



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ARTÍCULO CIENTÍFICO

“VALIDACIÓN DE LOS MODELOS RUSLE, WEQ Y CLAVOS DE EROSIÓN EN LA PÉRDIDA DE SUELO DE LA MICROCUENCA LA MERCED, CARCHI”

AUTORAS:

ARROYO SALAZAR LUISA GABRIELA

JARAMILLO AGUILAR JENNIFER LISBETH

DIRECTOR:

MSc. OSCAR ROSALES

ASESORES:

MSc. Gladys Yaguana

MSc. Eleonora Layana

MSc. Paul Arias

Ibarra – Ecuador

2018

Lugar de investigación: Valle del Chota, sector San Vicente de Pusir Microcuenca la Merced.

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

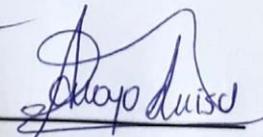
ARROYO SALAZAR LUISA GABRIELA y JARAMILLO AGUILAR JENNIFER LISBETH. "Validación de los modelos RUSLE, WEQ y Clavos de Erosión en la Pérdida de suelo de la microcuenca la Merced, Carchi". / TRABAJO DE GRADO. Ingeniero/a en Recursos Naturales Renovables Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables. Ibarra. EC. Enero 2019.

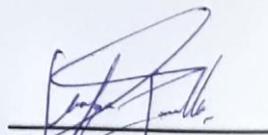
DIRECTOR: MSc. Oscar Rosales

La investigación evaluó la pérdida de suelo de la microcuenca La Merced utilizando las ecuaciones RUSLE, WEQ para lo cual utilizó el programa ArMap 10.4; y la técnica de Clavos de Erosión se registraron datos en campo durante el periodo de Mayo 2017 a Junio 2018, medidos mediante tres cuadrantes, en la fase de campo se realizaron análisis de laboratorio para determinar los sedimentos secos y totales para proceder a validación de los modelos. Se determinó que la erosión hídrica mediante el modelo RUSLE fue de 494,19 t/ha/año; para el cálculo de erosión eólica mediante el modelo WEQ se obtuvo valores de 159,94 t/ha/año; mediante la técnica de clavos de erosión, fue de 606,39 t/ha valores categorizados según la FAO como un nivel de erosión muy fuerte. La validación del modelo RUSLE y clavos de erosión; se obtuvo para el cuadrante uno valores de $r^2 = 0,99$ ubicándose en una categoría de excelente. El cuadrante dos presento un $r^2 = -1,11$ ubicándose en una categoría de insuficiente representando que el método de clavos de erosión es más recomendable y finalmente para el cuadrante tres se obtuvo un valor de $r^2 = 0,22$ categorizando como valor satisfactorio para el modelo según Nash (1970).

Ibarra, 30 de enero 2019


MSc. Oscar Rosales
Director


Gabriela Arroyo
Autora


Jennifer Jaramillo
Autora

*“VALIDACIÓN DE LOS MODELOS RUSLE, WEQ Y CLAVOS DE EROSIÓN
EN LA PÉRDIDA DE SUELO DE LA MICROCUENCA LA MERCED,
CARCHI”*

DATOS INFORMATIVOS



APELLIDOS: Arroyo Salazar

NOMBRES: Luisa Gabriela

C. CIUDADANÍA: 1003687769

CORREO ELECTRÓNICO: gabylui94@gmail.com

DIRECCIÓN: Ibarra La Esperanza, Barrio Rumipamba 26- 167

FECHA DE DEFENSA DE TRABAJO DE GRADO: 30 de enero del 2019

“VALIDACIÓN DE LOS MODELOS RUSLE, WEQ Y CLAVOS DE EROSIÓN EN LA PÉRDIDA DE SUELO DE LA MICROCUENCA LA MERCED, CARCHI”

DATOS INFORMATIVOS



APELLIDOS: Jaramillo Aguilar

NOMBRES: Jennifer Lisbeth

C. CIUDADANÍA: 1003687769

CORREO ELECTRÓNICO: jeny931095@gmail.com

DIRECCIÓN: San Pablo Av. Chiriboga

FECHA DE DEFENSA DE TRABAJO DE GRADO: 30 de enero del 2019



“VALIDACIÓN DE LOS MODELOS RUSLE, WEQ Y CLAVOS DE EROSIÓN EN LA PÉRDIDA DE SUELO DE LA MICROCUENCA LA MERCED, CARCHI”

Armando Oscar Rosales Enríquez¹, Luisa Gabriela Arroyo Salazar² y Jennifer Lisbeth Jaramillo Aguilar³

¹Universidad Técnica del Norte-Instituto de Posgrado. Ave. 17 de Julio, 5-21. Ibarra, Ecuador. C.P.:199.

²Universidad Técnica del Norte-Carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables. Ave. 17 de Julio, 5-21. Ibarra, Ecuador. C.P.: 199.

³Universidad Técnica del Norte-Carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables. Ave. 17 de Julio, 5-21. Ibarra, Ecuador. C.P.: 199.

RESUMEN

El valle del río Chota presenta geo-formas planas, inclinadas y muy inclinadas, que sumadas a los factores de precipitación, viento y uso inadecuado del suelo han incidido en la pérdida de este recurso. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la pérdida de suelos de la microcuenca La Merced localizada en la provincia del Carchi al norte del Ecuador. Para esto, se utilizó una metodología directa de medición de la erosión del suelo denominada clavos de erosión, la misma que fue relacionada con los modelos RUSLE y WEQ con una resolución espacial de 3 m en los raster respecto de los parámetros de los modelos. Se analizaron los valores obtenidos en campo de la pérdida de erosión del suelo por medio de tres cuadrantes de 10x10 m de clavos de erosión ubicados en la parte alta, media y baja de la microcuenca, durante el período de un año y dos meses para incluir la época seca y lluviosa. Además, se utilizó información climática: precipitación, temperatura y velocidad del viento e imágenes satelitales (TRMM 3B42) y muestreos de Sólidos Secos Totales (SST) y Sólidos Totales Disueltos (STD) y medición de caudales mensuales en el punto de aforo de la microcuenca. Se utilizó Sistemas de Información Geográfica (SIG) para el análisis de la distribución espacial de las diferentes propiedades del suelo de la zona de estudio. Para el modelo RUSLE se obtuvo valores de 494,192 t/ha/año y 159,94 t/ha/año para el modelo WEQ, y un resultado final de 654,13 t/ha/año de pérdida de suelo y mediante la técnica de clavos de erosión y (SST) (STD), fue de 642,73 t/ha/año. El análisis de correlación de Nash entre las dos metodologías dio como resultado de la validación un valor de $r = 0,99$ para el cuadrante uno y $r=0,22$ para el cuadrante 3 representando una categoría calificada como Muy Bueno y Satisfactorio.

Palabras claves: Erosión, Suelo, Clavos de Erosión, RUSLE, WEQ, Validación

ABSTRACT

The Chota Valley presents plain, tilted and very tilted geological formations. In addition with precipitation and wind factors, and inadequate use of the soil influenced the wearing of this natural resource. The aim of the present study was to evaluate the soil degradation in the La Merced micro-watershed, located in the Carchi province, at the North of Ecuador. In order to achieve this, a direct erosion measurement technique was used, called erosion nails. This technique was related to RUSLE and WEQ models, with an spatial resolution of 3 m of the parameters of the models. The obtained values of soil erosion were analyzed in three quadrants of erosion nails with 10 x 10 m each. These were situated in high, medium, and low altitude zones of the micro-watershed during a year and two months long time period, for including the dry and wet seasons. Furthermore, multiple climate data was considered such as: precipitation, temperature, wind flow velocity, satellite imagery, total dry solids (Sólidos Secos Totales, SST) and total dissolved solids (Sólidos Totales Disueltos, STD). Geographical Information Systems (GIS) were employed for the spatial distribution analysis of the zone of study. For the RUSLE and WEQ models, an amount of 494,192 and 159,94 ton/ha/year respectively were obtained, with a final result of ton/ha/year of soil loss. By the other hand, applying the erosion nails technique and SST & STD, the obtained result was 606.38 ton/ha/year of aparent erosion. The Nash correlation analysis between both methodologies yielded $r = 0.99$ for the one quadrant and $r=0.22$ for the three quadrant representing a category qualified as Very Good and satisfactory.

Keywords: Erosion, Soil, Erosion Nails, RUSLE, WEQ, Validation

INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso natural no renovable por tal razón su degradación afecta severamente a las funciones naturales que son base de la vida, al igual que a la regulación del ciclo hidrológico y a la calidad ambiental, generando daño severo a todo un ecosistema, destruyendo el hábitat de la parte superficial de la corteza terrestre (Toy, Foster y Renard, 1999 ; Park, Jeon, Jung y Choi, 2011). Los procesos de degradación física de los suelos se manifiestan a través de la erosión hídrica y eólica que se considera comúnmente como una de las principales causas de la pérdida de suelo (Ostovari, Ghorbani-Dashtaki, Bahrami, Naderi & Melo, 2017). El concepto de erosión del suelo también puede referirse a la erosión antrópica, que es de desarrollo rápido en comparación con la erosión natural o geológica de evolución muy lenta (Mutchler, 1988).

Según la FAO (2008), las consecuencias de la degradación del suelo incluyen: disminución de la productividad agrícola, migración humana y de especies animales, inseguridad alimentaria, daños a los ecosistemas básicos y pérdida de biodiversidad.

En el valle del río Chota son evidentes los procesos de erosión de origen antrópico y natural (precipitación y viento) que ocasionan el desgaste del horizonte superficial de los suelos y la pérdida de fertilidad de este recurso. La microcuenca La Merced es una pequeña cuenca afluyente de la cuenca del río Chota

Un indicador del proceso erosivo de la microcuenca constituye la textura gruesa del suelo (franco-arenosa) que influye en la susceptibilidad de pérdida por erosión hídrica y eólica en la acumulación del material en los cauces de quebradas situados en las cotas más bajas del cauce principal de la microcuenca. El material depositado proviene de la parte alta y está constituido por partículas de arena, limo y arcilla (Agrocalidad, 2014). Con el transcurso del tiempo, los sistemas agropecuarios se han deteriorado debido al mal manejo de los recursos suelo y agua, generando acumulación de sedimentos en las vías de tercer orden que conecta los sectores de Pusir Grande y Tumbatu.

Hasta el presente, se han desarrollado una variedad de metodologías para el estudio de erosión, algunas están basadas en observación directa en campo y modelación de factores, conocidos como métodos directos e indirectos. Los métodos directos son estudios técnicos, que miden directamente los valores de erosión, como por ejemplo técnica de clavos de erosión (Morgan, 1994). Mientras que los métodos indirectos son modelos matemáticos (RUSLE Y WEQ), que estiman las pérdidas de suelo a través de variables climatológicas y características propias de cada tipo de suelo (Pizarro y Curtiño, 1997; Vega y Febles, 2005).

La presente investigación determinó la tasa de erosión por acción hídrica y eólica de la microcuenca La Merced y se clasificó según los rangos de clasificación de pérdida de suelo propuesta por la FAO (1981).

MÉTODO

El área de estudio se localiza en la parte norte del Ecuador en la provincia del Carchi, Cantón Bolívar; la Microcuenca La Merced posee una superficie de 337,77 hectáreas (Figura 1). Pourrut (1995), define como un clima Ecuatorial Mesotérmico con temperaturas medias anuales que fluctúan entre 12-20 °C con mínima variación entre los meses ecológicamente secos y lluvioso; precipitaciones anuales menores a 500 mm.

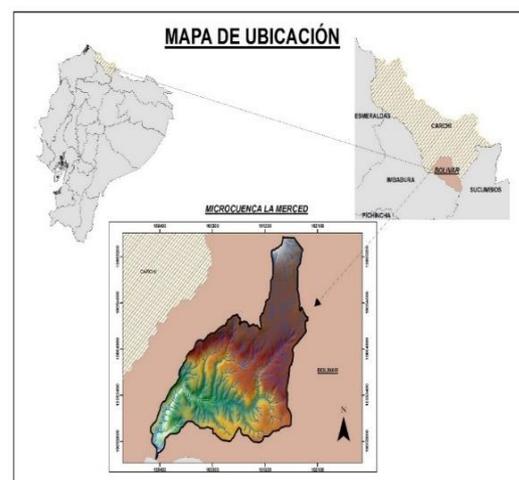


Figura 1. Ubicación

La Merced presenta una topografía muy variada entre plana, ondulada y ligeramente ondulada

que influye en el proceso erosivo; por este motivo se optó por delimitar los drenajes con mayor representación en el área para poder tener un mejor análisis de erosión hídrica, y se definió como 7 microcuencas (Figura 2).

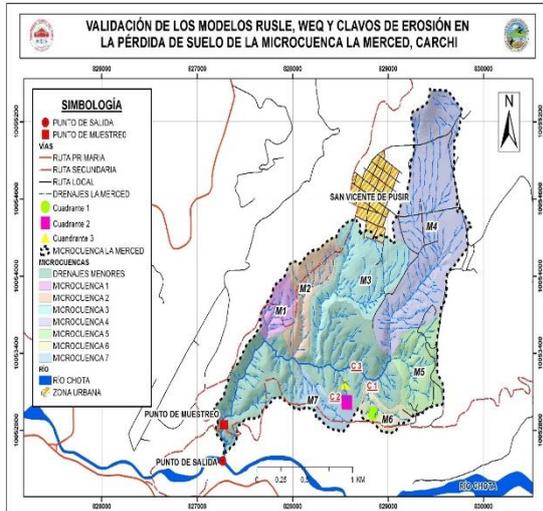


Figura 2. Microcuenca la Merced

Para evaluar la pérdida de suelo en la microcuenca La Merced se utilizó las ecuaciones RUSLE Y WEQ. Para la obtención de los parámetros utilizados en las ecuaciones se empleó Sistemas de Información Geográfica (SIG), Instituto Geográfico Militar (IGM) e Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). Posteriormente se tomaron datos en campo durante el periodo de 14 meses desde Mayo 2017 a Junio 2018, medidos mediante tres parcelas situadas en el área de estudio, mediante la técnica de Clavos de Erosión. Además, en esta fase de campo se realizaron análisis de laboratorio para determinar los sedimentos secos y totales del recurso hídrico del cauce principal. Finalmente, se validaron entre los datos obtenidos en campo en el periodo Mayo 2017- Abril 2018; y los valores de erosión calculados con las ecuaciones del modelo RUSLE

Determinación de la erosión hídrica y eólica.

Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE)

Para la determinación de la erosión hídrica se laminar y en surcos de terrenos agrícolas se

utilizó la RUSLE propuesta por Renard et al., (1991), ver ecuación 1.

Ec 1. Erosión Hídrica

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

Donde: A es la pérdida de suelo por erosión hídrica en t/ha/año, R es el factor de erosividad en (MJ.mm)/(ha.h.año), K es el factor de erodabilidad del suelo en (t.ha.h)/(ha.Mj.mm), LS es una combinación de la longitud y grado de la pendiente (adimensional), C es el factor cobertura del suelo (adimensional).

-Factor de erosividad (R)

El factor R determina la agresividad o erosividad de la lluvia, define la capacidad potencial de las precipitaciones para provocar erosión en el suelo durante un periodo de lluvia determinado (Renard et al., 1997).

Se realizó mediante dos tipos de datos:

Estaciones meteorológicas: Se utilizaron datos de precipitación mensual de todos los 15 años de registros meteorológico de cinco estaciones aledañas a La Merced (Tabla 1) y se utilizó la ecuación 3. Los datos de precipitación se interpolaron mediante el método de Kriging el cual es un proceso geoestadístico que cálculo un promedio ponderado de las observaciones muestrales y hace predicción en sitios no muestreados dentro del área de estudio.

Tabla 1. Estaciones Meteorológicas

CÓD	ESTACION	COORDINADA X	COORDINADA Y	ALTITUD msnm
M104	Mira	830900	10061205	2430
M314	Ambuqui	832801	10046983	1833
M597	Piman chico	828105	10048661	1850
M603	Salinas	819850	10055320	1730
M0086	San Vicente de Pusir	829454	10054693	1891

Imágenes Satelitales: Para la validación del modelo RUSLE, fue necesario descargarse las imágenes satelitales del servidor <https://mirador.gsfc.nasa.gov> específicamente del satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM 3B42) ver figura 3, las cuales fueron

procesadas en ArcMap 10.4; finalmente se extrajeron los valores con la herramienta de extract by points a los puntos de ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas y se utilizó la ecuación 3 de Fournier (1960).

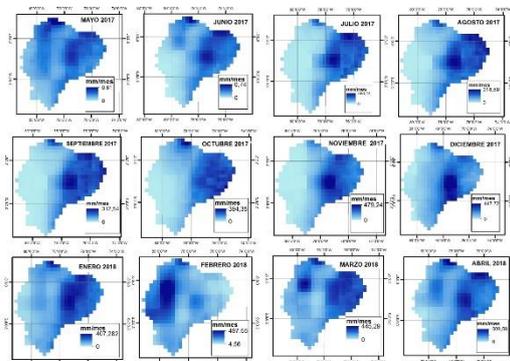


Figura 3. Imágenes del satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM 3B42)

Ec 3. Índice Modificado De Fournier

$$IMF = p^2/P$$

Donde p^2 es la precipitación del mes más lluvioso y P promedio anual de precipitación.

-Factor Erodabilidad (K)

El factor K se describe como la susceptibilidad, vulnerabilidad y pérdida principalmente por la acción cinética de la lluvia. Y se obtuvo mediante la ecuación 4 y 5 de Wischmeier y Smith (1978).

Ec 4. Erodabilidad

$$K = (2,1 M^{(1.14)} \left[\frac{(10)^{-(4)}}{(12-MO)+3.25} \right] (s-2)+2.5 (p-3))/100$$

Ec 5. Tamaño de partículas

$$M = (\% \text{ limo} + \% \text{ arena muy fina}) (100 - \% \text{ arcilla})$$

Donde K es el factor de erodabilidad del suelo (t.ha.h) / (ha.Mj.mm), MO = Materia orgánica, S es el código de la estructura, p es el código de permeabilidad y M es el producto de las fracciones del tamaño de las partículas

-Factor de Longitud del Terreno (LS)

La ecuación 5 fue desarrollada por Moore y Burch (1986); y se basada en la acumulación del flujo de caudal y la inclinación de la pendiente (longitud de la pendiente y pendiente inclinada)

Ec 5. Longitud del Terreno (LS)

$$LS = ((\text{flow accumulation} \times \text{cell size}) / 22,13)^{0,4} \times (\text{sinslope} / 0,0896)^{1,3}$$

Donde LS es longitud del terreno, Flow accumulation es el número de celdas que contribuyen al flujo de una celda dada, Cell size es la longitud del tamaño de las celdas, 22.13 es la constante, Sinslope es el seno de la pendiente en radianes.

-Factor Cobertura Vegetal (C)

Fue necesario adquirir una ortofoto del Cantón Bolívar del proyecto SIGTIERRAS del año 2011 con resolución espacial de 0,29 cm, que mediante la técnica de teledetección se procedió a dibujar a detalle los polígonos de uso y cobertura vegetal, y se obtuvo ocho tipos de uso de suelos; y se asignaron valores de las Tablas 8 y 9 de los estudios realizados por Wischmeier y Smith (1978), y posteriormente se transformó de formato shaperefile a raster.

Ecuación de Pérdida de Suelo por Erosión Eólica

Para el cálculo de la erosión eólica se utilizó la Ecuación 6 WEQ desarrollada por Woodruff y Siddoway (1965).

Ec 6. Erosión Eólica

$$E = (I * K * C * L * V)$$

Donde E es la pérdida de suelo por erosión eólica en t/ha/año, I es el factor de erodabilidad del suelo (t.ha.h)(ha.Mj.mm), K es el factor de rugosidad del surco del suelo (adimensional), C es el factor climático (adimensional), L es el factor longitud del terreno en la dirección prevaleciente de los vientos (adimensional) y V = es el factor equivalente de cobertura de vegetación medida en (kg/ha).

- Factor Erodabilidad (I)

En el Índice de erodabilidad del suelo se utilizó la capa del factor K obtenida en la ecuación RUSLE

-Factor Climático (C)

Está representado por la velocidad del viento, humedad superficial del suelo en un lugar determinado; Panebianco y Buschiazzo (2008) y Buschiazzo y Zobeck (2008) desarrollaron la ecuación 7.

Ec 7. Factor Climático

$$C = 3,86 [U^3 / ((P/2,54) / (1,8 T + 32))^{10/9}]$$

Donde, C es el factor climático, U es la velocidad media del viento y T es la temperatura media.

-Factor Rugosidad (K)

El índice de rugosidad superficial fue determinado por la influencia de crestas y surcos creados por labores de labranza, estos tipos de rugosidad reduce la velocidad del viento, actuando como trampas para las partículas transportadas por acción eólica Zingg y Woodruff (1951) y se representa de la siguiente ecuación 8:

Ec 8. Factor de Rugosidad

$$K = 4 \left[\frac{H}{l} \right]^2$$

Donde, H es la altura de los surcos en mm e l es la distancia de los surcos en mm.

-Factor Longitud en Dirección de los Vientos (L)

Para la realización la ecuación WEQ se consideró la longitud del campo en dirección prevaleciente de la erosión eólica según (Woodruff y Siddoway, 1965).

-Factor Cobertura de Vegetación (V)

La erosión eólica afecta a la superficie del suelo sin cobertura vegetal por lo que es necesario los

parámetros de vegetación, altura y cobertura del follaje (área foliar) son esenciales para evaluar la erosión eólica (Wischmeier y Smith, 1978). El factor vegetal se determina por la cantidad de cobertura vegetal y los residuos del cultivo en kg/ha. El área de estudio se encuentra clasificada en la estratificación vegetal como Bosque Seco Andino (BSA) y FRA, (2015) cita a Evaluación Nacional Forestal, (2013) el cual en su estudio se calculó la biomasa total para BSA con rangos de 1200-1700 mm de precipitación y con más de 5 meses secos, características geográficas y climáticas de la microcuenca, otorgando un valor de 95.82 t/ha, dato de entrada que fue convertido a kg/ha, este valor se asignó al mapa de cobertura vegetal obtenido del factor C del modelo RUSLE, asignando un valor de biomasa en la categoría de vegetación xerofítica para posteriormente multiplicar con el área, y transformar el shapefile a formato raster.

Clavos de erosión

Ubicación de cuadrantes

La metodología implantada en este estudio fue observar áreas evidentes de desgaste de la capa superficial de la corteza terrestre, causado por factores antrópicos y naturales, se instaló tres cuadrantes de 10 por 10 m (100 m²) georreferenciados con coordenadas UTM como lo muestra la figura 1. Posteriormente se procedió a tomar muestras de los tres cuadrantes de suelo con tubos de PVC (diámetro de 3 cm) con la técnica adaptada del barreno para ser trasladados al Laboratorio de la Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de Calidad del Agro (AGROCALIDAD).

Caracterización de los cuadrantes

La metodología consistió en medir y cuantificar el proceso de erosión hídrica por factores naturales y antrópicos, a través de 3 cuadrantes con la técnica de clavos de erosión, correspondiente a un método experimental sencillo, directo y de bajo costo, por lo cual es considerado el más preciso en cuanto a la estimación de pérdida de suelo sobre un terreno (Pizarro y Cutiño, 1997). El material utilizado fue clavos de 6 pulgadas,

colocados a 1 metro de distancia entre clavo a clavo, alcanzando un total de 96 clavos.

Medición con la técnica clavos de erosión

El trabajo de investigación fue instalado en el mes de Abril 2017 y posteriormente se realizó la primera toma de datos en Mayo 2017 hasta Junio del 2018 realizado durante 1 año 2 meses, en periodos mensuales permitiendo obtener un promedio de pérdida de suelo. El registro de mediciones consistió en utilizar un calibrador pie de rey digital que permitió una medición exacta de pérdida de sustrato, para lo cual se colocó el calibrador en la rodela o arandela hasta la parte superior del clavo obteniendo el valor correcto de pérdida de sedimentos.

Cuantificación de la erosión hídrica superficial

Para obtener resultados de erosión hídrica se procedió a cuantificar los datos obtenidos en campo, mediante la técnica clavos de erosión para lo cual se realizó el cálculo del cociente entre la sumatoria de las mediciones del total de clavos que presentaron erosión y considerando el valor cero a los clavos que mostraron sedimentación y aquellos que no presentaron variación.

Para obtener la cuantificación del suelo erosionado se tomó en cuenta las unidades t/ha para el periodo de estudio, se transformó las medidas de espesor o altura de suelo erosionado de milímetros a metros y se multiplicó por el valor de la densidad aparente y área de cada cuadrante en estudio Da (t/m^3) Hudson (1976). La expresión matemática que determina estos procesos, planteada por Pizarro y Cuitiño (1997) y posteriormente redefinida por Pizarro y Cuitiño (2002), se presenta a la ecuación 9.

Ec 9. Suelo sedimentado o erosionado

$$X (t / ha) = Y * Da * A$$

Dónde : X es el suelo sedimentado o erosionado (t/ha), Y es la altura del suelo sedimentado (m), Da es densidad aparente del suelo (t / m^3) y A es el área de cada cuadrante (m^2).

Toma de muestras para análisis de sólidos totales, disueltos

Se estableció tres criterios para el punto de muestreo accesibilidad, representatividad y seguridad, según el Instituto Ecuatoriano De Normalización (2016). Para la metodología empleada en la investigación se tomó en cuenta la norma INEN 1105. La metodología en cuestión se realizó "in situ" permitió cuantificar el nivel de partículas de suelo que se encuentran en suspensión presentes por acción de arrastre natural del recurso agua hacia el punto de aforo de la microcuenca La Merced en el periodo de julio 2017- junio 2018.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La microcuenca presenta una aparente susceptibilidad ante los factores de erosión hídrica y eólica registrando pérdidas significativas de suelo, esto se comprobó mediante el análisis espacial de cada factor de los modelos RUSLE y WEQ, en los cuales se utilizaron datos de precipitación del INAMHI de un periodo de 15 años y se obtuvo el valor de 297,39 $t/ha/año$ (Figura 4) ; y se puede observar que en la figura 5 con los datos de precipitación de las imágenes satelitales TRMM 3B43 (mayo 2017- abril 2018) se obtuvo un valor de 451,31 $t/ha/año$, valores que se ubican dentro del rango de clasificación Muy Fuerte de pérdida de suelo propuesta por la FAO (1981).

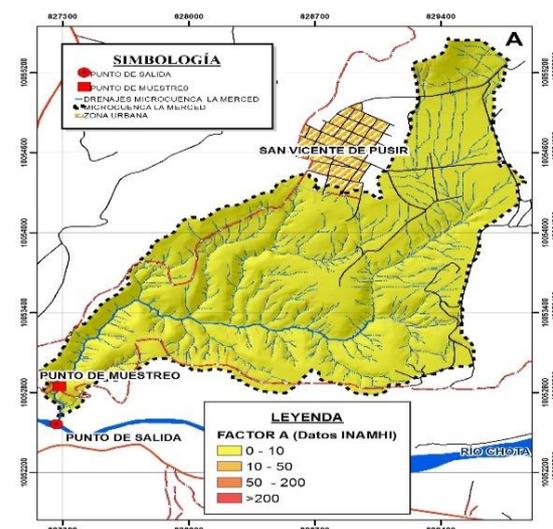


Figura 4. Pérdida de suelo con datos de INAMHI

La microcuenca cuenta con el 75% de suelos de categoría taxonómica de Vitrandic Haplustols característicos por ser secos en todas partes de los horizontes del suelo y con una infiltración media a alta según USDA (2006), haciéndolos más propenso a tener escorrentía superficial como explica López (2017). En un estudio realizado por Jaramillo (2015) de la subcuenca del río Portoviejo un 0,21% de áreas con erosión fuerte lo que explica que se debe a sus fuertes pendientes y superficies que se encuentran con actividades agropecuarias sin un manejo adecuado del recurso suelo

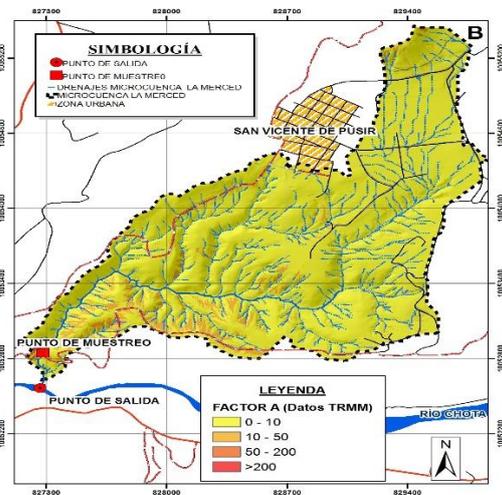


Figura 5. Pérdida de suelo con datos de imágenes satelitales TRMM 3B43

El mapa de erosión eólica de la microcuenca La Merced se obtuvo aplicando la técnica de algebra de mapas de todos los factores individuales que la ecuación WEQ propone. En la figura 6 se muestra la tasa de la erosión eólica en la microcuenca con valores entre 0 a 159,92 t/ha/año y con un valor medio de 12,18 t/ha/año.

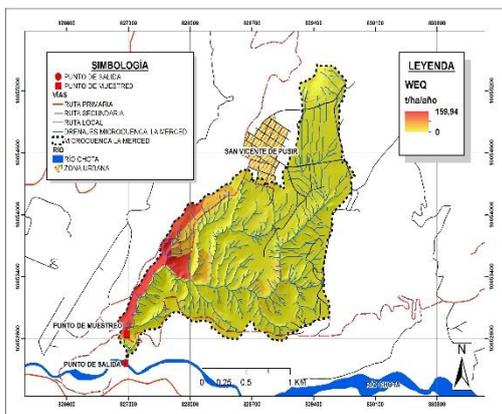


Figura 6. Pérdida de suelo por erosión eólica

En el modelo WEQ de erosión eólica Eltaif y Gharaibeh (2011) y Nyamtseren, (2016) exponen que el clima es el principal factor erosivo. Sobre la estructura del suelo, se menciona que los agregados de este recurso pueden ser fácilmente transportados por el viento, cuando se disminuye la humedad en la superficie, especialmente en suelos de transición de cultivos a barbechos; la microcuenca cuenta con 14,7% de suelos desprotegidos de cobertura vegetal dejando expuestos a los procesos erosivos eólicos e hídricos. Las pendientes fuertemente pronunciadas tienen cierta influencia en la erosión eólica, actuando como corredores de vientos la principal dirección de viento fue NW (Noroeste); se observó que las áreas con una llanura inclinada y relieve llano rodeadas de montañas se distinguen como zonas más afectadas por la erosión eólica.

En la tabla 2 se muestran los datos obtenidos en con los modelos de pérdida de suelo por erosión hídrica (RUSLE) y eólica (WEQ).

Tabla 2. Total de pérdida de suelo de la Merced

	RUSLE t/ha/año	WEQ t/ha/año	Pérdida total de suelo
Microcuenca La Merced (Datos INAMHI)	297,39	159,94	457,33
Microcuenca La Merced (Datos TRMM)	494,192	159,94	654,132

Pérdida de suelo por erosión hídrica mediante la técnica de clavos

Se obtuvo valores de 642,73 t/ha/año mediante la técnica de clavos de erosión y análisis de sólidos totales y disueltos (figura 7).

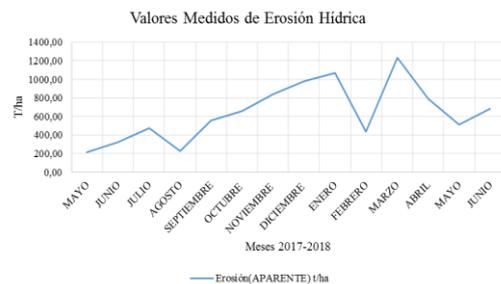


Figura 7. Pérdida de suelo por erosión hídrica

La técnica de clavos de erosión instalada en la microcuenca fue de gran importancia para el estudio en cuestión, debido a que se calculó el volumen de suelo erosionado en los tres puntos establecidos para la investigación. Por su parte Moreno (2007) menciona que al estimar la erosión laminar se puede evidenciar y captar valores acertados con la técnica de clavos de erosión; tal es el caso que al cabo de 1 año y 2 meses del periodo 2017 y 2018 se estableció tres cuadrantes en áreas idóneas para el estudio, resultando valores totales en campo de 642,73 t/ha de erosión aparente.

La FAO (1981) señala que los niveles de erosión tanto hídrica como eólica, por lo que señala que los niveles de erosión son clasificados según el grado de pérdida de suelo, con valores que sobrepasen o sean mayores que 200 t/ha/año, se encuentran en un nivel de erosión muy fuerte, sin duda los valores obtenidos en el estudio realizado en el periodo 2017 - 2018 indica que la microcuenca La Merced se encuentra en un rango de 642,73 t/ha/año ubicándose en la escala de erosión hídrica Muy Fuerte.

Validación de la ecuación RUSLE empleando los datos de medición de clavos de erosión y datos de análisis de sólidos totales disueltos y sólidos secos totales.

La validación del modelo RUSLE y Clavos de erosión; se obtuvo para el cuadrante uno valores de $r^2 = 0.99$ ubicándose en una categoría de *excelente*. El cuadrante dos presentó un $r^2 = 1,11$ ubicándose en una categoría de *insuficiente* representando que el método de clavos de erosión es más recomendable y finalmente para el cuadrante tres se obtuvo un valor de $r^2 = 0,22$ categorizando como valor *satisfactorio* para el modelo según Nash (1970).

La técnica de clavos en la presente investigación y metodología experimental, es de gran influencia ya que se considera una técnica idónea para la determinación de erosión neta y suelo movilizado; por lo que menciona Pizarro et al., (2008) en su estudio ejecutado en suelos desnudos de la pre-cordillera andina y valle central de la región de Chile; con esta referencia

señala que el estudio elaborado obtuvo una erosión neta de 31,2 t/ha y sedimentación de 13,5 t/ha, sin duda en el ensayo realizado en la Microcuenca La Merced en los tres puntos establecidos por cuadrantes se determinó la dinámica del suelo en su respuesta a la acción de la precipitación y el escurrimiento superficial.

De igual manera, para proceder a realizar la validación de los datos obtenidos en campo se procedió a la metodología de Zapata (2015), menciona que para una evaluación precisa de variables es necesario utilizar criterios entre los cuales se incluye el coeficiente de correlación de Nash (1970); por lo que al comparar con las evidencias obtenidas en campo de la presente investigación se determinó que los valores se encuentran en porcentajes excelentes y muy buenos; según la categorización de Nash.

El empleo de un metodología para obtención de sólidos totales disueltos y sólidos secos totales se lo asocia con el estudio realizado por Vega y Febles (2005), menciona que la tasa de erosión se asume a la pérdida de suelo directamente proporcional a la cantidad de moléculas de suelo perdido al arrastre y transporte de sedimentos hacia cuerpos de agua; la microcuenca La Merced se obtuvo un gasto total de sólidos secos y sólidos suspendidos totales de 642,73 t/ha/año por lo que cabe recalcar que los factores tanto antrópicos como naturales son fundamentales para el proceso de sedimentación y transporte.

CONCLUSIONES

En la determinación de erosión hídrica, mediante el programa ArcMap 10.4 y el modelo RUSLE utilizado en el presente estudio, se determinó valores de 494,19 t/ha/año correspondiente a valores categorizados según la FAO para un nivel de erosión muy fuerte; para el cálculo de erosión eólica mediante el modelo WEQ se obtuvo valores de 159,94 t/ha/año.

En la microcuenca La Merced, la erosión eólica es un grave problema por sus características de zonas seca y árida; siendo más alta la afectación en los periodos de transición de cultivo a barbecho.

El cálculo de erosión con los modelos RUSLE Y WEQ mediante la utilización de cartografía permitió obtener valores significativos de erosión hídrica y eólica, con un total de 654,13 t/ha/año. Este valor se relaciona con los datos obtenidos en campo utilizando la técnica de clavos de erosión, análisis de sólidos totales y disueltos cuyo dato fue de 642,73 t/ha/año.

La erosión total estimada para la microcuenca La Merced, mediante la técnica de clavos de erosión, fue de 606,39 t/ha, este valor indica que el área en estudio se encuentra bajo un proceso acelerado de erosión hídrica.

La medición de erosión hídrica, tanto por la técnica de clavos de erosión como aplicando el modelo RUSLE, generó valores mayores a 200 t/ha/año que corresponden a un rango de pérdida de suelo severa según la FAO (1981).

El método de los clavos de erosión es adecuado para cuantificar la erosión hídrica, producida en un sector determinado conociendo también la cantidad de sedimentos producidos en un área de estudio, por tal razón es una técnica apta para establecer medidas de manejo y conservación de suelos.

La validación de los datos simulados (RUSLE) y los datos observados (Clavos de erosión) de los tres cuadrantes; se obtuvo que el cuadrante uno se encuentra en la categoría de excelente con un $r^2 = 0,99$. El cuadrante 2 presento un $r^2 = -1,11$ representa que el método de clavos de erosión es más recomendable; hay que tener en cuenta que la pendiente de cuadrante 2 es la más alta de 64,77; y el modelo asigna valores enteros a los clavos que presentan sedimentación que en campo se asignó al valor de cero. El cuadrante tres obtuvo un $r^2 = 0,22$ categorizando como valor satisfactorio para el modelo.

BIBLIOGRAFÍA

Arnoldus, H., M., J. (1977). Methodology used to determine the maximum potential average annual soil loss due to sheet and rill erosion in Morocco. FAO Soils Bulletin , (34), 39–51.

AGROCALIDAD (Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de Calidad de Agro). (2014). Guía de Buenas Prácticas Agrícolas. vol. 03. pág. (14-68).

Eltaiif, N. I., y Gharaibeh, M. A. (2011). Aplicación de un modelo matemático para predecir y reducción de la erosión eólica en tierras áridas no protegidas; Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, (17), 195-206.

Evaluación Nacional Forestal. (2013). Evaluación Nacional Forestal-Resultados. MAE. Recuperado de: http://suia.ambiente.gob.ec/documents/10179/185860/Evaluaci%C3%B3n+Nacional+Forestal_NREFD+1.pdf/955aaa38-34b6-4b4d-9278-8fe915df893f

FAO. (1981). EL ESTADO MUNDIAL DE LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN ROMA 1982; Análisis mundial: situación en los países menos adelantados Cómo aliviar la pobreza rural. Colección FAO: Agricultura. 14, 204.

FAO. (2008). FAO Sala de Prensa. Recuperado el 2 de 06 de 2015, de <http://www.fao.org/newsroom/es/news/2008/1000874/>

FRA (Evaluación de Recursos Forestales) (2015). Paquete de informe sobre bosques 2015. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-az203s.pdf>

Hudson, N. W. (1976). Efficiency of Water and Fertilizer Use in Semi-Arid Regions; Joint Fao/laea Division of Atomic Energy in Food and Agriculture. London-England.

INEN (Instituto Ecuatoriano De Normalización).(2016). Censo Agropecuario. Recuperado de:

<http://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>

Jaramillo, J. J. (2015). Estudio del Riesgo por Erosión Hídrica del Suelo Utilizando el Modelo U.S.L.E, Mediante Herramientas S.I.G, Aplicado en la Subcuenca Río Portoviejo, Provincia de Manabí (Tesis de Maestría). Universidad Central del Ecuador. Quito-Ecuador

López, J. (2017). Erosión Hídrica en la Unidad Hidrográfica del Río Ambato, en un Escenario de Cambio Climático, Mediante el Modelo USLE/RUSLE (Tesis pregrado). Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba- Ecuador.

Meyer, L. D., y Wischmeier, W. H. (1969). Mathematical Simulation of the Process of Soil Erosion by Water. Transactions of the ASAE, 12(6): 754-758,762.e.

Moore, I. D., y Burch, G. J. (1986). Base física del factor de pendiente longitudinal en la ecuación universal de pérdida de suelo. Soil Science Society of America Journal, 50(5):1294-1298

Moreno-Brotons, J. (2007). Erosión eólica e hídrica en estériles de minería en el campo de Cartagena. PFC Ciencias Ambientales. Murcia.

Morgan, R. 1., (1997). Erosión y conservación de suelos. Madrid, España: Editorial Mundi-Prensa.

Mutchler, K. (1988). Soil erosion research methods. Arlington Virginia. Estados Unidos.

Nash, J E; Sutcliffe, J V (1970). "Previsión del flujo del río a través de modelos conceptuales, parte I - Una discusión de principios". Revista de Hidrología. 10 (3): 282 - 290.

Nyamtsuren, M., Jamsran, T., Doljin, D., y Sodov, K. (2016). Evaluación espacial de la erosión eólica del suelo usando el enfoque WEQ en Mongolia. Revista de Ciencias Geográficas, 26 (4), 473-483.

Ostovari, Y., Ghorbani-Dashtaki, S., Bahrami, H., Naderi, M., y Melo, J.A.(2017). Soil loss prediction by an integrated system using RUSLE, GIS and remote sensing in semi-arid región. GEODRS. 1-44.doi: 10.1016/j.geodrs.2017.06.003

Panebianco, J. E., y Buschiazzi, D. E. (2008). Erosion Predictions with the Wind Erosion Equation (Weq) Using Different Climatic Factors. InterScience. Argentina. Doi:10.1002/ldr.813

Pizarro, T. Cutiño, M. (1997). Evaluación cuantitativa de la erosión hídrica superficial en suelos desnudos de la pre-cordillera andina y valle central de la VII Región. VI Jornadas del CONAPHU-CHILW, 6,16.

Pizarro, T., y Cuitiño, M., H. (2002). Método de Evaluación de la Erosión Hídrica Superficial en Suelo Desnudo en Chile. Cuad.Soc.Esp.Ciencia Forestal, (13) ,165-170.

Panebianco, J. E., y Buschiazzi, D. E. (2008). Erosion Predictions with the Wind Erosion Equation (Weq) Using Different Climatic Factors. InterScience. Argentina. Doi:10.1002/ldr.813

Pourrunt, P. (1995) El Agua en el Ecuador. Instituto Nacional de Hidrología y Meteorología (INAMHI), (7). Quito, Ecuador: Corporación Editora Nacional y Colegio de Geógrafos del Ecuador.

Renard, K. G., Foster, G. A., Weesies, G. A., McCool, D. K y Yoder, D., C. (1997). Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation. Agricultural Research Service (USDA-ARS) Handbook No. 703. US Department of Agriculture: Washington, DC.

Toy T, J., Foster G. R., y Renard K.G. (1999). RUSLE for mining, construction and reclamation lands J. Soil Water Conservancy, (54),462-467.

USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos Servicio de Conservación de Recursos Naturales). (2006). Claves para la Taxonomía de Suelos. Decima Edición. Texaco-México.

Vega, M., y Febles, J. (2005). La Investigación De Suelos Erosionados: Métodos E Índices De Diagnóstico. Minería y Geología, 21 (2), 1-18. Holguín, Cuba.

Wischmeier, W. H. y Smith, D. D. (1978). Predicting rainfall erosion losses a guide to conservation planning. Agriculture Handbook No. 537. USDA/Science and Education Administration, Washington, DC

Woodruff, N. P., y Siddoway, F. H. (1965). A wind erosion equation. Soil Science Society of America Proceedings. Recuperado de: <https://www.ars.usda.gov/ARSEUserFiles/30200525/897%20A%20wind%20erosion%20equation.pdf>

Zingg, A.W., Woodruff, N. P., 1951. Calibration of a Portable Tunnel for Simple Determination of Roughness and Drag on Field Surfaces. Agron. J. 43 (4), 191–