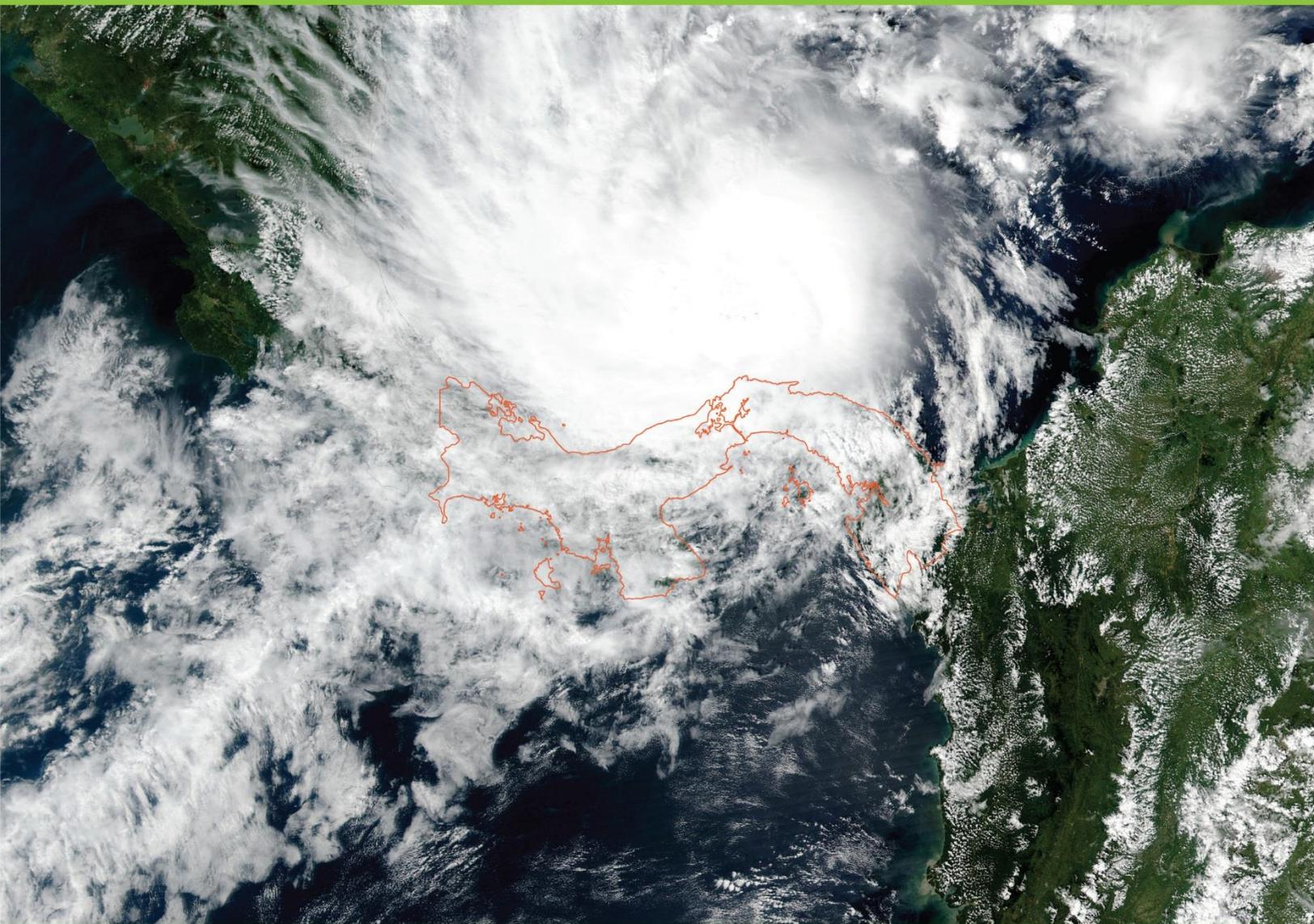


INFORME HIDROMETEOROLÓGICO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL CANAL DE PANAMÁ DURANTE EL PASO DEL CICLÓN TROPICAL OTTO



Vicepresidencia Ejecutiva de Ambiente, Agua y Energía
División de Agua
Sección de Recursos Hídricos

Julio 2017



CANAL DE PANAMÁ

Diseño de portada: Abdiel Díaz
Foto de portada: Imagen satelital del ciclón
tropical Otto el 22 de noviembre de 2016
(Cortesía de la NASA)

Autoridad del Canal de Panamá
Vicepresidencia Ejecutiva de Ambiente, Agua y Energía

**Informe hidrometeorológico de la Cuenca Hidrográfica del Canal
de Panamá durante el paso del ciclón tropical Otto
Del 21 al 22 de noviembre de 2016**

Autor: Gloria Arrocha Paz
Revisor: Erick Córdoba
Aprobador: Johnny Cuevas

Sección de Recursos Hídricos
Corozal Oeste, República de Panamá

Julio 2017

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO	vii
I. Introducción	1
II. Antecedentes y desarrollo del evento	1
III. Metodología.....	6
IV. Presentación y análisis de los resultados	6
A. Precipitación	6
Análisis de frecuencias de la precipitación máxima promedio en 24 horas continuas para la CHCP	6
Análisis de la variación espacial y temporal entre el 20 y 22 de noviembre de 2016	9
B. Viento	17
Magnitud del viento entre el 19 y 23 de noviembre de 2016	17
C. Hidrología.....	20
Caudales de los ríos	20
Análisis de frecuencia del aporte neto diario en la CHCP	26
D. Manejo de los embalses.....	28
Embalse Alhajuela	30
Embalse Gatún	30
V. Conclusiones	34
Apéndices y Anexos	35
Apéndice A - Tablas.....	36
Tabla A1: Precipitación máxima acumulada en 24 horas continuas del periodo 1972-2016	36
Tabla A2: Análisis de Valores Extremos Generales de la precipitación máxima acumulada de 24 horas continuas del 2016, utilizando el periodo 1972-2016....	37
Tabla A3: Lista de estaciones utilizadas en el cálculo de la precipitación promedio areal por medio de Thiessen	37
Tabla A4: Lista de estaciones utilizadas en el cálculo de la precipitación promedio areal por PANMAP	38
Tabla A5: Máximas descargas de los ríos horarias del 20 al 23 de noviembre de 2016 en pies cúbicos por segundo	39
Tabla A6: Aportes máximos en 24 horas continuas en la CHCP (periodo de análisis 1906-2016).	39

Apéndice B – Gráficas	40
Gráfica B1. Ocurrencia de dos extremos nivel mínimo extraordinario y nivel máximo operativo en el Lago Gatún para el año 2016.....	41
Gráfica B 2. Viento máximo, promedio y mínimo de 10 minutos de la estación Limon Bay, mes de noviembre de 2016.....	41
Gráfica B 3. Aportes netos y vertidos diarios de noviembre de 2016.	42
Gráfica B 4. Aportes netos y vertidos del mes de noviembre de 1914 al 2016...	42
Gráfica B 5. Perfil atmosférico desde la estación Corozal Oeste del 19 de noviembre de 2016 a las 00:00 GMT.....	43
Gráfica B6. Perfil atmosférico desde la estación Corozal Oeste del 20 de noviembre de 2016 a las 13:00 GMT.....	44
Gráfica B7. Perfil atmosférico desde la estación Corozal Oeste del 21 de noviembre de 2016 a las 00:00 GMT.....	45
Gráfica B8. Perfil atmosférico desde la estación Corozal Oeste del 21 de noviembre de 2016 a las 12:00 GMT.....	46
Gráfica B9. Perfil atmosférico desde la estación Corozal Oeste del 22 de noviembre de 2016 a las 00:00 GMT.....	47
Gráfica B10. Perfil atmosférico desde la estación Corozal Oeste del 22 de noviembre de 2016 a las 12:00 GMT.....	48
Gráfica B11. Perfil atmosférico desde la estación Corozal Oeste del 23 de noviembre de 2016 a las 00:00 GMT.....	49
Gráfica B12. Perfil atmosférico desde la estación Corozal Oeste del 23 de noviembre de 2016 a las 12:00 GMT.....	50
Apéndice C – Modelo de pronóstico meteorológico PANWRF	51
Ilustración C1. Pronóstico de la precipitación acumulada de 24 horas desde las 09:00 GMT, corrida de las 00:00 GMT, versus lo observado por PANMAP en la CHCP.	51
Ilustración C2. Pronóstico de la precipitación acumulada de 24 horas desde las 20:00 GMT, corrida de las 12:00 GMT, versus lo observado por PANMAP en la CHCP.	51
Anexo - Ilustraciones	52
Análisis de cartas meteorológicas cortesía de la National Oceanic and Atmospheric Administration	52
Ilustración 1: 20 de noviembre de 2016 a las 06 GMT	52
Ilustración 2: 21 de noviembre de 2016 a las 00 GMT	52
Ilustración 3: 21 de noviembre de 2016 a las 06 GMT	53

Ilustración 4: 22 de noviembre de 2016 a las 18 GMT	53
Ilustración 5: 23 de noviembre de 2016 a las 06 GMT	54
Ilustración 6: 23 de noviembre de 2016 a las 12 GMT	54
Imágenes satelitales visibles, infrarrojas y de vapor de agua cortesía de la National Oceanic and Atmospheric Administration.....	55
Ilustración 7: Imagen satelital visible del 21 de noviembre de 2016 a las 13:45 GMT.	55
Ilustración 8: Imagen satelital visible del 22 de noviembre de 2016 a las 15:45 GMT	55
Ilustración 9: Imagen satelital infrarroja del 20 de noviembre de 2016 a las 20:45 GMT	56
Ilustración 10: Imagen satelital infrarroja del 21 de noviembre de 2016 a las 13:45 GMT	56
Ilustración 11: Imagen satelital infrarroja del 21 de noviembre de 2016 a las 19:45 GMT	57
Ilustración 12: Imagen satelital infrarroja del 22 de noviembre de 2016 a las 03:45 GMT.	57
Ilustración 13: Imagen satelital infrarroja del 22 de noviembre de 2016 a las 15:45 GMT.	58
Ilustración 14: Imagen satelital infrarroja del 22 de noviembre de 2016 a las 20:45 GMT.	58
Ilustración 15: Imagen satelital infrarroja del 23 de noviembre de 2016 a las 05:45 GMT.	59
Ilustración 16: Imagen satelital de vapor de agua del 20 de noviembre de 2016 a las 10:45 GMT.....	59
Ilustración 17: Imagen satelital de vapor de agua del 21 de noviembre de 2016 a las 13:45 GMT	60
Ilustración 18: Imagen satelital de vapor de agua del 21 de noviembre de 2016 a las 18:45 GMT	60
Ilustración 19: Imagen satelital de vapor de agua del 21 de noviembre de 2016 a las 18:45 GMT	61
Ilustración 20: Imagen satelital de vapor de agua del 22 de noviembre de 2016 a las 15:45 GMT	61
Ilustración 21: Imagen satelital de vapor de agua del 23 de noviembre de 2016 a las 05:45 GMT	62
Anexo – Imágenes de notas periodísticas referentes al huracán Otto	63

Anexo – Presentación: Impacto del huracán Otto en la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá65

RESUMEN EJECUTIVO

El paso del ciclón tropical Otto al norte de Panamá causó abundante precipitación en la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá (CHCP) los días 21 y 22 de noviembre de 2016, siendo el huracán de formación más tardía y más meridional en la historia registrada de la temporada de huracanes en el Océano Atlántico Norte, cuyo periodo inicia todos los años desde el primero de junio hasta el final de noviembre.

Aunque el Gobierno de Panamá decretó un estado de alerta para las costas del Caribe, la Autoridad del Canal de Panamá (ACP) comunicó a los medios la activación del Centro de Comando de Incidentes y Emergencias para garantizar la operación de la vía acuática y la seguridad de la población aledaña a las represas. También se activaron los equipos de control de vegetación acuática para evitar que se afectase el tránsito por el cauce de la vía interoceánica.

En este informe se presentan datos de la red de estaciones hidrometeorológicas y de los modelos meteorológicos e hidrológicos de la ACP, como histogramas de precipitación e hidrogramas de caudal de los principales ríos de la CHCP, incluyendo información e imágenes satelitales provistas por algunas agencias internacionales, ocurrido todo durante el evento en referencia.

El día 22 de noviembre de 2016, las subcuencas de los ríos Boquerón y Gatún registraron la mayor cantidad de precipitación promedio diaria por área en la CHCP, con 201 mm y 208 mm respectivamente, con base en el método de los polígonos de Thiessen.

El valor más alto de precipitación acumulada diaria, de un promedio de 20 estaciones indicadoras, dentro de la CHCP, fue de 121 mm, el día 21 de noviembre, seguido por un valor de 120 mm, el día 22 de noviembre, como se indica en la Tabla 2 del informe.

Durante la evolución del evento observado, ocurrió la precipitación máxima acumulada en 24 horas continuas del año 2016, cuyo valor fue de 183 mm (entre las 23 horas del día 21 y las 22 horas del 22 de noviembre) ubicándose en la segunda posición del período comprendido de 1972 al 2016, después del valor máximo de 292 mm registrado el 8 de diciembre de 2010 durante la tormenta La Purísima (ver Tabla 3). Esta precipitación máxima acumulada del 2016, tiene un periodo de retorno de 21 años según análisis estadístico de frecuencia (ver Gráfica 3).

El día 22 de noviembre de 2016, el viento máximo sostenido (por un periodo de 10 minutos), alcanzó 61 km/h, mientras que el viento máximo instantáneo fue de

86 km/h, observados en la estación “Limon Bay”, que registró los vientos más fuertes.

El máximo caudal horario ocurrió en el río Chagres alcanzando 521 m³/s, a las 7 horas del 22 de noviembre de 2016. El aporte neto diario máximo en la CHCP fue de 333 Mm³, el día 22 de noviembre, que representa el mayor aporte en los últimos 51 años para un mismo día 22 de noviembre.

El aporte máximo en 24 horas continuas del 2016 fue de 4 497m³/s (entre las 01 horas del día 22 hasta las 00 horas del 23 de noviembre), y su periodo de retorno es de 24 años, según análisis estadístico de frecuencia (ver Gráfica 14).

Los vertidos máximos horarios del año fueron el 22 de noviembre 2016 y por el vertedero de Gatún se descargaron 5 297 m³/s (187 077 pcs) que equivalen a 2 piscinas olímpicas por segundo y por Alhajueta 837 m³/s.

El volumen descargado por el vertedero de Gatún al Mar Caribe, durante los días 21, 22 y 23 de noviembre fue de 500 Mm³, que equivalen a 2 376 tránsitos equivalentes por el Canal; 10 meses de producción de agua potable o 55 días de generación.

Si no se hubiesen desalojado el volumen de 500 Mm³ de agua, el lago Gatún hubiese alcanzado una elevación de 27.88 metros PLD (91.48 pies PLD).

El nivel medio máximo de los embalses de Gatún y Alhajueta, durante los días 21 y 22 de noviembre de 2016, fue de 26.82 m (88.01 pies) y 76.4 m (250.67 pies), respectivamente.

En el año 2016 se dieron dos eventos extremos en el embalse Gatún, el mínimo nivel operativo que ocurrió el 18 de mayo con un nivel de 23.83 m (78.18 pies) y el máximo nivel operativo el 26 de noviembre para un nivel de 26.93 m (88.36 pies). El nivel mínimo operativo fue producto del evento El Niño 2015-2016 y la elevación máxima producto de la tormenta tropical Otto (ver Gráfica B1 del Anexo B).

Pasada la tormenta Otto, no se reportaron afectaciones a las instalaciones ni a los colaboradores de la ACP. El tránsito de buques continuó de manera ininterrumpida y segura, garantizando la prestación del servicio del movimiento de buques de océano a océano requerida por nuestros clientes.

AGRADECIMIENTOS

La preparación del informe fue posible gracias a la colaboración de los meteorólogos e hidrólogos de la Sección de Recursos Hídricos. Cabe destacar la contribución de los siguientes miembros del equipo: el meteorólogo Michael Hart por su colaboración con el análisis y presentación de los datos meteorológicos; de los hidrólogos Tamara Muñoz, Ajax Murillo y Tomás García quienes recopilaron, analizaron, calcularon y graficaron los datos hidrológicos de caudales de los ríos, aportes a los embalses y operaciones de vertidos realizados; a los hidrólogos Jaime Massot y Gerardo Leis y el meteorólogo Alberto Smith por el apoyo con la revisión y edición de los borradores del documento.

I. Introducción

El ciclón tropical Otto acaparó la atención de los medios de comunicación, tanto nacionales como internacionales, a finales del mes de noviembre de 2016 debido a su evolución, trayectoria e impacto en Panamá, Costa Rica y Nicaragua, siendo el huracán de formación más tardía y el más meridional en tocar tierra en la historia registrada de la temporada de huracanes del Océano Atlántico Norte. Las áreas operativas y la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá (CHCP) se vieron afectadas los días 21 y 22 de noviembre de 2016 por el paso en el mar Caribe del ciclón tropical Otto.

El objetivo de este informe es documentar las condiciones sinópticas ocurridas en estos dos días, los resultados del análisis de frecuencia de la precipitación máxima promedio areal, los aportes máximos en veinticuatro horas, y las operaciones de vertidos realizadas durante el evento. Adicionalmente, se resume la información registrada y captada por las estaciones hidrometeorológicas y el modelo PANMAP, tales como la precipitación, la magnitud del viento, la elevación de los embalses y los caudales de los ríos de la CHCP.

II. Antecedentes y desarrollo del evento

El 12 de noviembre de 2016, el Centro Nacional de Huracanes (NHC por sus siglas en inglés) detectó un área de baja presión con potencial de desarrollo en el suroeste del mar Caribe. La probabilidad de convertirse en ciclón tropical en 5 días fue estimada en un 20 %. Dos días después, el 14 de noviembre, el NHC aumentó las probabilidades de formación de un ciclón tropical a 70 % debido a la disminución de la presión atmosférica y el aumento en la actividad convectiva en el sistema de baja presión. Este sistema se mantuvo errático, con vientos débiles y poca organización durante unos días debido a condiciones desfavorables en altura.

El 19 de noviembre la actividad convectiva en el sistema de baja presión volvió a aumentar y mostraba mayor organización en medio de condiciones más favorables. El equipo de reconocimiento *Hurricane Hunter* voló sobre el sistema por primera vez el 20 de noviembre y encontró un sistema definido pero con insuficiente actividad convectiva, manteniéndose el estatus de sistema de baja presión.

El 21 de noviembre de 2016 a las 09:00 Tiempo Medio de Greenwich (GMT, por sus siglas en inglés), la depresión tropical número 16 fue identificada luego de que el NHC observara mayor convección en el centro y mayor organización en la formación de bandas de precipitación. La tabla 1 detalla la categoría y la ubicación del ciclón tropical Otto del 21 al 24 de noviembre de 2016 y las ilustraciones 1 y 2 indican la trayectoria y la zona de impacto de la intensidad de los vientos en su recorrido. El análisis de superficie del 22 de noviembre de 2016 a las 18:00 GMT (ilustración 3) muestra la presencia de un frente estacionario al noreste de la tormenta tropical Otto y la vaguada monzónica al oeste de Panamá. La ilustración 4 muestra la imagen satelital del 22 de noviembre de 2016 a las 20:45 GMT, cuando ya había alcanzado la intensidad de un huracán categoría 1. El perfil atmosférico (gráfica 1), obtenido desde la estación Corozal Oeste, muestra un alto

contenido de humedad en la atmósfera y flujo predominante del oeste, lo cual corresponde a la ubicación y la intensidad del ciclón tropical Otto en ese momento. El apéndice B contiene los perfiles atmosféricos entre el 19 y 23 de noviembre de 2016 y el apéndice C contiene las cartas de superficie e imágenes satelitales entre el 20 y 23 de noviembre de 2016.

Tabla 1. Ubicación e intensidad del ciclón tropical Otto del 21 al 24 de noviembre de 2016

Día	Hora (GMT)	Categoría	Ubicación
21	09:00	Depresión tropical #16	11.5N 79.4W
21	18:00	Tormenta tropical Otto	11.5N 79.3W
22	21:00	Huracán Otto	10.5N 79.6W
23	12:00	Tormenta tropical Otto	11.0N 80.5W
24	00:00	Huracán Otto Categoría 1	11.2N 81.8W
24	11:00	Huracán Otto Categoría 2 (155 km/h)	11.0N 82.8W
24	18:00	Huracán Otto Categoría 2 (175 km/h)	11.0N 83.9W

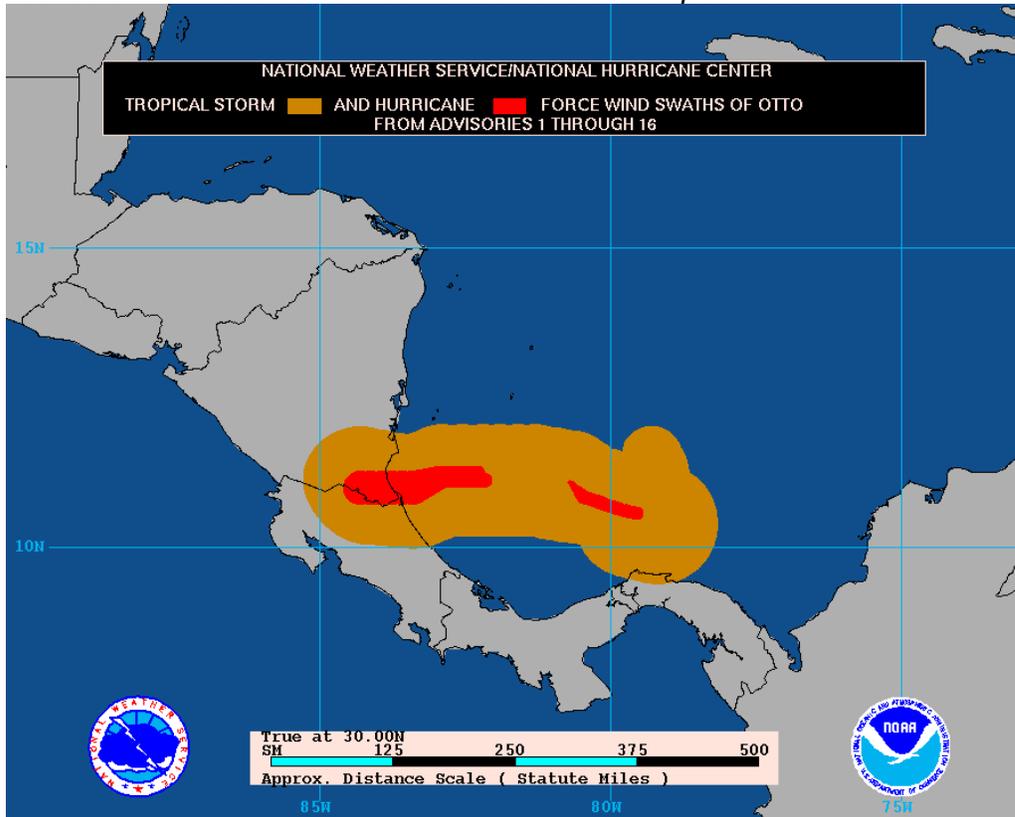
Fuente: National Hurricane Center

Ilustración 1. Información de la trayectoria del centro del ciclón tropical Otto



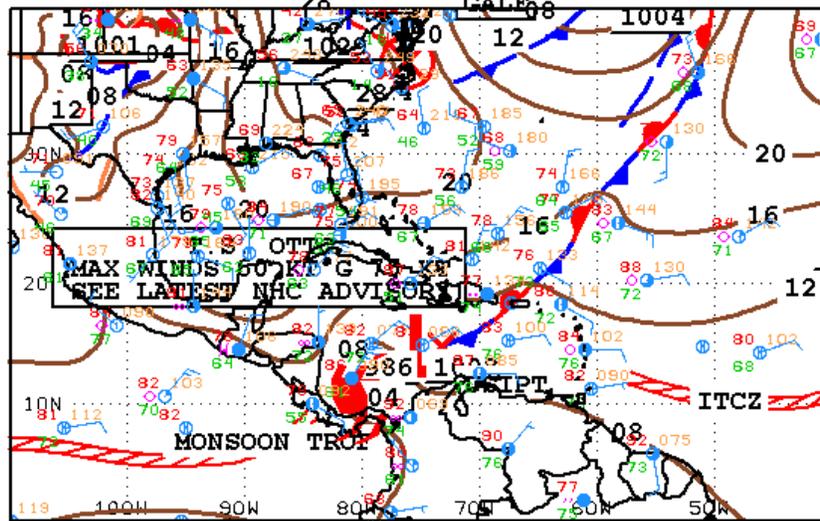
Fuente: National Hurricane Center

Ilustración 2. Intensidad de los vientos del ciclón tropical Otto



Fuente: National Hurricane Center

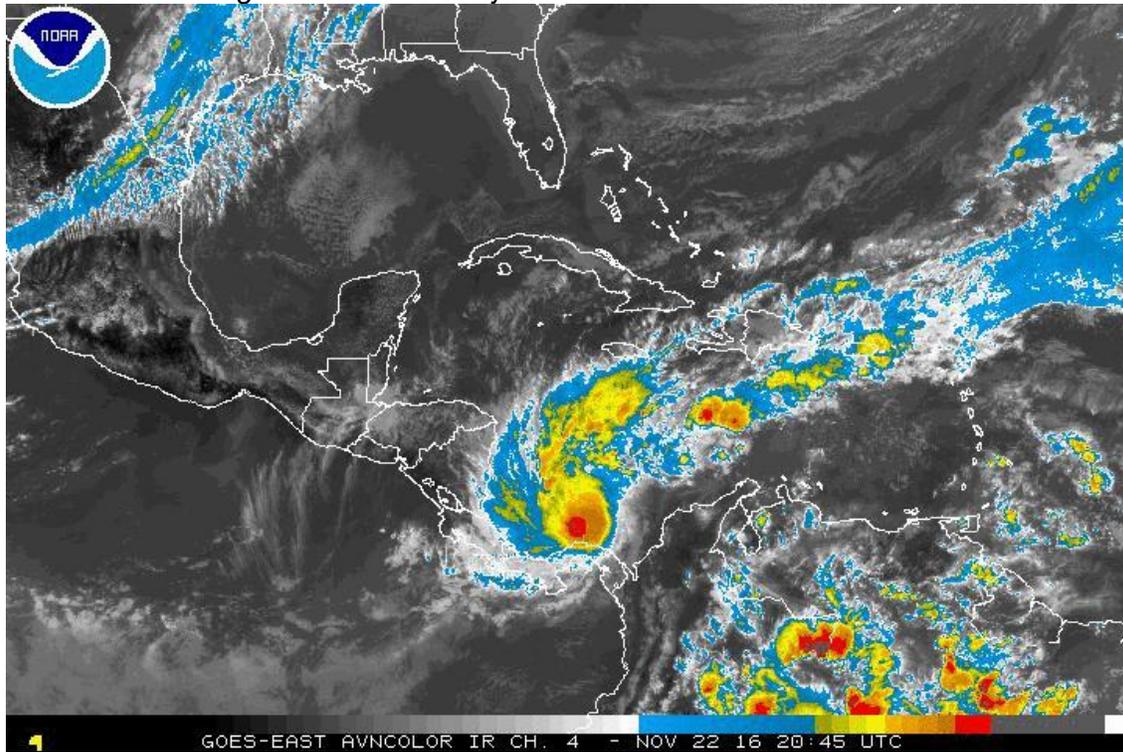
Ilustración 3. Análisis de superficie del 22 de noviembre de 2016 a las 18:00 GMT



18Z SOUTHWEST NORTH ATLANTIC SFC ANALYSIS NATIONAL HURRICANE CENTER
 ISSUED: MIAMI, FLORIDA
 Tue Nov 22 20:37:29 UTC 2016 BY TAFB ANALYST: MH/PW
 COLLABORATING CENTERS: NHC OPC

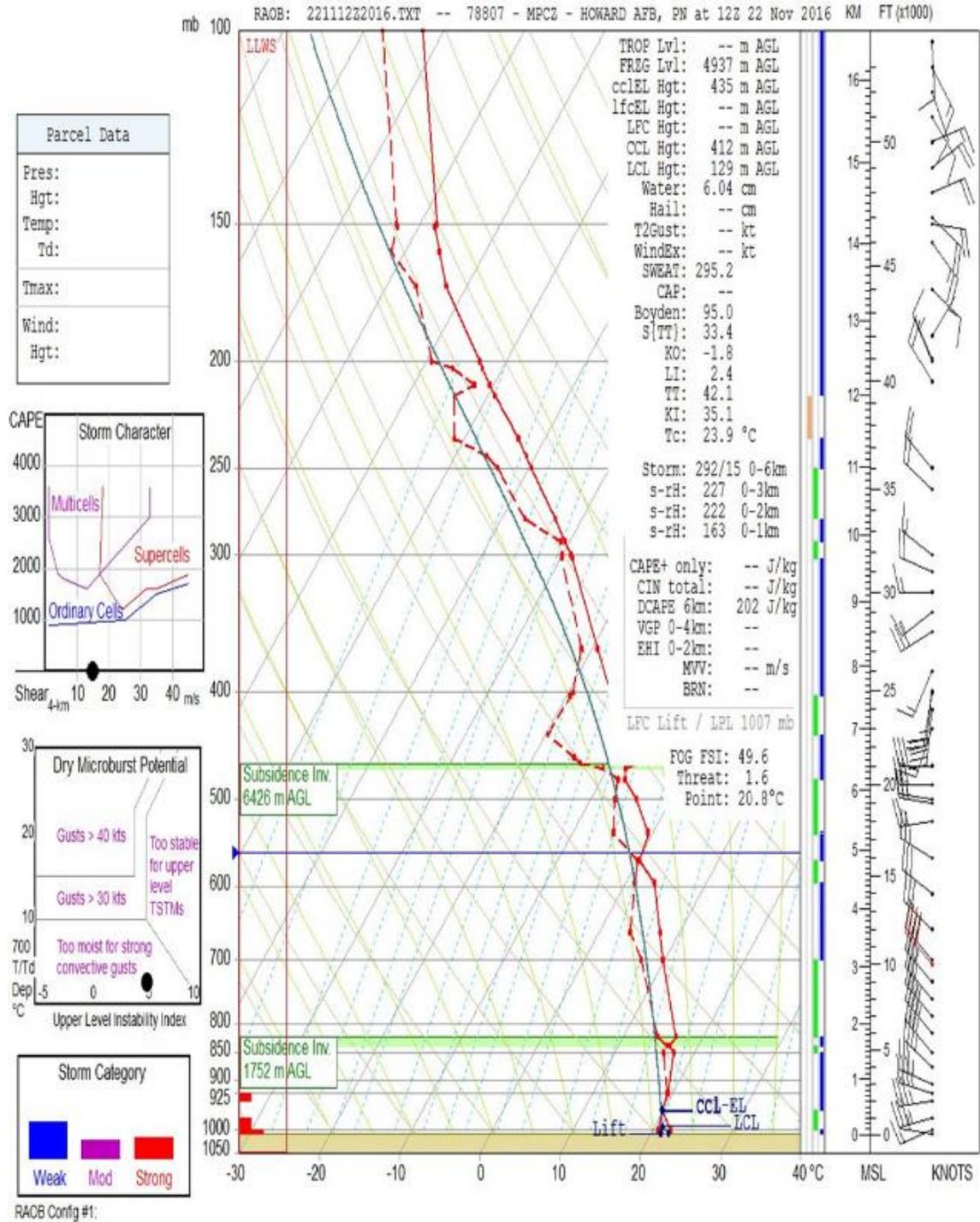
Fuente: National Hurricane Center

Ilustración 4. Imagen satelital infrarroja del 22 de noviembre de 2016 a las 20:45 GMT



Fuente: National Oceanic and Atmospheric Administration

Gráfica 1. Perfil atmosférico desde la estación Corozal Oeste del 22 de noviembre de 2016 a las 12:00 GMT



III. Metodología

En este informe se utilizaron los datos obtenidos de la red de estaciones hidrometeorológicas, los modelos meteorológicos e hidrológicos de la Autoridad del Canal de Panamá (ACP). También incluye información e imágenes provistas por la NHC, la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA por sus siglas en inglés) y del Sistema de Orientación de Inundaciones Repentinas de América Central (CAFFG, por sus siglas en inglés).

IV. Presentación y análisis de los resultados

A. Precipitación

Análisis de frecuencias de la precipitación máxima promedio en 24 horas continuas para la CHCP

La tabla 2 muestra la lista de 20 estaciones con los acumulados diarios de precipitación entre el 19 y 23 de noviembre de 2016, y muestra también el promedio diario de las 20 estaciones para este mismo periodo, siendo el valor más alto el del día 21 de noviembre de 2016 con 121 mm, seguido por el 22 de noviembre con 120 mm.

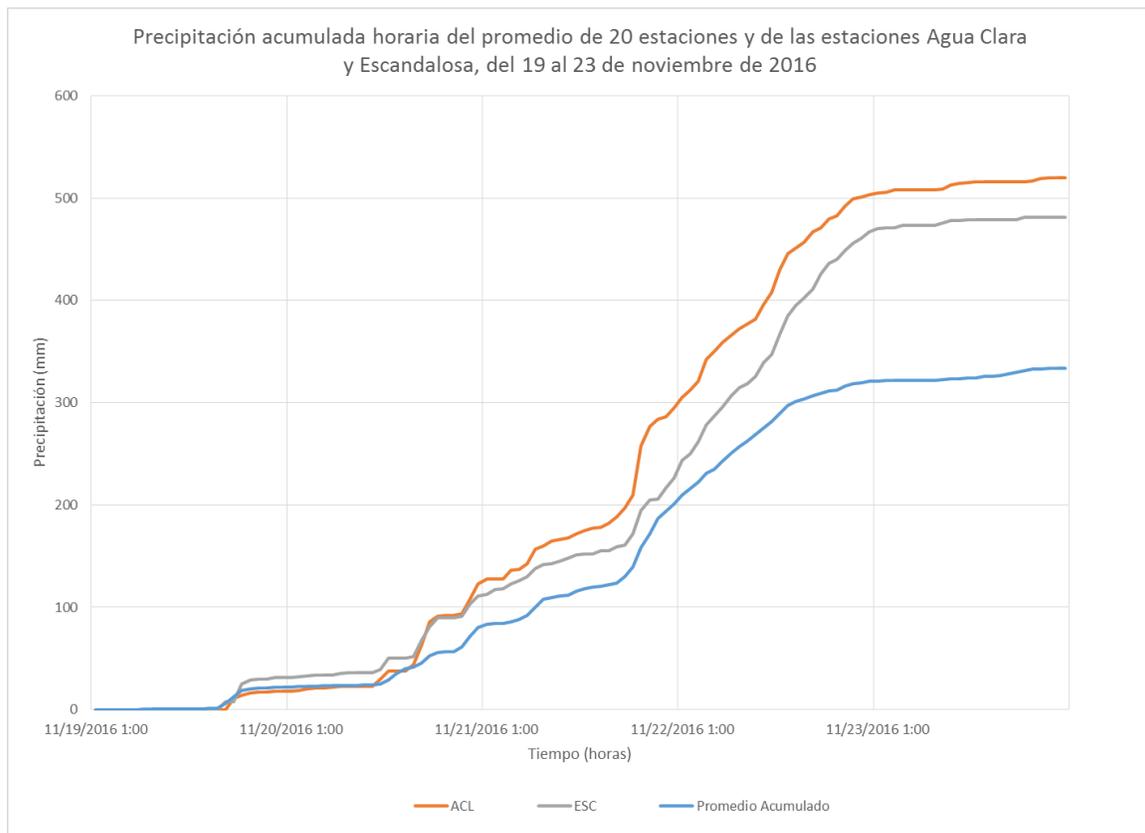
Adicionalmente a la precipitación acumulada diaria, se analizó la precipitación máxima acumulada en 24 horas continuas del promedio de las 20 estaciones de la tabla 2, que fue de 183 mm, y se dio entre las 23:00 GMT del 21 y las 22:00 GMT del 22 de noviembre; en Agua Clara fue de 279 mm, entre las 23:00 GMT del 21 de noviembre y las 22:00 GMT del 22 de noviembre; en Escandalosa fue de 265 mm, entre 00:00 GMT y las 23:00 GMT del 22 de noviembre. Estas dos estaciones, Agua Clara y Escandalosa, registraron el máximo acumulado de precipitación en 24 horas continuas de las 20 estaciones de la tabla 2. La gráfica 2 muestra la distribución temporal horaria del promedio de las 20 estaciones y de las estaciones Agua Clara y Escandalosa.

Tabla 2. Precipitación acumulada diaria del 19 al 23 de noviembre de 2016, en mm, de 20 estaciones dentro de la CHCP.

Estación	19-Nov	20-Nov	21-Nov	22-Nov	23-Nov
ACL	18	105	172	208	17
ALA	19	44	115	99	2
BCI	23	50	150	105	19
CAS	18	24	94	90	13
CDL	33	57	106	137	5
CHI	18	55	119	147	13
CHR	9	17	109	58	42
CNO	20	23	101	84	33
CNT	28	85	154	155	12
ESC	31	80	115	241	14
GAM	7	18	91	99	8
GAT	19	106	144	105	5
GOL	4	52	95	77	16
GUA	27	79	139	98	7

HUM	34	41	117	94	5
MLR	28	90	156	94	11
PEL	38	59	134	162	7
PMG	5	68	85	66	7
RAI	25	43	118	93	13
SMG	36	62	108	181	6
Promedio 20 estaciones	22	58	121	120	13

Gráfica 2. Curva masa de precipitación media horaria, del promedio de 20 estaciones y de las estaciones Agua Clara y Escandalosa, del 19 al 23 de noviembre de 2016.



a) Periodo de retorno de la precipitación acumulada en 24 horas continuas

El promedio de las 20 estaciones que aparecen en la tabla 2 se utilizó para obtener la precipitación máxima acumulada en 24 horas continuas del 2016. Este valor fue de 183 mm y ocurrió durante las afectaciones a Panamá del ciclón tropical Otto entre las 23:00 GMT del 21 hasta las 22:00 GMT del 22 de noviembre de 2016. La precipitación máxima acumulada del 2016 de 183 mm se ubica en la segunda posición del periodo de análisis de 1972 al 2016, después del valor máximo observado en el 2010 (292 mm) ocurrido el 8 de diciembre durante la tormenta La Purísima. La tabla 3 muestra el máximo de

precipitación acumulada en 24 horas continuas para el periodo de 1972 al 2016. La misma tabla, pero en orden cronológico, se encuentra en el apéndice A.

El periodo de retorno de la precipitación máxima acumulada en 24 horas continuas del 2016 es de 21 años, según el análisis estadístico de Valores Extremos Generales (GEV por sus siglas en inglés) (gráfica 3). La tabla de referencia del periodo de retorno versus la precipitación máxima acumulada en 24 horas continuas se encuentra en el apéndice A.

Tabla 3. Posición, de mayor a menor, de la precipitación máxima acumulada en 24 horas continuas del periodo 1972-2016.

Posición	Año	Precipitación (mm)	Posición	Año	Precipitación (mm)
1	2010	292	24	2008	76
2	2016	183	25	1988	76
3	2012	164	26	1974	75
4	2000	140	27	2007	74
5	2004	138	28	1983	70
6	2002	128	29	1993	70
7	1985	119	30	1990	68
8	2006	113	31	2015	64
9	2013	111	32	2009	63
10	1987	111	33	1975	62
11	1996	110	34	1989	61
12	2001	108	35	1986	60
13	1981	108	36	1984	60
14	1998	99	37	1972	59
15	1994	95	38	1976	55
16	1991	94	39	1980	54
17	2011	93	40	1979	53
18	1978	90	41	2005	53
19	1999	88	42	2014	51
20	1973	88	43	1997	49
21	2003	83	44	1977	49
22	1992	79	45	1982	48
23	1995	79			

Ilustración 5. Mapa de precipitación del 20 de noviembre de 2016

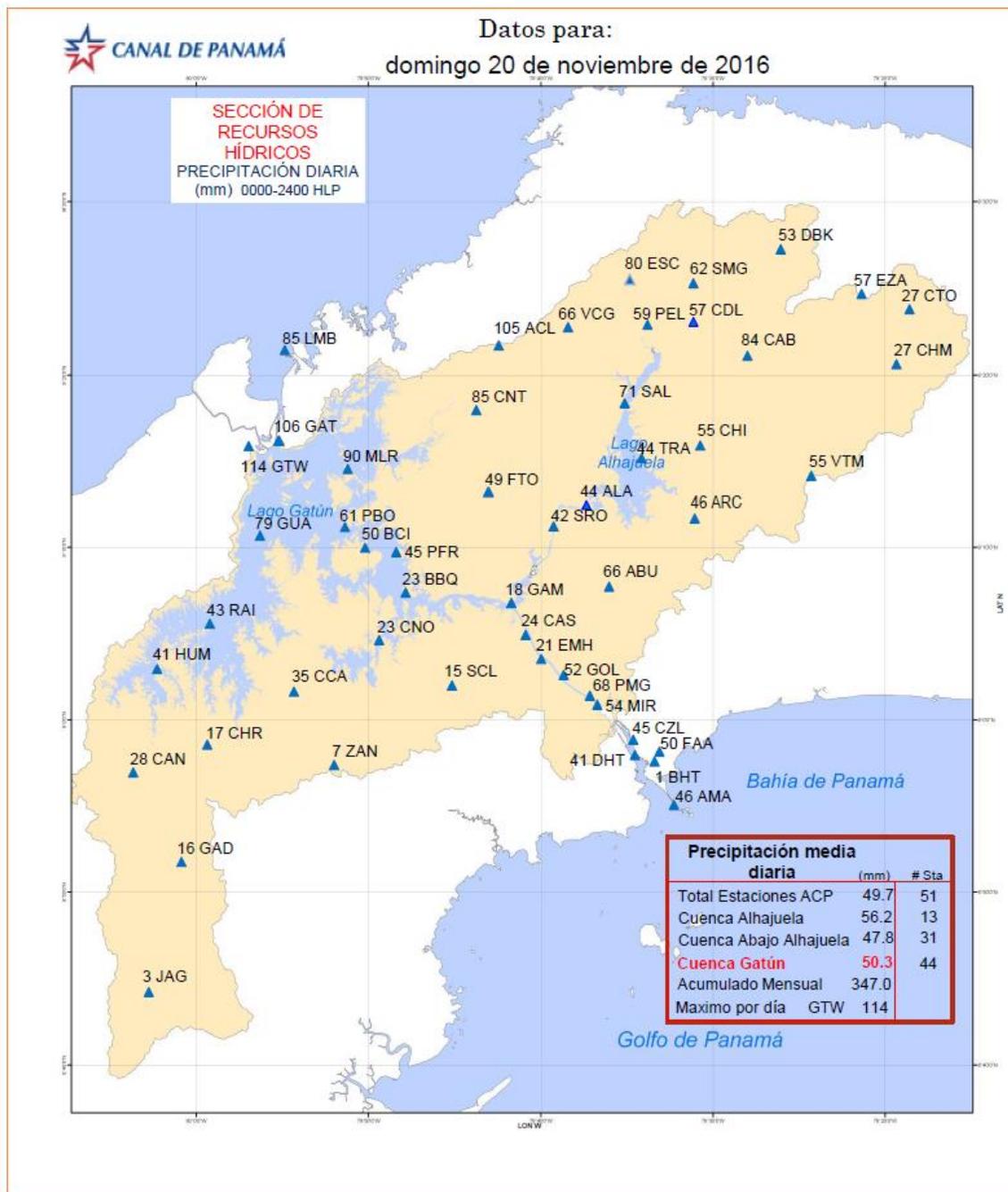


Ilustración 6. Mapa de precipitación del 21 de noviembre de 2016.

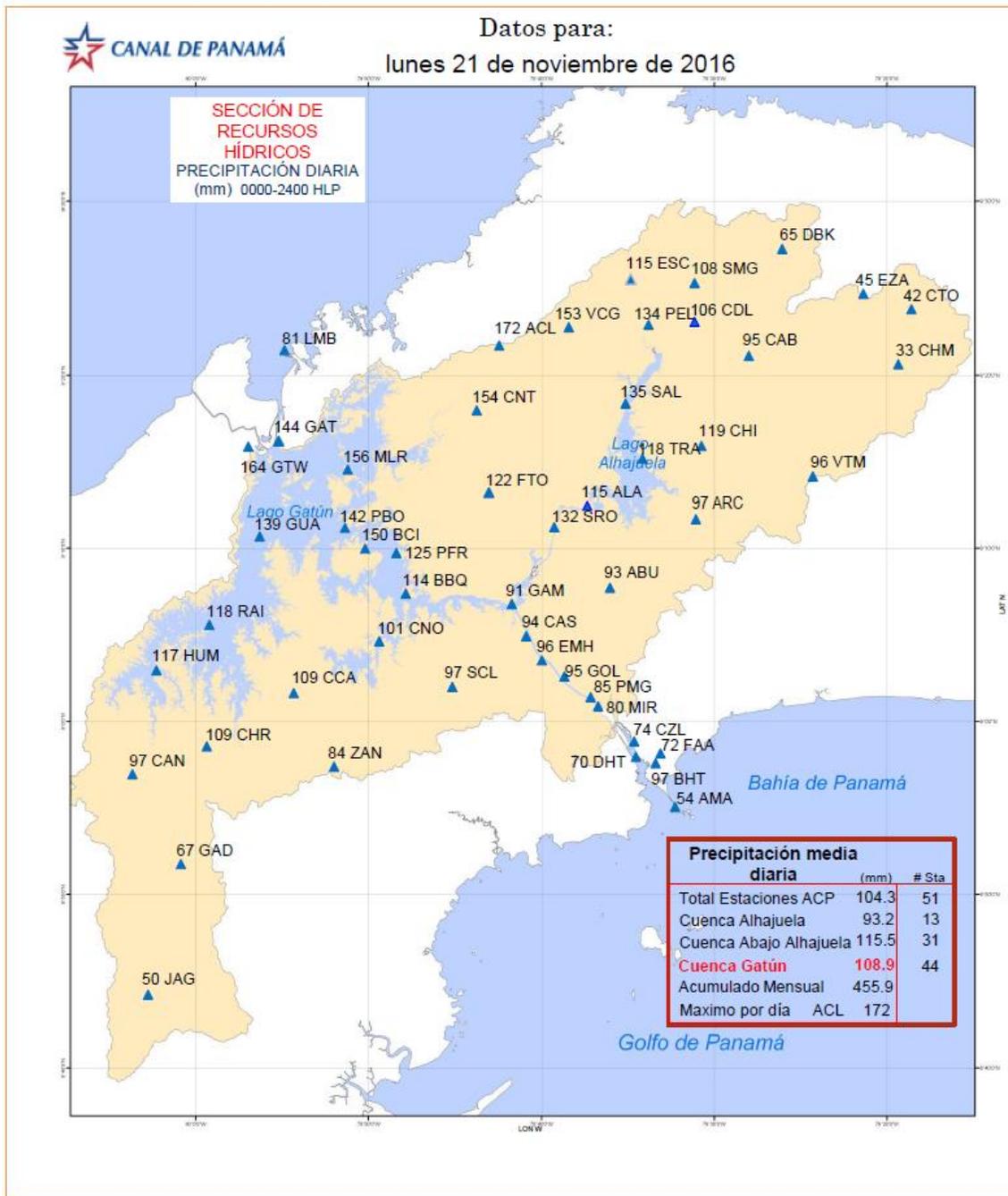
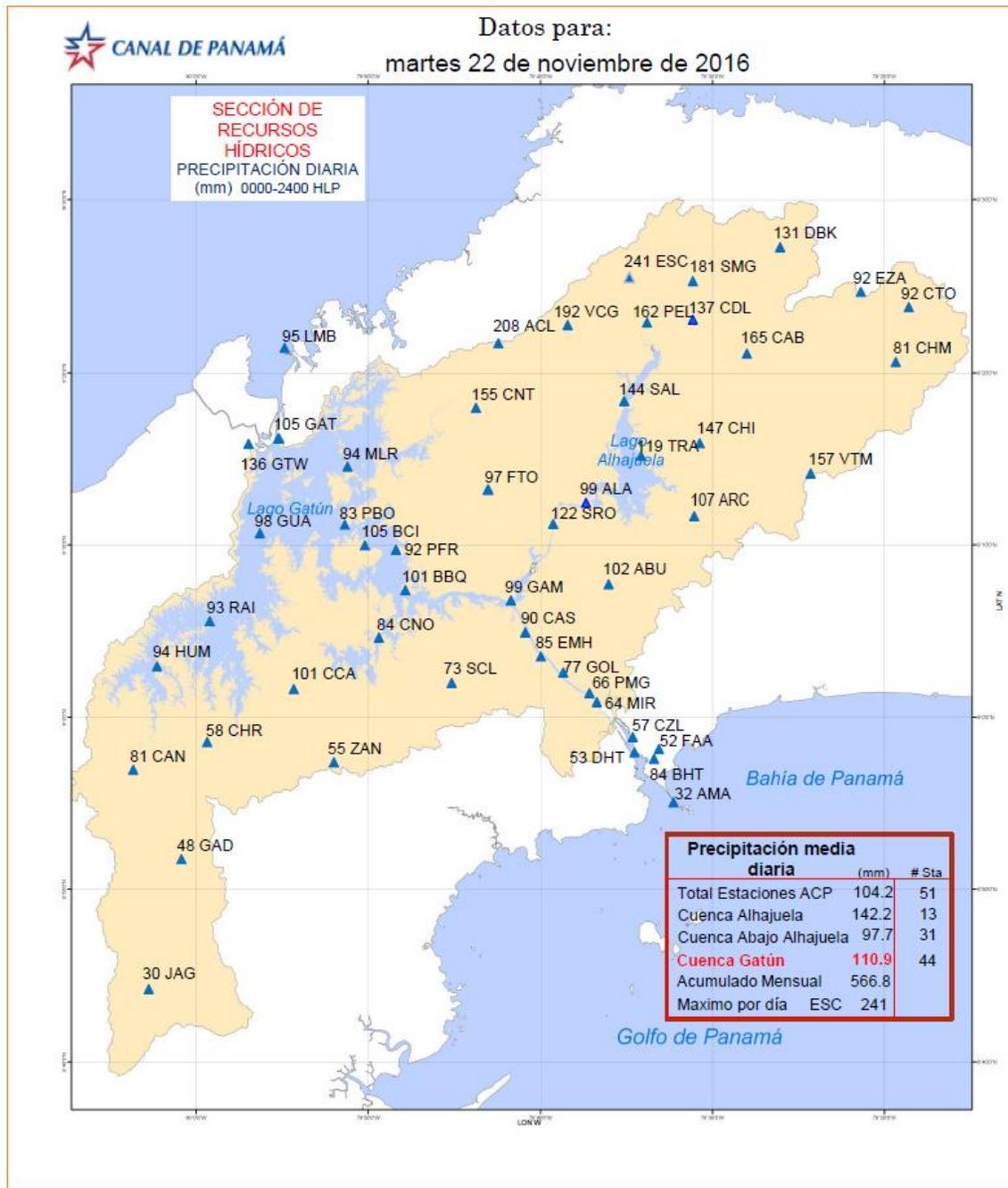


Ilustración 7. Mapa de precipitación del 22 de noviembre de 2016.



b) Precipitación estimada por el método de Thiessen para cada subcuenca de la CHCP

La precipitación promedio areal de la CHCP para los días 20, 21 y 22 de noviembre de 2016, obtenida por el método Thiessen, se elaboró con los datos observados en 44 estaciones de precipitación (lista de estaciones en el apéndice A) ubicadas dentro de la CHCP. La tabla 4 muestra que el 22 de noviembre fue el día de mayor precipitación, con 107 mm. También se puede observar que Gatún fue la subcuenca con mayor precipitación diaria con 208 mm, seguida por la subcuenca de Boquerón, con 201 mm,

ambas el día 22 de noviembre de 2016. Las subcuencas del embalse Alhajuela muestran una precipitación acumulada de 137 mm y de 94 mm en el embalse Gatún Aguas Abajo, también el día 22 de noviembre de 2016.

Tabla 4. Precipitación promedio de los días 20, 21 y 22 de noviembre de 2016 en las subcuencas principales de la CHCP estimada por medio del método Thiessen

Subcuenca	Precipitación Promedio en mm			
	20-Nov	21-Nov	22-Nov	20-22 nov
Boquerón	69	115	201	385
Pequení	59	83	147	290
Chagres	51	67	121	238
Indio Este	53	99	142	293
Madden Local	55	117	133	304
Subcuenca Embalse Alhajuela	55	91	137	282
Gatún	83	151	208	441
Trinidad	10	62	40	112
Cirí Grande	14	67	48	129
Gatún Sur	26	104	81	211
Gatún Norte	57	122	113	292
Embalse Gatún	60	133	97	290
Subcuenca Embalse Gatún (aguas abajo)	42	111	94	247
CHCP	46	105	107	258

c) Precipitación estimada por PANMAP para cada subcuenca de la CHCP

La precipitación estimada por PANMAP durante el mes de noviembre de 2016 utilizó el método de la interpolación del inverso de las distancias aplicado a las estaciones pluviométricas de la CHCP (lista de estaciones en el apéndice A).

La ilustración 8 muestra la curva masa de la precipitación horaria entre el 19 y 23 de noviembre de 2016 para la CHCP, la subcuenca de Gatún y Alhajuela, estimada por PANMAP. La tabla 5 muestra la precipitación acumulada diaria para las 11 subcuencas de PANMAP y la CHCP. La subcuenca con mayor precipitación diaria fue la subcuenca de Boquerón con 188 mm, seguida por la subcuenca de Gatún con 182 mm el día 22 de noviembre de 2016. Las subcuencas aguas arriba de Gatún muestran una precipitación acumulada de 136 mm y de 89 mm Aguas Abajo de Gatún, también el día 22 de noviembre de 2016.

Ilustración 8. Curva masa de precipitación media horaria, estimada por PANMAP, del 19 al 23 de noviembre de 2016.

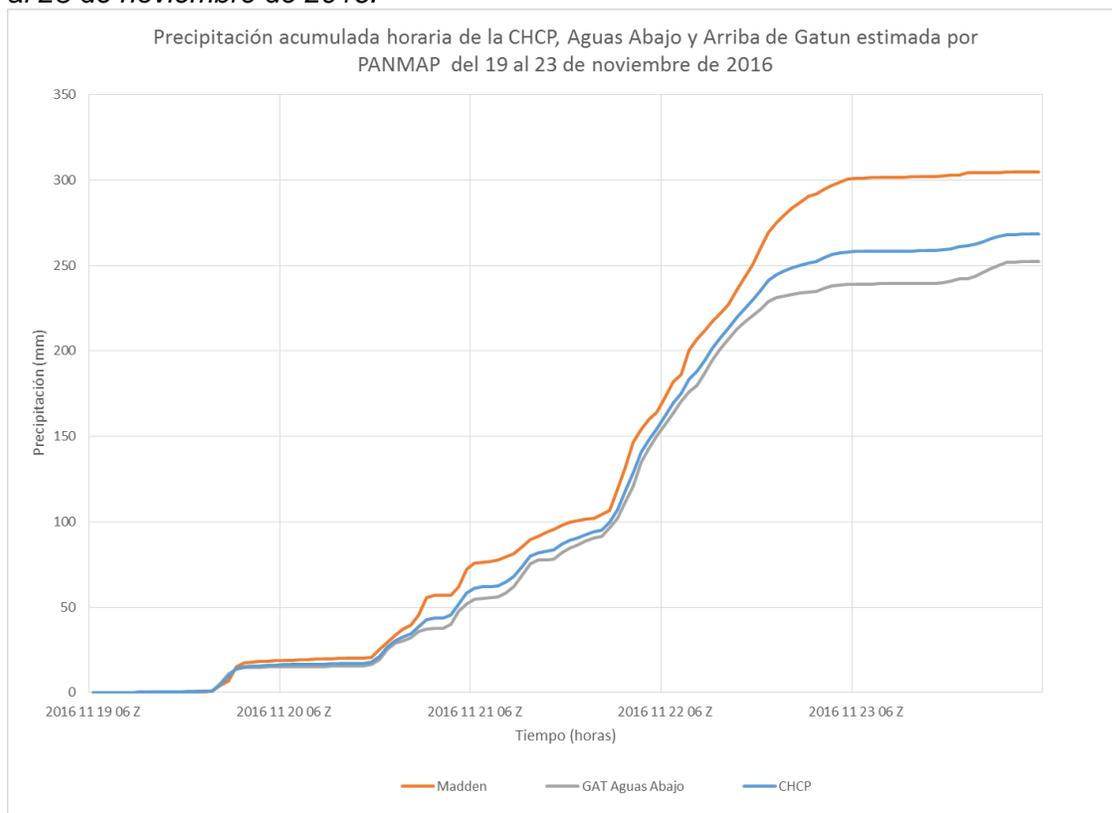


Tabla 5. Precipitación promedio de los días 20, 21 y 22 de noviembre de 2016 en las subcuencas principales de la CHCP estimada por PANMAP

Subcuenca	Precipitación Promedio en mm			
	20-Nov	21-Nov	22-Nov	20-22 Nov
Boquerón	66	114	188	368
Pequení	58	86	148	292
Chagres	49	68	120	236
Indio Este	53	102	144	299
Madden Local	55	117	136	308
Subcuenca Embalse Alhajuela	54	92	136	282
Gatún	71	121	182	374
Trinidad	11	66	44	121
Cirí Grande	14	70	50	134
Gatún Sur	26	100	81	207
Gatún Norte	50	104	104	258
Embalse Gatún	46	107	87	240
Subcuenca Embalse Gatún (aguas abajo)	37	98	89	224
CHCP	42	96	103	242

El sistema PANMAP también tiene un modelo de pronóstico meteorológico llamado Panama Weather Research and Forecasting (PANWRF). El apéndice C contiene

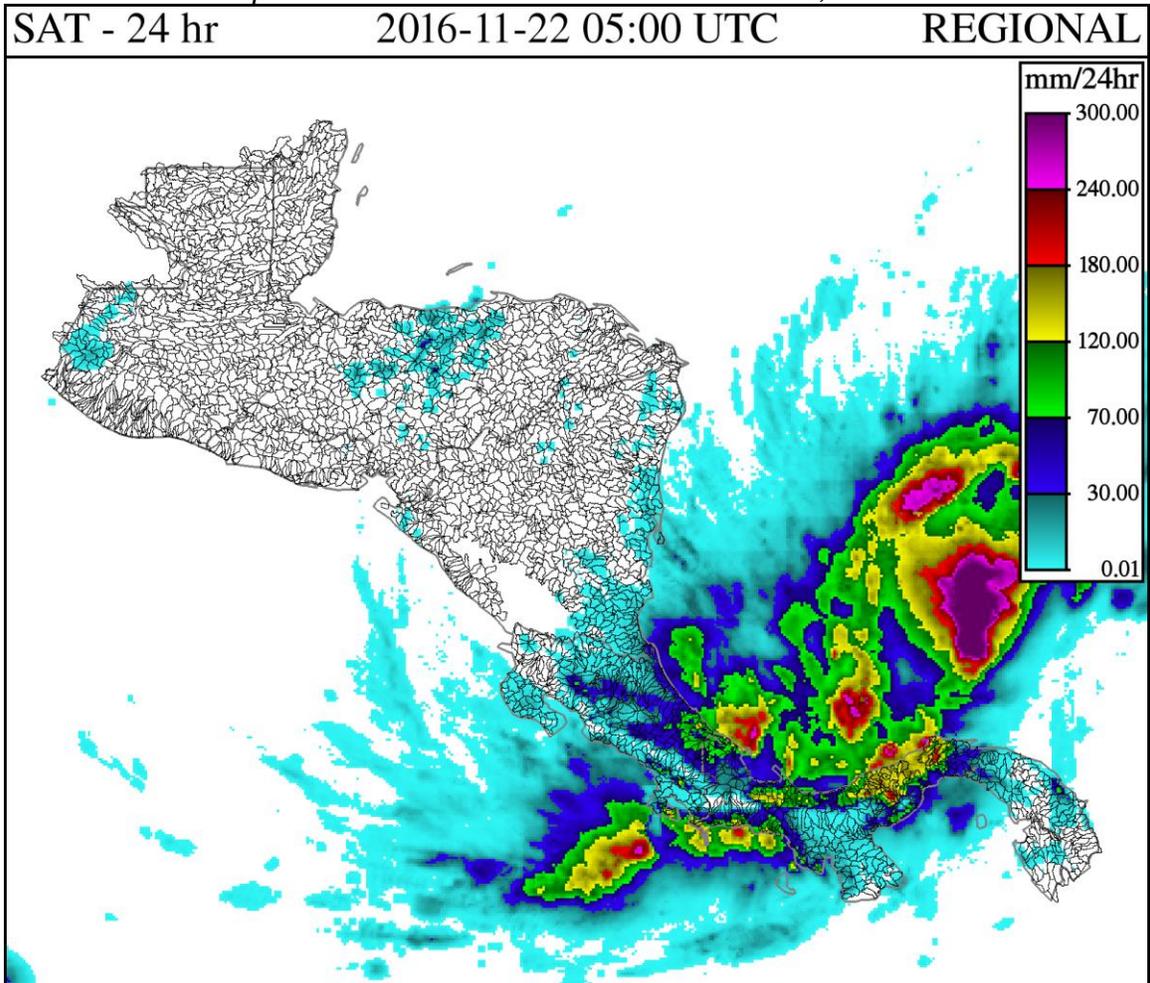
información sobre los resultados de las corridas del modelo PANWRF a las 00:00 GMT y 12:00 GMT durante el mes de noviembre de 2016.

d) Estimación satelital de la precipitación acumulada diaria en la región

El producto de precipitación satelital del Sistema de Orientación de Inundaciones Repentinas de América Central (CAFFG, por sus siglas en inglés) muestra, de manera aproximada, las áreas de mayor precipitación acumulada en 24 horas durante los días 21 y 22 de noviembre del 2016, periodo de influencia del ciclón tropical Otto sobre la CHCP. Estos valores requieren un ajuste de sesgo satelital antes de ser utilizados como valores exactos y en este informe solo se utilizan como referencia de la magnitud y distribución de la precipitación a nivel regional.

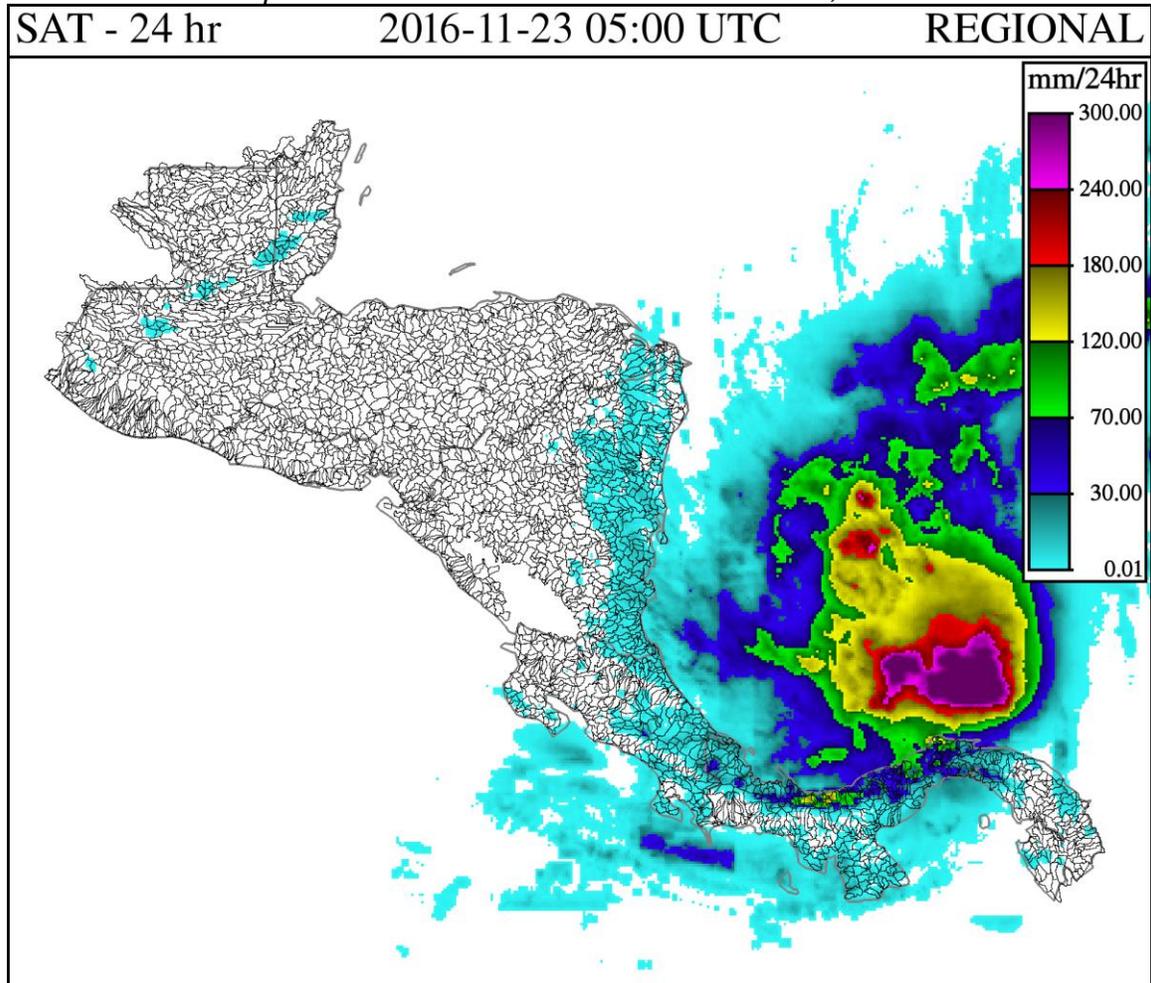
En las ilustraciones 9 y 10 se puede observar que la precipitación más intensa del 21 de noviembre de 2016 ocurrió al norte de Panamá en el mar Caribe con valores superiores a 240 mm en 24 horas, y el día 22 de noviembre estas intensidades se observaron a menos de 120 km de la costa Arriba de Colón. También se puede observar que la CHCP fue afectada por fuertes lluvias, con acumulados superiores a 120 mm en 24 horas, según el análisis del CAFFG, producto de la precipitación proveniente de las bandas externas del ciclón tropical Otto.

Ilustración 9. Precipitación diaria del 21 de noviembre de 2016, estimada satelitalmente



Fuente: CAFFG

Ilustración 10. Precipitación diaria del 22 de noviembre de 2016, estimada satelitalmente



Fuente: CAFFG

B. Viento

Magnitud del viento entre el 19 y 23 de noviembre de 2016

a) Viento máximo instantáneo

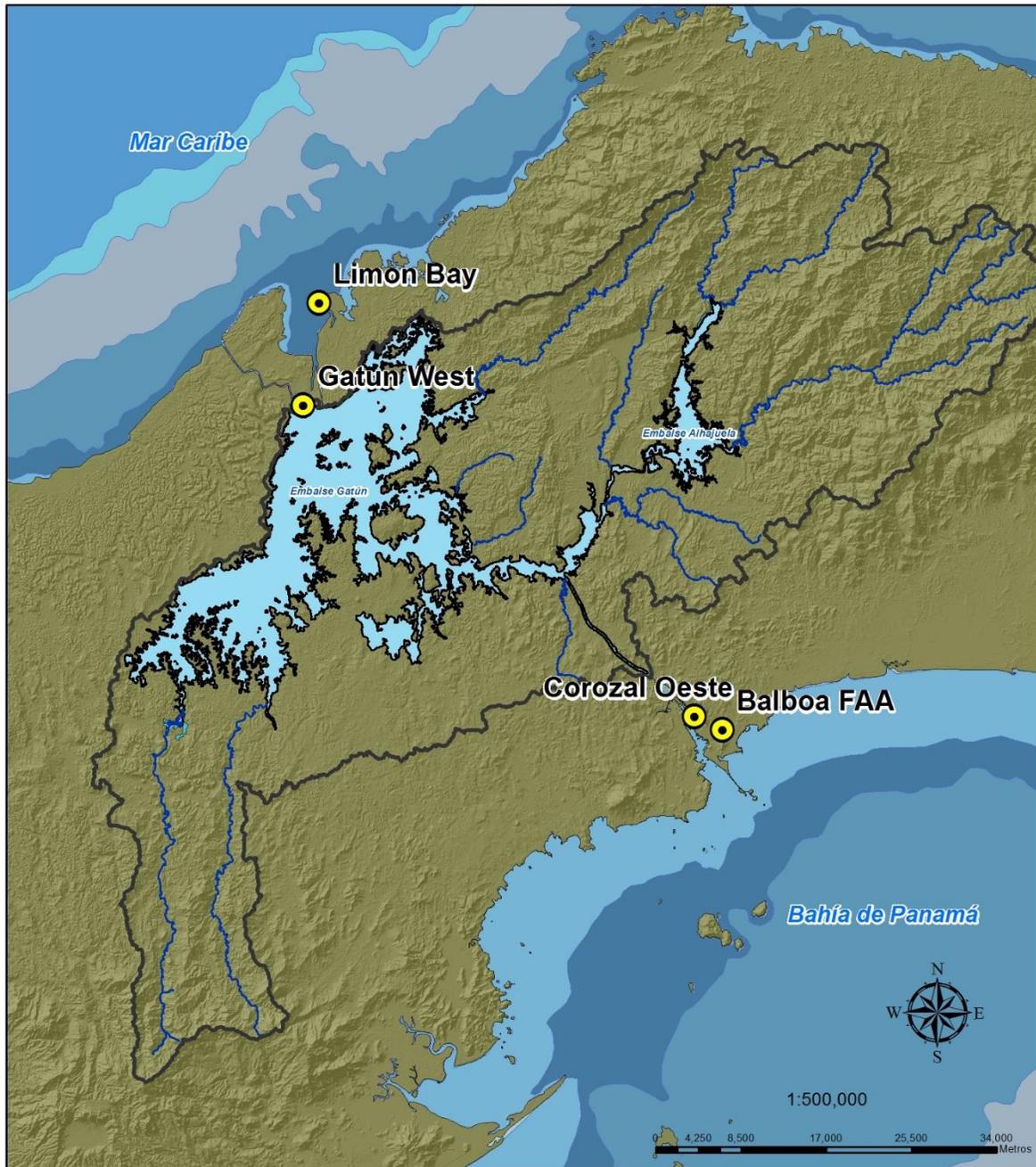
El análisis del viento de los días del 19 al 23 de noviembre de 2016 se realizó para cuatro estaciones meteorológicas cercanas a las principales áreas operativas del Canal de Panamá (ilustración 11). Las estaciones Limon Bay y Gatun West están ubicadas en la entrada norte del Canal y cerca de las esclusas de Gatún. Las estaciones de Balboa FAA y Corozal Oeste se encuentran cerca de la entrada sur del Canal y las esclusas de Miraflores.

Los resultados indican que el viento máximo instantáneo durante el periodo de análisis, de 23.9 m/s (86 km/h), se registró en la estación de Limon Bay el 22 de noviembre a las 14:00 GTM (9 a.m. hora local). La estación de Gatun West registró un viento máximo de 19.2 m/s (69 km/h) el día 22 de noviembre a las 06:50 GMT; 11.0 m/s (40 km/h) el 22 de

noviembre a las 08:10 GMT en Balboa FAA; 6.9 m/s (25 km/h) el 20 de noviembre a las 13:40 GMT en Corozal Oeste.

Ilustración 11. Ubicación de las estaciones Limon Bay, Gatun West, Corozal Oeste y Balboa FAA

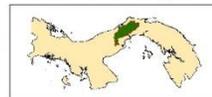
Estaciones meteorológicas tipo A



Leyenda

- Estaciones meteorológicas Tipo A
- Ríos principales

Localización Regional



Vicepresidencia de Ambiente, Agua y Energía
División de Agua
Sección de Recursos Hídricos (EAAR)



Tabla 6. Viento máximo instantáneo y máximo sostenido de 10 minutos de la estación Limon Bay

Día	Hora Local	Viento máximo instantáneo (m/s y km/h)		Hora Local	Viento máximo sostenido (m/s y km/h)	
19	6:10 p.m.	8.8	32	6:00 p.m.	6.9	25
20	11:10 p.m.	15.2	55	11:00 p.m.	11.3	41
21	8:40 p.m.	18.0	65	6:20 p.m.	12.8	46
22	2:00 p.m.	23.9	86	7:10 a.m.	16.9	61
23	5:30 a.m.	14.8	53	5:40 a.m.	9.9	36

Tabla 7. Viento máximo instantáneo de 10 minutos de las estaciones Gatun West, Balboa FAA y Corozal Oeste ocurrido entre el 20 y 22 de noviembre de 2016

Estación	Día	Hora	Viento máximo instantáneo (m/s y km/h)	
Gatun West	22 nov	6:50 a.m.	19.2	69
Balboa FAA	22 nov	8:10 a.m.	11.0	40
Corozal Oeste	20 nov	1:40 p.m.	6.9	25

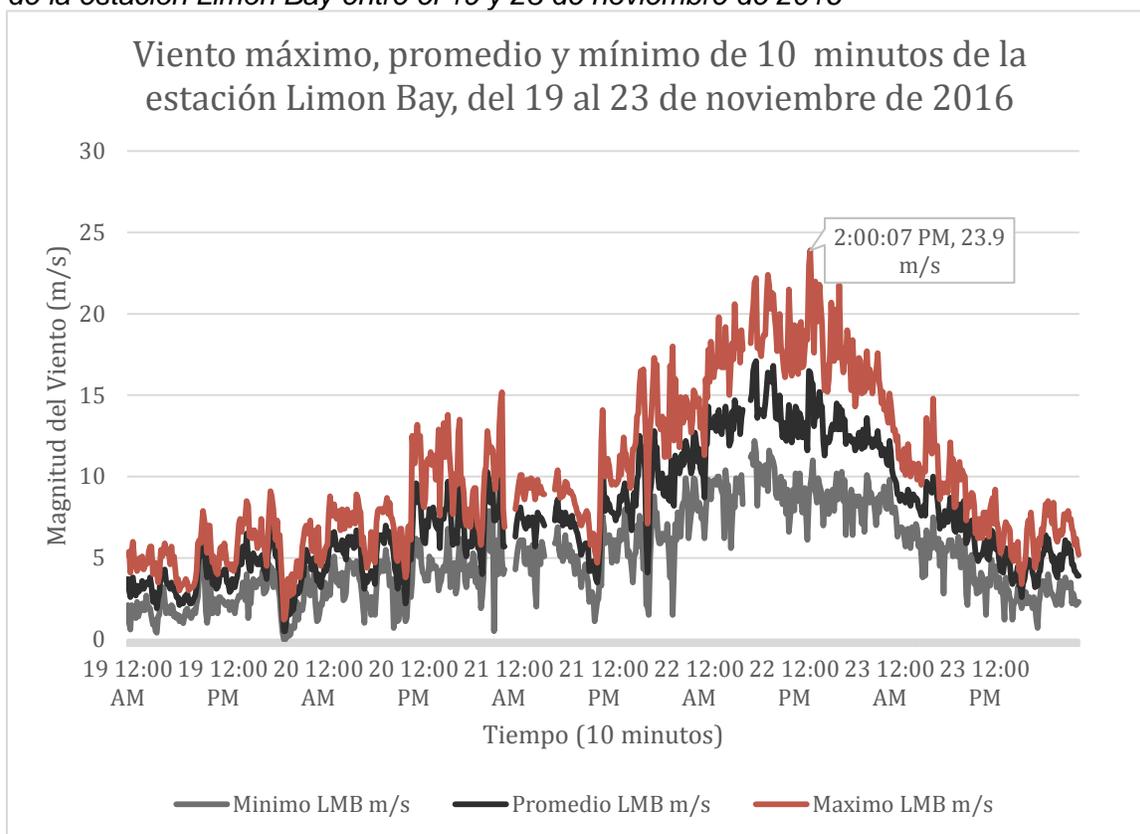
b) Viento máximo sostenido

El viento máximo sostenido asociado con los ciclones tropicales se define como el promedio más alto durante un periodo de un minuto o de diez minutos. Las estaciones meteorológicas de la ACP promedian el viento cada diez minutos.

El viento máximo sostenido observado fue de 16.9 m/s (61 km/h) en la estación de Limon Bay el día 22 a las 14:00 GMT, cercano al límite inferior de la categoría de viento de tormenta tropical de 17.5 m/s (63 km/h). La estación Limon Bay registró los vientos más fuertes en ambas categorías, viento máximo instantáneo y sostenido de diez minutos ocurridos durante el periodo de análisis de los vientos (19 al 23 de noviembre de 2016).

La ilustración 12 muestra los vientos máximos instantáneo y sostenido y vientos mínimos de 10 minutos de la estación Limon Bay entre el 19 y 23 de noviembre de 2016. En el apéndice B se encuentra la misma ilustración para todo el mes de noviembre de 2016.

Ilustración 12. Viento máximo instantáneo y sostenido y viento mínimo de 10 minutos de la estación Limon Bay entre el 19 y 23 de noviembre de 2016



C. Hidrología

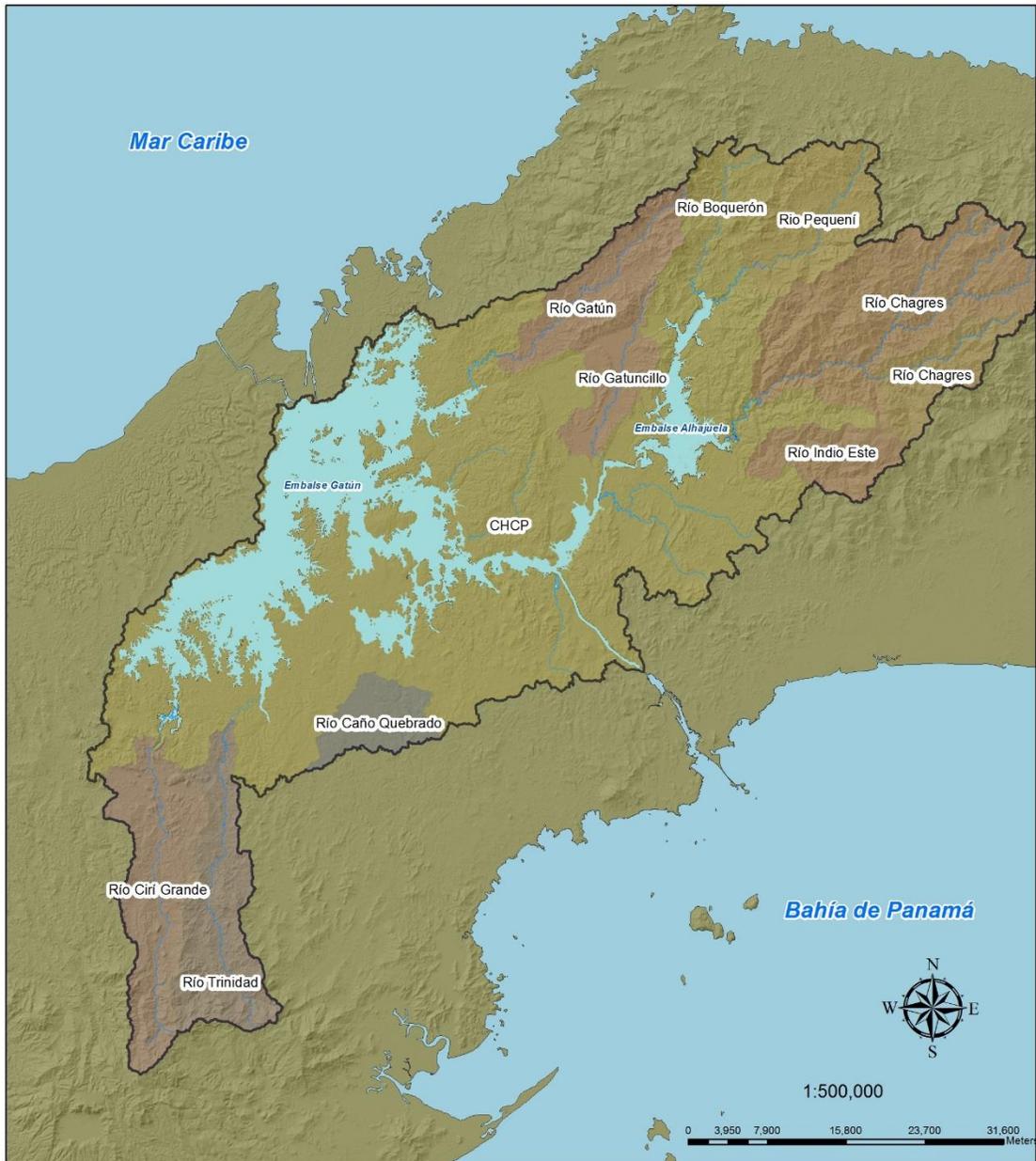
Caudales de los ríos

Las gráficas de la 4 a la 11 muestran los hidrogramas de caudales y los histogramas de precipitación horarios de los ríos principales de la CHCP. La tabla 8 muestra las máximas descargas horarias de los ríos de la CHCP para el periodo del 20 al 23 de noviembre de 2016. La ilustración 13 muestra la ubicación de las subcuencas de los ríos principales de la CHCP.

La máxima descarga horaria durante el periodo de análisis del río Chagres es 521 m³/s a las 12:00 GMT del 22 de noviembre de 2016, seguido del río Gatún con 398 m³/s a las 22:00 GMT del 21 de noviembre de 2016 y de los ríos Pequení y Boquerón, con 269 m³/s y 259 m³/s respectivamente, el día 21 de noviembre de 2016. Los demás ríos registraron descargas máximas horarias por debajo de 215 m³/s durante el periodo evaluado en este informe.

Ilustración 13. Mapa de la Cuenca del Canal de Panamá y la subcuencas de sus ríos.

Subcuencas de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá



Leyenda
— Ríos principales

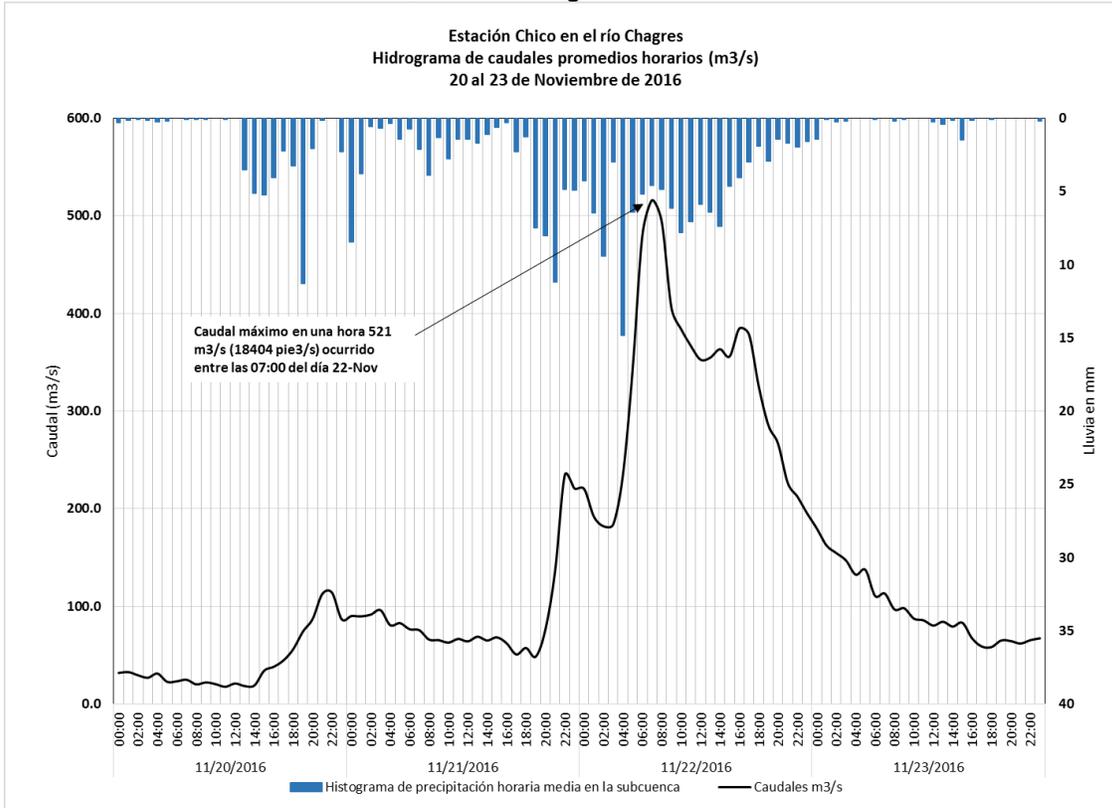
Localización Regional



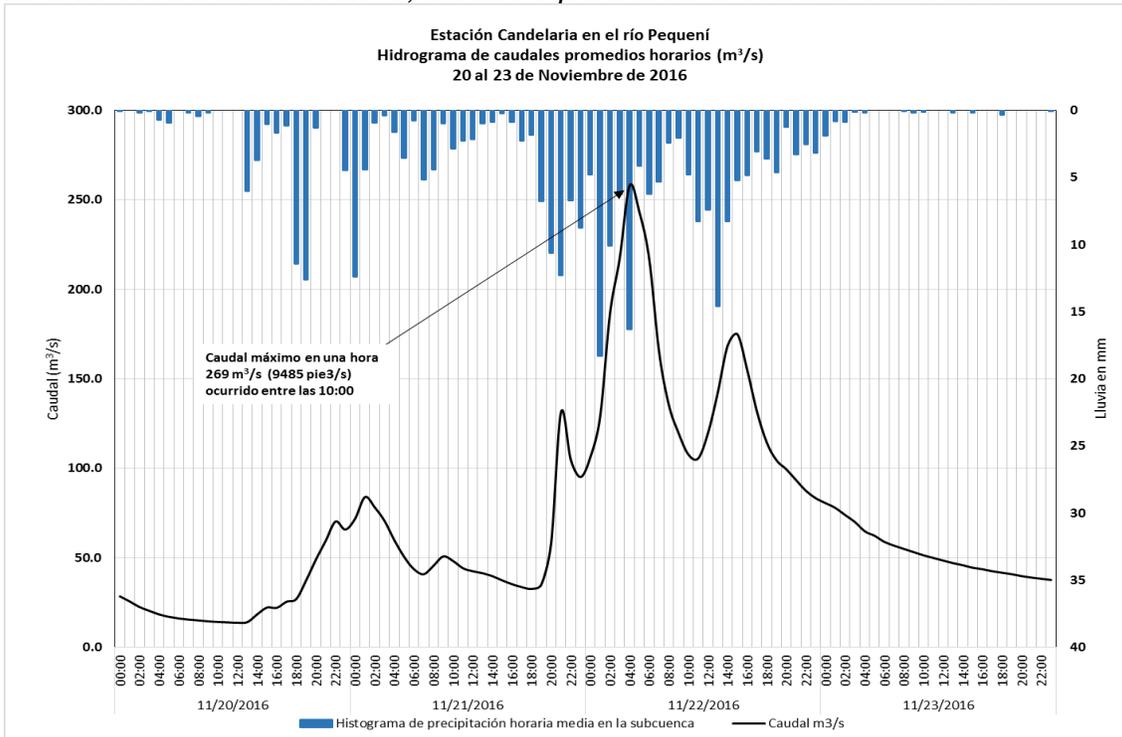
Vicepresidencia de Ambiente, Agua y Energía
División de Agua
Sección de Recursos Hídricos (EAAR)



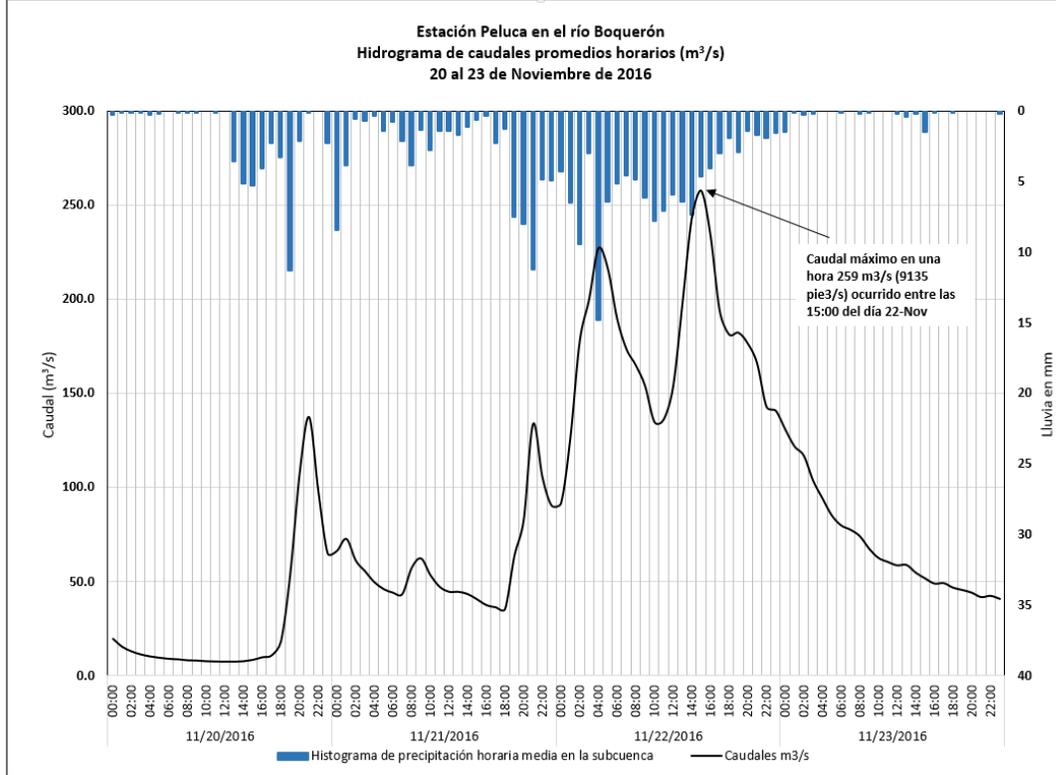
Gráfica 4. Histograma de precipitación e hidrograma de caudales promedio horario, del 20 al 23 de noviembre de 2016, del río Chagres hasta la estación Chico.



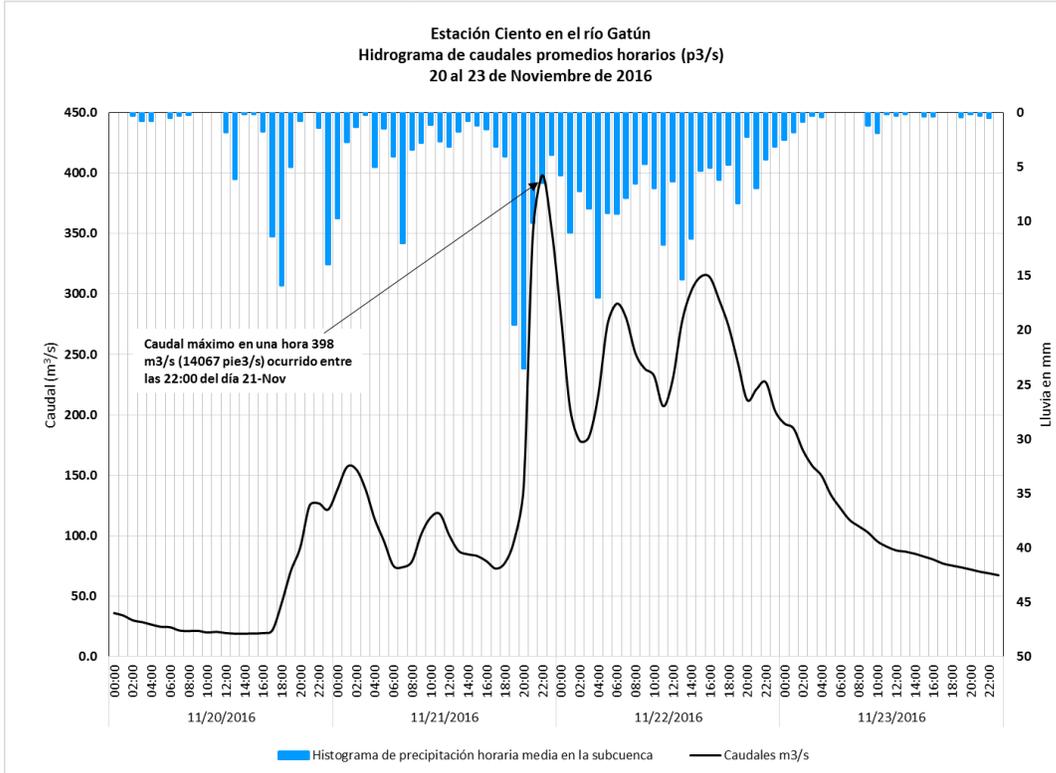
Gráfica 5. Histograma de precipitación e hidrograma de caudales promedio horario, del 20 al 23 de noviembre de 2016, del río Pequení hasta la estación Candelaria.



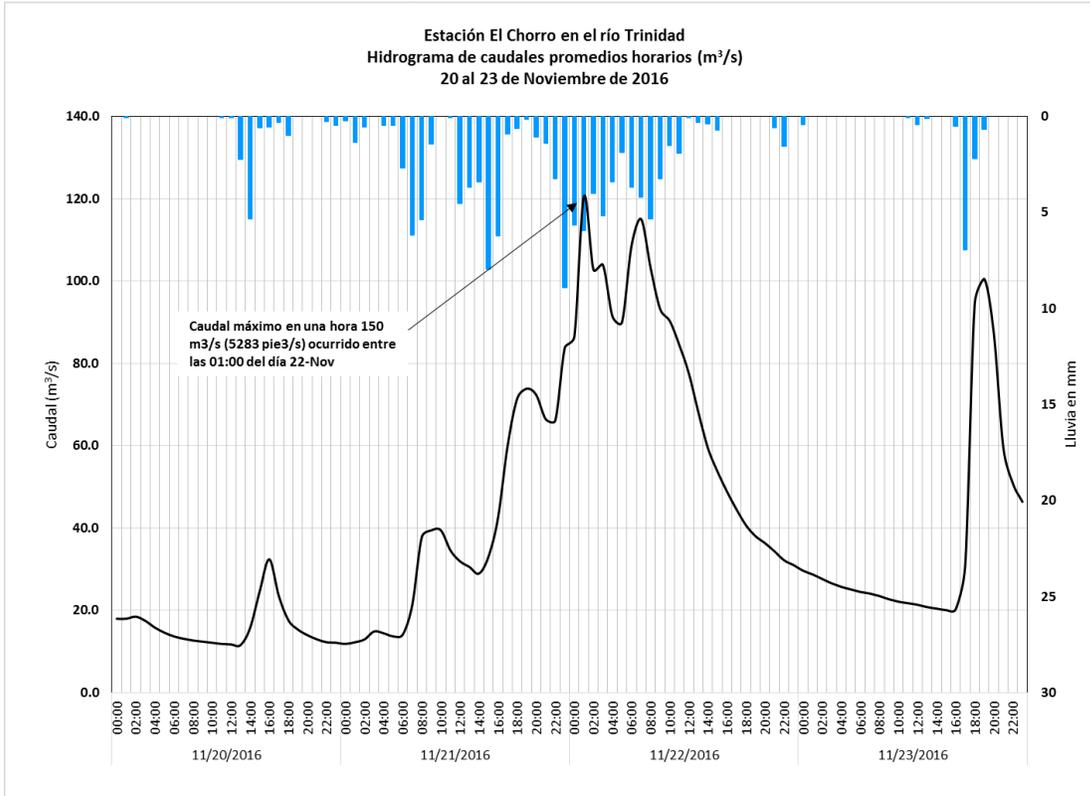
Gráfica 6. Histograma de precipitación e hidrograma de caudales promedio horario, del 20 al 23 de noviembre de 2016, del río Boquerón hasta la estación Peluca.



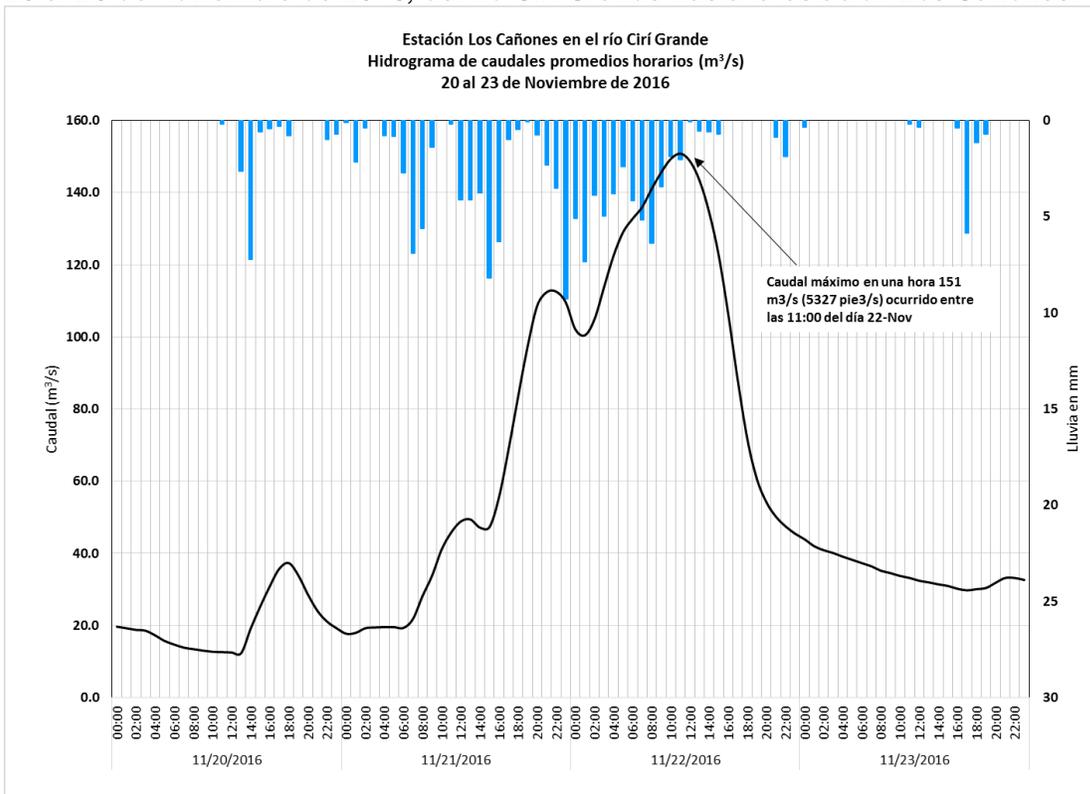
Gráfica 7. Histograma de precipitación e hidrograma de caudales promedio horario, del 20 al 23 de noviembre de 2016, del río Gatún hasta la estación Ciento.



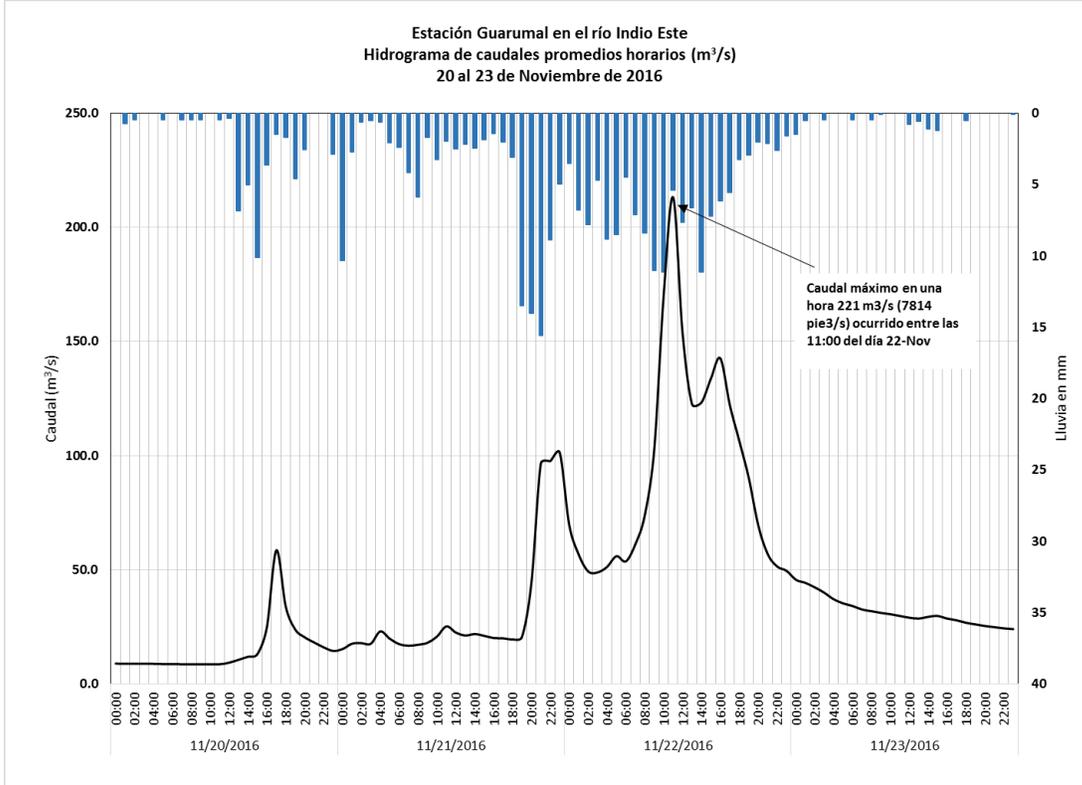
Gráfica 8 Histograma de precipitación e hidrograma de caudales promedio horario, del 20 al 23 de noviembre de 2016, del río Trinidad hasta la estación Chorro.



Gráfica 9 Histograma de precipitación e hidrograma de caudales promedio horario, del 20 al 23 de noviembre de 2016, del río Ciri Grande hasta la estación Los Cañones.



Gráfica 10 Histograma de precipitación e hidrograma de caudales promedio horario, del 20 al 23 de noviembre de 2016, del río Indio Este hasta la estación Guarumal



Gráfica 11 Histograma de precipitación e hidrograma de caudales promedio horario, del 20 al 23 de noviembre de 2016, del río Caño Quebrado hasta la estación Caño Quebrado Abajo.

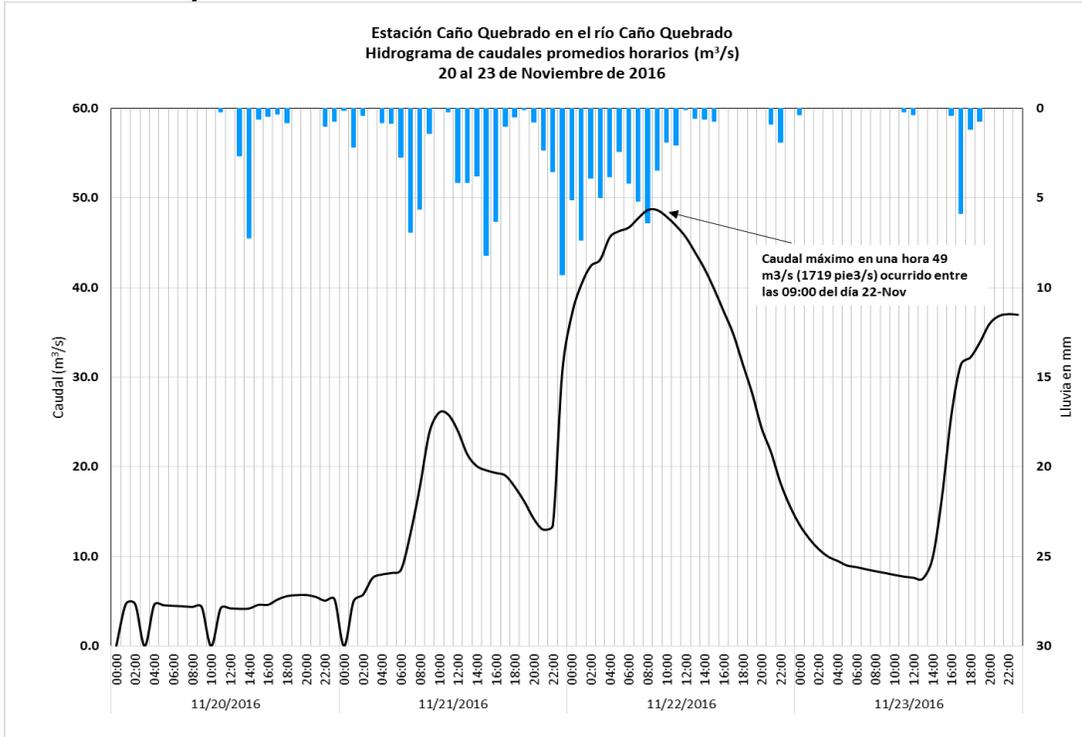


Tabla 8. Máximas descargas horarias de los ríos del 20 al 23 de noviembre de 2016 en m³/s

	Chagres	Pequení	Boquerón	Indio Este	Gatún	Cirí Grande	Trinidad	Caño Quebrado
Fecha	CHI	CDL	PEL	INE	CNT	CAN	CHR	CQA
Units	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s
11/19/2016 23:00	128	71	143	59	128	38	32	6
11/20/2016 23:00	234	133	137	113	398	113	84	29
11/21/2016 23:00	521	269	259	221	319	151	150	49
11/22/2016 23:00	198	82	141	47	199	45	106	41
Máximo =	521	269	259	221	398	151	150	49

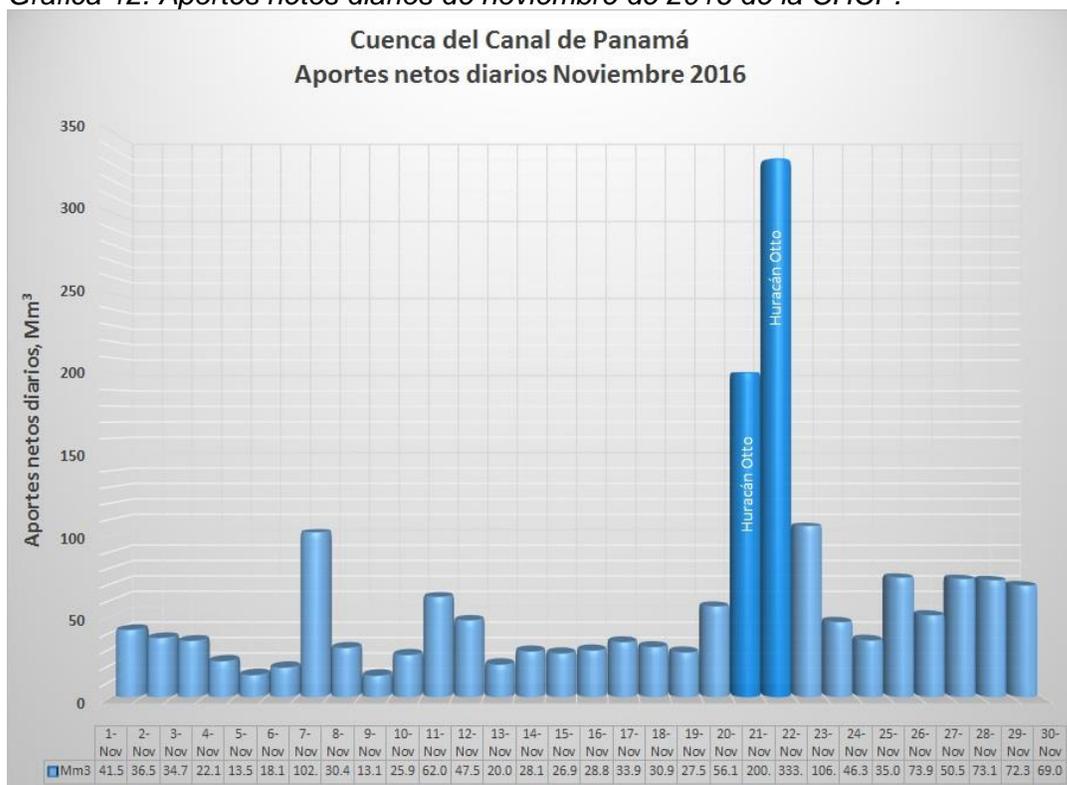
Apéndice A, misma tabla pero en pies cúbicos por segundos

Análisis de frecuencia del aporte neto diario en la CHCP

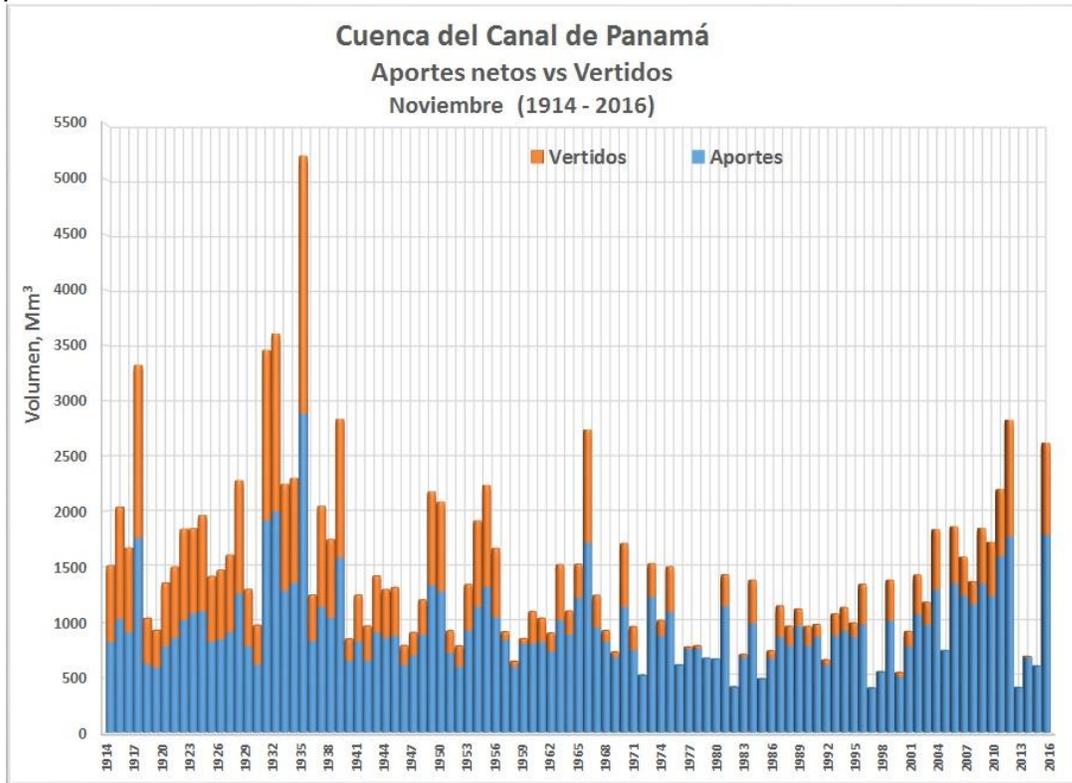
La gráfica 12 muestra los aportes netos diarios en la CHCP del mes de noviembre de 2016. El aporte neto diario máximo ocurrido durante el mes de noviembre de 2016 fue de 333 Mm³ el día 22, seguido de 200 Mm³ el día 21, y ocupan la posición número uno (1) de los mayores aportes de los 21 y 22 de noviembre en los últimos 51 años (1966-2016).

El aporte neto del mes de noviembre de 2016 fue de 1 762 Mm³ y ocupa la posición número cinco (5) de los mayores aportes del registro continuo de 103 años (1914-2016). El mes de noviembre de 1935 ocupa la posición número uno (1) con 2 881 Mm³ (gráfica 13). El aporte neto mensual máximo en la historia de la CHCP ocurrió en diciembre de 2010 y fue de 3 260 Mm³.

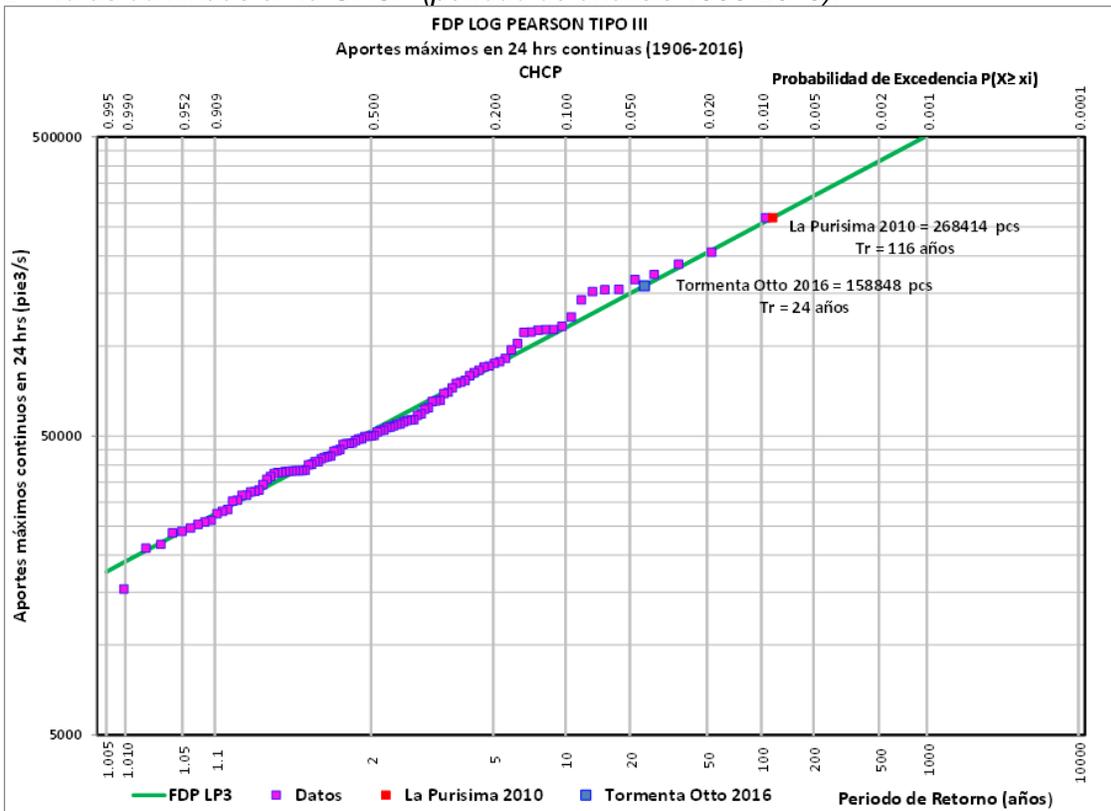
Gráfica 12. Aportes netos diarios de noviembre de 2016 de la CHCP.



Gráfica 13. Aportes netos mensuales versus vertidos mensuales en la CHCP del periodo 1914-2016



Gráfica 14. Análisis de frecuencia FDP Log Pearson Tipo III de los aportes máximos en 24 horas continuas en la CHCP (periodo de análisis 1906-2010).



a) Periodo de retorno del aporte máximo en 24 horas continuas en la CHCP

El aporte máximo en 24 horas continuas del 2016 en la CHCP fue de 4 497 m³/s (158 848 pcs) y ocurrió entre las 01:00 GMT del 22 de noviembre hasta las 00:00 GMT del 23 de noviembre. El periodo de retorno de este aporte máximo en 24 horas continuas es de 24 años (gráfica 14), según el análisis estadístico de FDP Log Pearson Tipo III. El periodo de análisis de referencia es de 1906 al 2010 (tabla 9). La misma tabla, pero en orden descendente de aportes, se encuentra en el apéndice A.

Tabla 9. Aportes máximos en 24 horas continuas en la CHCP (periodo de análisis 1906-2016).

Año	Aporte en pcs								
1906	206000	1929	37800	1952	54700	1975	42700	1998	38300
1907	54000	1930	56300	1953	38100	1976	30500	1999	55718
1908	42000	1931	173300	1954	76700	1977	24600	2000	116288
1909	154100	1932	154500	1955	56700	1978	48800	2001	32599
1910	79500	1933	87500	1956	53300	1979	21700	2002	113473
1911	36600	1934	88700	1957	81400	1980	25300	2003	65548
1912	75000	1935	142600	1958	15400	1981	72400	2004	111305
1913	44600	1936	32500	1959	111000	1982	24000	2005	32980
1914	41000	1937	112900	1960	65200	1983	45100	2006	113338
1915	53500	1938	83000	1961	38300	1984	44400	2007	49848
1916	46800	1939	90800	1962	26100	1985	97000	2008	56468
1917	75700	1940	31700	1963	69300	1986	37700	2009	48940
1918	47400	1941	40000	1964	25800	1987	59300	2010	268414
1919	23700	1942	52200	1965	50200	1988	49800	2011	98290
1920	41000	1943	152000	1966	166800	1989	38300	2012	172590
1921	42400	1944	125000	1967	31700	1990	62190	2013	57857
1922	58600	1945	85000	1968	28400	1991	47180	2014	32500
1923	187600	1946	50000	1969	38400	1992	35800	2015	44893
1924	54800	1947	38000	1970	101870	1993	38200	2016	158851
1925	52300	1948	28000	1971	27500	1994	48300		
1926	40200	1949	70000	1972	30300	1995	37480		
1927	47200	1950	65700	1973	61400	1996	85625		
1928	51500	1951	42800	1974	34400	1997	21060		

D. Manejo de los embalses

El nivel¹ promedio máximo² del embalse Gatún durante los días 21 y 22 de noviembre de 2016 fue de 26.82 m (88.01 pies) y el del embalse Alhajueta fue de 76.40 m (250.67 pies). Los niveles mínimos fueron de 75.46 m (247.59 pies) y 26.61 m (87.31 pies).

Los vertidos realizados los días 21 y 22 de noviembre de 2016, de 179 y 291 Mm³ respectivamente, fueron los mayores del año. Los vertidos del mes de noviembre de 2016 fueron de 750 Mm³. La tabla 10 indica los esclusajes equivalentes y los días de producción de agua potable (DPA) de los vertidos realizados.

¹ El nivel del embalse Gatún está referenciado al precise level datum en todo el informe

² El nivel promedio máximo del embalse Gatún se obtiene del promedio de las estaciones Guacha, Raíces y Gatún

Tabla 10. Esclusajes equivalentes (EE*) y días de producción de agua potable (DPA**) de los vertidos de Gatún y Alhajuela máximo horario y diario del 21 al 23 de noviembre.

Vertidos en Gatun	Volumen (Mm ³)	Caudal (m ³ /s)	EE	DPA
Máximo 1 hora	19	5297	91	12
21 de noviembre	179	2072	852	110
22 de noviembre	291	3368	1386	179
23 de noviembre	29	336	138	18

Vertidos en Alhajuela	Volumen (Mm ³)	Caudal (m ³ /s)	EE	DPA
Máximo 1 hora	3	837	14	2
21 de noviembre	12	138	57	7
22 de noviembre	54	622	256	33
23 de noviembre	42	486	200	26

*Esclusaje Equivalente (EE) = Volumen promedio de agua dulce que utiliza un buque para transitar de un océano a otro = 0.21 Mm³ = 55 millones galones = 7.4 MPC

**Días de producción de agua potable (DPA), extraída de los embalses Gatún y Alhajuela, para el suministro de las ciudades de Panamá, Colón, Arraiján, Chorrera y San Miguelito = 1.628 Mm³ = 430 MGD = 7.8 EE

Embalse Alhajuela

a) Vertidos

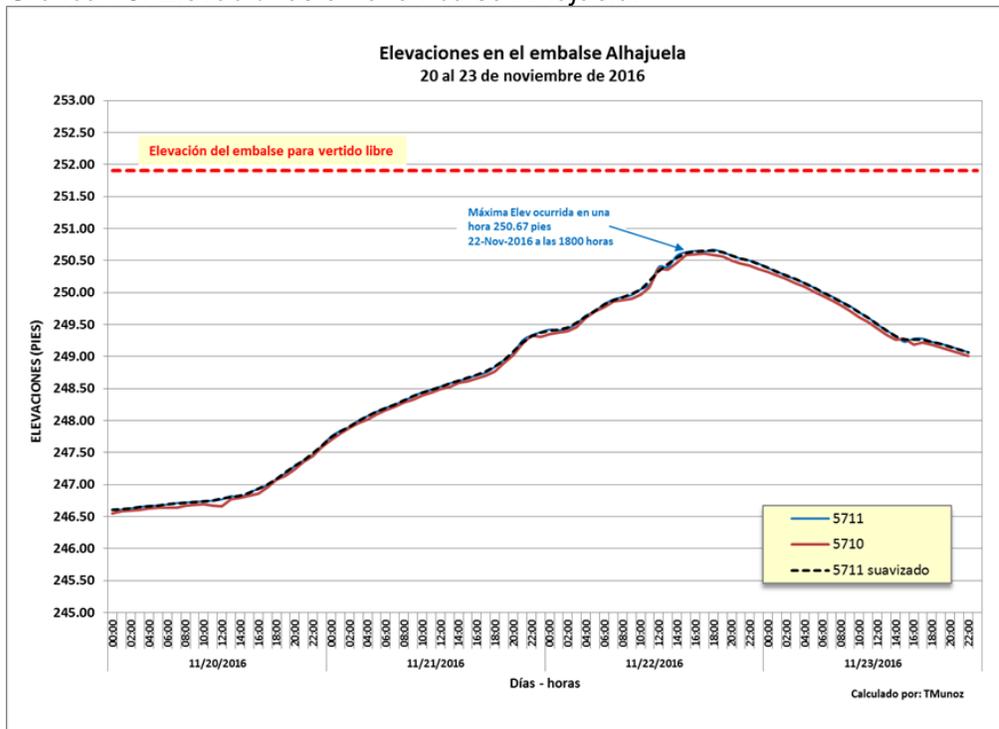
El vertido máximo horario del 2016, en el vertedero del embalse Alhajuela, fue de 837 m³/s (29 571 p³/s) a las 1800 hora local del 22 de noviembre de 2016. Este vertido máximo horario ocurrió al mismo tiempo que el embalse alcanzó su nivel máximo de 76.38 m (250.61 pies). Los vertidos del embalse Alhajuela se dieron de manera escalonada, iniciando el 21 de noviembre de 2016 y extendiéndose más allá del 23 de noviembre. La gráfica 17 muestra los horarios y el caudal de los vertidos y la gráfica 18 la elevación de las compuertas de tambor.

Embalse Gatún

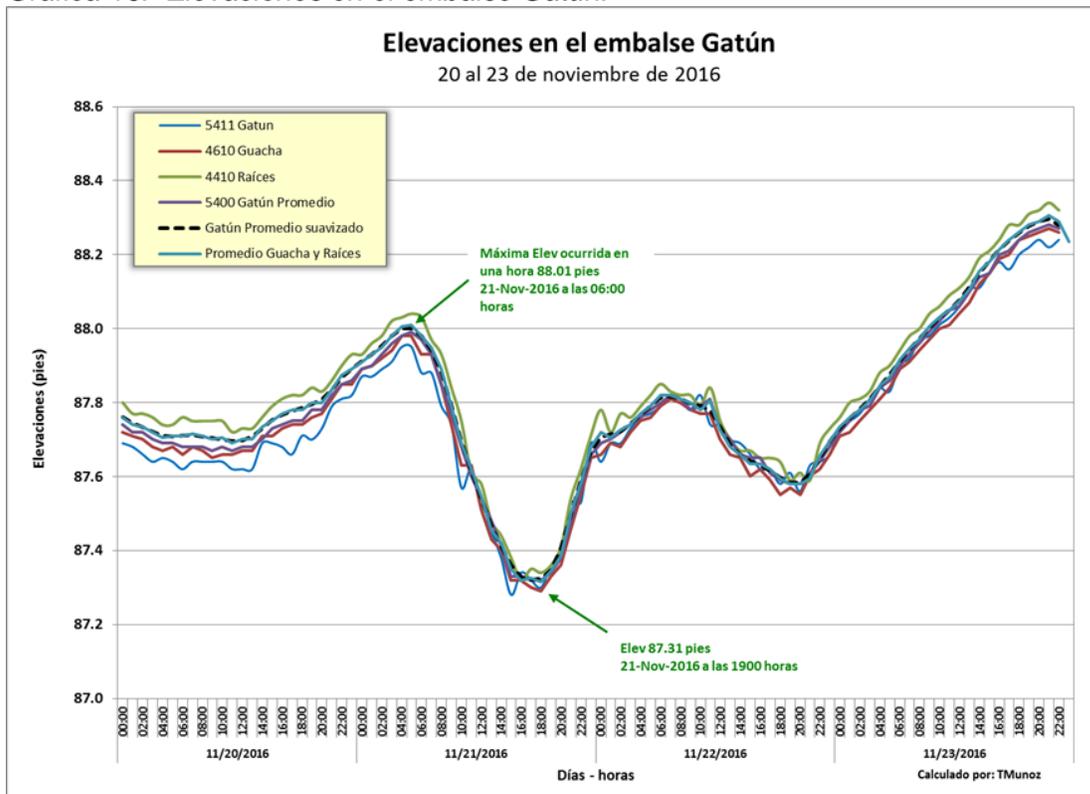
b) Vertidos

El vertido máximo horario del 2016, por el vertedero del embalse Gatún, fue de 5 297 m³/s (187 077 p³/s) a las 09:00 hora local del 22 de noviembre de 2016. El embalse alcanzó un nivel de 26.76 m (87.81 pies) en la hora del vertido máximo. Los vertidos del embalse Gatún se dieron de manera escalonada, iniciando el 21 de noviembre de 2016 y extendiéndose hasta el 23 de noviembre. La gráfica 19 muestra los horarios y los caudales de los vertidos y la gráfica 20 el número de compuertas abiertas en el vertedero de Gatún.

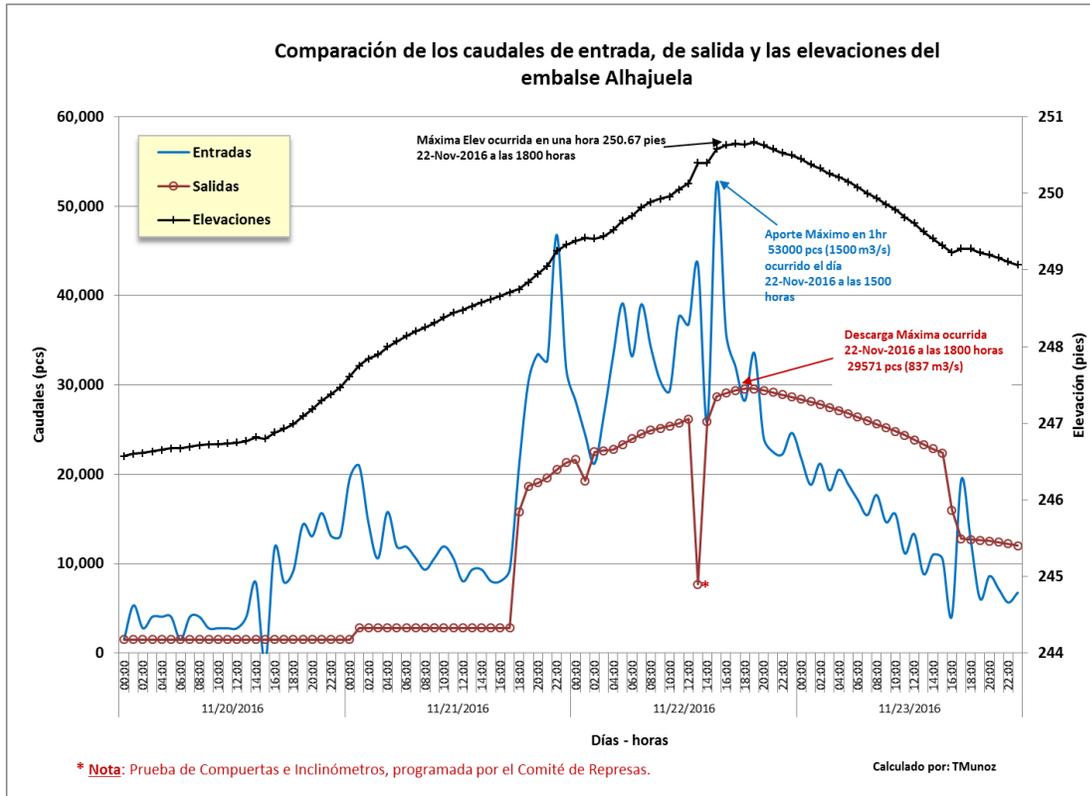
Gráfica 15. Elevaciones en el embalse Alhajuela.



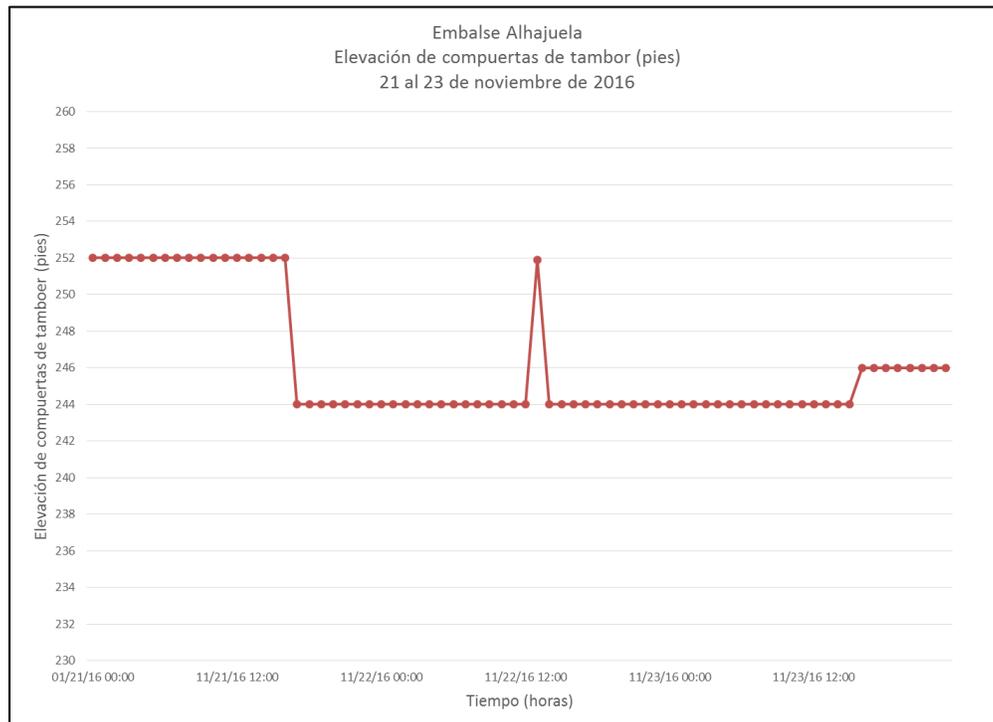
Gráfica 16. Elevaciones en el embalse Gatún.



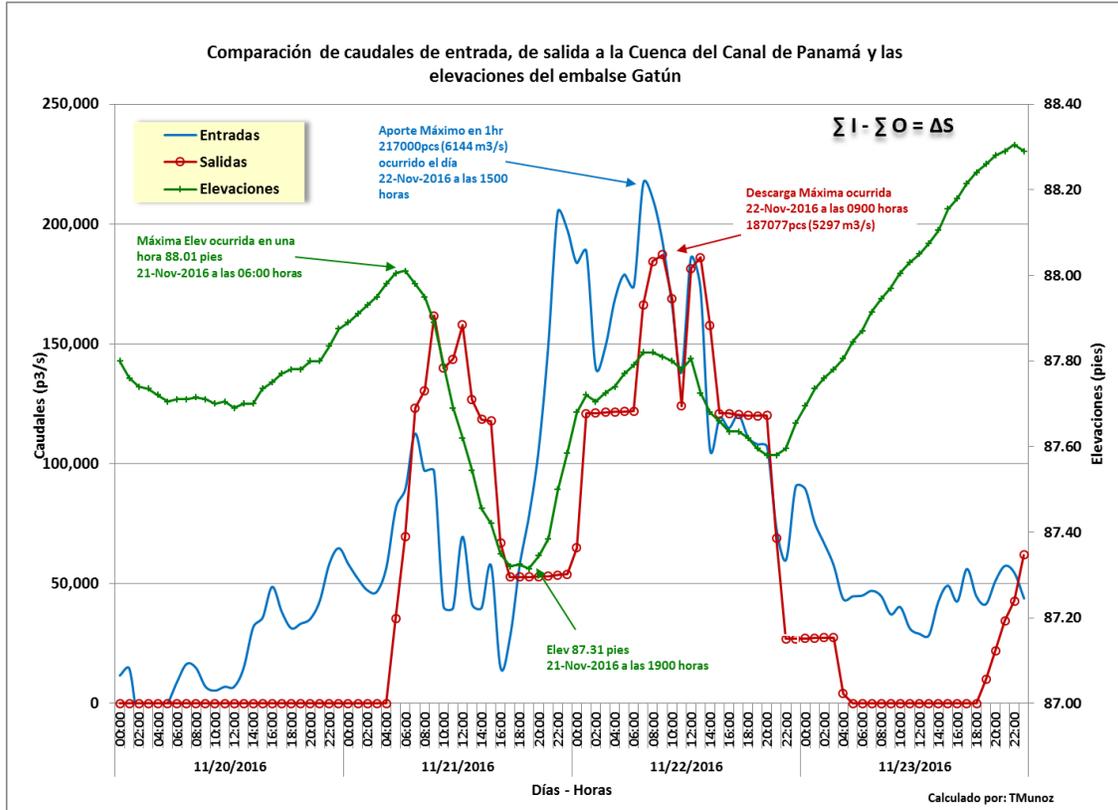
Gráfica 17. Elevación del nivel, aportes y vertidos del embalse Alhajuela del 20 al 23 de noviembre de 2016.



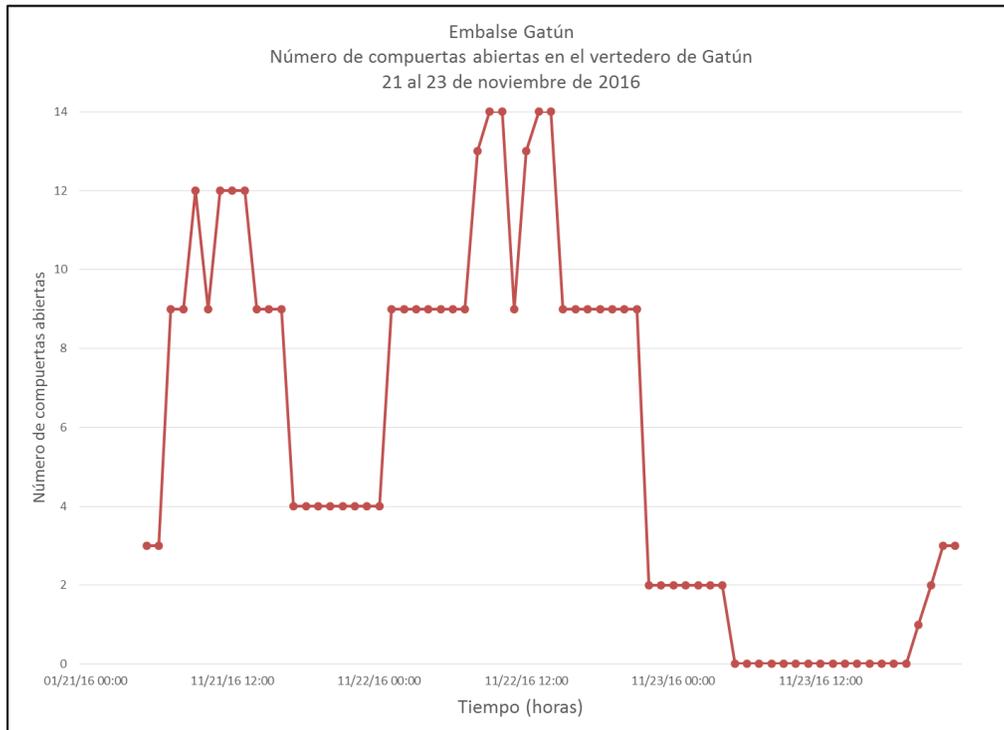
Gráfica 18. Elevación de compuertas de tambor en el vertedero Madden del 21 al 23 de noviembre de 2016.



Gráfica 19. Elevación del nivel, aportes y vertidos del embalse Gatún del 20 al 23 de noviembre de 2016.



Gráfica 20. Número de compuertas abiertas en el vertedero de Gatún del 21 al 23 de noviembre de 2016.



V. Conclusiones

La precipitación máxima acumulada en 24 horas continuas de la CHCP en el 2016 fue de 183 mm y se ubica en la segunda posición del periodo de análisis de 1972 al 2016 y su periodo de retorno estimado es de 21 años.

Boquerón y Gatún fueron las subcuencas que registraron la mayor cantidad de precipitación en la CHCP durante los días 21 y 22 de noviembre de 2016.

El viento máximo instantáneo y máximo sostenido de 10 minutos para el periodo analizado en este informe, fue de 86 km/h y 61 km/h respectivamente correspondiente a lo observado en la estación meteorológica de Limon Bay. Las estaciones de Gatun West, Corozal Oeste y Balboa FAA registraron vientos máximos de menor intensidad que en Limon Bay.

El río con la máxima descarga horaria durante el periodo de análisis fue el Chagres, con 521 m³/s, a las 12:00 GMT del 22 de noviembre de 2016.

El aporte máximo en 24 horas continuas del 2016 en la CHCP fue de 4 497 m³/s (158 848 pcs) y ocurrió entre las 01:00 GMT del 22 de noviembre y las 00:00 GMT del 23 de noviembre, con un periodo de retorno estimado de 24 años.

Para la CHCP, el aporte neto diario máximo del 2016 de 333 Mm³ ocurrió el día 22 de noviembre, seguido de 200 Mm³ el día 21 de noviembre ocupando la posición número uno (1) de los mayores aportes de los 21 y 22 de noviembre en los últimos 51 años (1966-2016).

El volumen descargado por el vertedero de Gatún al Océano Atlántico, de 500 Mm³, fue el equivalente a 2 376 tránsitos equivalentes por el Canal; 10 meses de producción de agua potable o 55 días de generación.

El nivel promedio máximo del embalse Gatún durante los días 21 y 22 de noviembre de 2016 fue de 26.82 m (88.01 pies) y el del embalse Alhajueta fue de 76.40 m (250.67 pies). Los niveles mínimos fueron de 26.61 m (87.31 pies) y 75.46 m (247.59 pies) respectivamente.

El vertido máximo horario del 2016, en el vertedero del embalse Gatún, fue de 5 297 m³/s (187 077 p³/s) a las 09:00 hora local del 22 de noviembre de 2016 y en el vertedero del embalse Alhajueta, fue de 837 m³/s (29 571 p³/s) a las 1800 hora local del 22 de noviembre de 2016.

Apéndices y Anexos

Apéndice A - Tablas

Tabla A1: Precipitación máxima acumulada en 24 horas continuas del periodo 1972-2016

Posición	Año	Precipitación (mm)	Posición	Año	Precipitación (mm)
1	1972	59	24	1995	79
2	1973	88	25	1996	110
3	1974	75	26	1997	49
4	1975	62	27	1998	99
5	1976	55	28	1999	88
6	1977	49	29	2000	140
7	1978	90	30	2001	108
8	1979	53	31	2002	128
9	1980	54	32	2003	83
10	1981	108	33	2004	138
11	1982	48	34	2005	53
12	1983	70	35	2006	113
13	1984	60	36	2007	74
14	1985	119	37	2008	76
15	1986	60	38	2009	63
16	1987	111	39	2010	292
17	1988	76	40	2011	93
18	1989	61	41	2012	164
19	1990	68	42	2013	111
20	1991	94	43	2014	51
21	1992	79	44	2015	64
22	1993	70	45	2016	183
23	1994	95			

Tabla A2: Análisis de Valores Extremos Generales de la precipitación máxima acumulada de 24 horas continuas del 2016, utilizando el periodo 1972-2016

Cuenca Gatun (20 Estaciones Promedio)		
Año Max 24 Hora lluvia (mm)		
(ventana en movimiento)		
GEV Computations de Año Max (mm)		
Datos de la lluvia máxima anual del bloque 1972 - 2016		
Rain = $\zeta + \beta/k \{ [- \ln(1 - 1/RP)] ^k - 1 \}$		
Duración		24 horas
Período de retorno (años)		lluvia (mm)
2		76.9
5		110.4
15		163.7
21	21 - 22 Nov 2016	183.0
50		251.3
76		292.0
100		322.2
150		372.9
200		414.0
300		479.5
500		577.6
1000		744.5
2000		960.7
3000		1115.6
Maximum Likelihood Estimate (MLE) for GEV Values		
N		45
Mean		90.33
Max		292.10
Min		48.10
ζ mu		68.7447
β sigma		20.6918
κ xi		0.3735

Tabla A3: Lista de estaciones utilizadas en el cálculo de la precipitación promedio areal por medio de Thiessen

	Estación	20-Nov	21-Nov	22-Nov
1	Agua Buena	66	93	102
2	Agua Clara	105	172	208
3	Alhajuela	44	115	99
4	Arca Sonia	46	97	107
5	Barbacoa	23	114	101
6	Barro Colorado	50	150	105
7	Candelaria	57	106	137
8	Caño	23	101	84
9	Cañones	28	97	81

10	Cascadas	24	94	90
11	Cerro Cama	35	109	101
12	Chagrecito	27	42	92
13	Chamón	27	33	81
14	Chico	55	119	147
15	Chico Cabecera	84	95	165
16	Chorro	17	109	58
17	Dos Bocas	53	65	131
18	Empire Hill	21	96	85
19	Escandalosa	80	115	241
20	Esperanza	57	45	92
21	Frijolito	49	122	97
22	Gamboa	18	91	99
23	Gasparillal	16	67	48
24	Gatún	106	144	105
25	Gatun Valle Central	66	153	192
26	Gatún West	114	164	136
27	Gold Hill	52	95	77
28	Humedad	41	117	94
29	Jagua	3	50	30
30	Limon Bay	85	81	95
31	Miraflores	54	80	64
32	Monte Lirio	90	156	94
33	Pedro Miguel	68	85	66
34	Peluca	59	134	162
35	Punta Frijoles	45	125	92
36	Punto Bohío	61	142	83
37	Raíces	43	118	93
38	Salamanca	71	135	144
39	San Miguel	62	108	181
40	Santa Clara	15	97	73
41	Santa Rosa	42	132	122
42	Tranquilla	44	118	119
43	Vistamares	55	96	157
44	Zanguenga	7	84	55

Tabla A4: Lista de estaciones utilizadas en el cálculo de la precipitación promedio areal por PANMAP

ABU	CDL	EMH	GUA	PMG
ACL	CHI	ESC	HUM	RAI

ALA	CHM	EZA	IBC	SAL
BBQ	CHR	FAA	JAG	SCL
BCI	CNO	FTO	LMB	SMG
BHT	CNT	GAD	MIR	PMG
CAB	CTO	GAM	MLR	RAI
CAN	CZL	GAT	PBO	SAL
CAS	DBK	GOL	PEL	SCL
CCA	DHT	GTW	PFR	SRO

Tabla A5: Máximas descargas de los ríos horarios del 20 al 23 de noviembre de 2016 en pies cúbicos por segundo

	Chagres	Pequení	Boquerón	Indio Este	Gatún	Cirí Grande	Trinidad	Caño Quebrado
Fecha	CHI	CDL	PEL	INE	CNT	CAN	CHR	CQA
Units	p3/s	p3/s	p3/s	p3/s	p3/s	p3/s	p3/s	p3/s
11/19/2016 23:00	4,520	2,504	5,055	2,094	4,515	1,325	1,145	201
11/20/2016 23:00	8,280	4,703	4,847	3,983	14,067	3,993	2,961	1,036
11/21/2016 23:00	18,404	9,485	9,135	7,814	11,283	5,327	5,283	1,719
11/22/2016 23:00	6,998	2,892	4,978	1,675	7,044	1,605	3,739	1,465
Máximo =	18,404	9,485	9,135	7,814	14,067	5,327	5,283	1,719

Tabla A6: Aportes máximos en 24 horas continuas en la CHCP (periodo de análisis 1906-2016).

Año	Aporte en pcs								
2010	268414	1933	87500	1999	55718	1984	44400	2001	32599
1906	206000	1996	85625	1924	54800	1951	42800	1936	32500
1923	187600	1945	85000	1952	54700	1975	42700	2014	32500
1931	173300	1938	83000	1907	54000	1921	42400	1940	31700
2012	172590	1957	81400	1915	53500	1908	42000	1967	31700
1966	166800	1910	79500	1956	53300	1914	41000	1976	30500
2016	158851	1954	76700	1925	52300	1920	41000	1972	30300
1932	154500	1917	75700	1942	52200	1926	40200	1968	28400
1909	154100	1912	75000	1928	51500	1941	40000	1948	28000
1943	152000	1981	72400	1965	50200	1969	38400	1971	27500
1935	142600	1949	70000	1946	50000	1961	38300	1962	26100
1944	125000	1963	69300	2007	49848	1989	38300	1964	25800
2000	116288	1950	65700	1988	49800	1998	38300	1980	25300
2002	113473	2003	65548	2009	48940	1993	38200	1977	24600
2006	113338	1960	65200	1978	48800	1953	38100	1982	24000
1937	112900	1990	62190	1994	48300	1947	38000	1919	23700
2004	111305	1973	61400	1918	47400	1929	37800	1979	21700
1959	111000	1987	59300	1927	47200	1986	37700	1997	21060
1970	101870	1922	58600	1991	47180	1995	37480	1958	15400
2011	98290	2013	57857	1916	46800	1911	36600		
1985	97000	1955	56700	1983	45100	1992	35800		
1939	90800	2008	56468	2015	44893	1974	34400		
1934	88700	1930	56300	1913	44600	2005	32980		

Apéndice B – Gráficas

Gráfica B1. Ocurrencia de dos extremos nivel mínimo extraordinario y nivel máximo operativo en el Lago Gatún para el año 2016.

Gráfica B 2. Viento máximo, promedio y mínimo de 10 minutos de la estación Limon Bay, mes de noviembre de 2016

Gráfica B 3. Aportes netos y vertidos diarios de noviembre de 2016.

Gráfica B 4. Aportes netos y vertidos del mes de noviembre de 1914 al 2016.

Gráfica B 5. Perfil atmosférico desde la estación Corozal Oeste del 19 de noviembre de 2016 a las 00:00 GMT.

Gráfica B6. Perfil atmosférico desde la estación Corozal Oeste del 20 de noviembre de 2016 a las 13:00 GMT.

Gráfica B7. Perfil atmosférico desde la estación Corozal Oeste del 21 de noviembre de 2016 a las 00:00 GMT.

Gráfica B8. Perfil atmosférico desde la estación Corozal Oeste del 21 de noviembre de 2016 a las 12:00 GMT.

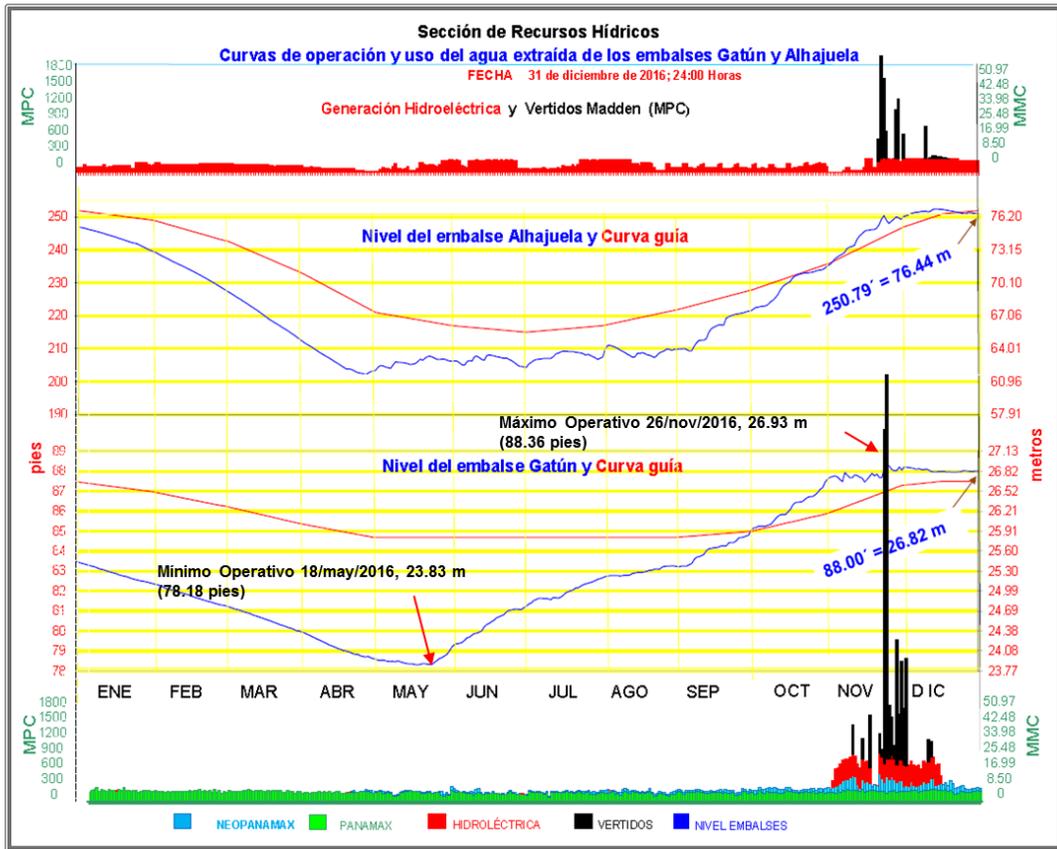
Gráfica B9. Perfil atmosférico desde la estación Corozal Oeste del 22 de noviembre de 2016 a las 00:00 GMT.

Gráfica B10. Perfil atmosférico desde la estación Corozal Oeste del 22 de noviembre de 2016 a las 12:00 GMT.

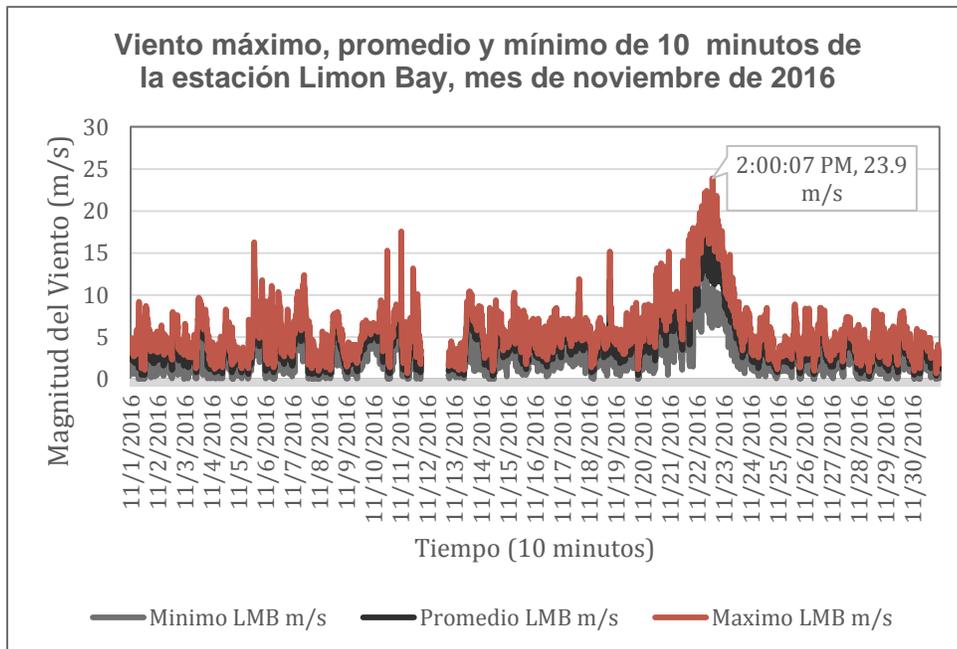
Gráfica B11. Perfil atmosférico desde la estación Corozal Oeste del 23 de noviembre de 2016 a las 00:00 GMT.

Gráfica B12. Perfil atmosférico desde la estación Corozal Oeste del 23 de noviembre de 2016 a las 12:00 GMT.

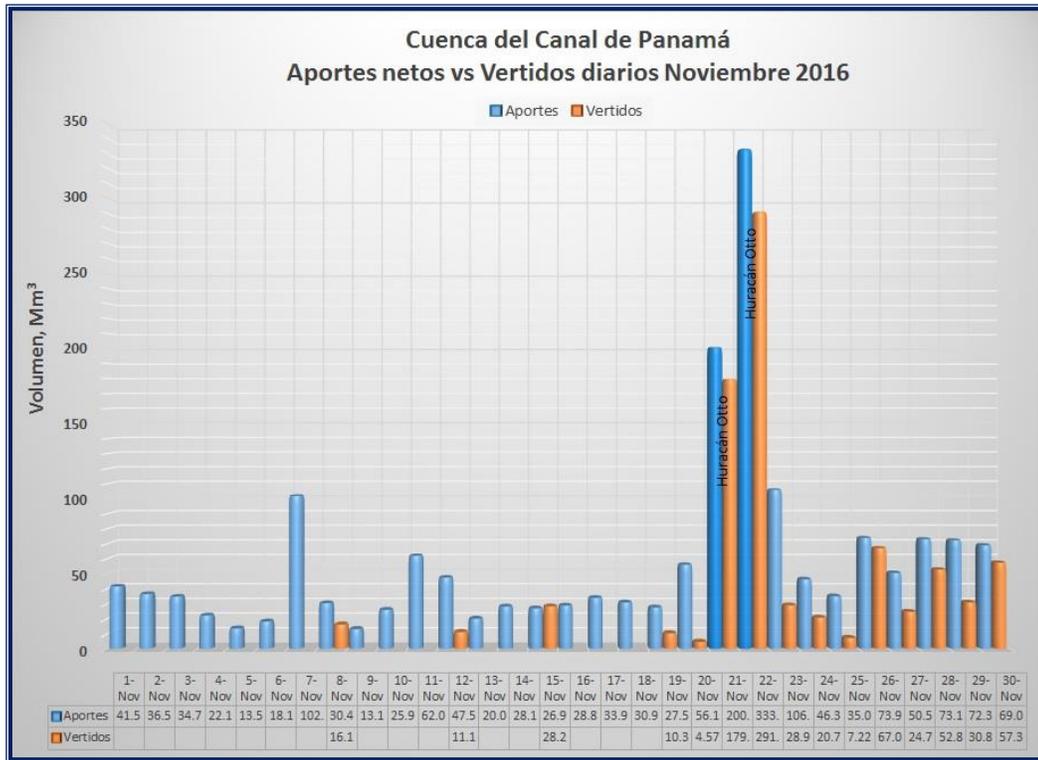
Gráfica B1. Ocurrencia de dos extremos nivel mínimo extraordinario y nivel máximo operativo en el Lago Gatún para el año 2016.



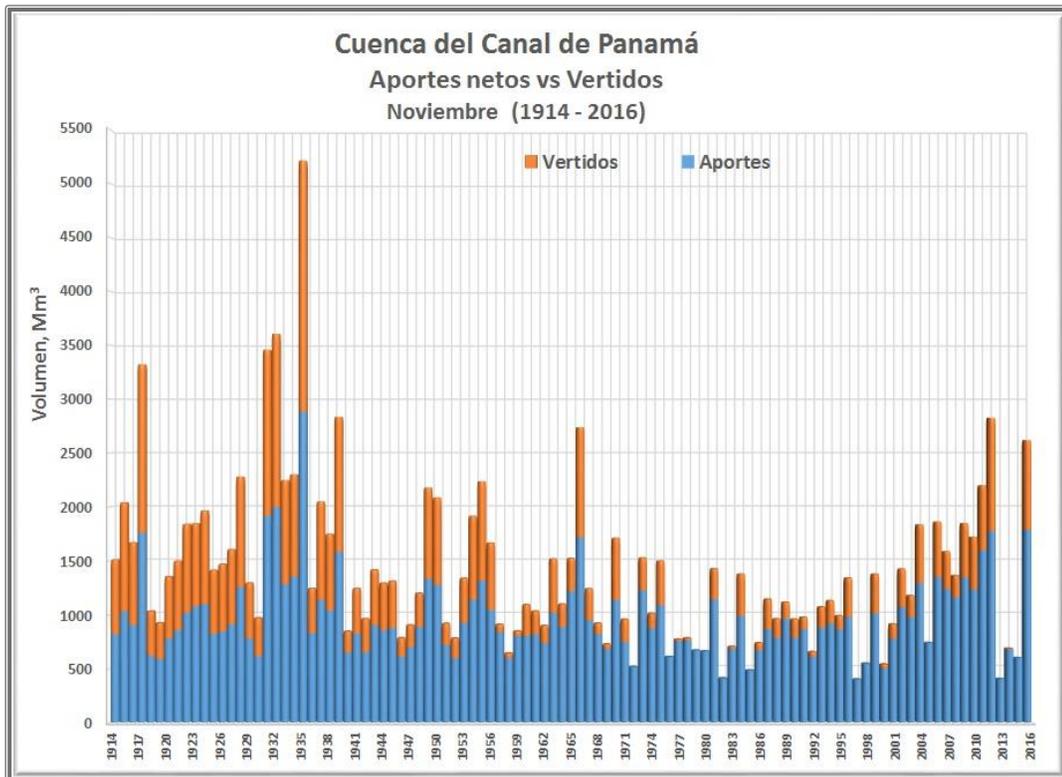
Gráfica B 2. Viento máximo, promedio y mínimo de 10 minutos de la estación Limon Bay, mes de noviembre de 2016.



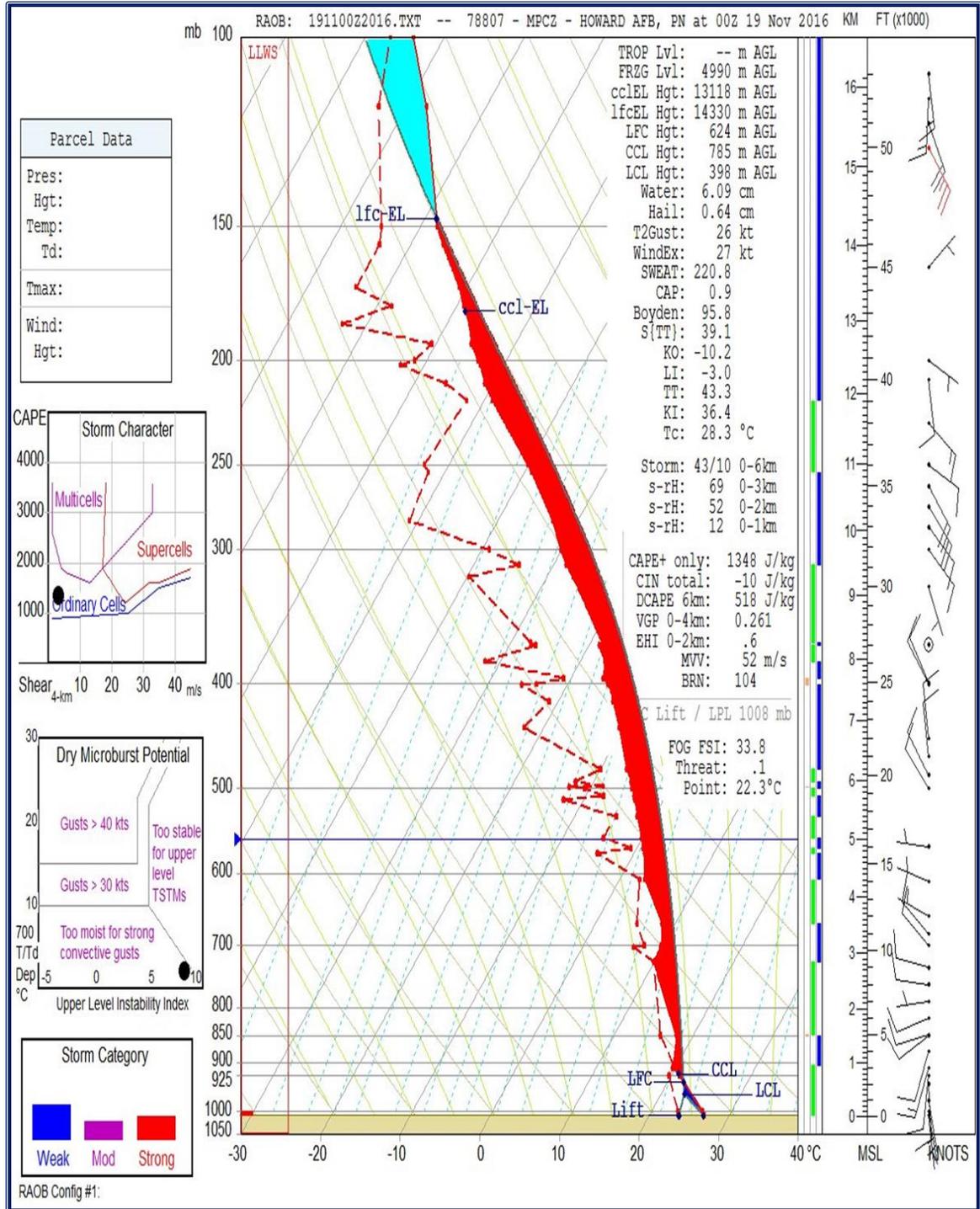
Gráfica B 3. Aportes netos y vertidos diarios de noviembre de 2016.



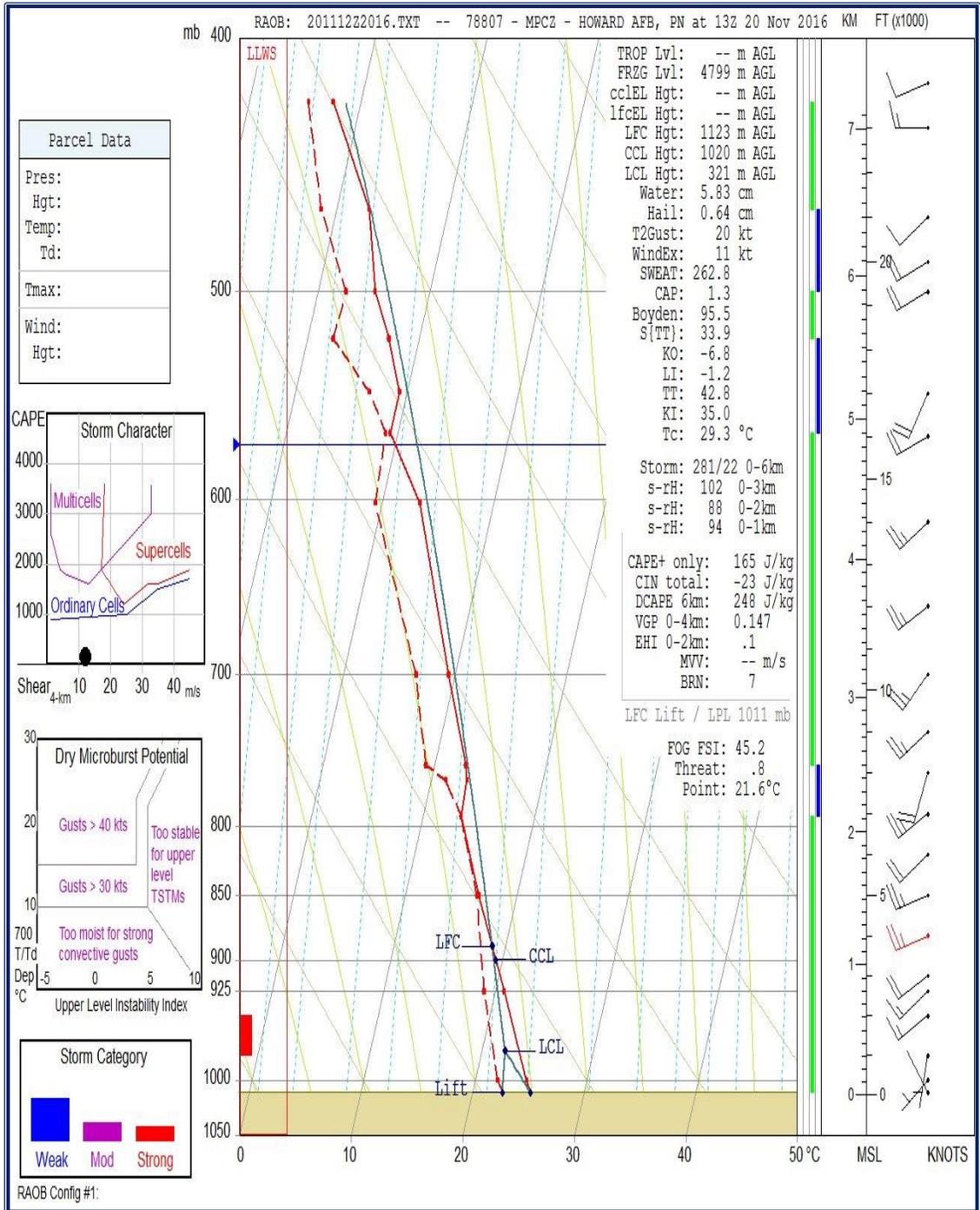
Gráfica B 4. Aportes netos y vertidos del mes de noviembre de 1914 al 2016.



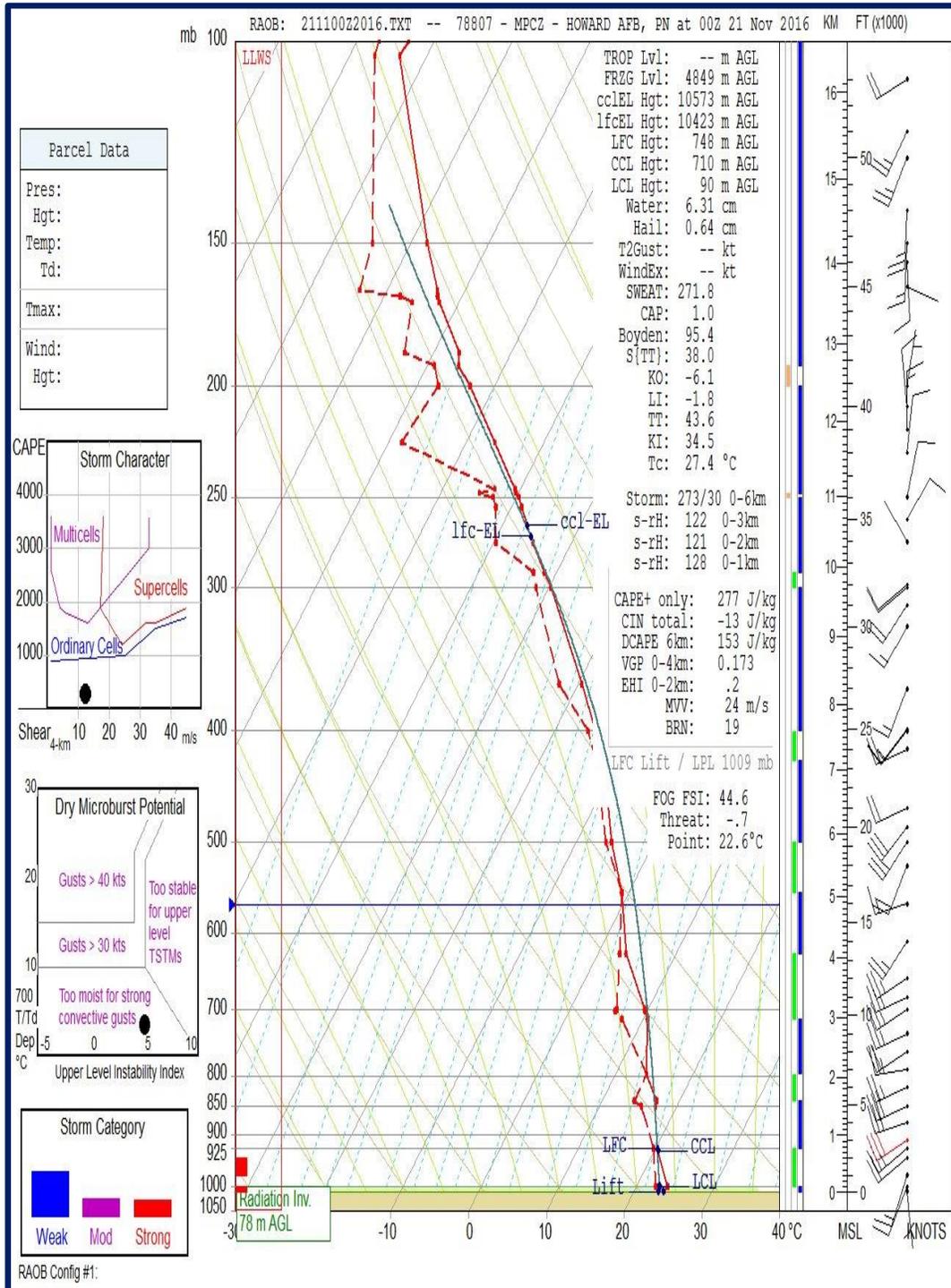
Gráfica B 5. Perfil atmosférico desde la estación Corozal Oeste del 19 de noviembre de 2016 a las 00:00 GMT.



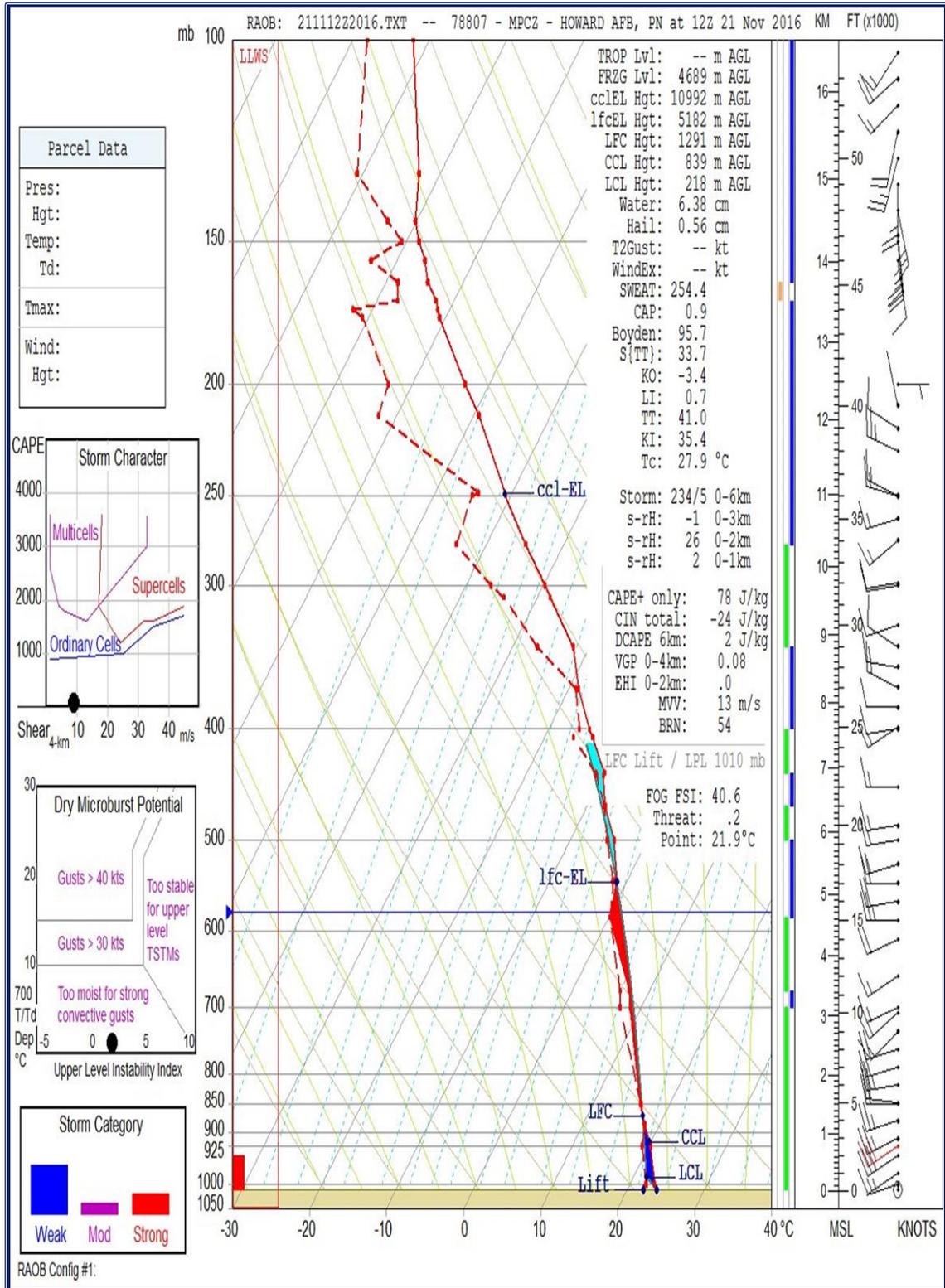
Gráfica B6. Perfil atmosférico desde la estación Corozal Oeste del 20 de noviembre de 2016 a las 13:00 GMT.



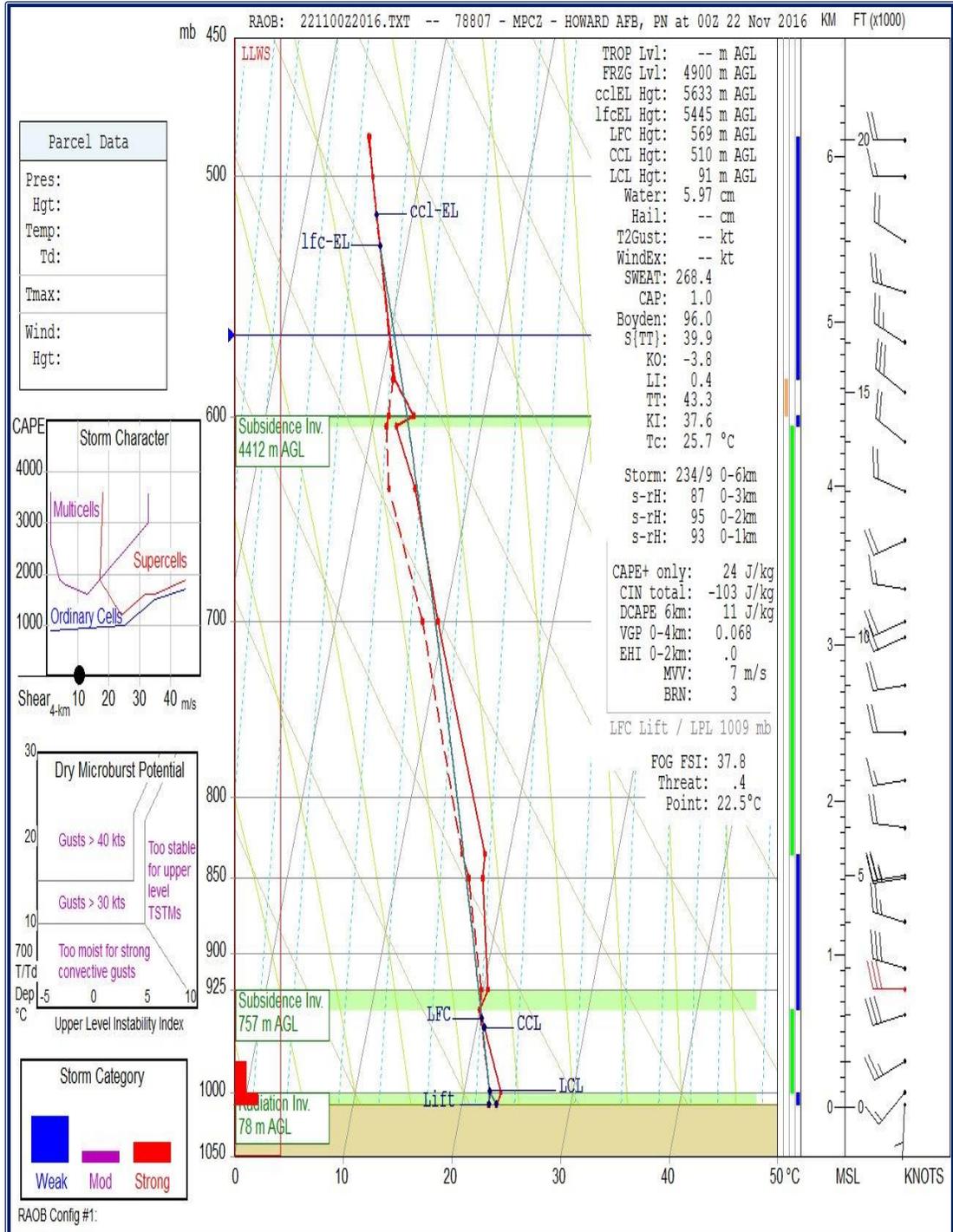
Gráfica B7. Perfil atmosférico desde la estación Corozal Oeste del 21 de noviembre de 2016 a las 00:00 GMT.



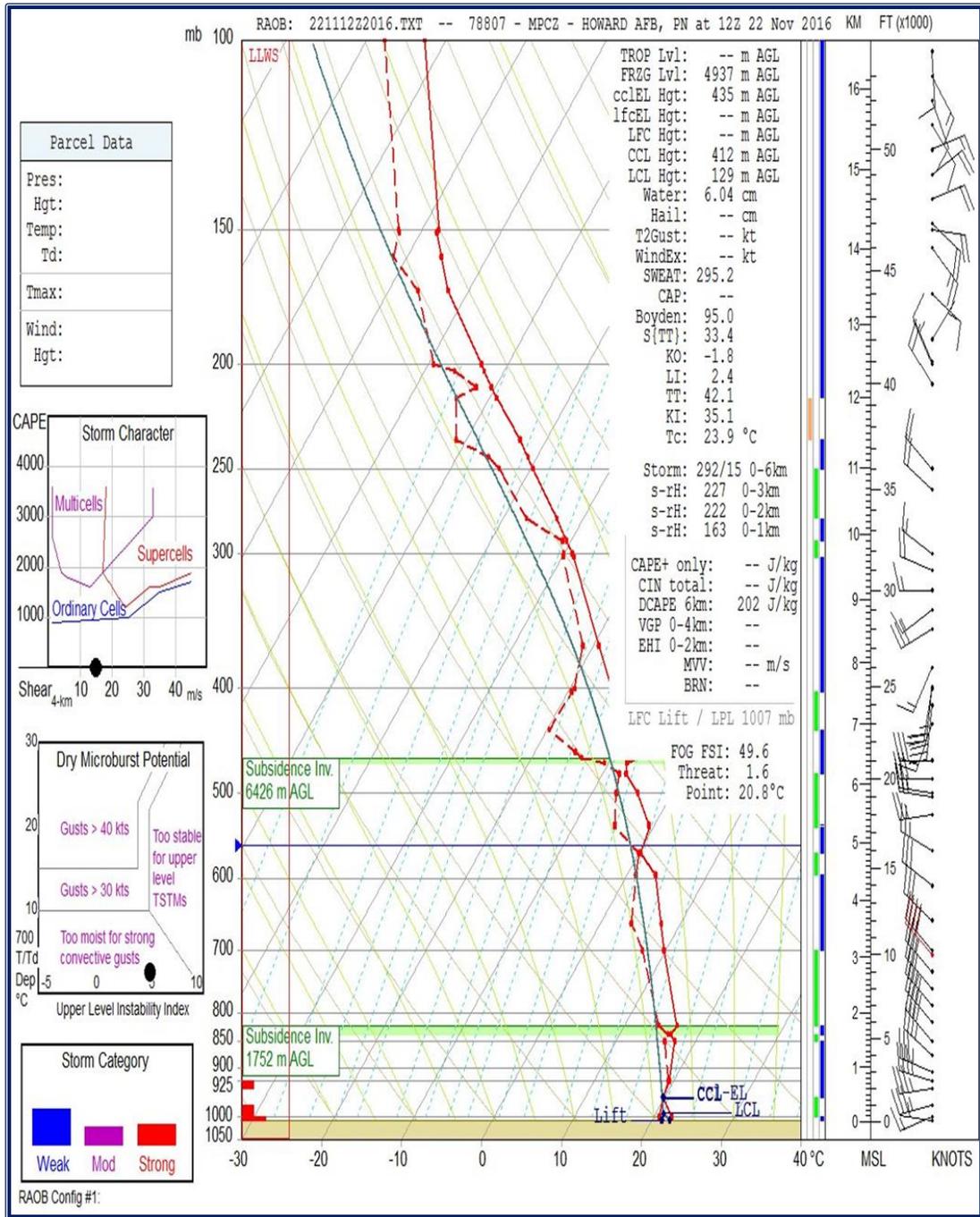
Gráfica B8. Perfil atmosférico desde la estación Corozal Oeste del 21 de noviembre de 2016 a las 12:00 GMT.



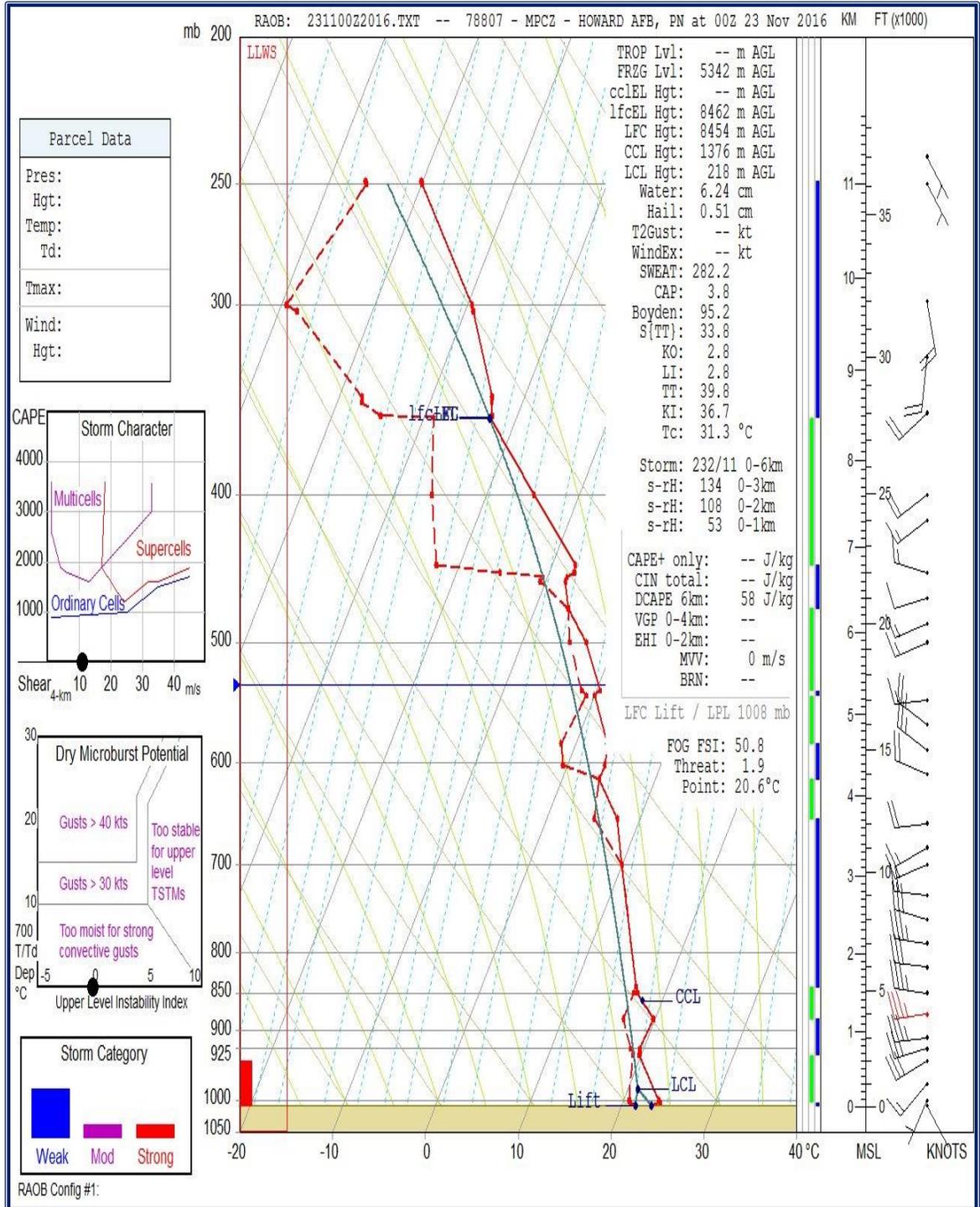
Gráfica B9. Perfil atmosférico desde la estación Corozal Oeste del 22 de noviembre de 2016 a las 00:00 GMT.



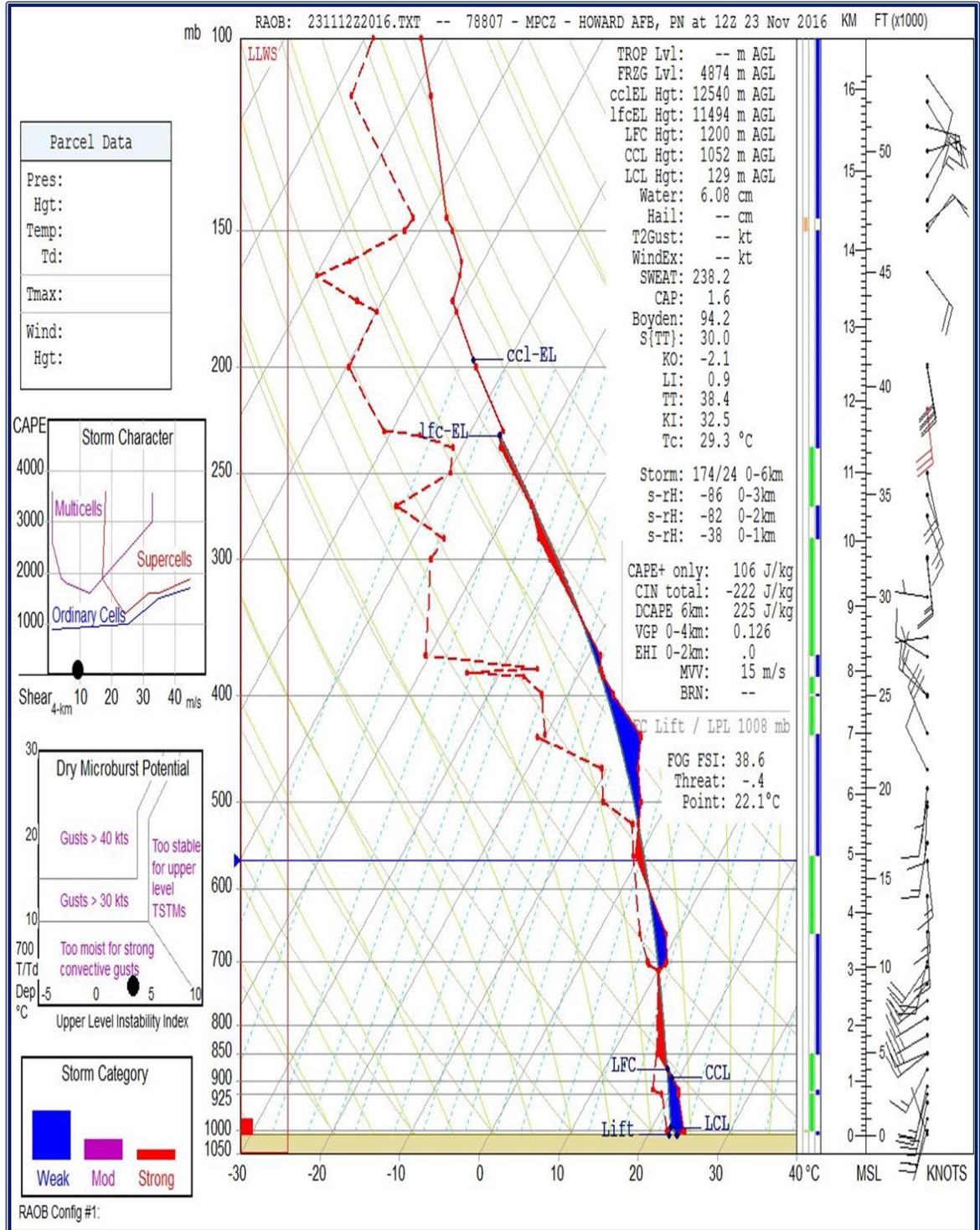
Gráfica B10. Perfil atmosférico desde la estación Corozal Oeste del 22 de noviembre de 2016 a las 12:00 GMT.



Gráfica B11. Perfil atmosférico desde la estación Corozal Oeste del 23 de noviembre de 2016 a las 00:00 GMT.



Gráfica B12. Perfil atmosférico desde la estación Corozal Oeste del 23 de noviembre de 2016 a las 12:00 GMT



Apéndice C – Modelo de pronóstico meteorológico PANWRF

Ilustración C1. Pronóstico de la precipitación acumulada de 24 horas desde las 09:00 GMT, corrida de las 00:00 GMT, versus lo observado por PANMAP en la CHCP.

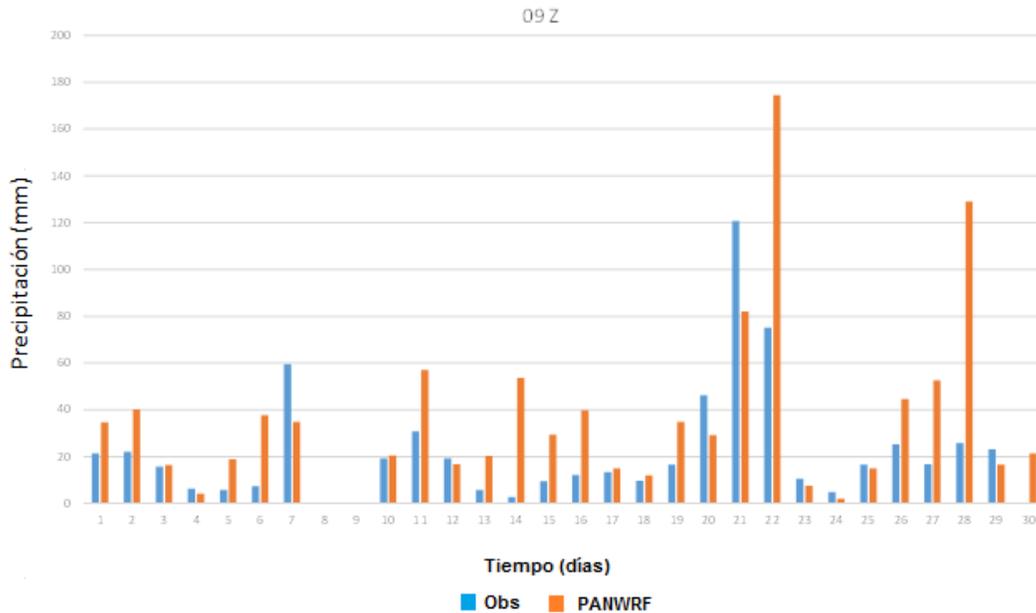
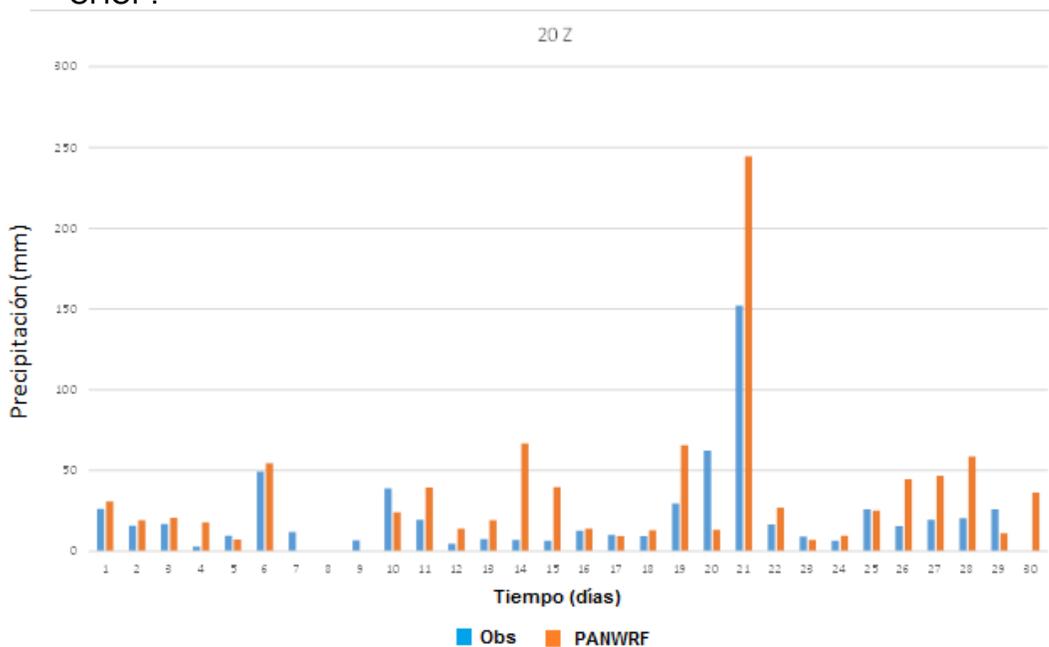


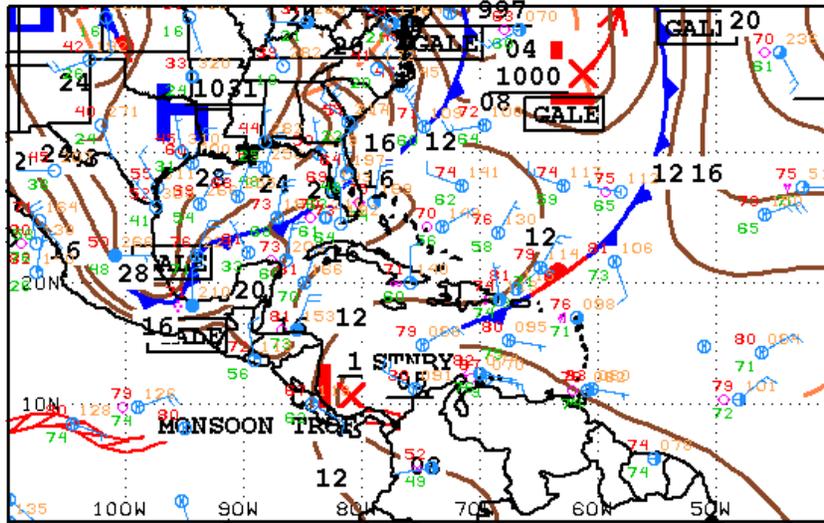
Ilustración C2. Pronóstico de la precipitación acumulada de 24 horas desde las 20:00 GMT, corrida de las 12:00 GMT, versus lo observado por PANMAP en la CHCP.



Anexo - Ilustraciones

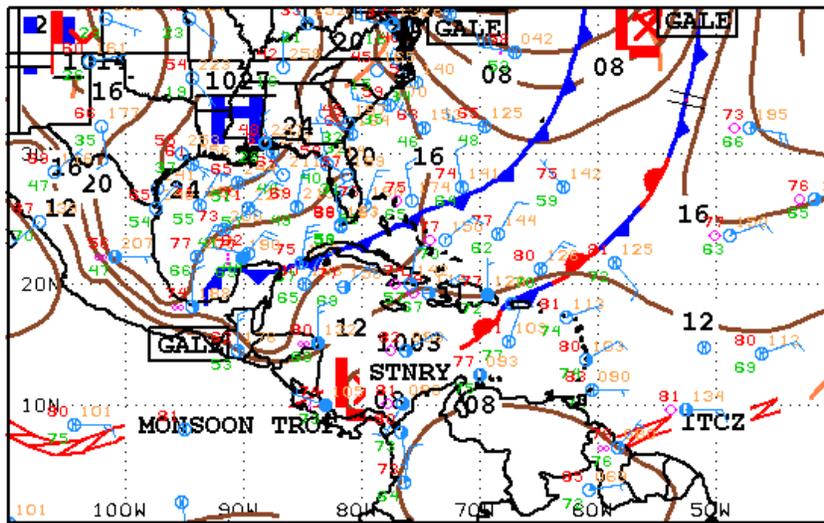
Análisis de cartas meteorológicas cortesía de la National Oceanic and Atmospheric Administration.

Ilustración 1: 20 de noviembre de 2016 a las 06 GMT



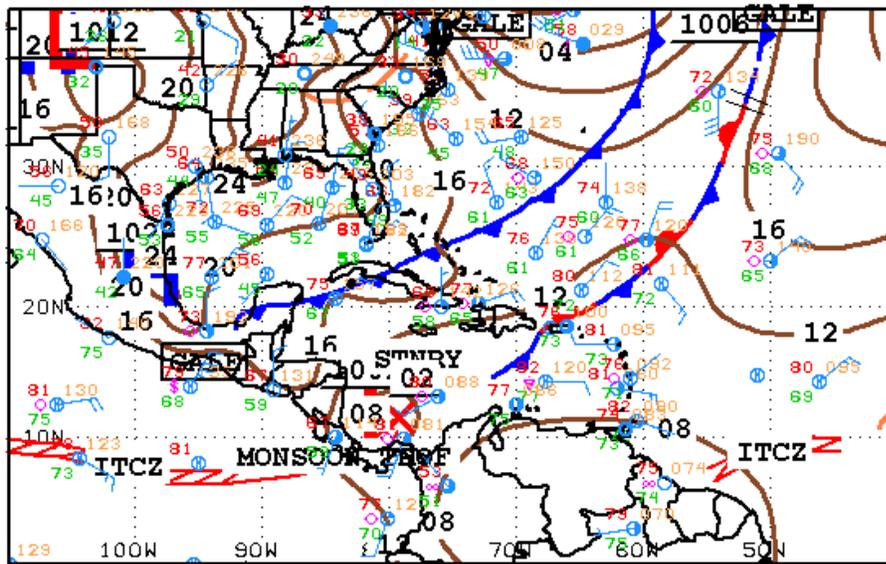
06Z SOUTHWEST NORTH ATLANTIC SFC ANALYSIS NATIONAL HURRICANE CENTER
 ISSUED: MIAMI, FLORIDA
 Sun Nov 20 08:40:40 UTC 2016 BY TAFB ANALYST: MT
 COLLABORATING CENTERS: NHC OPC

Ilustración 2: 21 de noviembre de 2016 a las 00 GMT



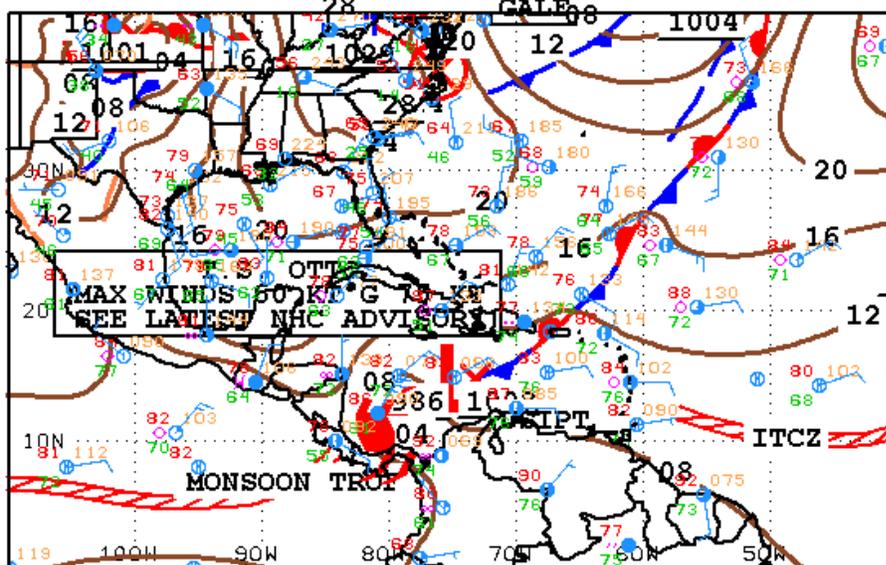
00Z SOUTHWEST NORTH ATLANTIC SFC ANALYSIS NATIONAL HURRICANE CENTER
 ISSUED: MIAMI, FLORIDA
 Mon Nov 21 03:23:50 UTC 2016 BY TAFB ANALYST: ERA
 COLLABORATING CENTERS: NHC OPC

Ilustración 3: 21 de noviembre de 2016 a las 06 GMT



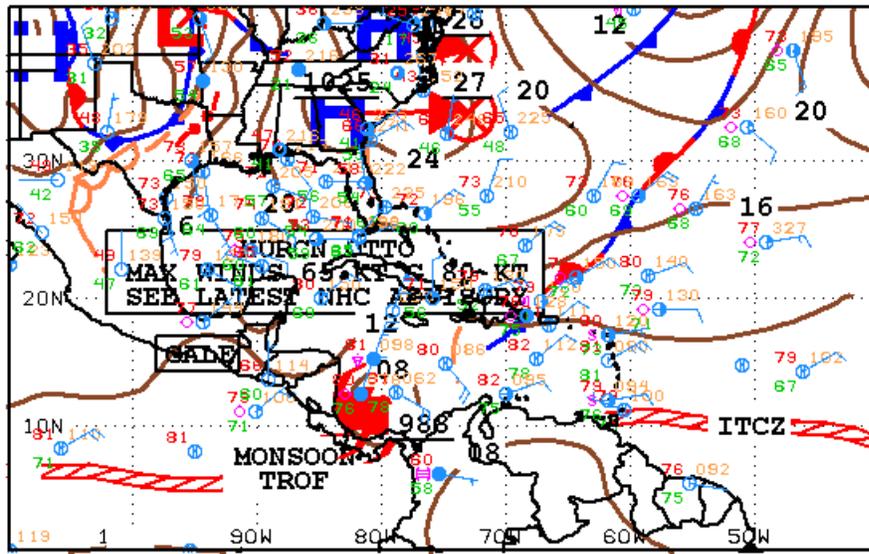
06Z SOUTHWEST NORTH ATLANTIC SFC ANALYSIS NATIONAL HURRICANE CENTER
 ISSUED: MIAMI, FLORIDA
 Mon Nov 21 08:38:25 UTC 2016 BY TAFB ANALYST: MT
 COLLABORATING CENTERS: NHC OPC

Ilustración 4: 22 de noviembre de 2016 a las 18 GMT



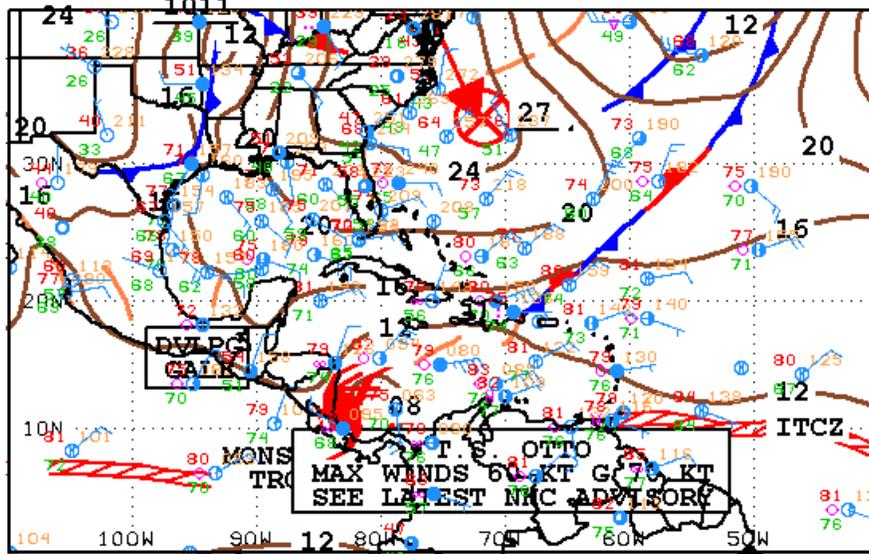
18Z SOUTHWEST NORTH ATLANTIC SFC ANALYSIS NATIONAL HURRICANE CENTER
 ISSUED: MIAMI, FLORIDA
 Tue Nov 22 20:37:29 UTC 2016 BY TAFB ANALYST: MH/PW
 COLLABORATING CENTERS: NHC OPC

Ilustración 5: 23 de noviembre de 2016 a las 06 GMT



06Z SOUTHWEST NORTH ATLANTIC SFC ANALYSIS NATIONAL HURRICANE CENTER
 ISSUED: MIAMI, FLORIDA
 Wed Nov 23 08:28:44 UTC 2016 BY TAFB ANALYST: NR
 COLLABORATING CENTERS: NHC OPC

Ilustración 6: 23 de noviembre de 2016 a las 12 GMT



12Z SOUTHWEST NORTH ATLANTIC SFC ANALYSIS NATIONAL HURRICANE CENTER
 ISSUED: MIAMI, FLORIDA
 Wed Nov 23 14:25:46 UTC 2016 BY TAFB ANALYST: ASL
 COLLABORATING CENTERS: NHC OPC

Imágenes satelitales visibles, infrarrojas y de vapor de agua cortesía de la National Oceanic and Atmospheric Administration.

Ilustración 7: Imagen satelital visible del 21 de noviembre de 2016 a las 13:45 GMT.

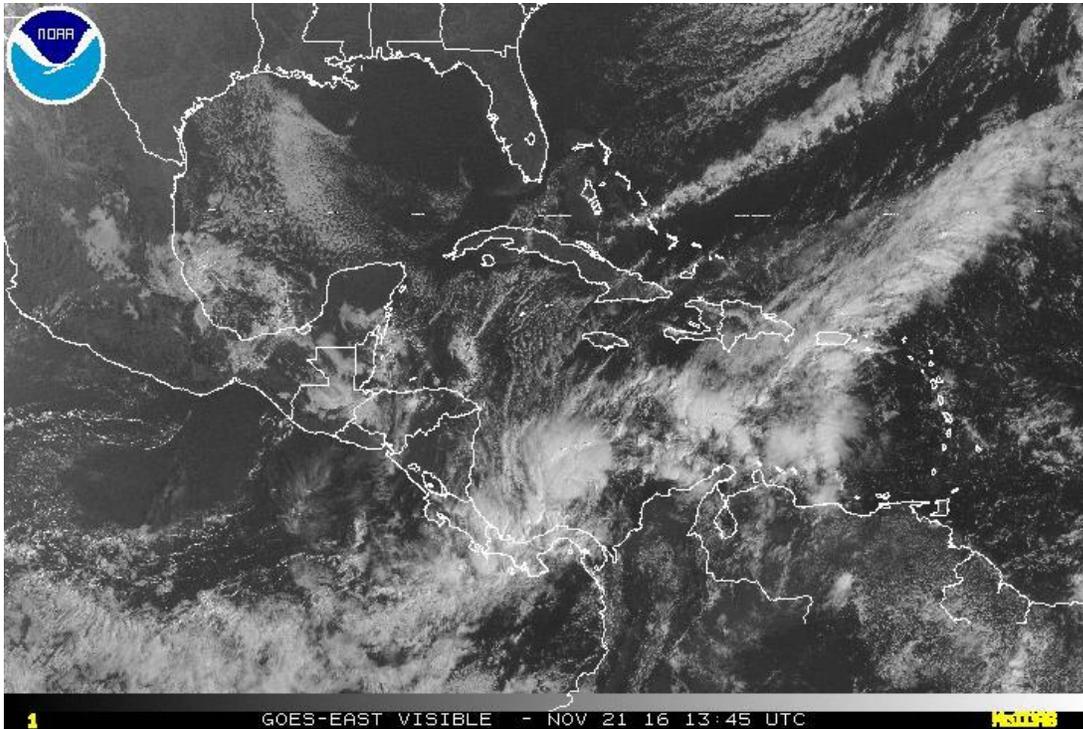


Ilustración 8: Imagen satelital visible del 22 de noviembre de 2016 a las 15:45 GMT



Ilustración 9: Imagen satelital infrarroja del 20 de noviembre de 2016 a las 20:45 GMT

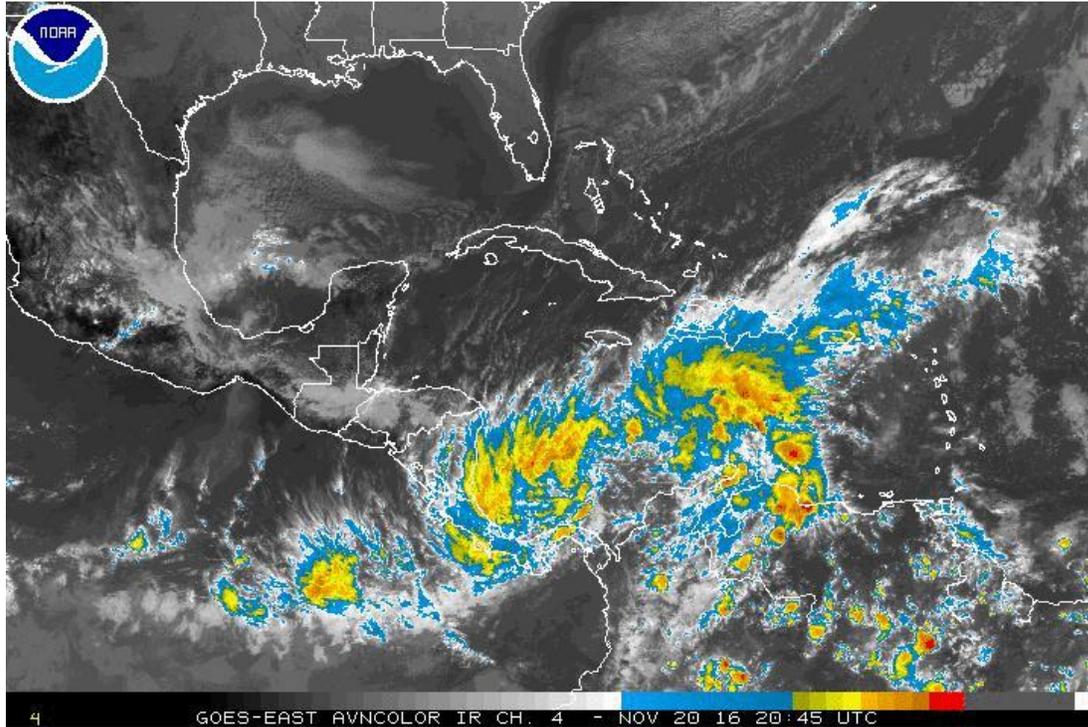


Ilustración 10: Imagen satelital infrarroja del 21 de noviembre de 2016 a las 13:45 GMT

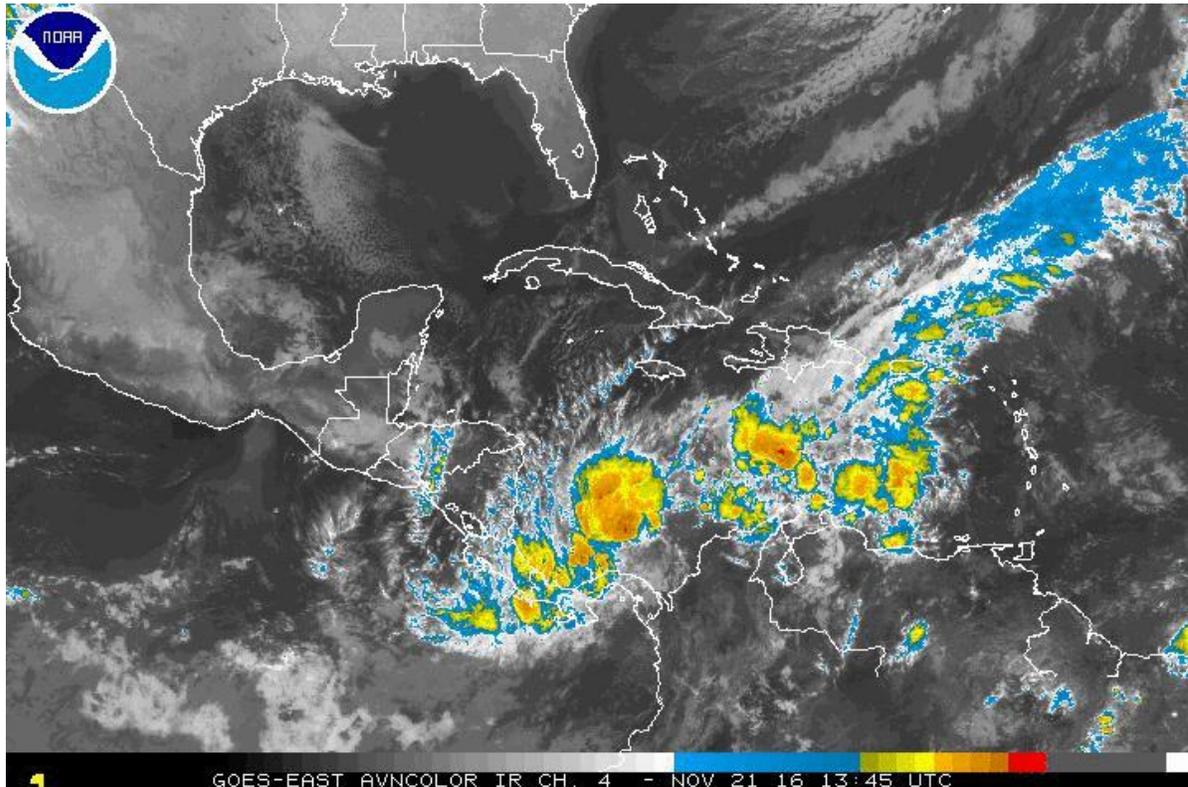


Ilustración 11: Imagen satelital infrarroja del 21 de noviembre de 2016 a las 19:45 GMT

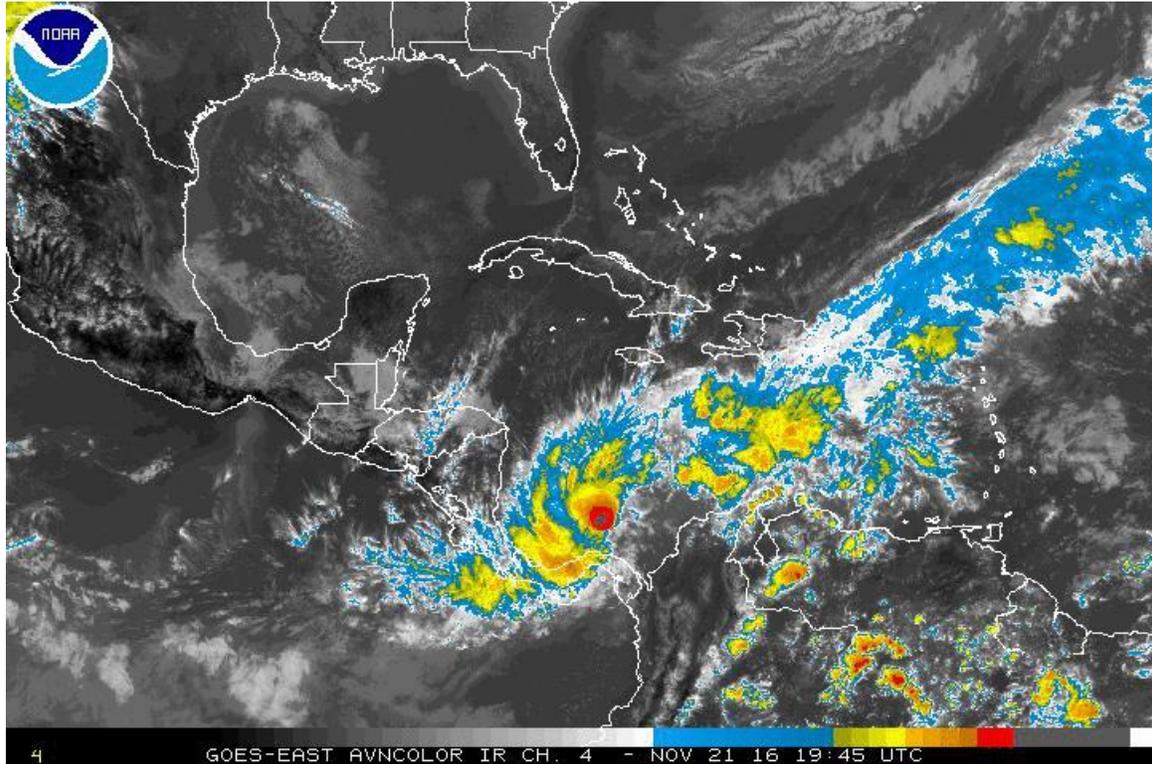


Ilustración 12: Imagen satelital infrarroja del 22 de noviembre de 2016 a las 03:45 GMT.

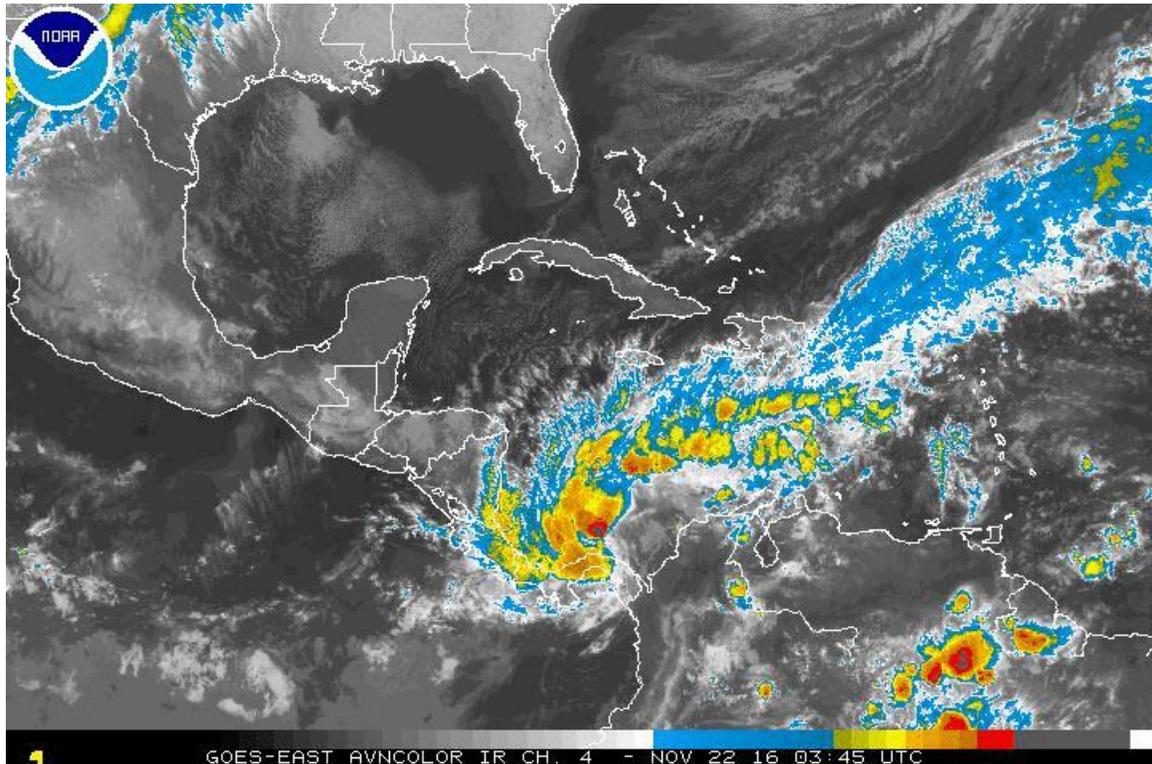


Ilustración 13: Imagen satelital infrarroja del 22 de noviembre de 2016 a las 15:45 GMT.



Ilustración 14: Imagen satelital infrarroja del 22 de noviembre de 2016 a las 20:45 GMT.



Ilustración 15: Imagen satelital infrarroja del 23 de noviembre de 2016 a las 05:45 GMT.

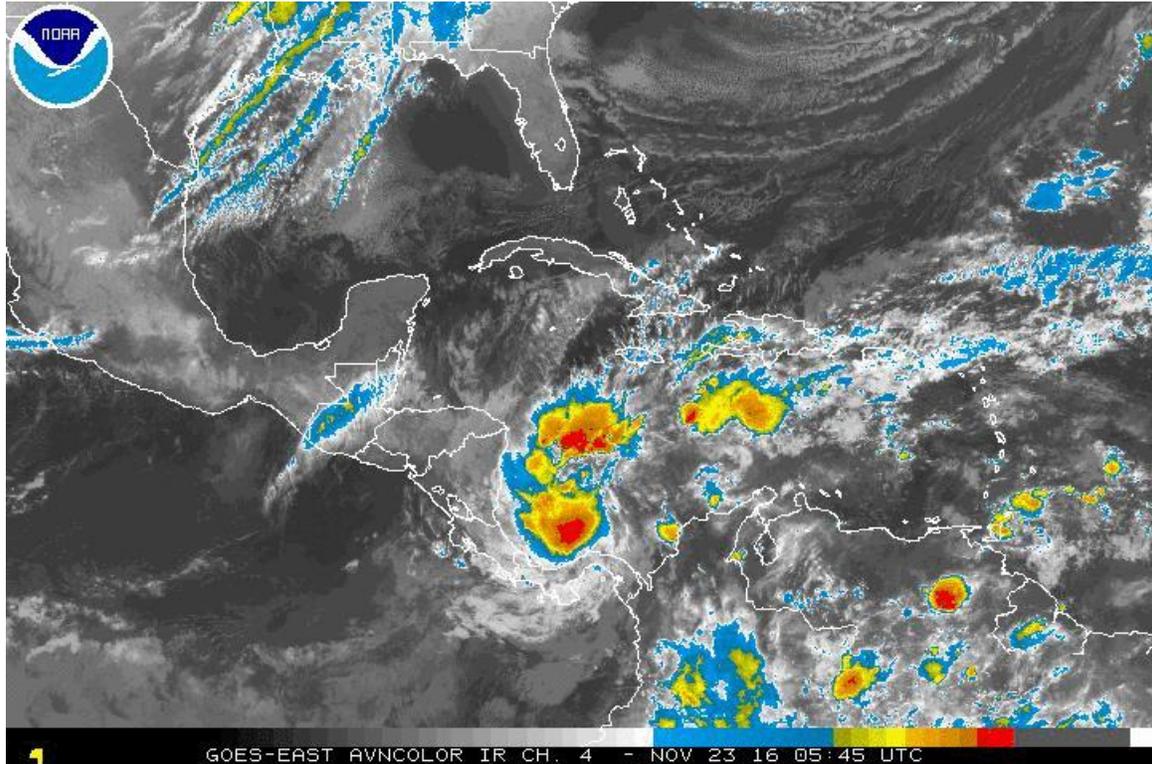


Ilustración 16: Imagen satelital de vapor de agua del 20 de noviembre de 2016 a las 10:45 GMT.

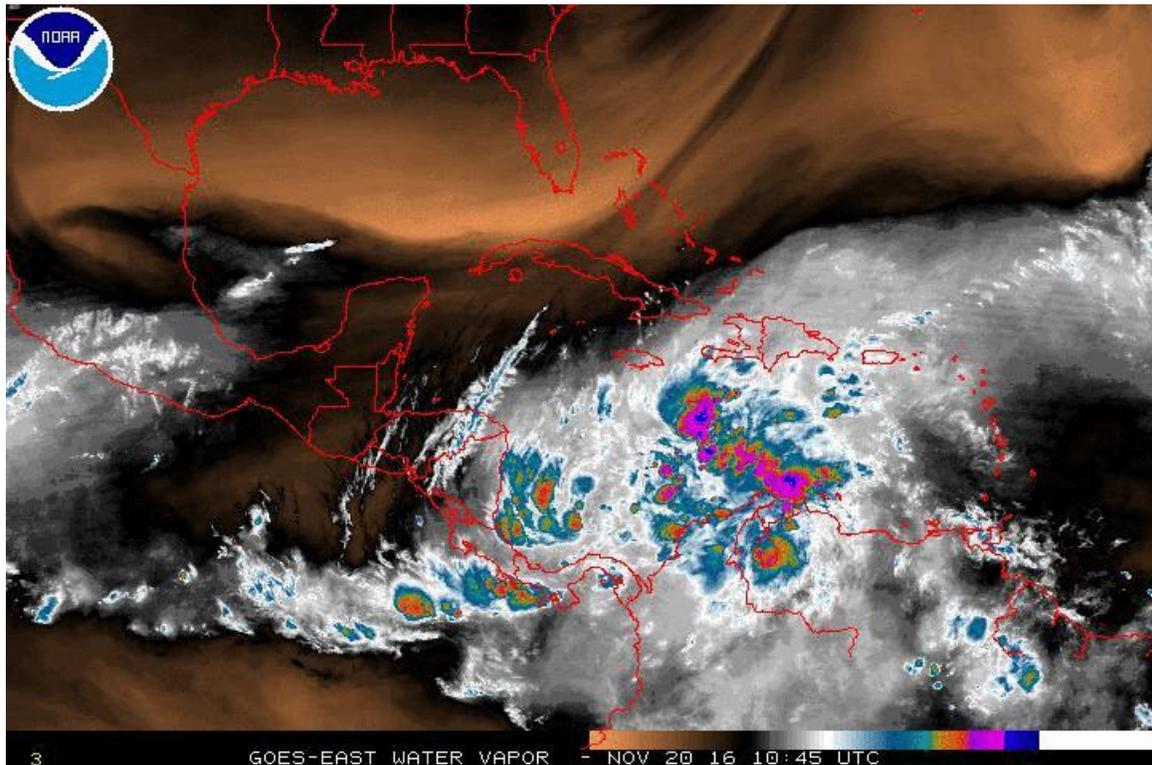


Ilustración 17: Imagen satelital de vapor de agua del 21 de noviembre de 2016 a las 13:45 GMT

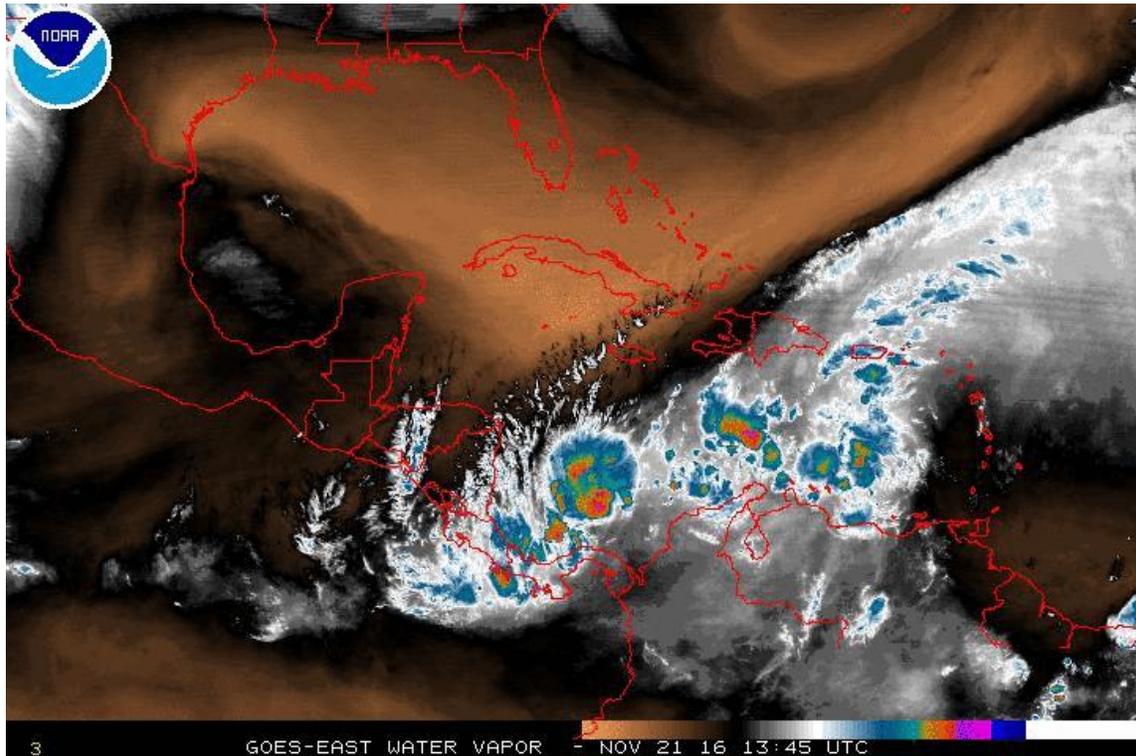


Ilustración 18: Imagen satelital de vapor de agua del 21 de noviembre de 2016 a las 18:45 GMT

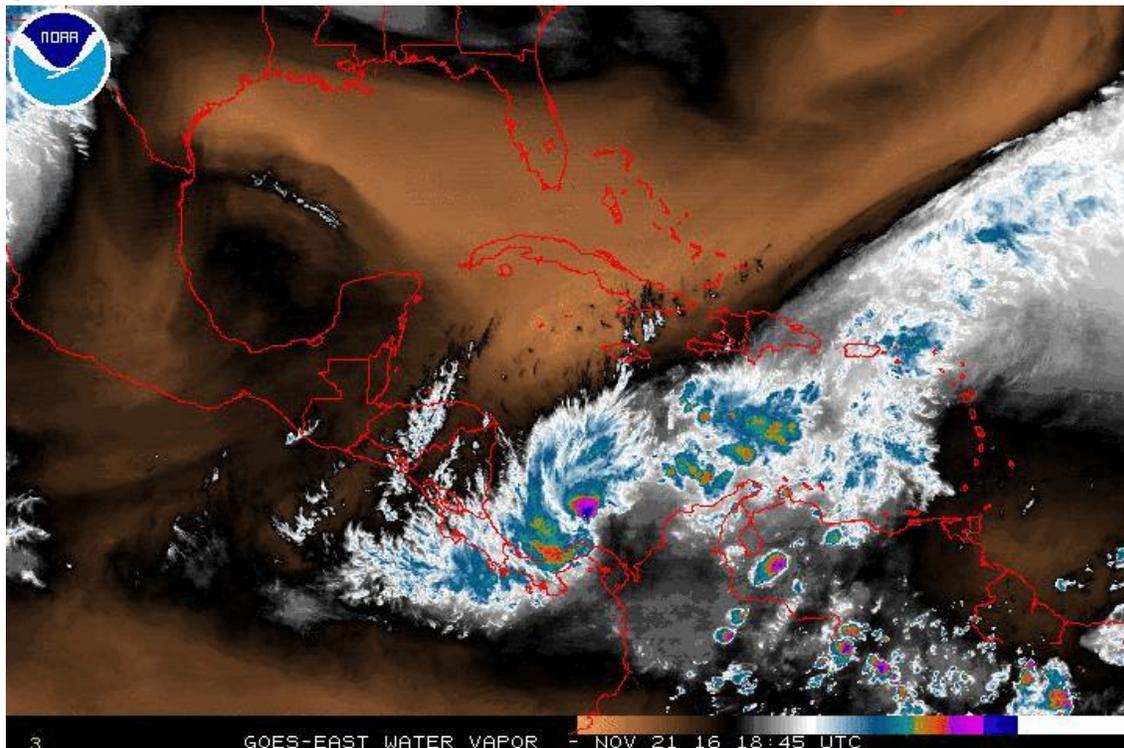


Ilustración 19: Imagen satelital de vapor de agua del 21 de noviembre de 2016 a las 18:45 GMT

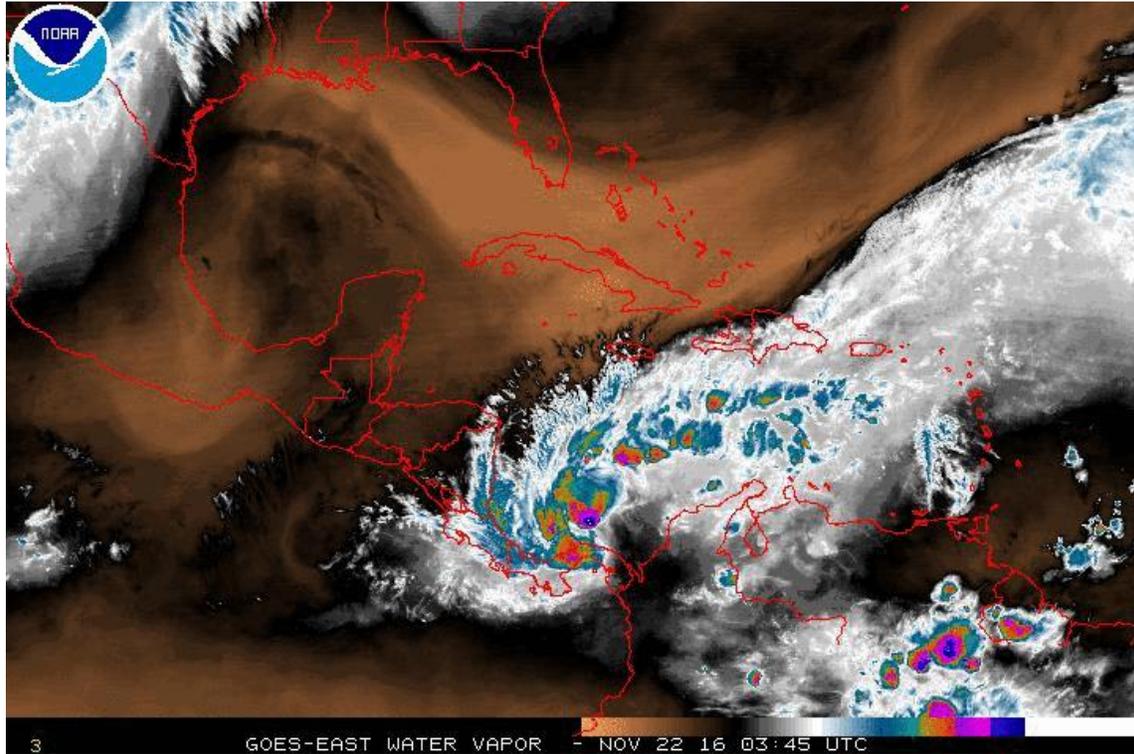


Ilustración 20: Imagen satelital de vapor de agua del 22 de noviembre de 2016 a las 15:45 GMT

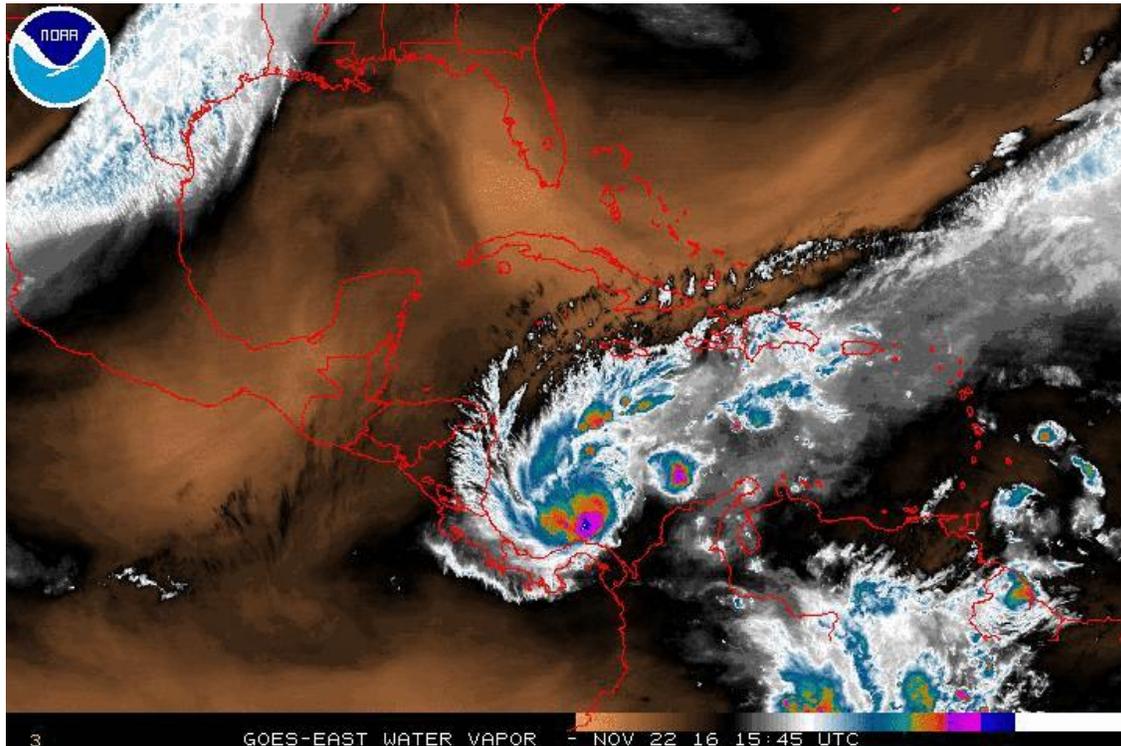
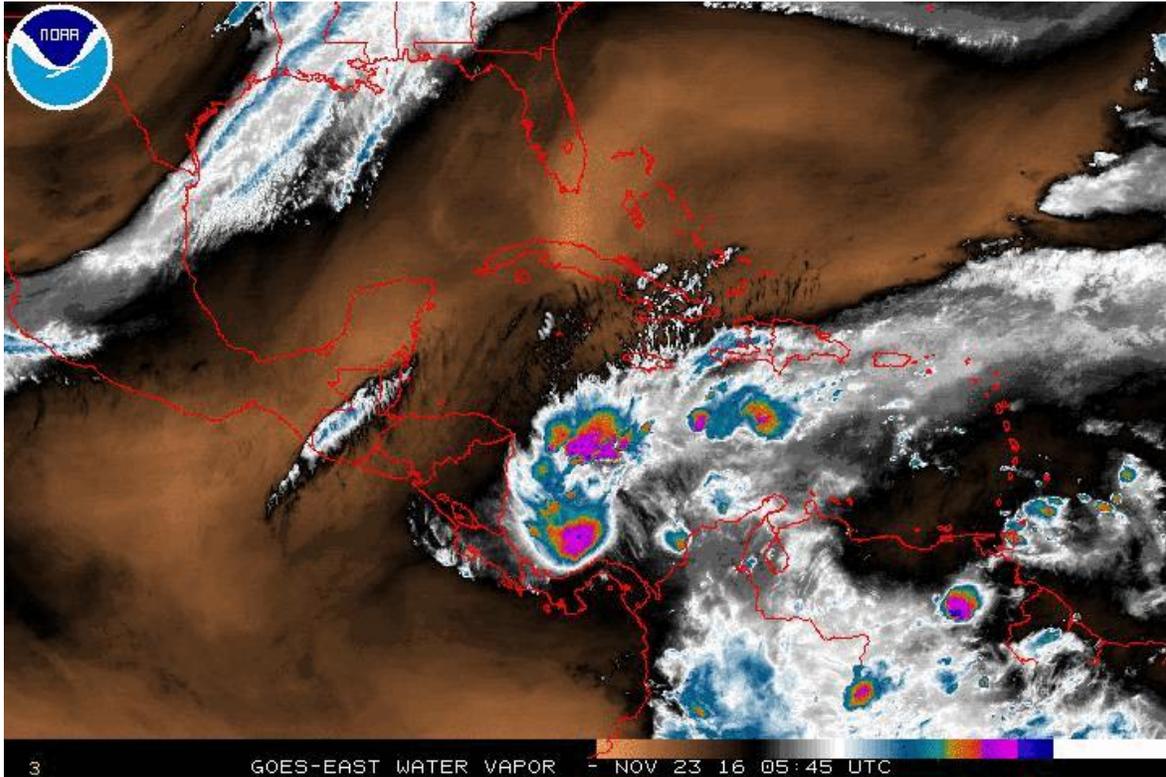


Ilustración 21: Imagen satelital de vapor de agua del 23 de noviembre de 2016 a las 05:45 GMT



Anexo – Imágenes de notas periodísticas referentes al huracán Otto

8 VIDAS SE LLEVÓ "OTTO"

Pristina Ruiz y su esposo Fabián Hernández, recién casados, fallecieron.

trunfos, desahucio de
terres, las clases en todo el
país fueron suspendidas por
el Meduca. Esto por el estado
y luego de que un tránsito de 9
autos falló en la escuela San Vi-
cente de Paul en Panamá (ver
página 8).
Las instrucciones gubernamentales
también cerraron sus puertas, mientras que el
Aeropuerto Internacional Marco A. Gelabert, por el
momento, canceló los viajes.
El director de Sinapro, José
Donderis, pide a la ciudadanía
tomar las medidas de precaución y que las lluvias
vayan a continuar.
Con datos de Eriella Zebe-
llos y Yazmín Trujillo.

Otto recorre el Caribe y se espera que impacte Costa Rica y Nicaragua.

DAÑOS. Tres viviendas se desplomaron en el barrio Nueva Libia, en Panamá norte, y otras cuatro quedaron en riesgo de colapsar.

PANAMÁ OESTE. En la comunidad Fundavico, corregimiento de Cerro Silvestre, distrito de Arraján, fallecieron dos personas.

Tristeza, dolor y muerte, tras huracán Otto

Otto sorprende a Panamá

15 MUERTOS POR DESLIZAMIENTO EN CERRO SILVESTRE

Se los traga



La Fuerza de Tarea Conjunta reportó tres fallecidos, tres desaparecidos y tres mil damnificados. El Meduca suspendió las clases en los planteles públicos y privados hasta hoy. Presidente Juan Carlos Varela pide uso racional del agua potable. La alerta amarilla se mantiene en todo el país y roja para Bocas del Toro y Colón. **Páginas 9A y 4B**

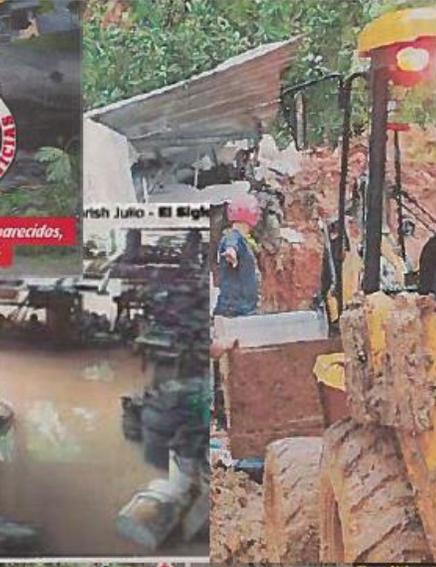


CHILIBRE. Varias comunidades del corregimiento de Chilibré, en Panamá norte, fueron afectadas por las lluvias registradas ayer debido al Otto.

Panamá



Pero antes de su avance a Costa Rica, y mientras era una tormenta, deja varios muertos y desaparecidos, casas colapsadas, deslizamientos de tierra, inundaciones y ríos crecidos. **Páginas 7, 3, 4 y 9**



Árbol de corotú se llevó la vida de un menor inocente

JULIO MORENO VEGA
TRAGEDIA
 La provincia de Panamá sufrió un suceso que costó la vida a un niño de 9 años en un árbol caído. La noticia surgió un día luego de que un árbol de corotú cayera sobre una vivienda en horas de la mañana de ayer en las inmediaciones de la escuela San Vicente de Paul, en el área de Los Hornos, corregimiento de ANCON, mientras esperaba en la fila para ingresar al plantel. El pequeño, quien perdió la vida instantáneamente, estaba acompañado por su madre y tres hermanos.

Formó en su cuarenta de Twitter @juliovega2018. "Mi árbol caído en Los Hornos le hablan corotú los niños. Imposible reconocer una copia tan grande de mi casa rodante. Lamentable consecuencia. Y yo no sé qué hacer. Quisiera cargar y matar a un niño no es un efecto tan malo, es la mala intervención humana que al final resulta contra quienes proyectamos".

Además, mencionó a El Siglo que pasó por el lugar donde se había producido el accidente y se perdió a través de fotos de una familia afectada de las consecuencias de la caída de un árbol.

Añaden que se investigará una captura con una cámara por la madre del niño fallecido.



La madre del niño fallecido estaba estacionándose a un costado de la vía.

El cabrón de Otto se llevó a 7

Este huracán no dejó una estela de caos y dolor en Panamá. Las clases siguen suspendidas, el gobierno acordó un paro y la batalla se mantiene en Bocas, Darién y Chiriquí. En Villa Mirador, Alcalde Díaz, se hundieron tres viviendas y hay más de 3 mil afectados por el fenómeno. **Noticias 9A y 9B**

Tres últimas víctimas

Señales de dolor y tristeza por el fallecimiento de un niño en Panamá. El niño fallecido en la familia de la víctima se encuentra en un hospital.

Anexo – Presentación: Impacto del huracán Otto en la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá

Impacto del huracán Otto en la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá

Gloria Arrocha Paz
Sección de Recursos Hídricos
23 de marzo de 2017



CANAL DE PANAMÁ



Huracán Otto

¿Es el primero en la historia panameña?
¿De la CHCP?



Huracán Marta - 1969





Huracán Joan-Miriam - 1988



Huracán Beta - 2005





Huracán Otto - 2016



Huracán Otto

¿Qué tan cerca estuvo de la CHCP?

Huracán Otto - 2016



Huracán Otto - 2016

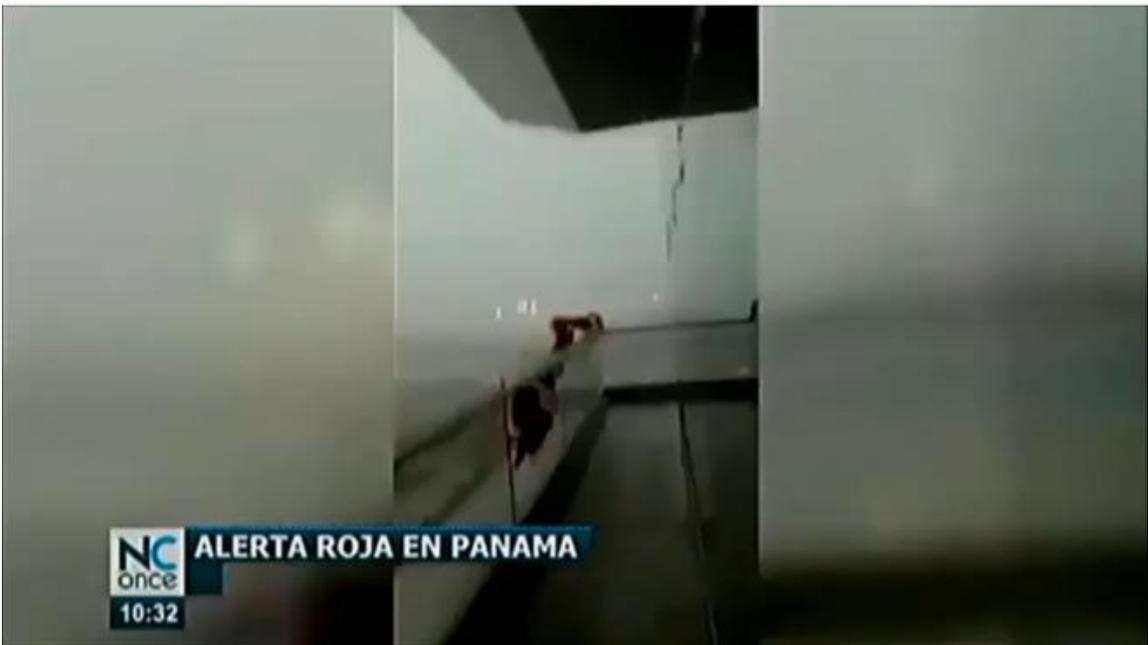




Escala de vientos



Huracán Otto





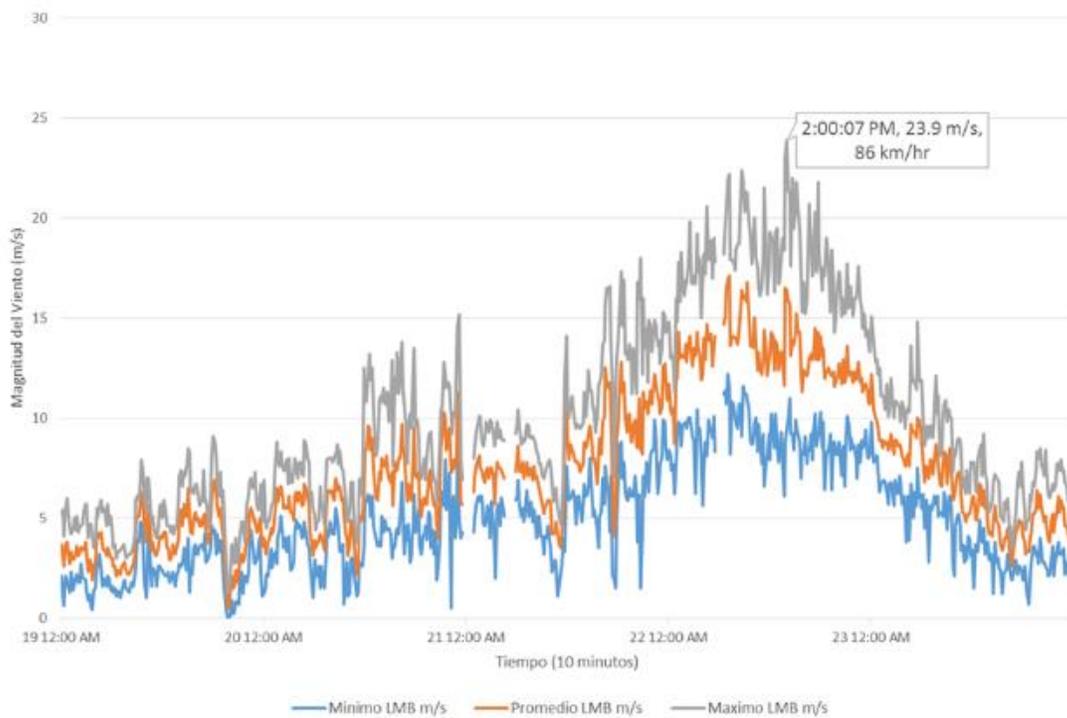
Huracán Otto



HURACÁN OTTO: PRIMEROS VIDEOS SOBRE LOS DAÑOS OCACIONADOS
DECLARAN ALERTA ROJA: OTTO CAUSA LA MUERTE TRAS SU PASO POR PANAMÁ.

SUCEDER A NIVEL MUNDIAL DÓNDE LA NOTICIA ES UNA PRIORIDAD DE CALIDAD, CREATIVIDAD Y RESPONSABILIDAD SOCIAL | SÍGUE

Viento máximo, promedio y mínimo de 10 minutos de la estación Limon Bay, del 19 al 23 de noviembre de 2016



Viento en Limon Bay, Gatun West, Corozal Oeste y Balboa FAA

Viento máximo instantáneo y máximo sostenido de 10 minutos de la estación Limon Bay

Día	Hora Local	Viento máximo		Hora Local	Viento máximo sostenido	
		Instantáneo (m/s y km/hr)			(m/s y km/hr)	
22	2:00 p.m.	23.9	86	7:10 a.m.	16.9	61

Viento máximo instantáneo de 10 minutos de las estaciones Gatun West, Balboa FAA y Corozal Oeste ocurrido entre el 20 y 22 de noviembre de 2016

Estación	Día	Hora	Viento máximo instantáneo (m/s y km/hr)	
Gatun West	22 nov	6:50 a.m.	19.2	69
Balboa FAA	22 nov	8:10 a.m.	11.0	40
Corozal Oeste	20 nov	1:40 p.m.	6.9	25



Escala de vientos





Escala de vientos



Huracán Otto

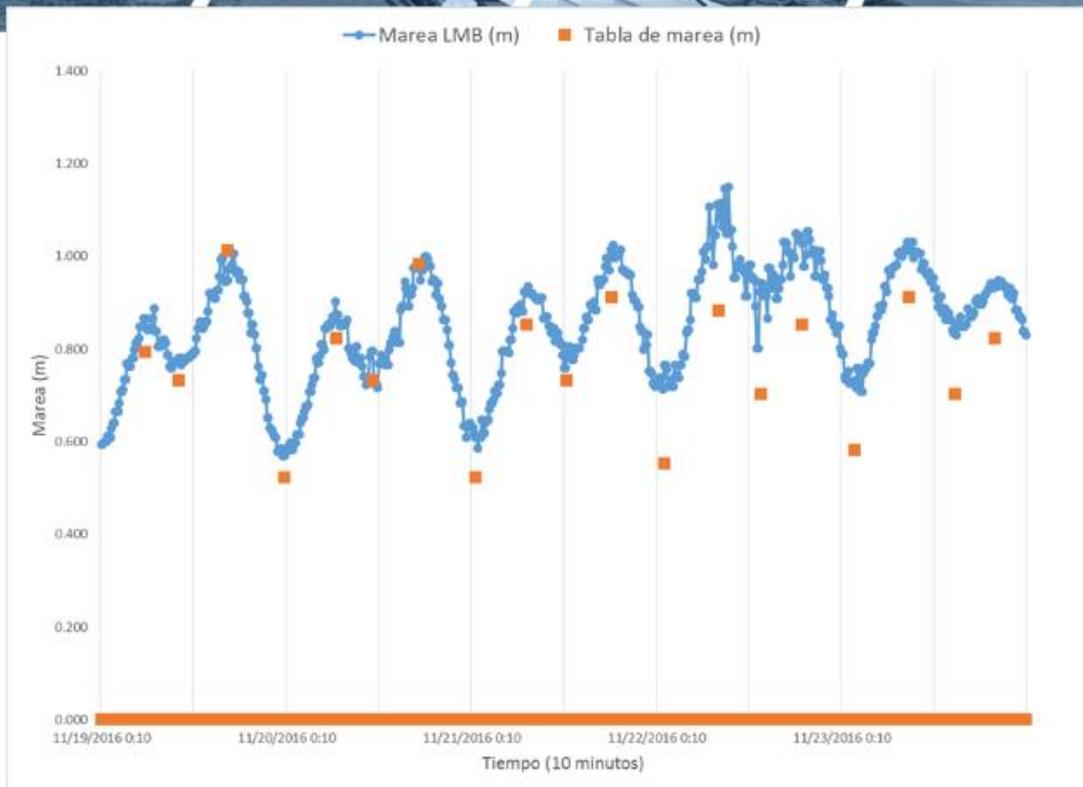




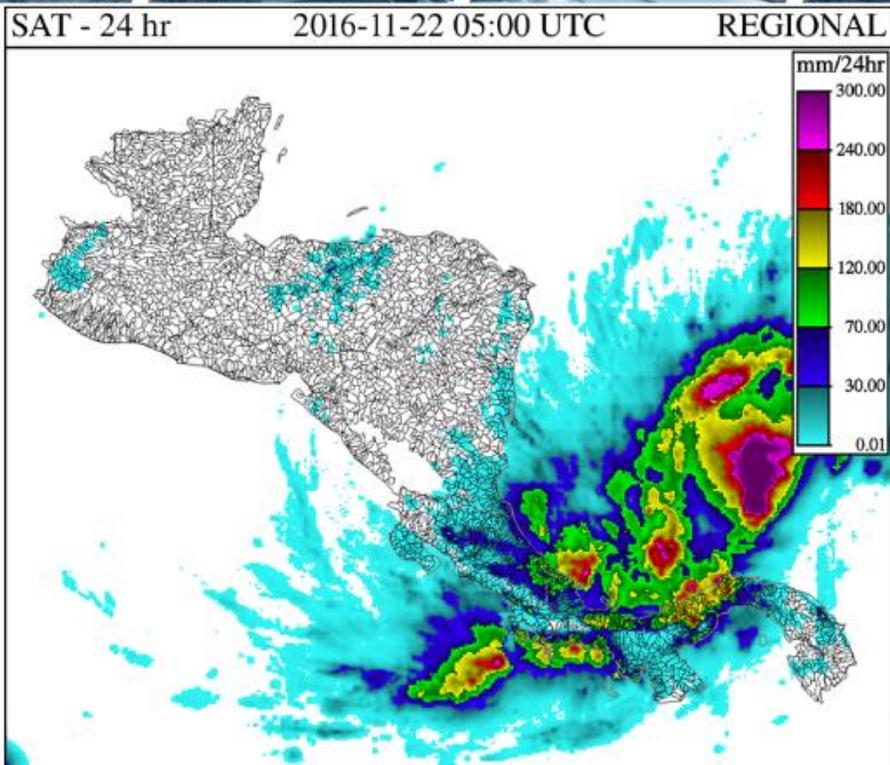
Huracán Otto



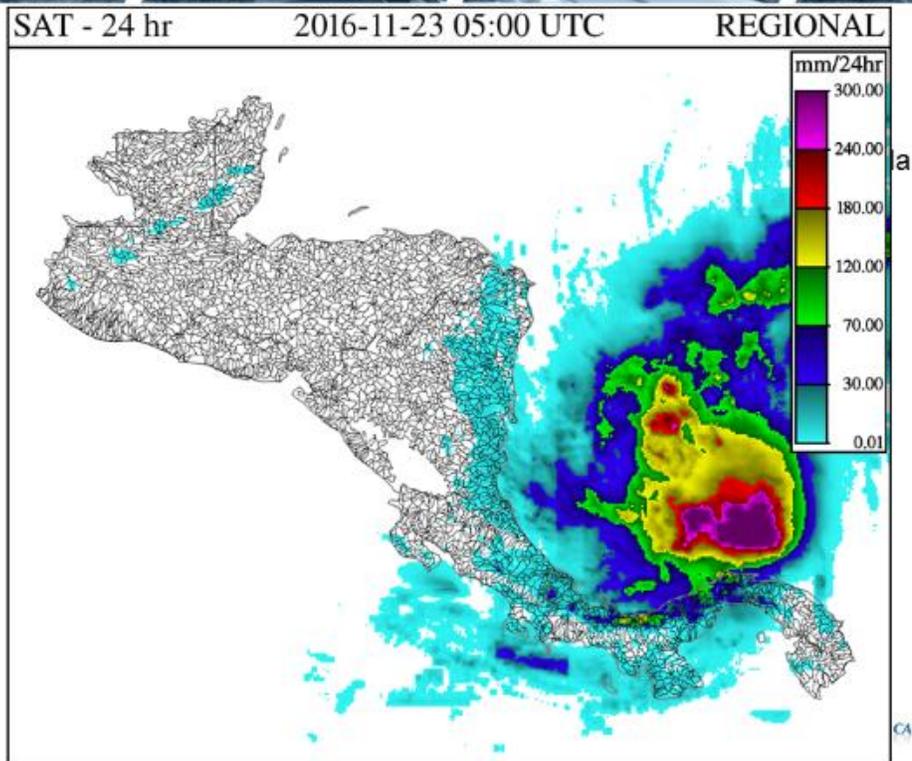
Mareas en Limon Bay



Precipitación diaria del 21 de noviembre de 2016, estimada satelitalmente



Precipitación diaria del 22 de noviembre de 2016, estimada satelitalmente

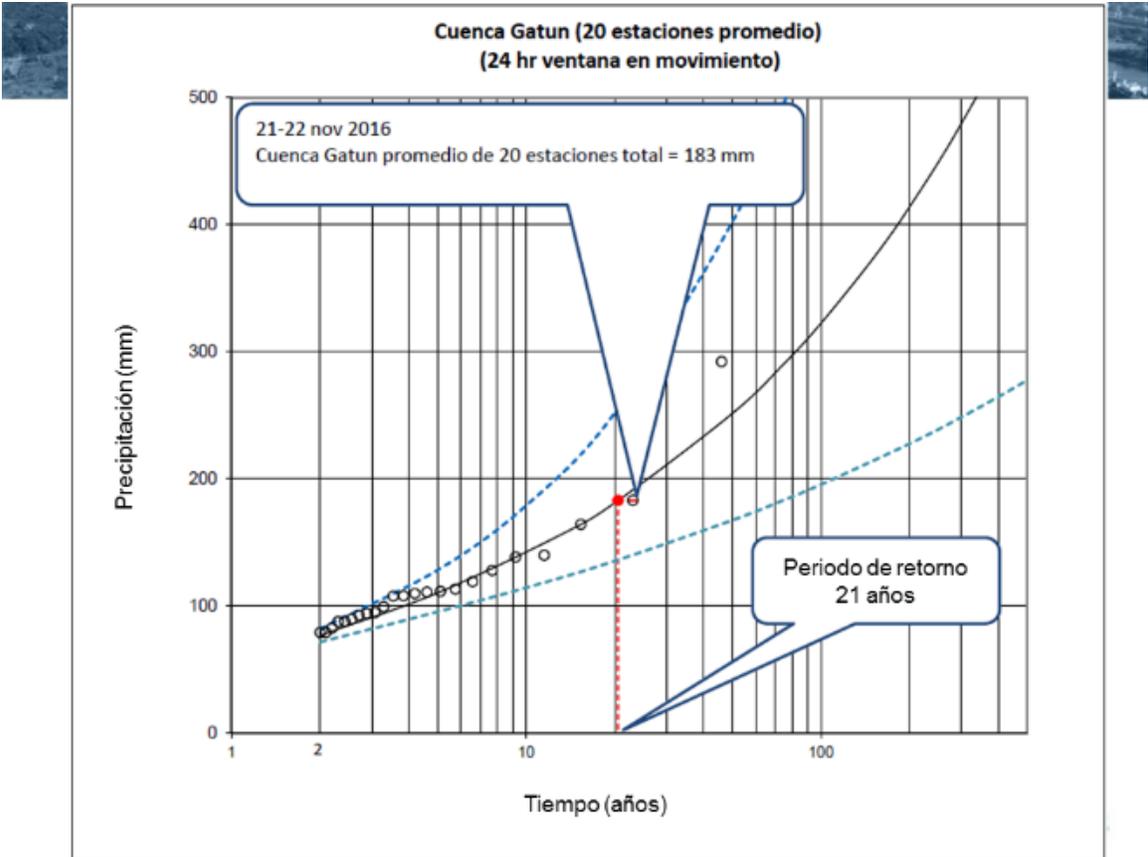




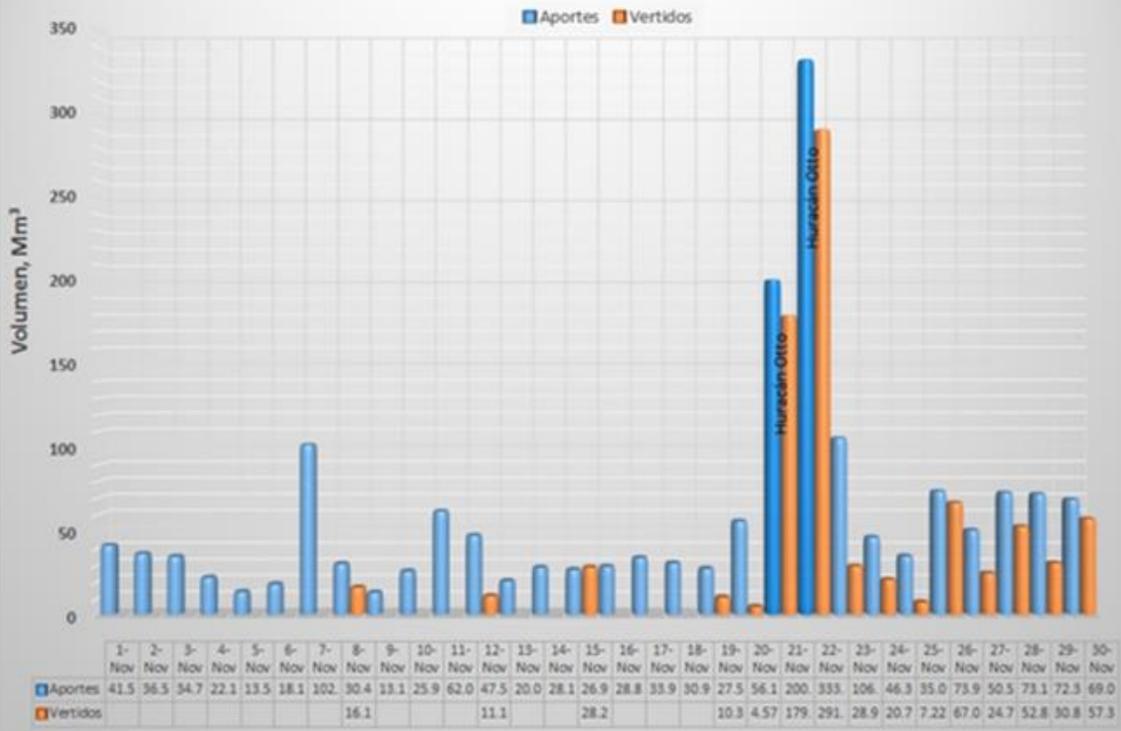
Posición, de mayor a menor, de la precipitación máxima acumulada en 24 horas continuas del periodo 1972-2016.

Posición	Año	Precipitación (mm)
1	2010	292
2	2016	183
3	2012	164
4	2000	140
5	2004	138
6	2002	128
7	1985	119
8	2006	113
9	2013	111
10	1987	111
11	1996	110
12	2001	108
13	1981	108
14	1998	99
15	1994	95
16	1991	94
17	2011	93
18	1978	90
19	1999	88
20	1973	88
21	2003	83
22	1992	79
23	1995	79

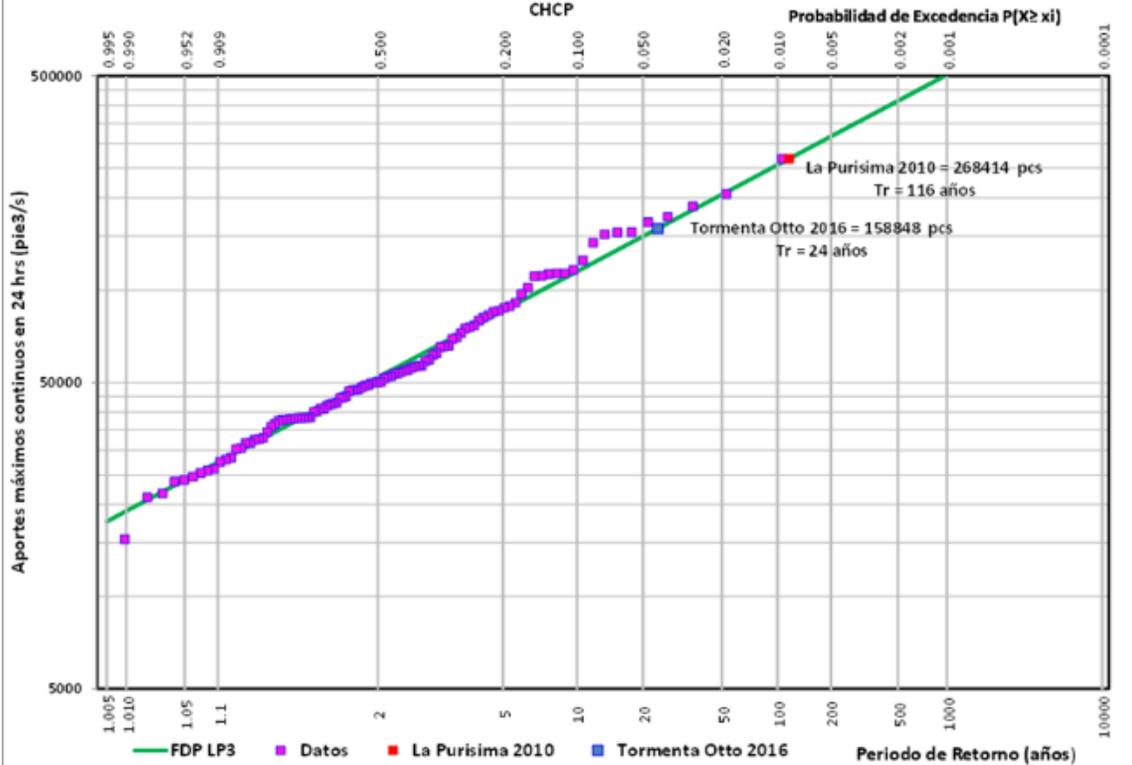
Posición	Año	Precipitación (mm)
24	2008	76
25	1988	76
26	1974	75
27	2007	74
28	1983	70
29	1993	70
30	1990	68
31	2015	64
32	2009	63
33	1975	62
34	1989	61
35	1986	60
36	1984	60
37	1972	59
38	1976	55
39	1980	54
40	1979	53
41	2005	53
42	2014	51
43	1997	49
44	1977	49
45	1982	48

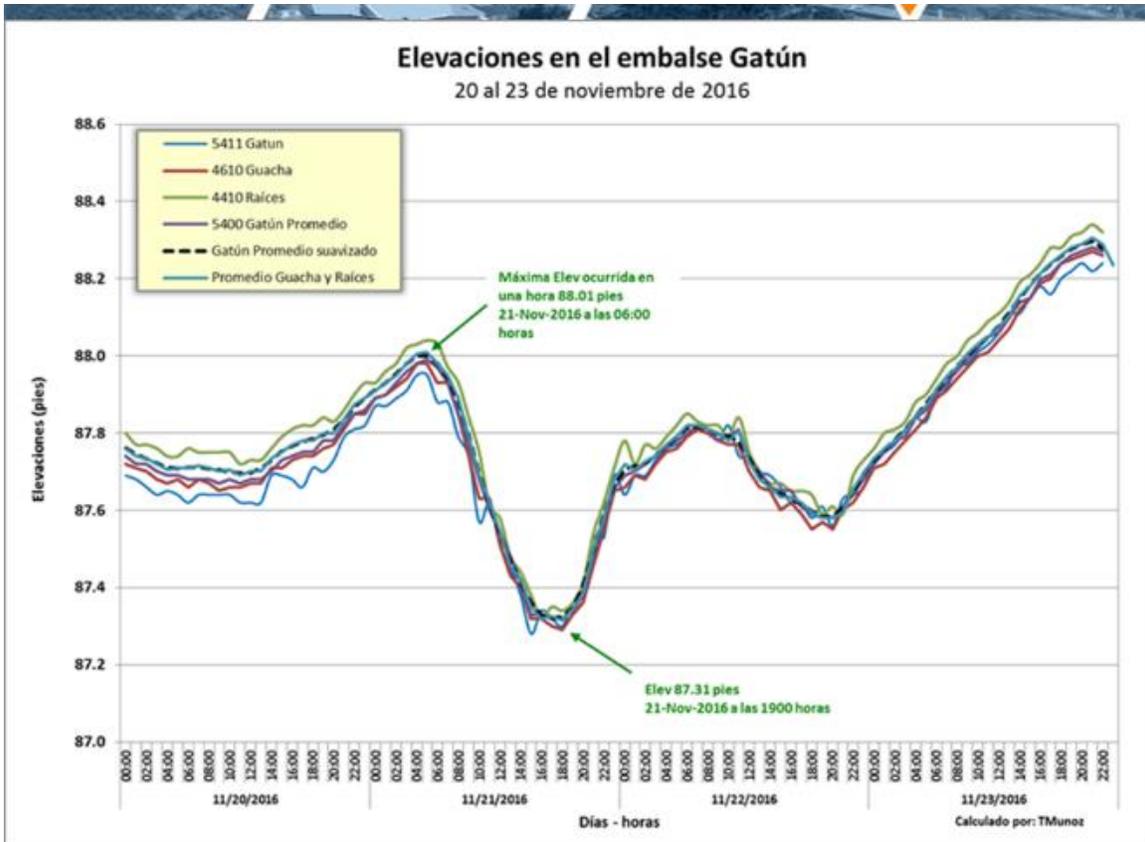
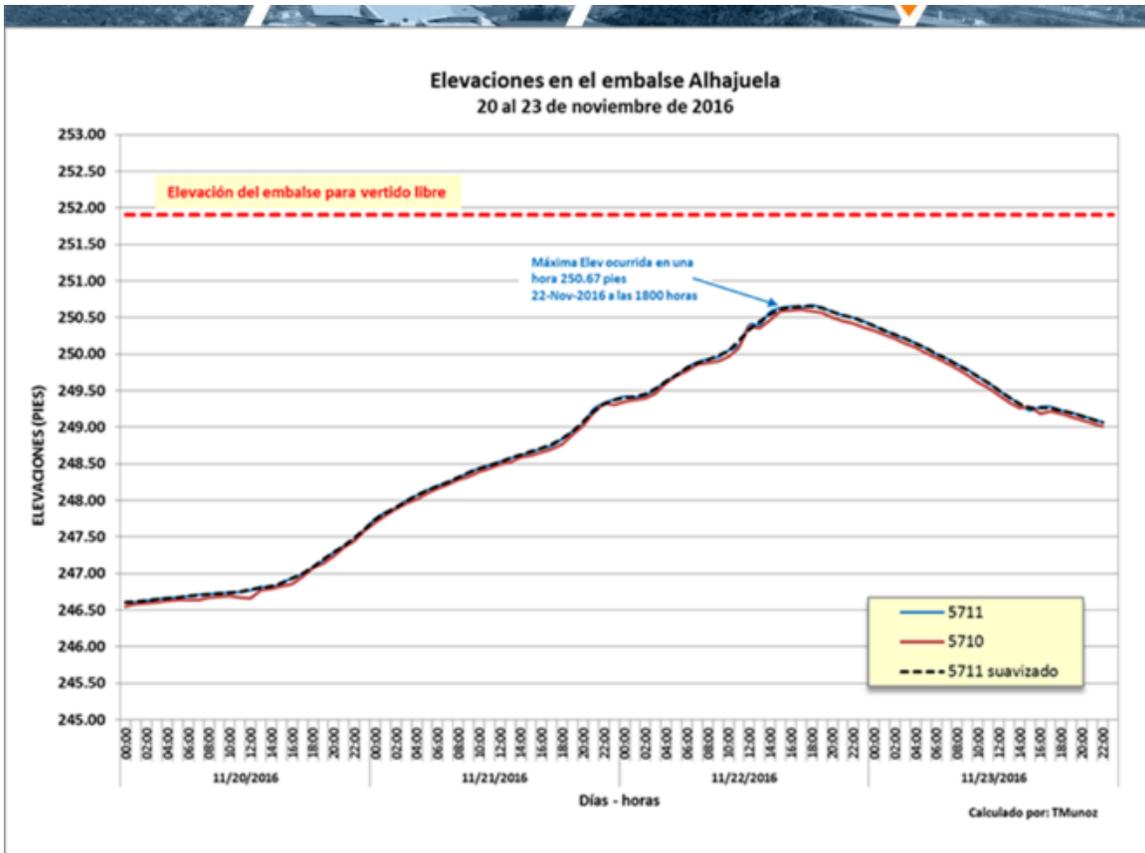


Cuenca del Canal de Panamá Aportes netos vs Vertidos diarios Noviembre 2016



FDP LOG PEARSON TIPO III Aportes máximos en 24 hrs continuas (1906-2016)



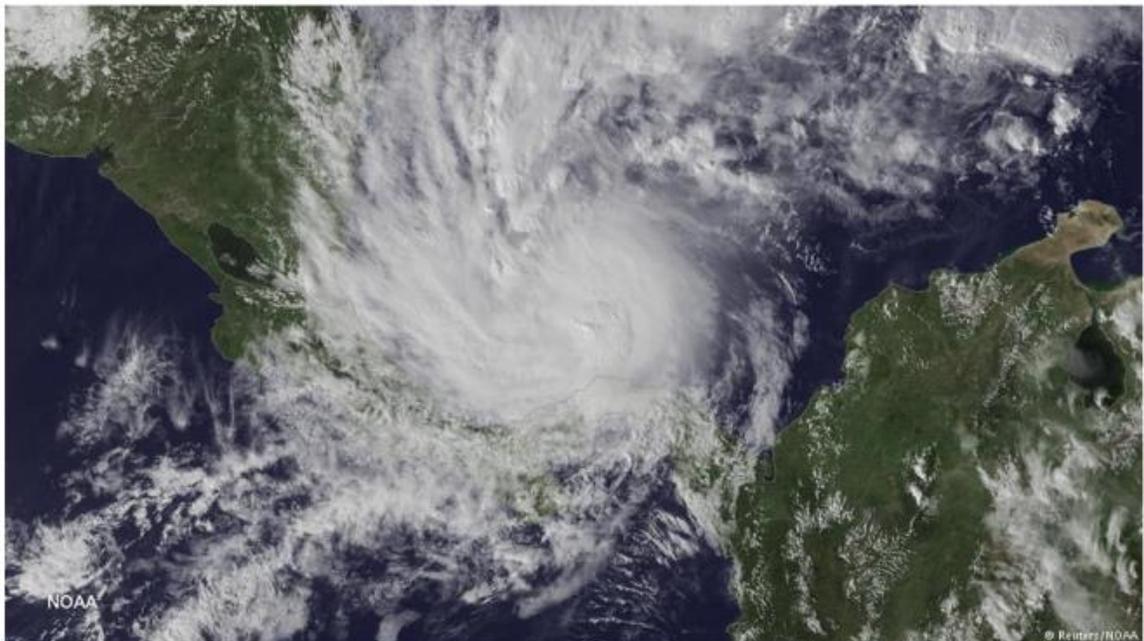




Vertidos



¿Qué nos depara el futuro?





CANAL DE PANAMÁ