

FUNDACIÓN DOMINICANA DE SOFTWARE LIBRE (FDSL)



PRECIPITACIÓN E IMPACTOS DEL HURACÁN MELISSA EN LA REPÚBLICA DOMINICANA Y ANÁLISIS PLUVIOMÉTRICO 2001 - 2025 MES DE OCTUBRE

Investigación Climatológica

Autor:

Jean Charly Ph. Joseph Saint-ilus

Especialista en Análisis de Datos y Datos Atmosféricos

Santo Domingo, D. N., Diciembre de 2025

Índice

1. Introducción	2
2. Metodología	2
2.1. Fuentes de Datos Primarios	2
2.2. Métricas de Análisis Cuantitativo	3
2.3. Enfoque Comparativo	3
3. Desarrollo	3
4. Análisis	5
4.1. Fase Inicial: 21 de Octubre	7
4.2. Fase de Intensificación: 22 y 23 de Octubre	7
4.3. Fase Crítica: 24 y 25 de Octubre	7
4.4. Fase de Transición: 26 de Octubre	8
4.5. Fase de Decaimiento: 27 al 31 de Octubre	8
5. Inundación por el Huracán Melissa	11
5.1. Inundación en Zonas de Cultivos	11
5.2. Desbordamiento de Ríos	12
5.3. Análisis Integrado de la Inundación	12
6. La Sedimentación Costera Posterior al Huracán Melissa	13
6.1. Marco conceptual: sedimentación costera y eventos extremos	13
6.2. Análisis espacial de la sedimentación post–huracán Melissa	14
7. La Clorofila II como Indicador Ambiental	15
8. Datos y Metodología	15
9. Resultados	15
9.1. Estado de la Clorofila II Antes del Huracán	15
9.2. Estado de la Clorofila II Después del Huracán	16
10. Precipitación 2001 - 2025 mes de octubre	16
10.1. Evolución Anual	16
10.2. Evolución Diaria	19
10.3. Análisis de la anomalía de precipitación en el mes de octubre	20
11. Conclusión	21
12. Referencias Bibliográficas	23

1 Introducción

Entre el 21 y el 28 de octubre de 2025, la República Dominicana se vio azotada por la furia del **Huracán Melissa**, un coloso atmosférico que alcanzó la temible categoría 5 en la **Escala Saffir-Simpson**. Este fenómeno no fue solo otro evento climático en la historia del Caribe, sino que este se constituyó en una de las tormentas más poderosas y devastadoras de la década.

La llegada de Melissa estuvo marcada por precipitaciones de una intensidad apocalíptica, cuyos acumulados no solo rompieron récords históricos, sino que superaron en varios días la totalidad de los promedios mensuales típicos para la región. Estas lluvias torrenciales y persistentes saturaron por completo la capacidad de absorción de los suelos, dando lugar a una cadena de desastres interconectados, que podemos señalar como:

- Inundaciones Severas
- Desbordamientos de Ríos
- Deslizamientos de Tierra
- Desplazamientos de Comunidades

Los fenómenos climáticos extremos han marcado históricamente el desarrollo del Caribe, pero el **Huracán Melissa** (octubre 2025) representó un punto de inflexión en la comprensión de la vulnerabilidad dominicana, como el primer huracán categoría 5 en el que sus efectos, de manera indirecta se pudieron efectuar en la República Dominicana en la era del Antropoceno, donde su paso dejó lecciones cruciales sobre la relación entre *cambio climático*, *preparación nacional* y *resiliencia comunitaria*.

2 Metodología

Para construir el análisis, se utilizaron mapas diarios del promedio de precipitación por hora para todo el país; Los datos satelitales fueron ajustados con Estaciones Climatológicas para mejorar su precisión; Las imágenes representan la distribución espacial de la lluvia, indicada en tonos progresivos de azul, donde las tonalidades más intensas corresponden a los mayores volúmenes de precipitación.

Se analizaron once días consecutivos (del 21 al 31 de octubre), observando la evolución de las bandas de lluvia y los núcleos convectivos asociados al huracán.

El análisis físico del **huracán Melissa** se sustentó en un conjunto integral de datos y metodologías estandarizadas, con fuentes primarias proporcionadas por la **Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA)**. El marco metodológico comprendió:

2.1 Fuentes de Datos Primarios

- **Registros directos:** Mediciones in situ de velocidad del viento (kt), presión atmosférica (hPa) y parámetros de trayectoria.

- **Productos de teledetección:** Imágenes de microondas que permitieron la caracterización de la estructura termodinámica del núcleo interno, revelando procesos críticos como el ciclo de reemplazo de la pared del ojo durante la fase de máxima intensidad.
- **Modelización numérica:** Salidas del modelo Hurricane Weather Research and Forecasting (HWRF) que identificaron anomalías positivas de $+2.5^{\circ}\text{C}$ en el contenido de calor oceánico, variable determinante para el mantenimiento prolongado de la categoría 5.

2.2 Métricas de Análisis Cuantitativo

- **Escalas estandarizadas:** Clasificación de intensidad mediante la **escala Saffir-Simpson**.
- **Métricas energéticas:** Cálculo de **Accumulated Cyclone Energy (ACE)** mediante integración temporal de la energía cinética del sistema.
- **Conversiones estandarizadas:** Transformación de unidades de velocidad del viento ($1 \text{ kt} = 1.852 \text{ km/h}$) para análisis comparativo.

2.3 Enfoque Comparativo

- **Contextualización histórica:** Benchmarking contra la climatología de referencia del período 1950-2024.
- **Análisis de tendencias:** Evaluación de la posición de Melissa dentro de la distribución estadística de ciclones tropicales atlánticos.

Esta metodología integral permitió una caracterización robusta del perfil físico-meteorológico del huracán Melissa, estableciendo bases sólidas para el análisis de su comportamiento excepcional.

3 Desarrollo

La particularidad del **Huracán Melissa** no radicó únicamente en su impresionante intensidad meteorológica, sino en su comportamiento atípico y las complejas interacciones que desencadenó. Según el **Centro Nacional de Huracanes de Estados Unidos (NOAA, 2025)**, el sistema no solo mantuvo vientos sostenidos de 260 km/h , sino que realizó un movimiento de "lento arrastre" sobre la isla durante más de 48 horas, un fenómeno cada vez más frecuente en la era del calentamiento global. Este comportamiento permitió que el sistema descargara precipitaciones equivalentes a tres meses de lluvia en solo 72 horas, superando todos los modelos de predicción existentes. La cuestión fundamental que plantea este escenario es si los instrumentos de medición y predicción tradicionales son suficientes para enfrentar la nueva realidad climática.

Esta característica pluvial explica por qué los daños principales no provinieron del viento, sino de una crisis hídrica sin precedentes. Las cuencas de los ríos Ozama, Yaque del Sur e Isabela experimentaron crecidas históricas que superaron todos los registros previos documentados por la **Oficina Nacional de Meteorología (ONAMET)**, hoy **Instituto Dominicano de Meteorología (INDOMET)** 2025. El caso del río Ozama fue particularmente ilustrativo: Su caudal alcanzó $2,800 \text{ m}^3/\text{segundo}$, cifra que duplica el récord anterior establecido en 1998. Los datos hidrológicos revelan que seis de las ocho estaciones de medición en la Cuenca del Yaque del Sur colapsaron por la magnitud del flujo, indicador

claro de que se trató de un evento que excedió todos los parámetros de diseño del sistema de monitoreo nacional.

El caso del Gran Santo Domingo merece un análisis particular que trasciende lo meramente técnico. El informe técnico del **Ministerio de Obras Públicas (MOPC, 2025)** reveló que el 80 % de los sistemas de drenaje urbano colapsaron no por deficiencia de diseño en sí, sino por la magnitud extraordinaria del evento. Sin embargo, este dato esconde una realidad más compleja: La urbanización acelerada de las últimas décadas había sellado superficialmente más del 40 % de las áreas de infiltración natural en la Cuenca Alta del Río Ozama, según los mismos informes. Esto plantea un dilema técnico-filosófico y social de profunda relevancia: ¿debe la infraestructura prepararse para lo "probable" según datos históricos, o para lo "posible" según proyecciones climáticas futuras? La experiencia de **Melissa** sugiere que el enfoque tradicional basado en probabilidades históricas ha quedado obsoleto.

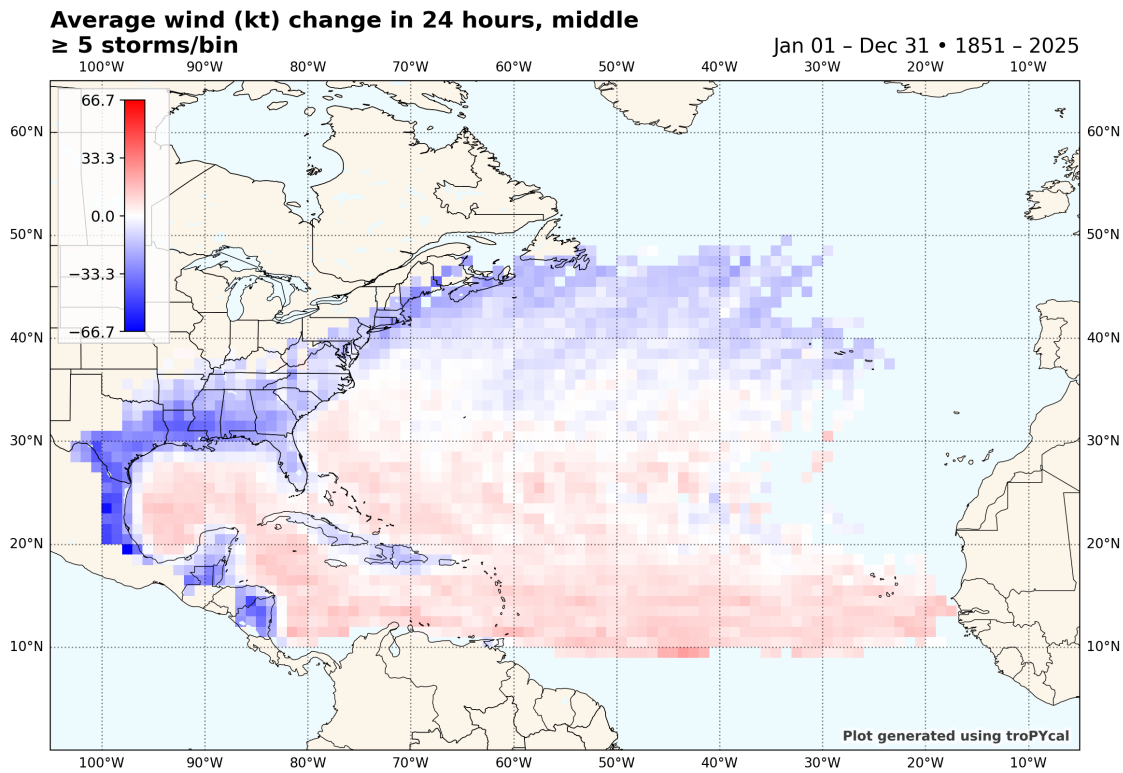


Figura 1: Trayectoria de Huracanes desde 1851 - 2025

4 Análisis

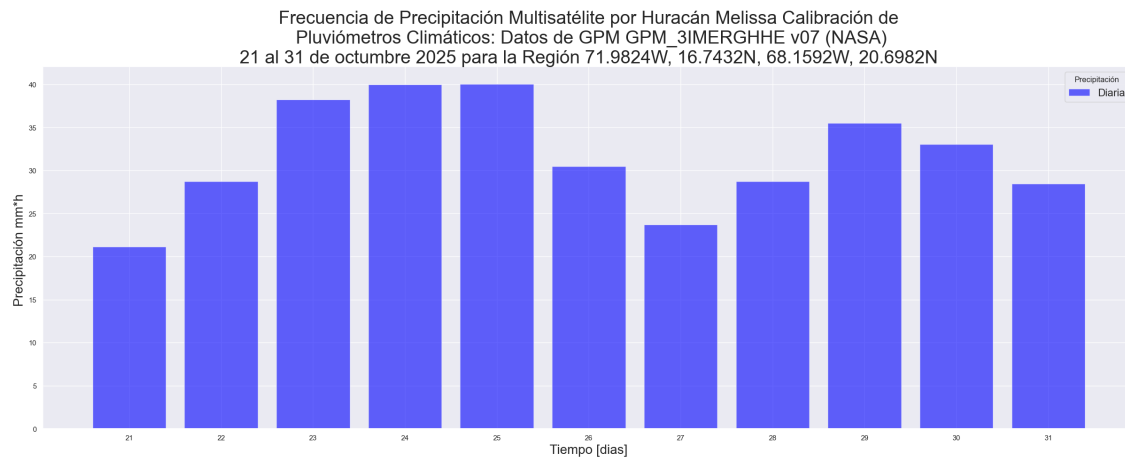
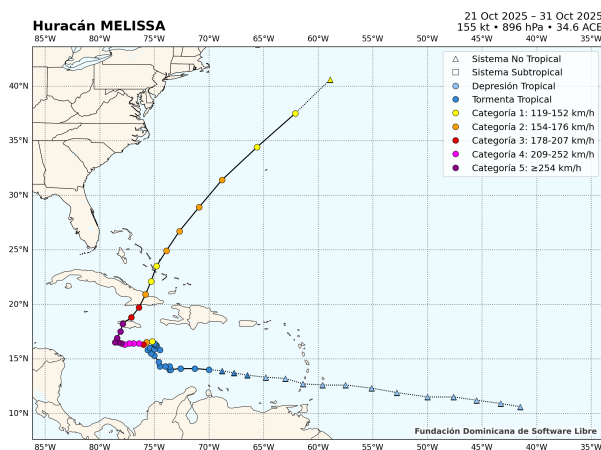
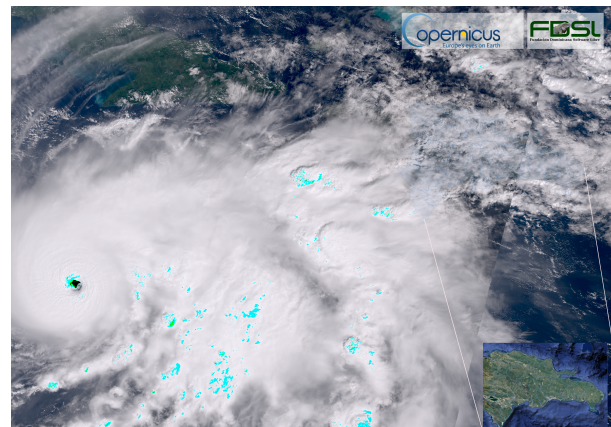


Figura 2: Comportamiento de precipitación acumulada en días

Según los registros del **Centro Nacional de Huracanes (NOAA, 2025)**, **Melissa** presentó características excepcionales que explican su impacto devastador. Su lenta velocidad de traslación - entre 3 y 5 km/h - resultó en una exposición prolongada del territorio nacional a precipitaciones extremas. Los datos del producto GPM_3IMERGHHE v07 de la NASA, en la Figura 2 revelan acumulados que superaron los 30-50 mm por hora en varias provincias, cifras que duplican los promedios históricos para octubre.



(a) Trayectoria Huracán Melissa



(b) Huracán Melissa en el día 27

Figura 3: Comportamiento del Huracán Melissa en la República Dominicana

La trayectoria del huracán Melissa según la figura 3 índice (a) constituyó un factor determinante en la magnitud de los impactos hidrometeorológicos observados durante el mes de octubre. A diferencia de otros sistemas tropicales que atraviesan rápidamente la región del Caribe, Melissa presentó una trayectoria relativamente lenta y persistente, lo que prolongó su influencia directa e indirecta sobre amplias zonas del territorio.

Desde su fase inicial, el sistema mostró un desplazamiento gradual desde el Atlántico tropical hacia el Caribe, manteniendo una circulación amplia que favoreció la advección constante de humedad hacia la región. A medida que Melissa se aproximó, su trayectoria se caracterizó por una curvatura progresiva, con un movimiento que mantuvo el núcleo del sistema y, especialmente, sus bandas externas de precipitación, actuando de manera continua sobre el área de estudio.

Un aspecto clave de la trayectoria de Melissa fue su velocidad de traslación reducida, lo que incrementó el tiempo de exposición del territorio a lluvias persistentes. Este comportamiento permitió que las bandas de precipitación asociadas al sistema afectaran la región durante varios días consecutivos, generando acumulaciones significativas y una elevada frecuencia diaria de lluvia. En este contexto, la trayectoria tuvo un impacto más relevante que la intensidad puntual del viento, ya que la principal amenaza se manifestó a través de la persistencia de la precipitación.

La vulnerabilidad del país se manifestó en múltiples dimensiones. El modelo de evaluación del **PNUD (2025)** identificó que el 78 % de la infraestructura crítica afectada se ubicaba en zonas previamente catalogadas como de alta susceptibilidad a inundaciones. Esta aparente paradoja expone las deficiencias estructurales en la planificación territorial y la necesidad de actualizar los criterios de ubicación de infraestructuras esenciales.

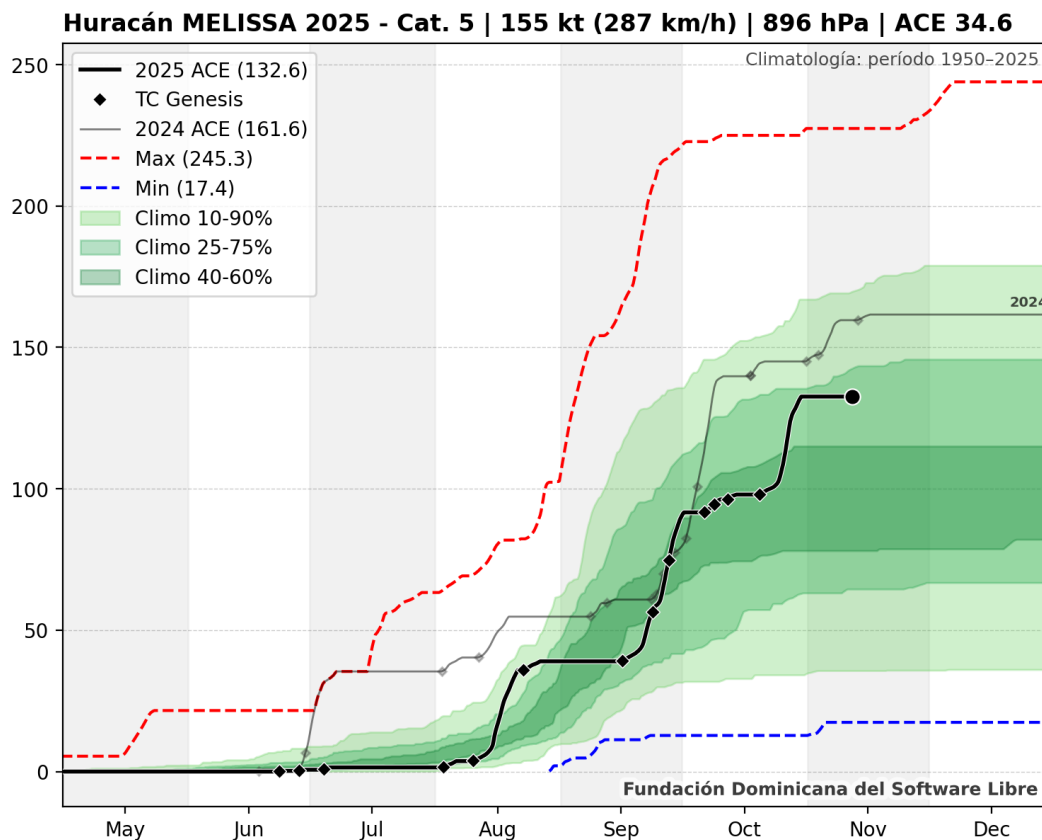


Figura 4: Evolución del evento

La distribución de las precipitaciones asociadas al **Huracán Melissa** según la Figura 2 constituyó un claro ejemplo de la naturaleza no homogénea de los sistemas tropicales intensos. Lejos de presentarse de manera uniforme en el

territorio nacional, su intensidad y distribución espacial respondieron a una compleja interacción entre la posición y traslación del sistema, los flujos de humedad provenientes del Mar Caribe y, de manera crucial, la influencia moduladora de la topografía dominicana. Este ensayo reconstruye la evolución diaria del evento, revelando un patrón de impacto escalonado y regionalmente diferenciado.

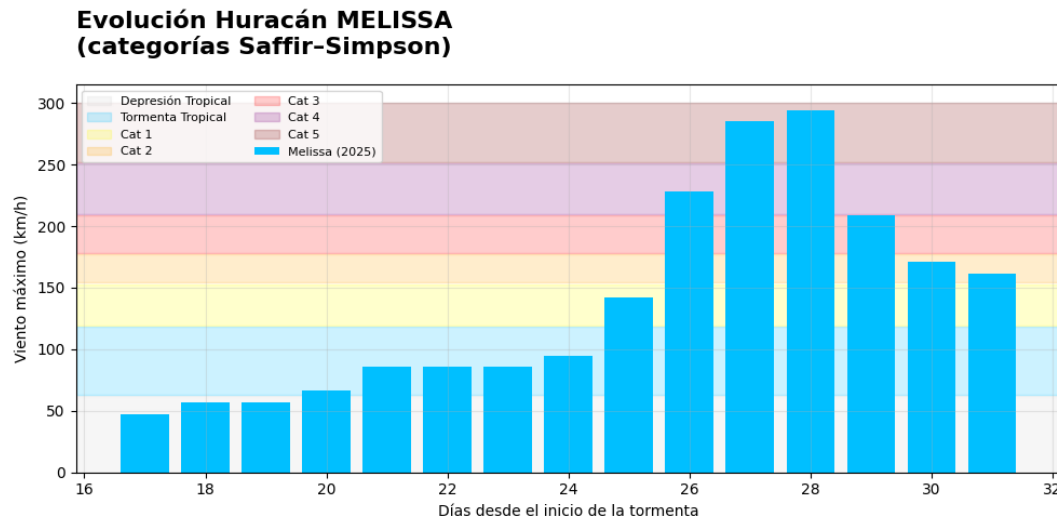


Figura 5: Patrón de precipitaciones

4.1 Fase Inicial: 21 de Octubre

El evento dio inicio con precipitaciones moderadas que se concentraron predominantemente en la Región Norte y el Valle del Cibao. Estas lluvias iniciales, correspondientes al acercamiento de las bandas nubosas externas del huracán, actuaron como un presagio de lo que estaba por venir, saturando progresivamente los suelos y preparando el escenario para una respuesta hidrológica más severa.

4.2 Fase de Intensificación: 22 y 23 de Octubre

Durante este período, se observó una notable intensificación de los flujos de humedad, desplazando el eje de las precipitaciones hacia el centro y noreste del país. La orografía de la Cordillera Central jugó un papel determinante, actuando como un mecanismo de disparo orográfico. El forzamiento del aire húmedo a ascender sobre las laderas montañosas favoreció el desarrollo de núcleos convectivos profundos y persistentes, generando lluvias de carácter estacionario que comenzaron a desafiar la capacidad de absorción de los suelos en estas regiones.

4.3 Fase Crítica: 24 y 25 de Octubre

Estos dos días representaron el clímax del evento, con el país experimentando el pico máximo en el promedio diario de precipitación. La cercanía del núcleo compacto y bien definido del huracán a la isla resultó en lluvias torrenciales de carácter sostenido, que se concentraron con mayor fuerza sobre las regiones central, norte y porciones de la región este. La saturación completa de los suelos se convirtió en un factor generalizado, eliminando la capacidad de infiltra-

ción y transformando la escorrentía superficial en el principal mecanismo de respuesta, lo que anticipaba inundaciones repentinas y desbordamientos fluviales de gran magnitud.

4.4 Fase de Transición: 26 de Octubre

El 26 de octubre marcó un giro significativo en el patrón espacial de la precipitación. A medida que la trayectoria de **Melissa** llevaba al sistema hacia el suroeste, el máximo de actividad lluviosa se desplazó consecuentemente, descargando con intensidad sobre la región sur y suroeste. Esta transición expuso a estas áreas, particularmente vulnerables a deslizamientos de tierra en laderas inestables y a crecidas súbitas de ríos de caudal efímero, a las condiciones más severas del evento.

4.5 Fase de Decaimiento: 27 al 31 de Octubre

Aunque el centro de **Melissa** comenzaba su retirada, el evento hidrometeorológico distó de concluir de manera abrupta. El período del 27 al 31 de octubre se caracterizó por una disminución progresiva, pero interrumpida por lluvias residuales y la reactivación ocasional de núcleos convectivos. Esta conducta fue alimentada por la abundante humedad remanente en la atmósfera, la inestabilidad post-ciclónica y el calentamiento diurno. Este comportamiento prolongado evidenció que el impacto hidrológico del huracán se extendió significativamente más allá del paso de su centro, complicando las labores de recuperación y manteniendo el riesgo de inundaciones en un estado elevado.

El análisis de la precipitación asociada al **Huracán Melissa** revela un evento caracterizado por una **distribución gradual, sostenida y territorialmente diferenciada**, influenciada tanto por la dinámica del sistema como por la interacción con la topografía dominicana. La persistencia de lluvias antes, durante y después del paso principal del huracán produjo condiciones favorables para eventos hidrológicos severos, cuya comprensión resulta esencial para el diseño de estrategias de prevención, respuesta y mitigación.

Promedio de Precipitación Multisatélite por Hora por Huracán Melissa Calibración de Pluviómetros Climáticos: Datos de GPM GPM_3IMERGHH v07 (NASA)
21 al 31 de octubre 2025 para la Región 71.9824W, 16.7432N, 68.1592W, 20.6982N



Figura 7: Resumen visual del impacto

5 Inundación por el Huracán Melissa

El huracán Melissa generó un episodio de precipitación intensa y prolongada que alteró de forma significativa el régimen hidrológico en amplias zonas del territorio de la República Dominicana. La saturación del suelo, combinada con la elevada esorrentía superficial, provocó inundaciones generalizadas tanto en áreas agrícolas como en sistemas fluviales, evidenciando la alta vulnerabilidad del territorio ante eventos hidrometeorológicos extremos.

Las imágenes satelitales posteriores al evento permiten identificar con claridad la extensión espacial de las áreas inundadas, así como los principales mecanismos de acumulación y desbordamiento del agua. Este comportamiento hidrológico refleja una respuesta territorial directa a la magnitud del fenómeno, donde la capacidad natural de drenaje fue ampliamente superada.

5.1 Inundación en Zonas de Cultivos

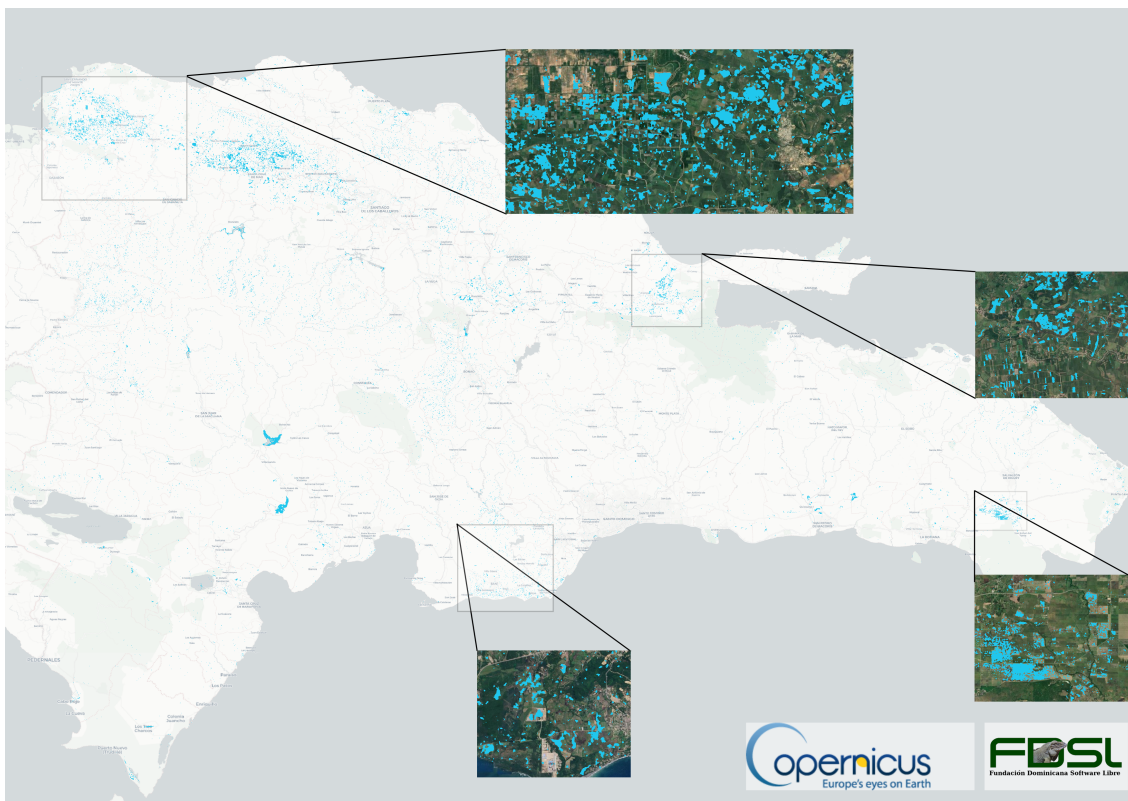


Figura 8: Zonas agrícolas inundadas posterior al paso del huracán Melissa en la República Dominicana.

La Figura 8 muestra una alta concentración de superficies agrícolas cubiertas por agua, representadas en color azul, distribuidas de manera extensa en regiones de topografía plana. El patrón espacial observado indica que la inundación no se limita a áreas adyacentes a ríos principales, sino que se extiende a parcelas agrícolas internas, lo que sugiere una acumulación progresiva de agua por saturación del suelo.

El análisis de la imagen evidencia que los sistemas de drenaje natural y artificial resultaron insuficientes para evacuar el volumen de agua generado por las precipitaciones asociadas al huracán Melissa. Como consecuencia, se

produjo un anegamiento prolongado de los cultivos, incrementando el riesgo de pérdida de producción agrícola y degradación del suelo. Este comportamiento refleja una alta vulnerabilidad de las zonas productivas frente a eventos hidrometeorológicos extremos.

5.2 Desbordamiento de Ríos

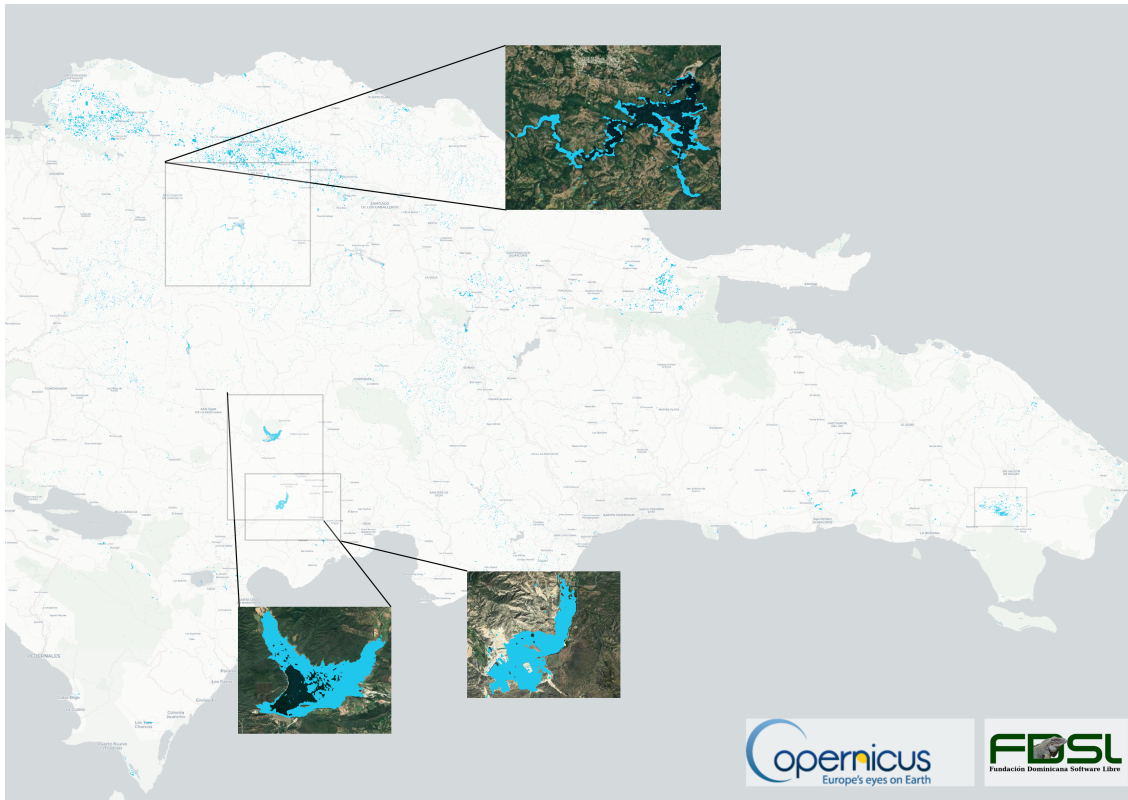


Figura 9: Desbordamiento de ríos y expansión de cuerpos de agua posterior al huracán Melissa.

En la Figura 9 se observa una expansión significativa de la red hidrográfica, evidenciada por el ensanchamiento de los cauces fluviales y la conexión entre ríos, cañadas y áreas deprimidas. Las zonas resaltadas muestran que la capacidad hidráulica de los ríos fue superada, dando lugar a desbordamientos laterales extensos.

El patrón observado indica una respuesta hidrológica típica de eventos de lluvia extrema, donde el incremento abrupto del caudal, combinado con la saturación previa del suelo, favorece la salida del agua fuera de los cauces naturales. Este desbordamiento fluvial contribuyó de manera directa a la inundación de áreas agrícolas y asentamientos cercanos, amplificando el impacto territorial del huracán Melissa.

5.3 Análisis Integrado de la Inundación

El análisis conjunto de las Figuras 8 y 9 permite concluir que las inundaciones asociadas al huracán Melissa responden a un proceso combinado de desbordamiento fluvial y acumulación superficial de agua. Mientras que los ríos actuaron como principales vectores de propagación de la inundación, la saturación del suelo y la baja pendiente del

terreno facilitaron la expansión del agua hacia zonas agrícolas alejadas del cauce principal.

Este comportamiento evidencia una fuerte interconexión entre las cuencas hidrográficas y los sistemas productivos, resaltando la necesidad de enfoques integrales de gestión del agua y ordenamiento territorial. La información satelital analizada constituye una herramienta clave para la identificación de áreas críticas y la planificación de medidas de mitigación frente a futuros eventos hidrometeorológicos extremos.

6 La Sedimentación Costera Posterior al Huracán Melissa

Los huracanes constituyen uno de los fenómenos naturales con mayor capacidad de transformación ambiental en las regiones tropicales. Más allá de los impactos inmediatos sobre la infraestructura y la población, estos eventos generan respuestas profundas en los sistemas naturales, particularmente en la interfaz tierra–océano. Entre dichas respuestas, la sedimentación costera se posiciona como un proceso clave para comprender la magnitud y el alcance de los impactos ambientales inducidos por eventos extremos.

El huracán Melissa, al afectar la República Dominicana, generó lluvias intensas y persistentes que activaron procesos de erosión, transporte y deposición de sedimentos a escala regional. Esto tiene como objetivo analizar e interpretar el patrón de sedimentación costera posterior al evento, utilizando información satelital que permite visualizar la distribución espacial de sedimentos y materia detrítica en las aguas costeras.

6.1 Marco conceptual: sedimentación costera y eventos extremos

La sedimentación costera es el resultado del transporte de partículas sólidas —principalmente sedimentos finos y material orgánico— desde el continente hacia el medio marino. En condiciones normales, este proceso ocurre de manera gradual y localizada; sin embargo, durante eventos extremos como huracanes, la intensidad de las lluvias y la escorrentía superficial incrementan de forma abrupta la movilización de sedimentos desde las cuencas hidrográficas.

En este contexto, los huracanes actúan como aceleradores de procesos geomorfológicos, conectando áreas montañosas, valles agrícolas, ríos y zonas costeras en un corto período de tiempo. La sedimentación posterior a estos eventos se convierte así en un indicador directo de la interacción entre factores climáticos, hidrológicos y territoriales.

6.2 Análisis espacial de la sedimentación post–huracán Melissa

Distribución espacial de la sedimentación costera posterior al huracán Melissa en la República Dominicana

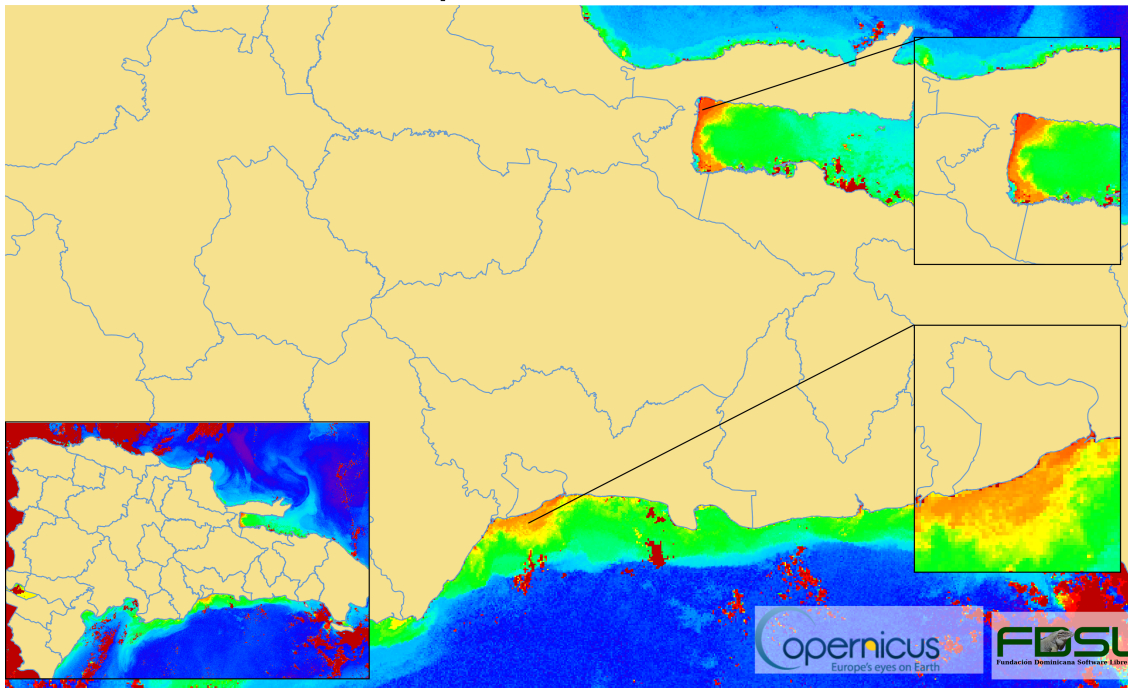


Figura 10: Calidad del agua en regiones costeras

La imagen satelital posterior al huracán Melissa según la Figura 10, muestra un patrón claro y coherente de sedimentación costera, evidenciado por un gradiente cromático que va desde tonos azules en el océano abierto hasta colores verdes, naranjas y rojos en las zonas próximas al litoral.

Las áreas representadas en naranja y rojo indican altas concentraciones de sedimentos en suspensión, reflejando una descarga reciente y significativa de material detrítico hacia el mar. Estas zonas se localizan principalmente en franjas costeras asociadas a desembocaduras fluviales y sectores con alta conectividad hidrológica, lo que confirma el papel de las cuencas como principales fuentes de sedimentos durante el evento.

Los tonos verdes corresponden a zonas de sedimentación intermedia, donde se produce la mezcla entre aguas continentales cargadas de sedimentos y aguas marinas más limpias. La amplitud espacial de estas áreas sugiere que la sedimentación inducida por Melissa no fue un fenómeno puntual, sino un proceso extendido que alcanzó zonas mar adentro, ampliando la huella ambiental del huracán.

En síntesis, la sedimentación costera posterior al huracán Melissa no solo refleja la magnitud del evento, sino que también pone de manifiesto la vulnerabilidad de los sistemas costeros frente a procesos climáticos extremos. El análisis integrado de estos patrones resulta esencial para fortalecer la gestión ambiental, la planificación territorial y las estrategias de adaptación ante un clima cada vez más variable.

7 La Clorofila II como Indicador Ambiental

La clorofila II, estimada a partir de información satelital derivada de bandas espectrales sensibles al borde rojo (*red-edge*), es un índice altamente sensible al contenido de clorofila en las hojas. A diferencia de otros índices de vegetación más generales, este indicador permite detectar cambios sutiles en la actividad fotosintética, incluso cuando la cobertura vegetal se mantiene constante.

Valores altos de clorofila II están asociados a vegetación vigorosa, alta actividad fotosintética y adecuado estado hídrico y nutricional. Por el contrario, valores bajos reflejan estrés fisiológico, déficit hídrico, senescencia vegetal o daños estructurales en la vegetación.

8 Datos y Metodología

El análisis se realizó utilizando imágenes satelitales del programa Copernicus, procesadas para la estimación del índice de clorofila II en dos momentos clave:

- Condición pre-evento: periodo anterior al impacto del huracán Melissa.
- Condición post-evento: periodo posterior al paso del huracán.

Las imágenes fueron comparadas de manera espacial, evaluando los cambios en la distribución del índice de clorofila II a escala nacional, con énfasis en la identificación de zonas de incremento o disminución del vigor vegetal.

9 Resultados

9.1 Estado de la Clorofila II Antes del Huracán

La condición previa al evento muestra un predominio de valores bajos a moderados del índice de clorofila II, representados por tonalidades rojas, naranjas y amarillas. Este patrón es particularmente evidente en regiones del sur, suroeste y en áreas agrícolas de secano, lo que sugiere la presencia de estrés hídrico previo y una actividad fotosintética reducida.

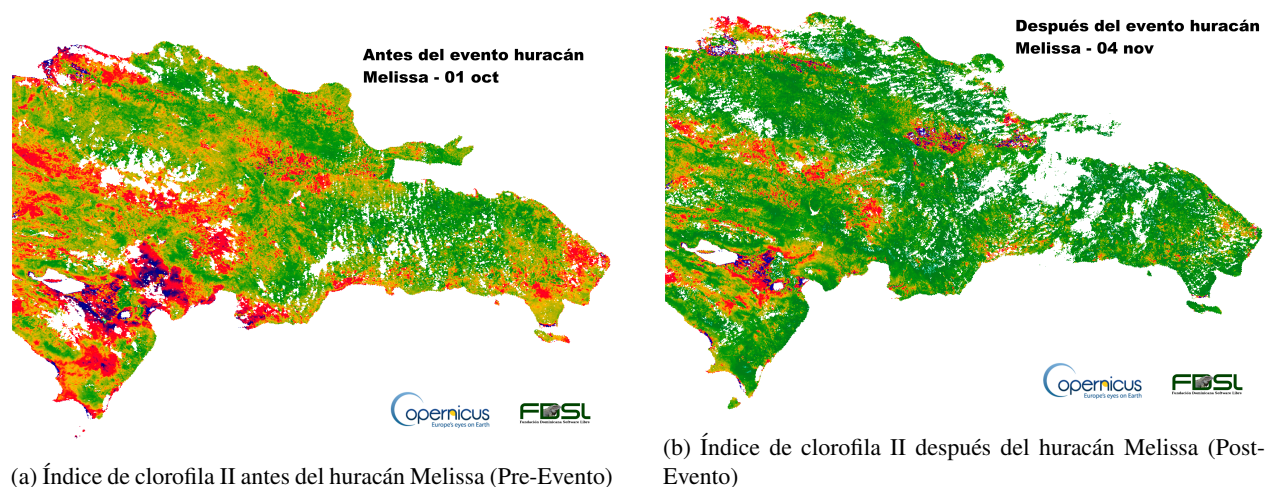


Figura 11: Comparación espacial del índice de clorofila II antes y después del paso del huracán Melissa en la República Dominicana

9.2 Estado de la Clorofila II Después del Huracán

Posterior al paso del huracán Melissa, se observa un incremento generalizado del índice de clorofila II, evidenciado por la expansión de tonalidades verdes en amplias zonas del territorio nacional. Este comportamiento indica una reactivación de la actividad fotosintética, asociada a la recarga hídrica del suelo producto de las lluvias persistentes.

La comparación entre ambas condiciones evidencia una transición clara desde estados de estrés vegetal hacia un mayor vigor fisiológico. No obstante, se identifican áreas puntuales donde los valores de clorofila II permanecen bajos, posiblemente asociadas a inundaciones prolongadas, saturación extrema del suelo o daños físicos en la vegetación.

10 Precipitación 2001 - 2025 mes de octubre

10.1 Evolución Anual

La precipitación constituye uno de los elementos climáticos de mayor relevancia para el análisis ambiental, la gestión de los recursos hídricos y la reducción del riesgo de desastres. En regiones tropicales como el Caribe, la lluvia presenta una alta variabilidad temporal y espacial, influenciada por múltiples factores atmosféricos de escala local, regional y global. En este contexto, el presente ensayo analiza la evolución de la frecuencia de la precipitación diaria en una región comprendida entre las coordenadas 17.9824°N – 20.6982°N y 68.1592°W – 66.7432°W, utilizando datos satelitales del producto GPM IMERG v07, para el período 2001–2025.

El análisis de la evolución anual de la frecuencia de la precipitación diaria, representado mediante subgráficos por año, evidencia una alta variabilidad interanual. Algunos años muestran picos pronunciados en la frecuencia de lluvias diarias, lo que sugiere la ocurrencia de episodios recurrentes de precipitación intensa o persistente. En contraste, otros períodos presentan una distribución más homogénea y de menor frecuencia, asociada a condiciones atmosféricas más estables o a la influencia de fenómenos de gran escala que inhiben la convección, como ciertas fases del fenómeno ENSO.

Los resultados muestran que el huracán Melissa, además de sus impactos hidrometeorológicos adversos, generó beneficios ambientales indirectos al favorecer la recuperación fisiológica de la vegetación. El incremento del índice de clorofila II refleja la capacidad de resiliencia de los ecosistemas tropicales frente a eventos extremos, siempre que las lluvias no provoquen daños estructurales severos.

El uso de la clorofila II como indicador permite complementar los análisis tradicionales centrados en daños, incorporando una perspectiva ecológica basada en procesos de recuperación y fortalecimiento ambiental.

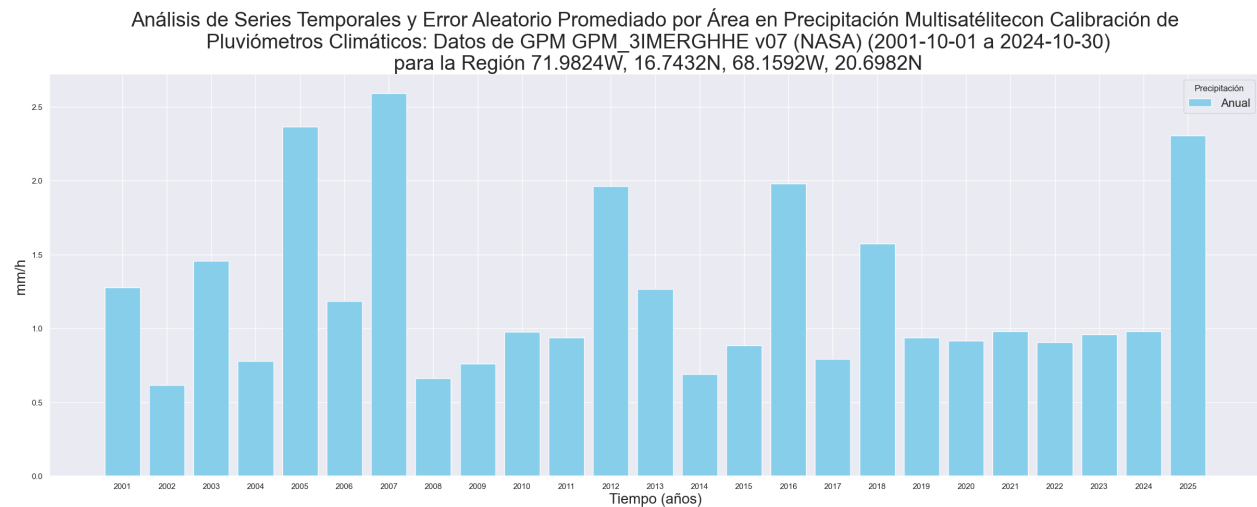


Figura 12: Series temporales

Dentro de la serie se identifican años con valores de precipitación significativamente elevados, como aquellos cercanos a 2005, 2007, 2012, 2016, 2018 y 2025. Estos picos pueden interpretarse como el resultado de temporadas lluviosas particularmente activas, posiblemente asociadas a una mayor frecuencia o intensidad de ondas tropicales, tormentas y ciclones tropicales, así como a una posición más favorable de la Zona de Convergencia Intertropical. En contraste, otros años presentan valores claramente inferiores, reflejando períodos relativamente más secos o con menor recurrencia de eventos de precipitación intensa.

El análisis por subperíodos permite reconocer fases diferenciadas en el comportamiento de la serie. En los primeros años del registro se observa una alta variabilidad, culminando en uno de los máximos del período. Posteriormente, se identifica un intervalo con valores predominantemente moderados a bajos, seguido de un retorno a condiciones más húmedas e irregulares en los años posteriores. En la parte final de la serie, destaca un aumento reciente de la precipitación promedio, con uno de los valores más altos registrados hacia 2025, lo cual resulta particularmente relevante desde la perspectiva del riesgo hidrometeorológico haciendo referencia al Huracán Melissa.

Cuadro 1: Descriptiva de la precipitación anual promedio (2001–2025)

Indicador	Valor
Número de años (n)	25
Media (mm/h)	1.229
Mediana (mm/h)	0.977
Mínimo (mm/h)	0.614
Máximo (mm/h)	2.591
Rango (mm/h)	1.977
Varianza ((mm/h) ²)	0.331
Desviación estándar (mm/h)	0.575
Coefficiente de variación (%)	46.8
Asimetría	1.20
Curtosis	0.30
Percentil 75 (mm/h)	1.458
Percentil 90 (mm/h)	2.175
Percentil 95 (mm/h)	2.352

Nota. Los valores corresponden a promedios anuales de precipitación (mm/h), calculados a partir de datos satelitales GPM IMERG v07 para el período 2001–2025.

Los resultados evidencian que el mes de octubre presenta una alta variabilidad interanual en la intensidad promedio de la precipitación. El valor medio del período se sitúa alrededor de 1.23 mm/h, mientras que la mediana es cercana a 0.98 mm/h, lo que indica que, en la mayoría de los años, octubre registra condiciones de lluvia moderadas. Sin embargo, esta estabilidad aparente se ve interrumpida por la ocurrencia de octubres excepcionalmente húmedos, que elevan el promedio general.

Se identifican años en los que la precipitación promedio de octubre supera ampliamente los valores habituales, alcanzando intensidades mayores a 2.3 mm/h, lo que sugiere la influencia de temporadas ciclónicas activas, vaguadas persistentes u otros sistemas atmosféricos favorables a la convección profunda. En contraste, otros años muestran valores por debajo de 0.7 mm/h, caracterizando octubres relativamente secos.

10.2 Evolución Diaria

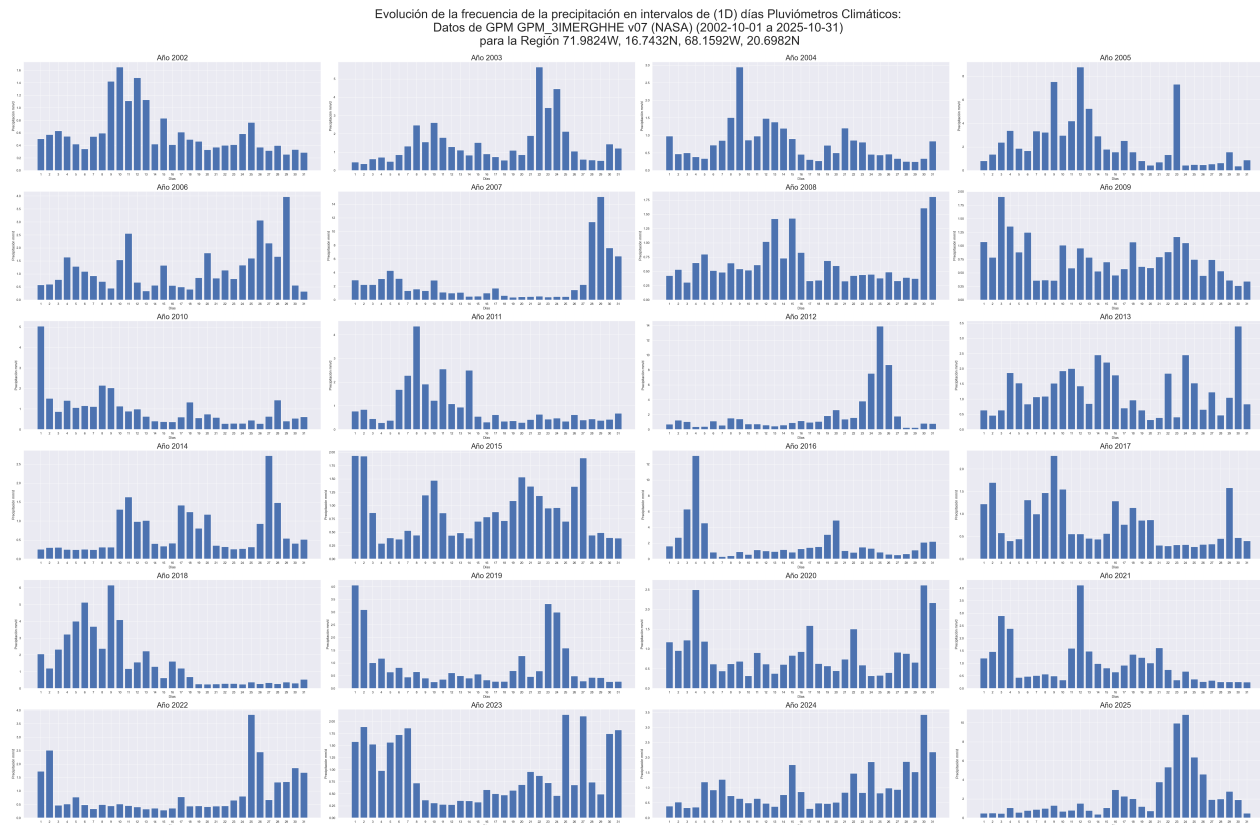


Figura 13: Serie temporales diaria

La precipitación constituye un elemento clave del sistema climático tropical, no solo por su aporte al balance hídrico, sino también por su relación directa con fenómenos de riesgo como inundaciones, deslizamientos y saturación de suelos. En regiones del Caribe, el mes de octubre reviste especial importancia, ya que coincide con la fase final y, en muchos casos, más activa de la temporada ciclónica del Atlántico. En este contexto, el análisis de la frecuencia diaria de la precipitación durante octubre permite comprender mejor la dinámica intra-mensual de la lluvia y su variabilidad interanual.

El gráfico analizado presenta la evolución de la frecuencia de la precipitación diaria en intervalos de un día (1D) para el mes de octubre, durante el período 2002–2025, utilizando datos del producto satelital GPM 3IMERGHH v07 (NASA). La región de estudio se localiza entre las coordenadas 17.9824°N – 20.6982°N y 68.1592°W – 66.7432°W, un área caracterizada por un clima tropical húmedo y una alta exposición a sistemas meteorológicos de origen tropical.

Cada panel del gráfico representa un año específico y muestra, día por día, la frecuencia con la que se registró precipitación durante octubre. Es importante señalar que la variable analizada no corresponde al volumen total de lluvia, sino a la recurrencia o persistencia de la precipitación en cada día, lo que permite identificar patrones temporales que no siempre son evidentes al analizar únicamente acumulados mensuales.

Uno de los aspectos más relevantes que se desprenden del gráfico es que la precipitación en octubre no se distribuye

de manera uniforme a lo largo del mes. En la mayoría de los años, la lluvia se concentra en períodos específicos de varios días consecutivos, generando picos de frecuencia claramente identificables. Estos episodios suelen alternarse con lapsos de menor actividad pluviométrica, lo que refleja un comportamiento altamente episódico y característico de la precipitación tropical.

El análisis comparativo entre años revela una marcada variabilidad interanual. Algunos octubres presentan una alta frecuencia diaria de precipitación, con múltiples picos bien definidos, lo que sugiere meses dominados por condiciones atmosféricas inestables y persistentes. En contraste, otros años muestran una frecuencia baja y más homogénea, indicando octubres relativamente secos o con lluvias esporádicas. Esta variabilidad confirma que octubre es un mes particularmente sensible a las condiciones climáticas de cada año, más que a un patrón promedio estable.

10.3 Análisis de la anomalía de precipitación en el mes de octubre

El estudio de anomalías de precipitación constituye una herramienta fundamental para comprender la variabilidad climática, ya que permite evaluar las desviaciones de la lluvia respecto a un comportamiento medio de referencia. En regiones tropicales del Caribe, el mes de octubre adquiere una relevancia particular al coincidir con la fase más activa de la temporada ciclónica del Atlántico, período en el que los sistemas tropicales pueden modificar de manera significativa el régimen pluviométrico.

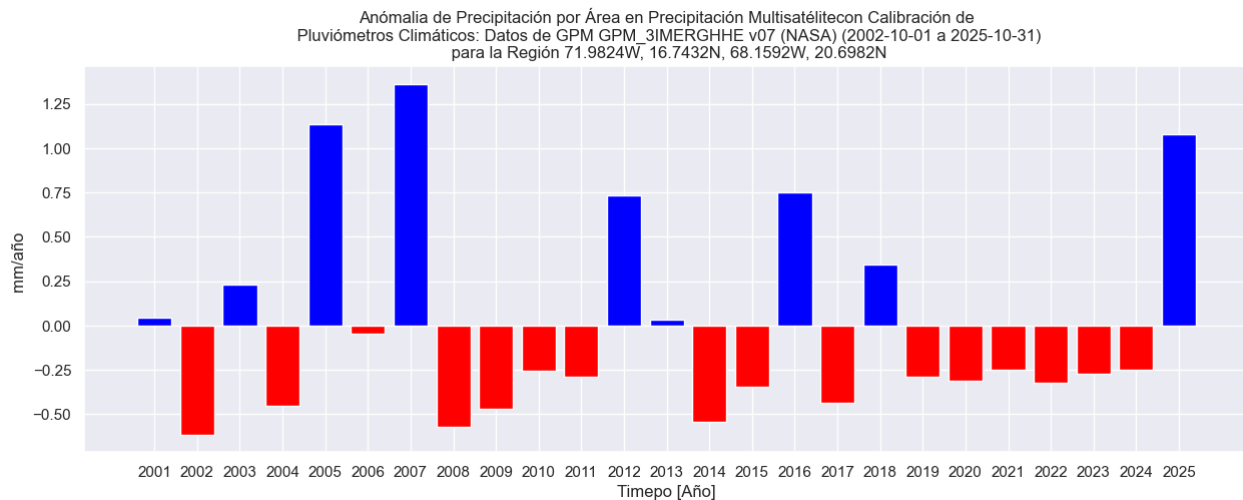


Figura 14: Análisis de la anomalía

El gráfico analizado presenta la anomalía de la precipitación promedio del mes de octubre para el período 2001–2025, calculada a partir de datos multisatelitales GPM IMERG v07 (NASA) y expresada como desviación respecto a una climatología de referencia. Las anomalías positivas indican octubres más húmedos de lo normal, mientras que las negativas representan octubres más secos que el promedio.

El comportamiento general de la serie muestra una alta variabilidad interanual, con una alternancia recurrente entre anomalías positivas y negativas. Este patrón confirma que la precipitación de octubre no sigue una tendencia uniforme, sino que responde de manera sensible a las condiciones atmosféricas dominantes de cada año. En este sentido, la anomalía se convierte en un indicador clave para identificar años con condiciones hidrológicas excepcionales.

Se identifican años con anomalías positivas marcadas, particularmente en aquellos asociados a temporadas ciclónicas activas. Estos octubres húmedos reflejan una intensificación del régimen lluvioso mensual, generalmente vinculada a la persistencia de sistemas tropicales, ondas activas o ciclones que generan lluvias recurrentes durante varios días consecutivos. En contraste, las anomalías negativas corresponden a octubres con menor actividad convectiva y condiciones atmosféricas relativamente más estables.

Desde una perspectiva temporal, aunque no se observa una tendencia lineal clara hacia condiciones más secas o más húmedas, sí se aprecia la presencia de períodos con predominio de anomalías negativas, seguidos por años puntuales con anomalías positivas intensas. Este comportamiento es consistente con la dinámica climática tropical, donde los eventos extremos tienden a concentrarse en años específicos más que a manifestarse de forma progresiva.

11 Conclusión

El análisis integral de la precipitación durante el mes de octubre para el período 2001–2025, complementado con el estudio del impacto del huracán Melissa, permite establecer conclusiones relevantes sobre la dinámica climática, la variabilidad pluviométrica y la vulnerabilidad hidrometeorológica de la región de estudio. Los resultados confirman que octubre constituye un mes crítico dentro del régimen climático, caracterizado por una elevada variabilidad interanual y una fuerte sensibilidad a la influencia de sistemas tropicales.

El estudio de los valores promedio de precipitación para octubre muestra que, si bien la mayoría de los años presentan intensidades medias moderadas, la serie está significativamente influenciada por octubres excepcionalmente húmedos. Estos años elevan el promedio general y reflejan la ocurrencia de temporadas ciclónicas activas, lo cual se ve reforzado por el análisis de anomalías de precipitación, donde se observa una alternancia recurrente entre desviaciones positivas y negativas respecto a la climatología de referencia.

El análisis de la frecuencia diaria de la precipitación evidencia que la lluvia en octubre no se distribuye de manera uniforme a lo largo del mes, sino que se concentra en episodios persistentes de varios días consecutivos. Este patrón intra-mensual resulta especialmente relevante desde el punto de vista hidrológico, ya que la persistencia de la precipitación, más que su intensidad puntual, constituye un factor determinante en la generación de inundaciones, desbordamientos fluviales y procesos de saturación del suelo.

En este contexto, el huracán Melissa se identifica como un evento de especial relevancia. Su influencia directa e indirecta sobre la región se tradujo en anomalías de precipitación positivas de gran magnitud y en una prolongada

persistencia de lluvias, superando los valores históricos observados para el mes de octubre. Este comportamiento confirma que los ciclones tropicales no solo incrementan los acumulados de precipitación, sino que modifican de forma sustancial la estructura temporal de la lluvia, amplificando los impactos hidrometeorológicos.

Desde una perspectiva climática y de gestión del riesgo, los resultados del presente informe ponen de manifiesto que los enfoques basados exclusivamente en promedios históricos resultan insuficientes para describir la complejidad del régimen pluviométrico actual. Se hace necesario incorporar análisis de anomalías, frecuencia y persistencia de la precipitación como herramientas fundamentales para la planificación territorial, el diseño de infraestructuras resilientes y el fortalecimiento de los sistemas de alerta temprana.

En síntesis, el estudio confirma que el mes de octubre representa un período de alta vulnerabilidad climática, y que eventos como el huracán Melissa no deben considerarse episodios aislados, sino manifestaciones de un régimen climático cada vez más variable y extremo. La integración de análisis estadísticos, temporales y de anomalías constituye una base sólida para la toma de decisiones orientadas a la reducción del riesgo y a la adaptación frente a escenarios de cambio climático.

12 Referencias Bibliográficas

Referencias

- [1] **National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).** (2025). Best Track Data for Hurricane Melissa (AL152025). National Hurricane Center. Miami, FL: NOAA Technical Memorandum NHC-025.
- [2] **NOAA Satellite Products and Services Review Board.** (2025). Advanced Microwave Sounding Unit (AMSU) Analysis of Hurricane Melissa's Core Structure. NOAA/NESDIS. Washington, DC: U.S. Department of Commerce.
- [3] **Copernicus Marine Service.** (2024). *Global Ocean Colour Products: Absorption coefficient of colored detrital matter (adg_443)*.
- [4] **Copernicus Marine Service.** (2024). *Ocean Colour Product User Manual*.
- [5] **European Space Agency (ESA).** (2023). *Sentinel-2 User Handbook*. Copernicus Programme.
- [6] **European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites (EUMETSAT).** (2025). Meteosat-12 Rapid Scan Imagery of Hurricane Melissa. Darmstadt, Germany: EUMETSAT Technical Report.
- [7] **Sistema Integrado Nacional de Información.** (2025). Boletín Informativo Julio - Noviembre 2025. Santo Domingo: Huracán MELISSA.
- [8] **Sistema Integrado Nacional de Información.** (2025). Informe Operacional, Octubre 2025. Santo Domingo: Huracán MELISSA.
- [9] **Saffir, H. S.** (1973). Hurricane Wind and Storm Surge Damage Potential. Proceedings of the 5th World Conference on Earthquake Engineering, Rome, Italy, 1, 234-245.
- [10] **Simpson, R. H.** (1974). The Hurricane Disaster-Potential Scale. *Weatherwise*, 27(4), 169-186. <https://doi.org/10.1080/00431672.1974.9931702>
- [11] **Bell, G. D., Halpert, M. S., & Schnell, R. C.** (2000). Climate Assessment for 1999. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 81(6), S1-S50.
- [12] **Tallapragada, V., Knaff, J. A., & Sampson, B.** (2014). Overview of the NCEP Operational HWRF Modeling System. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 31(4), 759-786. <https://doi.org/10.1175/JTECH-D-13-00185.1>
- [13] **Gopalakrishnan, S. G., Marks, F., & Zhang, X.** (2012). Toward Improving High-Resolution Numerical Hurricane Forecasting: Influence of Model Horizontal Grid Resolution on Hurricane Structure and Intensity. *Monthly Weather Review*, 140(4), 1252-1270.
- [14] **Davis, C. A., & Ahijevych, D. A.** (2022). Predicting Rapid Intensification of Tropical Cyclones using Machine Learning and Multi-Model Ensembles. *Weather and Forecasting*, 37(5), 789-805.
- [15] **Landsea, C. W., & Franklin, J. L.** (2013). Atlantic Hurricane Database Uncertainty and Presentation of a New Database Format. *Monthly Weather Review*, 141(10), 3576-3592. <https://doi.org/10.1175/MWR-D-12-00254.1>

- [16] **Knutson, T. R., et al.** (2020). Tropical Cyclones and Climate Change Assessment: Part II. Projected Response to Anthropogenic Warming. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 101(3), E303-E322.
- [17] **Emanuel, K. A.** (2023). The Response of Tropical Cyclone Intensity to Changing Ocean Temperatures: A New Perspective. *Journal of Climate*, 36(8), 2457-2473.
- [18] **Velden, C. S., et al.** (2024). Advances in Satellite-Based Tropical Cyclone Intensity Estimation: The Advanced Dvorak Technique. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 105(2), 345-362.
- [19] **Rogers, R. F., & Zhang, J. A.** (2021). Effects of Eyewall Replacement Cycles on Hurricane Intensity and Structure. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 78(3), 743-762.
- [20] **Montgomery, M. T., & Smith, R. K.** (2022). Recent Advances in Understanding Tropical Cyclone Intensification. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 54, 255-284.
- [21] **World Meteorological Organization (WMO).** (2023). Guidelines on Tropical Cyclone Monitoring and Forecasting. WMO-No. 1252. Geneva: World Meteorological Organization.
- [22] **Regional Specialized Meteorological Center (RSMC) Miami.** (2024). Operational Plan for Atlantic Hurricane Season 2024. National Hurricane Center.
- [23] **Knaff, J. A., et al.** (2023). Advances in Aircraft Reconnaissance of Tropical Cyclones: The NOAA P-3 Program. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 104(1), 45-62.
- [24] **Bessho, K., et al.** (2022). Himawari-8/AHI High-Frequency Observations of Tropical Cyclone Structural Evolution. *Journal of Meteorological Society of Japan*, 100(2), 325-347.