [mg/L]	RSC [mg/L]	% C.I.
1	785881.881	9971644.331	2546.462	32.877	1.190	2.191	6.090	0.937	560.00	400.00	0.28	0.08
2	785918.446	9971640.665	2544.849	28.815	1.021	2.158	6.030	0.649	440.00	280.00	0.22	0.08
3	785965.227	9971629.739	2540.678	29.119	1.250	2.260	5.670	0.962	520.00	400.00	0.26	0.06
4	785904.030	9971621.935	2545.949	25.985	1.220	2.381	5.680	0.423	320.00	200.00	0.16	0.06
5	785949.706	9971598.924	2541.694	30.441	1.220	2.311	5.700	0.756	560.00	400.00	0.28	0.08
6	785867.169	9971606.234	2550.865	42.605	1.163	2.121	5.040	0.887	440.00	320.00	0.22	0.06
7	785915.838	9971593.901	2551.358	30.508	1.190	2.187	5.830	0.805	560.00	400.00	0.28	0.08
8	785953.522	9971558.318	2554.366	30.148	1.284	2.349	7.870	0.392	188.00	120.00	0.09	0.15
9	785961.052	9971531.233	2560.759	29.613	1.352	2.224	6.700	0.308	668.00	292.00	0.03	0.11
10	785845.007	9971575.493	2581.194	29.046	1.220	2.195	6.850	0.826	128.00	100.00	0.06	0.01
11	785874.246	9971569.315	2581.350	24.275	1.317	2.339	7.750	0.311	596.00	280.00	0.30	0.16
12	785903.004	9971552.149	2581.728	35.260	1.316	2.083	6.530	0.544	352.00	400.00	0.18	0.20
13	785932.278	9971532.476	2573.659	37.811	1.250	2.204	6.880	0.323	204.00	160.00	0.05	0.02
14	785857.279	9971552.337	2589.491	35.496	1.283	2.299	7.350	0.642	484.00	949.00	0.24	0.36
15	785930.893	9971511.456	2581.091	29.860	1.250	2.399	6.260	0.996	696.00	308.00	0.15	0.19
16	785896.503	9971513.509	2590.088	43.509	1.111	2.254	6.670	0.509	596.00	544.00	0.27	0.03
17	785930.623	9971482.474	2591.592	38.136	1.112	2.440	7.820	0.488	440.00	408.00	0.20	0.02
18	785822.616	9971531.335	2594.258	41.010	1.087	2.208	7.070	0.501	476.00	400.00	0.20	0.04
19	785846.506	9971514.892	2597.759	35.648	1.191	2.243	6.080	0.420	664.00	348.00	0.17	0.16
20	785889.134	9971486.926	2598.640	35.148	1.136	2.101	7.770	0.334	764.00	640.00	0.32	0.06
21	785932.622	9971452.503	2598.049	36.113	1.220	1.457	7.630	0.492	616.00	432.00	0.22	0.09
22	785823.100	9971495.894	2606.743	30.010	1.220	2.442	6.790	0.827	768.00	244.00	0.12	0.26
23	785849.951	9971478.990	2607.317	32.465	1.165	2.276	7.290	0.612	892.00	384.00	0.19	0.25
24	785862.431	9971456.609	2609.408	38.349	1.191	1.938	7.560	0.419	520.00	116.00	0.06	0.20
25	785888.110	9971445.219	2605.415	33.607	1.163	2.118	7.480	0.540	208.00	124.00	0.06	0.04
26	785916.611	9971414.426	2597.456	33.007	1.137	2.105	6.990	0.432	760.00	352.00	0.18	0.20
27	785815.789	9971472.748	2609.299	37.759	1.112	1.957	7.510	0.508	528.00	116.00	0.06	0.21
28	785883.866	9971416.751	2609.368	30.901	1.316	2.164	7.430	0.408	596.00	248.00	0.12	0.17
29	785800.586	9971435.117	2619.035	31.742	1.282	2.168	7.370	0.674	404.00	360.00	0.20	0.18
30	785831.350	9971418.434	2624.919	30.059	1.220	2.169	7.130	0.951	468.00	844.00	0.23	0.42
31	785856.976	9971405.324	2619.905	26.394	1.250	2.320	6.820	0.640	444.00	804.00	0.22	0.40
32	785903.608	9971388.916	2607.695	31.455	1.190	2.237	7.500	0.637	360.00	700.00	0.18	0.35
33	785775.214	9971410.215	2626.196	24.535	1.250	2.309	7.010	0.517	472.00	404.00	0.24	0.20
34	785851.666	9971377.185	2620.065	25.177	1.220	3.513	7.010	0.573	696.00	164.00	0.35	0.08
35	785886.641	9971360.155	2610.503	31.784	1.190	1.703	5.810	0.827	404.00	276.00	0.20	0.14
36	785825.000	9971390.000	2635.000	45.670	1.220	2.140	7.910	0.270	10256.00	10112.00	5.056	0.072
37	785833.000	9971403.000	2631.000	17.173	1.350	2.300	7.720	0.230	10208.00	10096.00	5.048	0.056
38	785797.000	9971399.000	2634.000	12.787	1.350	2.300	7.240	0.260	10248.00	10052.00	5.026	0.098
39	785807.000	9971410.000	2629.000	9.022	1.280	2.310	7.280	0.200	10180.00	10080.00	5.04	0.05
40	785878.000	9971383.000	2605.000	30.122	1.220	2.140	7.890	0.150	12172.00	12000.00	6	0.086
41	785850.000	9971445.000	2612.000	20.383	1.220	2.140	7.160	0.140	18924.00	18400.00	9.2	0.262
42	785839.000	9971450.000	2615.000	23.415	1.320	2.250	7.280	0.120	16404.00	16000.00	8	0.202
43	785796.000	9971461.000	2602.000	16.496	1.280	2.310	6.740	0.320	248.00	216.00	0.108	0.016
44	785918.000	9971429.000	2593.000	17.403	1.250	2.313	7.600	0.110	24592.00	24688.00	12.296	0.048
45	785878.000	9971474.000	2596.000	15.820	1.205	2.133	6.700	0.110	13512.00	13424.00	6.712	0.044
46	785878.000	9971541.000	2593.000	31.603	1.163	2.259	5.800	0.130	16436.00	16436.00	8.218	0
47	785841.000	9971540.000	2592.000	21.187	1.299	2.190	7.500	0.110	16140.00	16148.00	8.07	0.004
48	785876.000	9971624.000	2541.000	18.660	1.250	2.261	7.500	0.080	14380.00	14220.00	7.11	0.08
49	785928.000	9971619.000	2539.000	22.840	1.250	2.244	7.140	0.100	14136.00	13416.00	6.708	0.36
50	785966.000	9971609.000	2535.000	26.910	1.220	1.945	7.400	0.090	13704.00	13604.00	6.802	0.05
51	785986.000	9971559.000	2543.000	18.780	1.280	2.486	7.620	0.070	13712.00	13680.00	6.84	0.016

Fuente: Autores, 2020

En la Figura 2 se aprecia el modelamiento de las variables previamente analizadas mediante el modelo geo estadístico co-Kriging Ordinario.

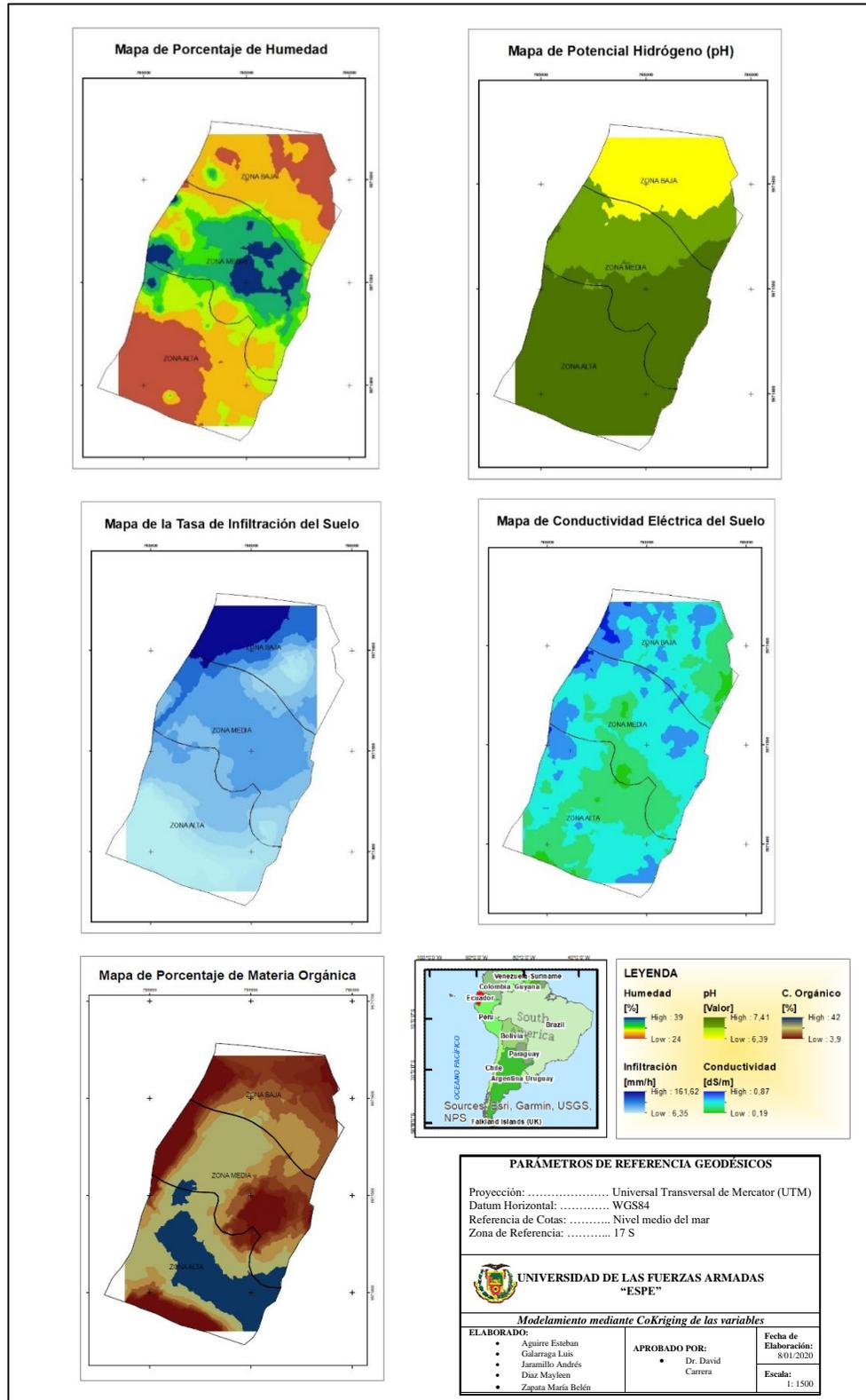


Fig. 2 Análisis Co-Kriging Ordinario
Fuente: Autores, 2020

En la Figura 3 se observa el índice de afectación normalizada en escala de 0-1 de la zona de estudio en la cual se puede determinar los sectores que representan, respectivamente la peor y mejor condición del suelo, en base a datos de humedad, pH, tasa de infiltración, conductividad eléctrica, porcentaje de materia orgánica y pendiente.

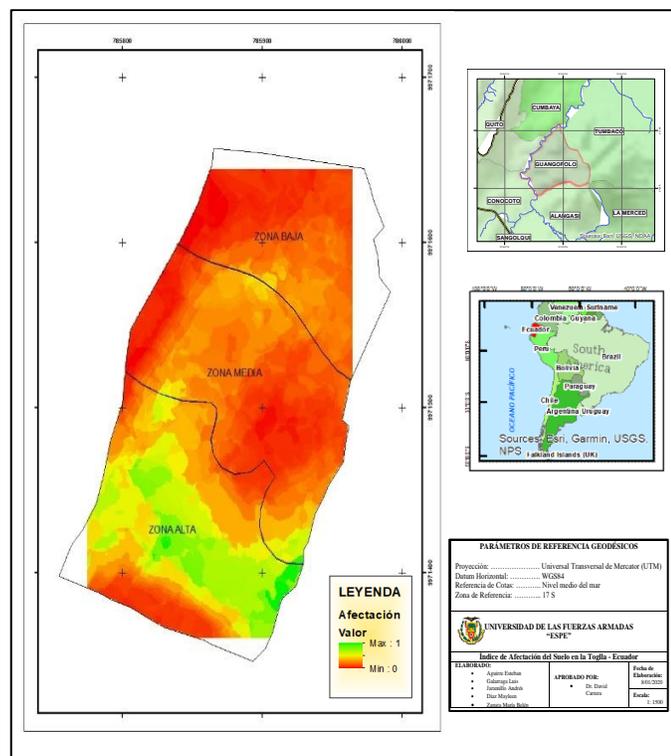


Fig. 3 Mapa de índice de Afectación de la Zona de Estudio
Fuente: Autores, 2020

El modelamiento mediante co-kriging Ordinario se basa en el uso de variables auxiliares con la finalidad de predecir la principal; en este caso la variable auxiliar fue la pendiente que divide en tres zonas estratégicas tal como se propuso para el muestreo aleatorio estratificado, una vez obtenidas las predicciones como se presenta en la Figura 2 se procedió a normalizar las variables en celdas que correspondan a [0,1] de las mismas que se aplicará algebra de mapas para lo cual se tomó los siguientes criterios: en primer lugar entre más cantidad de materia orgánica presente el suelo tiende a disminuir la erosión ya que favorece a la penetración del agua, retención, procesos de mineralización, desarrollo de la cubierta vegetal y estimula el crecimiento ecológicamente equilibrado de la planta.

Con respecto a la conductividad eléctrica entre mayor sea su valor tendrá una alta concentración de sales, por ende, entre más alta sea su concentración más fácil se moverá dicha corriente a través del suelo, es decir que entre menor sea se estancará y afectará al crecimiento de la planta; el pH del suelo es un caso especial el mismo que es óptimo para el crecimiento de la planta en un rango de [5.5 – 7] caso contrario su crecimiento es deficiente.

La tasa de infiltración dentro de la parcela presenta valores de 6-161 mm/h, se observa que en la zona alta muestra los menores valores y aumentan según disminuye la pendiente, este es un indicador por el cual existe problemas de erosión en el sector ya que al presentarse los valores más altos en la zona media -baja (Figura 3) se debe a que el suelo en estas secciones muestra poco contenido de materia orgánica a su vez se encuentran cerca de la quebrada lo cual provoca la erosión del suelo y referente al estudio previo de la “caracterización físico-química y estudio de la infiltración para la remediación del suelo en la Toglla-Ecuador” [4] se coincide con el lugar de mayor infiltración y por ende pérdida de suelo; finalmente la variable humedad está altamente relacionada con la infiltración, precipitación, pendiente y cantidad de materia orgánica ya que nos indica la cantidad de saturación y estancamiento del agua que puede llegar a tener el suelo [19].

En el caso de la densidad aparente y la densidad real mantienen sus valores aproximados a los del estudio previo y actuales en el extracto 1:5 los cuales no muestran un cambio radical en el tiempo presentando un rango de [1.5 – 3], según tabla 2.

Referente al diagrama de flujo este presenta la esquematización detalla de la aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida del suelo – USLE, donde el flujo principal del diagrama es el cálculo de la variable A, misma que es un indicador de las pérdidas de suelo anual expresado en (ton/ha * año), donde el cálculo de este indicador está en dependencia directa de otros índices los cuáles son: factor topográfico (LS), factor de conservación del suelo (P), factor de cobertura vegetal (C), factor de erosividad de la lluvia (R), factor de erodabilidad – infiltración (K) Fig.4.

Siendo este un modelo practico y resumido de las necesidades para la pérdida de suelo a comparación del estudio previo “Modelamiento dinámico y geoespacial de las características físico químicas del suelo de la Toglla – Ecuador” [20] que es más amplio en el cual se aplican todas las variables físico – químicas presentes en los suelos de la Toglla Fig. 5; sin embargo los dos tienden a modelar la pérdida de suelo.

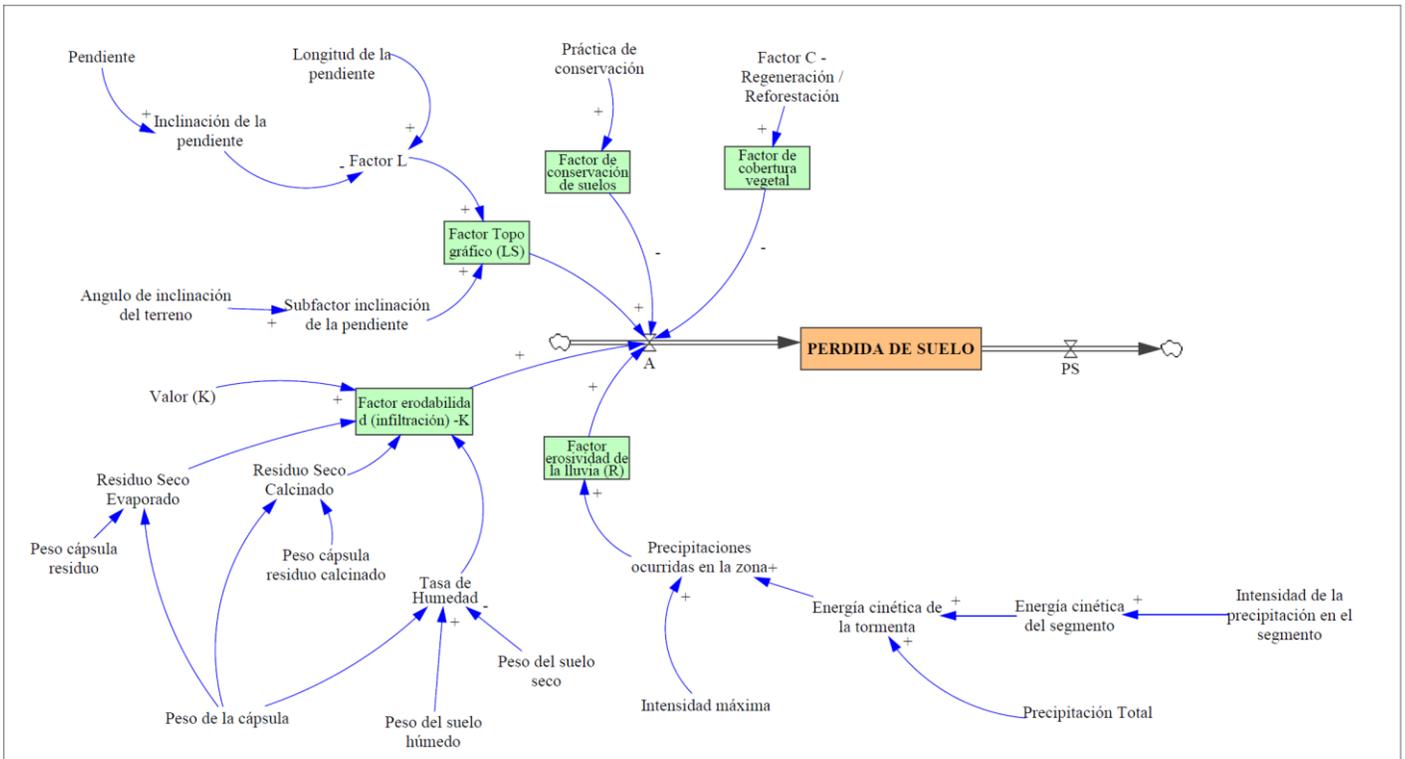


Fig. 4 Modelo dinámico de pérdida de suelo
Fuente: Autores, 2020

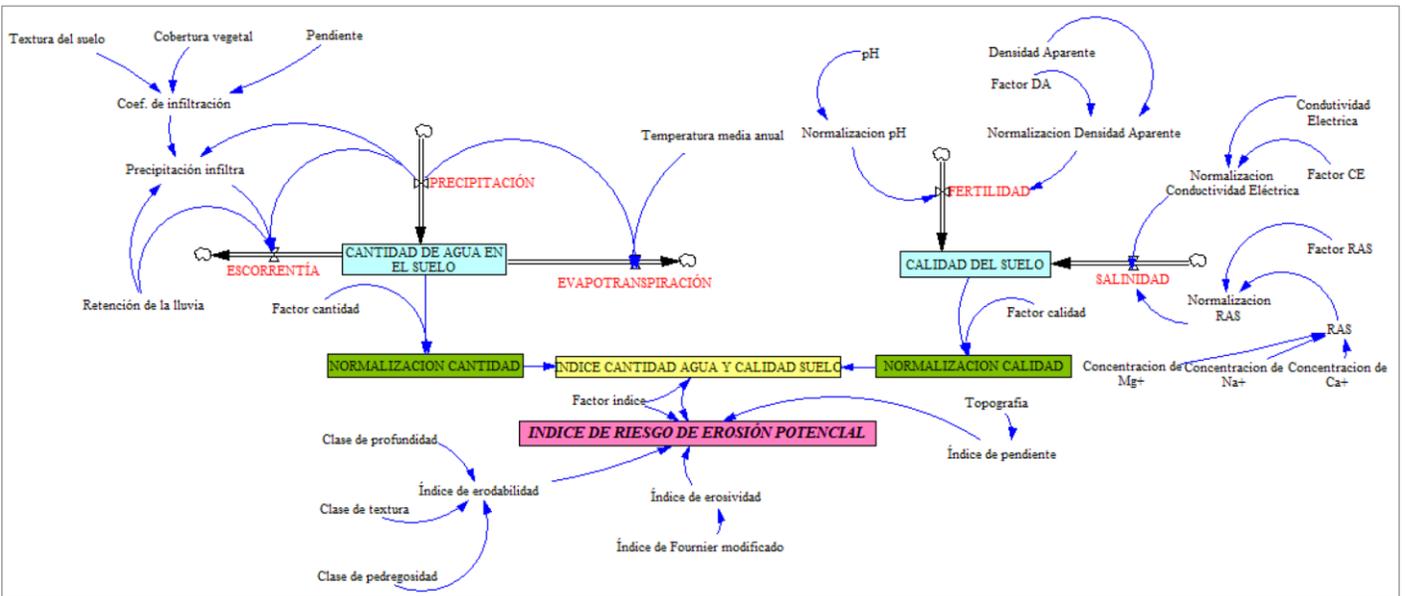


Fig. 5 Diagrama de Flujo
Fuente: [20]

V. CONCLUSIONES

Se elaboró la modelación dinámica de pérdida de suelo en la que se usó la fórmula general de la USLE la misma que expresa en (ton/ha * año), registrando sus entradas en bucles y flujos con la finalidad de obtener una estimación cercana a la realidad de la pérdida de suelos en los campos de la Toglla la cual equivale aproximadamente a 2 ton/ha * año.

El uso de las 16 muestras del estudio de caracterización previo y el actual con 35 muestras de suelo en diferentes lugares del campo a estudiar ayudo a una mejor modelación espacial mediante la aplicación geo estadística co-Kriging Ordinario de predicción para las variables pH, conductividad eléctrica, infiltración, humedad, cantidad de materia orgánica y la aplicación de algebra de mapas se obtuvo que de las 51 muestras, la zona más afectada es la de pendiente media y baja como lo presenta la Figura 3 donde [1 corresponde a mínima erosión y 0 máxima erosión], sin embargo se puede realizar una mejor predicción con mayor uso de variables auxiliares las mismas que se encuentren ligadas al estudio; las cuales son pendiente, humedad y textura del suelo .

Es necesario aplicar una técnica de remediación óptima que ayude al control y mejora de los suelos para optimizar la estructura, incremento de materia orgánica y capacidad de retención de nutrientes en el suelo, factores que con ayuda del previo estudio son deficientes por ello se provoca la erosión

VI. REFERENCIAS

- [1] J. N. G. G Noni, *Estuio cuantitativo de la erosión con fines de protección de los suelos: Las parcelas de Alangasi e Ilaló*, Quito, 1994.
- [2] D. Carrera, J. Quinteros, A. Gómez y E. Solano, *Modelo dinámico para la gestión de los recursos hídricos y la aptitud del agua para el riego de la garganta Togllahuayco en la microcuenca Guagopolo*, Sangolquí, 2019.
- [3] M. Ulloa, E. Vidal, O. Ingaramo y A. Paz, *Aplicación de la geoestadística al estudio de las propiedades del suelo*, Corrientes, 2003.
- [4] F. J. Garcés Aguirre, J. E. Gavilanez Defaz, M. Y. Corea Guerra y D. V. Carrera Villacrés, «El Suelo Donde Todo Comienza,» UAA, México, 2019.
- [5] N. Gómez, J. León y P. Peltre, «Centro Ecuatoriano de Investigación Geográfica,» 1986. [En línea]. Available: http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers08-01/23658.pdf.
- [6] I. Palacios, D. Ushiña y D. Carrera, «Identificación de Cangahuas para su recuperación mediante estudio multicriterio y constatación in situ en comunas del volcán Ilaló,» Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE", Quito, 2018.
- [7] S. Schweizer, *Muestreo y análisis de suelos para diagnóstico de fertilidad*, San Jose, Costa Rica: Inta, 2011.
- [8] Organización Meteorológica Mundial, *Snow Cover Measurements and Areal Assessment of*, Ginebra: Sevruc, 1992.
- [9] S. Silva y F. Correa, «Análisis de la contaminación del suelo: revisión de la normativa y posibilidades de regulación económica,» *SciELO*, 2019.
- [10] D. Carrera, «Caracterización hídrica de la cuenca hidrográfica Toglla con fines de conservación de bosque y producción agrícola,» *REDU*, 2018.
- [11] J. Casal y E. Mateu, «TIPOS DE MUESTREO,» Universitat Autònoma de Barcelona, 08193-Bellaterra, Barcelona, Barcelona, 2003.
- [12] T. L. V. A. 2, «Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados,» 2015. [En línea]. Available: <https://vlex.ec/vid/reformese-texto-unificado-legislacion-645825397>.
- [13] G. B. W., *Manual de Laboratorio para el Manejo Físico de Suelos*, Universidad Autónoma Chapingo, Serie Agronomía No.22., 1991.
- [14] C. Alvarado - Batres y M. Barahona - Palomo , *Comparación de tres métodos de infiltracion para calcular el balance hídrico del suelo, en la Cuenca del río Suquiapa, El Salvador, El Salvador: scielo*, 2016.
- [15] NOM-021-SEMARNAT-2000, «Norma Oficial Mexicana que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis,» México, 2002.
- [16] R. Giraldo, *Propuesta de un indicador como variable auxiliar en el análisis CoKriging*, vol. 24, 2001, pp. 1-12.
- [17] S. Canto y F. García, «Tutorial de Vensim,» Madrid, 2005.
- [18] D. V. Carrera, «Curso Modelización Ambiental,» 2018.
- [19] G. Siqueira, «Medida de la conductividad eléctrica aparente del suelo por inducción electromagnética y variabilidad espacial de propiedades físicas y químicas del suelo,» España, USC, 2003, pp. 87-90.
- [20] E. Alvarez, J. Campaña y K. Naula, «El suelo donde todo comienza,» México, 2019.