

UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

Prof. Patrocinante: Álvaro Suazo Schwencke

Prof. Comisión : Verónica Lazcano Castro

Sergio Quijada Vera

**ESTIMACIÓN DE LA EROSIVIDAD DE LA
LLUVIA EN LA CIUDAD DE CONCEPCIÓN.**

**Proyecto de Título presentado en conformidad a los requisitos para obtener el
Título de Ingeniero Civil**

FABIÁN CASTILLO MONTOYA

Concepción, Enero de 2014

Agradecimientos

En primer lugar agradezco a mi Dios Jehová por haberme dado las fuerzas necesarias para sacar adelante esta carrera y haberla concluido de la mejor manera.

También agradezco a mi familia por el apoyo durante todos estos años, a mi mamá por la paciencia que me tenía en esos días de alto estrés y a mi papá por relajarme siempre en esos momentos en que me iba mal en algún certamen y a mis dos hermanas que siempre estaban atentas ante cualquier cosa que necesitara.

A mis profesores Álvaro Suazo, Pedro Cisterna, Verónica Lazcano y Ricardo Riveros que siempre se encargaron de hacer el ambiente de clases algo más familiar y entretenido.

Al profesor Álvaro Suazo quien me ayudó en esta última etapa de la carrera estando siempre disponible para cualquier consulta y ayuda que necesité en el desarrollo de mi tesis.

Y como olvidar a mis queridos compañeros y amigos como la Karol Fuentes y Loredana que fueron a las primeras que les hable en el primer día de clases y se convirtieron en mis amigas hasta el día de hoy, a mi compadre Wladimir Guerrero un gran amigo y como dice su apellido un gran guerrero en la vida. La Daniela Fernández una gran amiga con la que podíamos hablar y hablar durante muchas horas y no nos aburríamos. El Xoro Coke, al Yuseppe, Francisco Pastrana (Safrada) y Lermanda como olvidar esos partidos de fútbol. La María Paz y la Carolina que siempre se preocupaba de llevarme o comprarme algo para comer en esos periodos maratónicos de certámenes, al Esteban, Miguel, Dani y Víctor. Con quienes nos tentábamos de la risa en plena clase de protocolo.

A todos ellos van mis agradecimientos por haber hecho de la universidad un lugar más grato, alegre y entretenido.

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN	3
Objetivos.....	5
Objetivo General.....	5
Objetivos Específicos.....	5
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	6
2.1. Mecanismos que intervienen en la Erosión Hídrica	6
Acción de la Precipitación.....	7
Acción de Escorrentía.	8
2.2. Factores que intervienen en la erosión causada por la lluvia.	8
2.3. Estimación de la pérdida de suelo	8
2.4. Factor de Erosividad de la Lluvia, R.	9
2.4.1. Cálculo del factor R según Wischmeier y Smith.	9
2.4.2. Índice de Fournier (IF).	10
2.4.3. Índice Modificado de Fournier (IMF).	11
2.4.4. Relación entre IMF y R	12
3. METODOLOGÍA	14
3.1. Descripción del área de estudio.....	14
3.2. Factores que intervienen en la erosión causada por la lluvia.	15
3.3. Obtención de la información.	15

	III
3.4. Influencia en el periodo que se miden los 30 minutos máximos.....	16
3.5. Cálculo de los Índices.	16
3.6. Cálculo del Factor R.	16
3.7. Método de Comparación.	17
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS	19
4.1. Análisis de las precipitaciones máximas en un rango de 30 minutos.....	19
4.2. Análisis de los Índices según la estación TIGO.	21
4.3. Análisis de los Índices según la estación Las Pataguas.	22
4.4. Análisis de los Índices según la estación Estero Nonguén.	22
4.5. Análisis del Factor R según el Índice Modificado de Fournier.....	23
4.6. Análisis del Factor R con el método de Wischmeier y Smith.....	25
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	27
BIBLIOGRAFÍA	29
ANEXOS	I
A. Resultados de la Energía Cinética de la lluvia y el factor F según Wischmeier y Smith.	1
B. Resultados del factor R según Wischmeier y Smith para la estación meteorológica Las Pataguas.	7
C. Resultados del factor R según Wischmeier y Smith para la estación meteorológica Estero Nonguén.....	10
D. Calculo del factor R, Índice de Fournier e Índice Modificado de Fournier para cada año con los datos de la estación meteorológica TIGO.	13
E. Calculo del factor R, Índice de Fournier e Índice Modificado de Fournier para cada año con los datos de la estación meteorológica Las Pataguas.	16

F. Calculo del factor R, Índice de Fournier e Índice Modificado de Fournier para cada año con los datos de la estación meteorológica Estero Nonguén..... 19

ESTIMACIÓN DE LA EROSIVIDAD DE LA LLUVIA EN LA CIUDAD DE CONCEPCIÓN.

FABIÁN GONZALO CASTILLO MONTOYA

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío

facasmont@gmail.com

PROFESOR PATROCINANTE

Sr. Álvaro Suazo Schwencke

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental

asuazo@ubiobio.cl

RESUMEN

La erosión es uno de los problemas ambientales más importantes presente en todo el mundo. El factor de erosividad de la lluvia (R) es uno de los más relevantes dentro de este proceso. Frente a esta problemática, este proyecto de título tiene como objetivo poder determinar el factor de erosividad de la lluvia, en la Ciudad de Concepción a partir de datos de precipitaciones. No obstante una de las mayores dificultades que presenta su cálculo es la disponibilidad de datos pluviográficos.

Se utiliza dos métodos para el cálculo del factor de erosividad de la lluvia con el fin de poder comparar los resultados y ver la efectividad de cada uno. Uno de los métodos, consiste en la sumatoria de la multiplicación de la energía cinética por la intensidad máxima en un rango de 30 minutos de las lluvias más erosivas. El segundo método es utilizar el Índice Modificado de Fournier, el cual es más fácil de obtener debido a la información entregada por la estación meteorológica. Este índice de agresividad se ingresa en una ecuación y se obtiene el factor R. Como resultado se obtuvo que la erosividad del suelo, generada por las precipitaciones en la Ciudad de Concepción, no genera un gran peligro debido a su baja capacidad erosiva.

Palabras claves: Erosividad, Precipitación, RUSLE, Energía cinética.

6178 Palabras Texto + 13 Figuras/Tablas*250 = 9428

ESTIMATION OF RAINFALL EROSION IN THE CITY OF CONCEPCION

FABIÁN GONZALO CASTILLO MONTOYA

Department of Civil and Environmental Engineering, University of Bío-Bío

facasmont@gmail.com

ADVISOR

Sr. Álvaro Suazo Schwencke

asuazo@ubiobio.cl

ABSTRACT

The erosion is one of the most important environmental problems throughout the world. The rain erosivity factor (R) is one of the most important in this process. However, one of the greatest difficulties in the calculation is the availability of rainfall data pluviographic. Faced with this problem, this project aims to determine the factor of rainfall erosivity in the city of Concepcion from rainfall data.

Two methods were used for calculating the factor of rainfall erosivity in order to compare the results and see the effectiveness of each. One consisting of the multiplication of the kinetic energy by the maximum intensity in the range of 30 minutes from the most erosive rains. The second uses the Modified Fournier Index which is easier to obtain due to the information provided by the weather station. This index of aggressiveness is entered in an equation and R factor is obtained.

It was observed that soil erodibility, rainfall generated by the City of Concepción, does not generate a great danger due to its low erosive capacity.

Keywords: Erosivity, Precipitation, RUSLE, Kinetic energy.

6178 words + 13 Text Figures / Tables * 250 = 9428

1. INTRODUCCIÓN

Las precipitaciones constituyen el factor más agresivo en el proceso de la erosión hídrica de los suelos. Este fenómeno comienza desde que la gota de agua tiene contacto con la primera capa de suelo. Debido a esto, la magnitud de la erosión dependerá del poder de la lluvia, la cual proporciona la energía necesaria para producir la erosión, aunque también dependerá de la capacidad que tenga el propio suelo para poder resistir dicha fuerza.

La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (Wischmeier and Smith, 1978) y su versión modificada (RUSLE, Renard et al., 1997), son las más utilizadas a nivel mundial debido a su simplicidad. Estas ecuaciones están basadas en cinco factores, donde la erosividad de la lluvia - factor R- es el más relevante, pues está muy relacionado con la pérdida de suelo (Wischmeier and Smith, 1978). Este factor R de la USLE fue definido por Wischmeier y Smith en 1978. Esto ocurrió luego de que analizaron datos de pérdida de suelos y lluvia, encontrando que el producto de la energía cinética y de la intensidad de la lluvia máxima en un rango de 30 minutos, representa la capacidad que tiene la lluvia de causar erosión. Sin embargo este método es un poco complejo debido a que los datos pluviográficos que existen en algunas zonas son escasos, limitando la posibilidad de obtener la energía cinética de la lluvia. Por esta razón otros autores han tratado de relacionar el factor R con datos muchos más fáciles de obtener.

Uno de estos métodos es el Índice de Fournier (Fournier, 1960) el cual sólo considera el mes de mayor precipitación y la precipitación anual. Un segundo método es el Índice de Fournier Modificado (Arnoldus, 1977), el cual no considera simplemente el mes de mayor precipitación, más bien hace una sumatoria de todos los meses en que se generen altas precipitaciones y también considera la precipitación anual.

En consecuencia a esto, este estudio se enfocará en la obtención del factor R empleando el método del IMF, debido a la simplicidad que requieren los cálculos y también el método propuesto por Wischmeier y Smith (Wischmeier and Smith, 1978). Para esto se utilizarán todas las lluvias sobre 13mm de agua caída en un día, ya que según la clasificación de Wischmeier y Smith para zonas con clima templado, sobre esa magnitud ya se consideran lluvias erosivas, lo cual es una característica requerida para el cálculo del factor R. También se utilizan datos meteorológicos de 4 años debido a que la estación meteorológica con la que se trabaja sólo contiene esa cantidad de información.

Ahora bien, para poder emplear el método de Wischmeier y Smith (Wischmeier and Smith, 1978), que es el producto entre la energía cinética y la intensidad máxima en un rango de 30 minutos, es necesario analizar las precipitaciones de cada año y luego escoger las tormentas más relevantes. Generalmente para realizar la selección de las precipitaciones más representativas, la información se analiza cada 30 minutos horarios.

No obstante este proyecto también pretende evaluar qué ocurriría con las intensidades máximas si se modificaran los 30 minutos horarios desfasándose cada 5 minutos, lo cual permitiría comparar en cuál de las dos situaciones se origina la mayor intensidad.

Por otro lado, debido a que en algunas ocasiones las estaciones meteorológicas no cuentan con la información de las precipitaciones cada 30 minutos, existe la alternativa de utilizar el índice de Fournier y el índice de Fournier modificado y así finalmente se puede realizar una comparación de los tres métodos utilizados.

Tomando en cuenta todo lo anterior, para obtener un buen resultado y que sea confiable será necesario realizar un desarrollo y análisis bien detallado de los datos obtenidos y calculados. Así se cumplirá el objetivo de este proyecto de título que es entregar el valor del factor R, que servirá para el cálculo de la erosión hídrica de cualquier suelo de la Comuna de Concepción.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo General

- Estimar la erosividad de la lluvia en la Ciudad de Concepción en base a datos de Estaciones Meteorológicas de la Ciudad.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Elegir las variables más relevantes relacionadas con la erosividad causada por la lluvia.
- Analizar las precipitaciones máximas en un rango de 30 minutos de las tormentas más representativas.
- Realizar un análisis del índice de Fournier y del índice de Fournier modificado.
- Determinar la erosividad de la lluvia desde información meteorológica.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Cuando se habla de la erosión hídrica es muy importante destacar que ésta se produce por dos factores; la velocidad de flujo y el tamaño de las partículas transportadas. Específicamente ésta es causada por la acción de la energía cinética de las gotas de lluvia al impactar en la superficie de un terreno desnudo o que no está protegido por la vegetación. Se provocan de esta forma que las partículas del suelo se separen y que posteriormente sean arrastradas por el escurrimiento superficial de las aguas (Pérez y Gonzales, 2001).

2.1. Mecanismos que intervienen en la Erosión Hídrica

El agua de lluvia ejerce su acción erosiva sobre el suelo mediante el impacto de las gotas y la escorrentía. Por este motivo es necesario hacer la diferencia entre escorrentía y la acción de la precipitación, ya que ambos son los procesos que intervienen en la erosión.

Como se muestra en la figura 1, el efecto de erosión comienza con el impacto de la gota de lluvia sobre el suelo desnudo (A); luego la zona del impacto es desintegrada en partes minúsculas o más pequeñas (B); estas partes pequeñas tapan los poros formando una especie de selladura superficial (C); provocando de esta manera el escurrimiento superficial del agua de lluvia, la cual al escurrir arrastra consigo partículas de suelo que son depositadas en lugares más bajos (D). (Derpsch et al. 1991).

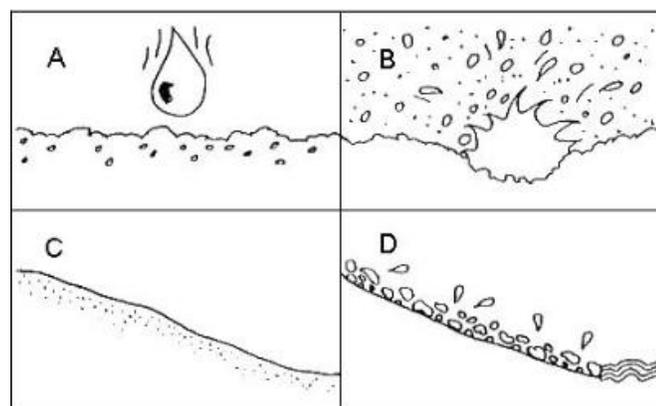


Figura 1. Etapa de la erosión hídrica. **Fuente:** Derpsch et al. (1991).

a) Acción de la Precipitación

Las precipitaciones establecen un fenómeno físico que describe la transferencia de agua, tanto en su fase líquida como en la sólida (Llamas, 2003). El término precipitación, se utiliza para designar la caída de agua sobre la superficie terrestre, la cual puede estar en cualquiera de sus formas; lluvia, granizo y nieve.

Ahora bien, el efecto de la gota de lluvia sobre el suelo desnudo, se denomina erosión por salpicadura. Cuando la gota cae desde la atmósfera va sufriendo cambios en su tamaño, debido a la evaporación o la condensación. Cae por gravedad y golpea al suelo con una gran fuerza, disgregando así las partículas terrosas. Por ello las lluvias más violentas son las que tienen mayor poder destructivo mientras que las lluvias finas y lentas son de poco poder erosivo (García, 1999).

En la figura 2 se puede ver el impacto que ocasiona una gota de lluvia sobre la superficie del suelo. Estas gotas pueden llegar a tener un diámetro de 6mm una velocidad de impacto con el suelo hasta de 32 km/hr incluso el impacto de la gota puede lanzar partículas de agua y de suelo en todas las direcciones a una distancia de hasta 1 metro (Derpsch, 2004).



Figura 2. Impacto de la gota de lluvia sobre el suelo desnudo. **Fuente:** USDA 1940 en Derpsch, (2004).

b) Acción de Escorrentía.

La escorrentía es la porción de agua de lluvia que no penetra al suelo y fluye hacia los ríos en forma superficial Suarez (1980). Por lo tanto, este escurrimiento dependerá del régimen de las precipitaciones y de las características del suelo.

2.2. Factores que intervienen en la erosión causada por la lluvia.

Entre los principales factores que pueden contribuir a la tasa de erosión de algún lugar en particular, están la intensidad de las precipitaciones y su duración, el grado de inclinación que pueda tener la pendiente y su longitud y la erodabilidad propia del suelo. Sin embargo, Suarez (1980, citado por Pizarro, 2005), menciona que el factor climático que más influye en la erosión es la precipitación. De ella lo más sobresaliente es la energía cinética que pueda llegar a tener la gota de lluvia, pues de ésta dependerá la fuerza del impacto contra el suelo.

Esta energía cinética de la lluvia es la suma de la energía de cada gota en forma individual. No obstante, la energía cinética dependerá en gran manera del tamaño de la gota de lluvia y de la velocidad con que impacte la superficie del suelo.

El tamaño de las gotas de lluvia va variando de un tamaño insignificante, en el caso de que sea una niebla, hasta tamaños de hasta 6 ó 7 mm de diámetro, en el caso de que sean fuertes tormentas. De acuerdo a lo que menciona Laws (1941), el diámetro medio que puede llegar a tener una gota es de 3 mm, la cual podría variar según la intensidad.

2.3. Estimación de la pérdida de suelo

Una de las ecuaciones más utilizadas para la erosión es la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos. Su desarrollo estuvo liderado por Wischmeier y Smith (1978), quienes, antes de definir la ecuación, investigaron sobre la energía de la lluvia y la relación que existe entre ésta y la erosión del suelo. La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo tiene la siguiente forma:

ec.1

Donde:

A = Pérdida de suelo por unidad de superficie.

R= Factor de erosividad por lluvia. Es el producto entre la energía cinética (E) y la intensidad máxima en 30 minutos de lluvia (I_{30}).

K = Factor de erodabilidad del suelo. Es la cantidad promedio de suelo perdido.

L = Factor longitud de la pendiente. Es la relación entre la erosión con una longitud de pendiente dada y la erosión que ocurre en el estándar de 22,1 m de longitud.

S = Factor de inclinación de la pendiente. Es la relación entre la erosión con una pendiente dada y la que ocurre en el estándar de 9% de inclinación.

C = Factor cubierta vegetal. Es la relación entre las pérdidas de suelo con cultivos y la pérdida de un suelo desnudo.

P = Prácticas de Conservación de suelo. Relación entre las pérdidas de suelo con cultivos a nivel, en fajas y en terrazas y las pérdidas correspondientes a un cultivo en surcos según la pendiente.

De estos factores el único que se estudiara en este proyecto corresponde al “R”.

2.4. Factor de Erosividad de la Lluvia, R.

El factor de erosividad de la lluvia comprende una evaluación numérica de varios eventos de lluvia ocurridos durante el año que describe la capacidad de erosionar que tiene ésta en un suelo desprotegido. Por otro lado, las diferencias en la capacidad de erosionar que tenga la lluvia no están necesariamente relacionadas con la cantidad de lluvia caída, más bien como ya se ha mencionado se relaciona con la energía cinética que llevan las gotas de lluvia.

2.4.1. Cálculo del factor R según Wischmeier y Smith.

Wischmeier y Smith (1978) observaron que entre los factores de precipitación pluvial que estudiaron, la energía cinética multiplicada por la máxima intensidad en 30 minutos genera la mayor parte de pérdida de suelos. Sin embargo para obtener la energía cinética se han generado varias ecuaciones de regresión las cuales se han ido mejorando. Las que actualmente se utilizan son las siguientes:

76 mm h⁻¹ **ec. 2** (Fuente: Bonilla, 2011)

76 mm h⁻¹ **ec. 3** (Fuente: Bonilla, 2011)

Donde:

E = Energía Cinética de la lluvia [kg m/m² mm]

I = Intensidad de la Precipitación Pluvial [mm/hr]

Luego se determinan los valores de I₃₀ buscando la mayor cantidad de agua caída en un periodo de 30 minutos continuos.

Con estos datos obtenidos el factor de erosividad de la lluvia corresponde a la suma de todos los del año analizado como muestra la siguiente ecuación.

ec.4

Por otro lado, la erosividad causada por la lluvia también puede ser clasificada dependiendo de la magnitud que pueda presentar el factor R según Rivera y Gómez (1991), como se expone en la tabla N°1.

Tabla N°1 Clasificación de la erosividad de la lluvia según el factor R.

Erosividad R (MJmmha ⁻¹ h ⁻¹)	Clasificación
Menor de 1000	Natural
1000 – 2500	Muy baja
2500 – 5000	Baja
5000 – 7500	Moderada
7500 – 10000	Alta
10000 – 15000	Muy alta
15000 – 20000	Severa
Mayor a 20000	Extremadamente severa

Fuente: Rivera y Gómez (1991)

2.4.2. Índice de Fournier (IF).

Fournier (1960) estableció el índice de agresividad climática, mejor conocido como Índice de Fournier. Éste fue formulado con el fin de poder describir el efecto erosivo que tienen las

precipitaciones. Para poder calcular este índice, tiene que hacerse sobre una base anual y también considerando la precipitación con mayor carácter erosivo ocurrida durante el año.

El cálculo del IF debe realizarse en base de datos pluviográficos y estaciones que posean información representativa de la zona de estudio, utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{--- ec.5}$$

Donde:

IF = Índice de Fournier.

= Precipitación correspondiente al mes más lluvioso del año (mm).

P = Precipitación media anual (mm).

Un estudio realizado para zonas montañosas y de cerros (Delgado, 2003), arrojó que este índice se puede clasificar según su grado de agresividad como se muestra en la tabla N°2.

Tabla N°2 Clasificación del Índice de Fournier según su agresividad climática

<i>IF</i>	<i>Clasificación</i>
< 15	Muy bajo
16 – 30	Bajo
31 – 50	Moderado
51 – 65	Alto
> 65	Muy alto

Fuente: Delgado (2003)

2.4.3. Índice Modificado de Fournier (IMF).

Arnoldus (1978) realizó una modificación al Índice de Fournier, en la que no sólo se considera la precipitación mensual del mes más lluvioso, sino que también se incluyen el resto de los meses. Este Índice Modificado de Fournier se calcula de la siguiente forma:

$$\text{--- ec.6}$$

Donde:

IMF = Índice Modificado de Fournier.

= Precipitación de cada mes (mm).

P = Precipitación anual (mm).

Al igual que el índice anterior, los valores obtenidos del índice modificado de Fournier se han clasificado según su intensidad luego de un estudio realizado por Corine – CEC (1992) como se muestra en la tabla N°3.

Tabla N°3 Clasificación del Índice Modificado de Fournier según su agresividad climática

<i>Clase</i>	<i>Rango</i>	<i>Descripción</i>
1	< 60	Muy bajo
2	60 – 90	Bajo
3	90 - 120	Moderado
4	120 - 160	Alto
5	> 160	Muy alto

Fuente: Corine – CEC (1992)

2.4.4. Relación entre IMF y R

El índice Modificado de Fournier es sólo un índice de agresividad de la lluvia, el cual no arroja directamente el valor del factor R. Debido a esto es necesario encontrar alguna correlación que permita relacionarlo con el R.

Para esto se utilizó el estudio realizado por Rivera (1990, mencionado por Ramírez, 2006) quien encontró la siguiente correlación entre el IMF y el EI_{30} :

Donde:

EI_{30} = Erosividad de la lluvia (factor R).

IMF = Índice Modificado de Fournier (mensual).

Con esta ecuación se hace posible el cálculo del factor R para cada año utilizando el Índice Modificado de Fournier sin la necesidad de tener la energía cinética ni la intensidad máxima en 30 minutos.

3. METODOLOGÍA

El presente estudio comprende el cálculo de la erosividad de la lluvia (Factor R) a partir del IF y del IMF. También se aborda el análisis en variación de las intensidades máximas en un rango 30 minutos continuos y 30 minutos desfasados.

3.1. Descripción del área de estudio.

El estudio se realizó en la Ciudad de Concepción (Chile), (figura 3). Ésta se ubica a $36^{\circ} 46' 22''$ S de latitud y $73^{\circ} 03' 47''$ O de longitud, con una elevación promedio de 12 msnm. Su ubicación se encuentra en la llamada zona Centro Sur de Chile.

Tiene un clima templado marítimo con una influencia mediterránea con una estación seca breve en verano de acuerdo a la clasificación climática de Köppen (OMM, 2013). Las precipitaciones se concentran en los meses más fríos siendo el periodo de Mayo a Agosto, el que concentra la mayor parte de la lluvia, que en promedio durante el año son cerca de 1.110 mm.



Figura 3. Ubicación Geográfica de Concepción y Estación Meteorológica usada.

3.2. Factores que intervienen en la erosión causada por la lluvia.

Para poder determinar los factores más relevantes en el proceso de la erosión causada por la lluvia, se utilizó información bibliográfica que permitió comprender cuales son todos los factores que intervienen en el proceso de la erosión hídrica y cuáles de ellos están directamente relacionados con la lluvia.

Se recopiló información relacionada con los aspectos más relevantes de diferentes métodos para el cálculo del factor R de la ecuación Universal de Pérdida de Suelo. Se seleccionó el Método del Índice de Fournier (1960), el Índice de Fournier Modificado (Arnoldus, 1977) y el método de Wischmeier y Smith (1978) de la $E \times I_{30}$.

3.3. Obtención de la información.

La información necesaria para el desarrollo de este estudio, corresponde a datos de precipitaciones, las cuales se obtuvieron de la estación meteorológica TIGO, ubicada en la Universidad de Concepción, la estación meteorológica Las Pataguas, ubicada a 70 km de Chillán camino a Concepción y la estación meteorológica Estero Nonguén, ubicada en el sector Collao de Concepción. De la primera se obtuvieron datos meteorológicos cada un minuto, diarios, mensuales y anuales. De las otras estaciones se obtuvieron datos diarios, mensuales y anuales. La cantidad de información que se utilizó es desde Enero de 2009 hasta Octubre del año 2013 para cada una de las estaciones meteorológicas.

Después de descargar los datos de agua caída, de cada estación meteorológica, se trabajó con los datos diarios de cada mes y se seleccionaron todos los días que tuvieran precipitaciones mayores o igual a 13 mm.

También se utilizaron valores IDF obtenidos por Soto (2013), para la Ciudad de Concepción. Esto fue necesario debido a que las intensidades cada 30 minutos obtenidas de la estación meteorológica TIGO no son muy fiables y por otro lado las estaciones Las Pataguas y Estero Nonguén no entregan datos de intensidad cada 30 minutos.

3.4. Influencia en el periodo que se miden los 30 minutos máximos.

El análisis de las precipitaciones, para los días que presentaron lluvias de carácter erosivo, se analizaron en rangos de 30 minutos. Se verificó qué tanta incidencia existe entre elegir la intensidad máxima en 30 minutos continuos o en 30 minutos desfasados y también la diferencia numérica y estadística que existe entre la variación de los resultados.

Una vez que se tenían clasificadas las lluvias de mayor intensidad (13 mm/día), para cada día se fueron haciendo sumatorias cada 30 minutos continuos. De estas sumas se seleccionó la que tenía mayor intensidad.

Este procedimiento se realizó por segunda vez pero en esta oportunidad los 5 minutos se fueron sumando de manera móvil y así se agruparon los intervalos de 30 minutos. De estos resultados también se selecciona los 30 minutos con mayor intensidad.

3.5. Cálculo de los Índices.

El Índice de Fournier (IF) se calculó de forma anual para la estación meteorológica seleccionada, de acuerdo a la ecuación 5. El IMF se calcula para cada año de estudio, con la ecuación 7.

3.6. Cálculo del Factor R.

Para calcular el factor R utilizando el IMF se usó la ecuación generada por Rivera (1990). Aquí se calculó el IMF para cada mes de los 4 años en estudio, luego cada resultado se ingresó en la ecuación N°7 y se obtuvo el factor R mensual. Estos resultados se sumaron y se consiguió el factor R anual para cada año. De esta forma el resultado obtenido puede ser ingresado en la ecuación de la RUSLE.

Debido a la poca precisión en la medición de datos y a la falta de información entregada por la estación meteorológica TIGO, la intensidad máxima que se utilizó para el cálculo del factor R mediante el método de Wischmeier y Smith (1978), no fue la entregada por el análisis de los datos meteorológicos entregados por la misma, sino más bien se utilizó la I_{30} entregada por Soto (2013) para la Ciudad de Concepción.

Con las estaciones Estero Nonguén y Las Pataguas, que no entregan información meteorológica cada 30 minutos, sino que lo hacen cada una hora, también fue necesario utilizar la intensidad proporcionada por Soto (2013).

Esta I_{30} se escogió para un periodo de retorno de 9 meses el cual se aplicó para cada uno de los años analizados, y corresponde a 14,33 mm/hr.

3.7. Método de Comparación.

Las intensidades máximas en 30 minutos continuos y 30 minutos desfasados se compararon a través de dos series pareadas para evaluar que tanta diferencia existe entre ellas. Esto se hizo a través de un análisis estadístico asumiendo que la distribución es normal y dándonos una hipótesis nula en la que se asume que la diferencia es cero. En caso contrario correspondería a la hipótesis alternativa la que consiste en que la variable T calculada es mayor al T obtenido con 95% de la distribución t de Student. A la diferencia entre las intensidades se les calculó su media y desviación estándar. Con estos datos se obtuvo la variable T:

$$\text{---} \quad \text{ec.8}$$

Donde:

= Promedio

= Diferencia. Se asume valor 0 para este trabajo

= Desviación estándar

= Número de datos

Este valor T se comparó con $t_{0.95}$ que corresponde al 95% en la distribución t de Student.

Con este dato se pudo determinar estadísticamente que tan distintos pueden ser los resultados si se eligen los 30 minutos continuos o los 30 minutos desfasados aunque la diferencia en magnitud sea irrelevante.

Los resultados de los Índices de Fournier y Fournier Modificado se compararon de forma directa, lo cual permite distinguir la diferencia numérica y porcentual que existe entre los resultados obtenidos con cada método y entre las diferentes estaciones meteorológicas.

Finalmente el factor R obtenido a través del IMF y también con el método de Wischmeier y Smith (1978) se comparó de forma directa, lo que permitió ver la diferencia que existe entre aplicar uno de los dos métodos y también la diferencia que existe entre la información obtenida de cada estación meteorológica.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Este capítulo entrega un análisis y discusión de los resultados obtenidos en los estudios de las precipitaciones; se cuantificó la erosión causada por la lluvia para cada año en estudio y luego se promedió para obtener un resultado general. Además, se realizan comparaciones de la erosividad de la lluvia con diferentes métodos de cálculo.

4.1. Análisis de las precipitaciones máximas en un rango de 30 minutos.

Con respecto a las diferencias entre las intensidades máximas obtenidas en el rango de 30 minutos continuos y desfasados, los 4 años a nivel general arrojaron un porcentaje de variación que numéricamente no es tan relevante (figura 4). En una pocas fechas se tuvieron como diferencia sobre un 30%.

A través del análisis estadístico (Tabla N °4) se deduce que, estadísticamente sí existe una diferencia significativa a pesar de que no exista una gran diferencia desde el punto de vista de magnitud, ya que la media es de 0,4.

Tabla N°4 Análisis estadístico de intensidades.

Media	Desviación estándar	N° de datos	t	t 95%	Conclusión
0,39	0,65	46	4,05	1,69	Se rechaza hipótesis nula

Fuente: Elaboración propia

Otro punto importante fue analizar qué podría ocurrir con las diferencias entre los rangos de 30 minutos continuos y desfasados si las intensidades aumentaran o disminuyeran. Para esto en la figura 4 se evidencia que las diferencias entre las intensidades están relacionadas con la magnitud de la precipitación ya que la tendencia es una recta creciente indicando que a mayor precipitación, mayor será la diferencia siendo necesario el cálculo de un factor de corrección.

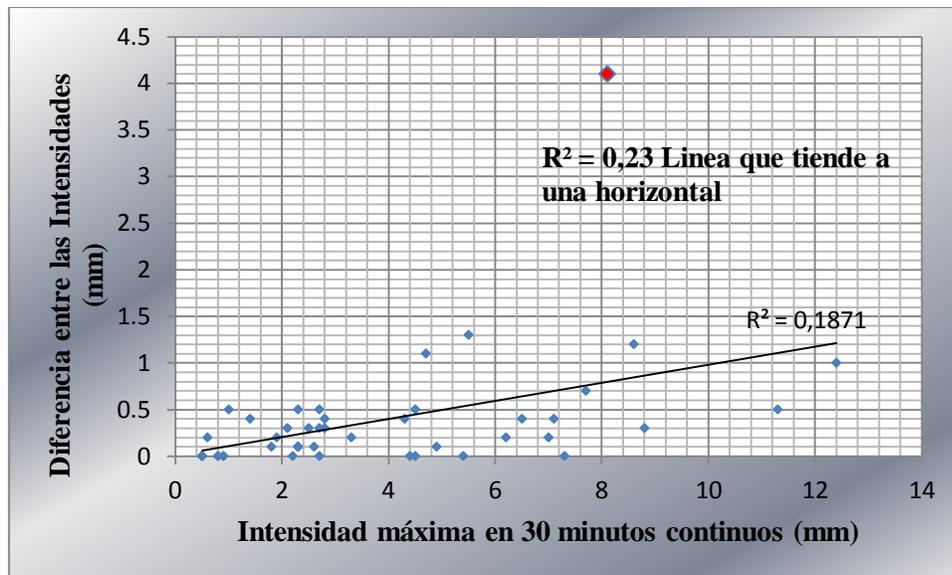


Figura 4. Diferencia entre las intensidades respecto a las máximas en un rango de 30 minutos continuos. *Fuente: Elaboración propia*

Como muestra el sesgo de la figura 4 la tendencia no es lineal más bien es creciente, lo que indica que a mayor intensidad habrá mayores imprecisiones, ya que la línea de tendencia se irá alejando más de la horizontal. Por lo tanto el factor de corrección va a ir variando aproximadamente de 0 a 1,2 dependiendo de las intensidades que se tengan. Sin embargo, esta leve variación se puede despreciar debido a que el R^2 del gráfico es muy similar al R^2 de una línea que tiende a la horizontal.

El punto rojo que corresponde a la fecha del 11 de Marzo de 2011, presenta una amplia variación en relación al resto de datos. Esta diferencia indica que a medida que se iban sumando los 30 minutos desfasados, la intensidad para ese periodo fue mayor que para el periodo de 30 minutos continuos. Esto pudo ocurrir debido a errores cometidos en la estación meteorológica al momento de medir el volumen de lluvia caída.

4.2. Análisis de los Índices según la estación TIGO.

En la tabla 5 se presentan los valores promedios de las precipitaciones, el IF, IMF y el porcentaje de diferencia entre los resultados de cada método, en base a los datos obtenidos de la estación TIGO. La precipitación promedio anual en esta estación varía entre los 309 mm y 553 mm.

Para la ciudad de Concepción el índice de Fournier más bajo fue de 25 en el año 2010 y el más alto fue de 68 en el año 2012. El IF promedio no superó el rango máximo establecido, siendo así un índice de agresividad moderada para la estación meteorológica utilizada, según la clasificación de Delgado (2003).

Con respecto al Índice Modificado de Fournier, los meses que presentaron un mayor índice de agresividad fueron entre mayo y julio, los cuales representan como promedio al 69% del IMF anual. Ahora bien el IMF más bajo fue de 64 y el más alto fue 123. Ambos ocurrieron en la misma fecha que en el caso anterior. En este caso el promedio del IMF para los 4 años analizados se encuentra en un rango de agresividad moderada de acuerdo a la clasificación definida por Corine-CEC (1992).

Tabla N°5 Resultados del Índice de Fournier e Índice Modificado de Fournier para cada año según datos de la estación TIGO.

Año	IF	IMF	Diferencia %	Precipitación anual (mm)
2010	25,4	64,4	60,6	309
2011	46,9	101,0	53,6	489
2012	68,6	123,3	44,3	554
2013	34,9	85,4	59,1	440
Promedio	44,0	93,5	54,4	448

Fuente: Elaboración propia

Los resultados entre el Índice de Fournier y el Índice Modificado de Fournier, mostrados en la tabla 5, presentan una clara diferencia, donde el IMF es mayor que el IF en los 4 años. Esta diferencia supera el 50%, la cual es relevante al momento de tener que elegir cuál de los dos métodos utilizar para desarrollar un buen estudio. Sin embargo, ambos conducen a una agresividad moderada.

4.3. Análisis de los Índices según la estación Las Pataguas.

La tabla 6 presenta los valores promedios de las precipitaciones, el IF, IMF y el porcentaje de diferencia entre los resultados de cada método. La precipitación promedio anual registrada en la estación Las Pataguas varía entre los 445 mm y 1052 mm.

Para la ciudad de Concepción el índice de Fournier más bajo fue de 25 en el año 2010 y el más alto fue de 127 en el año 2012. El IF promedio superó el rango máximo establecido según la clasificación de Delgado (2003), obteniéndose así un índice de alta agresividad para la estación meteorológica utilizada.

Con respecto al Índice Modificado de Fournier el más bajo fue de 60 y el más alto fue 185. Ambos ocurrieron al igual que en el caso anterior.

En este caso el promedio del IMF para los 4 años analizados se encuentra en un rango de agresividad alta de acuerdo a la clasificación definida por Corine-CEC (1992).

Tabla N°6 Resultados del Índice de Fournier e Índice Modificado de Fournier para cada año según datos de la estación Las Pataguas.

Año	IF	IMF	Diferencia %	Precipitación anual (mm)
2010	25,7	60,6	57,6	445
2011	60,8	165,3	63,2	1052
2012	127,6	185,9	31,4	885
2013	69,1	133,0	48	694
Promedio	70,8	136,2	50	769

Fuente: Elaboración propia

4.4. Análisis de los Índices según la estación Estero Nonguén.

La tabla 7 presenta los valores promedios de las precipitaciones, el IF, IMF y el porcentaje de diferencia entre los resultados de cada método. La precipitación promedio anual registradas en la estación meteorológica Las Pataguas varía entre los 797 mm y 1022 mm.

Para la ciudad de Concepción el índice de Fournier más bajo fue de 57 en el año 2012 y el más alto fue de 86 en el año 2013. El IF promedio superó el rango máximo establecido según la clasificación de Delgado (2003), obteniéndose así un índice de alta agresividad para la estación meteorológica utilizada.

Con respecto al Índice Modificado de Fournier el más bajo fue de 133 y ocurrió en el año 2012 y el más alto fue 206 y tuvo lugar el año 2010.

En este caso el promedio del IMF para los 4 años analizados se encuentra en un rango de agresividad muy alta de acuerdo a la clasificación definida por Corine-CEC (1992).

Tabla N°7 Resultados del Índice de Fournier e Índice Modificado de Fournier para cada año según datos de la estación Estero Nonguén.

Año	IF	IMF	Diferencia %	Precipitación anual (mm)
2010	84,3	206,5	59,2	893
2011	60	156,8	61,7	1022
2012	57,7	133,5	56,7	890
2013	86,9	163,0	46,7	797
Promedio	72,2	164,9	56,1	900

Fuente: Elaboración propia

Algo importante de resaltar es la diferencia que existe entre los datos de las precipitaciones anuales de la estación meteorológica TIGO, con respecto a los datos entregados por las estaciones Las Pataguas y Estero Nonguén. Los resultados son ampliamente variables, en donde las precipitaciones anuales de la estación TIGO arrojan datos sumamente bajos comparados con las estaciones Las Pataguas y Estero Nonguén. Esta amplia variación puede deberse a errores cometidos al momento de medir el volumen de agua caída de las tormentas.

4.5. Análisis del Factor R según el Índice Modificado de Fournier.

El resultado promedio de la erosividad de la lluvia calculado con el IMF está muy relacionado con las lluvias mensuales y no necesariamente con la lluvia total anual, pues como se observa en los resultados de la tabla 8, el año que presenta el factor R más alto corresponde al año que tuvo algunos meses con altas precipitaciones y no el que tuvo mayor precipitación anual.

Ahora bien con los datos de la estación TIGO, la erosividad más fuerte causada por la lluvia es de $4975 \text{ MJmmha}^{-1}\text{h}^{-1}$ y se produjo en el año 2012 y la más baja fue de $2807 \text{ MJmmha}^{-1}\text{h}^{-1}$ y ocurrió en el año 2010. Esta erosividad es creciente durante los 3 primeros años mientras que en el 2013 se produce una notoria disminución.

Finalmente utilizando los datos de la estación meteorológica TIGO y con el método del Índice Modificado de Fournier la erosividad causada por la lluvia que se obtuvo para la Ciudad de

Concepción, sacando el promedio de erosividad de los cuatro años de estudio, corresponde a $3886 \text{ MJmmha}^{-1}\text{h}^{-1}$, la cual según la tabla de clasificación hecha por Rivera y Gómez (1991) es una erosividad de carácter baja.

Por otra parte, con los datos de la estación meteorológica Las Pataguas se obtuvo que el factor R más alto es de $7460 \text{ MJmmha}^{-1}\text{h}^{-1}$ para el año 2012 y el más bajo es de $2661 \text{ MJmmha}^{-1}\text{h}^{-1}$ y ocurre en el año 2010. Y por último la erosividad promedio de los 4 años para la Ciudad de Concepción es de $5556 \text{ MJmmha}^{-1}\text{h}^{-1}$, la cual es una erosividad moderada según la clasificación hecha por Rivera y Gómez (1991).

Por último con la información recopilada de la estación meteorológica Estero Nonguén se calculo que el factor R más alto es de $8248 \text{ MJmmha}^{-1}\text{h}^{-1}$ el cual ocurrió en el año 2010 y el factor R más bajo es de $5452 \text{ MJmmha}^{-1}\text{h}^{-1}$ para el año 2012. En base a esta estación la erosividad obtenida para la Ciudad de Concepción a través del método del IMF es de $6656 \text{ MJmmha}^{-1}\text{h}^{-1}$, esta corresponde a una erosividad moderada de acuerdo a la clasificación hecha por Rivera y Gómez (1991).

Tabla N°8 Factor R ($\text{MJmmha}^{-1}\text{h}^{-1}$) calculado con el Índice Modificado de Fournier.

Año	Estación TIGO	Estación Las Pataguas	Estación Estero Nonguén
2010	2807	2661	8248
2011	4207	6671	6343
2012	4975	7460	5452
2013	3555	5432	6583
Promedio	3886	5556	6656

Fuente: Elaboración propia.

La gran diferencia entre el resultado obtenido de la estación meteorológica TIGO y las estaciones Estero Nonguén y Las Pataguas, se puede deber a la falta de precisión y exactitud en los datos recopilados por la estación meteorológica TIGO al momento de realizar mediciones de las precipitaciones. Por este motivo, para la determinación de la erosividad de la ciudad de Concepción sólo se considerarán los resultados de las estaciones Las Pataguas y Estero Nonguén. Al promediar estas dos estaciones da como resultado una erosividad de $6106 \text{ MJmmha}^{-1}\text{h}^{-1}$ para la Ciudad de Concepción, por medio del método del IMF. Esta erosividad es moderada según la clasificación de Rivera y Gómez (1991).

4.6. Análisis del Factor R con el método de Wischmeier y Smith.

Los resultados anuales del factor R (tabla 9) para las tres estaciones, presentan un grado de variación con respecto a los resultados obtenidos con el método del IMF. Esto se debe a que el método de Wischmeier y Smith comparado al del IMF son formas de cálculos muy diferentes generando que existan diferencias entre los resultados. Por ejemplo los valores del factor R obtenido con la intensidad planteada por Soto (2013) fueron variables durante los 4 años para la estación TIGO. No obstante, los factores R para las otras dos estaciones meteorológicas demostraron cierta tendencia de carácter decreciente desde el año 2011 hasta el 2013.

La mayor erosividad obtenida con los datos de la estación TIGO fue de $2696 \text{ MJmmha}^{-1}\text{h}^{-1}$ en el año 2011 y la más baja es $1594 \text{ MJmmha}^{-1}\text{h}^{-1}$ en el año 2010. Sin embargo, el promedio de la erosividad para la Ciudad de Concepción en base a la información de la estación TIGO es $1889 \text{ MJmmha}^{-1}\text{h}^{-1}$, muy diferente a la obtenida con el método anterior, ya que, presentan cerca de un 50% de variación.

Ahora bien los factores R calculados con los datos de la estación meteorológica TIGO, ya sea para los 30 minutos sinópticos o desfasados fueron muy bajos comparado con el resultado que dio utilizando la intensidad máxima planteada por Soto (2013) para la Ciudad de Concepción, llegando a un promedio de variación sobre un 60% entre los resultados del factor R.

Por otro lado el resultado de los promedios del factor R entre los datos de la estación Las Pataguas y la estación Estero Nonguén, dieron muy similares, con una diferencia promedio de un 5%. Mientras que el promedio del factor R obtenido con los datos de la estación TIGO presenta más de un 50% de diferencia con respecto a estas dos estaciones. Esto sucede por la falta de exactitud en los datos de la estación meteorológica TIGO al momento de hacer las mediciones o cuando se toman las muestras del volumen de agua caída.

Tabla N°9 Factor R ($\text{MJmmha}^{-1}\text{h}^{-1}$) basada en la información meteorológica de cada estación.

Año	Estación TIGO Con Soto (2013)	sinóptica Estación TIGO	desfasada Estación TIGO	Estación Las Pataguas	Estación Estero Nonguén
2010	1594	677	709	2297	4740
2011	2696	1083	1202	6094	5297
2012	1611	258	284	5006	4115
2013	1656	459	499	3624	3838
Promedio	1889	619	674	4255	4498

Fuente: Elaboración Propia.

Finalmente, la erosividad obtenida para Concepción con los datos de las estaciones Las Pataguas y Estero Nonguén según la clasificación de la erosividad entregada por Rivera y Gómez (1991) es de carácter baja a moderada.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los resultados obtenidos del análisis de las intensidades máximas en periodos de 30 minutos demostraron que al momento de tener que elegir esta intensidad para realizar cálculos de erosividad, sí es relevante la selección entre los 30 minutos continuos o desfasados. Aunque a simple vista sea despreciable su diferencia, estadísticamente es considerable, lo cual puede ser fundamental al momento de tener que realizar algún cálculo con estos datos. Esta diferencia puede ocurrir ya que existen intervalos de tiempo en los que no se miden o no hay precipitaciones, generando que la suma de agua caída en los 30 minutos desfasados sea mayor que en un periodo sinóptico.

Cabe mencionar que de acuerdo a los resultados obtenidos, mientras mayor sean las intensidades más grandes será la diferencia entre los resultados que se logren entre los 30 minutos sinópticos y los desfasados.

En cuanto al Índice de Fournier (IF) e Índice Modificado de Fournier (IMF) la diferencia que existe entre sus resultados sobre un 50% se debe a que el IF solo considera importante la mayor precipitación del año. El método del IMF, arrojó valores de intensidad mucho más altos y representativos de lo que puede ocurrir en la realidad. Por lo tanto, estos resultados indican que al momento de querer determinar la agresividad de una tormenta el índice más adecuado para su cálculo es el IMF.

Por otro lado los valores obtenidos en ambos índices precisan de exactitud, debido a que las estaciones meteorológicas con la que se trabajó no contaban con la información completa ni exacta de las precipitaciones ocurridas en los años analizados, en especial la estación meteorológica TIGO, la cual presenta imprecisiones en las mediciones de lluvia caída.

En cuanto al factor R de erosividad de la lluvia que se obtuvo con la información de las estaciones meteorológicas Las Pataguas y Estero Nonguén, a través del método del Índice Modificado de Fournier indica que la erosividad de la lluvia para la Ciudad de Concepción es de carácter moderada. Mientras que el método de Wischmeier y Smith, utilizando los datos de estas mismas estaciones meteorológicas, indican que la erosividad generada por las precipitaciones en la Ciudad de Concepción es de clasificación baja a moderada.

Se concluye que la estación meteorológica TIGO, no es una estación que entregue información confiable de las precipitaciones ya que sus datos están muy lejos de la realidad, sobre todo en lo que respecta a las precipitaciones anuales de la Ciudad de Concepción. Debido a esto los resultados que se obtuvieron con sus datos no se consideran confiables para concluir cual es, la erosividad de la lluvia.

Con los resultados obtenidos en este proyecto de título se recomienda:

- Validar la estación meteorológica TIGO ya que no cuenta con la información necesaria, exacta ni validada, que se necesita para realizar algún proyecto de investigación de este tipo.
- Utilizar la información de varias estaciones meteorológicas y así ir corroborando la información recopilada.
- Se recomienda utilizar para la Ciudad de Concepción el factor R de $4498 \text{ MJmmha}^{-1}\text{h}^{-1}$ obtenido con la estación Estero Nonguén, ya que, es la única que entrego datos de precipitaciones más certeros.

Finalmente, se sugiere continuar realizando estudios relacionados con la erosividad de la lluvia ya que no existen datos tan concretos de cuál sería el factor de erosividad de la lluvia para la región.

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.
- Bonilla, C.A., Vidal, K.L. (2011). Rainfall erosivity in central Chile. *Journal of Hydrology* 401: 126- 133.
- Corine – CEC. (1992). Soil erosion risk and important land resources. An assessment to evaluate and map the distribution of land quality and soil erosion risk. Luxemburgo. Office official publications and the European communities.
- Delgado, E. F. (2003), Un protocolo para apoyar la selección de prácticas de conservación de suelos en tierras montañosas tropicales, *Memorias del I Seminario Internacional de Agricultura de Conservación en Tierras de Ladera, Manizales*.
- Derpsch, R, C.H. Roth, N. Sidiras and U. Köpke. (1991). Controle de erosão no Paraná Brasil: Sistemas de cobertura do solo, plantío direto e preparo conservacionista do solo. GTZ, Eschborn, SP245.
- Derpsch, R. (2004). Entender el proceso de la erosion y de la infiltración de agua en el suelo (en línea). - 3 de Septiembre de 2013.- <http://www.rolf-derpsch.com/erosion-es.html>.
- Fournier, F. *Climat et erosion*. Ed. Presses Unisitaeres de France, París, (1960).
- García, J. (1999). *La erosión hídrica: Mecanismos y modelos*. Curso: Evaluación y Control de erosion. España.

- Jordán, A. y Bellinfante, N. (2000). Cartografía de la erosividad de la lluvia estimada a partir de datos pluviométricos mensuales en el campo de Gibraltar. Revista Edafología, vol. 7. pág. 83-92.
- Laws J.O. (1941). Measurements of fall velocity of water drops and raindrops. Trans. American Geophysical Union 22:709-721.
- Llamas, J. (1993). Hidrología general, Principios y aplicaciones. Bilbao, España. Servicio Ed. de la Universidad del País Vasco. 635 p.
- OMM (2013).-Organización Meteorológica Mundial (en línea). - 4 de Noviembre de 2013.- http://www.wmo.int/pages/index_es.html.
- Pérez, C.; Gonzales, J. (2001). Diagnóstico sobre el estado de degradación del recurso suelo en el país. Chillán, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Quiamapu. 194 p. (Boletín INIA N° 15)
- Pizarro, R.; Sangüesa, C.; Flores, P.; Martínez, E. (2005). Elementos de ingeniería hidrológica para el mejoramiento de la productividad silvícola. Talca, Chile.
- MOP (2001).- Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvia VIII Región. Informe elaborado por CONIC-BF.
- Ramírez, O. (2006). Evaluación del riesgo por erosión potencial de la zona cafetalera central del Departamento de Caldas. Tesis de grado Ingeniero Forestal, Facultad de Ingeniería Forestal, Universidad del Tolima, Ibagué.

- Renard, K.G.,G.R. Foster, G.A. Weesies, D.K. Mccool, and D.C. Yoder, Coordinators.(1997). Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook 703. 384pp.
- Rivera P., J. H. y A. A. Gómez (1991), Erosividad de las lluvias en la zona cafetalera central colombiana (Caldas, Quindio y Risaralda), Cenicafé. 2: 37-52.
- Soto, X., Meier, C. 2013. Subestimación de los valores IDF en Concepción. 2: Posibles causas del sesgo. Memorias del XXI Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica, Concepción.
- Wischmeier, W. y Smith, D. (1978). Predicting rainfall erosion. Unites States. Department of agriculture (en línea).- 10 de Septiembre de 2013 <http://es.scribd.com/doc/26639388/WISCHMEIER-e-SMITH-1978-Predicting-Rainfall-Erosion-Losses-a-Guide-to-Conservation-Planning>.

ANEXOS

ÍNDICE DE ANEXOS

A. Resultados de La energía cinética de la lluvia y el factor R según Wischmeier Y Smith. .	1
A.1. Tabla de resultados del factor R utilizando I_{30} máx sinópticos.	1
A.2. Tabla de resultados del factor R utilizando I_{30} máx desfasados.	3
A.3. Tabla de resultados del factor R utilizando valores IDF de I_{30} máx para Concepción.	5
B. Resultados del factor R según Wischmeier y Smith para la estación meteorológica Las Pataguas.	7
B.1. Tabla de resultados del factor R utilizando valores IDF de I_{30} máx para Concepción con periodo de retorno de 9 meses.....	7
C. Resultados del factor R según Wischmeier y Smith para la estación meteorológica Estero Nonguén.....	10
C.1. Tabla de resultados del factor R utilizando valores IDF de I_{30} máx para Concepción con periodo de retorno de 9 meses.....	10
D. Calculo del factor R, Índice de Fournier e Índice modificado de Fournier para cada año con los datos de la estación meteorológica TIGO.	13
D.1. Precipitaciones, Factor R, Índice de Fournier e Índice Modificado de Fournier año 2010.	13
D.2. Precipitaciones, Factor R, Índice de Fournier e Índice Modificado de Fournier año 2011.	13
D.3. Precipitaciones, Factor R, Índice de Fournier e Índice Modificado de Fournier año 2012.	14
D.4. Precipitaciones, Factor R, Índice de Fournier e Índice Modificado de Fournier año 2013.	15

E. Calculo del factor R, Índice de Fournier e Índice Modificado de Fournier para cada año con los datos de la estación meteorológica Las Pataguas..... 16

E.1. Precipitaciones, Factor R, Índice de Fournier e Índice Modificado de Fournier año 2010.
..... 16

E.2. Precipitaciones, Factor R, Índice de Fournier e Índice Modificado de Fournier año 2011.
..... 17

E.3. Precipitaciones, Factor R, Índice de Fournier e Índice Modificado de Fournier año 2012 17

E.4. Precipitaciones, Factor R, Índice de Fournier e Índice Modificado de Fournier año 2013.
..... 18

F. Calculo del factor R, Índice de Fournier e Índice Modificado de Fournier para cada año con los datos de la estación meteorológica Estero Nonguén. 19

F.1. Precipitaciones, Factor R, Índice de Fournier e Índice Modificado de Fournier año 2010.
..... 19

F.2. Precipitaciones, Factor R, Índice de Fournier e Índice Modificado de Fournier año 2011.
..... 20

F.3. Precipitaciones, Factor R, Índice de Fournier e Índice Modificado de Fournier año 2012.
..... 20

F.4. Precipitaciones, Factor R, Índice de Fournier e Índice Modificado de Fournier año 2013.
..... 21

A. RESULTADOS DE LA ENERGÍA CINÉTICA DE LA LLUVIA Y EL FACTOR R SEGÚN WISCHMEIER Y SMITH.

A continuación se muestran los resultados de la energía cinética de la lluvia para fechas que mostraron precipitaciones de carácter erosivo y también se muestran los resultados de la erosividad de la lluvia factor R, de cada uno de los días analizados.

A.1. Tabla de resultados del factor R utilizando I₃₀ máx sinópticos.

Fecha	I máx. de 30 min.	lluvia total	E	ExI	Factor R
11-01-2010	8,6	21	4,9	84,6	
06-02-2010	6,2	36	9,1	113,7	
07-02-2010	8,8	35,1	8,9	156,8	
05-05-2010	7	50,2	13,4	187,9	
10-06-2010	2,7	18,9	4,3	23,5	
11-06-2010	4,9	23,6	5,6	55,2	
13-06-2010	3,3	21	4,9	32,4	
26-09-2010	2,7	18,5	4,2	22,9	677
11-03-2011	8,1	27,5	6,7	108,9	
15-03-2011	4,4	19,9	4,6	40,6	
12-04-2011	7,1	54,3	14,6	208,5	
21-04-2011	11,3	55,2	14,9	338,1	
15-06-2011	1,9	13,4	2,9	11	
18-06-2011	2,3	33,2	8,3	38,4	
19-06-2011	1,4	21	4,9	13,7	
28-06-2011	1	13,4	2,9	5,8	
29-06-2011	1,8	47,1	12,4	44,9	
11-10-2011	2,8	16,8	3,7	21,2	
12-10-2011	2,7	27,5	6,7	36,3	
08-11-2011	12,4	32,1	8	199,4	
23-11-2011	2,6	13,4	2,9	15,1	1082
19-05-2012	0,5	15,5	3,4	3,4	
20-05-2012	0,5	15,7	3,5	3,5	
02-06-2012	0,6	14,1	3	3,7	
29-06-2012	0,8	24,7	5,9	9,5	
30-06-2012	0,9	32,8	8,2	14,8	
01-07-2012	0,9	24,9	5,9	10,7	
04-07-2012	0,5	12,8	2,7	2,7	
19-09-2012	2,3	17,6	4	18,4	

A.1. (continuación)

21-10-2012	2,8	12,8	2,7	15,4	
16-12-2012	4,3	16,9	3,8	32,8	
18-12-2012	4,7	24,9	5,9	56,3	
24-12-2012	6,5	27,1	6,6	85,9	257
16-02-2013	5,5	21,8	5,1	56,5	
02-05-2013	5,4	16,4	3,6	39,8	
03-05-2013	0,8	15,2	3,3	5,4	
28-05-2013	4,5	23,3	5,5	49,9	
30-05-2013	2,3	15,1	3,3	15,4	
01-06-2013	4,5	20,1	4,6	42,1	
15-06-2013	2,2	15,7	3,5	15,4	
17-06-2013	7,7	14,5	3,1	49,2	
21-06-2013	2,3	25,7	6,2	28,6	
27-06-2013	2,1	22,1	5,2	21,9	
02-07-2013	2,5	20,2	4,7	23,5	
09-07-2013	3,7	14,2	3,1	23	
03-08-2013	7,3	25	6	87,9	459

Fuente: Elaboración propia

A.2. Tabla de resultados del factor R utilizando I₃₀ máx desfasados.

Fecha	I máx. de 30 min desfasado 5 min.	lluvia total	E	ExI	Factor R
11-01-2010	9,8	21	4,9	96,4	
06-02-2010	6,4	36	9,1	117,4	
07-02-2010	9,1	35,1	8,9	162,1	
05-05-2010	7,2	50,2	13,4	193,3	
10-06-2010	2,7	18,9	4,3	23,5	
11-06-2010	5	23,6	5,6	56,3	
13-06-2010	3,5	21	4,9	34,4	
26-09-2010	3	18,5	4,2	25,4	709
11-03-2011	12,2	27,5	6,7	164,1	
15-03-2011	4,4	19,9	4,6	40,6	
12-04-2011	7,5	54,3	14,6	220,2	
21-04-2011	11,8	55,2	14,9	353,1	
15-06-2011	2,1	13,4	2,9	12,2	
18-06-2011	2,4	33,2	8,3	40,1	
19-06-2011	1,8	21	4,9	17,7	
28-06-2011	1,5	13,4	2,9	8,7	
29-06-2011	1,9	47,1	12,4	47,4	
11-10-2011	3,1	16,8	3,7	23,5	
12-10-2011	3,2	27,5	6,7	43	
08-11-2011	13,4	32,1	8	215,5	
23-11-2011	2,7	13,4	2,9	15,7	1202
19-05-2012	0,5	15,5	3,4	3,4	
20-05-2012	0,5	15,7	3,5	3,5	
02-06-2012	0,8	14,1	3	4,9	
29-06-2012	0,8	24,7	5,9	9,5	
30-06-2012	0,9	32,8	8,2	14,8	
01-07-2012	0,9	24,9	5,9	10,7	
04-07-2012	0,5	12,8	2,7	2,7	
19-09-2012	2,4	17,6	4	19,2	
21-10-2012	3,2	12,8	2,7	17,6	
16-12-2012	4,7	16,9	3,8	35,9	
18-12-2012	5,8	24,9	5,9	69,5	
24-12-2012	6,9	27,1	6,6	91,2	283
16-02-2013	6,8	21,8	5,1	69,9	
02-05-2013	5,4	16,4	3,6	39,8	
03-05-2013	0,8	15,2	3,3	5,4	
28-05-2013	4,5	23,3	5,5	49,9	
30-05-2013	2,8	15,1	3,3	18,7	

A.2. (continuación)

01-06-2013	5	20,1	4,6	46,7	
15-06-2013	2,2	15,7	3,5	15,4	
17-06-2013	8,4	14,5	3,1	53,6	
21-06-2013	2,4	25,7	6,2	29,8	
27-06-2013	2,4	22,1	5,2	25	
02-07-2013	2,8	20,2	4,7	26,3	
09-07-2013	4,8	14,2	3,1	29,9	
03-08-2013	7,3	25	6	87,9	499

Fuente: Elaboración propia

A.3. Tabla de resultados del factor R utilizando valores IDF de I30 máx para Concepción.

Fecha	lluvia total	E	ExI	Factor R
11-01-2010	21	4.9	141.1	
06-02-2010	36	9.2	263.0	
07-02-2010	35.1	8.9	255.4	
05-05-2010	50.2	13.4	384.8	
10-06-2010	18.9	4.4	124.8	
11-06-2010	23.6	5.6	161.6	
13-06-2010	21	4.9	141.1	
26-09-2010	18.5	4.2	121.7	1594
11-03-2011	27.5	6.7	192.8	
15-03-2011	19.9	4.6	132.5	
12-04-2011	54.3	14.7	420.9	
21-04-2011	55.2	15.0	428.8	
15-06-2011	13.4	2.9	83.5	
18-06-2011	33.2	8.4	239.6	
19-06-2011	21	4.9	141.1	
28-06-2011	13.4	2.9	83.5	
29-06-2011	47.1	12.5	357.8	
11-10-2011	16.8	3.8	108.8	
12-10-2011	27.5	6.7	192.8	
08-11-2011	32.1	8.0	230.5	
23-11-2011	13.4	2.9	83.5	2696
19-05-2012	15.5	3.5	99.0	
20-05-2012	15.7	3.5	100.5	
02-06-2012	14.1	3.1	88.6	
29-06-2012	24.7	5.9	170.3	
30-06-2012	32.8	8.2	236.3	
01-07-2012	24.9	6.0	171.9	
04-07-2012	12.8	2.8	79.1	
19-09-2012	17.6	4.0	114.9	
21-10-2012	12.8	2.8	79.1	
16-12-2012	16.9	3.8	109.6	
18-12-2012	24.9	6.0	171.9	
24-12-2012	27.1	6.6	189.6	1611
16-02-2013	21.8	5.1	147.4	
02-05-2013	16.4	3.7	105.8	
03-05-2013	15.2	3.4	96.8	
28-05-2013	23.3	5.6	159.2	
30-05-2013	15.1	3.4	96.0	
01-06-2013	20.1	4.7	134.1	

A.3. (continuación)

15-06-2013	15.7	3.5	100.5	
17-06-2013	14.5	3.2	91.6	
21-06-2013	25.7	6.2	178.3	
27-06-2013	22.1	5.2	149.7	
02-07-2013	20.2	4.7	134.9	
09-07-2013	14.2	3.1	89.4	
03-08-2013	25	6.0	172.7	1656

Fuente: Elaboración propia

B. RESULTADOS DEL FACTOR R SEGÚN WISCHMEIER Y SMITH PARA LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA LAS PATAGUAS.

B.1. Tabla de resultados del factor R utilizando valores IDF de I_{30} máx para Concepción con periodo de retorno de 9 meses.

Fecha	lluvia total	E	ExI	Factor R
06-02-2010	50	13.4	383.1	
17-04-2010	21	4.9	141.1	
04-05-2010	30	7.4	213.2	
01-07-2010	15	3.3	95.3	
04-07-2010	15.8	3.5	101.3	
06-07-2010	23	5.5	156.8	
19-07-2010	15	3.3	95.3	
20-07-2010	14	3.1	87.9	
15-08-2010	20	4.7	133.3	
16-08-2010	19	4.4	125.6	
17-08-2010	15	3.3	95.3	
26-09-2010	13	2.8	80.6	
26-10-2010	13	2.8	80.6	
28-10-2010	32	8.0	229.6	
06-11-2010	21	4.9	141.1	
20-11-2010	20.5	4.8	137.2	2297.2
15-01-2011	20	4.7	133.3	
11-02-2011	14	3.1	87.9	
11-03-2011	15	3.3	95.3	
14-03-2011	22	5.2	148.9	
12-04-2011	40	10.4	296.8	
13-04-2011	15	3.3	95.3	
21-04-2011	46	12.2	348.3	
19-05-2011	37.3	9.6	273.9	
07-06-2011	41.2	10.7	307.0	
15-06-2011	17.6	4.0	114.9	
17-06-2011	32.6	8.2	234.6	
18-06-2011	33.7	8.5	243.7	
19-06-2011	18.5	4.2	121.7	
28-06-2011	63.6	17.6	503.9	
10-07-2011	29	7.2	205.0	

B.1. (continuación)

12-07-2011	15	3.3	95.3	
13-07-2011	25	6.0	172.7	
14-07-2011	49	13.1	374.3	
15-07-2011	25	6.0	172.7	
16-07-2011	15	3.3	95.3	
04-08-2011	23.5	5.6	160.8	
05-08-2011	36.1	9.2	263.8	
10-08-2011	19	4.4	125.6	
11-08-2011	14.5	3.2	91.6	
26-08-2011	41.6	10.8	310.4	
28-08-2011	27.1	6.6	189.6	
02-09-2011	27	6.6	188.8	
08-09-2011	13.8	3.0	86.4	
15-09-2011	20	4.7	133.3	
27-09-2011	29	7.2	205.0	
11-10-2011	17.6	4.0	114.9	
12-10-2011	21	4.9	141.1	
08-11-2011	15	3.3	95.3	6094.0
17-02-2012	21	4.9	141.1	
27-02-2012	15	3.3	95.3	
06-05-2012	22.2	5.3	150.5	
19-05-2012	20	4.7	133.3	
25-05-2012	15	3.3	95.3	
26-05-2012	50	13.4	383.1	
27-05-2012	20	4.7	133.3	
01-06-2012	28	6.9	196.9	
11-06-2012	40	10.4	296.8	
12-06-2012	48	12.8	365.6	
15-06-2012	28	6.9	196.9	
16-06-2012	30	7.4	213.2	
19-06-2012	25	6.0	172.7	
20-06-2012	48	12.8	365.6	
27-06-2012	15	3.3	95.3	
28-06-2012	20	4.7	133.3	

B.1. (continuación)

29-06-2012	40	10.4	296.8	
20-07-2012	23	5.5	156.8	
01-08-2012	17.5	4.0	114.1	
14-08-2012	23	5.5	156.8	
15-08-2012	24	5.7	164.7	
21-08-2012	27	6.6	188.8	
08-11-2012	40	10.4	296.8	
05-12-2012	16	3.6	102.8	
17-12-2012	21	4.9	141.1	
19-12-2012	12.7	2.7	78.4	
23-12-2012	21	4.9	141.1	5006.2
15-02-2013	16	3.6	102.8	
01-05-2013	40	10.4	296.8	
02-05-2013	47	12.5	356.9	
10-05-2013	21	4.9	141.1	
27-05-2013	20	4.7	133.3	
30-05-2013	34	8.6	246.2	
31-05-2013	39	10.1	288.3	
21-06-2013	38	9.8	279.8	
26-06-2013	41.6	10.8	310.4	
29-06-2013	15	3.3	95.3	
02-07-2013	30	7.4	213.2	
08-07-2013	19	4.4	125.6	
10-07-2013	17	3.8	110.3	
26-07-2013	19	4.4	125.6	
04-08-2013	40	10.4	296.8	
06-08-2013	40	10.4	296.8	
10-08-2013	29	7.2	205.0	3624.1

Fuente: Elaboración propia

C. RESULTADOS DEL FACTOR R SEGÚN WISCHMEIER Y SMITH PARA LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA ESTERO NONGUÉN.

C.1. Tabla de resultados del factor R utilizando valores IDF de I₃₀ máx para Concepción con periodo de retorno de 9 meses.

Fecha	lluvia total	E	ExI	Factor R
04-05-2010	20.5	4.8	137.2	
05-05-2010	17.8	4.1	116.4	
10-06-2010	18.9	4.4	124.8	
11-06-2010	14.7	3.2	93.1	
13-06-2010	22.8	5.4	155.2	
17-06-2010	19.7	4.6	131.0	
21-06-2010	70.5	19.8	566.4	
22-06-2010	20.2	4.7	134.9	
23-06-2010	36.4	9.3	266.3	
04-07-2010	39.9	10.3	295.9	
06-07-2010	47.1	12.5	357.8	
07-07-2010	57.7	15.7	451.0	
10-07-2010	13	2.8	80.6	
19-07-2010	19.7	4.6	131.0	
22-07-2010	16.8	3.8	108.8	
23-07-2010	23.7	5.7	162.3	
15-08-2010	30.2	7.5	214.8	
16-08-2010	43.2	11.3	324.1	
17-08-2010	17.6	4.0	114.9	
26-08-2010	32.3	8.1	232.1	
27-08-2010	32.9	8.3	237.1	
26-09-2010	13	2.8	80.6	
28-10-2010	21.3	5.0	143.4	
06-11-2010	13	2.8	80.6	4740
15-01-2011	22.7	5.4	154.4	
11-03-2011	24.6	5.9	169.5	
14-03-2011	18.7	4.3	123.3	
12-04-2011	47.5	12.6	361.3	
21-04-2011	47.6	12.6	362.1	
19-05-2011	28.3	7.0	199.3	
06-06-2011	16.6	3.7	107.3	
07-06-2011	15.8	3.5	101.3	

C.1. (continuación)

10-06-2011	14.1	3.1	88.6	
17-06-2011	24.8	6.0	171.1	
18-06-2011	25.3	6.1	175.1	
19-06-2011	14.8	3.3	93.8	
28-06-2011	46.7	12.4	354.3	
11-07-2011	22.7	5.4	154.4	
13-07-2011	49	13.1	374.3	
14-07-2011	18.1	4.1	118.7	
20-07-2011	14.3	3.1	90.1	
24-07-2011	18.9	4.4	124.8	
27-07-2011	13.3	2.9	82.8	
04-08-2011	14.3	3.1	90.1	
05-08-2011	36.8	9.4	269.7	
09-08-2011	15.1	3.4	96.0	
10-08-2011	25.6	6.2	177.5	
11-08-2011	17.6	4.0	114.9	
26-08-2011	22.2	5.3	150.5	
28-08-2011	41.4	10.8	308.7	
08-09-2011	17.3	3.9	112.6	
15-09-2011	19.7	4.6	131.0	
27-09-2011	25.8	6.2	179.1	
12-10-2011	18.1	4.1	118.7	
08-11-2011	21.1	5.0	141.9	5297
09-01-2012	20.3	4.7	135.6	
17-02-2012	28.9	7.1	204.2	
06-05-2012	21.1	5.0	141.9	
15-05-2012	15.4	3.4	98.3	
25-05-2012	18.4	4.2	121.0	
26-05-2012	38.7	10.0	285.7	
27-05-2012	25.4	6.1	175.9	
01-06-2012	31	7.7	221.4	
11-06-2012	49.6	13.2	379.6	
12-06-2012	16.2	3.6	104.3	
15-06-2012	17.5	4.0	114.1	
16-06-2012	19.9	4.6	132.5	
19-06-2012	23.2	5.5	158.4	
27-06-2012	14.1	3.1	88.6	
28-06-2012	13	2.8	80.6	
03-07-2012	15.7	3.5	100.5	
20-07-2012	18	4.1	117.9	
31-07-2012	14.3	3.1	90.1	

C.1. (continuación)

01-08-2012	23.9	5.7	163.9	
15-08-2012	38.7	10.0	285.7	
19-08-2012	13	2.8	80.6	
21-08-2012	17.6	4.0	114.9	
22-08-2012	14.3	3.1	90.1	
19-09-2012	13.1	2.8	81.3	
04-10-2012	17.1	3.9	111.1	
08-11-2012	27.6	6.8	193.6	
17-12-2012	17.3	3.9	112.6	
23-12-2012	19.6	4.5	130.2	4115
15-02-2013	14.3	3.1	90.1	
01-05-2013	26.8	6.5	187.2	
02-05-2013	38.8	10.0	286.6	
10-05-2013	19.2	4.4	127.1	
26-05-2013	18.1	4.1	118.7	
27-05-2013	38.4	9.9	283.2	
28-05-2013	14.8	3.3	93.8	
30-05-2013	21.6	5.1	145.8	
31-05-2013	53.8	14.5	416.5	
21-06-2013	32.9	8.3	237.1	
26-06-2013	21.1	5.0	141.9	
27-06-2013	41.1	10.7	306.1	
02-07-2013	44.2	11.6	332.7	
09-07-2013	21.3	5.0	143.4	
26-07-2013	15.4	3.4	98.3	
04-08-2013	42.1	11.0	314.7	
06-08-2013	36.9	9.4	270.5	
10-08-2013	33.8	8.5	244.6	3838

Fuente: Elaboración propia

D. CALCULO DEL FACTOR R, INDICE DE FOURNIER E INDICE MODIFICADO DE FOURNIER PARA CADA AÑO CON LOS DATOS DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA TIGO.

A continuación se muestran las tablas con los cálculos del IF e IMF para cada mes y el cálculo del factor R utilizando solamente el valor del Índice Modificado de Fournier.

D.1. Precipitaciones, Factor R, Índice de Fournier e Índice Modificado de Fournier año 2010.

Fecha	Precipitación	IMF mensual	Factor R mensual
31-12-2009 0:00	24,5	1,94	103
31-01-2010 0:00	83	22,26	881
28-02-2010 0:00	10,3	0,34	41
31-03-2010 0:00	0,2	0,00012	28
30-04-2010 0:00	61,7	12,30	500
31-05-2010 0:00	88,6	25,37	1000
30-06-2010 0:00	0	0	28
31-07-2010 0:00	0,6	0,0011	28
31-08-2010 0:00	21,1	1,43	83
30-09-2010 0:00	14,8	0,70	55
31-10-2010 0:00	4,1	0,054	30
30-11-2010 0:00	0,5	0,00080	28

Fuente: Elaboración propia

Mes más lluvioso	88,6
Precipitación media anual	309,4
Índice de Fournier	25,3
Índice Modificado de Fournier	64,4
Factor R anual	2807

Fuente: Elaboración propia

D.2. Precipitaciones, Factor R, Índice de Fournier e Índice Modificado de Fournier año 2011.

Fecha	Precipitación	IMF mensual	Factor R mensual
31-12-2010 0:00	3,9	0,031	29
31-01-2011 0:00	0,5	0,00051	28
28-02-2011 0:00	59,4	7,21	305
31-03-2011 0:00	131,7	35,48	1387
30-04-2011 0:00	0	0	28

D.2. (continuación)

31-05-2011 0:00	151,4	46,89	1824
30-06-2011 0:00	14,7	0,44	45
31-07-2011 0:00	30,5	1,90	101
31-08-2011 0:00	1,7	0,0059	29
30-09-2011 0:00	47	4,51	201
31-10-2011 0:00	46,8	4,48	200
30-11-2011 0:00	1.2	0.0029	28

Fuente: Elaboración propia

Mes más lluvioso	151,4
Precipitación media anual	488,9
Índice de Fournier	46,8
Índice Modificado de Fournier	100,98
Factor R anual	4207

Fuente: Elaboración propia

D.3. Precipitaciones, Factor R, Índice de Fournier e Índice Modificado de Fournier año 2012.

Fecha	Precipitación	IMF mensual	Factor R mensual
29-02-2012 0:00	0	0	28
30-04-2012 0:00	92,1	15,32	615
31-05-2012 0:00	194,9	68,62	2657
30-06-2012 0:00	105,4	20,070	797
31-07-2012 0:00	5	0,045	30
31-08-2012 0:00	29,9	1,61	90
30-09-2012 0:00	30,4	1,66	92
31-10-2012 0:00	2	0,0072	29
30-11-2012 0:00	93,8	15,89	637

Fuente: Elaboración propia

Mes más lluvioso	151,4
Precipitación media anual	488,9
Índice de Fournier	46,89
Índice Modificado de Fournier	100,98
Factor R anual	4207

Fuente: Elaboración propia

D.4. Precipitaciones, Factor R, Índice de Fournier e Índice Modificado de Fournier año 2013.

Fecha	Precipitación	IMF mensual	Factor R mensual
31-12-2012 0:00	13,1	0,39	43
31-01-2013 0:00	37,5	3,19	151
28-02-2013 0:00	5	0,056	30
31-03-2013 0:00	27,2	1,68	93
30-04-2013 0:00	114,6	29,86	1172
31-05-2013 0:00	123,9	34,91	1365
30-06-2013 0:00	68,4	10,64	436
31-07-2013 0:00	45,2	4,64	206
31-08-2013 0:00	4,2	0,040	30
30-09-2013 0:00	0,6	0,00081	28

Fuente: Elaboración propia

Mes más lluvioso	151,4
Precipitación media anual	488,9
Índice de Fournier	46,89
Índice Modificado de Fournier	100,98
Factor R anual	4207

Fuente: Elaboración propia

E. CALCULO DEL FACTOR R, INDICE DE FOURNIER E INDICE MODIFICADO DE FOURNIER PARA CADA AÑO CON LOS DATOS DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA LAS PATAGUAS.

E.1. Precipitaciones, Factor R, Índice de Fournier e Índice Modificado de Fournier año 2010.

Fecha	Precipitación	IMF mensual	Factor R mensual
Enero	0.5	0,0006	28
Febrero	51	5,8410	252
Marzo	7	0,1100	33
Abril	32	2,2996	116
Mayo	40	3,5931	166
Junio	0	0,0000	28
Julio	107	25,7108	1013
Agosto	54	6,5484	279
Septiembre	26	1,5181	86
Octubre	56,3	7,1181	301
Noviembre	57,5	7,4248	313
Diciembre	14	0,4402	45

Fuente: Elaboración propia

Mes más lluvioso	107
Precipitación media anual	445,3
Índice de Fournier	25,71
Índice Modificado de Fournier	60,6
Factor R anual	2661

Fuente: Elaboración propia

E.2. Precipitaciones, Factor R, Índice de Fournier e Índice Modificado de Fournier año 2011.

Fecha	Precipitación	IMF mensual	Factor R mensual
Enero	20	0,4	43
Febrero	14	0,2	35
Marzo	42	1,7	93
Abril	101	9,7	400
Mayo	48	2,2	112
Junio	252,8	60,8	2356
Julio	169	27,2	1069
Agosto	224,9	48,1	1870
Septiembre	116,9	13,0	526
Octubre	43	1,8	96
Noviembre	20	0,4	43
Diciembre	0	0,0	28

Fuente: Elaboración propia

Mes más lluvioso	252,8
Precipitación media anual	1051,6
Índice de Fournier	60,77
Índice Modificado de Fournier	165,3
Factor R anual	6671

Fuente: Elaboración propia

E.3. Precipitaciones, Factor R, Índice de Fournier e Índice Modificado de Fournier año 2012.

Fecha	Precipitación	IMF mensual	Factor R mensual
Enero	0	0	28
Febrero	46	2,39	120
Marzo	5,8	0,04	30
Abril	10	0,11	33
Mayo	145	23,77	939
Junio	336	127,61	4916
Julio	44,9	2,28	116
Agosto	125	17,66	705
Septiembre	15	0,25	38
Octubre	27	0,82	60
Noviembre	40	1,81	98
Diciembre	90	9,16	379

Fuente: Elaboración propia

Mes más lluvioso	336
Precipitación media anual	884,7
Índice de Fournier	127,60
Índice Modificado de Fournier	185,9
Factor R anual	7460

Fuente: Elaboración propia

E.4. Precipitaciones, Factor R, Índice de Fournier e Índice Modificado de Fournier año 2013.

Fecha	Precipitación	IMF mensual	Factor R mensual
Enero	4	0,023	29
Febrero	38	2,081	108
Marzo	0	0	28
Abril	10	0,144	34
Mayo	219	69,108	2675
Junio	110	17,435	696
Julio	100	14,409	580
Agosto	125	22,514	891
Septiembre	68	6,663	283
Octubre	20	0,576	50
Noviembre	0	0	28
Diciembre	0	0	28

Fuente: Elaboración propia

Mes más lluvioso	219
Precipitación media anual	694
Índice de Fournier	69,10
Índice Modificado de Fournier	133
Factor R anual	5432

Fuente: Elaboración propia

F. CALCULO DEL FACTOR R, INDICE DE FOURNIER E INDICE MODIFICADO DE FOURNIER PARA CADA AÑO CON LOS DATOS DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA ESTERO NONGUÉN.

F.1. Precipitaciones, Factor R, Índice de Fournier e Índice Modificado de Fournier año 2010.

Fecha	Precipitación	IMF mensual	Factor R mensual
Enero	0	0	28
Febrero	0	0	28
Marzo	0	0	28
Abril	11	0,14	33
Mayo	47,5	2,53	125
Junio	267,6	80,17	3099
Julio	274,4	84,30	3257
Agosto	177,7	35,35	1382
Septiembre	24,2	0,66	53
Octubre	43	2,07	108
Noviembre	25,2	0,71	56
Diciembre	22,6	0,57	50

Fuente: Elaboración propia

Mes más lluvioso	274,4
Precipitación media anual	893,2
Índice de Fournier	84,3
Índice Modificado de Fournier	206,49
Factor R anual	8248

Fuente: Elaboración propia

F.2. Precipitaciones, Factor R, Índice de Fournier e Índice Modificado de Fournier año 2011.

Fecha	Precipitación	IMF mensual	Factor R mensual
Enero	29,3	0,84	60
Febrero	11,6	0,13	33
Marzo	52,5	2,70	132
Abril	113,3	12,57	510
Mayo	38,1	1,42	83
Junio	207	41,94	1635
Julio	166,8	27,23	1071
Agosto	247,5	59,96	2325
Septiembre	90,7	8,05	337
Octubre	34,1	1,14	72
Noviembre	27,8	0,76	57
Diciembre	2,9	0,0082	29

Fuente: Elaboración propia

Mes más lluvioso	247,5
Precipitación media anual	1021,6
Índice de Fournier	59,96
Índice Modificado de Fournier	156,75
Factor R anual	6343

Fuente: Elaboración propia

F.3. Precipitaciones, Factor R, Índice de Fournier e Índice Modificado de Fournier año 2012.

Fecha	Precipitación	IMF mensual	Factor R mensual
Enero	21,9	0,54	49
Febrero	56,3	3,56	165
Marzo	11,5	0,15	34
Abril	7,9	0,07	31
Mayo	155,8	27,27	1073
Junio	226,7	57,73	2239
Julio	71	5,66	245
Agosto	140,2	22,08	874
Septiembre	20,5	0,47	46
Octubre	38,1	1,63	91
Noviembre	32,1	1,16	73
Diciembre	108,2	13,15	532

Fuente: Elaboración propia

Mes más lluvioso	226,7
Precipitación media anual	890,2
Índice de Fournier	57,73
Índice Modificado de Fournier	133,47
Factor R anual	5452

Fuente: Elaboración propia

F.4. Precipitaciones, Factor R, Índice de Fournier e Índice Modificado de Fournier año 2013.

Fecha	Precipitación	IMF mensual	Factor R mensual
Enero	6,4	0,051	30
Febrero	23,5	0,69	55
Marzo	3	0,011	29
Abril	16,6	0,35	42
Mayo	263,2	86,93	3358
Junio	137,5	23,72	937
Julio	106,1	14,13	569
Agosto	155,8	30,46	1195
Septiembre	71,7	6,45	275
Octubre	13,1	0,22	37
Noviembre	0	0	28
Diciembre	0	0	28

Fuente: Elaboración propia

Mes más lluvioso	263,2
Precipitación media anual	796,9
Índice de Fournier	86,92
Índice Modificado de Fournier	163
Factor R anual	6583

Fuente: Elaboración propia