



Por un desarrollo Agrario  
integral y sostenible

# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA FACULTAD DE AGRONOMÍA

## Trabajo de Graduación

**Determinar la erosividad de la lluvia en el  
Municipio de Managua en el campo de la  
Universidad Nacional Agraria 2012-2013**

### AUTORES

**Br. Oscar Francisco Martínez López**

**Br. Leslie Adolfo Traña González**

### ASESORES

**Ing. MSc. Gerardo Ulises Murillo Malespín**

**Ing. Luis Alberto Hernández**

**Managua, Nicaragua**

**Marzo, 2016**



# **UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

## **FACULTAD DE AGRONOMÍA**

Por un desarrollo Agrario  
integral y sostenible

### **Trabajo de Graduación**

**Determinar la erosividad de la lluvia en el  
Municipio de Managua en el campo de la  
Universidad Nacional Agraria 2012-2013**

### **AUTORES**

**Br. Oscar Francisco Martínez López**

**Br. Leslie Adolfo Traña González**

### **ASESORES**

**Ing. MSc. Gerardo Ulises Murillo Malespín**

**Ing. Luis Alberto Hernández**

**Trabajo presentado a consideración del honorable  
tribunal examinador, para optar al grado de  
Ingeniero Agrícola para el Desarrollo Sostenible**

**Managua, Nicaragua**

**Marzo, 2016**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

SECCION	PÁGINA
<b>DEDICATORIA</b>	<b>i</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b>	<b>iii</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b>	<b>v</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b>	<b>vii</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>viii</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>ix</b>
<b>I INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>II OBJETIVOS</b>	<b>4</b>
2.1 Objetivo general	4
2.2 Objetivos específicos	4
<b>III MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>5</b>
3.1 Ubicación del Ensayo	5
3.2 Diseño metodológico	6
3.2.1 Concepto y descripción del instrumento disdrómetro laser	8
3.3 Definición de la energía cinética (EC)	9
3.4 Definición de la erosividad de la lluvia (R)	10
3.5 Proceso de cálculo de la energía cinética (EC) y erosividad (R) por el método del disdrómetro laser	10
3.6 Proceso de cálculo de la energía cinética (EC) y erosividad (R) por el método Walter Wischmeier y Dwight Smith.	11
3.7 Variables evaluadas	12
3.7.1 Precipitación	12
3.7.2 Duración de la lluvia (min)	13
3.7.3 Tiempo efectivo de la lluvia (min)	13
3.7.4 Intensidad de la lluvia (mm/h)	13
3.7.5 Intensidad máxima ( $I_{30}$ )	14
3.7.6 Diámetro de la gota de lluvia (mm)	14
3.7.7 Velocidad terminal (m/s)	14
3.8 Análisis de la información	15
<b>IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>16</b>

<b>V</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	25
<b>VI</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	26
<b>VII</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	27
<b>VIII</b>	<b>ANEXOS</b>	29

## **DEDICATORIA**

Doy gracias a **DIOS** por brindarme la oportunidad de culminar la carrera de Ingeniería Agrícola, la cual tengo seguridad me servirá para desarrollarme profesionalmente ante la sociedad.

A mi madre Miriam del Socorro López Pavón, que con amor y sacrificio me apoyó en todo el transcurso de mi carrera y lograr así la culminación.

Br: Oscar Francisco Martínez López

## **DEDICATORIA**

A Dios, por darme la oportunidad de vivir, estar conmigo en cada paso que doy, fortalecer mi corazón e iluminar mi mente, haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mis padres **Luis Adolfo Traña Álvarez** y **María del Socorro González**, que son un ejemplo a seguir en mi vida, por estar siempre a mi lado dándome su apoyo, sus consejos sabios, dificultades que he pasado que con la ayuda de ellos los he superado, su confianza y el amor que me han dado en todo el transcurso de mi carrera universitaria, todo esto se los debo a ustedes.

*Br: Leslie Adolfo Traña González*

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi padre Oscar Antonio Martínez López, a mis tíos: Pedro Antonio, Jerónimo, Reymundo Miguel, y Javier de Jesús, todos de apellido López Pavón, por todo su apoyo incondicional y enseñanza, que me han brindado para la culminación de mi carrera.

Al Ing. Msc. Gerardo Ulises Murillo Malespín, por brindarnos la confianza de asignarnos y orientarnos a la realización de la investigación para la obtención de nuestro título de **Ingeniería Agrícola para el desarrollo sostenible**.

A la **Universidad Nacional Agraria** por acogernos y brindarnos el pan del conocimiento y a todos los docentes del departamento de Ingeniería Agrícola. (DÍA), por el apoyo que me brindaron en el transcurso de mi formación profesional durante los años de duración de la carrera.

Al Dr. Joel Abraham por facilitarnos el disdrómetro durante todo el período de estudio.

Br: Oscar Francisco Martínez López

## AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a Dios, por darme la dicha de culminar mis estudios, y brindarme la capacidad de dar un paso adelante superando las adversidades, por la sabiduría y los conocimientos para tomar decisiones serias y formales en mi vida.

A mis hermanos **Luis Enrique Traña** y **Jessica Traña**, brindándome su apoyo en el transcurso de mi carrera.

Familiares y amigos de una u otra forma me han apoyado y sé que siempre puedo contar con ellos.

A mi asesor **Ing. MSc. Gerardo Murillo Malespín** por haber tenido la amabilidad, paciencia al guiarme y darme su apoyo sincero en el desarrollo y culminación del tema de investigación. Para optar el título de Ing. Agrícola para el Desarrollo Sostenible.

Al cuerpo docente de la Universidad Nacional Agraria, en especial a los docentes del Departamento de Ingeniería Agrícola (DIA), por ser clave importante en la formación de nuevos profesionales.

*Br: Leslie Adolfo Traña González*

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>CUADRO</b>	<b>PÁGINA</b>
1. Registro de eventos capturados dentro del área de estudio de la Universidad Nacional Agraria, 2012 y 2013.	17
2. Características de la lluvia obtenidas por diferentes instrumentos 2012-2013	19
3. Patrones de lluvia de 16 días lluviosos 2012-2013	21
4. Energía cinética y erosividad de la lluvia registrados en el municipio de Managua 2012-2013	22
5. Distribución y cantidad de diámetros de gotas de lluvia por eventos ocurridos en el 2012-2013	24

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA</b>	<b>PÁGINA</b>
1. Ubicación del área de estudio dentro de la granja de peces de la Universidad Nacional Agraria (UNA)	5
2. Flujo grama del proceso de investigación.	6
3. Programa LNM VIEW versión 2.5	7
4. Hoja Pluviográfica utilizada por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. (INETER)	8
5. Cabeza emisora del disdrómetro laser	9
6. Precipitación diaria, de los años 2012-2013 con el registro del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER)	16
7. Relación del diámetro de la gota de lluvia en función de la intensidad.	24

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO</b>	<b>PÁGINA</b>
1. Tabla 1, Resumen meteorológico diarios, registrado por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) 2012.	29
2. Tabla 2, Resumen meteorológico diario registrado por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) 2013.	30
3. Tabla 3, 107 días registrados por el Disdrómetro laser	31
4. Figura 7.1, Relación de la intensidad de la lluvia versus diferentes diámetros de gotas de lluvia del evento ocurrido 01/10/2012	34
5. Figura 8, Relación de la intensidad de la lluvia versus diferentes diámetros de gotas de lluvia del evento ocurrido 15/08/2013	36

## RESUMEN

La energía cinética de la lluvia se ha estimado de forma indirecta y por tanto su erosividad, con el uso de fórmulas empíricas a partir de parámetros de lluvia conocidos. La ecuación empírica para la estimación de la energía cinética más utilizada es la de Wischmeier y Smith que ha servido de modelo para la obtención de otras e interviene en el cálculo del factor pluvial de la ecuación Universal de pérdidas de suelo. Los patrones de lluvia fueron registrados durante el periodo de julio a noviembre de los años 2012- 2013, evaluando intervalos de 20 y 30 minutos, elementos que conducirán a calcular la energía cinética y su erosividad para el área de estudio. La recopilación de la información se realizó con mecanismos y metodologías diferentes, por medio del instrumento Disdrómetro laser y Pluviógrafo de la estación meteorológica, del Aeropuerto Augusto C. Sandino, homogenizando en una sola expresión de unidad de medida del sistema internacional, (Mj.mm.ha/h). Obteniendo como resultado, 122 días de observación para el año 2012, con 361 mm acumulados en 40 días lluviosos registrados, para el 2013 se registró 67 días lluviosos de 129 días de observación con 462 mm acumulados. En comparación a la estación meteorológica con la misma cantidad de días lluviosos evaluados, para el 2012 con 237mm acumulado y para el año 2013 con 438 mm. El estudio demuestra que el mayor conteo de gotas de lluvia se muestra entre los rangos de 0.125 mm y 3 mm, distribuidos a medida que la intensidad de la lluvia aumenta el número de gotas contadas es menor en cuanto a su diámetro. Existe correlación entre la intensidad de la lluvia y el diámetro de las gotas en los rangos de 0,125 mm hasta 5 mm, con un  $r^2 = 0,759$ , cuya relación se ve afectada a medida que aumenta la intensidad el número de gotas mayor a 5 mm son muy pocas distribuidas

Palabras claves: Energía Cinética, Erosividad, Disdrometro, Intensidad de la lluvia.

## ABSTRACT

The kinetic energy of rain is estimated indirectly and therefore its erosivity, with the use of empirical formulas from known parameters of rain. The empirical equation for estimating the kinetic energy used is to Wischmeier and Smith has served as a model for obtaining other and intervenes in the calculation of factor of rain Universal soil loss equation. Rainfall patterns were recorded during the period July to November the years 2012- 2013, evaluating intervals of 20 and 30 minutes, elements that lead to calculate the kinetic energy and erosivity for the study area. Gathering information with different mechanisms and methodologies, performing them by laser Disdrómetro and pluviógrafo instrument meteorological station, the Augusto C. Sandino Airport, homogenizing in a single expression unit of measurement of the international system (Mj.mm.ha / h) . Resulting in 122 days of observation for 2012, with 361 mm in 40 rainy days accumulated registered for 2013 was recorded 67 rainy days of 129 days of observation accumulated 462 mm. Compared to the weather station with the same amount of rainy days evaluated for 2012 with 237mm cumulative and 2013 with 438 mm. The study shows that the largest count raindrops shown ranges between 0.125 mm and 3 mm, distributed as the rain intensity increases the number of drops counted is smaller in their diameter. There is correlation between the intensity of the rain and the droplet diameter in the range of 0.125 mm to 5 mm, with  $r^2 = 0.759$ , whose relationship is affected with increasing intensity the greater number of drops to 5 mm are very few distributed

Keywords: Disdrometer, Kinetic Energy, Erosivity, intensity.

## I. INTRODUCCIÓN

La erosión del suelo se comprende como el proceso que conlleva la pérdida del material edáfico por la acción del agua de lluvia (erosión hídrica) o del viento (erosión eólica). La erosión hídrica es uno de los fenómenos más estudiados a nivel mundial siendo el factor precipitación el más analizado por los investigadores.

El método más utilizado para predecir la cantidad de suelo que se pierde por erosión hídrica es USLE "Universal Soil Loss Equation" (Wischmeier et al 1965). El factor erosividad es de tipo climático e indica el potencial erosivo o bien la capacidad potencial de la lluvia para provocar erosión, estando dicha capacidad en función de la características físicas de la lluvia.

Para llegar a utilizar la erosividad como un factor fundamental y básico, dentro de las ecuaciones que plantean una evaluación de pérdidas de suelos por erosión hídrica y en los términos en que se expresa en la actualidad, se han realizados abundantes estudios, tanto de índole experimental como empírica, mientras las primeras ecuaciones mantenían el factor erosividad como una constante para los lugares específicos en que era evaluada la pérdida de suelos (ZINGG, 1940), pronto se llegó a descubrir la importancia de la erosividad de la lluvia como parámetro fundamental de las variaciones de pérdidas de suelo en distintos lugares. De este modo se introdujo la relación entre las características de la precipitación con la cantidad de pérdida de suelo. (MUSGRAVE, 1947), llegándose a establecer que la erosión era proporcional a  $P_{30}^{1.75}$ , siendo  $P_{30}$  la máxima precipitación pluvial en 30 minutos. Desde un comienzo, la relación quedaba fijada, fundamentalmente con el otro parámetro básico que condiciona las pérdidas de suelo con la erodabilidad. La relación entre estos dos parámetros puede ser definida HUDSON, (1982), como: "Un valor en la escala de erosividad depende exclusivamente de las propiedades de la lluvia y en este aspecto, es independiente del suelo. Pero una medida cuantitativa de la erosividad sólo puede efectuarse cuando la erosión tiene lugar, lo que involucra a la erodabilidad del material erosionado".

La erosividad de la lluvia, la energía y el impulso mecánico, la intensidad de la precipitación, según ELLISON (1944), ponían en evidencia que en condiciones de lluvia intensa, de tres partes en que puede dividirse la actuación del agua, (arranque de partículas, transporte por escorrentía y sedimentación), es el arranque de partículas de suelo la más importante, estando condicionada la erosión, en esencia por el impacto de las gotas de lluvia. En sus 230 experiencias ELLISON (1944), midió la erosión de impacto para numerosos tamaños de gota, velocidad y de intensidad, concluyendo con una expresión que medía los gramos de suelo dispersados en 30 minutos, esta expresión consideraba la velocidad de la gota de lluvia, su diámetro y la intensidad de la lluvia. Otros autores; BISAL (1960); FREE, (1960), mencionan que la erosión de impacto depende únicamente de la energía cinética de la lluvia, si bien autores como ROSE (1980) negarán esta dependencia y la vincularán más al impulso mecánico pluvial.

De cualquiera de las formas quedó establecida la relación teórica inicial entre la intensidad de la precipitación, su energía cinética (EC) y las pérdidas de suelo.

En décadas más reciente la capacidad potencial erosiva de la lluvia (energía cinética), se ha determinado a través de conocer la distribución de los diámetros y de velocidades de las gotas de lluvia. Se ha logrado calcular la energía cinética de esa precipitación, (Sempere, 1994) pero al no disponer de esas caracterizaciones de la lluvia, ha hecho que la energía cinética (EC) se evalué de forma indirecta en función de la característica de la lluvia, más fácil y medible que los diámetros de las gotas, realizándose con la intensidad de la lluvia.

El principal agente disgregador del suelo es el impacto de las gotas de lluvia y la energía del agua que precipita, es de uno a dos órdenes de magnitud superior a la capacidad disgregadora de la escorrentía (Sempere T. 1994). La cantidad de suelo disgregado y desplazado por la acción del impacto de la gota será mayor a medida que aumenta su energía, por lo tanto será mayor a medida que aumenta el diámetro y la velocidad de la gota (Roldán M, 2009).

La energía cinética se ha obtenido de forma indirecta a partir de parámetros de lluvia conocidos, ya que para el cálculo de la energía cinética real de una gota, requeriría información de su masa o diámetro y su velocidad. Variables que no son recogidas en los observatorios pluviométricos. La energía cinética, se ha calculado a través del parámetro intensidad de la lluvia, que es posible obtener con los datos de precipitación suministrados por un pluviógrafos.

Desde hace unas decenas de años existen aparatos automáticos de medición de diámetros de gotas de lluvia, como el Disdrometro o espectrómetro mecánico propuesto por Joss y Waldvogel (1967). La utilización de estos aparatos permite medir directamente toda la información ligada a la lluvia y caracterizarla directamente como una población de gotas de tamaños distribuidos según la función  $N(D)$  número gotas por el diámetro de las gotas. Esta función nos permite medir cualquiera de las propiedades de la lluvia en particular su erosividad.

En Nicaragua los estudios sobre la erosión de suelo utilizando el método desarrollado por Wischmeier y Smith (1978), aplicando la ecuación universal de pérdida de suelo se encuentra; Méndez y Espinoza (2008), determinaron valores en pasto de 5.12 ton/ha/a pérdidas; Mendoza (1994), valores de pérdida de suelo de 8 ton/ha/a realizando prácticas de conservación de cultivo en contornos, barreras vivas y cultivo de relevo; Reyes (2001), Determino pérdida potencial de suelo fue de 283 ton/ha/a en la micro cuenca de Wisbuse en San Dionisio.

La investigación pretende caracterizar de forma cuantitativa las variables fundamentales de la precipitación de la estación lluviosa, específicamente en los meses de Julio a Noviembre, que históricamente se han considerado el período más lluvioso debido al potencial erosivos, donde coincide con la temporada de huracanes u tormentas tropicales estacionarias. Lo que permitió obtener una muestra poblacional muy representativa de los eventos y variables como intensidad, duración, distribución, Tamaño, Velocidad terminal y volumen de agua precipitada por una unidad de tiempo, elementos que conducirán a calcular la energía cinética (EC) y su erosividad (R) para el área de estudio.

Las expectativas del presente estudio es la obtención de información y resultados que permitan a los investigadores en el campo de la conservación de suelos, cambio climático, e hidrológico información confiable y de gran precisión en la toma de decisiones en el manejo de los recursos naturales. Por tanto el presente estudio se propuso los siguientes objetivos a desarrollar

## **I. OBJETIVOS**

### **1.1. Objetivo General**

- Analizar la Erosividad en el municipio de Managua en el periodo de julio-noviembre 2012 – 2013.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Caracterizar los periodos de lluvia en el municipio de Managua, dentro del campo de la Universidad Nacional Agraria.
- Demostrar la distribución de las gotas de lluvia y su relación con la intensidad de la lluvia de los eventos seleccionados en el período 2012 -2013.
- Analizar el efecto de la intensidad de la lluvia y su relación con la distribución y tamaño de las gotas de lluvias.
- Comparar la erosividad de la lluvia calculada con la información obtenida del disdrometro con la ecuación de erosividad utilidad en el modelo de la ecuación universal de pérdidas de suelo con sus siglas en inglés (USLE)

### III MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 .Ubicación del ensayo.

El área de estudio se estableció en el Municipio de Managua en el kilómetro 12 ½ carretera Norte en el campo de la **Universidad Nacional Agraria (UNA)** en el sector norte, granja de peces de la UNA, durante los meses de Julio a Noviembre (2012 y 2013). En las coordenadas geográficas; Latitud norte 12°08'59.56"N y longitud oeste 86°09'45.62"W. a 56 metros sobre el nivel del mar dentro de un área de estudio de 50 m<sup>2</sup>, (Ver Figura 1).



Figura 1. Ubicación del área de estudio dentro de la granja de peces de la UNA. (2012-2013)

La precipitación media anual registrada en el municipio de Managua oscila entre los 800 a 1200 mm, según el sistema de Koppen modificado (Enriqueta García, 1988). Clasificando el clima como caliente y sub-húmedo con lluvia en verano, temperatura promedio de 32 °C, micro relieve plano y suelos del orden Andisoles.

La topografía del área de estudio es plana, clara y sin arboles alrededor en un diámetro de 30 m, siendo el edificio más cercano a 15 m. El área útil del ensayo es de 16 m<sup>2</sup>, donde fueron ubicados cuatro pluviómetro uno en cada esquina del área útil, los pluviómetros se instalaron a una altura de 1.20 m, sobre la superficie del suelo suspendido de una barra de hierro enterrada a 0.40 m, de profundidad.

Al centro del área útil fue instalado el disdrometro laser y una estación meteorológica digital modelo PRESS INSTALL.

### 3.2 Diseño Metodológico.

Para el presente estudio se utilizaron tres instrumentos de medición; el disdrometro laser, cuatro pluviómetros, pluviógrafo electrónico. Así como, información de referencia la estación meteorológica ubicada en el Aeropuerto Internacional Augusto Cesar Sandino que se encuentra a una distancia de 1 km del área de estudio.

La recolección de los datos fue obtenida sistemáticamente de cada uno de los instrumento de medición, durante el primer año (2012), se instalaron cuatro pluviómetros dentro del área útil con el propósito de corroborar el funcionamiento y verificación de la información de todos los instrumento de medición ocular, las lecturas de los pluviómetros fue establecida cada 24 horas.



Figura 2. flujo grama del proceso de investigación

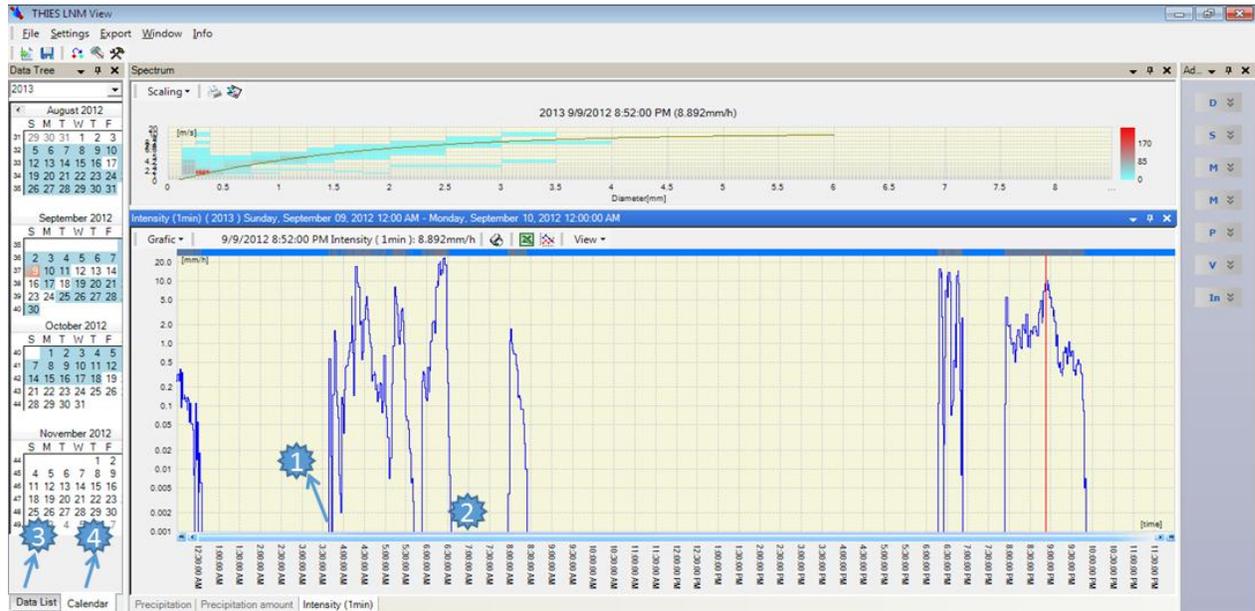
En el caso de los equipos, disdrometro y estación meteorológica se verificaba el funcionamiento de todo el sistema, mediante el chequeo de funcionamiento del ordenador personal o bien personal computer por sus siglas en inglés (PC), donde fue exclusivamente instalado el software Thies clima, que estaba conectado directamente con el disdrometro laser. Este instrumento, operaba durante las 24 horas (día y noche) ininterrumpidamente. De igual forma la estación meteorológica funciona las 24 horas pero esta almacena la información en una memoria para equipos portátiles (SD card de 2 gigabyte), donde posteriormente la información es almacenada en el ordenador en una hoja Excel Windows 2007.

Los registros de los pluviómetros se llevaron de forma manual en un formato pre elaborado el cual consistió en cuatro columnas, la primera columna especifica el día del muestreo, la segunda columna la hora en que se realiza la lectura, la tercera columna la lectura o volumen de agua contenido en el pluviómetro (mm) y la cuarta columna registra la lluvia acumulada.

La información obtenida del disdrometro fue procesada a través del programa LNM VIEW versión 2.5 (figura 3) el cual permite visualizar los datos registrados del volumen de agua

precipitada (mm), intensidad (mm/h), cantidad de gotas y velocidad terminal de cada una de las gotas (m/s), minuto a minuto.

También en el lado izquierdo, se muestra la lista de fechas o el calendario mensual resaltando el día del evento mostrado, además el programa permite visualizar en la pestaña las opciones de precipitación, precipitación acumulada o bien la intensidad en tiempo de intervalos por minutos.



1. Inicio del Evento. 2. Final del Evento. 3. Lista de Datos. 4. Calendario del Evento.

Figura 3. Programa LNM VIEW versión 2.5 (2013)

También se procedió a obtener la información de los registros de precipitación de la estación del Aeropuerto Augusto Cesar Sandino la cual es administrada por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), en donde nos facilitó los pluviogramas de los dos años de estudios (figura 4) se procedió a determinar el volumen de agua precipitada en intervalos de tiempo de 5 minutos. Los registros posteriormente fueron digitalizado y analizado en hoja Excel.

El proceso para el cálculo del factor de erosividad a través del método de la USLE (Wischmeier, 1978), obteniendo la intensidad de la lluvia en intervalos de 20 y 30 minutos ( $I_{20}$  e  $I_{30}$ ) para conocer la energía cinética total de cada evento, se procedió a sumar los resultados individuales totalizando la energía cinética multiplicado por la intensidad ( $I_{20}$  e  $I_{30}$ ) obteniendo la erosividad de la lluvia la cual se expresa en una unidad de fuerza, multiplicada por el volumen de la precipitación multiplicada por la unidad de área y la multiplicación de la unidad de tiempo. (Mj mm/ha.h)

Se realizaron los cálculos para la energía cinética ( $E_c$ ) y erosividad ( $R$ ). Evaluando el índice  $I_{30}$ , desarrollado por Wischmeier y Smith (1978), el cual es el producto de la energía total de la tormenta considerada y la máxima intensidad sostenida durante 30 minutos expresado en unidades del sistema internacional:  $Mj.mm/ha.h$ .



1. Inicio del Evento. 2. Final del Evento. 3. Hora del día o evento. 4-5 lamina precipitación en milímetro.

Figura 4. Hoja Pluviográfica utilizada por INETER 2015.

### 3.2.1 Concepto y descripción del Instrumento disdrómetro Laser.

Es un instrumento para proporcionar simultáneamente los diámetros, velocidad de caída de las gotas de lluvia y su distribución que pasan a través de una matriz de láser. Esta herramienta fue diseñada debido a la dificultad para medir las gotas de lluvia de manera precisa a partir de muestras estadísticamente significativas de una manera muy sencilla. El disdrometro utilizado es del tipo propuesto por Joss y Waldvogel, (JOSS y WALDVOGEL 1967).

El disdrometro, transforma la cantidad de movimiento de una gota en un pulso eléctrico, la magnitud del pulso que se genera es como consecuencia del desplazamiento de la membrana expuesta a la gota, que corresponde con la energía cinética o cantidad de movimiento de la gota y por tanto con su diámetro, asigna al pulso generado por cada gota un diámetro, suponiendo que las gotas son esferas y que caen con velocidad terminal. A fin de lograr una alta eficiencia del resultado, la medición se realiza cuando una partícula (gota) cae a través del haz de luz infrarroja proveniente de la cabeza emisora, cuando una partícula al atravesar el láser se reduce la intensidad óptica medida en la cabeza receptora, así dependiendo de la magnitud de dicha reducción y del tiempo que dure se establece el diámetro de la partícula y la velocidad de caída, (Thies clima, 2007)

El equipo incluso tiene la capacidad de establecer el tipo de precipitación en función de la proporción estadística de los tamaños de gotas y velocidades de caída que puede ser: llovizna, lluvia, granizo, nieve, precipitación mixta, Precipitación no identificada y error del sensor, este tipo de disdrometro tiene la ventaja de tener incorporado un procesador de señales que es capaz de diferenciar si una partícula es medida. (Thies clima, 2007)

Especificaciones: Disdrometer Thies Laser Precipitation Monitor 5.4110.10.300, v2.4, STD, PC. Con un programa: LNM VieW 9.1700.99.000 de la versión 2.5. El funcionamiento del láser es de 0.5 mm a 785 mm de potencia óptica, láser Class 1M. Con una medición de área de 46 cm<sup>2</sup> (23 x 2 cm). Utiliza una matriz de 440 clases (22 x 20 clases). Según distintos rangos de tamaño y velocidad de caída de las partículas, clasifica los tamaño de partícula que oscilan entre 0.16.> 8 mm con una velocidad de partículas de 0.2 a 20 m/s, con un software para PC, disponible como accesorio, con valores de medición, emitidos en el PC y que se pueden adquirir, clasificar y analizar. (Thies clima, 2007)



Figura 5. Cabeza emisora del Disdrometro laser.

### 3.3 La Energía Cinética (Ec).

La energía cinética de un cuerpo es aquella que posee debido a su movimiento, desde el reposo hasta la velocidad indicada. Una vez conseguida esta energía durante la aceleración, el cuerpo mantiene su energía cinética salvo que cambie su velocidad. (Raymond, 2004).

La energía cinética de la lluvia representa la energía total disponible para la disgregación del suelo y compactación superficial por impacto de las gotas y desplazamiento por salpicadura. Se ha estimado de forma indirecta con el uso de fórmulas empíricas a partir de parámetros de lluvia conocidos habitualmente la intensidad. (Sempere, 1994).

La ecuación empírica de este tipo para la estimación de la energía cinética más utilizada y que interviene en el cálculo del factor pluvial de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo, es la de Wischmeier y Smith (1978), que ha servido de modelo para la obtención de muchas ecuaciones empíricas.

### 3.4 La Erosividad de la lluvia (R)

La erosividad de la lluvia, es la capacidad de la lluvia para provocar erosión, reflejando la cantidad de energía cinética que tienen las gotas de lluvia que impactan sobre el suelo, estas tienen un doble efecto sobre el mismo. Por un lado producen el desprendimiento de partículas del suelo debido al impacto de las gotas de lluvia, por otra parte producen una compactación de los poros del suelo que incide en la formación de escorrentía y por tanto la erosión.

La erosividad es un parámetro en la evaluación de las pérdidas de suelo y se define como el producto de dos características físicas de la lluvia. La energía cinética y la intensidad máxima de precipitación durante 30 minutos consecutivos, Wischmeier (1959). Desarrolló un índice de erosividad de la lluvia denominado  $EI_{30}$ , el cual es un factor en la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo. Wischmeier y Smith (1978), han señalado valores probables extremos y mapas de erosión, para diferentes regiones de los Estados Unidos.

### 3.5 Proceso de Cálculo de la Energía cinética ( $E_c$ ) y Erosividad (R) por el método del Disdrometro laser.

Con los datos registrados a través del disdrometro laser, se realizaron los cálculos para determinar la Energía cinética y Erosividad, físicamente para llevar a cabo el cálculo de la energía cinética. Existen diversas maneras y las mismas dependerán del tipo de mecánica que se emplee y también en el cálculo incidirán factores como el tamaño, la velocidad que presente el cuerpo y las partículas a través de las cuales se encuentra conformados, calculándola con la ecuación universal ya conocida:  $E_c = \frac{1}{2} m \cdot v^2$  donde la energía cinética ( $E_c$ ), expresada en unidad de fuerza  $m$  es igual a la masa del cuerpo y  $v$  es la velocidad elevada al cuadrado de la velocidad terminal de la gota de lluvia si estuviera referida a esta.

La energía cinética de la lluvia es el resultado de la suma de la energía cinética de cada una de las gotas que individualmente golpean el suelo, Roldan y Fernández (2005), nos dicen que la energía cinética para una gota de diámetro  $D$ , se obtiene de la siguiente manera, utilizando las siguientes ecuaciones:  $EC = \frac{1}{2} m \cdot v^2$  (Ecuación 1)

Dónde:

$E_c$  = Energía cinética ( $Kg \cdot m^2/s^2$ ) Julios

$m$  = masa del cuerpo en movimiento (gota) Kg

$V$  = Velocidad del cuerpo (gota) medido en (m/s)

Entonces;  $EC = \frac{\pi}{12 \cdot 10^3} D^3 \rho v^2$  (Ecuación 2)

Donde;

$D$  = es el diámetro equivalente en **mm** que sería el diámetro de una gota esférica con el mismo volumen.

$v$  = es la velocidad terminal en m/s asociada a ese diámetro.

$\rho$  = es la densidad del agua en  $g/cm^3$ .

$EC$  = es la energía cinética en J. de una gota de diámetro  $D$  y velocidad  $v$ .

Por lo tanto, midiendo todos los diámetros y las velocidades terminales de todas las gotas que caen en un intervalo de tiempo dado y sobre una determinada superficie, se calculó la energía

cinética total de esa lluvia sobre esa superficie y en ese intervalo de tiempo dado. Como la suma de las energías cinéticas de todas las gotas que inciden sobre esa superficie en ese intervalo de tiempo, en el caso de este estudio los datos son presentados con las siguientes unidades; Mega Julios por hectáreas (MJ.ha). Roldan y Fernández (2005)

Se procedió a dividir los eventos en intervalos de 5 minutos cada uno, luego procedimos a seleccionar según la gráfica de los datos generada por Microsoft Excel los 20 y 30 minutos continuos de lluvia con mayor intensidad en cada evento, tomando en cuenta que el disdrometro nos brinda la lámina precipitada (mm) e intensidad (mm/h).

Finalmente la energía cinética total de cada evento es multiplicada por la intensidad máxima ( $I_{20}$  e  $I_{30}$ ) correspondiente que es el valor que representa el índice de erosividad o índice de erosión por lluvia.  $R = \sum Ec \times I_{30}$  expresado en MJ.mm/ha.h. (Wichmeier et al., 1978)

### **3.6 Proceso de cálculo de la Energía cinética ( $E_c$ ) y Erosividad por el método de Walter Wischmeier y Dwight Smith.**

Los registros de precipitación de la estación pluviométrica del aeropuerto Augusto Cesar Sandino. Se utilizaron para los cálculos de Energía cinética y la erosividad de la lluvia de los eventos seleccionados.

Cada evento lluvioso, está dividido en una serie de intervalos de 5 minutos, los cuales se dispone el dato de la lámina precipitada ( $I_p$ ), sea  $I_p$  la cantidad de lluvia caída en cada intervalo de tiempo ( $t$ ). Este puede variar entre 1 y  $n$ . siendo  $n$  el número de intervalos en que está dividido el evento lluvioso. Se procedió a calcular la intensidad máxima para cada sub intervalo, multiplicando el valor de precipitación  $I_p$  por 60 minutos y luego dividiéndolo por el intervalo de tiempo ( $t$ ) dato por dato y obtenemos la intensidad de la lluvia (mm/h) correspondiente al intervalo ( $t$ ). Sea ( $I$ ) dicha intensidad.

$$I = (I_p * 60) / (t) \quad (\text{Ecu} 3)$$

La energía cinética correspondiente al intervalo de tiempo ( $t$ ) y para cada unidad de precipitación viene dada por la fórmula propuesta por Wischmeier y Smith (1958)

$$e = 0.119 + 0.0876 * \log I \quad (\text{Ecu} 4)$$

Dónde:

$e$  = energía cinética por intervalo de tiempo.

$I$  = intensidad máxima del evento (mm/h)

Para conocer la energía cinética del evento, calculamos a cada sub intervalo de tiempo en los que está dividido.

El factor  $R$  se calculó para intensidades ( $I_{20}$ ,  $I_{30}$ ) para analizar el comportamiento de cada evento considerándose el intervalo de tiempo que llueve continuamente en 30 minutos.

Procedimientos para el cálculo.

1. A partir de la mayor precipitación registrada en el evento se calcula la lámina precipitada en 20 y 30 minutos continuos y la intensidad (mm/h) de estas respectivamente.

2. Se Calcula la energía cinética parcial de cada segmento (e).
3. Se multiplica el valor obtenido de e por la cantidad de lluvia correspondiente a cada segmento o intervalo de tiempo. Las sumas de estas energía principales constituye el valor de la energía cinética total para ese evento de lluvias (Ec) expresadas en MJ/ha.

$$E_c = \sum e \quad (\text{Ecu} 5)$$

Donde.

e= Energía cinética parcial en MJ/ha.mm

I= intensidad en mm/h.

4. Finalmente la energía cinética total de la tormenta en cada una de las intensidades es multiplicada por la intensidad máxima correspondiente que es el valor que representa el índice de erosividad o índice de erosión por lluvia.  $R = \sum E_c \times I_{30}$ . Expresado en MJ.mm/ha.h.

### 3.7 Variable evaluada.

#### 3.7.1 Precipitación.

Es la caída del agua en estado líquido (lluvia) o sólido (nieve y granizo) hacia la superficie terrestre, para que se produzca es necesario que una masa de aire caliente y cargada de humedad sufra un proceso de enfriamiento que haga posible la condensación.

Las precipitaciones pueden ser líquidas o sólidas, evaluando solo la precipitación líquida que se caracterizan por: llovizna, Lluvia, aguacero.

- a) Llovizna: consiste en gotas de agua con diámetro que varía de 0.1- 0.5 mm y su intensidad es generalmente de 1.0 mm/h por lo cual aparentan estar flotando en el aire. también facilita que sigan la dirección del viento.
- b) Lluvia: son gotas de agua con un diámetro superior a 0.5 mm y a una velocidad que varían de acuerdo a su intensidad. que se puede dividir en:
  - b. 1- lluvia ligera: con intensidad de 2.5 mm/h.
  - b.2- lluvia mediana o moderada: intensidad de 2.5- 7.6 mm/h.
  - b.3- lluvia intensa o fuerte: intensidad mayor de 7.6 mm/h.
- c) Aguacero: es una lluvia torrencial que produce una lámina de agua de 1 mm o más por minuto, cae generalmente en un área pequeña y va acompañada de vientos fuertes que puede causar mucho daño al suelo y vegetación.

#### 2-Precipitación solida: nieve y granizo

- a) Nieve: precipitación de cristales de hielo en su mayor parte ramificados o estrellados.
- b) Granizo: precipitación de trozos de hielo. cuyo diámetro es de 5mm a 50mm aproximadamente. y que caen separados unos de los otros o aglomerados en bloques.

### 3.7.2 Duración de la lluvia (minuto).

Es el espacio de tiempo en que precipita un evento lluvioso. La duración de la lluvia y la intensidad están asociadas al aumentar la duración de la lluvia disminuye su intensidad media.

La duración de la lluvia o tormenta, se tomó en cuenta por cada evento, desde el inicio hasta el momento final en que dejó de llover, estableciendo como tiempo para diferenciar un evento con otro un lapso de 2 horas.

### 3.7.3 Tiempo efectivo de la lluvia (minuto).

Es el tiempo continuo en que se desarrolla un evento lluvioso, las mediciones realizadas por el disdrometro y la forma en que este genera los datos, nos permiten conocer la cantidad de tiempo efectivo en que ocurrían los eventos minuto a minuto.

### 3.7.4 Intensidad de las lluvias (mm/h).

Es la cantidad de lluvia precipitada en un lapso de tiempo determinado, expresada en mm/h. Esta variable se registró con el instrumento disdrometro laser, una característica que tiene para medir las precipitaciones, se realizaron cálculos con la información recopilada del Aeropuerto Augusto C. Sandino, puesto que no lo brinda directamente, de la siguiente metodología.

Matemáticamente obtenemos este valor multiplicando el valor de la lámina precipitada. (lp) por 60 minutos y luego dividiéndolo por el intervalo de tiempo entre dato y dato, obtenemos la intensidad de la lluvia (mm/h) correspondiente al intervalo (t). Sea (I) dicha intensidad.

Dónde:

$$I = (Lp * 60) / (t). \quad (\text{Ecuación 6})$$

### Clasificación de la precipitación según su intensidad

<b>Intensidad de la lluvia</b>	<b>Acumulación en 1 h</b>
Débil	Menos de 2 mm
Moderada	Entre 2 y 15 mm
Fuerte	Entre 15 y 30 mm
Muy Fuerte	Entre 30 y 60 mm
Torrencial	Más de 60 mm

---

Fuente: Manual de uso de términos meteorológicos.

### **3.7.5 Intensidad máxima ( $I_{30}$ )**

Es la máxima Intensidad de precipitación de un evento lluvioso durante 30 minutos consecutivos, realizando cálculos de  $I_{20}$  e  $I_{30}$ . Pero el índice evaluado fue el  $I_{30}$ . Desarrollado por Wischmeier y Smith (1978). El cuál es la máxima intensidad y producto total de la tormenta considerada, siendo la capacidad máxima erosiva de una tormenta. Calculándola de la siguiente manera:

- Teniendo la duración del evento lo dividimos en intervalos de 5 minutos.
- Seleccionamos y sumamos 30 minutos consecutivos del evento con la mayor precipitación ( $I_p$ ).
- Cuando tenemos el resultado de la lámina precipitada en 30 minutos lo multiplicamos por 60 minutos y lo dividimos entre 30. Donde este valor es el resultado de la máxima precipitación  $I_{30}$ .
- Matemáticamente realizamos una regla de 3.

### **3.7.6 Diámetro de las gotas de lluvia (mm).**

Las gotas de lluvia pueden aumentar o disminuir su tamaño al caer, según atraviesen capas de aire cálido o húmedo, se evaporen o caigan de nubes muy bajas. En fin su equilibrio de tamaño también depende de la tensión superficial de la nube este mecanismo mantiene unida a la gota y la tensión superficial que da forma esférica.

Los diámetros de gotas de los eventos evaluados se midieron por el disdrometro, una propiedad de este instrumento que registra individualmente cada gota y clasifica los diámetros de las partículas de agua. En la presente investigación se clasificaron diámetros desde 0.125, 0.5, 0.75, 1, 1.2 mm hasta 8mm.

### **3.7.7 Velocidad terminal. (m/s)**

La velocidad terminal es una propiedad que depende del diámetro de las gotas y refleja el equilibrio entre las fuerzas de fricción ascensional y gravitatoria en la caída libre en condiciones atmosféricas estables.

La velocidad terminal de los eventos evaluados es registrada por el disdrómetro, cuando las partículas o gotas de lluvia traspasan el haz de luz infrarrojo que se genera en la cabeza emisora del instrumento, estas partículas al atravesarlo reducen la intensidad óptica medida en la cabeza receptora, así dependiendo de la magnitud de dicha reducción y del tiempo que dure se establece el diámetro de la partícula y la velocidad de caída con rangos de 0.2 a 20 m/s, (Thies clima, 2007)

### **3.8 Análisis de la información.**

Una vez definidas y evaluadas las variables durante el periodo de estudio, se realizó una homogenización de los datos en cuanto a los formatos de la información contenida y la conversión de formatos de los diferentes instrumentos y métodos de cálculo, a un formato único para realizar los cálculos de la Energía cinética ( $E_c$ ) y la erosividad ( $R$ ) para cada evento, con el propósito de caracterizar la duración, frecuencia e intensidad de cada uno de los eventos, utilizando las hojas cálculo de Microsoft Office Excel 2007.

Una vez agrupados en un solo formato los cálculos y variables de los instrumentos utilizados, se realizó la comparación de las dos metodologías empleadas para los cálculos de Energía cinética ( $E_c$ ) y su erosividad ( $R$ ), en el cual los datos obtenidos de ambas formas se expresaron en una sola unidad de medida en  $Mjmm/ha.h$ . Propuesta por Wischmeier y Smith (1978). (Cuadro 4)

#### IV. RESULTADOS Y DISCUCION

La investigación se realizó en la Universidad Nacional Agraria durante dos años consecutivos. En el año 2012 se presentó un total de 123 días lluviosos y 242 días seco, para una precipitación acumulada anual de 1125.5 mm (Figura 6. a), para el 2013 se presentaron 103 días lluviosos y 262 días secos con una precipitación acumulada de 1067.9 mm, menor que el año anterior (Figura 6. b).

El Disdrometro se instaló el 17 de julio hasta finales de noviembre registrando un total de 122 días en el 2012 y 129 días para el año 2013. Los días lluviosos fueron categorizados a partir de la precipitación acumulada, los meses más lluviosos en el 2012 fueron mayor con 327.3 mm, Octubre con 193.2 y Junio con 133.5 mm, en el 2013 los meses más lluviosos fueron Septiembre con 330 mm seguido por Junio con 285 mm y Julio con 156 mm, lo que demuestra un comportamiento muy variado de la precipitación cada año y mensual.

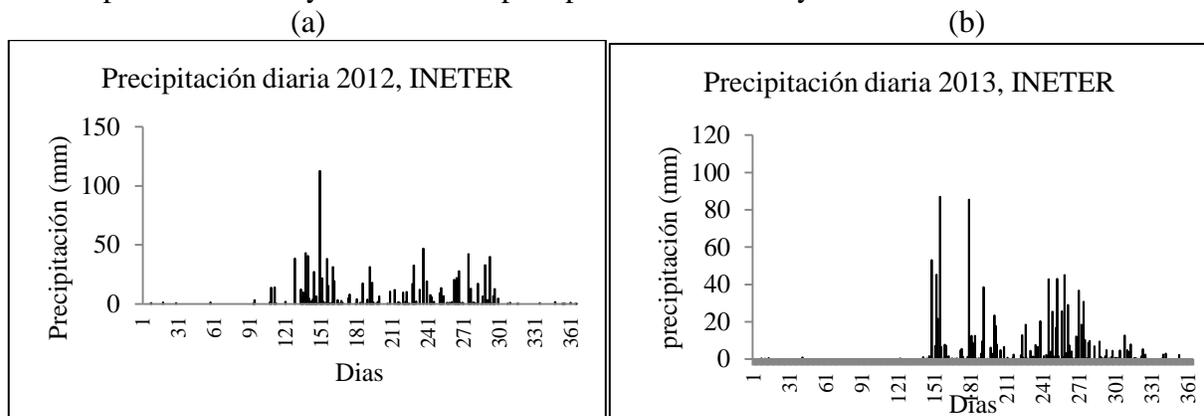


Figura 6. a, b. Precipitación diaria anual, 2012-2013. Con el registro del instituto Nicaragüense de estudios territoriales (INETER)

Los registros obtenidos en el año 2012, utilizando el disdrometro, fueron 40 eventos con una precipitación acumulada de 361 mm y en el año 2013 fueron 67 eventos con una precipitación de 462 mm, esto fue debido a que el láser no permaneció en funcionamiento todo el tiempo, debido a la interrupción del fluido eléctrico, ocasionando que el PC y el láser no funcionara lo que limitó un registro continuo de todos los eventos durante los años de estudios, por tal razón se tomó solo en cuenta los eventos debidamente registrados desde su inicio hasta el final del mismo.

Los pluviómetros instalados en el año 2012 alrededor del disdrometro registraron 12 eventos con precipitaciones acumuladas de: (I) 150 mm, (II) 151mm, (III) 152mm, (IV) 144 mm los registros durante las 24 horas, nos permitió verificar y reconocer el buen funcionamiento de los equipos.

Los registros obtenidos del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), la estación, monitorea los 365 días del año, las 24 horas del día, lo cual nos permitió comparar el buen funcionamiento del Disdrometro y los pluviómetros. Ver (cuadro 1).

Cuadro 1. Registro de eventos capturados por cada instrumento dentro del área de estudio de la Universidad Nacional Agraria, 2012-2013

Categoría (mm)	Nº evento		Disdrómetro			Pluviómetro (UNA)				Pluviógrafo (INETER)	
			DU (min)	Te (min)	Lp (mm)	1 mm	2 mm	3 mm	4 mm	Du (min)	Lp (mm)
0-10	86	Max	1502.00	607.00	9.98	10.70	10.50	11.70	10.50	486.00	36.40
		Min	11.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Promedio	406.39	128.37	3.25	0.54	0.54	0.57	0.52	73.47	4.45
		SD	356.60	117.41	2.76	2.10	2.08	2.23	2.03	93.31	6.09
10-20	9	Max	1463.00	334.00	19.55	14.00	14.00	14.50	13.50	337.00	41.40
		Min	106.00	87.00	11.33	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	1.10
		Promedio	626.00	207.11	16.17	3.39	3.41	3.44	3.22	141.78	12.44
		SD	524.08	83.09	2.99	6.07	6.07	6.18	5.75	104.09	12.28
20-30	5	Max	1122.00	482.00	26.00	0.00	0.00	0.00	0.00	392.00	28.50
		Min	37.00	37.00	22.86	0.00	0.00	0.00	0.00	50.00	18.00
		Promedio	558.60	296.20	24.07	0.00	0.00	0.00	0.00	250.80	23.70
		SD	454.20	192.50	1.33	0.00	0.00	0.00	0.00	142.27	4.85
30-40	1	Max	454.20	192.50	1.33	0.00	0.00	0.00	0.00	142.27	4.85
		Min	454.20	192.50	1.33	0.00	0.00	0.00	0.00	142.27	4.85
		Promedio	454.20	192.50	1.33	0.00	0.00	0.00	0.00	142.27	4.85
		SD	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
40-50	3	Max	514.00	502.00	47.78	12.00	13.00	12.50	11.50	350.00	44.50
		Min	51.00	51.00	40.40	0.00	0.00	0.00	0.00	60.00	6.50
		Promedio	329.67	214.67	45.06	4.00	4.33	4.17	3.83	243.33	27.60
		SD	245.49	249.64	4.05	6.93	7.51	7.22	6.64	159.48	19.35
50-60	1	Max	904.00	210.00	56.21	0.00	0.00	0.00	0.00	185.00	41.30
		Min	904.00	210.00	56.21	0.00	0.00	0.00	0.00	185.00	41.30
		Promedio	904.00	210.00	56.21	0.00	0.00	0.00	0.00	185.00	41.30
		SD	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
60-70	0	Max	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Min	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Promedio	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		SD	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
70-80	2	Max	167.00	118.00	75.00	57.00	57.00	56.00	55.00	115.00	44.30
		Min	118.00	117.00	73.55	0.00	0.00	0.00	0.00	110.00	41.70
		Promedio	142.50	117.50	74.28	28.50	28.50	28.00	27.50	112.50	43.00
		SD	34.65	0.71	1.02	40.31	40.31	39.60	38.89	3.54	1.84

Du: Duración total del evento; Te: Tiempo efectivo del evento; Lp: Lamina precipitada total

En base a la información general con los tres instrumentos se logró agrupar un total de 107 eventos, donde 86 eventos fueron clasificados entre precipitaciones de 0 – 10 mm con una desviación estándar de 2.76 hasta 6.09, lo que nos indica que la dispersión de los datos está muy cercano a la media con muy poca variación, no así con relación en la duración y el tiempo efectivo de los eventos, los cuales tiene una alta variación, una característica importante de los patrones de lluvia en esta condiciones del trópico. También podemos resaltar que a medida que aumenta la precipitación, la cantidad de eventos son menores al igual que la duración total y el tiempo efectivo dentro de estos rangos de evento, así como no se mostró registro en eventos con precipitaciones entre los 60-70 mm a como se muestra en el cuadro 1. Sin embargo los registros de precipitación de cada instrumento se encontraron similitud entre ellos, mostrando una pequeña variación con la estación Pluviográfica del Aeropuerto Augusto César Sandino, donde los vientos dirigen las nubes al noroeste del municipio de Managua.

Cuadro 2. Característica de la lluvia obtenida por diferentes instrumentos 2012-2013

Días	Fecha	Disdrómetro (láser)					Pluviómetros (UNA)				Pluviógrafos (INETER)			
		T <sub>in</sub>	T <sub>f</sub>	D <sub>u</sub>	T <sub>e</sub>	L <sub>p</sub>	1	2	3	4	T <sub>in</sub>	T <sub>e</sub>	D <sub>u</sub>	L <sub>p</sub>
		(min)		(mm)							(mm)			
1	10-08-12	01:09	02:11	1501	607	9	11	11	11.7	10.5	07:19	02:00	1159	10
2	15-08-12	02:57	03:20	1457	273	15	2.5	2.7	2.5	2.5	15:25	03:40	735	16
3	16-08-12	16:12	17:03	51	51	47	12	13	12.5	11.5	16:20	21:40	320	32
4	31-08-12	14:44	15:14	31	31	6	8	8	8	7.5	14:40	15:10	30	6
5	09-09-12	03:40	21:51	1091	334	13	14	14	14.5	13.5	18:29	21:40	141	6
6	10-09-12	14:41	16:27	106	87	11	14	14	14	13	14:39	16:00	81	7
7	01-10-12	13:45	16:32	193	117	75	57	57	56	55	14:55	16:50	115	42
8	15-08-13	17:13	17:54	37	37	23	0	0	0	0	17:00	17:50	50	18
9	19-08-13	16:59	17:22	23	23	6	0	0	0	0	16:50	17:30	40	5
10	21-08-13	13:50	17:43	247	37	1	0	0	0	0	14:00	18:00	240	1
11	22-08-13	12:28	20:48	500	159	1	0	0	0	0	18:10	20:30	140	1
12	23-08-13	08:16	16:44	508	59	0.18	0	0	0	0	20:20	21:10	50	7
13	30-08-13	12:27	18:43	376	57	2	0	0	0	0	16:00	16:20	20	1
14	02-09-13	16:49	03:17	628	288	0.40	0	0	0	0	19:30	24:00	330	2
15	03-09-13	18:15	21:12	904	210	56	0	0	0	0	18:05	21:10	185	41
16	04-09-13	03:22	19:41	979	98	4	0	0	0	0	18:10	19:30	80	2
17	05-09-13	18:53	20:38	105	25	4	0	0	0	0	18:55	19:20	25	4
18	08-09-13	13:58	14:49	51	46	1	0	0	0	0	14:00	14:40	40	1
19	09-09-13	10:45	13:59	194	133	19	0	0	0	0	10:45	14:20	115	16
20	10-09-13	11:46	14:23	157	142	20	0	0	0	0	11:50	03:00	190	41
21	11-09-13	01:18	22:48	1290	297	15	0	0	0	0	13:00	13:20	20	1
22	14-09-13	09:35	01:14	939	472	23	0	0	0	0	18:20	24:50	390	25
23	15-09-13	08:04	16:57	533	177	19	0	0	0	0	13:10	17:20	80	1
24	16-09-13	18:16	02:54	514	502	48	0	0	0	0	18:30	24:20	250	45
25	17-09-13	15:32	16:45	73	71	1	0	0	0	0	03:40	05:00	80	3
26	18-09-13	03:25	01:00	1285	359	6	0	0	0	0	21:50	01:00	190	3
27	19-09-13	04:21	23:03	1155	482	26	0	0	0	0	15:30	24:32	542	29

28	20-09-13	00:00	17:13	1033	434	3	0	0	0	0	14:21	02:20	721	7
29	21-09-13	01:25	13:56	751	130	5	0	0	0	0	05:55	06:50	55	2
30	22-09-13	05:45	09:58	253	101	5	0	0	0	0	09:30	09:50	20	4
31	25-09-13	11:42	12:58	76	21	2	0	0	0	0	12:09	12:20	11	1
32	26-09-13	15:43	19:42	241	239	17	0	0	0	0	16:18	20:30	252	12
33	27-09-13	14:41	16:41	120	18	0.09	0	0	0	0	18:25	21:50	205	36
34	30-09-13	16:49	20:05	196	144	8	0	0	0	0	16:49	19:50	181	16
35	01-10-13	14:17	20:49	392	120	1	0	0	0	0	19:40	20:30	50	1
36	02-10-13	16:41	23:59	438	173	24	0	0	0	0	18:30	24:40	370	28
37	03-10-13	04:16	16:57	761	137	10	0	0	0	0	13:50	15:20	90	10
38	07-10-13	16:21	20:58	277	112	6	0	0	0	0	16:30	17:30	60	10
39	11-10-13	15:35	18:53	198	167	8	0	0	0	0	16:09	18:50	161	7
40	15-10-13	17:43	23:29	346	154	7	0	0	0	0	22:05	23:40	95	7
41	16-10-13	09:59	22:51	772	195	1	0	0	0	0	20:40	21:10	30	1
42	17-10-13	03:18	19:55	997	148	1	0	0	0	0	10:00	10:30	30	1
43	01-11-13	22:04	22:46	42	42	1	0	0	0	0	22:00	01:50	230	5
44	02-11-13	00:36	02:46	130	69	4	0	0	0	0	04:48	05:20	32	13
45	07-11-13	18:37	20:39	122	96	7	0	0	0	0	18:40	20:50	130	5
46	08-11-13	15:46	19:06	280	142	4	0	0	0	0	17:30	19:10	140	4
47	09-11-13	11:50	18:57	427	106	4	0	0	0	0	15:20	16:10	70	4
48	10-11-13	12:20	19:38	438	223	8	0	0	0	0	12:28	18:30	362	8
49	13-11-13	16:44	17:20	36	13	0.13	0	0	0	0	17:06	17:20	14	1
50	20-11-13	16:59	19:51	188	89	2	0	0	0	0	06:40	18:00	760	5
51	22-11-13	15:04	17:15	131	30	4	0	0	0	0	14:55	15:20	25	3

Tin: Tiempo inicial del evento; Tf: Tiempo final del evento; Du: Duración total del evento; Te: Tiempo efectivo del evento; Lp: Lamina precipitada; min: minutos; mm: milímetros.

En el cuadro 2, muestra los 51 días lluviosos obtenido para ser comparado entre los diferentes instrumentos: láser, pluviómetro y estación de INETER, para estos se determinaron algunas variables o patrones de la lluvia cómo: duración del evento ( $D_u$ ) se determina entre el inició de la lluvia y el final de la misma la cual podría ser de corta duración o bien de larga duración como en el caso del día 19 de agosto del 2013 con una duración de 23 minutos y el 10 de agosto del 2012 con un tiempo máximo de 1501 minuto ( 25. 4 horas).

La estación pluviográfica de INETER (2012-2013) mostró mayor registro de eventos que el Disdrometro láser, esto es debido a las condiciones geográficas, incidencia del lago Xolotlán, la evaporación, condensación y los vientos del noroeste que provocando precipitaciones más acentuada en la parte suroeste del municipio de Managua en la zona del área de cruz verde y el municipio del crucero (las nubes).

Los pluviómetros tiene la limitante en la determinación del tiempo efectivo de lluvia debido a los rangos de tiempo (6, 12 ó 24 horas) y los pluviógrafos determinan la lámina precipitada por unidad de tiempo. Sin embargo, el grado de precisión se pierde al momento de realizar la lectura de los pluviogramas, cuya razón la determinación del tiempo efectivo la tomamos de los registros que proporciona el láser dentro del estudio.

En cuanto al grado de precisión se puede denotar que el láser registro lluvias acumuladas ( $I_p$ ) de 75 mm como máximo y mínimas de 0.09 mm. Sin embargo, los menores registros fueron con la estación de INETER, la cual registro lluvias acumulad de 45 mm la máxima y la mínima 1 mm, dejando en evidencia el grado de exactitud que muestra el láser ante las pulsaciones que registran el paso de la gota esférica sobre el haz de luz.

Los 16 días lluviosos que se muestran en el cuadro 3, dan lugar a los 18 eventos que se muestran en el cuadro 4. Es importante resaltar que este proceso nos permitió identificar eventos con láminas precipitadas por encima de 8 mm, dicha información obtenida en INETER (2012-2013), es en general mayores y en algunos casos similares a los que registra el láser, bajo este análisis se procedió a definir los eventos para determinar, los índices de intensidad de lluvia ( $I_{20}$  ,  $I_{30}$ ) y los valores de Energía Cinética ( $E_c$ ) y determinar los valores de erosividad ( $R$ ) en relación a los índices de intensidad de la lluvia estos se muestran en el cuadro 4.

Cuadro 3. Patrones de lluvia de 16 días lluviosos, 2012-2013

Días	Fecha	Disdrometro (Láser)					Pluviómetros (UNA)				Pluviógrafos (INETER)			
		T <sub>in</sub>	T <sub>f</sub>	D <sub>u</sub>	T <sub>e</sub>	L <sub>p</sub>	1	2	3	4	T <sub>in</sub>	T <sub>f</sub>	D <sub>u</sub>	L <sub>p</sub>
		(min)		(mm)			(mm)				(min)		(mm)	
1	10-08-12	01:09	02:11	1501	607	9	10.7	10.5	11.7	10.5	07:19	02:00	1159	10
2	15-08-12	02:57	03:20	1457	273	15	2.5	2.7	2.5	2.5	15:25	03:40	735	16
3	16-08-12	16:12	17:03	51	51	47	12	13	12.5	11.5	16:20	21:40	320	32
4	01-10-12	13:45	16:32	193	117	75	57	57	56	55	14:55	16:50	115	42
5	15-08-13	17:13	17:54	37	37	23	0	0	0	0	17:00	17:50	50	18
6	03-09-13	18:15	21:12	904	210	56	0	0	0	0	18:05	21:10	185	41
7	09-09-13	10:45	13:59	194	133	19	0	0	0	0	10:45	14:20	115	16
8	10-09-13	11:46	14:23	157	142	20	0	0	0	0	11:50	03:00	190	41
9	14-09-13	09:35	01:14	939	472	23	0	0	0	0	18:20	24:50	390	25
10	16-09-13	18:16	02:54	514	502	48	0	0	0	0	18:30	24:20	250	45
11	19-09-13	04:21	23:03	1155	482	26	0	0	0	0	15:30	24:32	542	29
12	26-09-13	15:43	19:42	241	239	17	0	0	0	0	16:18	20:30	252	12
13	30-09-13	16:49	20:05	196	144	8	0	0	0	0	16:49	19:50	181	16
14	02-10-13	16:41	23:59	438	173	24	0	0	0	0	18:30	24:40	370	28
15	03-10-13	04:16	16:57	761	137	10	0	0	0	0	13:50	15:20	90	10
16	10-11-13	12:20	19:38	438	223	8	0	0	0	0	12:28	18:30	362	8

T<sub>in</sub>: Tiempo inicial del evento; T<sub>f</sub>: Tiempo final del evento; D<sub>u</sub>: Duración total del evento; T<sub>e</sub>: Tiempo efectivo del evento; L<sub>p</sub>: Lamina precipitada; min: minutos; mm: milímetros.

Cuadro 4. Energía cinética y Erosividad de la lluvia registrados en el municipio de Managua. 2012-2013.

Eventos	Fecha	Disdrometro láser										INETER					
		Du	T <sub>ef</sub>	Lp	I		Ec	R (Wischmeier,1978)		R (Roldán, 2005)		Lp	I		Ec	R (Wischmeier 1978)	
					I <sub>20</sub>	I <sub>30</sub>		R <sub>20</sub>	R <sub>30</sub>	R <sub>20</sub>	R <sub>30</sub>		I <sub>20</sub>	I <sub>30</sub>		R <sub>20</sub>	R <sub>30</sub>
		min	min	mm	mm/h		MJ	MJmm/ha.h.		MJmm/ha.h.		mm	mm/h		MJ	MJmm/ha.h.	
1*	10/08/2012	227	204	4	5.31	4.40	0.75	3.99	3.30	186224.85	352883.50	4.2	3.0	2.6	0.66	1.98	1.72
2*	10/08/2012	335	330	5	4.20	3.54	0.75	3.14	2.65	30738.52	475265.33	7.5	4.2	3.4	1.91	5.28	4.27
3*	15/08/2012	183	163	3.2	3.28	2.91	1.32	4.33	3.84	746107.82	1086201.83	11.4	3.3	2.5	1.91	6.31	3.97
4*	15/08/2012	397	291	11.40	3.49	2.88	1.97	6.87	5.68	4475089.73	4674138.73	-	-	-	-	-	-
5	16/08/2012	51	51	47.31	53.59	48.81	14.01	750.80	683.91	1726413743.08	1564026018.80	8.4	5.1	5.0	1.4	7.12	6.98
6	01/10/2012	167	117	75	130.11	123.41	22.81	2968.05	2815.21	12524901472.03	17723039120.09	34.1	55.50	60.8	9.37	520.10	569.77
7	15/08/2013	41	41	23	22.39	22.17	6.51	145.72	144.30	510669355.16	546570143.03	15.1	41.7	29.4	4.01	167.22	117.89
8	03/09/2013	177	177	56	53.56	55.79	15.63	837.28	872.27	23583883.23	40852439.17	32.4	64.2	52.8	8.87	569.45	468.34
9	09/09/2013	194	133	19	29.28	18.43	5.01	146.80	92.39	214569737.13	215861975.59	8.8	25.5	17.6	2.23	56.87	39.25
10	10/09/2013	157	142	20	17.48	14.63	4.66	81.52	68.27	13184206.00	14675749.41	26.5	66.9	47.0	7.19	481.01	337.93
11*	14/09/2013	440	418	22.20	17.52	12.11	5.23	91.62	63.31	5125305.34	7302885.24	-	-	-	-	-	-
12	16/09/2013	510	502	48	16.69	16.04	10.48	174.87	168.01	133977496.08	198108097.98	43.5	34.2	31.6	9.65	330.03	304.94
13*	19/09/2013	460	453	25.30	102.12	117.82	5.05	515.84	595.11	29591094.66	53435592.02	-	-	-	-	-	-
14	26/09/2013	245	239	16.81	14.69	10.40	8.51	125.08	88.59	42086323.97	53951816.33	11.8	12.6	10.8	2.2	27.72	23.76
15	30/09/2013	165	144	8.44	9.20	9.16	2.55	23.49	23.39	71032230.10	71111782.38	15.2	38.1	28.6	3.85	146.69	110.11
16	02/10/2013	190	170	23.69	18.01	17.35	5.80	104.43	100.63	291447715.78	299333170.12	26.3	50.7	38.2	6.94	351.86	265.11
17*	03/10/2013	130	110	9.84	9.39	6.34	2.14	20.12	13.58	22047851.44	26008117.95	-	-	-	-	-	-

Se presentaron más de un evento de lluvia en un mismo día; Du: Duración total del evento; T<sub>ef</sub>: Tiempo efectivo del evento; Lp: Lamina precipitada total; I: intensidad de la lluvia; Ec: Energía cinética; R<sub>20</sub>: Erosividad de la lluvia en 20 minutos; R<sub>30</sub>: Erosividad de la lluvia en 30 minutos. \* demuestran más de un evento en un día lluvioso

En el cuadro 4 de los eventos seleccionado se muestran dos eventos encima de los 50 mm precipitados con intensidades de  $I_{20}$  de 130.11 mm/h e  $I_{30}$  de 123.41 mm/h con valores de erosividad superiores a los 2815.21 MJmm/ha.h. Utilizando la información obtenida del disdrometro y utilizando la metodología propuesta por Wischmeier y Smith (1978). No obstante estos valores son elevados al utilizar la metodología de Roldán (2005). Esto debido al grado de sensibilidad del disdrometro, el cual toma en cuenta la velocidad terminal de caída de la gota de lluvia, a diferencia de la metodología de Wischmeier el cual toma la lámina precipitada, por unidad de tiempo y la lámina parcial para cada segmento del evento, al momento de comparar con el registro de INETER, estos son valores menores a los mostrados por el disdrometro.

El disdrometro como es conocido debido a su sensibilidad logra capturar con mayor precisión la cantidad de gotas caídas en cada evento (cuadro 5), diámetro y velocidad de cada una de ellas, la cual en su acumulación incrementa sustancialmente los valores de erosividad (R). Más alto en cada uno de los eventos analizados, también se logra determinar que a mayor intensidad del evento los valores de erosividad se incrementan.

El cuadro 5 muestra la cantidad de gotas de lluvias por eventos y días analizados, mostrando que la mayor cantidad de gotas caídas en cada evento está entre 0.125 mm y 3,00 mm. Es importante resaltar que el tamaño de las gotas dependen también de la velocidad del viento debido a que este influye en la caída de las gotas, ellas chocan entre sí, y puede conducir a una menor cantidad de gotas gruesas, como se muestran en el cuadro 5, los eventos con mayor lamina precipitada muestran mayor cantidad de gotas contables, así como es importante resaltar que las micro gotas de lluvias de mayor frecuencia son las de diámetro 0.25 mm

Cuadro 5. Distribución y cantidad del diámetro de gotas de lluvias por evento ocurridos en el 2012 -2013

Evento	Fecha	Gotas totales	Diámetro de las gotas de lluvias(mm), por eventos y días 2012-2013																					
			0,125	0,25	0,375	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8
1*	10-08-12	44088	4408	8584	5266	11200	7209	3943	1671	858	430	380	116	20	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2*	10-08-12	60452	6279	12440	7778	14382	8326	5467	2899	1439	752	520	118	33	17	1	0	1	0	0	0	0	0	0
3*	15-08-12	33537	6244	9232	4108	6074	3234	2325	1341	89	339	329	127	53	30	8	2	2	0	0	0	0	0	0
4*	15-08-12	115274	18187	31263	15139	19591	10306	8027	5084	3412	2044	1646	449	95	22	8	0	1	0	0	0	0	0	0
5	16-08-12	326362	88568	119606	45141	33881	9706	6331	4643	3724	3118	4944	2966	1657	882	553	313	177	82	18	13	20	7	12
6	1-10-12	687428	169893	253824	110684	80067	19286	12840	9109	7101	5635	7859	4824	2818	1658	898	470	248	104	31	33	18	11	17
7	15-08-13	168741	39736	54085	23139	21982	7601	5626	4168	3186	2497	3213	1691	965	456	215	100	45	17	5	5	5	1	3
8	3-09-13	425117	107173	150495	57250	47850	15920	11626	8148	6617	5105	6881	3720	2090	1100	555	292	153	76	16	14	11	7	18
9	9-09-13	156091	39947	54528	20335	18040	6409	4363	2958	2379	1807	2539	1361	679	385	193	86	36	23	3	3	5	3	9
10	10-09-13	107581	24292	34652	13212	13243	6461	5249	3555	2461	1667	1653	672	261	118	59	15	7	3	0	0	0	0	1
11*	14-09-13	3316	245	424	497	1034	441	276	128	96	70	89	12	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	16-09-13	362708	75336	119619	38225	39149	23862	21710	15595	10991	7267	7269	2438	791	261	109	43	18	10	1	4	5	4	1
13*	19-09-13	4903	1125	1847	533	500	244	182	131	94	68	71	36	28	10	14	11	6	1	0	2	0	0	0
14	26-09-13	148553	32688	47602	17033	16558	8515	7987	6115	4658	3199	3004	905	209	58	11	1	1	1	0	0	0	0	8
15	30-09-13	84642	22459	30380	11689	10243	3020	1900	1296	926	707	917	541	277	147	82	36	13	3	0	0	2	1	3
16	2-10-13	237052	51738	80422	33357	27193	12622	10237	7066	4814	3246	3616	1522	698	293	137	54	20	8	4	1	1	1	2
17*	3-10-13	2368	74	144	200	856	707	344	42	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18*	10-11-13	9750	1363	2371	888	1767	1372	929	498	314	141	90	12	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

\*Demuestran más de un evento ocurrido en ese mismo día lluvioso

Relación de la intensidad de la lluvia versus diferentes diámetros de gotas de lluvia del evento ocurrido el 01/10/12. Registrado por el disdrometro.

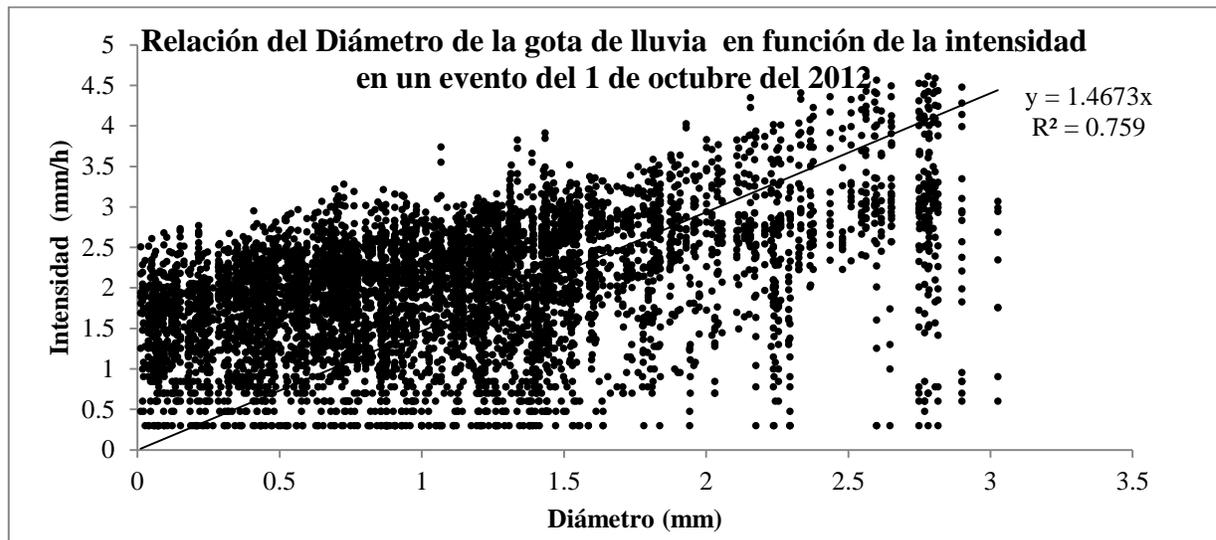


Figura 7. Relación del diámetro de la gota de lluvia en función de la intensidad.

La relación de la intensidad de la lluvia (log mm/h) con el diámetro de las gotas de lluvia tiene un  $R^2 = 0,759$ , observando la mayor cantidad de gotas entre los rangos de 0,125 mm a 3 mm de diámetros dentro del rango de intensidades del 0,5 mm/h a 4.5 mm/h, esta relación manifiesta que en un evento lluvioso se pueden contabilizar muchas gotas. Sin embargo, gotas mayores de 5 mm muestran una menor disminución hasta con diámetros de 8 mm según se observa en el cuadro 5 donde este evento muestra 687,428 gotas totales.

Este evento demuestra que la existencia de la relación diámetro de la gota versus intensidad donde al incrementarse la intensidad se ve una menor cantidad de gotas grandes dentro del evento.

Consideramos que este fenómeno se ve afectado, por la velocidad del viento, inclinación de la gotas de lluvia y la distribución de la misma durante el evento, es importante resaltar que no se dio seguimiento a la velocidad y ángulo de caída de las gotas de lluvia, más sin embargo, consideramos que para próximos estudios es importante valorar estas variables.

## V. CONCLUSIONES

El periodo lluvioso en el municipio de Managua en el año (2012 y 2013), represento un 30.96 % en los dos años y el tiempo seco de 69.04 %.

La mayor cantidad de gotas contables a través del disdrometro, se encuentran entre los rangos de diámetros de 0,125 mm y los 3 mm distribuidos entre las intensidades de 2.91 mm/h y 123.41 mm/h según la lámina precipitada en los eventos analizados.

Existe correlación entre la intensidad de la lluvia y el diámetro de las gotas en los rangos de 0,125 mm y 5 mm con un  $r^2 = 0,759$ . Esta relación se ve afectada a medida que aumenta la intensidad el número de gotas mayor a 5 mm son muy pocas distribuidas.

Los eventos estudiados en condiciones tropicales muestran que la agresividad de la lluvia está más asociada al volumen del agua caída, al diámetro de la gota de lluvia pequeñas y no a la abundancia de gotas grandes.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Establecer estudios de los patrones de lluvias relacionado al comportamiento del movimiento de suelos bajo diferentes tipos de cobertura y gradientes de pendiente.

Implementar estudios que tomen factores del clima como velocidad del viento, inclinación de las gotas, temperatura que influye con el diámetro de las gotas de lluvia

Establecer el disdrometro en otros sitios o región que facilite determinar el índice de erosividad para diferentes localidades del país, evaluando otras variables que no se determinaron en la investigación.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Bisal, F. 1960. The effect of raindrop size and impact velocity on sand splash. Canadian journal of soil science. 40. 242-245.
- Ellison, W.D. 1994. Two devices for measuring soil erosion, Agric, Engng.25, 53-5
- Enriqueta, G. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de koppen, serie libro número 6. Instituto de geografía. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Free. G. R. 1960. Erosion characteristics of rainfall. Agric. Engng. 41, 447-9, 455.
- Hudson, N. 1982. Conservación del suelo. España, Editorial Reverte. 335 p
- Joss J. and waldvogel. A. 1967. Ein spektrograph fuer Nierderschlaqstropten mit automatischer Auswertung. Pure appl, Geophys. 68,240-246
- Thies clima. 2007. Instruction for use. Laser precipitation monitor. Gottingen, Germany. 26, consultado en mayo 2015.Disponible en: [http:// www.thiesclima.com](http://www.thiesclima.com).
- N, F.2010. Características de los patrones de la lluvia y su relación con índices para predecir erosión hídrica. Tesis de grado. Universidad Nacional Agraria. Managua. Nicaragua.
- Manual de uso de termino meteorológico. 2015 (línea).consultado.noviembre2015.Disponible. [http://www.aemet.es/documentos/es/eltiempo/prediccion/comun/Manual\\_de\\_uso\\_de\\_terminos\\_met\\_2015.pdf](http://www.aemet.es/documentos/es/eltiempo/prediccion/comun/Manual_de_uso_de_terminos_met_2015.pdf)
- Murillo, G.1990.Erodabilidad de cuatro series de suelos determinadas por el mini-simulador de lluvia y el nomograma de Wischmeier. Tesis de grado. Instituto superior de ciencias agropecuarias. Managua, Nicaragua.
- Musgrave. G.W. 1947. The quantitative evaluation of factors in wáter erosion, a first approximation soil and wat. Conserve. 2. 133-8.
- Méndez, N. 2008. Evaluación de la erosión hídrica en tres sistemas de cultivos vegetales en el municipio de Boaco. Tesis de grado. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua.
- Serway, Raymond A; Jewett, John W. 2004. Physics for scientists and Engineers (6<sup>th</sup> ed. Edition). Brooks/cole.
- Roose, E.J. 1976. Use of the Universal Soil Loss Equation to predict erosion in West Africa. En: Greenland, D. y R. Lal (ed). Soil Conservation and Management in the Humid Tropics. Chichester. Wiley. P. 177-187.
- Roldán, M., 2005 Características de la precipitación y erosividad. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.

- Roldán, M., 2006. El poder de la lluvia. Características de la precipitación y erosividad. Nueva formulación para la estimación de la erosividad. Aplicación al cálculo del factor "R" Ministerio de Medio Ambiente. Dirección General para la Biodiversidad
- Sampere Torres, D., 1994. "La lluvia como agente erosivo: formación, distribución, erosividad e interpretación" Ingeniería Hidráulica en México. Vol. N 2 5-18
- Wischmeier, W.H. and Smith, D. 1958. Rainfall energy and its relationship to soil loss, Trans. Am. Geophys. UN. 39. 285-91.
- Wischmeier, W.H. 1959. A rainfall erosion index for a universal soil loss equation. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 32:246-249.
- Wishmeier, W.H. y D.D. Smith. 1965. Prediction Rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains, USDA. Agri. Handbook. 282, 47p.
- Wischmeier, W.H.; D.D. Smith 1978. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. U.S. Department of Agriculture. Agriculture Handbook N°. 537. 58 p.
- Wischmeier, W. y Smith, D. 1978. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. United States. Department of Agriculture, Agriculture Handbook N° 537. USA. 58p.
- Zingg, A.W. 1940. Degree and length of land slope as it affects soil loss runoff, Agric. Engng. 21.59-64.

## VIII. ANEXOS

Anexo 1.

Tabla 1, Resumen meteorológicos diarios registrados por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER). Año : 2012

Parámetro: Precipitación (mm)												
Días Precipitados: 122												
Precipitación: 1,126												
Día/Meses	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.80	0.00	0.00	0.00	42.30	0.00	0.00
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.20	0.10	1.80	9.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	1.10	0.00	1.70	0.00	12.90	0.20	0.00
4	0.00	0.00	0.00	3.30	0.00	38.30	17.50	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.40	0.00	0.00	0.00	1.50	1.20	0.00
6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	9.70	9.30	0.00	0.00	0.00
8	0.90	0.00	0.00	0.00	38.50	1.20	3.90	0.20	13.40	0.70	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	31.30	0.00	1.80	6.00	17.40	0.00	0.00
10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	19.30	31.40	10.40	6.80	0.00	0.00	0.00
11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.10	0.20	0.00	0.00	0.10	0.00
12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18.00	0.30	0.00	0.30	0.20	0.00
13	0.00	0.00	0.00	0.00	12.40	3.20	1.50	0.00	1.20	6.60	0.00	1.70
14	0.00	0.00	0.00	0.00	6.00	0.10	0.00	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00
15	0.00	0.00	0.00	0.00	9.80	0.10	0.00	17.00	1.00	33.0	0.00	0.00
16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.70	0.90	32.60	0.00	0.00	0.00	0.00
17	0.00	0.00	0.00	1.70	43.10	1.00	2.00	0.20	1.60	3.60	0.00	0.00
18	1.30	0.00	0.00	13.8	7.80	0.00	6.50	2.20	0.00	0.00	0.00	0.00
19	0.00	0.00	0.00	0.00	40.60	0.00	0.00	0.00	20.40	40.00	0.00	0.20
20	0.00	0.00	0.00	0.00	4.60	0.00	0.00	0.00	4.00	0.90	0.00	0.10
21	0.00	0.00	0.00	14.1	2.30	0.00	0.00	12.20	22.20	0.00	0.00	0.30
22	0.00	0.00	0.00	0.50	1.20	5.00	0.00	0.00	7.70	6.80	0.00	0.00
23	0.00	0.00	0.00	0.00	3.90	8.10	0.00	0.00	27.70	12.60	0.00	0.00
24	0.00	0.00	0.00	0.00	27.20	0.00	0.00	47.00	1.10	0.00	0.00	0.00
25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.90	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
26	0.00	0.00	0.00	0.00	6.60	0.00	0.00	0.00	1.00	4.60	0.00	1.00
27	0.00	1.40	0.00	0.00	0.70	0.00	10.5	19.20	0.2	0.00	0.00	0.00
28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29	0.80	0.00	0.00	0.00	112.5	4.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	0.00	0.00	0.00	1.80	9.20	0.00	0.00	7.60	0.00	0.00	0.80	0.10
31	0.00	0.00	0.00	0.00	21.90	0.00	11.80	5.80	0.00	0.00	0.00	0.10

Anexo 2.

Tabla 2, Resumen meteorológicos diarios registrados por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER). Año : 2013

Parámetro :		Precipitación (mm)						Municipio :	Managua				
Días Precipitados		129						Elevación:	56 msnm				
Precipitación		1068											
Día/Meses	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.10	12.50	0.00	2.20	1.4	0.00	0.00	
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	45.20	8.8	0.00	0.4	30.80	0.00	0.00	
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	21.70	0	0.00	42.8	10.20	0.00	0.00	
4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.10	12.5	0.60	2.00	0.10	0.00	0.00	
5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	87.00	0.2	2.4	4.10	0.50	12.70	0.00	
6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.50	0.00	0.00	25.50	8.70	0.00	0.40	
7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.3	0.00	1.60	9.80	4.80	2.40	
8	0.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.2	0.00	0.80	0.00	3.90	0.00	
9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.70	3	0.00	16.70	0.00	4.00	2.90	
10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.20	9.60	0.00	43.00	0.00	7.90	0.00	
11	0.20	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	38.50	2.1	1.5	6.8	0.00	0.00	
12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.5	0.00	12.9	0.00	0.00	0.00	0.00	
13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.7	0.00	0.00	0.60	0.00	
14	0.6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0	25.60	0.00	0.50	0.00	
15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.00	18.40	1.30	9.50	0.20	0.00	
16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	450	1.20	0.00	0.00	
17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	6.20	0.00	3.20	0.70	0.20	0.00	
18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.90	0.00	3.10	0.00	0.00	0.00	
19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	0.00	4.5	29.00	0.30	1.60	0.00	
20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	23.40	0.4	7.40	1.50	5.40	2.20	
21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.70	1.40	2.50	4.80	0.00	0.00	
22	0.00	0.00	0.00	0.00	1.10	4.80	7.90	1.00	4.10	0.00	2.50	0.00	
23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.50	0.00	7.50	0.40	0.30	0.20	0.00	
24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	1.20	0.2	5.10	0.00	0.00	0.00	0.00	
25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	4.80	6.60	0.50	1.00	0.00	0.00	
26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	12.2	4.50	0.00	0.00	
27	0.00	0.00	0.00	0.00	1.60	0.00	0.00	20.40	0.2	0.00	0.00	0.00	
28	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.3	6.60	0.00	36.70	0.70	0.00	0.00	
29	0.00	0.00	0.00	0.00	53.00	85.40	0.00	0.00	0.00	0.40	0.00	0.00	
30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

Anexo 3.

Tabla 3. 107 Días registrados por Disdrometro laser, pluviómetros y pluviografo. (INETER) durante el periodo de julio a noviembre 2012-2013.

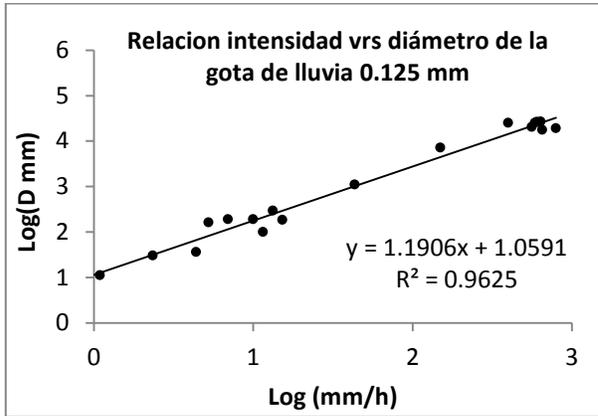
Días	Fecha	Disdrometro(laser)					Pluviómetro (UNA)				Pluviógrafo (INETER)			
		Tin	Tf	Du (min)	Te (min)	Lp (mm)	mm				Tin	Tf	Du	Lp (mm)
							1	2	3	4				
1	18-jul-12	08:00	15:04	424	91	40	0.00	0.00	0.00	0.00	13:00	14:00	60	7
2	19-jul-12	09:49	15:46	357	27	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0.00
3	20-jul-12	10:54	16:07	306	47	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0.00
4	21-jul-12	14:07	17:19	182	26	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0.00
5	22-jul-12	14:22	17:17	158	55	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0.00
6	23-jul-12	10:52	14:34	222	11	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0.00
7	25-jul-12	05:50	17:04	674	38	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0.00
8	26-jul-12	04:10	14:28	618	5	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0.00
9	27-jul-12	12:11	16:10	239	76	4	0.00	0.00	0.00	0.00	14:10	15:40	55	10
10	05-ago-12	17:11	20:32	201	4	1	0.8	0.8	0.8	0.6	0	0	0	0.00
11	08-ago-12	00:24	20:47	1223	210	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0.00
12	09-ago-12	14:34	22:35	481	234	1	0.00	0.00	0.00	0.00	18:19	19:00	41	1
13	10-ago-12	01:09	02:11	1502	607	9	10.7	10.5	11.7	10.5	07:19	02:00	486	10
14	11-ago-12	17:29	20:16	167	71	1	7.5	7.5	8	7.2	0	0	0	0.00
15	12-ago-12	14:36	19:05	269	113	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0.00
16	13-ago-12	02:55	22:50	1195	3	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0	0	0.00
17	14-ago-12	16:55	17:37	42	30	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0.00
18	15-ago-12	02:57	03:20	1463	273	14	2.5	2.7	2.5	2.5	15:25	03:40	337	16
19	16-ago-12	16:12	17:03	51	51	47	12	13	12.5	11.5	16:20	21:40	320	32
20	18-ago-12	14:36	18:48	252	162	3	0.00	0.00	0.00	0.00	15:38	18:40	80	2
21	20-ago-12	17:31	17:38	8	8	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0.00
22	21-ago-12	14:07	23:28	561	182	18	0.00	0.00	0.00	0.00	14:13	14:58	45	11
23	22-ago-12	00:09	20:51	1242	38	0	14.8	14.5	14.5	14.5	0	0	0	0.00
24	24-ago-12	20:35	22:33	118	118	74	0.00	0.00	0.00	0.00	20:30	22:20	110	44
25	26-ago-12	14:29	14:34	6	6	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0.00
26	27-ago-12	18:32	23:49	317	317	25	0.00	0.00	0.00	0.00	18:28	23:30	302	19
27	29-ago-12	11:32	13:28	116	3	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0.00
28	30-ago-12	12:59	18:35	336	336	8	0.00	0.00	0.00	0.00	13:08	18:50	342	7
29	31-ago-12	14:44	15:14	31	31	6	8	8	8	7.5	14:40	15:10	30	6
30	01-sep-12	07:25	11:06	221	6	0	5.5	5.5	5.5	5	0	0	0	0.00
31	02-sep-12	08:57	17:17	500	12	3	0.00	0.00	0.00	0.00	16:50	17:10	20	2
32	03-sep-12	12:24	18:14	350	10	0	2.5	2.5	2.5	2.5	0	0	0	0.00
33	04-sep-12	10:06	20:36	630	8	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0.00
34	05-sep-12	13:15	13:26	11	11	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0	0	0.00
35	07-sep-12	18:42	19:57	75	74	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0.00
36	08-sep-12	14:36	00:35	599	283	2	0.00	0.00	0.00	0.00	17:40	06:30	220	13

37	09-sep-12	03:40	21:51	1091	334	13	14	14	14.5	13.5	18:29	21:40	141	6
38	10-sep-12	14:41	16:27	106	87	11	14	14	14	13	14:39	16:00	81	7
39	17-sep-12	14:49	15:03	14	14	0	0.00	0.00	0.00	0.00	15:00	16:20	80	2
40	01-oct-12	13:45	16:32	167	117	75	57	57	56	55	14:55	16:50	115	42
41	15-ago-13	17:13	17:54	37	37	23	0.00	0.00	0.00	0.00	17:00	17:50	50	18
42	16-ago-13	11:05	23:50	765	152	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0.00
43	17-ago-13	12:21	12:39	18	20	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0.00
44	18-ago-13	01:11	22:03	1252	35	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0.00
45	19-ago-13	16:59	17:22	23	23	6	0.00	0.00	0.00	0.00	16:50	17:30	40	5
46	20-ago-13	14:00	18:43	283	30	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0.00
47	21-ago-13	13:50	17:43	233	37	1	0.00	0.00	0.00	0.00	14:00	18:00	35	1
48	22-ago-13	12:28	20:48	500	175	1	0.00	0.00	0.00	0.00	18:10	20:30	140	1
49	23-ago-13	08:16	16:44	508	59	0	0.00	0.00	0.00	0.00	20:20	21:10	50	7
50	29-ago-13	16:49	17:59	70	55	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0.00
51	30-ago-13	12:27	18:43	376	57	2	0.00	0.00	0.00	0.00	16:00	16:20	20	1
52	01-sep-13	19:04	01:32	388	278	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0.00
53	02-sep-13	16:49	03:17	628	288	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	19:30	24:00	210	2
54	03-sep-13	18:15	21:12	904	210	56	0.00	0.00	0.00	0.00	18:05	21:10	185	41
55	04-sep-13	03:22	19:41	979	98	4	0.00	0.00	0.00	0.00	18:10	19:30	80	2
56	05-sep-13	18:53	20:38	105	25	4	0.00	0.00	0.00	0.00	18:55	19:20	25	4
57	08-sep-13	13:58	14:49	51	46	1	0.00	0.00	0.00	0.00	14:00	14:40	40	1
58	09-sep-13	10:45	13:59	194	133	19	0.00	0.00	0.00	0.00	10:45	14:20	115	16
59	10-sep-13	11:46	14:23	157	142	20	0.00	0.00	0.00	0.00	11:50	03:00	205	41
60	11-sep-13	01:18	22:48	1290	297	15	0.00	0.00	0.00	0.00	13:00	13:20	20	1
61	12-sep-13	00:06	13:26	800	121	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0.00
62	13-sep-13	14:01	17:10	189	13	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0.00
63	14-sep-13	09:35	01:14	939	472	23	0.00	0.00	0.00	0.00	18:20	24:50	350	25
64	15-sep-13	08:04	16:57	533	177	19	0.00	0.00	0.00	0.00	13:10	17:20	80	1
65	16-sep-13	18:16	02:54	514	502	48	0.00	0.00	0.00	0.00	18:30	24:20	350	45
66	17-sep-13	15:32	16:45	73	71	1	0.00	0.00	0.00	0.00	03:40	05:00	80	3
67	18-sep-13	03:25	01:00	1295	359	6	0.00	0.00	0.00	0.00	21:50	01:00	177	3
68	19-sep-13	04:21	23:03	1122	482	26	0.00	0.00	0.00	0.00	15:30	24:32	392	29
69	20-sep-13	00:00	17:13	1033	434	3	0.00	0.00	0.00	0.00	14:21	02:20	149	7
79	21-sep-13	01:25	13:56	751	130	5	0.00	0.00	0.00	0.00	05:55	06:50	55	2
71	22-sep-13	05:45	09:58	253	101	5	0.00	0.00	0.00	0.00	09:30	09:50	20	4
72	23-sep-13	13:24	16:52	207	143	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0.00
73	25-sep-13	11:42	12:58	76	21	2	0.00	0.00	0.00	0.00	12:09	12:20	11	1
74	26-sep-13	15:43	19:42	239	239	17	0.00	0.00	0.00	0.00	16:18	20:30	252	12
75	27-sep-13	14:41	16:41	120	18	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	18:25	21:50	205	36
76	28-sep-13	18:10	23:50	340	285	35	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0.00
77	30-sep-13	16:49	20:05	196	144	8	0.00	0.00	0.00	0.00	16:49	19:50	121	16

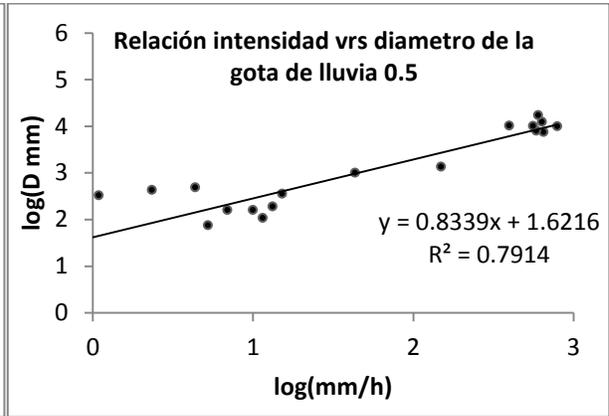
78	01-oct-13	14:17	20:49	392	120	1	0.00	0.00	0.00	0.00	19:40	20:30	50	1
79	02-oct-13	16:41	23:59	378	173	24	0.00	0.00	0.00	0.00	18:30	24:40	160	28
80	03-oct-13	04:16	16:57	761	137	10	0.00	0.00	0.00	0.00	13:50	15:20	90	10
81	04-oct-13	17:11	18:59	108	108	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0.00
82	07-oct-13	16:21	20:58	277	112	6	0.00	0.00	0.00	0.00	16:30	17:30	60	10
83	08-oct-13	05:05	19:37	872	34	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0.00
84	11-oct-13	15:35	18:53	198	167	8	0.00	0.00	0.00	0.00	16:09	18:50	131	7
85	15-oct-13	17:43	23:29	346	154	7	0.00	0.00	0.00	0.00	22:05	23:40	65	7
86	16-oct-13	09:59	22:51	772	195	1	0.00	0.00	0.00	0.00	20:40	21:10	30	1
87	17-oct-13	03:18	19:55	997	148	1	0.00	0.00	0.00	0.00	10:00	10:30	30	1
88	01-nov-13	22:04	22:46	42	42	2	0.00	0.00	0.00	0.00	22:00	01:50	95	5
89	02-nov-13	00:36	02:46	130	69	4	0.00	0.00	0.00	0.00	04:48	05:20	32	13
90	06-nov-13	19:20	19:42	22	12	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0.00
91	07-nov-13	18:37	20:39	122	96	7	0.00	0.00	0.00	0.00	18:40	20:50	80	5
92	08-nov-13	15:46	19:06	200	142	4	0.00	0.00	0.00	0.00	17:30	19:10	100	4
93	09-nov-13	11:50	18:57	427	106	4	0.00	0.00	0.00	0.00	15:20	16:10	50	4
94	10-nov-13	12:20	19:38	438	223	8	0.00	0.00	0.00	0.00	12:28	18:30	212	8
95	11-nov-13	01:08	09:13	485	21	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0.00
96	13-nov-13	16:44	17:20	36	13	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	17:06	17:20	14	1
97	14-nov-13	11:52	17:44	352	50	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0.00
98	15-nov-13	11:56	17:46	350	20	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0.00
99	16-nov-13	13:47	15:01	74	6	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0.00
100	17-nov-13	11:55	21:58	603	105	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0.00
101	18-nov-13	00:33	06:35	362	29	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0.00
102	20-nov-13	16:59	19:51	172	89	2	0.00	0.00	0.00	0.00	06:40	18:00	175	5
103	21-nov-13	14:36	20:54	378	8	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0.00
104	22-nov-13	15:04	17:15	131	30	4	0.00	0.00	0.00	0.00	14:55	15:20	25	3
105	23-nov-13	02:33	15:26	773	64	0.4	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0.00
106	27-nov-13	22:16	22:23	7	7	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0.00
107	30-nov-13	14:16	14:18	3	3	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0.00

Anexo 4.

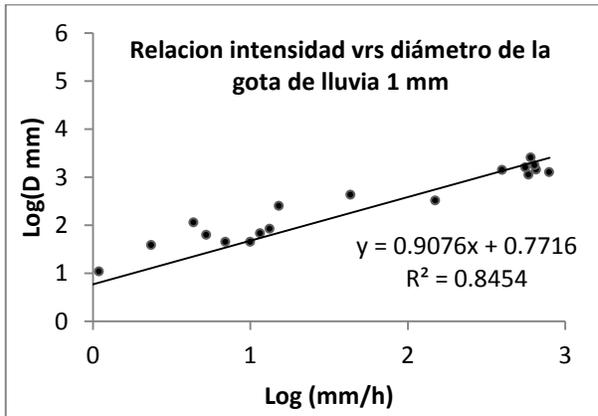
(a)



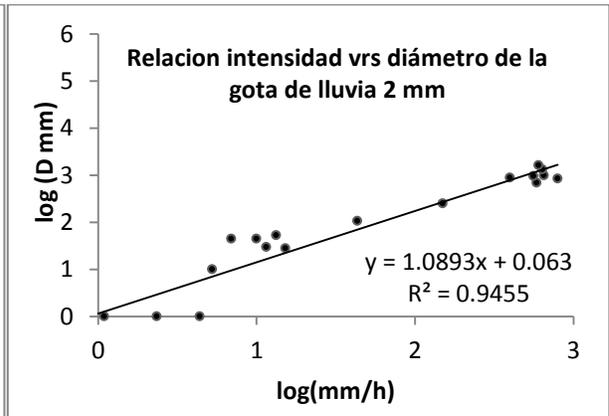
(b)



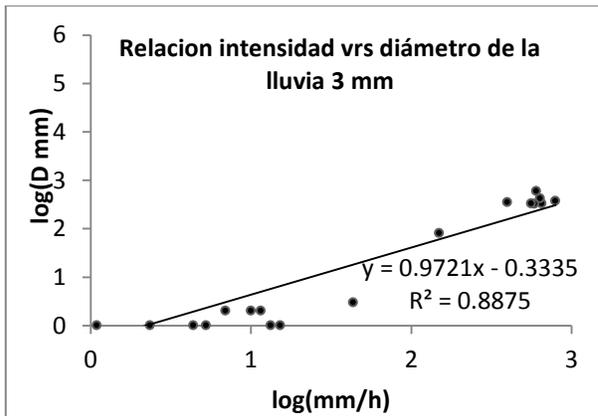
(c)



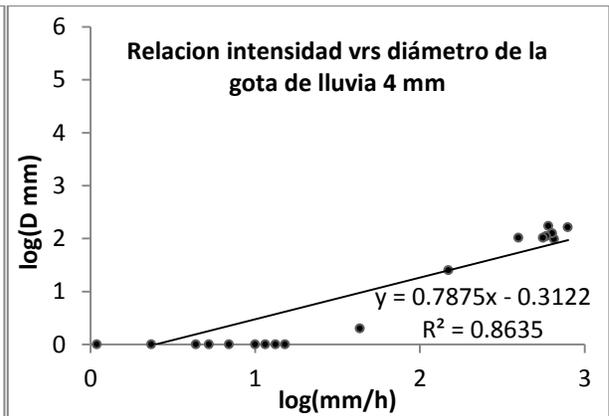
(d)



(e)



(f)



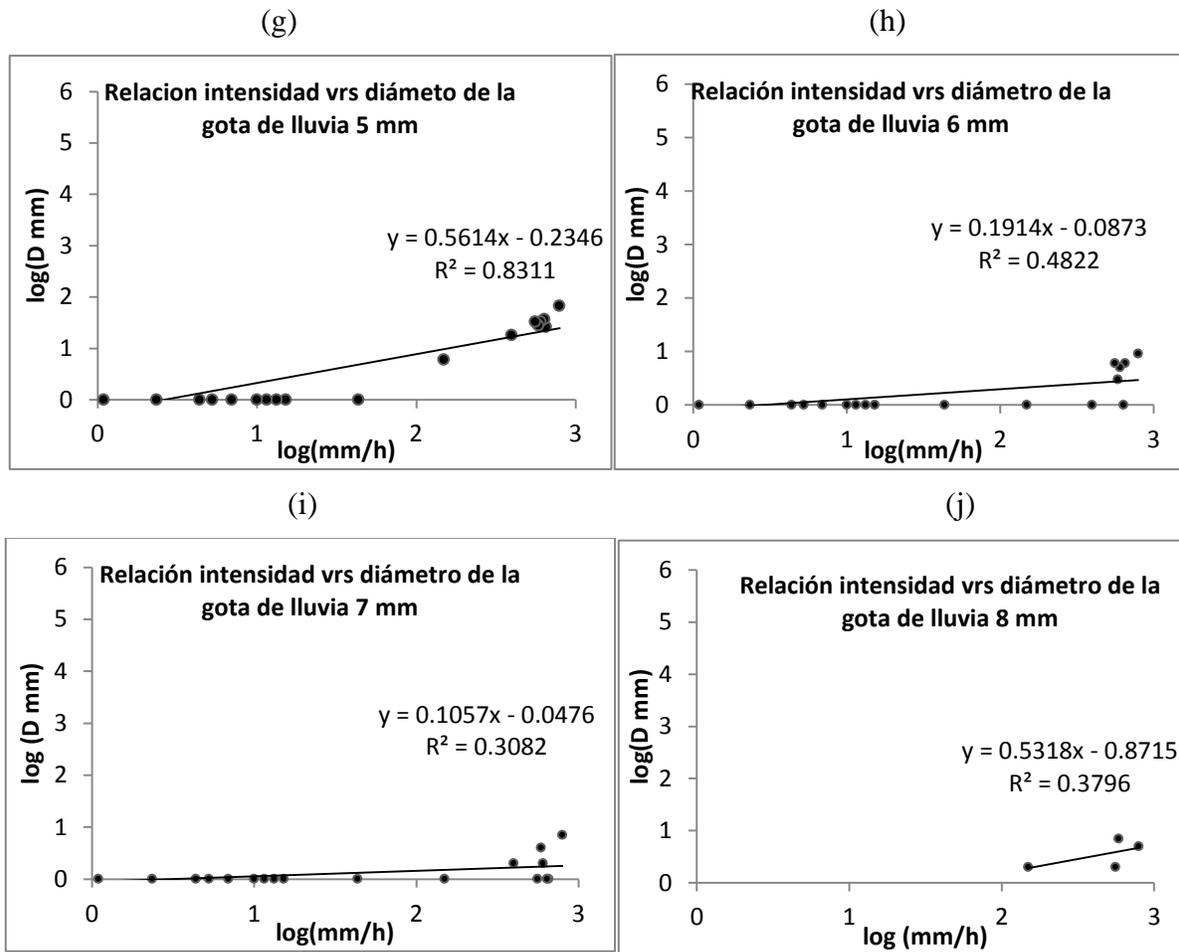


Figura 7.1 Relación de la intensidad de la lluvia versus diferentes diámetros de gotas de lluvia del evento ocurrido el 01/10/12.

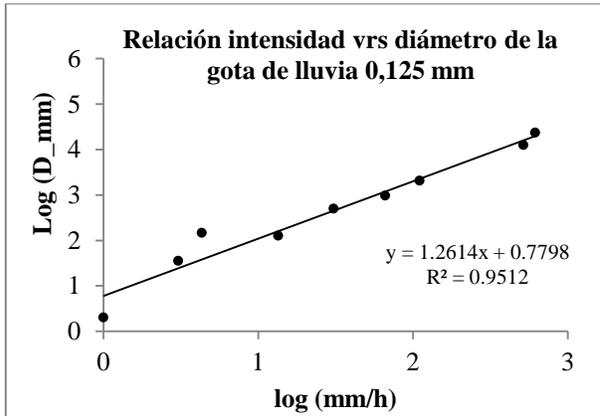
Al relacionar la intensidad de la lluvia ( $\log \text{ mm/h}$ ) con el diámetro de la gota de lluvia la figura 7.1 (a), muestra un  $r^2 = 0.9625$ , en cambio la figura 7.1 (b), su  $r^2 = 0.7914$ , la figura 7.1(c),  $r^2 = 0.8454$ , la figura 7.1(d)  $r^2 = 0.9455$ , figura 7.1(e)  $r^2 = 0.8875$ , la figura 7.1(f)  $r^2 = 0.8635$  y figura 7.1(g)  $r^2 = 0.8311$  correspondiente a cada diámetro de gota desde 0,125 mm hasta los 5 mm respectivamente lo cual demuestra una estrecha relación de la intensidad y el diámetro de la gota la cual se ve afectada la correlación a medida que el diámetro de gota aumenta esto debido a que el número de gota contables es menor durante el evento y en el 50 % de los eventos seleccionados.

Los diámetros de gotas de lluvia entre los 4 a 8 mm observa un decrecimiento de números de gotas, con valores de correlación inferiores 0,3796 lo cual hace pensar que existen otros factores que influyen directamente en el comportamiento del diámetro de la gota de lluvia como pueden ser el aire, velocidad del viento, el ángulo de inclinación de la lluvia factores que no fueron analizados en el presente estudio.

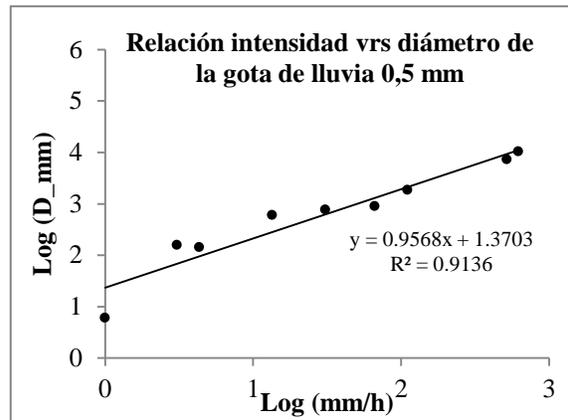
Las figuras 7.1 muestran una mayor cantidad de gotas entre los diámetros de 0,125 y 3 mm en todos los casos en estudios, debido quizás al golpe entre las gotas lo que hace que ellas se dispersen considerablemente antes de llegar al suelo.

Anexo 5

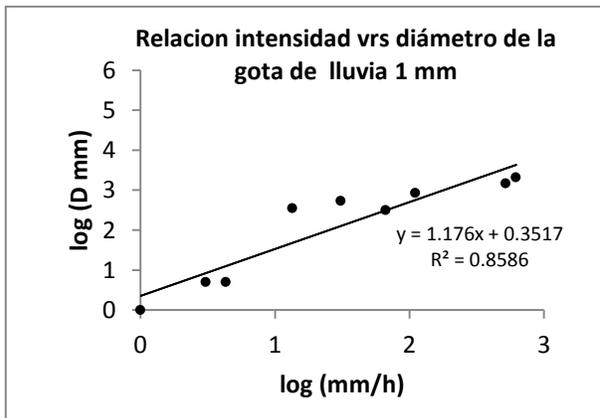
(a)



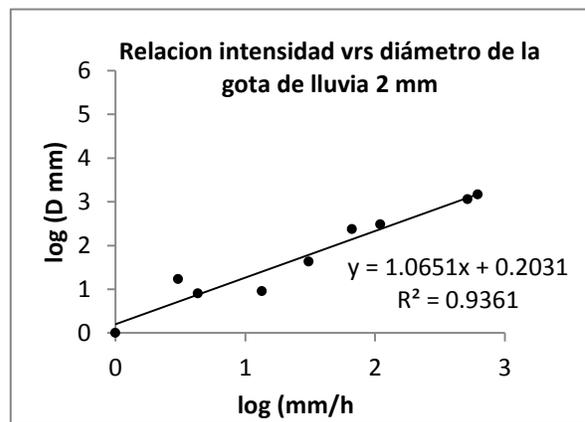
(b)



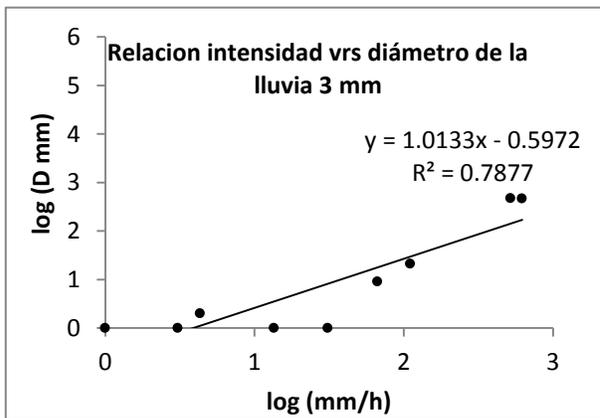
(c)



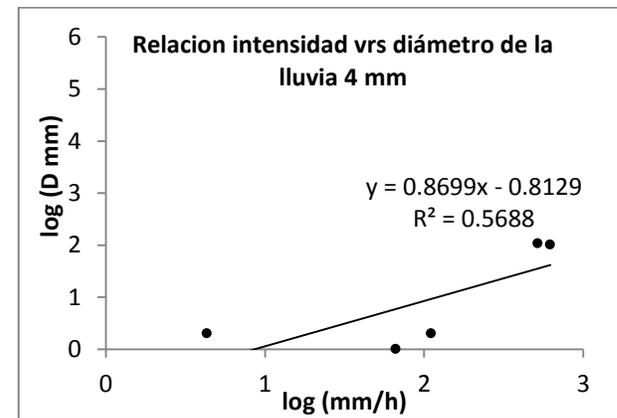
(d)



(e)



(f)



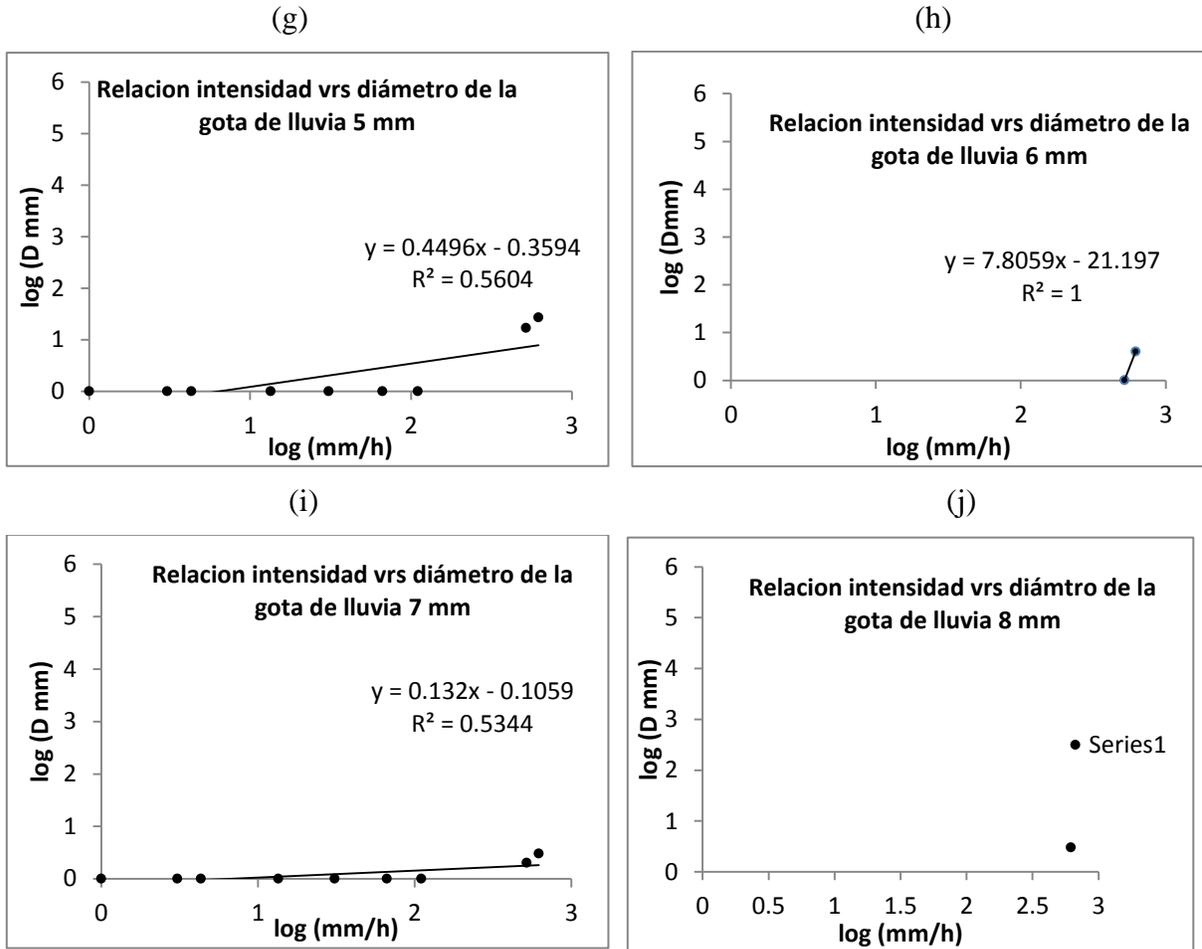


Figura 8. Relación de la intensidad de la lluvia versus diferentes diámetro de gotas de lluvia del evento ocurrido el 15-08-2013.

Al relacionar la intensidad de la lluvia ( $\log \text{ mm/h}$ ) con el diámetro de la gota de lluvia la figura 8(a) muestra un  $r^2 = 0.9512$ , en cambio la figura 8 (b)  $r^2 = 0.9136$ , la figura 8(c)  $r^2 = 0.8586$ , la figura 8(d)  $r^2 = 0.9361$ , figura 8(e)  $r^2 = 0.7877$ , la figura 8(f)  $r^2 = 0.5688$  y figura 8(g).  $r^2 = 0.5604$  correspondiente a cada diámetro de gota desde 0,125 mm hasta los 5 mm respectivamente lo cual demuestra una estrecha relación de la intensidad. En este evento también se muestran mejores correlaciones con diámetro de gotas mayores a 5 mm, así como, el conteo de gotas distribuidas es de hecho menor hasta encontrar dos gotas en valores de mayor intensidad de lluvia.

El análisis de este evento nos permite reconocer que el grado de variabilidad de los eventos en condiciones tropicales, merece de mayor atención para definir el comportamiento y los patrones de lluvia de cada evento. es importante resaltar que las gotas de lluvias más frecuentes en estas condiciones son diámetros entre los 0.125mm hasta los 5 mm de diámetros y muy poca cantidad de gotas gruesas.