

**FACULTAD DE
CIENCIAS NATURALES Y AGROPECUARIAS**

Trabajo de Diploma en opción al Título de Ingeniero Agrónomo

**Título: Agresividad y concentración de las precipitaciones en
áreas agropecuarias de la provincia de Holguín.**

Autora: Sara Esther Robles Raspall

Tutor: Ms C. Juan Alejandro Villazón Gómez

Holguín2022

RESUMEN

El trabajo se desarrolló con el objetivo de evaluar el comportamiento de la agresividad y concentración de las precipitaciones en áreas agropecuarias de la provincia de Holguín. Fueron utilizados los datos mensuales y anuales de precipitaciones del período 1975-2020, de las estaciones meteorológicas de La Jíquima, Guaro, Pinares de Mayarí y Velasco. Se determinaron los índices de Fournier, de Fournier modificado y de Concentración de Precipitación. Se realizó un análisis exploratorio de datos y se verificó el comportamiento, durante el período, de los índices de agresividad y de concentración de precipitaciones. Para el procesamiento estadístico de los datos se utilizaron los softwares Statgraphics Centurión XV.II y Statistic 8. El Índice de Fournier en La Jíquima se clasificó de *bajo* a *moderado*. En Guaro, *bajo*, *moderado*, *alto* y *muy alto*. En Pinares de Mayarí, *moderado*, *alto* y *muy alto*. En Velasco, *bajo*, *moderado* y *alto*. El Índice de Fournier modificado en La Jíquima, casi siempre de *bajo* o *moderado*. En Guaro se observaron tres períodos prolongados en los que el *IFM* se clasificó de *muy bajo* a *bajo*. En Pinares de Mayarí, generalmente va a ser el más alto de las cuatro localidades. En Velasco, mostró períodos de *muy bajo* a *bajo*. Hubo años, cercanos entre sí, *moderados*. El Índice de Concentración de Precipitación en las cuatro estaciones meteorológicas se clasificó, predominantemente, como *moderadamente estacional* y *estacional*. El Índice de Concentración de Precipitación estacional, de forma general, para los períodos lluvioso y seco se clasificó como *estacional* y *fuertemente estacional*.

Palabras clave: Índice de Fournier, Índice de Fournier modificado, Índice de Concentración de Precipitación.

ABSTRACT

The work was developed with the objective of evaluating the behavior of the aggressiveness and concentration of rainfall in agricultural areas of the province of Holguin. Monthly and annual data were used rainfall for the period 1975-2020, from the Jiquima, Guaro, Pinares de Mayarí and Velasco meteorological stations. The Fournier, Modified Fournier and Precipitation Concentration index were determined. An exploratory data analysis was carried out and the behavior of the aggressiveness index and precipitation concentration was verified during the period. For the statistical processing of the data, the Statgraphics Centurion XV.II and Statistic 8 software were used. The Fournier index in the Jiquima was classified as *low* to *moderate*, *high* and *very high*. In Guaro *low*, *moderate*, *high* and *very high*. In Pinares de Mayarí, *moderate*, *high* and *very high*. In Velasco, *low*, *moderate* and *high*. The Modified Fournier index in the Jiquima, almost always *low* to *moderate*. In the Guaro, three prolonged periods were observed in the *IFM* was classified from *very low* to *low*. In Pinares de Mayarí, generally it will be the highest of the four locations. In Velasco, it showed periods from *very low* to *low*. There were years, close to each other, *moderate*. The Precipitation Concentration index in the four meteorological stations was predominantly classified as *moderately seasonal* and *seasonal*. The seasonal Precipitation Concentration index, in general, for the rainy and dry periods was classified as *seasonal* and *strongly seasonal*.

Keywords: Fournier Index, Modified Fournier Index, Precipitation Concentration Index.

Índice

INTRODUCCIÓN	1
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
1. Problemas ambientales actuales	3
2. Precipitación	4
2.1. Regionalización de precipitaciones	5
2.2. Características de las lluvias erosivas	6
2.3. Factores responsables de la degradación de los suelos	7
3. Las plantas y sus efectos antierosivos	11
3.1. Medidas antierosivas agronómicas y culturales más empleadas	12
4. Prospectiva actual del estudio de la erosión	14
MATERIALES Y MÉTODOS	18
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
CONCLUSIONES	32
BIBLIOGRAFÍA	34

INTRODUCCIÓN

La erosión es uno de los procesos más importantes de degradación de los suelos (Coman *et al.*, 2019; Gil *et al.*, 2021), que provoca pérdidas de suelo, deterioro de áreas productivas y afectaciones en zonas urbanas (Back *et al.*, 2019). La susceptibilidad de los suelos ante este proceso de degradación se encuentra fuertemente asociada a los factores climáticos, sobre todo a la lluvia (Cortez *et al.*, 2011; Saha *et al.*, 2022). En las áreas agrícolas, las precipitaciones de baja intensidad provocan pérdidas de suelo, que se incrementan con el aumento de la intensidad de las lluvias (Ramos *et al.*, 2019).

La erosión hídrica ha sido considerada uno de los problemas ambientales más importantes a nivel mundial, sobre todo en las regiones agrícolas de las zonas tropicales y subtropicales. La lluvia es uno de los agentes activos más importantes de la erosión de los suelos, a partir de su potencial para la destrucción de los agregados del suelo y la consiguiente dispersión de las partículas (Mello *et al.*, 2013). Por ende, el análisis de los procesos erosivos en las zonas donde predomina la erosión hídrica requiere del conocimiento del potencial erosivo de la lluvia (Gaspari *et al.*, 2008; Lobo *et al.*, 2010; Rey *et al.*, 2012) a través de las variaciones intranuales e interanuales de las precipitaciones (Lobo *et al.*, 2010).

Los índices Fournier, Fournier modificado y de concentración de precipitación proveen la capacidad de estimar la distribución espacial y temporal de la agresividad de la lluvia (Illbay-Yupa *et al.*, 2019). En el caso del Fournier modificado, es un índice potente para estimar la erosividad de la precipitación, que es uno de los factores de erosión más importantes en las zonas húmedas tropicales (Rutebuka *et al.*, 2020). Estos índices, pueden determinarse fácilmente y están relacionados con la erosividad de las lluvias. Presentan la ventaja, además, de poder ser utilizados en regiones como las de América Latina, donde no se dispone de registros de precipitaciones de muchos años, que permitan analizar la energía cinética de la lluvia y la máxima intensidad de las tormentas individuales (Lobo *et al.*, 2010).

A través de estos índices pueden comprenderse la variación periódica de la precipitación en cualquier sitio. Lo que permite no solo identificar posibles modificaciones en el ciclo del agua, sino también para evaluar el potencial de

inundación-sequía (García-Barrón *et al.*, 2015). El estudio de los riesgos de agresividad de las precipitaciones para largos períodos de tiempo, resulta particularmente útil para el manejo de los recursos hídricos, la conservación de los suelos, la planificación de labores agrícolas y la implementación de políticas ambientales. Además, las estimaciones anuales de los riesgos de agresividad permiten la comparación entre diferentes sitios de observación en diferentes momentos (García-Barrón *et al.*, 2018).

Este indicador ambiental, basado en los registros de precipitaciones, no incluye otros factores que inciden sobre la erosión; tales como, la longitud de la pendiente, el tipo de suelo, la actividad del viento o el uso de la tierra (García-Barrón *et al.*, 2018). Sin embargo, la erosividad de la lluvia (Factor R de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos Revisada, RUSLE) presenta una adecuada correlación, obtenida a partir de modelos geoestadísticos, ecuaciones paramétricas y análisis de regresión, con las precipitaciones anuales (Lee y Heo, 2011; Cardoso *et al.*, 2017; Vantas *et al.*, 2019; Cardoso *et al.*, 2022).

Por lo antes expuesto se plantea como ***problema científico***:

¿Cómo determinar la erosión mediante la agresividad y concentración de las precipitaciones en áreas agropecuarias de la provincia de Holguín?

Como ***hipótesis***:

La determinación de erosión puede realizarse mediante la medida la agresividad y concentración de las precipitaciones en áreas agropecuarias de la provincia de Holguín.

Objetivo general:

Determinar la agresividad y concentración de las precipitaciones en áreas agropecuarias de la provincia de Holguín.

Objetivos específicos:

- Determinar la erosión mediante índices que reflejan la agresividad y concentración de las precipitaciones en áreas agropecuarias de la provincia de Holguín.
- Comparar los índices que reflejan la agresividad y concentración de las

precipitaciones en áreas agropecuarias de la provincia de Holguín.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1. Problemas ambientales actuales

El clima puede definirse como los momentáneos estados de la atmósfera, a él pertenecen además de la atmósfera, el océano, la superficie terrestre con diferentes altitudes por encima del nivel del mar, la biosfera y la zona helada (Hartmut, 2001). La circulación del agua en la naturaleza es un fenómeno estrechamente relacionado con la erosión de los suelos y la sostenibilidad del ambiente, sus cambios ocupan a los científicos de todo el mundo (Dewitte y Takahashi, 2019).

Jacob (2001), manifiesta que todos los modelos predictivos indican un aumento de las precipitaciones medias en dependencia de la región, incrementándose el ciclo hidrológico en áreas con altas precipitaciones (trópicos internos) y altas latitudes, sin embargo en algunas áreas continentales (partes de la zona subtropical seca) las precipitaciones se han reducido; (Gaspari *et al.*, 2008), encontró en estudios de cuarenta a setenta años que en la provincia de Buenos Aires algunas localidades han tenido un incremento de las precipitaciones mientras en otras se ha reducido, ello demuestra que el clima está cambiando (Philander, 2019).

Según Echarri (1998), entre los problemas ambientales que hoy más preocupan a la humanidad se encuentra la desertización agravada por actividades humanas que debilitan el suelo y lo hacen más propenso a la erosión; el sobrepastoreo; mal uso del suelo y el agua; la tala de árboles; la minería a cielo abierto y la compactación del suelo. Cuando la superficie del suelo se desprotege, la acción erosiva del agua de lluvia alcanza su máxima expresión. El proceso erosivo, además de retirar la capa de suelo más fértil con el consiguiente daño económico y ambiental, traslada los sedimentos hasta ríos, lagunas, presas y mares, provocando la contaminación de las aguas; Khosrowpanah (2001), consideró que en las islas Micronesias dedicadas al turismo de playa y a la pesca, la deposición de sedimentos redujo la actividad económica e incluso provocó enfermedades, mientras Sharpley *et al.* (1999), han encontrado que en las lagunas y presas cuando a consecuencia de la erosión llegan porciones de suelo

arrastradas por el agua de escorrentía, aumenta la concentración del fósforo en el agua y éste deja de ser limitante para las plantas acuáticas provocando su crecimiento intenso, lo cual eleva la demanda biológica de oxígeno y con ello los peces mueren por falta de oxígeno, conocido este fenómeno como eutrofización. De acuerdo a lo anteriormente señalado, el fenómeno erosivo no tiene fronteras y produce daños en todos los medios.

2. Precipitación

La precipitación es un conjunto de partículas sólidas o líquidas que cae a la atmósfera y llega a la superficie terrestre en forma de lluvia, llovizna, nieve, aguanieve, granizo. La mayor parte del agua dulce disponible para la humanidad proviene de la precipitación orográfica (Schär y Frei 2005).

La precipitación sobre montañas y colinas ocurre cuando los sistemas nubosos desarrollados con diferentes mecanismos como la elevación frontal, convectiva, topográfica, ayudan a condensar la humedad en forma de precipitación sólida o líquida. La nieve que se precipita se acumula en las altas montañas y sirve como un depósito de agua dulce necesario en muchas regiones del mundo. La precipitación orográfica, sin embargo, depende de muchos parámetros. Por ejemplo, de las características del terreno (altura de montaña y ancho de montaña cruzada) (Watson y Lane 2012), estabilidad atmosférica (Kunz, 2011), velocidad ascendente y bajo contenido de agua, temperatura de la superficie (Kunz 2011).

El impacto de la orografía sobre la cantidad y la distribución de la precipitación depende del valor del número de Bulk Damköhler, que es la relación de la escala de tiempo de advección (el tiempo que tarda una parcela de aire en moverse por la montaña) y las escalas de tiempo microfísicas (hasta convertir hidrometeoros de nubes a precipitación) del sistema de nubes (Miltenberger *et al.*, 2015).

Las gotas de nubes toman tiempo para crecer y caer como precipitación, y la elevación y la pendiente del terreno limitan las ubicaciones de la precipitación. Por ejemplo, si la escala de tiempo de los procesos microfísicos es menor que la escala de tiempo de advección a través de la orografía, entonces, en condiciones ideales, la nube puede

precipitar sobre el lado de barlovento (Choudhury *et al.*, 2019).

La precipitación es una variable clave en estudios climáticos, con cambios en su cantidad y distribuciones espaciales y temporales que tienen un impacto importante en las actividades humanas (como la agricultura y los recursos hídricos) y los peligros naturales (como sequías e inundaciones) (Parracho *et al.* 2016). Por lo tanto, la cuantificación exacta de la precipitación sigue siendo un reto para muchas aplicaciones hidrológicas, especialmente en regiones con topografía complejas debida a efectos orográficos y pendiente en pequeña escala (Sevruk, 2004). La delimitación de las regiones de precipitación homogénea (regionalización) es necesaria para investigar la frecuencia y la distribución espacial de las sequías meteorológicas (Satyanarayana y Srinivas 2008).

2.1. Regionalización de precipitaciones

La regionalización de las precipitaciones permite capturar la variabilidad a escala regional en áreas más pequeñas y manejables (Abatzoglou *et al.*, 2009) lo que es útil para tomar decisiones basadas en información sobre gestión de recursos hídricos. También, es relevante para identificar los procesos físicos responsables de la variabilidad espacio-temporal en cada zona (Badr *et al.*, 2015).

Tales procesos son importantes para la comprensión del funcionamiento, desarrollo y vulnerabilidad de los ecosistemas. La regionalización es la inclusión en el análisis de frecuencia de datos de sitios distintos de la zona en la que se requiere la caracterización estadística. El método asume que las distribuciones de frecuencia de otros sitios son similares al sitio de interés. La mayoría de las aplicaciones de la regionalización estadística se ocupan de reducir la incertidumbre de la estimación de cuantil extremo (González y Valdés 2008).

Ouarda *et al.* (2008) consideran que las metodologías de regionalización involucran dos etapas principales: la identificación de grupos de cuencas hidrológicamente homogéneas y la aplicación de un método regional para cada región homogénea. La primera etapa constituye la más difícil y uno de los obstáculos más serios para obtener una solución regional satisfactoria.

La regionalización hidrológica se utiliza para transferir información de cuencas aforadas a las no aforadas (Álvarez-Olguín *et al.*, 2016), facilitando la transferencia de información de sitios con registros a otros, en los cuales se requieren mediciones, pero no existen. Sin embargo, para obtener resultados confiables, las cuencas involucradas deben tener un comportamiento hidrológico semejante (Álvarez-Olguín *et al.*, 2016).

En zonas montañosas, las características fisiográficas influyen en la distribución espacial irregular de las variables climáticas, por lo que en estos sitios la división en regiones se debe realizar en consideración a aspectos hidroclimáticos como fisiográficos, sin tomar en cuenta la continuidad geográfica de las cuencas. Nathan *et al.* (1990), mencionaron que regiones homogéneas definidas por la similitud hidrológica de las cuencas o las características de éstas, pueden no tener significancia geográfica.

La uniformidad e independencia requeridas en un proceso de regionalización limitan la aplicabilidad del método. La uniformidad restringe el área máxima cubierta por la base de datos: los sitios distantes son menos probables de ser similares en sus distribuciones de frecuencia (González y Valdés 2008).

Sin embargo, hay investigaciones que han demostrado que, aunque una región puede ser moderadamente heterogénea, el análisis regional todavía producirá una información mucho más precisa que estimaciones cuantitativas en el sitio (González y Valdés 2008). Por lo tanto, la regionalización se considera una herramienta poderosa para mejorar la calidad de la caracterización estadística y la estimación cuantil. La principal hipótesis es la uniformidad en los parámetros de distribución de frecuencia (González y Valdés 2008).

2.2. Características de las lluvias erosivas

De acuerdo con Haile *et al.* (2010), las propiedades de las lluvias son: cantidad de lluvia, duración del evento, intensidad media y máxima de la lluvia y el tiempo transcurrido entre dos eventos de lluvia consecutivos. Las gotas de lluvia impactan sobre la superficie del terreno con una determinada energía en dependencia del grosor y la velocidad con que caen, rompiendo los agregados los cuales se exponen al agua de escorrentía superficial cuando la intensidad de la lluvia supera la velocidad de

infiltración del suelo. Debido a que las lluvias son el principal agente responsable de la erosión es que los modelos de predicción de la erosión hídrica incluyen la energía de impacto y la intensidad máxima de las lluvias como una de las variables a evaluar (Almoza *et al.*, 2007).

La erosividad de las lluvias fue utilizada por Wischmeier y Smith (1978) como uno de los indicadores que forman parte de la EUPS y se simboliza con la letra "R" y se define como la suma del producto de la energía cinética total y la intensidad máxima de la lluvia en treinta minutos por evento.

En Cuba, el factor "R" fue estimado por Planas (1993), usando datos pluviográficos que aplicó a la metodología original para estos casos procesando 40 307 aguaceros de láminas superiores a los 13 mm (pues láminas menores no producen erosión), de esta manera estableció las isoerosivas a escala poco detallada encontrando por ejemplo, en el central azucarero "Loynaz Echevarría" en la Provincia de Holguín, que las isoerosivas tuvieron un valor de 650 MJ .mm / ha .h y 765 y 800 MJ .mm / ha .h para Jimaguayú, Camaguey (Acosta *et al.*, 2003).

Debido a que los datos pluviográficos detallados y confiables no están siempre disponibles es que se han usado datos mensuales y anuales de lluvias para estimar la energía de impacto de las lluvias sobre el suelo, uno de los primeros intentos en esta dirección permitió establecer el Índice de Fournier (IF) que posteriormente fue corregido y de ese modo comenzó a utilizarse ampliamente el Índice Modificado de Fournier (IMF) para determinar la erosividad de las precipitaciones tomando en cuenta los acumulados de lluvias mensuales y anuales, correlacionándose muy bien con la erosividad de las lluvias determinada con el procedimiento original a partir de las lecturas pluviográficas tal y como propusieron Wischmeier y Smith (1978); a este criterio se unen Mancilla (2008) y (Kouli *et al.*, 2008), entre otros. A partir de los valores del IMF se han aplicado varias ecuaciones para encontrar el valor del coeficiente R de la EUPS, entre las cuales se encuentran las ecuaciones presentadas por (Mancilla, 2008).

2.3. Factores responsables de la degradación de los suelos

Son múltiples los parámetros que intervienen en la degradación de los suelos,

relacionándose el tipo de proceso erosivo y la magnitud del fenómeno con dos grandes clases de factores: por una parte, los factores directos, es decir el grado de agresividad de los agentes climáticos, y por otra parte, los factores condicionantes, en otras palabras el estado de debilidad previa del medio geográfico agredido (Duan *et al.*, 2016).

En lo que se refiere a esta última clase de factores, es evidente que cuanto más débil se encuentra el suelo, tanto más queda expuesto a los efectos de la erosión. Sin entrar en el detalle, ya que este tema es el objeto de otras comunicaciones, cabe señalar que el grado de debilidad previa del suelo depende de varios factores naturales tales como la naturaleza del sustrato y su grado de meteorización, el valor de las pendientes, el tipo y densidad de la cobertura vegetal, a los que se suman diferentes factores externos, generalmente de origen antrópico, entre los cuales pueden citarse la tala de bosques, el manejo inadecuado de la tierra y el pisoteo exagerado del ganado (Duan *et al.*, 2016).

Mecanismos generales de la erosión hídrica

Al ser sometido a la influencia de los impulsos climáticos, principalmente pluviométricos, el suelo puede ser considerado como la zona de enlace entre aguas atmosféricas, aguas superficiales y aguas subterráneas. Todas estas aguas son los agentes fundamentales de su destrucción pero actúan en base a mecanismos distintos: liberación de la energía acumulada en las gotas de lluvia, acción del escurrimiento en la abrasión y transporte de las partículas, modificaciones físicas y/o químicas de las características iniciales del medio (Duan *et al.*, 2016).

En términos generales, las aguas lluvias constituyen el punto clave de la erosión, no solamente por el efecto destructivo propio de cada evento pluviométrico, sino también porque, en gran parte, el régimen anual y distribución en el tiempo de las precipitaciones contribuyen a conformar el manto vegetal protector del suelo y condicionan la formación de las aguas superficiales y subterráneas. Sin pretender analizar detenidamente la totalidad de los diferentes modos de acción de la erosión hídrica, se presenta a continuación un breve compendio de los mecanismos más comunes (Duan *et al.*, 2016)..

Acción directa de los chubascos

Al entrar en contacto con el suelo, la magnitud de la acción de las gotas de lluvia es directamente proporcional a la cantidad de las mismas y a su fuerza de impacto, la que depende de su diámetro y velocidad de caída. Más concretamente, estas distintas variables son traducidas por la denominada "intensidad de la lluvia", es decir la altura pluviométrica que corresponde a un determinado intervalo de tiempo, desde algunos minutos hasta varias horas, parámetros que suele medirse en milímetros por hora. En todo caso, existe una relación estrecha en las intensidades registradas durante períodos cortos y el poder erosivo de las lluvias (Duan *et al.*, 2016).

Cuando el impacto de las gotas es lo suficientemente fuerte, la textura del suelo es destruida: las partículas finas son desplazadas mientras los elementos más gruesos se aglomeran entre sí, lo que conduce a una nueva organización de las capas superficiales. Evidentemente, lo anterior implica la participación de factores propios del suelo, en particular su naturaleza (la cohesión es naturalmente menor en los suelos blandos, tipo polvos o arenas finas) y su estado inicial de humedad (el que va aumentando paulatinamente en el transcurso de una misma lluvia) (Duan *et al.*, 2016).

Acción de las aguas superficiales

Después de caer, parte del agua procedente de las gotas de lluvia se acumula o se propaga a la superficie del suelo para producir un "escurrimiento difuso" constituido por una lámina de agua, sin mayor poder de arrastre aunque contenga partículas finas en suspensión. Sin embargo, en función del valor de las pendientes, densidad del manto herbáceo de cobertura y humedad previa de la capa superficial, el agua se reúne en distintos hilos de escurrimiento que, según su caudal y velocidad, son capaces de arrastrar partículas o elementos aglomerados de un tamaño determinado (Duan *et al.*, 2016).

El escurrimiento difuso pasa a "concentrarse" en pequeños canales de conducción cuyas dimensiones van aumentando hacia aguas abajo, escurriéndose sucesivamente en "cárcavas", "quebradillas" y "quebradas" y adquiriendo un poder erosivo cada vez más intenso. Es así como al desmantelarse la capa conformada por los elementos aglomerados al impacto de las gotas de lluvia, las aguas logran atacar las capas inferiores más blandas, acelerándose el fenómeno y propagándose desde abajo hacia

arriba según un proceso conocido como "erosión regresiva". Aguas abajo, los caudales que se escurren en quebradillas y quebradas confluyen en cauces de mayor tamaño y el flujo de crecida, así conformado, contribuye a destruir las orillas y terrazas del curso de agua.

De igual manera que en el caso de la degradación por impacto directo de las gotas de lluvia, la erosión producida por el escurrimiento está íntimamente relacionada con las intensidades de las precipitaciones.

En efecto, las lluvias sólo ocasionan un escurrimiento cuando las intensidades son superiores a la capacidad de absorción del terreno, en otras palabras, durante los picos de intensidad cuyo valor total corresponde a la "lluvia eficaz" efectivamente responsable del escurrimiento. Por esta razón, no existe una estrecha, relación entre las alturas pluviométricas totales y las cantidades de terreno erosionadas por escurrimiento.

Acción de las aguas subterráneas

En la superficie o sub-superficie de algunas formaciones geológicas y suelos, merced al oxígeno del aire y al anhídrido carbónico procedente de las raíces de las plantas, el agua disuelve algunos minerales, tales como carbonatos o yeso, y actúa como un factor importante en los procesos de meteorización. Excepcionalmente, al disolver notables cantidades de sales, puede llegar a producir grandes vacíos cuyo derrumbamiento se manifiesta por "embudos de disolución". Igualmente, un fuerte "escurrimiento hipodérmico" puede arrastrar paulatinamente las partículas finas del subsuelo, hasta conformar pequeños túneles, que al desplomarse dan alineaciones de zonas hundidas cuya unión se traduce por la formación de una quebrada (Hoomehr *et al.*, 2016).

Por otra parte, en cierto tipo de material, particularmente en las formaciones arcillosas, las aguas lluvias pueden infiltrarse hasta cambiar radicalmente las características físicas de los terrenos, llegar a sus límites de plasticidad y fluidez, y de esta manera conformar grandes masas de tierra sin ninguna cohesión. También, merced a diferencias litológicas (como el contacto entre capa meteorizada y roca-madre) o zonas más débiles (como fracturas o "roturas de desgarramiento", las aguas pueden filtrarse y aprovechar estos caminos privilegiados hasta aislar totalmente grandes compartimientos. En ambos casos, una pendiente favorable y cualquier desequilibrio de

origen natural o artificial (descarga del pie de la zona por tractores, sobrecarga de la cabeza con acumulación de material de terraplenes), pueden provocar deslizamientos de terreno de incalculables consecuencias (García y Sousa, 2018).

Aún más, en ciertos casos, los deslizamientos pueden obstaculizar los cauces de ríos y torrentes, convirtiéndose en represas naturales. Cuando la carga hidráulica de las aguas de escurrimiento almacenadas sobrepasa los límites de resistencia de los tapones, éstos se destruyen y generan repentinos flujos de agua, lodo y materiales sólidos, conocidos como "aluviones" en la zona interandina. Al contrario de las acciones producidas por las precipitaciones directas y por el escurrimiento, los movimientos en masa no tienen una relación estrecha con los picos de intensidades de las lluvias pero sí están vinculados con los totales pluviométricos registrados durante intervalos de tiempo más largos (Angulo y Beguería, 2013).

3. Las plantas y sus efectos antierosivos

La energía cinética que desarrollan las gotas de lluvia depende de su masa y la velocidad de caída; partiendo de este principio puede entenderse que el follaje constituye un obstáculo para la lluvia, éste reduce su velocidad de caída y con ello su efecto erosivo sobre el suelo; las plantas además reducen la velocidad de traslación de la escorrentía y con ello la energía para erosionar el suelo; al morir las raíces de las plantas dejan galerías por las cuales drena el agua, las plantas incrementan la presencia de hojarasca en la superficie del suelo y lo protegen; además, aumentan el humus del suelo con lo cual se eleva la capacidad de absorción de agua y la estabilidad estructural.

Mientras mayor cantidad de residuos dejen las plantas sobre el suelo, mayor será su efecto antierosivo, con efectos diferentes entre especies y así Llanes *et al.* (2010) encontraron que la asociación de maíz (*Zea mays Lin*) con frijol de terciopelo (*Stizolobium deeringianum, Bort*) redujo la compactación, aumentó el contenido de materia orgánica y la porosidad de drenaje, y el cambio de las propiedades del suelo generado por el uso de la asociación beneficia la resistencia del suelo a la erosión hídrica.

Para expresar el efecto de las plantas en la erosión, la EUPS presenta el coeficiente C,

siendo 1 el valor de este coeficiente cuando los suelos están desnudos y se reduce con la presencia de diferentes especies y acorde al porcentaje de cobertura del suelo que ellas realizan; por esa razón, Kouli *et al.* (2008), encontraron diferencias marcadas entre las especies de plantas en Grecia, donde los bosques de hojas anchas mostraron alto grado de resistencia a la erosión con valores C de 0,13; los bosques de coníferas, 0,33; la tierra cultivable no irrigada, 0,496; los pastos, 0,54 y las áreas con escasa vegetación 0,64.

Leal *et al.* (2010), en la cuenca del río Cuyaguaje encontraron que el barbecho más tabaco (*Nicotiana tabacum Lin*) presentó el menor coeficiente C con 0,13 en tanto que, cuando el terreno siempre estuvo sembrado de yuca (*Manihot esculenta Lin*) su valor fue de 0,41. Muchas veces se aplican valores de coeficientes C en dependencia del estado de desarrollo del cultivo, de la abundancia de su follaje y la cobertura que hace del suelo (Edesco *et al.*, 1997).

3.1. Medidas antierosivas agronómicas y culturales más empleadas

Las medidas antierosivas se aplican preferentemente para evitar el proceso erosivo del suelo. Prever la erosión significa diagnosticar sobre la base de la erosividad de las lluvias, las condiciones del suelo y la pendiente del terreno, si es preferible mantener el suelo con la vegetación natural o qué cultivos pudieran establecerse en el terreno en cuestión así como qué prácticas agronómicas, culturales o mecánicas pudieran establecerse para proteger el suelo de la erosión hídrica (Kouli *et al.*, 2008).

Las medidas agronómicas y culturales de conservación a adoptar tienen como objetivo en primer lugar evitar el impacto directo de las gotas de lluvia sobre el terreno, aumentar la resistencia del suelo al efecto dispersante del agua, a reducir la velocidad de la escorrentía y por tanto, la presencia de plantas, las rotaciones de cultivos, los cultivos múltiples, la cobertura muerta, la incorporación de materia orgánica al suelo, el subsoleo, el laboreo mínimo, las barreras vivas y muertas, el laboreo y siembra en curvas de nivel, los cultivos en fajas, entre otras, son las más empleadas (Bronzoni 1996).

Las características botánicas y fisiológicas de las plantas son aprovechadas para, mediante un manejo adecuado, combatir la erosión, y sus efectos se deben

fundamentalmente a la incorporación de materia orgánica al suelo con lo cual se mejora la absorción de agua por éste, mejoran la estabilidad de los agregados del suelo y la infiltración del agua de lluvia y con ello se reduce el volumen del agua de escorrentía, y también constituyen una barrera al agua de escorrentía reduciendo la velocidad de la misma.

3.1.1. Medidas mecánicas contra la erosión

El objetivo esencial que deben cumplir las medidas mecánicas, llamadas también hidrotécnicas, es cortar el agua de escorrentía que se conduce por la superficie a favor de la pendiente del terreno y conducirla organizadamente hacia lugares en donde no produzca daños. De esta forma se impide que el agua de escorrentía alcance velocidades y masa erosivas. Para ello se emplean los canales que según su diseño y dimensiones se denominan terrazas, acequias de ladera y canales de desviación.

Según Bronzoni *et al.* (1996), para la ejecución de estas obras físicas y definir sus dimensiones es preciso tener información sobre la topografía, características del suelo, el cultivo, y muy importante es conocer las características del clima, especialmente lo relacionado con la intensidad de las lluvias. Las medidas mecánicas se aplican en casos extremos, cuando las restantes medidas, agronómicas y culturales, no son capaces de proteger el suelo.

Siqueira (2010), encontró en cuencas hidrográficas de Río Grande Do Sul en Brasil, reducción hasta del 82 % en los sedimentos debido a la escorrentía sólo por la aplicación del plantío directo. Se trata entonces de utilizar los suelos según su aptitud agrícola, en primer lugar mantenerlo cubierto con plantas y en segundo lugar manejar las plantaciones según la pendiente para que se minimice la erosión (Gaspari 2003), y de este modo la necesidad de aplicar medidas hidrotécnicas serían mínimas. La aplicación integral de medidas conservacionistas agronómicas y culturales e hidrotécnicas cuando ha sido necesario, ha dado muy buenos resultados en Cuba.

Consuelo Hernández *et al.* (2010), encontró en suelos pardos grisáceos y pardos sin carbonatos con pendientes del 5 al 10 % que el empleo combinado de labranza mínima, siembra en contorno y vetiver (*Vetiveria zizanioides*, L) en el borde de las terrazas redujo

las pérdidas de suelos a niveles tolerables. El coeficiente P para las terrazas como medida mecánica varía desde 0,10 en terrenos con pendientes del 2 % hasta 0,18 en terrenos con pendientes del 18 % (Planas 1993).

4. Prospectiva actual del estudio de la erosión

Las zonas áridas e hiperáridas representan el 17.2 % de la superficie terrestre y se encuentra alrededor del 5% de la población mundial. Estas áreas se caracterizan por precipitación escasa, evapotranspiración potencial alta, que se evidencia con el índice de aridez, y escasa cubierta vegetal con desigual distribución espacial. La precipitación es variable espacial y temporalmente, lo que incide en la disponibilidad del recurso hídrico para la población, y también se considera uno de los riesgos, ya que los eventos extremos de precipitación en combinación con las fuertes pendientes con suelo desnudos generan grandes inundaciones, que a menudo se acompañan de fenómenos como deslizamientos de tierra y flujos de lodo, que pueden producir pérdidas humanas y daños en infraestructura (Sáez, 2019).

La erosividad de las precipitaciones provoca pérdidas de suelo fértil, daños a la infraestructura, agricultura y contaminación del agua, la cual está influenciada por los cambios en los patrones de precipitación (Martín-Fernández y Martínez-Núñez, 2011; Sanchez-Moreno, Mannaerts y Jetten, 2014); esto ocurre ya que grandes cantidades de lluvia estacional puede precipitar en muy pocos días o semanas en regiones de alta montaña como los Andes (Sarricolea, Araya y Salazar, 2014; Zubieta y col., 2016; Sarricolea y col., 2019), o regiones Amazónicas (Zubieta y col., 2019).

El escurrimiento contiene importante cantidad de sólidos debido a la erosión generada por las tormentas convectivas en las zonas altas. Los procesos erosivos dependen de factores como el clima, relieve, tipo de suelo y antrópicos, y se puede agrupar en erosionabilidad y erosividad, siendo de mayor importancia este último en zonas áridas. Para cuantificar la erosividad se usa un índice que considera la energía cinética; factor R de la *Revised Universal Soil Loss Equation* (Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada; RUSLE según sus iniciales en inglés) (Lobo y Bonilla, 2015) que requiere datos

de precipitación cada 30 minutos, pero cuya información rara vez está disponible con buena cobertura espacial (Sáez, 2019).

La precipitación es una variable importante para estudios climáticos, cuya variabilidad espacial y temporal pueden impactar en las actividades humanas durante eventos hidroclimáticos extremos como sequías e inundaciones (Parracho, Melo-Gonçalves y Rocha, 2016).

Además desempeña un papel crucial en la planificación y gestión de los recursos hídricos, vinculada directamente con la agricultura y la mitigación de desastres (Prakash y col., 2015). La cuantificación exacta de la precipitación sigue siendo un reto para muchas aplicaciones hidrológicas, especialmente en regiones con topografía compleja debido a efectos orográficos y pendiente en pequeña escala (Sevruk, 2004; Zubieta y col., 2015).

La agresividad de la lluvia puede causar impactos ambientales y es un factor clave para la ocurrencia de erosión de suelos, deslizamientos o inundaciones. Por lo tanto, los parámetros que evalúen la agresividad de la lluvia pueden ser considerados como un indicador ambiental apropiado (Gregori, Andrenelli y Zorn, 2006; García-Barrón, Morales y Sousa, 2018).

La erosividad de las precipitaciones provoca pérdidas de la fertilidad del suelo, daños en las áreas agrícolas y en su infraestructura y contaminación en las aguas. Está influenciada por los cambios en el comportamiento de las precipitaciones (Martín y Martínez, 2011; Sánchez *et al.*, 2014) y por los efectos esperados del cambio climático (Diodato *et al.*, 2011).

Para estimar la erosividad se han establecido modelos de regresión, generalmente lineales y potenciales. Preferentemente se han usado índices de agresividad, ya que han sido formulados para evaluar erosión hídrica y también, montos de precipitación, ya que es un dato que generalmente se encuentra disponible (Renard y Freimund, 1994; Petkovšek y Mikoš, 2004; Hernando y Romana, 2016).

Los índices más destacados para medir la erosividad de la lluvia y su distribución son el factor R, implementado en los Estados Unidos, el índice de Fournier (I/F), desarrollado

para la costa oeste de África, el índice modificado de Fournier (*IMF*) y entre las correlaciones destacadas se tienen la de Renard y Freimund, que sugieren el uso entre el *IFM* y el factor R para regiones con datos deficientes. Otro índice importante es el de concentración de las precipitaciones (*ICP*), que tiene como fiabilidad cuantificar la heterogeneidad de la precipitación en términos de series de lluvias mensuales (Lince y Castro, 2015).

Estos índices de agresividad valoran la cantidad de precipitación y la forma en que se distribuyen en el tiempo. Tienen su origen en el índice de Fournier, que requiere datos de precipitación mensual y correlaciona bien con la erosión anual. Los otros índices en estudio presentan diferentes configuraciones para cuantificarlos, pero tienen la misma finalidad que el índice de Fournier y requieren idénticos datos de entrada. El denominado Factor R corresponde a la erosividad promedio de la precipitación, ponderada en los suficientes años para captar la variabilidad anual. Este depende de la intensidad de precipitación mientras se desarrolla el evento y del volumen agua caída, pero fundamentalmente su cálculo queda sujeto al valor de intensidad máxima en 30 minutos (Sáez, 2019).

La estimación de esta variable durante largos períodos es útil para la conservación del suelo, la planificación agrícola y el desarrollo de políticas ambientales. El factor R o erosividad de la lluvia es un instrumento aceptado para la medición de la erosión local y depende de la energía cinética de cada episodio de lluvia (Panagos *et al.*, 2015).

Este modelo es el más utilizado y fue desarrollado a una escala detallada en el sector agrícola; sin embargo, su aplicación a escala regional presenta limitaciones (Terranova y col., 2009). Las estimaciones de la erosión del suelo no se ajustan a las medidas empíricas de sedimentación y no incorpora el escurrimiento directo del agua (Kinnell, 2010).

El factor R sobreestima la erosión a nivel regional o de cuenca hidrográfica (Hernando y Romana, 2016) y no se recomienda en áreas donde no se realiza un proceso de validación. Además, para su estimación es conveniente utilizar registros de precipitaciones de alta frecuencia de estaciones meteorológicas durante un período superior a veinte años (Angulo-Martínez *et al.*, 2009).

Por ello, se pueden utilizar modelos que miden los efectos de la agresividad de la lluvia, considerando registros de precipitaciones por hora (modelos de intensidad) o registros de precipitaciones mensuales (modelos de volumen). Este último modelo se refiere a las diferentes acumulaciones parciales de lluvia, sin tener en cuenta el número, la duración y la cantidad de lluvia de cada episodio, por lo que se basa exclusivamente en registros mensuales de precipitaciones disponibles en la mayoría de los países. Así, se puede utilizar el índice de agresividad en estudios ambientales (Oliver, 1980).

Estos índices han sido ampliamente utilizados en estudios climáticos para identificar patrones espaciales de concentración de lluvia en regiones de Europa, Asia, África y Sudamérica tales como España (De Luis *et al.*, 2011), Península Ibérica (García-Barrón *et al.*, 2018), India (Ballari *et al.*, 2018), Bangladesh (Rasel *et al.*, 2016), Nigeria (Ezenwaji *et al.*, 2017), Argentina (Besteiro y Delgado, 2011), Venezuela (Rey *et al.*, 2012) y Chile (Valdés-Pineda *et al.*, 2016).

Los cambios en los patrones temporales de estos parámetros han sido identificados también en regiones de los Andes de Chile (Sarricolea *et al.*, 2019). La intensa erosión del suelo que se deriva del aumento de la intensidad de la lluvia es un problema crítico en muchas cuencas del mundo (Mondal *et al.*, 2016).

Para determinar de forma directa la erosividad de las precipitaciones, resulta necesario hacer uso de una base de datos con un elevado registro de la frecuencia de las precipitaciones recolectada en varias estaciones meteorológicas durante un largo período de tiempo, por lo menos 20 años (Angulo *et al.*, 2009). Sin embargo, excepto las estaciones meteorológicas automáticas, los observatorios climáticos tradicionales no siempre disponen del registro de precipitaciones necesario. De esta manera, es necesario el uso de índices de agresividad en estudios ambientales (Fournier, 1960) modificado por Arnoldus (1980) como Índice de Fournier Modificado (*IFM*), complementado con el Índice de concentración de Precipitaciones desarrollado por Oliver (1980).

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló con los datos mensuales y anuales de precipitaciones tomados en las estaciones meteorológicas de La Jíquima, Guaro, Pinares de Mayarí y Velasco (Tabla 1), pertenecientes al Instituto de Meteorología, en la provincia de Holguín, Cuba, entre los años 1975-2020.

Las estaciones meteorológicas antes mencionadas se encuentran ubicadas en áreas donde predominan los grupos de suelos Haplusterts, Endoaquerts, Calciaquerts, Haplustepts, Eutrudepts, Eutrudoxs, Haplustolls y Haprendolls (Soil Survey Staff, 2010); dedicados fundamentalmente al cultivo de la caña de azúcar, arroz, hortalizas, plátano, frijol, frutales, pastos naturales y a fines forestales. El clima de la región se considera tropical lluvioso, presenta inviernos secos y veranos húmedos, registrado como *Aw*, según la clasificación climática de Köppen-Geiger (Peel *et al.*, 2007).

Tabla 1.- Ubicación geográfica y características climáticas de las estaciones meteorológicas.

Estaciones meteorológicas	Coordenadas		Precipitación anual (mm)	Temperatura media (°C)	Altitud (msnm)
	Latitud N	Longitud W			
La Jíquima	20° 59' 18"	76° 32' 23"	1 124,4	25,1	106,77
Guaro	20° 40' 21"	75° 46' 57"	1 061,3	25,4	20,96
Pinares de Mayarí	20° 29' 14"	75° 47' 26"	1 601,3	21,5	647,04
Velasco	21° 04' 03"	76° 20' 42"	1 129,5	25,5	61,00

La agresividad climática se determinó mediante el índice de Fournier (1), que muestra una alta correlación con la cuantía de sedimentos arrastrados durante las escorrentías, al estimar las características erosivas (agresividad) basadas en el mes más lluvioso de cada año dentro de un lapso dado (Fournier, 1960).

$$IF_j = \frac{p_{máx_j}^2}{P} \quad (1)$$

Donde IF es el Índice de Fournier para el año j , $p_{máx}$ es la precipitación media concerniente al mes más lluvioso (mm) para el año j y P es la precipitación media anual (mm).

Resulta importante considerar que pueden existir zonas donde las precipitaciones tienen más de una máxima mensual o con elevados valores pluviométricos debido a la estacionalidad (Jordán y Bellinfante, 2000). Por lo que Arnoldus (1978), al utilizar la precipitación acumulada, propone el índice de Fournier modificado (2); que considera los valores pluviométricos de los 12 meses del año y no las precipitaciones del mes más lluvioso, al relacionar las precipitaciones mensuales con las anuales.

$$IFM_j = \frac{\sum_{i=1}^{12} (p_{ij})^2}{P_m} \quad (2)$$

Donde IFM_j es el índice de Fournier modificado (índice de agresividad de la lluvia) para el año j , p_{ij} es la precipitación mensual (mm) del mes i del año j y P_m es la precipitación media anual (mm).

La estacionalidad de la precipitación se determinó a través del índice de concentración de precipitación (3) propuesto por Oliver (1980), aplicado a escala anual para poder percibir si la precipitación anual se concentra en un solo mes o si se distribuye uniformemente a lo largo del año.

$$ICP_j = 100 \frac{\sum_{i=1}^{12} (p_{ij})^2}{P_j^2} \quad (3)$$

Donde ICP_j es el Índice de Concentración de Precipitación para el año j ; p_{ij} es la precipitación mensual (mm) del mes i del año j y P_j es la precipitación media anual (mm) del año j .

El ICP fue analizado también a escala estacional al considerar los períodos de mayor precipitación (período lluvioso, mayo-octubre) y de menor precipitación (período seco, noviembre-abril), según la ecuación (4) para el Índice de Concentración de Precipitación a escala estacional:

$$ICP_{estac} = 100 \frac{\sum_{i=j}^6 (p_{ij})^2}{\left(\sum_{i=j} P_{ij}\right)^2} \quad (4)$$

Donde ICP_{estac} es el Índice de concentración de Precipitación a escala estacional y p_{ij} es la precipitación mensual (mm) del mes i del año j dentro de cada estación o período.

Para la clasificación de los índices se utilizaron las siguientes categorías. Para el Índice de Fournier (Fournier, 1960): *Muy bajo* (< 50); *Bajo* (50-100); *Moderado* (100-150); *Alto* (150-200) y *Muy alto* (> 200). Para el Índice de Fournier Modificado (Arnoldus, 1978): *Muy bajo* (< 100); *Bajo* (100-200); *Moderado* (200-300); *Alto* (300-400) y *Muy alto* (> 400). Para el Índice de Concentración de Precipitación (Oliver, 1980): *Uniforme* (8,3-10%); *Moderadamente estacional* (10-15%); *Estacional* (15-20%); *Fuertemente estacional* (20-50%) e *Irregular* (> 50%).

Se realizó un análisis exploratorio de datos donde, para la descripción univariada, se utilizaron métodos numéricos (medidas de tendencia central, de dispersión y de forma). Se verificó el comportamiento, a lo largo del período, de los índices de agresividad y concentración de las precipitaciones en cada una de las estaciones meteorológicas. Para el procesamiento estadístico de los datos se utilizó el software Statistic 8.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 2 muestra los principales estadígrafos de tendencia central, de dispersión y de forma para los índices de agresividad y concentración de las precipitaciones en las cuatro estaciones meteorológicas de la provincia de Holguín. El Índice de Fournier (I/F) más elevado (mayor media) se observó en Pinares de Mayarí, seguido por Guaro y Velasco, cercanos entre sí. En La Jíquima, se encontró el valor más bajo. En el caso del Índice de Fournier modificado (I/FM), también Pinares de Mayarí mostró la mayor media, seguido por La Jíquima y Velasco (con medias cercanas entre sí). La media del índice de Fournier modificado más baja se encontró en la localidad de Guaro.

En todos los casos, el Índice de Fournier se clasifica como *bajo*, al encontrarse en el rango de 50-100. Para el Índice de Fournier modificado, la agresividad de la precipitación se considera *baja* (entre 100-200) para las estaciones meteorológicas de La Jíquima, Guaro y Velasco. Mientras que para Pinares de Mayarí se clasifica como *moderada*.

Este mayor comportamiento del Índice de Fournier y del Índice de Fournier modificado, que incrementa los riesgos de erosión hídrica de los suelos donde las precipitaciones son más elevadas (estación meteorológica Pinares de Mayarí) aumenta la necesidad de considerar prácticas conservacionistas dentro de los sistemas agrícolas (Cortez *et al.*, 2011) independientemente del predominio de áreas con fines forestales en la región.

En ambos índices, la mayor lejanía entre la mediana y la media, en la estación meteorológica de Guaro, seguida por Pinares de Mayarí y Velasco, indica que existen observaciones extremas de los índices de agresividad de las precipitaciones que provocan el desplazamiento de la media fuera del centro de distribución de los datos.

La varianza y la desviación estándar de los dos índices, muestran que en las estaciones meteorológicas de Guaro y Pinares de Mayarí existe una mayor dispersión de los valores observados con respecto a las medias. El coeficiente de variación indica que en Guaro existe una mayor dispersión de los datos alrededor de la media y que la probabilidad de encontrar un valor de los índices de agresividad de la precipitación cercano a esta es menor que en el resto de las estaciones meteorológicas.

En el caso de los estadígrafos de forma, los valores de la simetría (a partir del coeficiente de asimetría de Fisher), superiores a 0, indican que la deformación horizontal de los valores de la variable respecto al valor central de la media es asimétrica positiva a la derecha. Mientras que los valores de la curtosis muestran que la distribución de los valores es más apuntada que una distribución normal de igual media y varianza (leptocúrtica). Excepto en el Índice de Fournier modificado para la estación meteorológica de Velasco, donde la distribución de los valores del Índice de Fournier son menos apuntados (platicúrtica). El comportamiento señalado para los estadígrafos de forma es mucho más marcado en Guaro y Pinares de Mayarí.

Tabla 2.- Estadígrafos de tendencia central, de dispersión y de forma de los índices que determinan la agresividad y concentración de las precipitaciones en las cuatro estaciones meteorológicas.

	Media	Media na	Error están dar	Desv. están dar	Varian za	C. V. (%)	Asime tría	Curto sis
Índice de Fournier								
La Jíquima	56,00	50,72	2,89	19,62	384,77	35,03	1,09	0,72
Guaro	62,95	44,24	7,96	53,99	2915,1 6	85,77	2,51	7,23
Pinares de Mayarí	73,04	60,02	6,29	42,67	1820,9 6	58,42	1,81	3,41
Velasco	61,94	50,33	5,12	34,69	1203,5 8	56,01	1,26	1,13
Índice de Fournier modificado								
La Jíquima	156,01	153,68	4,49	30,43	926,05	19,51	0,63	0,04
Guaro	143,97	120,96	9,05	61,38	3767,5 2	42,63	1,87	4,23
Pinares de Mayarí	201,82	194,09	7,60	51,53	2655,0 0	25,53	1,60	4,15
Velasco	151,96	147,37	5,98	40,53	1643,0 7	26,67	0,52	-0,73
Índice de Concentración de Precipitación (%)								
La Jíquima	14,01	13,37	0,32	2,18	4,73	15,52	2,39	9,26
Guaro	13,30	12,72	0,41	2,77	7,68	20,84	1,09	1,00
Pinares de Mayarí	12,58	12,42	0,25	1,72	2,95	13,67	1,04	1,42
Velasco	13,61	12,99	0,39	2,65	7,02	19,48	1,84	5,25

Índice de Concentración de Precipitación estacional (% , mayo-octubre) ¹								
La Jíquima	20,84	20,16	0,42	2,83	8,00	13,57	1,62	3,13
Guaro	23,96	21,48	0,91	6,14	37,75	25,64	1,56	2,21
Pinares de Mayarí	20,73	19,86	0,41	2,75	7,57	13,27	1,29	1,36
Velasco	22,16	21,79	0,49	3,34	11,19	15,09	0,84	0,32
Índice de Concentración de Precipitación estacional (% , noviembre-abril) ²								
La Jíquima	28,65	26,34	1,24	8,43	71,05	29,42	1,61	3,08
Guaro	26,81	26,75	0,94	6,36	40,48	23,74	1,04	2,06
Pinares de Mayarí	26,37	25,71	0,78	5,27	27,75	19,97	0,42	-0,76
Velasco	26,75	24,70	1,13	7,69	59,19	28,76	1,39	1,60

Desv. estándar: Desviación estándar; C. V.: Coeficiente de variación; ¹Período lluvioso; ²Período seco.

El Índice de Concentración de Precipitación (*ICP*) mostró sus valores más elevados (mayores medias) en las estaciones meteorológicas de La Jíquima y Velasco (14,01 y 13,61%, respectivamente). En las localidades de Guaro y Pinares de Mayarí, el Índice de Concentración de Precipitación fue ligeramente más bajo, con valores (medias) de 13,30 y 12,58%, respectivamente; lo que indica una estacionalidad de las precipitaciones menos acentuada. Aunque, en todos los casos, el Índice de Concentración de Precipitación se clasifica como *moderadamente estacional*.

Resultados similares se obtuvieron, entre 1970-2000, a partir de la precipitación mensual obtenida en estaciones meteorológicas ubicadas en la región de los Llanos de Venezuela. Donde se encontró que el Índice de Concentración de Precipitación oscilaba dentro de un rango del 11-15% (*moderadamente estacional*) hacia los extremos oriental y occidental de dicha región (Lobo *et al.*, 2010),. Esta categoría del Índice de Concentración de precipitación es común encontrarla en regiones donde las precipitaciones se distribuyen en varios meses dentro del año (Cortez *et al.*, 2011) o en aquellas donde existen dos picos de precipitaciones (Rey *et al.*, 2012).

En el caso del Índice de Concentración de Precipitación estacional para el período lluvioso (*ICP_{estac}*, mayo-octubre) la mayor media se observó en Guaro (23,96%), seguida por Velasco (22,16%). Los menores valores se encontraron en las localidades de La Jíquima (20,84%) y Pinares de Mayarí (20,73%), cercanos entre sí. Las medias para el Índice de Concentración de Precipitación estacional para el período seco

(*ICPestac*, noviembre-abril), aumentaron con respecto al período anterior (lluvioso) en las cuatro estaciones meteorológicas. La mayor media se observó en La Jíquima (28,65%), seguida por Guaro, Velasco y Pinares de Mayarí (26,81, 26,75 y 26,37%, respectivamente). En ambos períodos, en las cuatro estaciones meteorológicas, el *ICPestac* se clasifica como *fuertemente estacional*.

La mayor lejanía entre la mediana y la media estuvo dada en la estación meteorológica de La Jíquima para el Índice de Concentración de Precipitación y el Índice de Concentración de Precipitación estacional (período seco) y en Pinares de Mayarí para el Índice de Concentración de Precipitación estacional (período lluvioso). Por lo que, para esos índices, en esas localidades existen observaciones extremas de los índices de concentración de precipitación que provocan el desplazamiento de la media fuera del centro de distribución de los datos.

La presencia de observaciones extremas en los valores de los índices de concentración de precipitación es menos notable en las estaciones meteorológicas de Pinares de Mayarí, Velasco y Guaro, para el Índice de Concentración de Precipitación, el Índice de Concentración de Precipitación estacional (período lluvioso) e Índice de Concentración de Precipitación estacional (período seco), respectivamente. Es en estas localidades donde existe mayor cercanía entre los valores de la mediana y la media.

La varianza, la desviación estándar y el coeficiente de variación del Índice de Concentración de Precipitación y del Índice de Concentración de Precipitación estacional para el período lluvioso (mayo-noviembre) indica que en la estación meteorológica de Guaro existe una mayor dispersión de los valores observados con respecto a las medias y que la probabilidad de encontrar un valor de concentración de la precipitación cercano a estas es menor que en el resto de las estaciones meteorológicas.

Los valores de la simetría (a partir del coeficiente de asimetría de Fisher), superiores a 0, muestran que la deformación horizontal de los valores de la variable respecto al valor central de la media es asimétrica positiva a la derecha en las cuatro estaciones meteorológicas. Mientras que los valores de la curtosis muestran que la distribución de los valores de los tres índices son más apuntados que una distribución normal de igual

media y varianza (leptocúrtica) en La Jíquima, Guaro y Velasco. Similar comportamiento ocurre en Pinares de Mayarí, excepto para el Índice de Concentración de Precipitación estacional para el período seco (noviembre-abril), donde la distribución de los valores son menos apuntados que una distribución normal de igual media y varianza (platicúrtica).

La Figura 1 muestra que los valores del Índice de Fournier en la estación meteorológica de La Jíquima oscilaron entre las categorías de *muy bajo* y *bajo*, y solamente en dos ocasiones (en los años 2004 y el 2008) este índice se clasificó como *moderado*, al alcanzar cifras de 105,37 y 109,88, respectivamente; concentrados en un lapso relativamente corto.

Además, en la estación meteorológica de Guaro, el Índice de Fournier alcanza los mayores picos con valores clasificados como *moderados* en los años 1977, 1987, 1990 y 1999 (con índices de 113,01, 113,28, 140,17 y 130,57, respectivamente); *alto* en el año 2006 (*IF* de 192,29) y *muy altos* en los años 1993 y 2001 (*IF* de 291,36 y 203,41, en cada uno). A partir del año 2007 se prolonga, hasta el final del período evaluado, un lapso donde los valores de este índice, en esa localidad, oscilan entre *muy bajo* y *bajo*, con un predominio de la primera categoría antes mencionada.

En la estación meteorológica de Pinares de Mayarí, cercana a Guaro pero con características topográficas y climáticas diferentes, es notable también la presencia de varios picos en los que el Índice de Fournier se clasificó como *moderado* en los años 1986, 1990, 2001, 2006 y 2018 (con índices de 104,94, 106,51, 136,27, 132,63 y 113,36, respectivamente); *alto*, en el año 1997 (*IF* de 173,89) y *muy alto* en los años 1982 y 1993 (*IF* de 204,22 y 214,84, en cada uno).

En la localidad de Velasco, el Índice de Fournier se clasificó como *moderado* en los años 1984, 1990, 2002, 2004, 2012 y 2017 (con índices de 114,63, 133,71, 128,74, 105,32, 153,55 y 119,77, respectivamente) y *alto* en el año 1982 (*IF* de 169,46). Los picos formados en los dos últimos años mencionados dentro de la serie de índices de Fournier clasificados como *moderados*, se encuentran dentro del período 2009-2017, lapso en el que las otras tres estaciones meteorológicas muestran valores que se clasifican entre *muy bajos* y *bajos*.

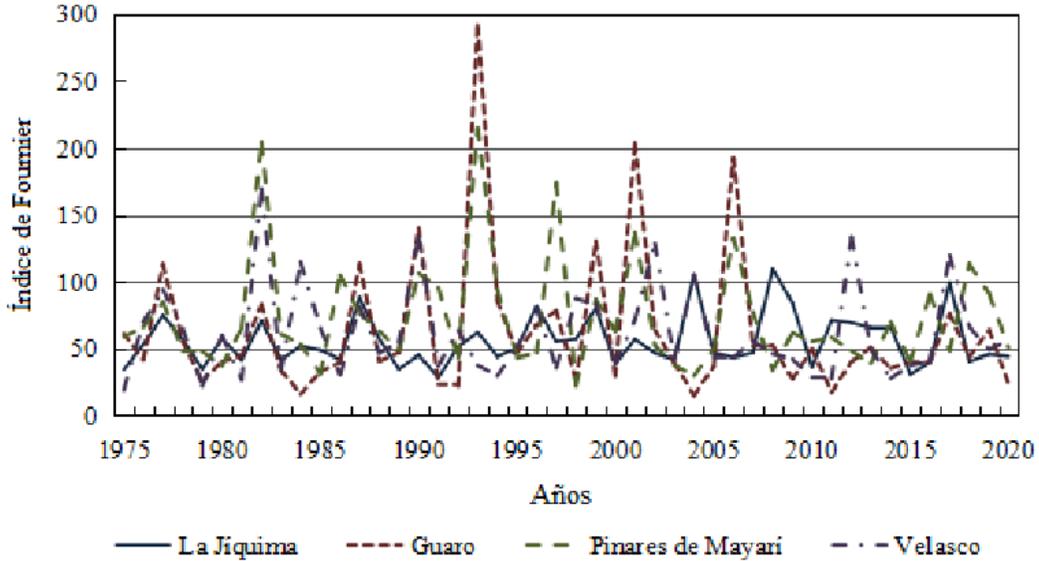


Figura 1.- Comportamiento del Índice de Fournier durante el período 1975-2020 en las cuatro estaciones meteorológicas.

La Figura 2 muestra que en la estación meteorológica de La Jíquima, el Índice de Fournier modificado se clasificó durante casi todo el período como *bajo*. Para los años en los que el Índice de Fournier modificado se clasificó como *moderado* se aprecia un acortamiento entre un año y el siguiente, para alcanzar en los años 1980, 1996, 2004 y 2007 los valores de 218,82, 213,98, 236,92 y 204,96, respectivamente. Hasta que, en el último año mencionado, estos pico cesan definitivamente hasta el año 2020. En ningún año el Índice de Fournier modificado se clasificó como *muy bajo*.

La localidad de Guaro mostró tres períodos prolongados en los que el Índice de Fournier modificado se clasificó de *muy bajo* a *bajo*, 1978-1986, 1994-2000 y 2008-2020. Se categorizó como *moderado* en los años 1977, 1987, 1990, 2001, 2006 y 2007 (con un *IFM* de 226,99, 232,15, 227,95, 275,54, 284,56 y 202,02). Mientras que se clasificó como *alto* el Índice de Fournier modificado en el año 1993 (*IFM* de 381,43).

En Pinares de Mayarí se observa que, salvo en años muy puntuales, el Índice de Fournier modificado siempre va a ser el más alto entre las cuatro estaciones meteorológicas. En dichos años específicos, los valores del Índice de Fournier modificado generalmente van a estar por debajo de las cifras alcanzadas en las estaciones meteorológicas de

Velasco o La Jíquima, o de las dos al mismo tiempo. Varios de los picos, en los que el *IFM* alcanza la categoría de *moderado* pueden considerarse bianuales (1986-1987, 1990-1991 y 1996-1997), muy cercanos entre sí (1999 y 2001), muy cercanos a los bianuales (1994), cercanos a otros años con categorías más altas (1994 y 2007) o, como en el caso del año 2014, cercano a un período relativamente prolongado (2016-2020) en el que en todos los años el Índice de Fournier modificado se clasificó como *moderado*. En el año 2006, el Índice de Fournier modificado alcanzó la categoría de *alto* y anteriormente, en el 1993, la de *muy alto*, con valores de 319,58 y 400,89, respectivamente.

Rodríguez *et al.* (2011) al analizar la agresividad climática de la región sureste (Guayana y Delta) de Venezuela, durante el período 1970-2000, observaron que los mayores valores del Índice de Fournier modificado coincidían con las zonas más lluviosas de la región, lo que la convertía en potencialmente propensa a los procesos de erosión de los suelos por lo que se hacían necesarios manejos agrícolas conservacionistas acordes a su alta vulnerabilidad.

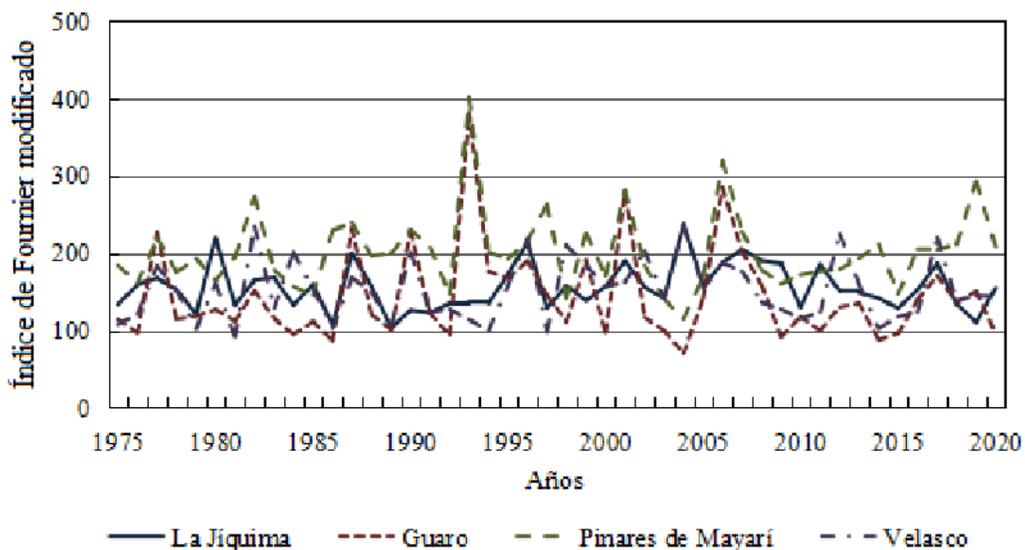


Figura 2.- Comportamiento del Índice de Fournier modificado durante el período 1975-2020 en las cuatro estaciones meteorológicas.

En Velasco, el Índice de Fournier modificado también mostró períodos en los que se clasificó como de *muy bajo* a *bajo*, aunque menos prolongados que en Guaro y La Jíquima. Los lapsos más largos fueron 1975-1981 y 2005-2011. Hubo años, cercanos entre sí, en los que el *IFM* se clasificó como *moderado* (1982 y 1984, 1996 y 1998, 2002 y 2004). Además, los años 1990, 2012 y 2017 también se clasificaron dentro de la clase antes mencionada.

La Figura 3 muestra que en las cuatro estaciones meteorológicas existe un predominio de los años en los que el Índice de Concentración de Precipitación se clasifica como *moderadamente estacional* y *estacional*, con períodos prolongados de la primera con algunos años intercalados de la segunda categoría. En tres estaciones meteorológicas el Índice de Concentración de Precipitación se clasificó como *fuertemente estacional*, en La Jíquima, en el año 2004 (*ICP* de 24,09%), en Guaro, en el año 2001 (*ICP* de 21,87%) y en Velasco en los años 1982 y 2004 (*ICP* de 21,07 y 24,07%, respectivamente).

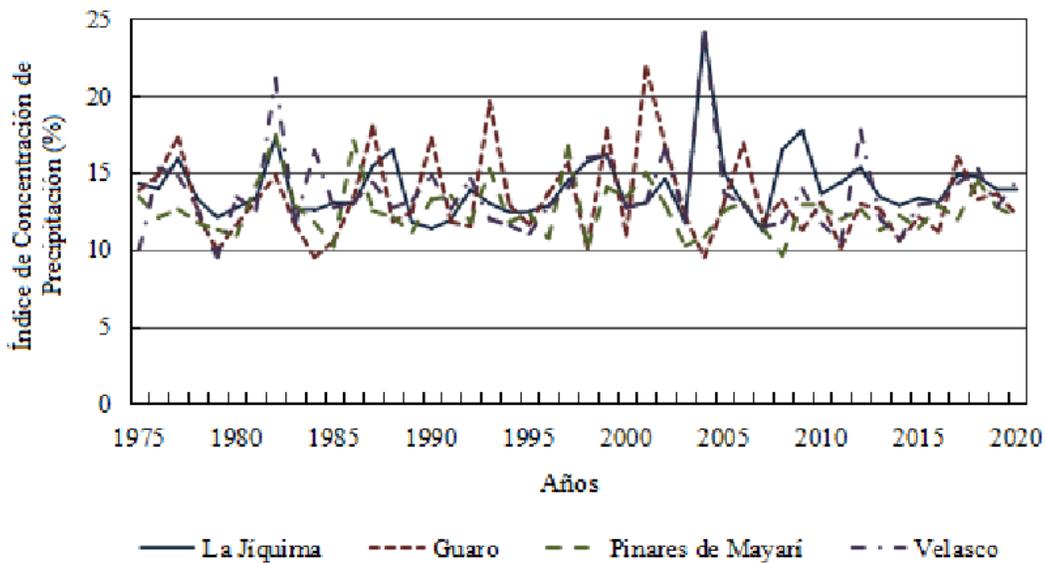


Figura 3.- Comportamiento del Índice de Concentración de Precipitación durante el período 1975-2020 en las cuatro estaciones meteorológicas.

En estas mismas estaciones meteorológicas, pero en sentido contrario, hubo años en los que el Índice de Concentración de Precipitación se clasificó como *uniforme*. En

Guaro, en los años 1979, 1984 y 2004 (*ICP* de 9,93, 9,47 y 9,45%, respectivamente). En Pinares de Mayarí, en el año 2008 (9,60%). En Velasco, en los años 1975 y 1979 (*ICP* de 9,96, 9,46%, respectivamente).

En la estación meteorológica de La Jíquima no se encontraron años en los que el *ICP* se clasificara como *fuertemente estacional* o *uniforme*. En ninguna estación meteorológica hubo años en los que el Índice de concentración de Precipitación estuviera dentro de la categoría de *irregular*.

La Figura 4 muestra que, de forma general, el Índice de Concentración de Precipitación estacional (*ICPestac*) para los períodos lluvioso y seco de cada año durante el período 1975-2020 en todas las localidades se clasificó como *estacional* y *fuertemente estacional*. Solamente en La Jíquima, durante el período seco, en los años 2002 y 2020 el *ICPestac* se clasificó como *irregular*, con valores de 53,12 y 57,74%, respectivamente.

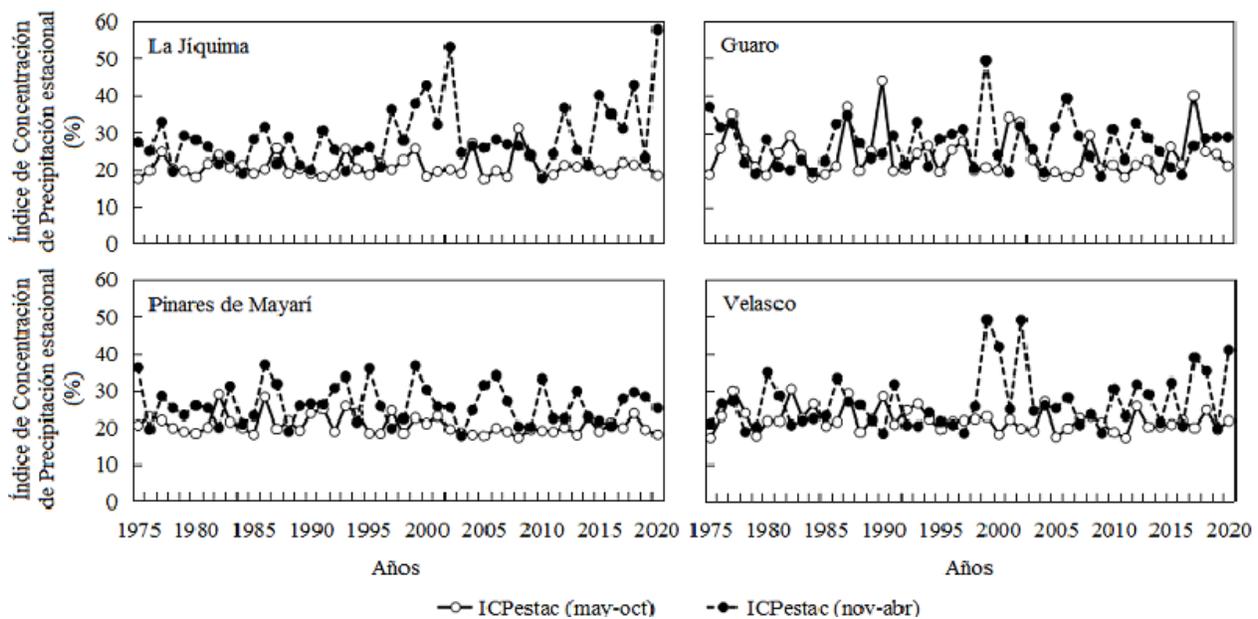


Figura 4.- Comportamiento del Índice de Concentración de Precipitación estacional mayo-octubre (período lluvioso) y noviembre-abril (período seco) durante el período 1975-2020 en las cuatro estaciones meteorológicas.

Además, puede observarse (también de forma general) que los valores del Índice de

Concentración de Precipitación estacional son mayores durante el período seco. Este fenómeno agrava aún más el manejo de los recursos hídricos durante los meses de noviembre-abril; donde, a la baja disponibilidad de agua, se le agrega entonces la concentración de las precipitaciones durante determinados meses de este período (ya de por sí, seco). Además, una mayor concentración de las precipitaciones puede tener un efecto erosivo más acentuado durante el período seco; con escasa vegetación que actúe como cobertura del suelo ante la energía cinética de las gotas de lluvia.

Cortez *et al.* (2011) plantean que las precipitaciones constituyen un factor de presión sobre los procesos erosivos; no solo por la agresividad con la impactan sobre el suelo, sino también al estar concentradas en un corto lapso estacional.

Este comportamiento es más acentuado en la localidad de Guaro y menos notable en Pinares de Mayarí. La mayor estacionalidad de las precipitaciones durante el período seco con respecto al período lluvioso en cada año aumenta hacia la segunda mitad del período 1975-2020, pues a partir del 1995, los años en los que se manifiesta este comportamiento disminuyen drásticamente.

CONCLUSIONES

El Índice de Fournier en La Jíquima solamente en los años 2004 y el 2008 se clasificó como *moderado*. En Guaro alcanzó la categoría de *moderado* en los años 1977, 1987, 1990 y 1999; *alto* en el año 2006 y *muy alto* en los años 1993 y 2001. En Pinares de Mayarí fue notable la presencia de varios picos con un *IF* clasificado de *moderado* en los años 1986, 1990, 2001, 2006 y 2018; *alto*, en el año 1997 y *muy alto* en los años 1982 y 1993. En Velasco fue *moderado* en los años 1984, 1990, 2002, 2004, 2012 y 2017 y *alto* en el año 1982.

El Índice de Fournier modificado en La Jíquima se clasificó casi siempre de *bajo*. Para los años con la clase de *moderado* (1980, 1996, 2004 y 2007) se aprecia un acortamiento del tiempo entre los picos. En Guaro se observaron tres períodos prolongados en los que el *IFM* se clasificó de *muy bajo* a *bajo*, 1978-1986, 1994-2000 y 2008-2020. Se categorizó como *moderado* en los años 1977, 1987, 1990, 2001, 2006 y 2007 y *alto* en el año 1993. En Pinares de Mayarí el *IFM* generalmente va a ser el más alto de las cuatro localidades. En Velasco, el *IFM* mostró períodos de *muy bajo* a *bajo*, aunque menos prolongados que en Guaro y La Jíquima. Hubo años, cercanos entre sí, en los que el *IFM* se clasificó como *moderado* (1982 y 1984, 1996 y 1998, 2002 y 2004).

El Índice de Concentración de Precipitación en las cuatro estaciones meteorológicas se clasificó, predominantemente, como *moderadamente estacional* y *estacional*. En tres estaciones meteorológicas el Índice de Concentración de Precipitación alcanzó la categoría de *fuertemente estacional*, en La Jíquima, en el año 2004, en Guaro, en el 2001 y en Velasco en 1982 y 2004. En estas mismas estaciones meteorológicas, pero en sentido contrario, hubo años en los que el *ICP* se clasificó como *uniforme*. En Guaro, en los años 1979, 1984 y 2004, en Pinares de Mayarí, en el año 2008, en Velasco, en los años 1975 y 1979. En La Jíquima no se encontraron años en los que el *ICP* se clasificó como *fuertemente estacional* o *uniforme*. En ninguna estación meteorológica hubo años en los que el *ICP* estuviera dentro de la categoría de *irregular*.

El Índice de Concentración de Precipitación estacional, de forma general, para los períodos lluvioso y seco de cada año durante el período 1975-2020 en todas las localidades se clasificó como *estacional* y *fuertemente estacional*. Solamente en La

Jíquima, durante el período seco, en los años 2002 y 2020 el *ICPestac* se clasificó como *irregular*. También de forma general, los valores del *ICPestac* fueron mayores durante el período seco. De esta forma se complejiza el manejo de los recursos hídricos pues, a la baja disponibilidad de agua, se le suma la concentración de las precipitaciones durante determinados meses de este período. Este comportamiento es más acentuado en la localidad de Guaro y menos notable en Pinares de Mayarí. La mayor estacionalidad de las precipitaciones durante el período seco con respecto al período lluvioso en cada año se acentúa hacia la segunda mitad del período 1975-2020, pues a partir del 1995, la cantidad de años en los que se manifiesta este fenómeno disminuye drásticamente.

BIBLIOGRAFÍA

- Abatzoglou, J. T., Redmond, K. T. y Edwards, L. M. (2009). Classification of regional climate variability in the state of California. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 48(8), 1527-1541.
- Acosta, Z., Reyes, G. y Montejo J. (2003). Pérdida de suelo y propuesta de recuperación en áreas críticas a través de sistemas silvopastoriles en la región de Jimaguayú, Camaguey, Cuba. *Ibugana. Boletín del Instituto de Botánica*. 11(1), 12-18.
- Álvarez-Olguín, G., Sustaita-Rivera, F., Bautista-Sánchez, G. y Pedro-Santos, G. (2016). Ordenamiento ecológico territorial de Guadalupe Cuautepec, San Juan Bautista Suchitepec, Oaxaca, desde una perspectiva técnica y comunitaria. *Madera y Bosques*, 22(1), 155-167.
- Angulo, M. y Beguería, S. (2013). Análisis de la erosividad de la lluvia: Procesos, índices y fronteras de conocimiento. *Cuaternario y Geomorfología*, 27(1-2), 53-69.
- Angulo Martínez, M., López Vicente, M., Vicente Serrano, S. M. y Beguería, S. (2009). Mapping rainfall erosivity at a regional scale, a comparison of interpolation methods in the Ebro Basin (NE Spain). *Hydrological Earth Systems Science*, 13, 1907-1920.
- Arnoldus, H. M. (1978). An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation. *En: De Boodst, M.; Gabriels, D. (Eds.). Assessments of erosión*, 127-132. John Wiley y Sons, Inc. Chichester, Gran Bretaña.
- Back, Á. J., Gonçalves, F. N., Fan, F. M. (2019). Spatial, seasonal, and temporal variations in rainfall aggressiveness in the south of Brazil. *Engenharia Agrícola*, 39(4), 466-475.
- Badr, H. S., Zaitchik, B. F. y Dezfuli, A. K. (2015). A tool for hierarchical climate regionalization. *Earth Science Informatics*. 8(4), 949-958.

- Ballari, D. y col. (2018). Spatial functional data analysis for regionalizing precipitation seasonality and intensity in a sparsely monitored region: Unveiling the spatio-temporal dependencies of precipitation in Ecuador. En: *International Journal of Climatology* 38, 3337–3354.
- Sáez Bravo, B. A. (2019). Erosividad de la precipitación en el Norte Grande de Chile. Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias de la Ingeniería con mención en Ingeniería Civil, 39.
- Besteiro, S. y M. Delgado (2011). Evaluación de la agresividad de las precipitaciones en la cuenca del Arroyo El Pescado, provincia de Buenos Aires (Argentina). En: *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata* 110, 82-90.
- Bronzoni, G., Coghi, A., Cubero, D., Dandois, J. y Dercksen, P. (1996). Manual de manejo y conservación de suelos y aguas. Universidad Estatal a Distancia San José, Costa Rica. Ed. EUNED, 14- 23.
- Cardoso, D. P., Avanzi, J. C., Ferreira, D. F., Acuña-Guzman, S. F., Silva, M. L. N., Pires, F. R. y Curi, N. (2022). Rainfall erosivity estimation: Comparison and statistical assessment among methods using data from Southeastern Brazil. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*, 202, 46.
- Cardoso, D. P., Silva, B. P. M., Duarte, S. F. P., Silva, M. L. N., Viola, M. R. y Avanzi, J. C. (2017). Modelo matemático para estimativa da erosividade da chuva para região de Pirassununga-SP. In: XXXVI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo - Amazônia e seus Solos: Peculiaridades e Potencialidades; 30 de Jul-4 de Aug ; Belém, Pará. Belém: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.
- Choudhury, G., Tyagi, B., Singh, J., Sarangi, C. y Tripathi, S. N., (2019). Aerosol-orography precipitation – A critical assessment. *Atmospheric Environment* 116831. .

- Coman, A. M., Lacatusu, G., Macsim, A. M. y Lazar, G., (2019). Assessment of soil erosion using Fournier indexes to estimate rainfall erosivity. *Environmental Engineering and Management Journal*, 19(8), 1739-1745.
- Consuelo Hernández, Muñoz, P., Bernal, Y., León, G., y Milián A. (2010). Experiencias en la protección del suelo en la provincia Cienfuegos. Ponencia. Congreso Internacional de Ciencias del Suelo. C-IV-88. La Habana.
- Cortez, A., Rodríguez, M.F., Rey, J. C., Lobo, D., Parra, R. M.; Ovalles, F., Gabriels, D. (2011). Análisis de la agresividad y concentración de las precipitaciones en Venezuela. II.- Región Noroccidental. *Bioagro*, 23(1), 13-18.
- Daniela Jacob (2001). En : *Climate of the 21 st Century : Changes and Risks. Wissenschaftliche Auswertungen*. Hamburg, Germany. ISBN 3-00-002925-7. 180-181.
- De Luis, M. y col. (2011). «Precipitation concentration changes in Spain 1946–2005». En: *Natural Hazards and Earth System Science* 11, 1259–1265. (2011).
- Dewitte, B. Takahashi, K. (2019). Extreme El Niño Events, in: *Tropical Extremes. Elsevier*, 165–201.
- Diodato, N., Bellocchi, G., Romano, N., Chirico, G.B. (2011). How the aggressiveness of rainfalls in the Mediterranean lands is enhanced by climate change. *Climate Change*, 108, 5-599.
- Duan, X., Gu, Z., Li, Y. y Xu, H. (2016). The spatiotemporal patterns of rainfall erosivity in Yunnan Province, southwest China: An analysis of empirical orthogonal functions. *Global and Planetary Change*, 144, 82-93.
- Echarri, L. (1998). Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente. Ed. Teide. Libro electrónico, 200. España.

Edesco, J. Marauri, A. Merino, A. Gonzales, M. (1997). Determinación de la tasa de erosión hídrica en función del manejo forestal: la cuenca del rio Santa Lucía. Gipuzkoa, 79.

Ezenwaji, E. C. Nzoiwu y G. Chima (2017). «Analysis of Precipitation Concentration Index (PCI) for Awka Urban Area, Nigeria». En: *Hydrology: Current Research* 84, 282-287.

Fournier, F. (1960). *Climat et erosion; la relation entre l'érosion du sol par l'eau et les précipitations atmosphériques*. 1 ed. Paris, France. Presses universitaires de France.

García L., Morales J. y Sousa A. (2018). A new methodology for estimating rainfall aggressiveness risk based on daily rainfall records for multi-decennial periods. *Science of the Total Environment*, 615, 564-571.

García-Barrón, L., Camarillo, J. M., Morales, J. y Sousa, A. (2015). Temporal analysis (1940-2010) of rainfall aggressiveness in the Iberian Peninsula basins. *Journal of Hydrology*, 525, 747-759.

García-Barrón, L., Morales, J. y Sousa, A. (2018). A new methodology for estimating rainfall aggressiveness risk based on daily rainfall records for multi-decennial periods. *Science of the Total Environment*, 615, 564-571.

Gaspari, F. J., Rodríguez Vagaría, A. M., Senisterra, G. E. y Delgado, M. I. (2008). Determinación espacio-temporal del índice de agresividad de precipitaciones en el sistema serrano de Ventania. Provincia de Buenos Aires-Argentina. *Revista Geográfica Venezolana*, 49(1), 57-66.

Gil, E., Kijowska-Strugała M. y Demczuk, P. (2021). Soil erosion dynamics on a cultivated slope in the Western Polish Carpathians based on over 30 years of plot studies. *Catena*, 207, 105682.

González, J. y Valdés, J. (2008). A regional monthly precipitation simulation model

based on an L-moment smoothed statistical regionalization approach. *J. Hydrol.* 348, 27–39..

Haile, A., Rientjes, T., Habib, E. y Jetten, V. (2010). Rain event properties and dimensionless rain event hyetographs at the source of the Blue Nile River. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 7, 5805–5849.

Hartmut, G. (2001). Climate and its variability. En : Climate of the 21 st Century, *Changes and Risks*. Wissenschaftliche Auswertungen. Hamburg, Germany, 15-21 .

Hernando, D. y M.G Romana, (2016) Estimate of the (R) USLE rainfall erosivity factor from monthly precipitation data in mainland Spain. *Journal of Iberian Geology*, 42(1)113–124.

Hoomehr, S., Schwartz, J. y Yoder, D. (2016). Potential changes in rainfall erosivity under GCM climate change scenarios for the southern Appalachian region, USA. *Catena*, 136, 141-151.

Ilbay-Yupa, M., Zubieta Barragán, R. y Lavado-Casimiro, Z. (2019). Regionalización de la precipitación, su agresividad y concentración en la cuenca del río Guayas, Ecuador. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*, 30(2), 57-76.

Jane Siqueira (2010). Evolução do sistema do plantio direto e produção de sedimento no Rio Grande do Sul. Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Solos e nutrição de plantas. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba. Brasil, 118.

Jordán, A. N., Bellinfante (2000). Cartografía de la erosividad de la lluvia estimada a partir de datos pluviométricos mensuales en el Campo de Gibraltar (Cádiz). *Edafología*, 7(3), 83-92.

Julia Gaspari, Rodríguez, V., Martín, A., Sanisterra, G. y Delgado, M. (2008).

Determinación espacio-temporal del índice de agresividad de precipitaciones en el sistema serrano de Ventania. Provincia de Buenos Aires-Argentina. *Revista Geográfica Venezolana*, 49(1), 57-66.

Khosrowpanah, S. (2001). Rainfall erosivity factors (r-factors) for selected Islands in the Federated States of Micronesia. Water and Environmental Research Institute of the Western Pacific. University of Guam. Technical Report No. 92, 1 -28.

Kunz, M. y Wassermann, S.,(2011). Sensitivity of flow dynamics and orographic precipitation to changing ambient conditions in idealised model simulations. *Meteorologische Zeitschrift*, 20(2), 199-215.

Lee, J. H. y Heo, J. H. (2011). Evaluation of estimation methods for rainfall erosivity based on annual precipitation in Korea. *Journal of Hydrology*, 409, 30-48.

Lince, S. L. A. y Castro, Q. A. F. (2015). Erosividad de la lluvia en la región cafetera de Quindío, Colombia. *Revista Cenicafé*, 66(1), 25-31.

Llanes, J., Cabrera, E., Otero, A., Fernández, M. y Rivera, J. (2010). Efecto de la tecnología de la asociación maíz - frijol terciopelo en el mejoramiento del suelo y en el rendimiento y calidad del cultivo del tabaco. Ponencia. Congreso Internacional de Ciencias del Suelo. La Habana

Lobo, G. P. y Bonilla, C. A. (2015) Effect of temporal resolution on rainfall erosivity estimates in zones of precipitation caused by frontal systems. *Catena*, 135, 202-207.

Lobo, D., Cortez, A., Rodríguez, M. F., Ovalles, F., Rey, J. C., Gabriels, D. y Parra, R. M. (2010). Análisis de la agresividad y concentración de las precipitaciones en Venezuela. I.- Región de Los Llanos. *Bioagro*, 22(3), 169-176.

Mancilla, G. (2008). Uso de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) en el campo forestal. Apuntes docentes. Universidad de Chile. 7-13.

- María Kouli, Soupios P. y Vallianatos, F. (2008). Soil erosion prediction using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) in a GIS framework, Chania, Northwestern Crete, Greece. *Environmental Geology*, 14.
- Martín Fernández, L. y Martínez Núñez, M. (2011). An empirical approach to estimate soil erosion risk in Spain. *Science of the Total Environment*, 409, 3114-3123.
- Mello, C. R., Viola, M. R., Beskow, S. y Norton, L. D. (2013). Multivariate models for annual rainfall erosivity in Brazil. *Geoderma*, 202-203, 88-102.
- Mondal, A., D. Khare y S. Kundu (2016). Change in rainfall erosivity in the past and future due to climate change in the central part of India. *International Soil and Water Conservation Research*, 43, 186-194.
- Nathan, R. y McMahon, T. (1990). Identification of Homogeneous Regions for the Purposes of Regionalization. *Journal of Hydrology*. 121, 217-238.
- Oliver, J. (1980). «Monthly precipitation distribution: a comparative index». En: *The Professional Geographer* 32.3, 300-309.
- Oliver, J. E. (1980). Monthly precipitation distribution: A comparative index. *The Professional Geographer*; 32(3), 300-309.
- Ouarda, T., Bâ, K., Diaz, C., Cârsteanu, A., Chokmani, K., Gingras, H., Quentin, E., Trujillo, E. y Bobée, B. (2008). Intercomparison of regional flood frequency estimation methods at ungauged sites for a Mexican case study. *J. Hydrol.* 348, 40-58.
- Peel, M.-C., Finlayson, B. L. y McMahon, T. A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11, 1633-1644.
- Petkovšek, G. y M. Mikoš (2004) Estimating the R factor from daily rainfall data in the subMediterranean climate of southwest Slovenia. *Hydrological Sciences Journal*,

49(15), 869–877.

Philander, S. (2019). El Niño Southern Oscillation Models, in: *Encyclopedia of Ocean Sciences*. Elsevier, 475–478.

Planas, G. (1993). Ejemplo de aplicación de la Ecuación Universal. En: *Pérdidas por erosión hídrica de los suelos de Cuba*. Ed. Científico-Técnica. La Habana, 30.

Ramos, M. C., Lizaga, I., Gaspar, L., Quijano, L. y Navas, A. (2019). Effects of rainfall intensity and slope on sediment, nitrogen and phosphorous losses in soils with different use and soil hydrological properties. *Agricultural Water Management*, 226, 105789.

Rasel, A.H., M. Islam y M. Keramat (2016). «Analysis of Annual and Seasonal Precipitation Concentration Index of North-Western Region of Bangladesh». En: *International Conference on Computer, Communication, Chemical, Materials and Electronic Engineering*, 107-110.

Rey, J. C., Rodríguez. M. F., Cortez, A., Lobo, D., Ovalles, F., Gabriels, D. y Parra, R. M. (2012). Análisis de la agresividad y concentración de las precipitaciones en Venezuela. IV.- Región Los Andes. *Bioagro*, 24(2), 115-120.

Rutebuka, J., De Taey, S., Kagabo, D. y Verdoodt, A. (2020). Calibration and validation of rainfall erosivity estimators for application in Rwanda. *Catena*, 190, 104538.

Saha, M., Sauda, S. S., Real, H. R. K. y Mahmud, M. (2022). Estimation of annual rate and spatial distribution of soil erosion in the Jamuna basin using RUSLE model: A geospatial approach. *Environmental Challenges*, 8, 100524.

Sánchez Moreno, J.F., Mannaerts, C.M. y Jettena, V. (2014). Rainfall erosivity mapping for Santiago Island, Cape Verde. *Geoderma*, 217, 74-82.

- Sarricolea, P. y col. (2019). «Trends of daily precipitation concentration in Central-Southern Chile». En: *Atmospheric Research*, 215, 85–98.
- Satyanarayana, P. y Srinivas, V. (2008). Regional frequency analysis of precipitation using large-scale atmospheric variables. *Journal of Geophysical Research – Atmospheres*, 113.
- Schär, C. y Frei, C. (2005). Precipitación orográfica y cambio climático. *El Cambio global y regiones montañosas*, 255-266. Springer, Dordrecht.
- Sevruk, B. (2004). Niederschlag als Wasserkreislauf element. Theorie und Praxis der Niederschlagsmessung.. *Zurich-Nitra: Eigenverlag ETH Zurich*.
- Soil Survey Staff. (2010). Key to Soil Taxonomy. 11th Edition. United States Department of Agriculture & Natural Resources Conservation Service. Washington, D.C. 346.
- Valdés-Pineda, R. y col. (2016). «Spatio-temporal trends of precipitation, its aggressiveness and concentration, along the Pacific coast of South America (36–49 °S)». En: *Hydrological Sciences Journal* 61, 2110–2132.
- Vantas, K., Sidiropoulos, E. y Evangelides, C. (2019). Rainfall erosivity and its estimation: Conventional and machine learning methods. *In*: Hrissanthou, V.; Kaffs, K. (editors). *Soil erosion-rainfall erosivity and risk assessment*. Rijeka, 1-19.
- Watson, C. y Lane, T. (2012). Sensitivities of orographic precipitation to terrain geometry and upstream conditions in idealized simulations. *Journal of the Atmospheric Sciences* 69(4), 1609, 1208-1231
- Wischmeier, W. y Smith, D. (1978). Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. Agriculture Handbook No. 537, United State Department of Agriculture. Washington, 58.
- YelaineAlmoza, Schiettecate, W., Medida, H. y Alonso, G. (2007). Metodología para la

Determinación del Factor Erosividad de las Precipitaciones en el Modelo (RUSLE).
Zonas Áridas, 11(1), 150-158.

Zuzell Leal, Díaz, J., María Ruíz y Lau, A. (2010). Estimación del efecto de cultivos y sus manejos en el proceso de erosión de los suelos en la cuenca del río Cuyaguaje. Ponencia. Congreso Internacional de Ciencias del Suelo. C-IV- 101. La Habana