

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
VICEPRESIDENCIA DE INVESTIGACIÓN



Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental Y Forestal

Volumen erosivo de las precipitaciones localidad de Juliaca – región Puno

Tipo de Investigación: Básica

Línea De Investigación:
Evaluación y restauración de las áreas degradadas en la región Puno

Juliaca, Perú

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

COMISION ORGANIZADORA

Dr. Edwin Catacora Vidangos

Presidente de Comisión Organizadora

Dra. Roxana del Carmen Medina Rojas

Vicepresidenta Académica

Dr. Jorge Marcelino Aranibar Aranibar

Vicepresidente de Investigación

DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN

M.Sc. Gustavo Luis Vilca Colquehuanca

EQUIPO DE INVESTIGACIÓN

Investigador principal

Victor Andres Gonzales Gonzales

Estudiantes

Alex German Condori Calla

Lourdes Mamani Puma

Dialdin Lizbeth Puma Puma

Jesus Jhovany Mamani Velasquez

Yanet Melissa Menacho Valeriano

Yoni, Tiito Narvaez

Andres Antony Lope Yunca

Myriam Gyanela Quispe Cañapataña

Nhelia Luz Lanus Ticona

Nayder Lizeth Laura Cahuana

DEDICATORIA

El trabajo de investigación básica va dedicado a personas que han sido de esencial importancia en su elaboración, como:

- *A los habitantes de la ciudad de los vientos Juliaca.*
- *A todos los estudiantes de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal de la Universidad Nacional de Juliaca.*
- *A los estudiantes del V nivel (2017-I), de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal de la Universidad Nacional de Juliaca pertenecientes al curso de Edafología: CONDORI CALLA Alex German, MAMANI PUMA Lourdes, PUMA PUMA Dialdin Lizbeth, MAMANI VELASQUEZ Jesus Jhovany, MENACHO VALERIANO Yanet Melissa, TTITO NARVAEZ Yoni, LOPE YUNCA Andres Antony, QUISPE CAÑAPATAÑA Myriam Gyanela, LANUS TICONA Nhelia Luz y LAURA CAHUANA Nayder Lizeth, por su abrigada colaboración y participación directa en el presente trabajo.*

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de Juliaca alma mater de la formación profesional de los estudiantes de esta región, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal, sus docentes, alumnos y compañeros que estudian esta carrera.

A la dirección Zonal Puno del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), por haber facilitado información meteorológica en forma gratuita y oportuna.

Al Vicepresidente de Investigación de la UNAJ Juliaca, por su apoyo incondicional.

A todas las personas y amigos que de una u otra forma contribuyeron con la ejecución del presente estudio, a encargados de la movilidad y equipos que se nos fue facilitada de manera inmediata,

Al apoyo sin cansancio y de ánimos de los estudiantes de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal de la Universidad Nacional de Juliaca. En especial a los alumnos del V nivel (ciclo 2017-I) del curso de Edafología para la realización y conclusión del presente trabajo de investigación.

Índice

Resumen	7
Introducción	8
Capítulo I: Marco Teórico	10
Capítulo II: Metodología	20
Capítulo III Resultados y discusión	23
Conclusiones	35
Referencias bibliográficas	36
Anexos	39

Índice de tablas

Tabla 1 Calculo de la lluvia parcial por día para el 2013.....	24
Tabla 2 Calculo de la intensidad, energía cinética y energía total por intervalo para el 2013	25
Tabla 3 Calculo de la lluvia parcial por día para el 2014.....	26
Tabla 4 Calculo de la intensidad, energía cinética y energía total por intervalo para el 2014	27
Tabla 5 Calculo de la lluvia parcial por día para el 2015.....	29
Tabla 6 Calculo de la intensidad, energía cinética y energía total por intervalo para el 2015	30
Tabla 7 Calculo de la lluvia parcial por día para el 2016.....	31
Tabla 8 Calculo de la intensidad, energía cinética y energía total por intervalo para el 2016	32
Tabla 9 Calculo de la lluvia parcial por día para el 2017.....	33
Tabla 10 Calculo de la intensidad, energía cinética y energía total por intervalo para el 2017	34

Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo estimar la erosividad en la ciudad de Juliaca. En este sentido se seleccionó una metodología para el cálculo del factor de la erosividad de la lluvia (R) utilizando como base el modelo USLE (Universal Soil Loss Equation), que corresponde a un parámetro determinante de la erosión hídrica.

Se analizaron 4 años desde junio del 2013 a junio del 2017. Según los resultados la erosividad, factor R, tiene un valor anual de 100.76MJ.ha-1 mm., para el 2013. en el 2014 se obtuvo un valor de 6928.51MJ.ha-1 mm., en el 2015 un valor de 1945.81MJ.ha-1 mm., en el 2016 un valor de 371309.16MJ.ha-1 mm. y en el 2017 se obtuvo un valor de 693560583.47MJ.ha-1 mm..

Este estudio constituye una primera aproximación a la identificación de uno de los parámetros determinantes en el proceso de la erosión hídrica.

Palabras clave: *erosión, erosividad, USLE*

Introducción

La investigación realizada se refiere a la erosión producida por las lluvias. En general, la erosión del suelo es definida como un proceso de desagregación, transporte y deposición de materiales del suelo por agentes erosivos (Ellison,1947). Los agentes erosivos dinámicos, en el caso de la erosión hídrica son la lluvia y el escurrimiento superficial o las inundaciones (FAO,1993). La lluvia tiene efecto a través del impacto de las gotas de lluvia sobre la superficies del suelo, y por el propio humedecimiento del suelo, que provocan desagregación de las partículas primarias; provoca también transporte de partículas por aspersion y proporciona energía al agua de la escorrentía superficial (Ellisom, 1947).

Para analizar este parámetro es necesario mencionar que la erosión es un proceso que actúa de manera selectiva, arrastrando las partículas más finas y más reactivas del suelo (arcilla y materia orgánica) y dejando las partículas más gruesas, pesadas y menos reactivas. De esta manera la erosión provoca una disminución de la concentración de nutrientes en el suelo degradado remanente (Stocking, 1984). Entre otras consecuencias de la erosión además de la disminución de la fertilidad del suelo, tenemos la degradación de habitats naturales, pérdida de biodiversidad y reducción de los amortiguadores naturales frente a inundaciones y sequias.

El interés en realizar esta investigación surge a partir del concepto planteado por la FAO (2015) donde indica que el suelo es un recurso finito, lo que implica que su pérdida y degradación no son reversibles en el curso de una vida humana, el hecho de reconocer la naturaleza no renovable a escala temporal humana del recurso edáfico es de suma importancia pues con ello se incrementarían las acciones para conservarlo y recuperarlo.

Por otro lado la pérdida de suelos por causa de erosión hídrica es un problema que se agrava, especialmente en los países en desarrollo, debido a la falta de información actualizada y a los pocos datos disponibles que cuantifican la erosión.

El área de estudio corresponde a la ciudad de Juliaca, que se caracteriza por presentar precipitaciones agresivas en determinados meses del año creando así condiciones muy favorables para la degradación del suelo.

La finalidad del proyecto es determinar el índice de erosión de cada precipitación considerada erosiva en cuatro años, para ello se realizará el cálculo del factor R, que se encuentra dentro de la ecuación USLE planteada por Wischmeier y Smith (1978).

Esta información puede ser de gran ayuda para elaborar medidas de control y como herramienta para otras investigaciones lo cual permitirá invertir la tendencia de degradación de los suelos.

Capítulo I: Marco Teórico

La erosión del suelo consiste en la remoción, arranque y transporte de los materiales que constituyen la capa más superficial del suelo, sea cual sea el agente responsable: agua, viento, hielo, actuaciones humanas, etc. En este capítulo se va a incidir expresamente en los efectos on site de la erosión, es decir los efectos directos sobre la degradación del suelo en los campos de cultivo; y no se consideran los posibles efectos off site de dicha erosión, tales como el aterramiento de embalses o la acumulación de sedimentos en infraestructuras viales.

La erosión hídrica es un proceso de disgregación y transporte de las partículas del suelo por acción del agua. Se trata de un fenómeno natural que se ha visto acelerado por el uso intensivo y el manejo inadecuado de los suelos agrícolas (FAO, 1990).

La erosión como el desprendimiento y desplazamiento de los materiales sólidos de la superficie del suelo, ya sea por efecto del viento, el agua o hielo en movimiento y también procesos tales como deslizamientos y desprendimientos de terrenos. Continúa considerando como erosión acelerada a la pérdida de material del suelo a un ritmo mayor de lo normal y esta se presenta por resultado de la destrucción de la cubierta vegetal o de una actividad del hombre. También comenta sobre el grado de erosión que generalmente la cubierta vegetal o capa superficial del suelo es la más rica del mismo, cuando este se erosiona ya sea por el agua o el viento, no solo se pierde un suelo precioso sino también muchos y valiosos kilogramos de materiales nutrientes utilizables para las plantas. (Foster, 1967).

Existen tipos de erosión, como las siguientes:

- Erosión del suelo de forma natural. Natural y progresiva, es la erosión que se desarrolla alrededor de varios años y se desarrollan en torno de algo

natural. Se le puede denominar erosión geológica, en esta erosión el proceso suele ser lento y se prolonga por millones de años, suelen intervenir la lluvia, nieve, frío, calor y viento. En los climas áridos es el calor que agrieta el suelo (pues este se expande) y el viento lleva granos de arena formando dunas y montes de baja altura. En este tipo de erosión los factores moldean perfectamente el paisaje, creando algo considerado hasta ahora bello e impresionante (ICONA, 1988).

- Erosión eólica. Se entiende por erosión eólica el proceso de disgregación, remoción y transporte de las partículas del suelo por la acción del viento. Este fenómeno de la erosión eólica se favorece con vientos fuertes y frecuentes, superficies llanas expuestas al viento, suelo seco, suelto, de textura fina y poca materia orgánica. Con una inexistente o degradada estructura del suelo con condiciones de aridez, altas temperaturas y escasas precipitaciones Poca cubierta vegetal. Así un pastoreo abusivo, la quema de residuos agrícolas y el laboreo irracional pueden ser factores causantes de la erosión eólica. (ICONA, 1988).
- Erosión hídrica. La Erosión Hídrica es un proceso de disgregación y transporte de las partículas del suelo por acción del agua. Se trata de un fenómeno natural y lento, sin embargo, debida al uso intensivo de las tierras agrícolas y al manejo inadecuado, ha sido acelerado como consecuencia de tales actividades (FAO, 1984). La desagregación, transporte y sedimentación de las partículas del suelo por las gotas de lluvia y el escurrimiento superficial definen el proceso de erosión hídrica. Cuando llueve, gotas de hasta 6 mm de diámetro bombardean la superficie del suelo a velocidades de impacto de hasta 32 km por hora. y el impacto

de la gota lanza partículas de suelo y agua en todas direcciones a una distancia de hasta 1m. (FAO, 1984).

- Etapas de la erosión hídrica La escorrentía y la erosión del suelo se inician con el impacto de gotas de lluvia sobre el suelo desnudo. Esta energía desagrega el suelo en partículas muy pequeñas que obstruyen los poros, provocando una selladura superficial que impide la rápida infiltración del agua (Guanca. 2010).

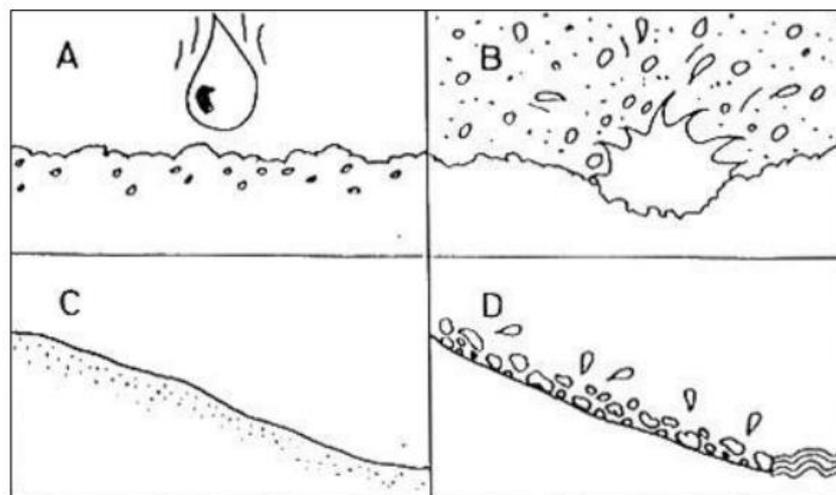


Figura 1. Etapas de la erosión hídrica. Fuente. (Derpsch et al, 1991). Donde a) Impacto de la gota de lluvia sobre el suelo desnudo b) Sus agregados son desintegrados en partículas minúsculas c) Que tapan los poros formando una selladura superficial provocando el escurrimiento superficial del agua de lluvia. d) El agua que escurre carga partículas de suelo que son depositadas en lugares más bajos cuando la velocidad de escurrimiento es reducida.

Además, existen factores que originan la erosión hídrica tales como:

- Factores climáticos. Los factores climáticos tienen un papel importante en la erosión hídrica, siendo las precipitaciones, tanto en su intensidad como en su duración, el elemento desencadenante del proceso. Cuando el volumen o la

intensidad de la lluvia son altos y superiores a la velocidad de infiltración del suelo, se genera escurrimiento y consecuentemente la erosión (Farfán, 2002).

- Características del suelo. Características de los suelos tales como su agregación, su textura, su capacidad de infiltración, entre otras, afectan su erosionabilidad. En la erosión por impacto es importante la estabilidad de los agregados del suelo. En la erosión por escurrimiento influyen la capacidad de infiltración y la textura. En los suelos de texturas gruesas, los valores de infiltración se mantienen altos y por lo tanto el escurrimiento es menor que en los suelos de texturas finas, que resultan más expuestos a la erosión (Guanca, 2010).
- La vegetación. La vegetación sobre la erosión hídrica, varía con la época del año, cultivo, grado de cobertura y desarrollo de raíces, se puede considerar que su efecto se relaciona directamente con la intercepción, velocidad de escurrimiento e infiltración. La presencia de una cobertura vegetal tiene influencia directa en la absorción de la energía de las gotas de lluvia y en la disminución de la velocidad de escurrimiento. En ausencia de dicha cobertura, en suelos desnudos, como los grandes pedales producto del sobrepastoreo, los valores de pérdida de suelos son importantes (Guanca, 2010).
- La topografía. La topografía influye en el proceso a través de la pendiente. Debiéndose considerar su longitud, el grado de inclinación, magnitud y forma. Frecuentemente el grado de inclinación origina problemas más agudos que la longitud de la pendiente. En cuanto a la longitud de la pendiente, el efecto es variable de acuerdo a la naturaleza de la precipitación, a la cobertura vegetal y a la textura del suelo. La mayor longitud de la pendiente hace aumentar el espesor de la lámina de escurrimiento o carga hidráulica (Guanca, 2010).

- Los usos de suelos y sus efectos en la erosión. El uso del suelo, es el uso que los seres humanos hacen de la tierra. El uso del suelo abarca la gestión y modificación del medio ambiente natural para convertirlo en un ambiente construido tal como campos de sembradío, pasturas, plantaciones forestales y asentamientos humanos. También ha sido definido como "las acciones, actividades e intervenciones que las personas realizan sobre un determinado tipo de superficie para producir, modificarla o mantenerla". Cada tipo de uso de la tierra presenta ciertas características propias en cuanto a la capacidad para cubrir y proteger la superficie, así como sus necesidades específicas en cuanto a prácticas de manejo. Por otro lado, cada tipo de tierra presenta cualidades y limitaciones que definen su capacidad para soportar un determinado tipo de uso. En este contexto, el uso de la tierra es fundamental para determinar un proceso de equilibrio dinámico capaz de mantenerse en el tiempo (Colter, H. 2010).

Por otro lado, la actividad humana y comportamiento de la tierra tiene un efecto importante en el tema de erosión. Cuando el hombre ocupa y utiliza la tierra para vivir y producir para satisfacer sus necesidades básicas de alimentación, vestimenta y vivienda, introduce elementos nuevos en el conjunto de variables que mantienen el sistema en equilibrio. La actividad humana promueve cambios en la capa de vegetación natural que cubre la superficie, moviliza el suelo, posibilita el pisoteo del mismo al pastorear el ganado, lo que contribuye a reducir la permeabilidad de la capa superficial, afectando la capacidad del suelo para recibir y almacenar el agua, permitir el intercambio de gases y el desarrollo radicular de las plantas. La actividad humana rompe el equilibrio y puede establecer un proceso acelerado donde el desgaste supera la formación, donde los cambios introducidos son más rápidos que las capacidades de mantenimiento y de recuperación de

los ecosistemas (Ferran Conill, A. 2007). Al tratarse de cambios introducidos por la actividad humana, solamente a ella misma le comprende establecer un nuevo equilibrio que sea capaz de desacelerar y revertir los procesos de degradación y garantizar la calidad de la tierra para que esta pueda seguir sufriendo las necesidades de la raza humana. Se discuten algunos de los aspectos más importantes de la actividad humana relacionados con la degradación de la tierra (Fournier, 1972).

Otro problema es la agricultura pobre e inadecuada, pues las técnicas agrícolas deficientes, tales como no permitir el suelo en barbecho y el uso de métodos de cultivo que le roban los nutrientes del suelo, pueden contribuir a la erosión hídrica. La agricultura pobre puede compactar ciertas capas de suelo, haciendo que sea menos capaz de retener el agua de lluvia y por lo tanto más propensos a la escorrentía. Los pesticidas y fertilizantes pueden aumentar la erosión del suelo, así filtrando el suelo de los nutrientes vitales y lo hace más vulnerable a los elementos. Las técnicas agrícolas deficientes aparecen más a menudo en el Tercer Mundo que en los países desarrollados, los agricultores suelen no usar el suelo adecuado y apto para la agricultura, quizá haciendo uso de suelos apto para pastoreo, forestación y hasta protección como suelos aptos para la agricultura, esto conlleva sin duda al factor de pérdida de suelos la erosión (ICONA, 1988).

Además que la tala de árboles y las plantas mantienen el suelo juntos a través de sus sistemas de raíces, mientras protegen el suelo de las lluvias y la escorrentía con sus hojas. La rápida deforestación desarraiga estas fuerzas protectoras, dejando el suelo vulnerable a los elementos. En áreas que experimentan fuertes lluvias, la deforestación puede crear rápidamente la escorrentía, la erosión del suelo y provocando enormes depósitos de sedimentos aguas corriente abajo. Según (Monga Baycom), la deforestación y la erosión

del suelo resulta tan grave en Madagascar, que los astronautas pueden ver la escorrentía desde el espacio (Colter, H. 2010).

Y tomando en cuenta el sobrepastoreo donde las técnicas deficientes del pastoreo crean problemas de erosión de la misma manera como otra actividad humana mediante la eliminación de las cualidades protectoras de la cubierta vegetal. Las ovejas, las vacas y otros animales de granja pastan limpiando un área determinada eliminando la vegetación que retiene el suelo en su lugar. Los responsables de las técnicas de pastoreo evitan el sobrepastoreo y permiten la oportunidad que se recupere la vida de las plantas, pero al permitir que los rebaños a pastar y dejar un área seca, los ganaderos aumentan el impacto de la erosión hídrica (Colter, H. 2010).

La erosión hídrica genera la pérdida del suelo que contiene la mayor parte de la fertilidad. Por lo tanto es necesario controlarla adoptando prácticas de cultivo y producción que mantengan el buen estado del suelo y que eviten el impacto de las gotas de lluvia y el escurrimiento. La erosión se controla reduciendo la erosividad de los agentes erosivos y la susceptibilidad del suelo a la erosión. La erosividad puede controlarse protegiendo el suelo con cobertura, reduciendo el volumen y pico del escurrimiento, reduciendo la longitud y magnitud de la pendiente, incrementando la rugosidad superficial. La susceptibilidad a la erosión hídrica puede reducirse mejorando el manejo del suelo, a través de la incorporación de rastrojo y produciendo rotaciones con pasturas (Mancilla, 2008). El cultivo en curvas de nivel, las terrazas, los desagües empastados y las represas de amortiguación, son prácticas estructurales que sostienen a las prácticas culturales como las labranzas conservacionistas. Estas prácticas estructurales son efectivas en el control y manejo del escurrimiento. La erosión laminar y la erosión en surcos, pueden ser controladas con las técnicas estructurales y con las labranzas conservacionistas como la

Siembra Directa (Morgan, 1997). Así, el control de la concentración de escurrimiento se hace a través de terrazas y desagües, mientras que la desagregación del suelo, a través de la cobertura del mismo. La extensión en el uso de cualquier técnica en particular o combinación de ellas depende de la naturaleza y severidad del problema.

En general, las condiciones climáticas son determinantes en los diferentes aspectos de la vida humana, ya que determinan en gran medida las características físicas, biológicas y sociales, y de la evolución de éstos en el tiempo. El clima generalmente está determinado por la estadística de una serie de parámetros como temperatura, precipitación, dirección y velocidad del viento, etc. La caracterización climática se basa en la información suministrada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI. Las características climáticas del Perú son peculiares por su extensión y relieve topográfico, la descripción climática general se logra con precisión mediante la expresión gráfica. La información climática de esta clasificación está sustentada en información meteorológica de aproximadamente veinte años (1965 - 1984), con la cual se procedió a formular los "Índices Climáticos" y el trazado de las zonas de acuerdo a la clasificación de climas de Werren Thornthwaite (Figura2).

Donde, Juliaca se encuentra en la clasificación de Clima frío o boreal de los valles mesoandinos. De precipitación semiseco, temperatura fría, humedad seco, Este tipo cliamtico de la región de la sierra se extiende entre lo 3000 y 4000msnm. Se caracteriza por sus precipitaciones anuales promedio de 700 mm y sus temperaturas medias anuales de 12°C. Presenta veranos lluviosos con inviernos secos con fuertes heladas.

Los últimos estudios al respecto fueron realizados por el Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA) en 1996 y solo proveen información cualitativa de los procesos erosivos.

Capítulo II: Metodología

Base de datos

La base de datos utilizada corresponde a datos pluviográficos registrados entre julio del 2013 y junio del 2017 por la estación EMA Juliaca ubicada en el distrito de Juliaca, provincia de San Román, departamento de Puno, en las coordenadas 15 28' 15.8" de latitud, 70 10' 16.4" de longitud y 3826 msnm de altura.

Durante el año 2013 se registraron 3976 datos de precipitación acumulada por hora desde 19 de junio hasta el 31 de diciembre. Durante el año 2014 se registraron 8761 datos de precipitación acumulada por hora desde 01 de enero hasta el 31 de diciembre. Durante el año 2015 se registraron 8760 datos de precipitación acumulada por hora desde 01 de enero hasta el 31 de diciembre. Durante el año 2016 se registraron 8790 datos de precipitación acumulada por hora desde 01 de enero hasta el 31 de diciembre. Durante el año 2017 se registraron 3273 datos de precipitación acumulada por hora desde 01 de enero hasta el 17 de mayo.

Entonces durante junio del 2013 a mayo del 2017 tenemos una base de datos de 33560 datos de precipitación acumulada con la que se realizó el cálculo de la erosividad o factor R.

Metodología

Para el cálculo de la erosividad en Juliaca aplicamos la ecuación de la USLE (Ecuación 1) como modelo de estimación de pérdida de suelo por erosión hídrica ampliamente recomendado por numerosos autores (Chen, 2007). La USLE es un modelo paramétrico totalmente empírico que se aplica para predecir la tasa de erosión anual promedio de suelos con una determinada topografía y bajo unas condiciones de uso y manejo del suelo específicas. El modelo no contempla los procesos físicos de separación,

transporte y sedimentación de forma mecánica. De esta forma la ecuación de la USLE vendría dada por la siguiente expresión:

$$A = R * K * L * S * C * P \quad (1)$$

Donde A es la pérdida de suelo en t.ha-1, R es la erosividad de las precipitaciones (MJ.mm.ha-1.h-1.año-1), K es la erosionabilidad del suelo (t.ha.h.ha-1.MJ-1.mm-1), L es la longitud de la ladera (adimensional), S la pendiente de la ladera (adimensional), C es el cultivo y manejo del suelo (adimensional) y P la práctica de conservación (adimensional).

Calculo del factor R

La pérdida de suelo tanto por salpicadura, flujo superficial y/o en regueros, está relacionada con un índice compuesto por la energía cinética (E) y la máxima intensidad de lluvia en 30 minutos (Ecuación 2). En definitiva, la energía cinética de las gotas de lluvia es capaz de desagregar el suelo en partículas individuales que posteriormente serán transportadas por salpicadura o por escorrentía. (Wischmeier y Smith 1978), entonces el término R de erosividad queda definido por la siguiente expresión:

$$R = E * I_{30} \quad (2)$$

Donde E es la energía cinética de la lluvia e I₃₀ la intensidad máxima de lluvia en un período de 30 minutos. Para el cálculo de la erosividad de la lluvia anual será necesario realizar la sumatoria de los productos de las energías cinéticas de todos los eventos de lluvias erosivas anuales con sus respectivas intensidades máximas en 30 minutos

$$R = \sum (E * I30) \quad (3)$$

Para el cálculo de R se determina si existe una precipitación mayor a 12,7 mm en un intervalo de 6h. De este modo se desprecian todas las precipitaciones con un volumen inferior a este umbral con excepción de aquellas en las que la intensidad es superior a 24 mm/h en 15 minutos (Wischmeier y Smith, 1978).

Para cada intervalo de precipitación fijado se debe calcular la energía cinética según la siguiente ecuación

$$e_i = 1,213 + 0,89 * \log IM \quad (4)$$

Donde IM es la intensidad de la lluvia en el intervalo considerado. El uso de esta ecuación para el cálculo de la energía cinética parcial se determina en función de las unidades de I, que en este caso son mm.h⁻¹, siendo las unidades finales las de energía por unidad de superficie y mm de precipitación en la forma J.m⁻².mm⁻¹.

El cálculo de la energía total para cada intervalo se calcula mediante la siguiente ecuación

$$E_i = e * ppi \quad (5)$$

Donde E_i es la energía total de cada intervalo, e_i la energía descrita en la ecuación 4 y ppi es el total de milímetros de lluvia caídos en el intervalo considerado.

Mediante la suma de las energías calculadas para cada intervalo llegamos al cálculo de la energía total de la tormenta considerada (Ecuación 6) que suele expresarse en MJ.ha⁻¹:

$$E = \sum E_i \quad (6)$$

Los datos necesarios para el cálculo del factor R de la ecuación de la USLE, tal y como se ha descrito en este apartado, han sido obtenidos a partir de los datos de precipitación de la estación EMA Juliaca-SENAMHI.

Capítulo III Resultados y discusión

Resultados para el año 2013

Durante el año 2013 se registraron 3976 datos de precipitación acumulada por hora desde 19 de junio hasta el 31 de diciembre.

Estos datos fueron filtrados según el criterio de (Wischmeier y Smith, 1978), donde se toman en cuenta las precipitaciones mayor a 12,7 mm en un intervalo de 6hrs, de este modo se desprecian todas las precipitaciones con un volumen inferior a este umbral con excepción de aquellas en las que la intensidad es superior a 24 mm/h en 15 minutos.

Luego de realizar el filtro quedaron 6 datos de precipitación acumulada por hora para el día 29 de diciembre con los cuales se calculó la lluvia parcial por día (Tabla 1).

Tabla 1.

Calculo de la lluvia parcial por día para el 2013

FECHA	HORA	PRECIPITACIÓN	LLUVIA PARCIAL
29 de diciembre	04:00p.m.	2.2	13.4
	05:00p.m.	2.2	
	06:00p.m.	0.5	
	07:00p.m.	1.2	
	08:00p.m.	3.9	
	09:00p.m.	3.4	

Para cada intervalo de precipitación fijado se debe calcular la energía cinética según la ecuación 4 y la energía total por cada intervalo según la ecuación 5.

Tabla 2.

Calculo de la intensidad, energía cinética y energía total por intervalo para el 2013.

DÍA	INTERVALO (horas)	LLUVIA PARCIAL (mm)	INTENSIDAD (mm/hora)	ENERGIA CINETICA (J.m-2.mm-1)	ENERGIA TOTAL POR INTERVALO (MJ.ha-1)
-----	-------------------	---------------------	----------------------	-------------------------------	---------------------------------------

29 de diciembre	6	13.4	2.23	1.93	25.84
-----------------	---	------	------	------	-------

Luego, la energía total de la tormenta se calcula con la ecuación 6, que corresponde a la sumatoria de la energía total por intervalo que en este caso sería 25.84 MJ.ha-1, por tener solo un intervalo.

Y finalmente para realizar el cálculo del factor R se identifica la intensidad máxima en una hora de todos los datos que en este caso es 3.9 mm.

Entonces, aplicando la ecuación 2 se calcula el factor R que tiene un valor de 100.76MJ.ha-1 mm.

Resultados para el año 2014

Durante el año 2014 se registraron 8761 datos de precipitación acumulada por hora desde 01 de enero hasta el 31 de diciembre (Anexo 1)

Estos datos fueron filtrados según el criterio de (Wischmeier y Smith, 1978), donde se toman en cuenta las precipitaciones mayor a 12,7 mm en un intervalo de 6hrs, de este modo se desprecian todas las precipitaciones con un volumen inferior a este umbral con excepción de aquellas en las que la intensidad es superior a 24 mm/h en 15 minutos.

Luego de realizar el filtro quedaron 66 datos de precipitación acumulada por hora para los días 15, 16, 22, 29, 30 de enero, 17, 26, 27 de marzo, 28 de setiembre, 3 de octubre y 18 de diciembre con los cuales se calculó la lluvia parcial por día (Tabla 1).

Tabla 3.

Calculo de la lluvia parcial por día para el 2014

DIA	HORA	PRECIPITACION	LLUVIA PARCIAL
15 de enero	05:00p.m.	0.7	12.8
	06:00p.m.	0	

	07:00p.m.	0.2	
	08:00p.m.	5.1	
	09:00p.m.	5.2	
	10:00p.m.	1.6	
16 de enero	06:00p.m.	0	18.7
	07:00p.m.	0	
	08:00p.m.	9.2	
	09:00p.m.	1.6	
	10:00p.m.	4.3	
	11:00p.m.	3.6	
22 de enero	02:00a.m.	5.9	29.3
	03:00a.m.	7.7	
	04:00a.m.	9.4	
	05:00a.m.	3.9	
	06:00a.m.	2.1	
	07:00a.m.	0.3	
29 de enero	06:00p.m.	11.6	18.5
	07:00p.m.	4.1	
	08:00p.m.	0.7	
	09:00p.m.	0.9	
	10:00p.m.	0.9	
	11:00p.m.	0.3	
30 de enero	06:00p.m.	13.9	30.6
	07:00p.m.	7.3	
	08:00p.m.	5.2	
	09:00p.m.	2.2	
	10:00p.m.	1.2	
	11:00p.m.	0.8	
17 de marzo	02:00p.m.	0	18.2
	03:00p.m.	0	
	04:00p.m.	11.7	
	05:00p.m.	4.4	
	06:00p.m.	1.1	
	07:00p.m.	1	
26 de marzo	06:00p.m.	5.2	15.3
	07:00p.m.	5.3	
	08:00p.m.	4.6	
	09:00p.m.	0.2	
	10:00p.m.	0	
	11:00p.m.	0	
27 de marzo	06:00p.m.	7.4	17.8
	07:00p.m.	10	
	08:00p.m.	0.3	
	09:00p.m.	0.1	
	10:00p.m.	0	

	11:00p.m.	0	
28 de setiembre	06:00p.m.	8.6	20.1
	07:00p.m.	6.7	
	08:00p.m.	1.3	
	09:00p.m.	0.7	
	10:00p.m.	1.2	
	11:00p.m.	1.6	
03 de octubre	02:00a.m.	3.9	21.4
	03:00a.m.	9.1	
	04:00a.m.	6.4	
	05:00a.m.	1.2	
	06:00a.m.	0.4	
	07:00a.m.	0.4	
18 de diciembre	06:00p.m.	2.5	13.8
	07:00p.m.	4.4	
	08:00p.m.	2.3	
	09:00p.m.	1.7	
	10:00p.m.	1.4	
	11:00p.m.	1.5	

Para cada intervalo de precipitación fijado se debe calcular la energía cinética según la ecuación 4 y la energía total por cada intervalo según la ecuación 5.

Tabla 4.

Calculo de la intensidad, energía cinética y energía total por intervalo para el 2014.

DÍA	INTERVALO (horas)	LLUVIA PARCIAL (mm)	INTENSIDAD (mm/hora)	ENERGIA CINETICA (J.m-2.mm-1)	ENERGIA TOTAL (MJ.ha-1)
15 de enero	6	12.80	2.13	1.89	24.16
16 de enero	6	18.70	3.12	2.22	41.60
22 de enero	6	29.30	4.88	2.62	76.89
29 de enero	6	18.50	3.08	2.22	40.98
30 de enero	6	30.60	5.10	2.66	81.49
17 de marzo	6	18.20	3.03	2.20	40.05
26 de marzo	6	15.30	2.55	2.05	31.31
27 de marzo	6	17.80	2.97	2.18	38.82
28 de setiembre	6	20.10	3.35	2.29	46.01

03 de octubre	6	21.40	3.57	2.34	50.18
18 de diciembre	6	13.80	2.30	1.95	26.97

Luego, la energía total de la tormenta se calcula con la ecuación 6, que corresponde a la sumatoria de la energía total por intervalo que da como resultado 498.45 MJ.ha-1.

Y finalmente para realizar el cálculo del factor R se identifica la intensidad máxima en una hora de todos los datos que en este caso es 13.9 mm.

Entonces, aplicando la ecuación 2 se calcula el factor R que tiene un valor de 6928.51MJ.ha-1 mm.

Resultados para el año 2015

Durante el año 2015 se registraron 8760 datos de precipitación acumulada por hora desde 01 de enero hasta el 31 de diciembre (Anexo 1).

Estos datos fueron filtrados según el criterio de (Wischmeier y Smith, 1978), donde se toman en cuenta las precipitaciones mayor a 12,7 mm en un intervalo de 6hrs, de este modo se desprecian todas las precipitaciones con un volumen inferior a este umbral con excepción de aquellas en las que la intensidad es superior a 24 mm/h en 15 minutos.

Luego de realizar el filtro quedaron 42 datos de precipitación acumulada por hora para los días 4,7 de marzo, 8, 20, 25, 26 de abril y 25 de diciembre con los cuales se calculó la lluvia parcial por día (Tabla 1).

Tabla 5.

Calculo de la lluvia parcial por día para el año 2015

DIA	HORA	PRECIPITACION	LLUVIA PARCIAL
4 de marzo	03:00a.m.	1.8	13.9

	04:00a.m.	2.8	
	05:00a.m.	2.3	
	06:00a.m.	1.9	
	07:00a.m.	2.4	
	08:00a.m.	2.7	
7 de marzo	02:00a.m.	0.6	16.4
	03:00a.m.	1.3	
	04:00a.m.	8.2	
	05:00a.m.	3.6	
	06:00a.m.	2	
	07:00a.m.	0.7	
8 de abril	11:00a.m.	1.7	19.3
	12:00p.m.	7.8	
	01:00p.m.	3	
	02:00p.m.	0.6	
	07:00p.m.	4.2	
	08:00p.m.	2	
20 de abril	04:00p.m.	0.6	15.6
	05:00p.m.	2.7	
	06:00p.m.	4.9	
	07:00p.m.	3.9	
	08:00p.m.	1.8	
	09:00p.m.	1.7	
25 de abril	12:00a.m.	3.7	14.8
	01:00a.m.	0.5	
	02:00a.m.	5.6	
	03:00a.m.	1.6	
	04:00a.m.	1.4	
	05:00a.m.	2	
26 de abril	02:00a.m.	1.3	14.5
	03:00a.m.	4	
	04:00a.m.	4.6	
	05:00a.m.	2.5	
	06:00a.m.	1.3	
	07:00a.m.	0.8	
25 de diciembre	06:00p.m.	7.7	18.5
	07:00p.m.	2.9	
	08:00p.m.	2	
	09:00p.m.	0.1	
	10:00p.m.	3.3	
	11:00p.m.	2.5	

Para cada intervalo de precipitación fijado se debe calcular la energía cinética según la ecuación 4 y la energía total por cada intervalo según la ecuación 5.

Tabla 6.

Calculo de la intensidad, energía cinética y energía total por intervalo para el 2015.

DÍA	INTERVALO (horas)	LLUVIA PARCIAL (mm)	INTENSIDAD (mm/hora)	ENERGIA CINETICA (J.m-2.mm-1)	ENERGIA TOTAL POR INTERVALO (MJ.ha-1)
4 de marzo	6	13.9	2.32	1.96	27.25
7 de marzo	6	16.4	2.73	2.11	34.57
8 de abril	6	19.3	3.22	2.25	43.48
20 de abril	6	15.6	2.60	2.06	32.19
25 de abril	6	14.8	2.47	2.02	29.84
26 de abril	6	14.5	2.42	2.00	28.98
25 de diciembre	6	18.5	3.08	2.22	40.98

Luego, la energía total de la tormenta se calcula con la ecuación 6, que corresponde a la sumatoria de la energía total por intervalo que da como resultado 237.29 MJ.ha-1.

Y finalmente para realizar el cálculo del factor R se identifica la intensidad máxima en una hora de todos los datos que en este caso es 8.2 mm.

Entonces, aplicando la ecuación 2 se calcula el factor R que tiene un valor de 1945.81MJ.ha-1 mm.

Resultados para el año 2016

Durante el año 2016 se registraron 8790 datos de precipitación acumulada por hora desde 01 de enero hasta el 31 de diciembre (Anexo 1).

Estos datos fueron filtrados según el criterio de (Wischmeier y Smith, 1978), donde se toman en cuenta las precipitaciones mayor a 12,7 mm en un intervalo de 6hrs,

de este modo se desprecian todas las precipitaciones con un volumen inferior a este umbral con excepción de aquellas en las que la intensidad es superior a 24 mm/h en 15 minutos.

Luego de realizar el filtro quedaron 31 datos de precipitación acumulada por hora para los días 7 de enero, 16, 24, 25 de febrero, 14 de junio y 8 de diciembre con los cuales se calculó la lluvia parcial por día (Tabla 1).

Tabla 7.

Calculo de la lluvia parcial por día para el año 2016

FECHA	HORA	PRECIPITACIÓN	LLUVIA PARCIAL
7 de enero	08:00a.m.	1.8	12.8
	09:00a.m.	0.1	
	04:00p.m.	3.4	
	05:00p.m.	5.1	
	06:00p.m.	1.9	
	07:00p.m.	0.5	
16 de febrero	06:00p.m.	10.1	16.2
	07:00p.m.	3.3	
	08:00p.m.	1.2	
	09:00p.m.	0.2	
	10:00p.m.	0.8	
	11:00p.m.	0.6	
24 de febrero	04:00p.m.	3.8	16.3
	05:00p.m.	4.8	
	07:00p.m.	0.2	
	08:00p.m.	0.1	
	09:00p.m.	2.3	
	10:00p.m.	5.1	
25 de febrero	12:00a.m.	1.8	13
	01:00a.m.	1.7	
	02:00a.m.	1.7	
	03:00a.m.	2.4	
	04:00a.m.	3	
	05:00a.m.	2.4	
14 de junio	03:00a.m.	235.3	235.3
8 de diciembre	04:00p.m.	0.8	15.5
	05:00p.m.	0.2	

	06:00p.m.	0.2	
	07:00p.m.	6.2	
	08:00p.m.	7.6	
	09:00p.m.	0.5	

Para cada intervalo de precipitación fijado se debe calcular la energía cinética según la ecuación 4 y la energía total por cada intervalo según la ecuación 5.

Tabla 8.

Calculo de la intensidad, energía cinética y energía total por intervalo para el 2016.

DÍA	INTERVALO (horas)	LLUVIA PARCIAL (mm)	INTENSIDAD (mm/hora)	ENERGIA CINETICA (J.m-2.mm-1)	ENERGIA TOTAL POR INTERVALO (MJ.ha-1)
7 de enero	6	12.8	2.13	1.89	24.16
16 de febrero	6	16.2	2.70	2.10	33.97
24 de febrero	6	16.3	2.72	2.10	34.27
25 de febrero	6	13	2.17	1.90	24.71
14 de junio	1	235.3	235.30	6.07	1429.02
8 de diciembre	6	15.5	2.58	2.06	31.89

Luego, la energía total de la tormenta se calcula con la ecuación 6, que corresponde a la sumatoria de la energía total por intervalo que da como resultado 1578.02 MJ.ha-1.

Y finalmente para realizar el cálculo del factor R se identifica la intensidad máxima en una hora de todos los datos que en este caso es 235.30 mm.

Entonces, aplicando la ecuación 2 se calcula el factor R que tiene un valor de 371309.16MJ.ha-1 mm.

Resultados para el año 2017

Durante el año 2017 se registraron 3273 datos de precipitación acumulada por hora desde 01 de enero hasta el 17 de mayo (Anexo 1).

Estos datos fueron filtrados según el criterio de (Wischmeier y Smith, 1978), donde se toman en cuenta las precipitaciones mayor a 12,7 mm en un intervalo de 6hrs, de este modo se desprecian todas las precipitaciones con un volumen inferior a este umbral con excepción de aquellas en las que la intensidad es superior a 24 mm/h en 15 minutos.

Luego de realizar el filtro quedaron 19 datos de precipitación acumulada por hora para los días 24,26 de enero, 15 y 18 de marzo (Tabla 1).

Tabla 9.

Calculo de la lluvia parcial por día para el año 2017

FECHA	HORA	PRECIPITACIÓN	LLUVIA PARCIAL
24 de enero	05:00a.m.	1.2	19.4
	07:00p.m.	1.4	
	08:00p.m.	2.5	
	09:00p.m.	9.1	
	10:00p.m.	2.5	
	11:00p.m.	2.7	
26 de enero	12:00a.m.	3.3	13.1
	01:00a.m.	2.8	
	02:00a.m.	2.2	
	03:00a.m.	3	
	04:00a.m.	1.6	
	05:00a.m.	0.2	
15 de marzo	05:00p.m.	4.9	31.5
	06:00p.m.	6.3	
	07:00p.m.	7.6	
	08:00p.m.	4.1	
	09:00p.m.	5.5	
	10:00p.m.	3.1	
18 de marzo	10:00p.m.	8636.9	8636.9

Para cada intervalo de precipitación fijado se debe calcular la energía cinética según la ecuación 4 y la energía total por cada intervalo según la ecuación 5.

Tabla 10.

Calculo de la intensidad, energía cinética y energía total por intervalo para el 2017.

DÍA	INTERVALO (horas)	LLUVIA PARCIAL (mm)	INTENSIDAD (mm/hora)	ENERGIA CINETICA (J.m-2.mm-1)	ENERGIA TOTAL POR INTERVALO (MJ.ha-1)
24 de enero	6	19.4	3.23	2.26	43.79
26 de enero	6	13.1	2.18	1.91	24.99
15 de marzo	6	31.5	5.25	2.69	84.70
18 de marzo	1	8636.9	8636.90	9.28	80148.54

Luego, la energía total de la tormenta se calcula con la ecuación 6, que corresponde a la sumatoria de la energía total por intervalo que da como resultado 80302.03 MJ.ha-1.

Y finalmente para realizar el cálculo del factor R se identifica la intensidad máxima en una hora de todos los datos que en este caso es 8636.90 mm.

Entonces, aplicando la ecuación 2 se calcula el factor R que tiene un valor de 693560583.47MJ.ha-1 mm.

Discusión

Tras calcular el factor R mediante la aplicación de la metodología planteada por Wischmeier y Smith (1978) para la zona de estudio podemos observar un incremento de los valores de dicho factor en relación con el tiempo ya que en el 2013 se obtuvo un valor de 100.76MJ.ha-1 mm., en el 2014 se obtuvo un valor de 6928.51MJ.ha-1 mm., en el 2015 un valor de 1945.81MJ.ha-1 mm., en el 2016 un valor de 371309.16MJ.ha-1 mm. y en el 2017 se obtuvo un valor de 693560583.47MJ.ha-1 mm.

Entonces en la ciudad de Juliaca se encuentra en un rango de 100.76 MJ.ha-1 mm. a 693560583.47MJ.ha-1 mm. Comparado estos valores con países cercanos como Brazil que tiene un rango de 1672–22,452 Oliveira et al.(2012), entonces el altiplano peruano y en particular la ciudad de Juliaca presenta niveles de erosión muy altos.

Conclusiones

Se determinó el índice de erosión de cada precipitación considerada erosiva en cuatro años, 2013 se obtuvo un valor de 100.76MJ.ha-1 mm., en el 2014 se obtuvo un valor de 6928.51MJ.ha-1 mm., en el 2015 un valor de 1945.81MJ.ha-1 mm., en el 2016 un valor de 371309.16MJ.ha-1 mm. y en el 2017 se obtuvo un valor de

693560583.47MJ.ha-1 mm. lo cual muestra un alto nivel de erosión que se incrementa con el tiempo.

Referencias bibliográficas

Ellison, W.D. (1947). Soil erosion studies - Part I: Agric. Eng. 28:145-146.

FAO (1993). Erosión de los suelos en America Latina. Recuperado de:<http://www.fao.org/docrep/t2351s/T2351S00.htm>

Stocking, M. (1984). Erosion and soil productivity: a review. Consultants' working Paper N° 1 AGLS, FAO, Roma, 102p.FAO (2015)

Wischmeier, W.H. y Smith, D.D. (1978). Predicting Rainfall Erosion Losses. Agriculture Handbook 537. United States Department of Agriculture. Science and Education Administration. 58 pp.

(FAO, 1990). Management of gypsiferous soils, 1990

ICONA (1988): “Mapas de estados erosivos de la Cuenca Hidrográfica del Segura”⁰. Madrid. España.

FAO, 1984. “Metodología Provisional Para la Evaluación de la Degradación de los Suelos”. Roma, Italy. 86 p.

GUANCA, (2010): “Determinación de la Erosión Hídrica de los Suelos de la Cuenca del Rio Pilcomayo – Salta”.

FARFÁN, (2002): “Determinación del índice de erosividad pluvial (R) de la ecuación universal de pérdida de suelos, para dos estaciones pluviográficas de la VII región del Maule”. Chile: Investigación de tesis de ingeniería forestal. (Colter, H. 2010).

FERRÁN CONILL, A (2007) “Modelización de la erosión hídrica en los suelos. El enfoque de sistemas en las CTMA”. Didáctica Ambiental S.L. ISSN: 1698- 5893.

(Fournier, 1972).

COLTER, H. (2010): “Estimación de Pérdida de Suelo por Erosión Hídrica en la Microcuenca de Presa Madín, México”.

MORGAN, R.P.C. (1997). “Erosión y Conservación del Suelo”, edi. Mundi Prensa

INRENA. 1996. Erosión de los suelos en el Perú. Recuperado de <http://sinia.minam.gob.pe/documentos/erosion-suelos-peru-1996>

P.Oliveira, E. Wendland, M. Nearing 2012). Rainfall erosivity in Brazil: A review. <http://heros.sites.ufms.br/files/2015/08/Rainfall-erosivity-in-Brazil.pdf>

Anexos