

Informe sobre la Sequía de 2014-2016 en Puerto Rico



División Monitoreo del Plan de Aguas

DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y AMBIENTALES
ESTADO LIBRE ASCIADO DE PUERTO RICO



Para citar este documento: DRNA, 2016. Informe sobre la sequía 2014-16 en Puerto Rico, División Monitoreo del Plan de Aguas, San Juan, Puerto Rico.

A decorative graphic element consisting of a blue and yellow gradient shape, resembling a stylized water drop or a wave, positioned to the left of the text.

LA ELABORACIÓN DE ESTE DOCUMENTO FUE
SUBVENCIONADA POR EL FONDO ESPECIAL
DE AGUA QUE CREA LA LEY DE AGUAS DE
PUERTO RICO (LEY NÚM. 136 DE
3/JUNIO/1976, S.E.).

Fotos de portada:

Superior: Casa en embalse Carraízo, al 24 de agosto de 2015, Foto DMPA-DRNA

Inferior: Embalse La Plata, 26 de agosto de 2015, Foto DMPA- DRNA

SIGLAS

AAA: Autoridad de Acueductos y Alcantarillados

AEE: Autoridad de Energía Eléctrica

AEMEAD: Agencia Estatal para el Manejo y Administración de Desastres

CBPR: Cuerpo de Bomberos de Puerto Rico

CC: Comité Científico

CE: Comité Ejecutivo

DA: Departamento de Agricultura

DRNA: Departamento de Recursos Naturales y Ambientales

NOAA: National Oceanographic and Atmospheric Administration

NRCS: Natural Resources Conservation Service

SNM: Servicio Nacional de Meteorología

UPR: Universidad de Puerto Rico

USDA: United States Department of Agriculture

USDM: United States Drought Monitor

USFS: United States Forest Service

USGS: United States Geological Survey

ESTADO LIBRE ASOCIADO DE PUERTO RICO
DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y AMBIETALES
SECRETARÍA AUXILIAR DE PLANIFICACIÓN INTEGRAL
DIVISIÓN DE MONITOREO DEL PLAN DE AGUAS
DICIEMBRE 2016

Honorable Nelson J. Santiago Marrero
Secretario

Vicente Quevedo Bonilla
Secretario Auxiliar
Secretaría Auxiliar de Planificación Integral

Marianela Torres Rodríguez
Directora
División de Monitoreo del Plan de Aguas

Elaboración del Documento

Sofía Burgos Caraballo
Karleen Wagner Vega
Leonela P. Torrado González
Marianela Torres Rodríguez

Revisión

Félix I. Aponte González

Edición

Marianela Torres Rodríguez

Colaboradora Externo

Odalys Martínez Sánchez

Fotos

Francisco A. Catalá Miguez
Aurielee Díaz Conde
Jessica Claire Chapell
Marinelly Valentín Sívico
Gaspar Pons Cintrón

JOBANEER

Mapas

Sofía Burgos Caraballo

SNM

Eric Harmsen

COMITÉ CIENTÍFICO DE SEQUÍA

DRNA
 Félix I. Aponte González, Ph. D., PPL
 Marianela Torres Rodríguez, M.S., M.P., PPL
 Félix I. Aponte Ortiz, MP, PPL
 Sofía Burgos Caraballo, Ph. D.
 Leonela P. Torrado González, BSCE, M.P, PPL
 Karleen Wagner Vega, MS

AEMEAD: Israel Matos, M.S.

Departamento de Agricultura: Carlos Aponte Rivera, BS

UPR Recinto Ciencias Médicas: Pablo Méndez Lázaro, Ph. D.

UPR Recinto Carolina: Rafael Méndez Tejeda, Ph. D.

UPR Recinto Mayagüez: Eric Harmsen, Ph. D.

UPR/SEA Recinto Mayagüez Franklin Román Rodríguez

US Forest Service: Ariel Lugo, Ph D

NOAA/NWS: Odalys Martínez Sánchez, MS

AAA: Rubén A. Vega Hernández, PE, MBA

USGS
 Carlos Figueroa Álamo, BS
 José M. Rodríguez Maldonado, BSCE, PE

AEE
 Hernán Más Carrero, PE

COSUAM:
 Ángel R. Torres Valcárcel, Ph. D.
 Almícar Vélez, Ph. D.

Interés público: Pedro L. Díaz, BS

USDA/NRCS
 Manuel Ríos



TABLA DE CONTENIDO

Introducción	1
La sequía y sus manifestaciones	1
La sequía en Puerto Rico	3
Manifestaciones de la sequía.....	4
Logros.....	65
Orden Ejecutiva	66
Primera Conferencia de Sequía.....	67
Protocolo para el Manejo de la Sequía en Puerto Rico	68
Mecanismos de compilación y transferencia de información	69
Herramienta de Monitoreo de Aguas Superficiales en Cuencas Principales de Puerto Rico	69
Herramienta de Monitoreo de los embalses.....	70
Monitoreo de los acuíferos	71
Caracterización de las Condiciones de Sequía en las Reservas y Refugios	74
Siembra de nubes	76
Lecciones aprendidas y recomendaciones	78
Recomendaciones:	78
Recomendaciones operacionales:.....	78
Recomendaciones normativas:	79
Otras recomendaciones.....	80
Conclusiones	80
Referencias.....	81
Anejo I: Galería de fotos	82

INTRODUCCIÓN

Puerto Rico, al igual que otras naciones y territorios del mundo, se ha visto afectado por el impacto de uno de los eventos climatológicos más complejos y severos a los cuales nos enfrentamos como sociedad: la sequía. Cuando la lluvia típica del mes de mayo no llega, existe una alta posibilidad de que la cantidad de lluvia que normalmente cae en los próximos meses sea reducida y comiencen las manifestaciones de la sequía.

Desde fines de noviembre de 2013, se observan condiciones atípicamente secas, particularmente para la región sur del país. Para la primavera-verano de 2014 la sequía se experimentaba en la zona central de la isla y en los municipios de la costa norte centro-oeste y continuó agudizándose. Durante el 2015, las condiciones se intensificaron en la mitad este de país, mientras que los municipios de la costa norte centro-oeste experimentaron un aumento marcado en la cantidad de lluvia. Para enero 2016 se continuaban observando condiciones de sequía extrema en la región sur de Puerto Rico, así como un 59% del país presentaba condiciones de sequía. En el mes de octubre de 2016, aun cuando el área afectada por sequía se redujo considerablemente, estas condiciones persistían en un 12.10% de la isla.

De acuerdo a los modelos globales de cambio climático, se espera que la temperatura superficial promedio del Planeta aumentará entre 1°C a 4°C, generando variaciones y alteraciones a los patrones climáticos globales y regionales (IPCC, 2014). También se espera que las sequías sean eventos que aumentarán en su frecuencia e intensidad. Teniendo esto en cuenta, resulta altamente indispensable tener un documento que resuma las experiencias vividas durante la sequía de 2014 a 2016, para lograr un manejo eficiente de las fuentes de abasto de agua para generaciones presentes y futuras.

En este informe se presentan las definiciones de lo que es la sequía, las diferentes manifestaciones de la sequía, un recuento de los eventos más importantes que ocurrieron durante la sequía de 2014-2016 y los logros alcanzados. Se finaliza con las lecciones aprendidas durante esta experiencia y se presentan recomendaciones para futuros eventos.

LA SEQUÍA Y SUS MANIFESTACIONES

Se define **sequía** como una anomalía temporal de precipitación o caudal natural, en la que la escasez de lluvia se prolonga de tal forma que ocasiona un desbalance hidrológico serio. Puede producir, o no, una situación de interrupción del servicio normal de agua potable, pérdida de cosechas e impactos a la fauna y flora. La seriedad de la sequía depende del grado de deficiencia en la humedad, su duración y la extensión territorial del área afectada (Colón, 2009).

Las sequías se manifiestan de distintas formas a través de la Isla, afectando unas regiones, mientras que otras se mantienen bajo condiciones húmedas o normales. De todas las regiones de la Isla, el sector costanero sur es el más vulnerable debido a su

bajo régimen de lluvia y reservas de agua limitadas (Colón, 2009). Se reconocen varios tipos de sequía, entre estas resaltan la **meteorológica**, la **agrícola**, y la **hidrológica**.

Según la Organización Mundial de Meteorología, la **sequía meteorológica** se define a partir de un umbral de déficit de precipitación que se alcanza durante un período de tiempo previamente determinado. El umbral escogido y el período de duración variarán según el lugar y en función de las necesidades de los usuarios y de sus actividades. Por lo tanto, es un fenómeno natural que responde a diversas causas según la región (OMM, 2006).

La OMM define a la **sequía agrícola** de la siguiente manera:

“se define habitualmente en términos de disponibilidad de agua en los suelos para el sostenimiento de los cultivos y para el crecimiento de las especies forrajeras y, menos habitualmente, como una desviación de los regímenes de precipitación normales durante cierto período de tiempo. No hay una relación directa entre la precipitación y la infiltración de la precipitación en los suelos. Las tasas de infiltración varían en función de los niveles de humedad preexistentes, de la pendiente, del tipo de suelo y de la intensidad de precipitación. Las características de los suelos difieren también ya que algunos suelos tienen gran capacidad de retención de agua y otros no. Estos últimos son más propensos a las sequías agrícolas” (OMM, 2006).

La Asociación Iberoamericana de Organismos Gubernamentales de Defensa y Protección Civil define **sequía hidrológica** como:

“Un periodo de tiempo anormalmente seco, lo bastante prolongado para dar lugar a una escasez de agua, que se refleja en la disminución, inferior a lo normal, de los niveles de escorrentía y los lagos, y/o en la poca humedad del suelo y en el descenso de los niveles de agua subterránea.”

Esta situación afecta el suministro de agua potable. La frecuencia y severidad de la sequía hidrológica usualmente se define a escala de cuenca (NWS, 2014).

La sequía socioeconómica se define como una *“afección de la escases de agua a las personas y a la actividad económica como consecuencia de la sequía”* (Valiente, 2001). Esta se puede manifestar, sin que ocurra una restricción en el suministro de agua. Solo hace falta que algún sector económico se vea afectado por la escases hídrica con consecuencias económicas desfavorables. La creciente presión de la actividad humana sobre el recurso agua hace que cada vez sea mayor la incidencia de la sequía socioeconómica, con aumentos en las pérdidas económicas.

LA SEQUÍA EN PUERTO RICO

La extensiva y sostenida reducción en la lluvia promedio observada entre fines del 2013 hasta principios de 2016 en Puerto Rico afectó la condición de los sistemas hidrográficos e hidrogeológicos, la actividad agrícola, la biodiversidad terrestre y acuática, así como la continuidad de operaciones en la sociedad (uso doméstico, comercial, agrícola e industrial). Esto presentó un gran reto para el manejo y atención del evento de sequía por parte de las agencias del Ejecutivo, particularmente para el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA), la Agencia Estatal para el Manejo de Emergencias (AEMEAD), el Departamento de Agricultura (DA) y la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (AAA). A diferencia de otros eventos de sequía ocurridos en Puerto Rico, el DRNA, en colaboración con agencias estatales y municipales, optaron por brindar una respuesta coordinada e integrada al manejo de emergencias y del recurso agua, garantizando la atención de los diversos impactos adversos al país como consecuencia de este evento climatológico.

La sequía comprometió la capacidad de la AAA para proveer el servicio de agua potable para la región metropolitana de San Juan y la mitad este del país. La excesiva extracción de agua en los principales embalses junto con las deficiencias que propicia la pérdida de agua potable (>58% de la producción de agua) acrecentaron el efecto del déficit de precipitación, impulsando la implantación de medidas operacionales remediales para la provisión del servicio durante los meses de mayo a agosto de 2014 y de mayo a octubre de 2015. En la región sur, la sequía agravó las condiciones críticas de sobreexplotación de los acuíferos, obligando a establecer medidas operacionales para la extracción de agua subterránea en Ponce, Santa Isabel y Salinas desde julio de 2015. El municipio de Salinas estuvo bajo un racionamiento de oferta de agua por 4 horas al día, de 12:00am a 4:00am, hasta el mes de febrero de 2016. De igual forma, las condiciones de sequía propiciaron el aumento en eventos de incendios forestales en la mayor parte del territorio, afectando la seguridad pública de la población, nuestros bosques, áreas agrícolas, así como ecosistemas de humedales y pastos. La labor del Cuerpo de Bomberos (CBPR), así como del equipo de bomberos forestales del DRNA, lograron atender y controlar estos eventos a lo largo y ancho del país.

Las precarias condiciones fiscales y económicas de la isla presentaron otro enorme reto para la atención y manejo de la sequía. Las alternativas disponibles para brindar apoyo económico ante las cuantiosas pérdidas en los distintos sectores afectados (residencial, comercial, institucional, agrícola y ecológico) se veían limitadas por la presente situación fiscal que sufre actualmente la isla, especialmente el gobierno central. Otro de los grandes retos que enfrentó el gobierno fue atender el comienzo de clases en el sistema de educación pública durante el mes de agosto del 2015 bajo medidas de racionamiento de agua potable en los municipios de la mitad este del país, incluyendo la zona metropolitana de San Juan. Las coordinaciones realizadas entre el Comité Ejecutivo de Sequía y el Secretario del Departamento de Educación incluyeron ajustes en el horario de clases, provisión de agua embotellada para las labores y servicios de los comedores escolares, provisión de cisternas para uso de los baños, así como la provisión diaria de agua embotellada a los estudiantes durante el transcurso de la implantación de las medidas operacionales de racionamiento del servicio de agua potable por parte de AAA.

Documentar el impacto fiscal de una sequía es un proceso complejo por la diversidad de manifestaciones que tiene el evento climático en una sociedad. Puerto Rico no es la excepción. La Junta de Planificación está trabajando con un informe que permite precisar los costos económicos atribuidos al evento de sequía sufrido en Puerto Rico durante el periodo de 2014- 2016.

La respuesta gubernamental para enfrentar la sequía presentó además la búsqueda e implantación de alternativas que permitieran aumentar la oferta de agua potable a los abonados de la AAA y para la población durante el periodo más intenso de sequía, en los meses de mayo a octubre de 2015. Algunas de las acciones realizadas durante el 2015 por las agencias que componen el Comité Ejecutivo de Sequía fueron: la reducción de presiones en el bombeo y en los sistemas de distribución de agua potable, remoción de sedimentos en las orillas de los embalses La Plata, Cidra y Loíza, medidas de controles operacionales (racionamiento de agua potable), establecimiento de oasis en las áreas afectadas por el racionamiento de agua potable, la activación de pozos inactivos y la implantación de un proyecto piloto de siembra de nubes. Algunos de estos mecanismos lograron ser efectivos en minimizar el impacto negativo hacia la población y a los recursos naturales, tales como la reducción de presiones y la activación de pozos inactivos. Otro mecanismo, como la siembra de nubes para aumentar la lluvia más allá de su variabilidad natural, no logró evidenciar su efectividad ni su aplicación en reducir los impactos adversos resultado de la sequía.

El Centro de Operaciones de Emergencia adscrito a la Agencia Estatal para el Manejo de Emergencias (AEMEAD) estuvo operando por 160 días consecutivos con los Coordinadores Interagenciales básicos o sus representantes hasta que el nivel de agua en los embalses subió a nivel satisfactorio y se terminó el racionamiento. El Subcomité Científico de Sequía (CC), compuesto por personal de diferentes agencias y corporaciones (DRNA, AEMEAD, AAA, DA, AEE, CBPR) así como agencias federales (NOAA-SNM, USGS, USFS, NRCS-USDA), la Universidad de Puerto Rico recintos de Carolina, Ciencias Médicas y Mayagüez, y ciudadanos expertos en temas de agua y climatología cumplieron con su labor de asesorar al gobierno en la toma de decisiones.

El Subcomité Científico (CC) se reunió semanalmente durante los meses de abril a noviembre de 2015 para llevar a cabo los análisis pertinentes y someter un informe con los resultados de dichos análisis, así como recomendaciones de acción al Comité Ejecutivo (CE). El CC se mantuvo activo durante el 2016, evaluando y monitoreando las condiciones de sequía, proveyendo información y recomendaciones al CE de Sequía (AAA, AEMEAD, DRNA, DA, AEE, CBPR). A continuación, se presenta un resumen de los eventos más importantes.

MANIFESTACIONES DE LA SEQUÍA

A continuación, se describen, en forma sucinta, las manifestaciones de la sequía registradas para Puerto Rico durante los años 2014 al 2016. La mayor parte de la información presentada fue compilada durante las reuniones realizadas por el CC durante este periodo. Se agregó otra información de relevancia que eventualmente fue solicitada a otras agencias.



2014

Embalse La Plata
2 de julio 2014

LLUVIA REGISTRADA DURANTE EL 2014

A diciembre de 2014, el año culminó con una cantidad baja de lluvia observada en la mayor parte de la isla, con parchos de mayor cantidad de lluvia concentrados en los municipios del norte y los del oeste interior y sur oeste (Ilustración 1-A). En la Ilustración 1-B desviación de lo normal, si se traza una línea diagonal desde Rincón a Guayama, se esperaba una mayor cantidad de lluvia hacia el norte de esta línea, de 2 hasta un máximo de 20 pulgadas en la región del Yunque. En términos de déficit de lluvia, aun cuando se reportó un déficit de lluvia para casi toda la isla, excepto el oeste interior, de entre 0.5 a 4 pulgadas, en otros municipios se reportó hasta un máximo de 8 pulgadas de lluvia (Ilustración 1-C). Estos municipios fueron Arecibo, Barceloneta, Florida, Corozal, Barranquitas, Naranjito, Río Grande, Caguas, Naguabo, San Lorenzo, Humacao, Las Piedras, y Yabucoa.

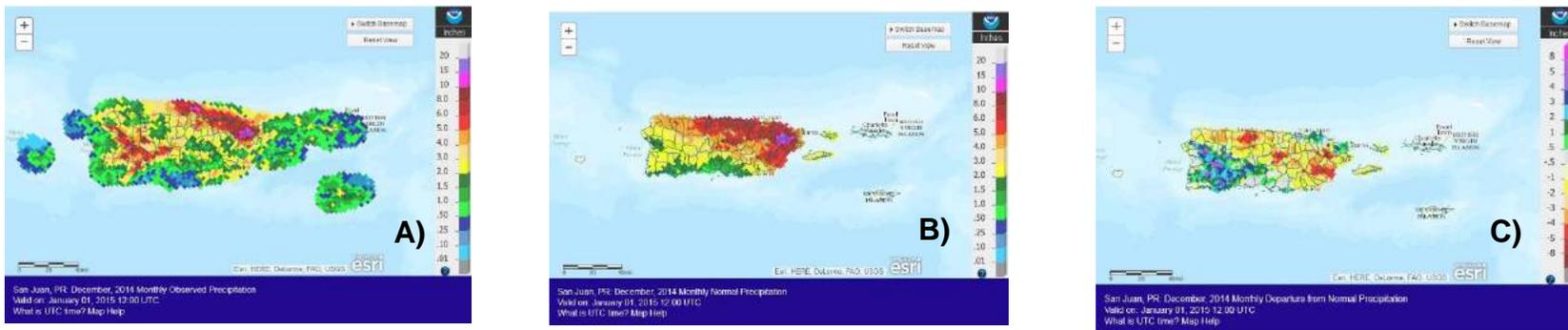


Ilustración 1. Estimados de lluvia para diciembre de 2014, A) lluvia observada a diciembre de 2014; B) lluvia normal mensual para diciembre de 2014; C) desviación de lo normal (*departure from normal*) de lluvia mensual para diciembre de 2014. Información obtenida de <http://water.weather.gov> utilizando la herramienta de AHPS Precipitation Analysis.

PRONÓSTICO ESTADÍSTICO DE LLUVIA PARA LA REGIÓN DEL CARIBE (2014)

El pronóstico estadístico de lluvia para la región del Caribe fue de condiciones de lluvia bajo lo normal para el 2014 (Ilustración 2). En el área de Puerto Rico, se esperaban condiciones de lluvia bajo lo normal (color crema) para los meses de mayo hasta octubre, con una probabilidad que fluctuaba entre un 25% para condiciones sobre lo normal a un 40% para condiciones bajo lo normal (Ilustración 2, A y B). Ya para los meses de noviembre, diciembre y enero de 2014 (Ilustración 2-C), las condiciones de lluvia esperadas tenían la misma probabilidad.

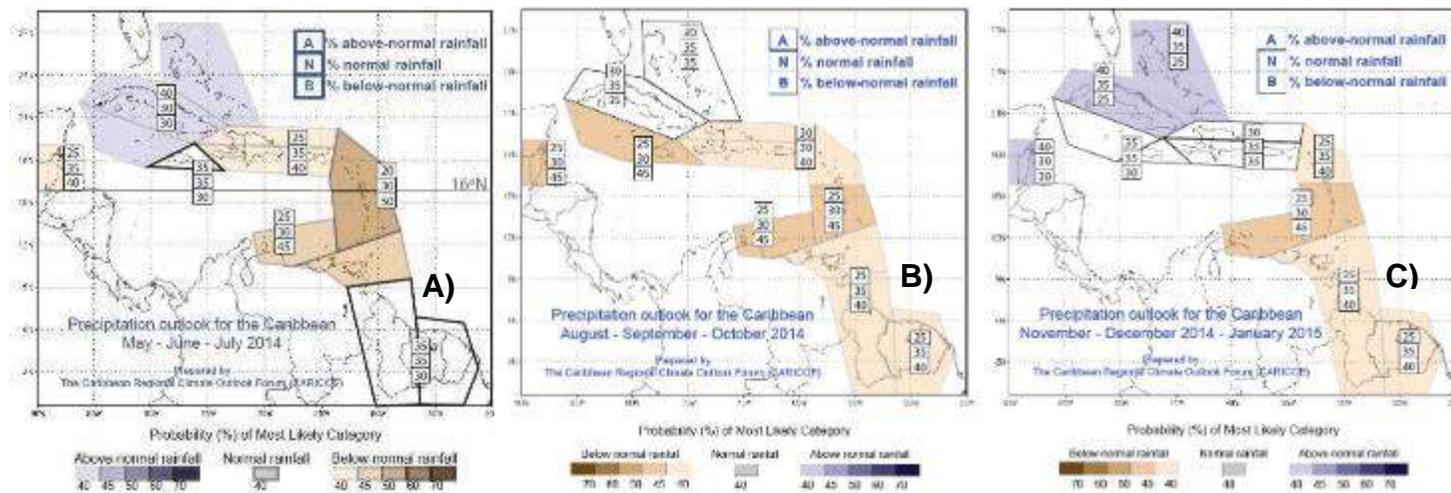


Ilustración 2. Pronóstico estadístico para la región del caribe (2014) por periodos, A) mayo, junio y julio; B) agosto, septiembre y octubre, y C) noviembre, diciembre y enero de 2015. Pronósticos realizados por Caribbean Regional Climate Outlook Forum. Pronósticos realizados por Caribbean Regional Climate Outlook Forum.

MONITOR DE SEQUÍA EN EL 2014

Para el 2014, la parte sur de Puerto Rico estaba afectada por sequía atípica (color amarillo), con 18 municipios afectados. Ya para el 29 de julio de 2014, mes de agosto se intensificó la sequía a través de todo Puerto Rico, solo 41.02 % de la Isla no estaba afectado por sequía. Para esta fecha, un 17.74% llegó a condición de sequía moderada (color crema), incluyendo municipios del sur y la parte baja de la cuenca del embalse Loíza. A la fecha del 7 de octubre de 2014, la sequía moderada sólo afectaba a los municipios de Salinas y Guayama. Ya para diciembre de 2014 se reduce el área bajo sequía, pero Salinas y Guayama se mantenían bajo sequía atípica, el resto de la Isla no estaba bajo ninguna categoría de sequía (Ilustración 3). La tabla 1 presenta los porcentajes de cobertura por cada categoría de sequía. Información obtenida del USDM (<http://droughtmonitor.unl.edu>).

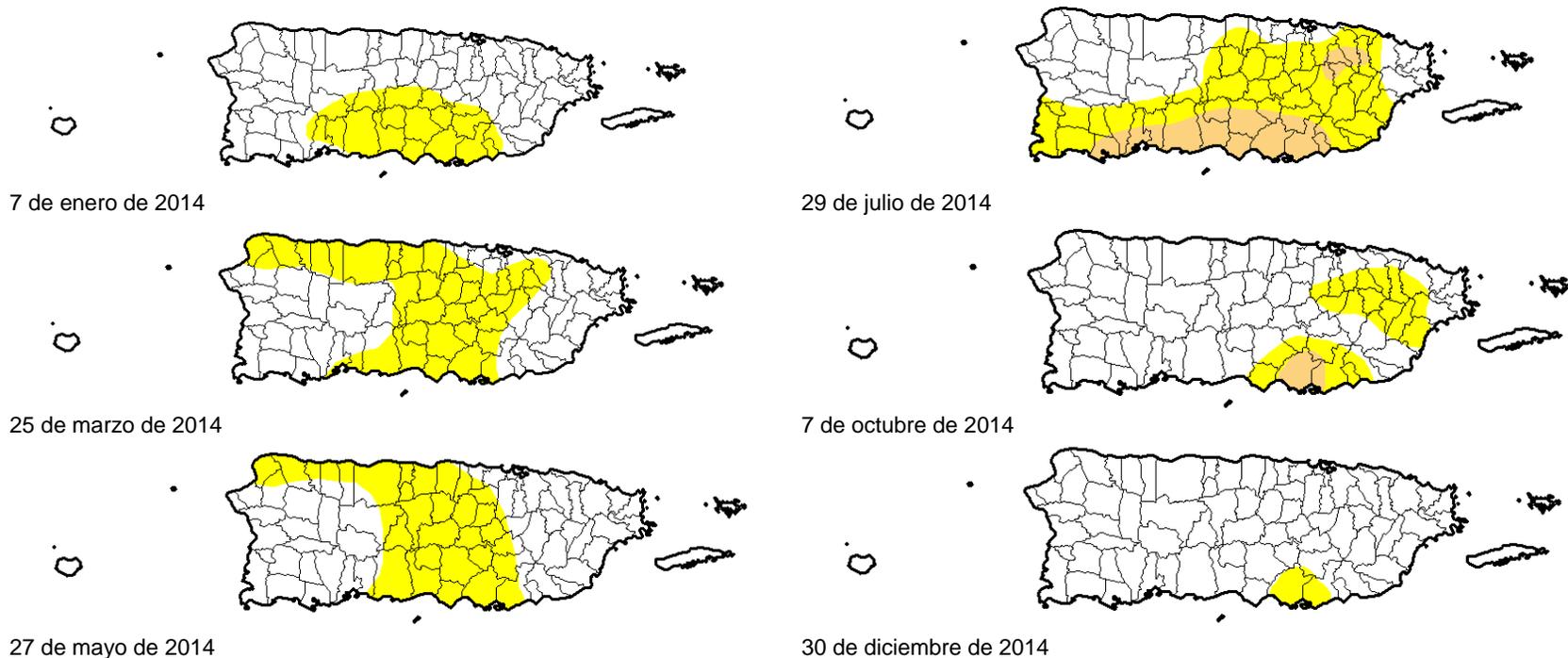


Ilustración 3. Áreas afectadas por sequía para el 2014 para los diferentes meses. Solo se presentan los meses donde hubo cambio significativo en la cobertura, según fue identificado por el USDM.

Tabla 1. Semanas ilustradas en los mapas de la Ilustración 3 y los porcentajes de las áreas afectadas por cada categoría de sequía. D0- sequía atípica, D1-sequía moderada, D2- sequía severa, D3-extrema y D4- sequía excepcional.

Semana	Ninguno	D0	D1	D2	D3	D4
7 de enero de 2014	74.81	25.19	0	0	0	0
25 de marzo de 2014	54.97	45.03	0	0	0	0
27 de mayo de 2014	60.39	39.61	0	0	0	0
29 de julio de 2014	41.02	41.24	17.74	0	0	0
7 de octubre de 2014	81.07	16.31	2.62	0	0	0
30 de diciembre de 2014	96.84	3.16	0	0	0	0

EMBALSES

Al comparar el evento de sequía del 2014 con años previos podemos observar que la reducción en el nivel para los embalses La Plata y Loíza (Carraízo) no fue tan intensa ni similar a lo reportado en años anteriores (Ilustración 4 A y B). En La Plata, la reducción en el nivel comenzó a partir del mes de mayo, y mantuvo una tendencia similar a la observada en el 1994, pero la intensidad de la reducción fue menor. Ya para finales de agosto el nivel se restableció. Los embalses Cerrillos y Toa Vaca (Ilustración 4 C y D) se mantuvieron bajo observación durante el 2014 debido a la reducción drástica a causa de las extracciones que realizaba la AAA para su operación. El nivel de Cerrillos llegó a 528.98 pies en los meses de julio y agosto, muy cercano a los 528.0 pies (nivel de conservación biológica establecido). Luego del mes de agosto, el nivel comenzó a subir y mantuvo este patrón de aumento hasta final de 2014. En el embalse Toa Vaca también se observó un aumento en el nivel para el mes de agosto con un patrón de aumento hasta diciembre de 2014.

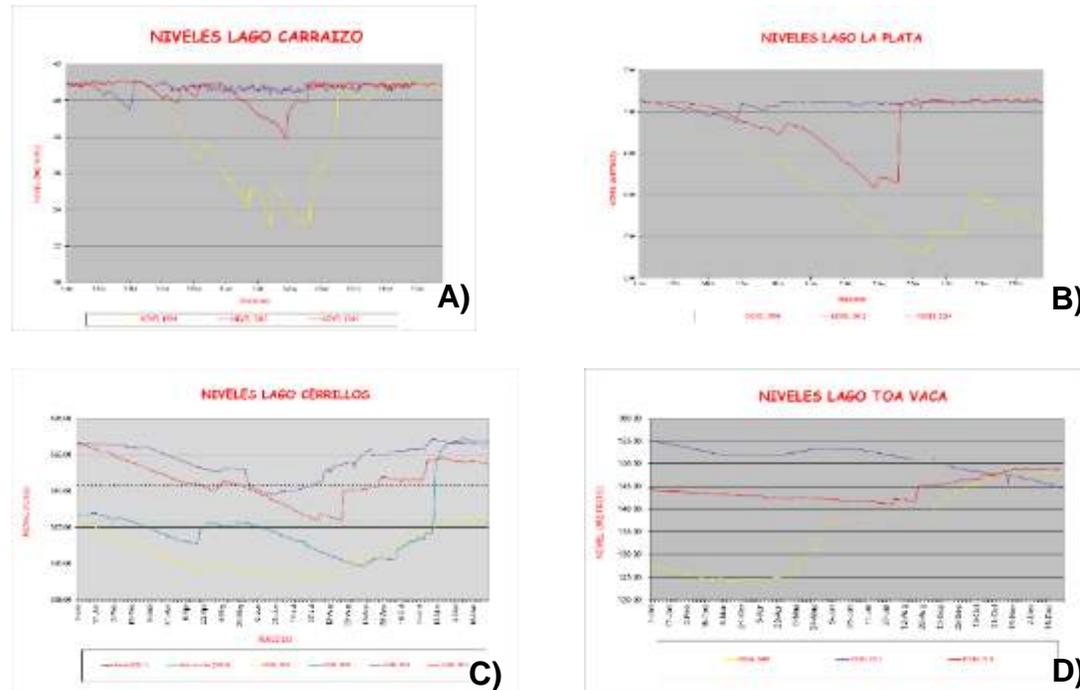


Ilustración 4. Comparación de los niveles de los embalses para el año de 2014 a) Loíza, B) La Plata, C) Cerrillos y D) Toa Vaca. Fuente: Centro de Información de Emergencias, AAA.

EFFECTOS DE LA SEQUÍA EN EL EMBALSE CERRILLOS DURANTE EL 2014

Condiciones del Embalse Cerrillos observadas el 8 de Julio de 2014.

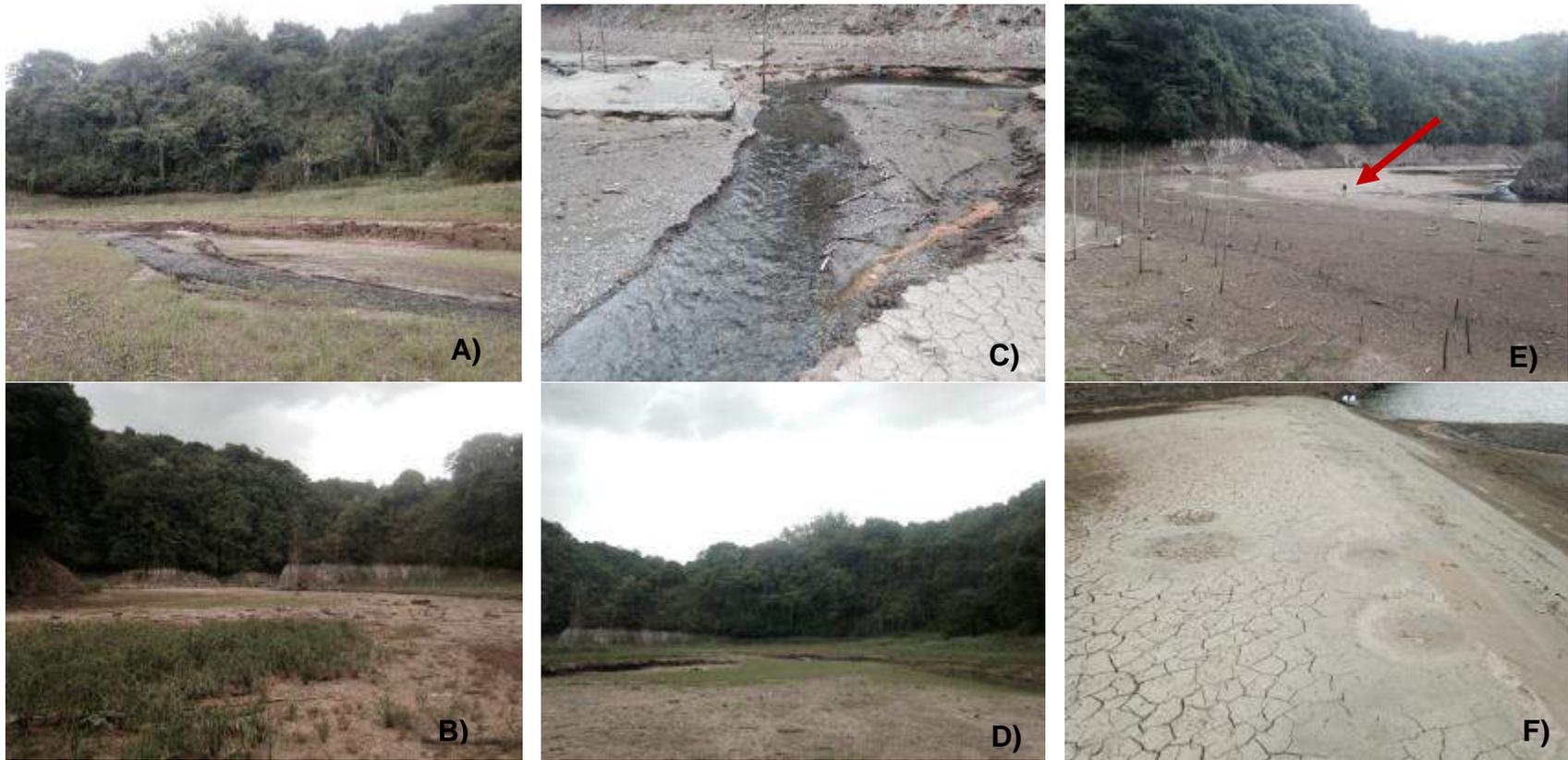


Ilustración 5. (A y B) Río Cerrillos entrando al embalse con poco caudal, (C) banco expuesto por merma en el nivel de agua, (D) bancos expuestos por merma en el nivel de agua en el embalse, (E) línea de orilla retraída debido a la merma en el nivel de agua. La flecha señala al asistente del oficial de manejo resaltando la magnitud del evento (F) Nidos de lobinas expuestos debido a la merma en el nivel de agua.

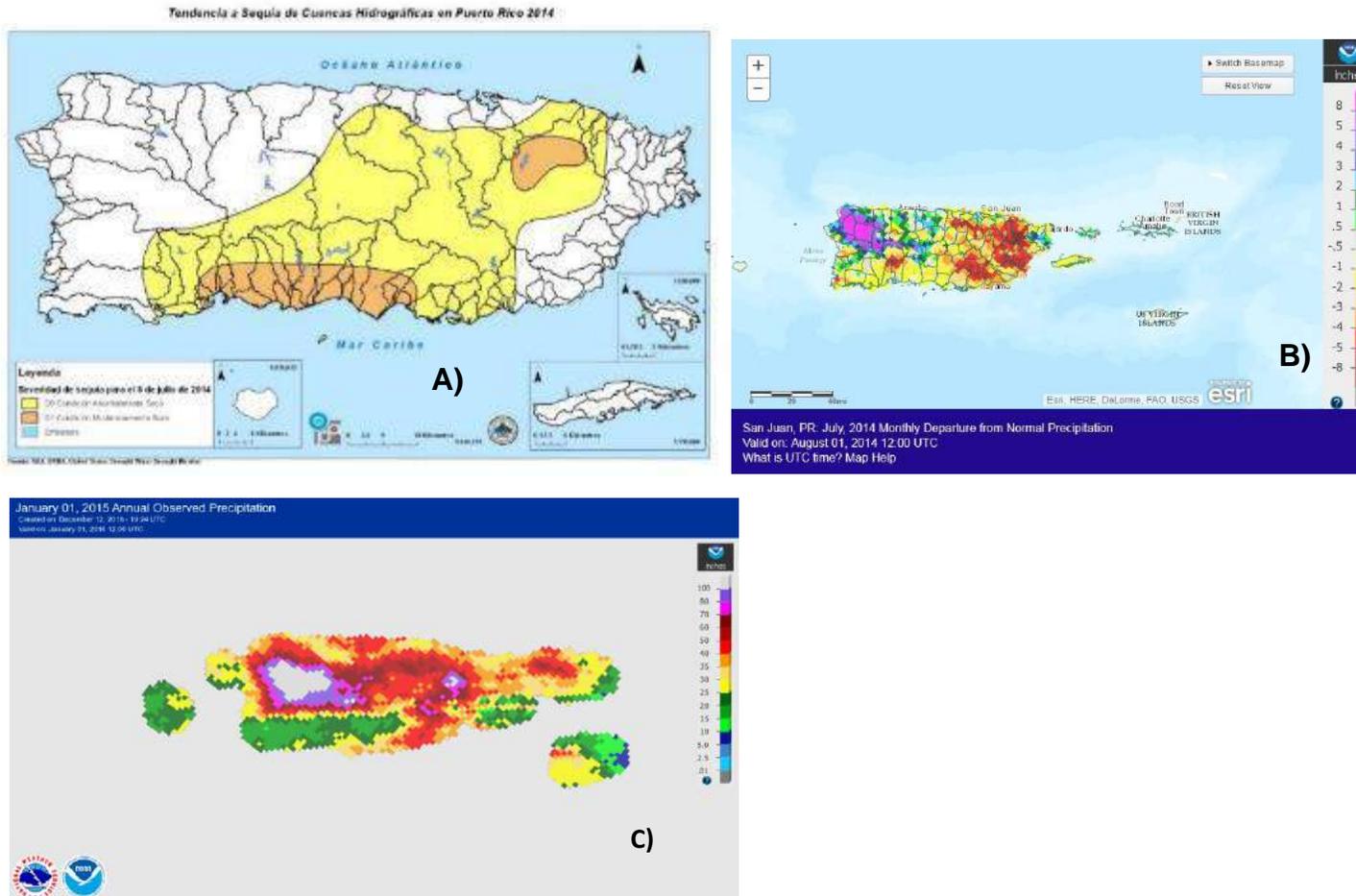


Ilustración 6. A) De acuerdo al Monitor de Sequía de los Estados Unidos, las condiciones de la cuenca del Río Cerrillos eran anormalmente seco en la parte alta y media de la cuenca, donde ubica el embalse Cerrillos, y sequía moderada en la parte baja de la cuenca. B) Según la Ilustración de desviación de lo normal (*departure from Normal*), para el mes de julio de 2014, el déficit de lluvia era evidente, de 2 a 3 pulgadas de lluvia. C) Cantidad de lluvia observada (acumulada) durante el 2014. Información obtenida de Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA, por sus siglas en inglés).

La Ilustración 7 muestra como fluctuaron los niveles de agua acumulados en el embalse durante los años 1994 y 2014, de acuerdo a los datos registrados por las estaciones de niveles de flujo que opera el USGS. En el 1994 el nivel de agua en el embalse bajó hasta un máximo de 529.21 pies durante el mes de enero. Sin embargo, se resalta que durante este periodo el embalse se encontraba en fase de llenado para posterior servicio. En el 2014, los niveles más bajos se reportaron para el 21 de agosto, que llegaron a 529.04 pies, un nivel muy cercano a lo que se ha identificado como nivel crítico para la biota acuática (528 pies). Las lluvias que ocurrieron durante el mes de agosto causaron que el nivel aumentará a 544 pies, muy cercano a lo identificado como el fondo de nivel de rampa. Eventos de lluvia posteriores no causaron que el embalse llegara a nivel de operación normal.

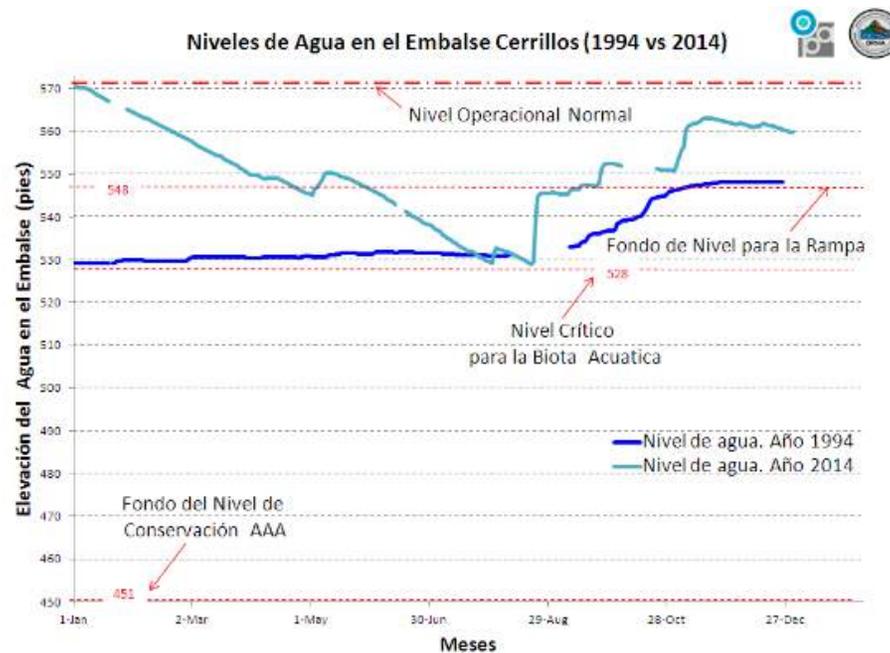


Ilustración 7. Comparación en los niveles de agua en el embalse Cerrillos, entre el 1994 y 2014. Se identifica el nivel de operacional normal o nivel de tope, nivel de la rampa, nivel crítico para la biota y el nivel de conservación de la AAA.

¿POR QUÉ NO FUNCIONÓ LA ELECTROPESCA DURANTE LA SEQUÍA DEL 2014 EN EL EMBALSE CERRILLOS?

La lobina es uno de los peces preferidos por los pescadores deportivos en el embalse Cerrillos. Este embalse se utiliza como semillero de esta especie. Cuando el pez alcanza la longitud de 1 ½ pulgada se transfieren al Vivero de Peces de Maricao del DRNA, para luego “sembrar” lobinas en los otros embalses (ej. Dos Bocas, Caonilla, Carraizo y la Plata) según la necesidad.

La lobina es un pez clasificado como “depredador superior”, es decir que no hay otros peces que se alimenten de él. Las lobinas se alimentan de otros peces y de otros organismos. De esta forma ayudan a mantener el embalse libre de material orgánica que pueda afectar la calidad del agua. Cuando su población aumenta súbitamente, comienza a escasear el alimento debido a la alta demanda de la especie. Eventualmente, las lobinas adultas pierden peso y volumen. En la medida de que las lobinas comienzan a morir, el tejido en descomposición promueve el afloramiento de bacterias, lo que deteriora la calidad de agua del embalse.

Debido a la tendencia en descenso del nivel de agua que ocurría en el embalse Cerrillos, se estableció el trasplantar las lobinas al Embalse Guajataca, como medida de acción para evitar la posible mortandad de peces en el embalse, medida que fue poco efectiva.

La técnica de electropesca se realizó en el mes de julio del 2014, momento en que los niveles del embalse se encontraban muy bajos. Esto complicó el escenario ya que las lobinas, en busca de un mejor hábitat, abandonaron el hábitat que usualmente ocupan en el embalse, la orilla y sus inmediaciones para moverse hacia las aguas más profundas del embalse, áreas donde la técnica de electropesca pierde efectividad. El proceso fue poco eficiente y de bajo rendimiento, ya que lo que usualmente se pesca en un periodo de 2 a 3 horas no se alcanzó con 2 días de esfuerzo.

MORTANDAD DE PECES EN EL EMBALSE LA PLATA

Al 2 de julio de 2014, los bancos e islotes del embalse La Plata estaban expuestos debido al bajo nivel del agua dentro del embalse. Esta reducción causó que las aves, como los pelícanos, ocuparan las islas expuestas.



Ilustración 8. A-C) Orillas expuestas en el embalse La Plata para el 2014.



Ilustración 9. A) El nivel de agua en el embalse era de 44.2 m. B) las instalaciones de pesca, como la plataforma de pesca, y C) al igual que la rampa para embarcaciones de la AAA perdieron su funcionalidad debido a que quedaron lejos de la línea de orilla.

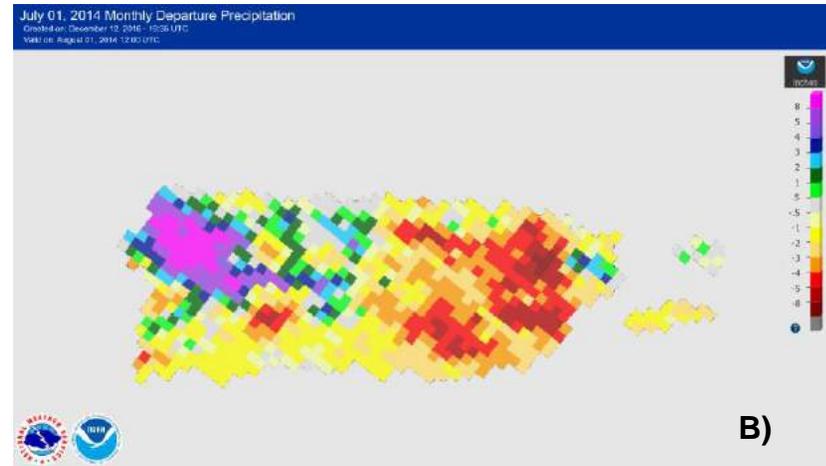


Ilustración 10. A) Los pescadores se ajustaron a las nuevas condiciones del embalse, y B) Para el mes de julio de 2014, de acuerdo a la Ilustración de desviación de lo normal (*departure from normal*) para julio 2014 el déficit de lluvia era evidente, de -3 a-8 pulgadas de lluvia.



Ilustración 11. A) El gobierno comenzó a tomar medidas para la llegada de la tormenta Bertha, B) Con el paso de la tormenta se reportaron hasta 2 pulgadas de lluvia en un solo día, y C) las lluvias resultaron en un aumento en el nivel del embalse de 4 pies.

La Ilustración 12-A muestra como fluctuaron los niveles de agua acumulados en el embalse. En el 1994, el nivel de agua en el embalse bajó hasta un máximo de 119 pies durante el mes de septiembre (línea azul oscuro). En el 2014, los niveles más bajos se reportaron para inicios de agosto (línea azul claro). Las lluvias de agosto causaron que el nivel aumentara al nivel operacional normal en un solo día, lo que causó un cambio drástico en las condiciones fisicoquímicas de la columna de agua (Ilustración 12 B-E), deteriorando la calidad del hábitat que necesitan los peces.

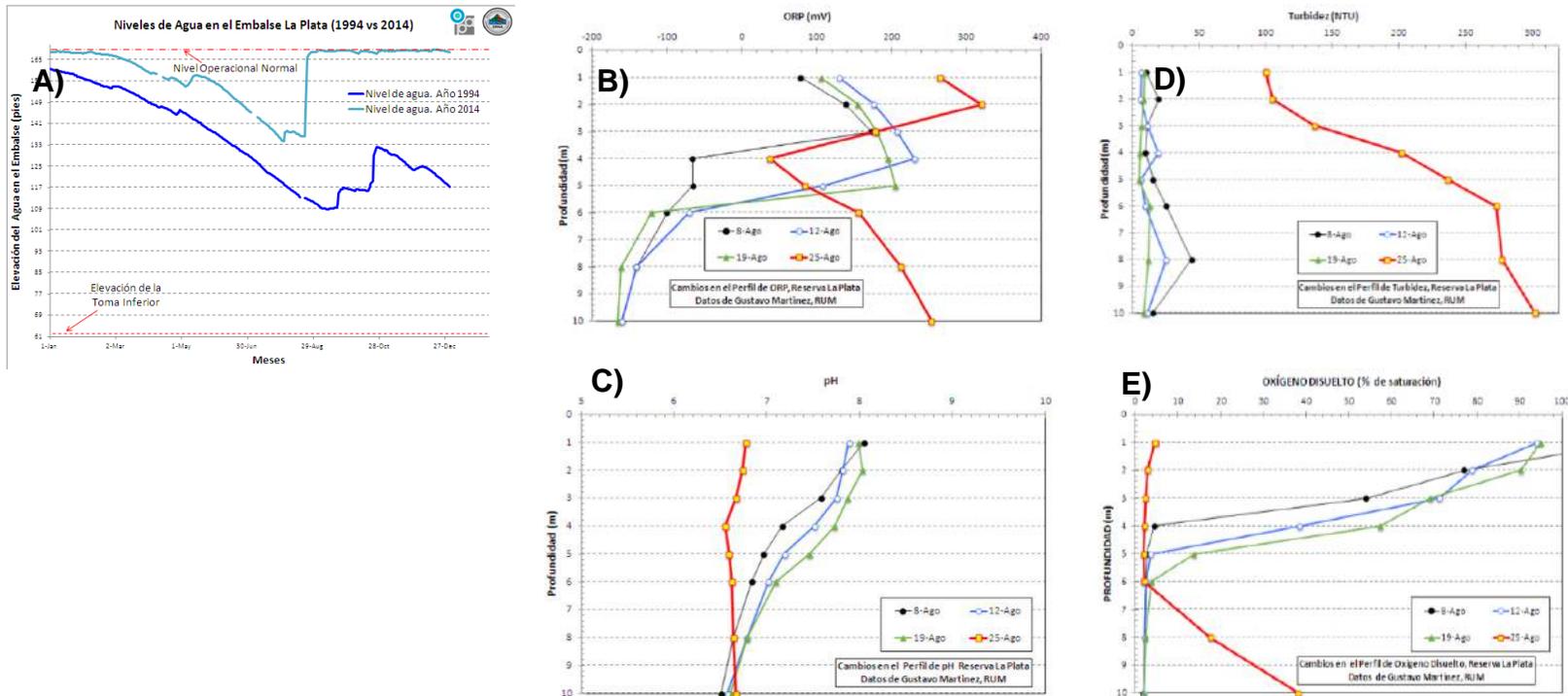


Ilustración 12. A) Fluctuaciones en el nivel del embalse La Plata para el 1994 en comparación con el 2014. B-E) perfiles de parámetros físicos del embalse La Plata.

El embalse La Plata se alimenta principalmente del río La Plata, y de otros dos tributarios: el río Guadiana y el río Cañas. Durante la sequía, el flujo base de estos ríos transportó gran cantidad de sedimentos, los cuales se acumularon en los meandros de estos ríos. Las lluvias acarearon muchos de estos sedimentos hacia el embalse de forma abrupta afectando la calidad del agua, incluyendo aumento en la turbidez del agua (Ilustración 12-D), colocando la fauna en estrés.

La represa del embalse posee seis estructuras de salida de agua. En términos operacionales, cuando ocurre una crecida es necesario abrir las compuertas, para evitar comprometer la estabilidad de la estructura. Cuando se abren las compuertas, se elimina la capa superior de la columna de agua, la cual es rica en oxígeno y se caracteriza por ser altamente productiva y tener alta actividad biológica. Luego de la crecida, esta capa fue remplazada por otra masa de agua, de baja concentración de oxígeno. Esto creó condiciones de alto potencial de oxidación-reducción, alta turbidez, bajo pH y reducidas concentraciones de oxígeno en poco tiempo (Ilustración 12, A- E). La sedimentación fue alta luego de las lluvias. Esta situación colocó a todo el ecosistema en estrés y causó una gran mortandad de peces en el embalse (Ilustración 13: A y B). Los peces que sobrevivieron, como los diablitos rojos (red devils) estaban estresados por la falta de oxígeno (Ilustración 13-C). Se reportó mortandad de especies tales como sardinias, tucunares, barbudos y diablitos. La Oficial de Manejo del Refugio de Vida Silvestre Embalse La Plata, Marinelly Valentín, indicó que cuando la concentración de oxígeno disuelto del agua es menor de 3.5 a 4.0 mg/l los peces no pueden sobrevivir. En el área donde se observó la mortandad masiva de peces la concentración de oxígeno disuelto se redujo hasta 3.41 mg/l. Parte de los peces muertos se recogieron y se utilizaron para implantar un proyecto piloto agroecológico de composta. Las instalaciones para la pesca recreativa en el Embalse La Plata cerró sus puertas al público el 30 de junio de 2015 y entró en operación en 14 de noviembre de 2015.



Ilustración 13. A y B) Aglomerados de peces muertos en el embalse La Plata y C) peces diablitos rojos a nivel de superficie.

HERRAMIENTA DE MONITOREO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

Para el 2014, la Herramienta de Monitoreo de Cuencas Hidrográficas estaba aún en proceso de refinamiento. Las condiciones hidrológicas se evaluaron utilizando la Herramienta del Water Watch del USG para evaluar la tendencia a sequía por cuenca para cada temporada (Ilustración 14 y 15). Se establecieron las siguientes categorías:

Temporada seca (diciembre – abril)

Esta clasificación se trabajó a partir de la temporada seca de diciembre de 2013 a abril de 2014.

- **Temporada seca nivel 1 (TS-1):** Esta categoría incluye cuencas donde el caudal del río principal estudiado refleja una tendencia con caudales por debajo del promedio histórico por un periodo de uno a dos meses.
- **Temporada seca nivel 2 (TS-2):** Esta categoría incluye aquellas cuencas donde el caudal del río principal estudiado, ha estado por debajo del promedio histórico, marcando una tendencia que persiste por un periodo de tres a cuatro meses de la temporada.
- **Temporada seca nivel 3 (TS-3):** Esta categoría incluye aquellas cuencas cuyo caudal en el río principal estudiado ha estado por debajo del promedio histórico por el periodo de los cinco meses que conforman esta temporada.

Temporada de lluvia (mayo – noviembre)

- **Temporada de lluvia nivel 1 (TL-1):** Esta categoría contempla cuencas donde se evidencia que el caudal del río principal estudiado ha estado por debajo del promedio histórico por dos a tres meses.
- **Temporada de lluvia nivel 2 (TL-2):** Esta categoría incluye aquellas cuencas donde el caudal del río principal estudiado ha estado por debajo del promedio histórico por cuatro a cinco meses de la temporada.
- **Temporada de lluvia nivel 3 (TL-3):** Esta categoría incluye aquellas cuencas cuyo caudal en el río principal estudiado ha estado por debajo del promedio histórico por el periodo de entre seis a siete meses.

Cuencas Hidrográficas de Puerto Rico Bajo Condición Anormalmente Seco Durante la Temporada Seca (Diciembre 2013 a Abril 2014)

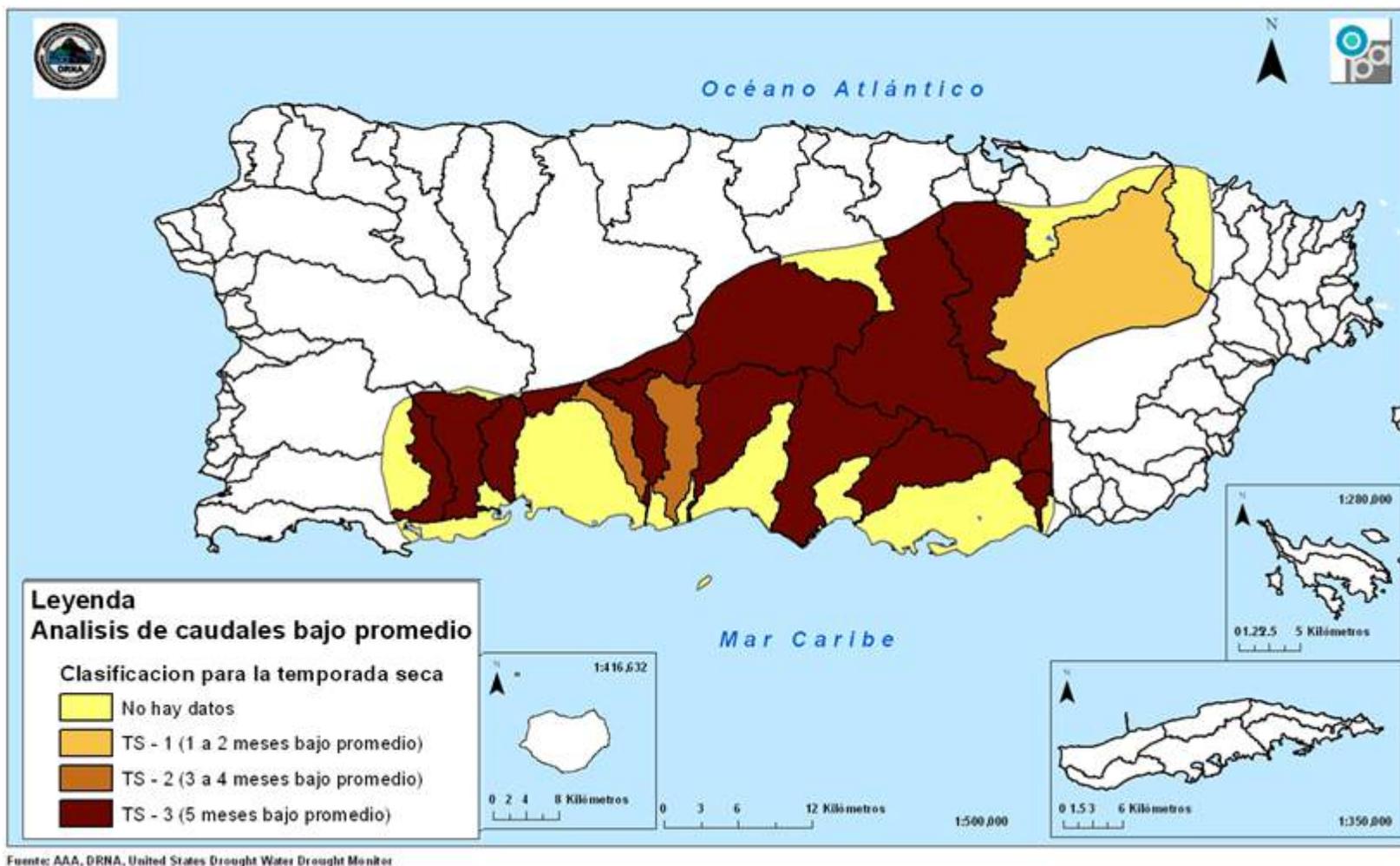


Ilustración 14. Clasificación establecida por cuenca para la temporada seca.

ACUÍFEROS DEL SUR

Para el 2014, aunque se sabía que los acuíferos estaban en niveles bajos, esta información no se presentó en las reuniones del Comité Científico de Sequía hasta el 2015.

AGRICULTURA

Al 22 de julio de 2014, la secretaria del Departamento de Agricultura, Myrna Comas, estimó en 20 millones de dólares el impacto de la sequía en Puerto Rico. Estimó que el impacto sería mayor en la industria del café. Se reportó un contraste marcado entre la cantidad de fincas que operaban en el 1994 (30 mil fincas) en comparación con el 2014 (13,159 fincas)¹. También se firmó la Orden Administrativa 2014-07, la cual destinó \$170,000 para el reembolso del 50% de alimento concentrado para ganado de res, vaquerías y pequeños rumiantes². De todos los sectores agrícolas, los más afectados fueron las empresas de ganado vacuno, cabros y ovejas. Por otro lado, se mantenía una vigilancia en la zona montañosa ante posibles impactos en la industria de café, plátanos y guineos debido a la falta de sistema de riego³.

¹ Secretaria de Agricultura estima en \$20 millones impacto sequía, Noticel 29/07/2014.

² Para un futuro ganadero más inmune a la sequía. por Georges Félix 18 de julio de 2014 Revista 80 Grados, prensa sin prisa.

³ Secretaria de Agricultura recibe informes de impacto por sequía. Diario de Puerto Rico. 24 de agosto de 2014.

INCENDIOS FORESTALES

Muchos de los incendios que ocurrieron en este periodo fueron en fincas privadas reportandose 3,059 incendios, mayormente de pasto que se utiliza para alimentar el ganado. Según indicó el Jefe del Cuerpo de Bomberos, el Sr. Ángel Crespo, muchos de estos incendios se deben a negligencia ciudadana.

Al 2014, se habían registrado un total de 3,831 incendios forestales a nivel isla, 926 incendios menos que los registrados al 2013 (Ilustración 16).

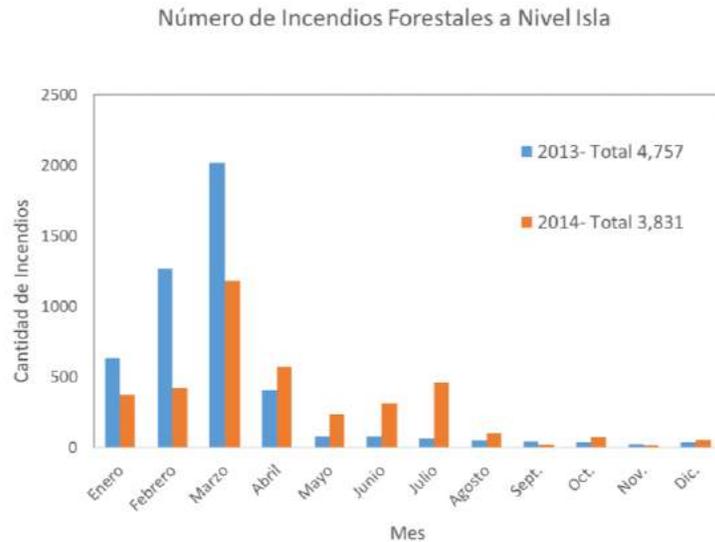


Ilustración 16. A) Número de incendios forestales registrados en Puerto Rico durante el 2013 y 2014. Datos provistos por el Cuerpo de Bomberos de Puerto Rico.



LLUVIA REGISTRADA PARA EL 2015

La mayor cantidad de lluvia observada para el año de agua de 2015, se concentró al oeste de Puerto Rico, y un parcho pequeño para la región del Yunque (Ilustración 17-A). Para el mes de noviembre, en estas regiones cayeron entre 70 a 100 pulgadas de lluvia. En el resto de la isla la cantidad de lluvia fue menor, entre 25 a 60 pulgadas de lluvia. En la Ilustración 17-B se puede apreciar la climatología para Puerto Rico. El mapa de “*departure from normal*” ilustra los déficit y excesos en la cantidad de lluvia para toda la Isla (Ilustración 17-C). El oeste interior tuvo un superávit de lluvia (color gris en el mapa) mientras que en el resto de la isla se mantuvo un déficit de hasta 20 pulgadas (color rojo en el mapa, Ilustración 17-C).

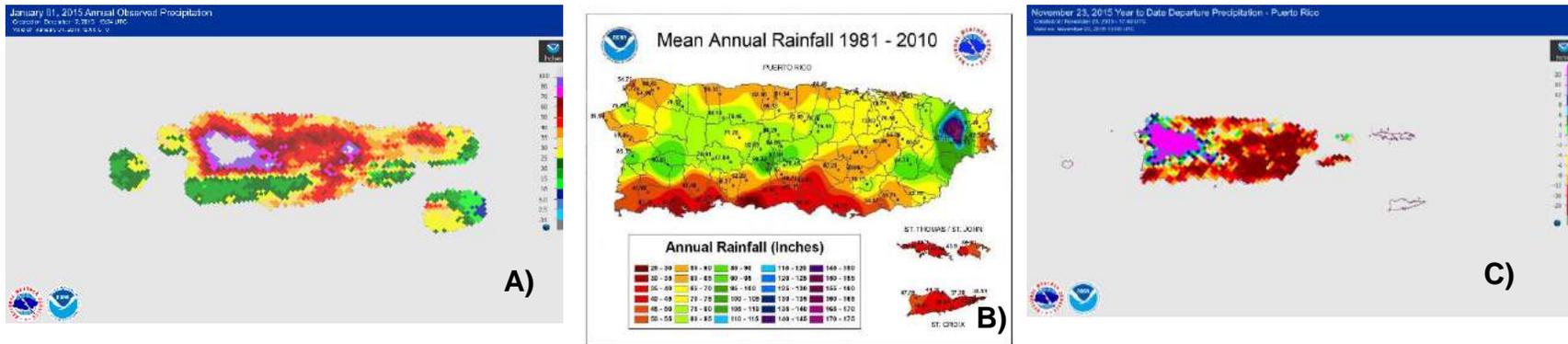


Ilustración 17. A) Cantidad de agua observada en el año de agua de 2015, B) Precipitación anual reportada para el periodo de 1981 hasta el 2010, y C) mapa ilustrando el “*year to date departure precipitation*” para el 23 de noviembre de 2015. Información obtenida de <http://water.weather.gov> utilizando la herramienta de AHPS Precipitation Analysis.

PRONÓSTICO ESTADÍSTICO DE LLUVIA PARA LA REGIÓN DEL CARIBE PARA EL 2015

El pronóstico estadístico de lluvia para la región del Caribe varió de condiciones húmedas a secas durante el 2015. A principios de año, para el área de Puerto Rico, entre los meses de marzo a mayo, se esperaban condiciones de lluvia sobre lo normal (color violeta) con un 25% de lluvia bajo lo normal, un 35% de lluvia en lo normal y 40% de condiciones de lluvia sobre lo normal (Ilustración 18-A). Ya para junio, julio y agosto, el pronóstico fue mayormente de condiciones de lluvia bajo lo normal, y se esperaban condiciones sobre lo normal, con un 40% de lluvia bajo lo normal, un 35% de lluvia en lo normal y 25% de condiciones de lluvia sobre lo normal (Ilustración 18-B). Para los meses de septiembre, octubre y noviembre, se esperaban condiciones aún más secas para Puerto Rico, con un 45% de lluvia bajo lo normal, un 35% de lluvia en lo normal y 20% de condiciones de lluvia sobre lo normal (Ilustración 18-C). Para los meses de noviembre, diciembre y enero, las condiciones de lluvia esperadas tenían la misma probabilidad (Ilustración 18-D).

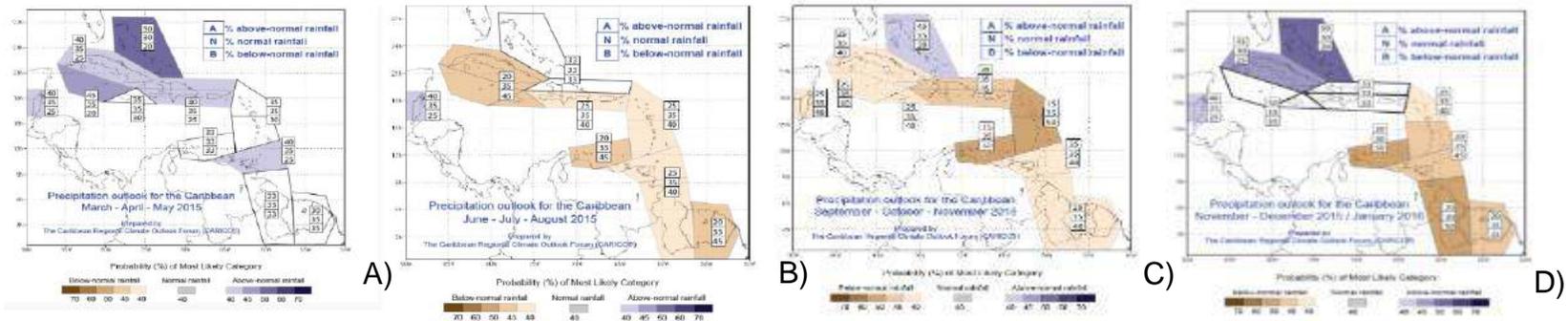


Ilustración 18. Pronósticos de lluvia para la región del Caribe para el año de 2015. Pronósticos realizados por Caribbean Regional Climate Outlook Forum presentados al CC a través del Servicio Nacional de Meteorología, San Juan Puerto Rico.

DETALLES SOBRE ASPECTOS CLIMÁTICOS DURANTE EL 2015

Existen dos mecanismos que jugaron un papel importante sobre el clima de Puerto Rico. En el primero, durante las fases de crecimiento de El Niño, la troposfera superior se calienta a través de los trópicos. Teniendo en cuenta que las temperaturas en la superficie del mar aún no han alcanzado su máximo anual, causando una inestabilidad vertical reducida durante la primera mitad de la temporada húmeda. El segundo mecanismo ocurre debido al calentamiento del Pacífico Oriental Tropical, la cual causa alta presión en el nivel superior y por lo tanto se esparce hacia el Caribe, donde hay una mayor subsidencia, y se reduce de nuevo la inestabilidad vertical. Antes de junio, la principal causa de la sequía, en el Caribe Oriental se debió principalmente a una mayor intrusión de la capa de aire del Sahara.

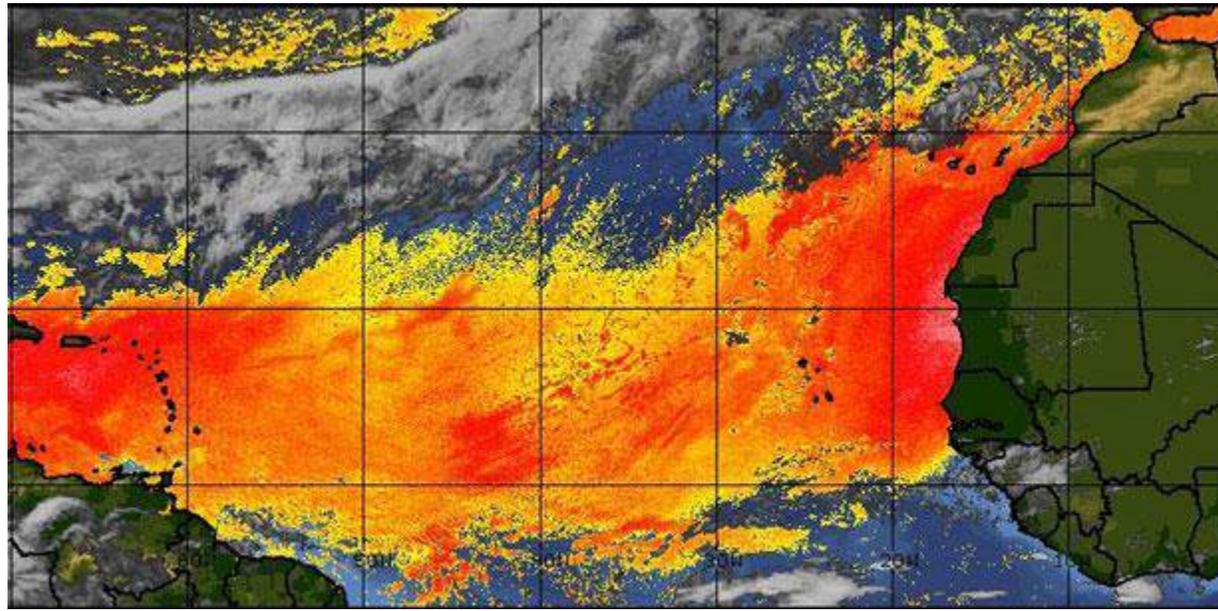


Ilustración 19. Polvo del Sahara en la región del Atlántico para el 29 de abril de 2015 (Rosario, 2015).

MONITOR DE SEQUÍA

Al 2015, prevalecían condiciones de sequía atípica solamente para los municipios de Salinas y Guayama. Ya para el mes de agosto se intensificó la sequía a través de todo Puerto Rico, solo 13.46 % de la Isla no estaba afectado por la sequía. Para esta fecha, un 24.89% llegó a condición de sequía extrema (parcho rojo). Ya para diciembre de 2015 se reduce el área bajo sequía, pero Salinas y Guayama se mantenían bajo sequía extrema y un 59% de la Isla aún permanecía afectado por la sequía (Ilustración 19). Información obtenida del US-DM (<http://droughtmonitor.unl.edu>).

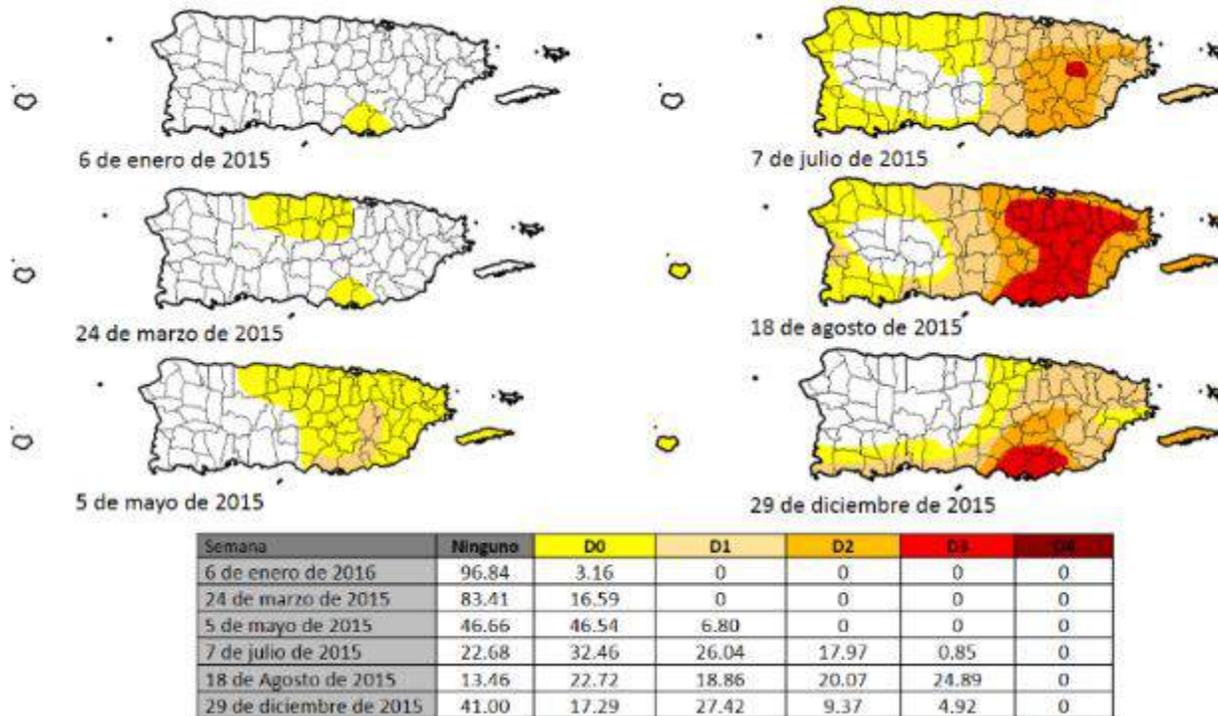


Ilustración 20. Cambios en el área afectada por sequía observados para el 2015. La tabla presenta los porcentajes por cada categoría.

PROTOCOLO PARA EL MANEJO DE LA SEQUÍA EN PUERTO RICO

La gestión temprana y planificada puede tener el efecto positivo al reducir o evitar los efectos negativos de la sequía sobre la estructura y funcionamiento social de la comunidad por la demanda y disponibilidad, de los bienes y servicios asociados a los cuerpos de agua. Para lograr este objetivo se adoptó el *Protocolo para el Manejo de la Sequía en Puerto Rico (Protocolo)*.

El *Protocolo* considera las fases de sequía, las cuales se evalúan de acuerdo a varios criterios científicos y técnicos, incluyendo: el análisis de lluvia, el mapa que semanalmente publica el Monitor de Sequía de Estados Unidos (el Drought Monitor), el caudal de agua en los ríos, las tendencias de sequía



hidrológica, los niveles de los embalses, los datos de los niveles en pozos de observación de los acuíferos, al igual que aspectos e impactos agrícolas y biológicos, incluyendo los fuegos forestales. Entre estos parámetros resalta el Monitor de Sequía de los Estados Unidos, el cual establece cinco categorías sobre las condiciones de sequía e incluye los impactos que se reflejan en el territorio, entre ellos: daños a los cultivos, los pastos, los ríos, los embalses y los pozos, al igual que proyecta disminución en los abastos de agua debido a la merma en lluvia. La información de estos indicadores proviene de datos generados por agencias estatales y federales.

La declaración de sequía emitida por el Gobernador no implica la implantación inmediata de un plan de racionamiento o interrupciones programadas del suministro de agua potable a la ciudadanía por parte de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (AAA). Sí presupone una mayor atención a las condiciones hidrográficas, meteorológicas, climatológicas, ecológicas y de producción de agua potable para el país, de forma que se establezcan medidas especiales para el mejor manejo del recurso. La declaración de sequía pretende encaminar a las agencias gubernamentales a enfrentar una amenaza climatológica de larga duración, reduciendo el riesgo de desastre para el país y sus habitantes.

Además del Comité Científico, el Comité Ejecutivo de Manejo de Sequía designó un Comité de Comunicaciones y otros dos comités el Comité de Acción y Respuesta y el Comité de Manejo de Embalses. Todos los Comités están compuestos por diferentes recursos del Gobierno para estructurar la respuesta adecuada de cada comité, se identifican las agencias que pertenecen y se describe el rol que debe realizar cada una, tal como se describe a continuación:

- A) **Comité Ejecutivo:** Este Comité asesora al Gobernador durante el transcurso del período de la sequía y trabaja en aspectos decisionales y de política pública. Será

presidido por el Secretario del DRNA y estará compuesto, por el Director Ejecutivo de la Agencia Estatal para el Manejo de Emergencias y Administración de Desastres (AEMEAD), el Presidente de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (AAA), el Jefe del Cuerpo de Bomberos, el Secretario del Departamento de Agricultura y el Director Ejecutivo de la Autoridad de Energía Eléctrica (AEE). El Comité Ejecutivo apoya sus decisiones con las recomendaciones de cuatro (4) componentes: el Comité de Acción y Respuesta, el Comité de Manejo de Embalses, el Comité Científico y el Comité de Comunicaciones.

B) Comité de Acción y Respuesta: Este Comité atiende la coordinación e implementación de acciones para el manejo de la sequía de acuerdo a las decisiones ejecutivas. Estará integrado por los oficiales de manejo de emergencias de agencias estatales y por aquellos municipios que estén afectados por la sequía. Otras agencias pueden incorporarse según surja la necesidad. Las agencias miembros son:

- 1) Director de AEMEAD
- 2) Autoridad de Energía Eléctrica (AEE)
- 3) Departamento de Salud
- 4) Departamento de Educación
- 5) Junta de Calidad Ambiental
- 6) Cuerpo de Bomberos de Puerto Rico
- 7) Policía de Puerto Rico
- 8) Departamento de Corrección y Rehabilitación
- 9) Compañía de Turismo de Puerto Rico
- 10) Departamento de Asuntos al Consumidor
- 11) Departamento de Vivienda / Administración de Vivienda Pública
- 12) Gobiernos Municipales
- 13) Guardia Nacional

Los deberes y responsabilidades de cada miembro de este Comité de Acción y Respuesta variarán según la categoría de sequía establecida por el Monitor de Sequía de los Estados Unidos. Las acciones serán coordinadas por el Comité Ejecutivo bajo la dirección del Director de AEMEAD.

C) **Comité Científico:** El Comité Científico revisará y evaluará el *Protocolo* y ofrece asesoramiento técnico y científico al Comité Ejecutivo de Manejo de Sequía. Las Agencias responsables son:

- 1) Agencia Estatal para Manejo de Emergencias y Administración de Desastres
- 2) Departamento de Recursos Naturales y Ambientales
- 3) Departamento de Agricultura
- 4) Autoridad de Acueductos y Alcantarillados
- 5) Autoridad de Energía Eléctrica
- 6) Universidades y Centros de Educación Superior
- 7) Consejo de Cambios Climáticos de Puerto Rico
- 8) Servicio Nacional de Meteorología de Estados Unidos
- 9) Servicio Geológico de Estados Unidos
- 10) Representantes de la comunidad con formación en climatología o hidrología



Reunión del Comité Científico

Este Comité tendrá dos roles principales: 1) revisión y evaluación de protocolo de sequía; y 2) asesoramiento científico-técnico.

- 1) **Revisión y Evaluación de Protocolo de Sequía** – Revisará el protocolo de sequía para refinar deberes, responsabilidades y acciones delineados en este documento. Presentarán el protocolo al Comité Ejecutivo de Manejo de Sequía para su aprobación e implantación por parte del Comité de Acción y Respuesta.
 - 2) **Asesoramiento Técnico-Científico** – Se reunirá semanalmente (miércoles, 2:00 pm, Oficina del Servicio Nacional de Meteorología) para presentar y discutir los datos científicos más recientes y relevantes sobre las condiciones meteorológicas e hidrológicas asociadas con la sequía. De igual forma, se discutirá la condición de las fuentes de abasto de agua y las manifestaciones de la sequía en la biodiversidad y en la agricultura. El Comité Científico presentará un resumen ejecutivo de las discusiones para entrega al Comité Ejecutivo de Manejo de Sequía.
- C) **Comité de Manejo de Embalses:** Estará compuesto por el Presidente de la AAA - quien presidirá el Comité - el Secretario del DRNA, el Director Ejecutivo de la AEE y el Director del Servicio Nacional de Meteorología de Estados Unidos o sus

delegados. Este Comité se encargará velar por el uso óptimo de los embalses en Puerto Rico durante la sequía y la coordinación necesaria para dichos propósitos.

D) Comité de Comunicación: Informará al público de las incidencias de la sequía y formulará las estrategias para la diseminación de la información. Estará compuesto por:

- 1) Director de la Oficina de Comunicaciones de Fortaleza
- 2) Director de la Oficina del Secretario de Prensa de Fortaleza
- 3) Los directores de las Oficinas de Prensa de la AEMEAD, el DRNA, la AAA, el Cuerpo de Bomberos y el Departamento de Agricultura.

Según la situación lo requiera, personal de comunicaciones de otras agencias se incorporarán para apoyo de manera puntual. Las responsabilidades del Comité de Comunicación incluyen:

- 1) Compartir hojas de datos (*fact sheets*), puntos centrales (*talking points*), *newsletters*, etc. que desarrollen en sus respectivas agencias para compartirlos entre todos los posibles portavoces de la emergencia.
- 2) Evaluará la necesidad de poner en ejecución campañas publicitarias de servicio público o pagadas y comunicaciones en las redes sociales para comunicar mensajes de gran relevancia a la ciudadanía sobre la sequía.
- 3) Los integrantes se comunicarán mediante correo electrónico, texto, teleconferencias y reuniones periódicas, según las necesidades de la respuesta de emergencia.
- 4) Todas las solicitudes de los medios de comunicación relacionados con la sequía, serán remitidas diariamente por correo electrónico a los miembros del Comité para su análisis, y de ser necesario, coordinar portavoces y lograr maneras más efectivas para que fluya la información.
- 5) Los especialistas de comunicación de todas las agencias enviarán al Comité de Comunicación los comunicados de prensa y boletines, así como las propuestas de celebración de conferencias de prensa sobre sequía previa a su divulgación a la Prensa del País con el objetivo de establecer estrategias interagenciales.

El Protocolo para el Manejo de la Sequía en Puerto Rico fue firmado el 24 de abril de 2015 durante la 1^{era} Conferencia sobre Sequia y Cambio Climático.

PROBABILIDAD CICLÓNICA

La probabilidad de ciclones para Puerto Rico fue baja para el periodo del 26 de agosto al 1 de septiembre de 2015. Para el período del 2 al 8 de septiembre de 2015 se esperaba lluvia por debajo de lo normal (Ilustración 21) de acuerdo al pronóstico hecho por NOAA, presentado por el Servicio Nacional de Meteorología, San Juan Puerto Rico.

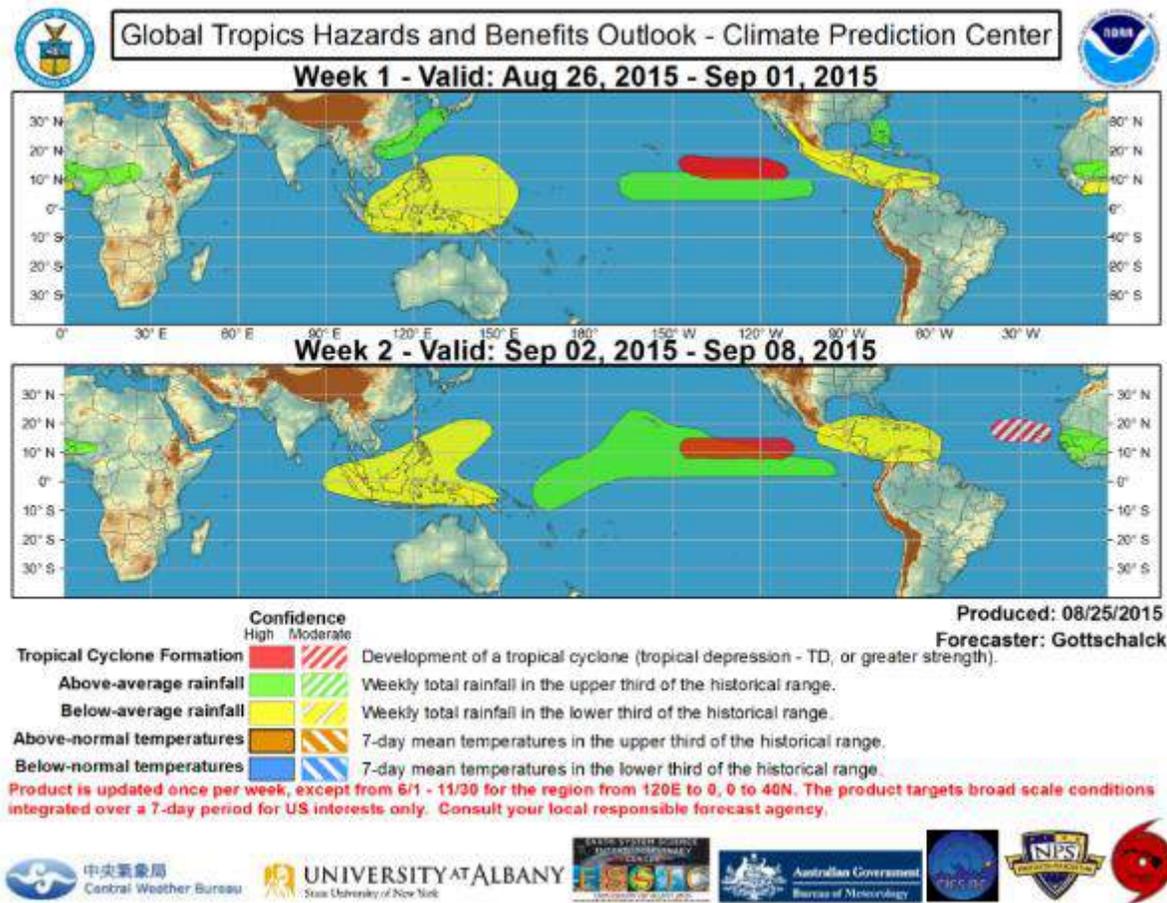


Ilustración 21. Probabilidad eventos según el Centro de Predicciones Climáticas.

SUELOS: CAMBIOS EN LA SATURACIÓN DE LOS SUELOS DURANTE EL 2015

La saturación del suelo varió durante el 2015 como respuesta a la sequía. En los mapas de saturación del suelo, las tonalidades azules son indicativos de alta saturación del suelo, mientras que las rojas indican lo contrario. En enero, la saturación del suelo era baja principalmente en la región del sur. En el mes de marzo, la humedad del suelo también era baja en la región costera tanto del noroeste como para el sur y unos parchos en el interior. En mayo, la humedad del suelo era baja en casi toda la isla, menos en la región oeste central. Los patrones eran muy similares para el mes de julio, pero se redujo la extensión en la región noroeste. En agosto, las condiciones mejoran para la región oeste central y algunas partes de la costa noroeste. En diciembre, la humedad del suelo se ha restablecido considerablemente para toda la isla, excepto en la región sur (Ilustración 22).

Información obtenida de <https://pragwater.com/projects/>

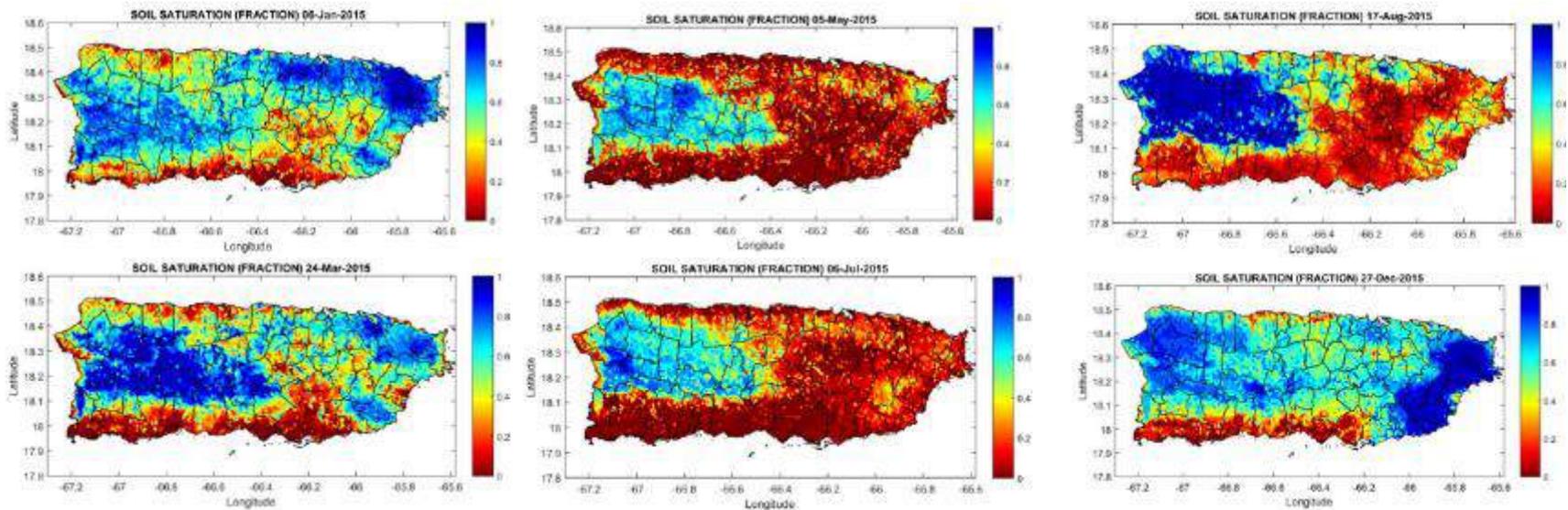


Ilustración 22. Cambios en la saturación del suelo observados durante el 2015.

VARIACIONES EN EL ESTRÉS HÍDRICO EN LA TRANSPIRACIÓN DE LAS PLANTAS PARA EL AÑO DE 2015

El estrés hídrico en la transpiración de las plantas varió durante el 2015 (Ilustración 23) como respuesta a la sequía. En los mapas de estrés hídrico en la transpiración de las plantas, las tonalidades azules son indicativos de saturación del suelo alta, mientras que las rojas indican baja saturación del suelo. En enero, el estrés hídrico en la transpiración de las plantas era bajo principalmente en la región del sur. En el mes de marzo era bajo en la región costera tanto del noroeste como para el sur y unos parchos en el interior. En mayo, era bajo en casi toda la isla, menos en la región oeste central. Los patrones eran muy similares para el mes de julio, pero se redujo la extensión en la región noroeste. En agosto, las condiciones mejoran para la región oeste central y algunas partes de la costa noroeste. En diciembre, se ha restablecido considerablemente para toda la isla, excepto en la región sur.

Información obtenida de <https://pragwater.com/projects/>

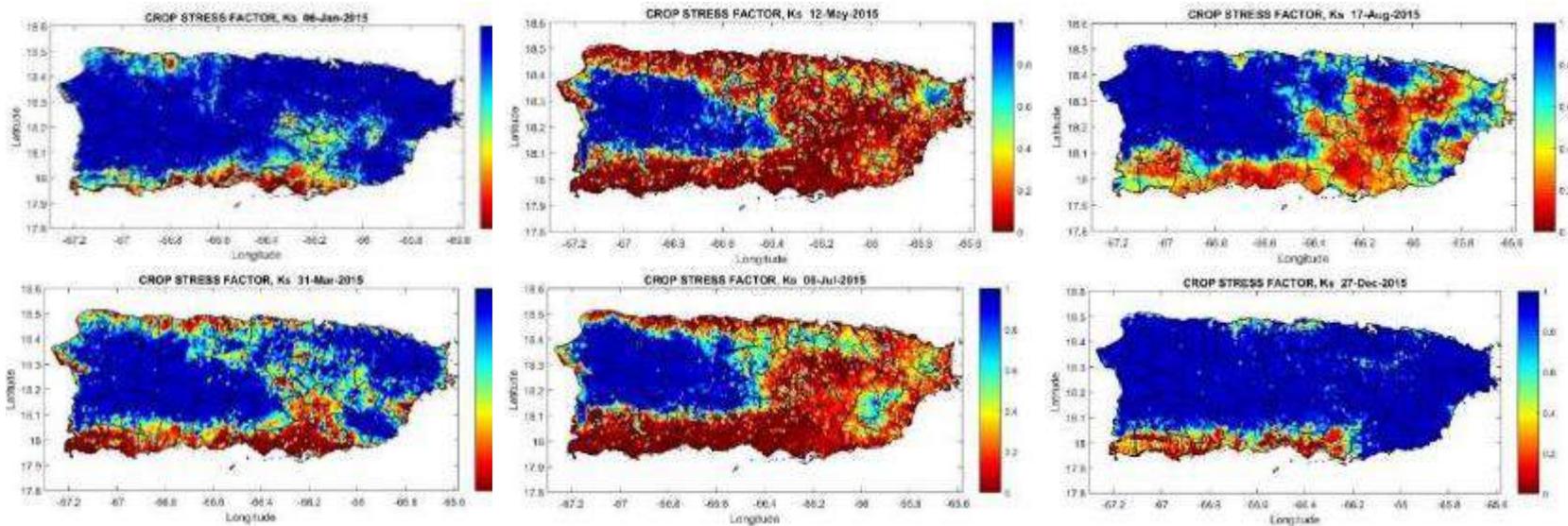


Ilustración 23. Variaciones en el estrés hídrico en la transpiración de las plantas para el 2015.

EMBALSES

Al comparar el evento de sequía del 2015 con años previos podemos observar que en los embalses Blanco y Fajardo (Ilustración 24- A y B), el nivel del agua comenzó a bajar a partir de mayo. Este patrón de reducción se mantuvo bajo hasta el mes de agosto, que es cuando se reporta el nivel más bajo. Luego, ya para el mes de septiembre comienza a aumentar hasta llegar cerca del nivel tope para noviembre. En los otros embalses se observa un patrón muy similar. De todos los embalses, Loíza y La Plata tuvieron un patrón de comportamiento muy similar a lo registrado para el 1994 durante los meses de enero a octubre (Ilustración 24-C y D). El embalse Cerrillos (Ilustración 24-E) comenzó el año de 2015 con una tendencia consistente de reducción en su nivel, aumentando a partir de noviembre. Aunque la reducción en este año fue muy marcada, no llegó a nivel más bajo histórico, pero si bajó sobre el nivel de conservación biológico. Durante la sequía de 2015 se reportó que los nidos de las lobinas quedaron expuestos como resultado de la reducción en el nivel del embalse. El nivel de agua en todos los embalses aumentó como respuesta a las lluvias caídas a finales de agosto y meses subsiguiente de 2015.

Graficas provistas por la AAA.

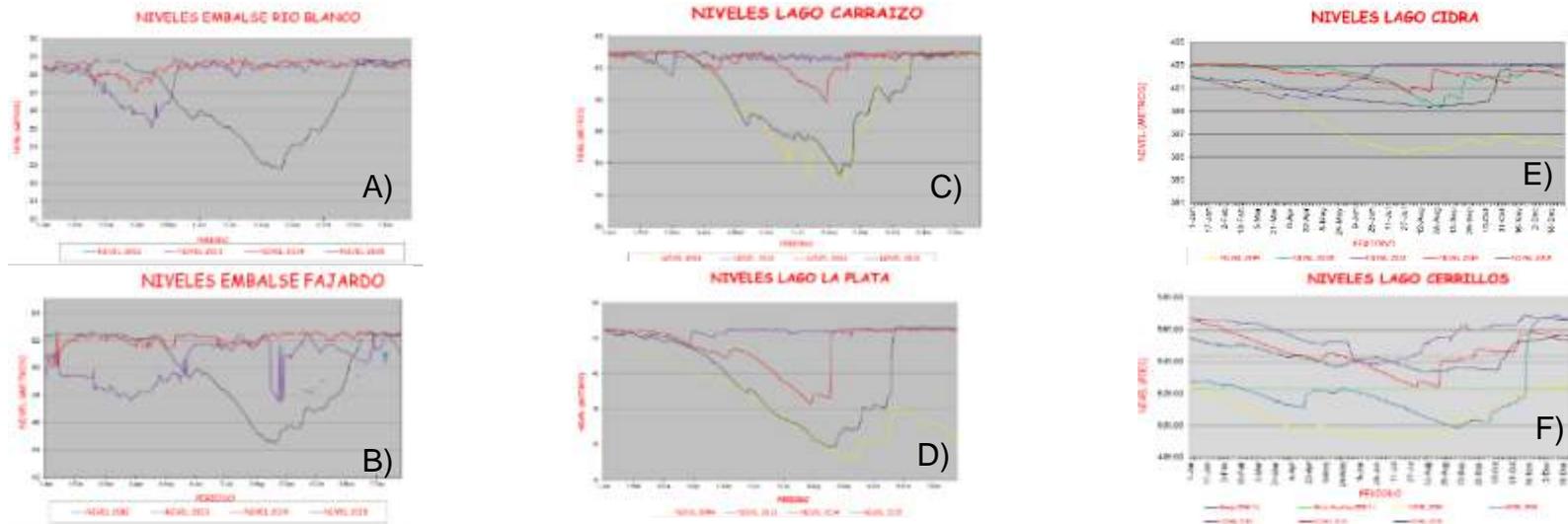


Ilustración 24. Graficas de los niveles de los embalses: A) río Blanco, B) Fajardo, C) Loíza (Carraízo), D) La Plata, E) Cidra y F) Cerrillos. Fuente: Centro de Información de Emergencias, AAA.

La AAA creó esta gráfica para el manejo de los embalses (Ilustración 25). Aunque fue parte de la campaña de educación de la AAA, también servía como herramienta para la operación del embalse. Cada barra representa un embalse. La flecha roja o verde al tope de cada columna indica, con respecto al día anterior, si el nivel había aumentado o disminuido. Los colores demuestran el nivel de alerta en el que se encontraba cada embalse, violeta = nivel de desborde, verde = nivel de seguridad, azul = nivel de observación, amarillo = nivel de alerta, naranjado = nivel de control y rojo = nivel de fuera de servicio. Esta gráfica se publicaba diariamente en la página web de AAA.

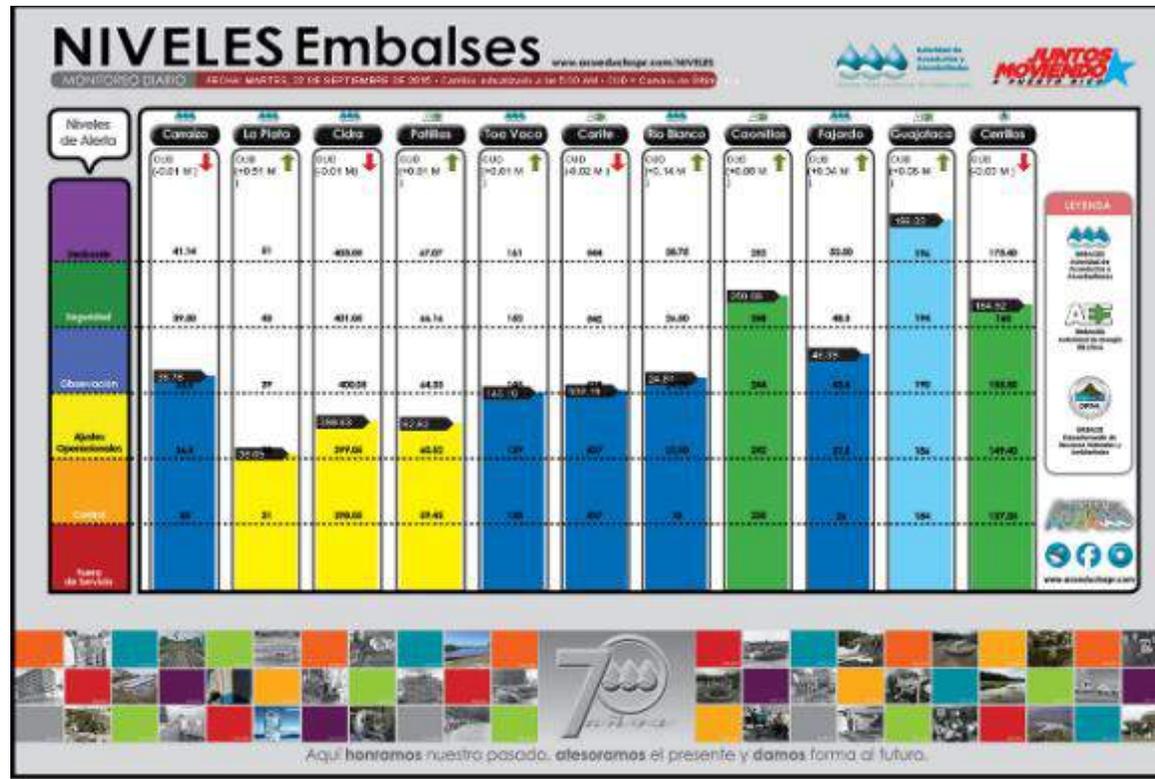


Ilustración 25. Gráfica de los niveles de los embalses.

HERRAMIENTA DE MONITOREO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

La Herramienta de Monitoreo de Cuenca Hidrográficas fue utilizada para evaluar el comportamiento de las cuencas hidrográficas para los diferentes periodos. El color azul es indicativo de que el flujo estuvo sobre lo normal, el color verde es normal y las tonalidades de amarillo a rojo representan condiciones de sequía. Mientras más intenso el color rojo, más está afectada la cuenca por la sequía. Para el 2015, a corto plazo (1 mes), se encontró que los periodos de marzo y julio las cuencas hidrográficas se encontraban en condición de sequía extrema y excepcional, mayormente para la región este de Puerto Rico, donde ubican cuencas que corresponden a embalses de agua importantes como la cuenca del embalse Loíza, La Plata y Cidra (Ilustración 26- A y B). Ya para octubre y diciembre, a corto plazo, la cantidad de cuencas afectadas por condiciones de sequía se reduce drásticamente (Ilustración 26- C y D). Es importante destacar que, durante el 2015, en muchos de los ríos se detectaron los niveles de flujo más bajos históricos. Mapas desarrollados por DMPA-DRNA.

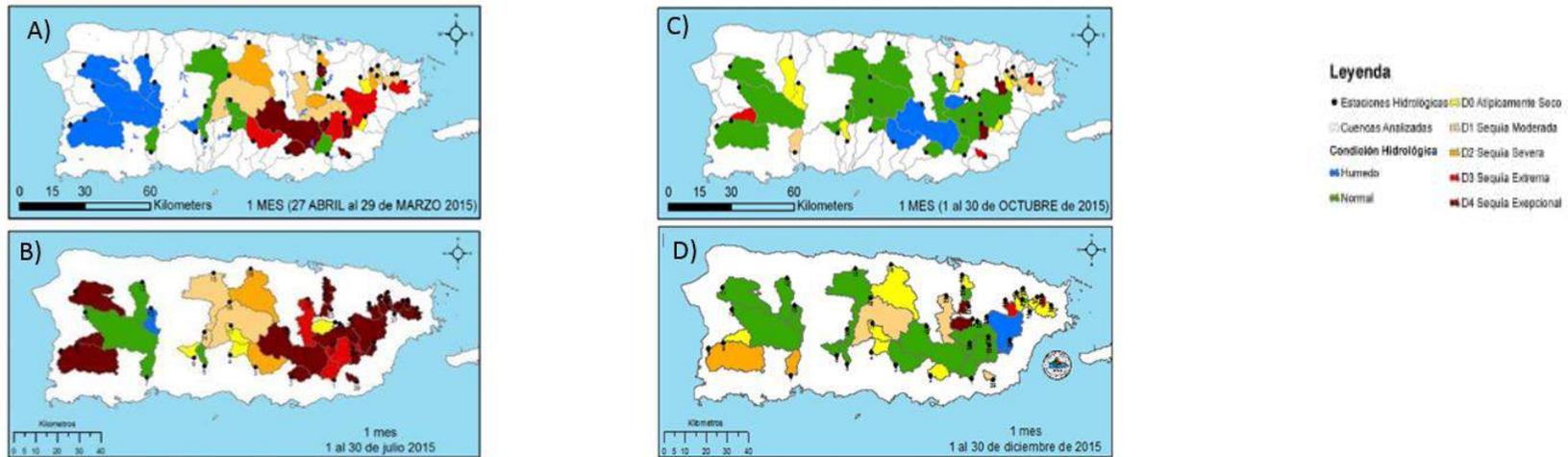


Ilustración 26. Mapas generados utilizando la “Herramienta de monitoreo de condiciones hidrológicas” para el periodo de 1 mes.

La Herramienta de Monitoreo de Cuenca Hidrográficas fue utilizada para evaluar las condiciones hidrológicas de las cuencas hidrográficas para los diferentes periodos. Para el 2015, a largo plazo (12 meses), se encontró que al mes de mayo (Ilustración 27-A y B), las cuencas que se encontraban en condición entre sequía moderada a excepcional estaban concentradas principalmente en la región norte, este y sur de Puerto Rico. Las cuencas del oeste se encontraban en condición normal, al igual que la cuenca del río Grande de Manatí. Según transcurre el 2015 la cantidad de cuencas afectadas por la sequía aumenta (Ilustración 27-C y D). La severidad de la sequía también se acentúa, afectándose por sequías cuencas como la del río Grande de Manatí, río Bayamón y tributarios de la cuenca del río Grande de Loíza. Ya para diciembre de 2015 se observa una tendencia marcada a largo plazo de sequía severa y excepcional en muchas de las cuencas en la región norte, sur y este. Según transcurre el año, se aprecia un aumento gradual en las condiciones de sequía a lo largo de la isla, con muchas de las cuencas en condición de sequía severa y excepcional.

Mapas desarrollados por DMPA-DRNA.

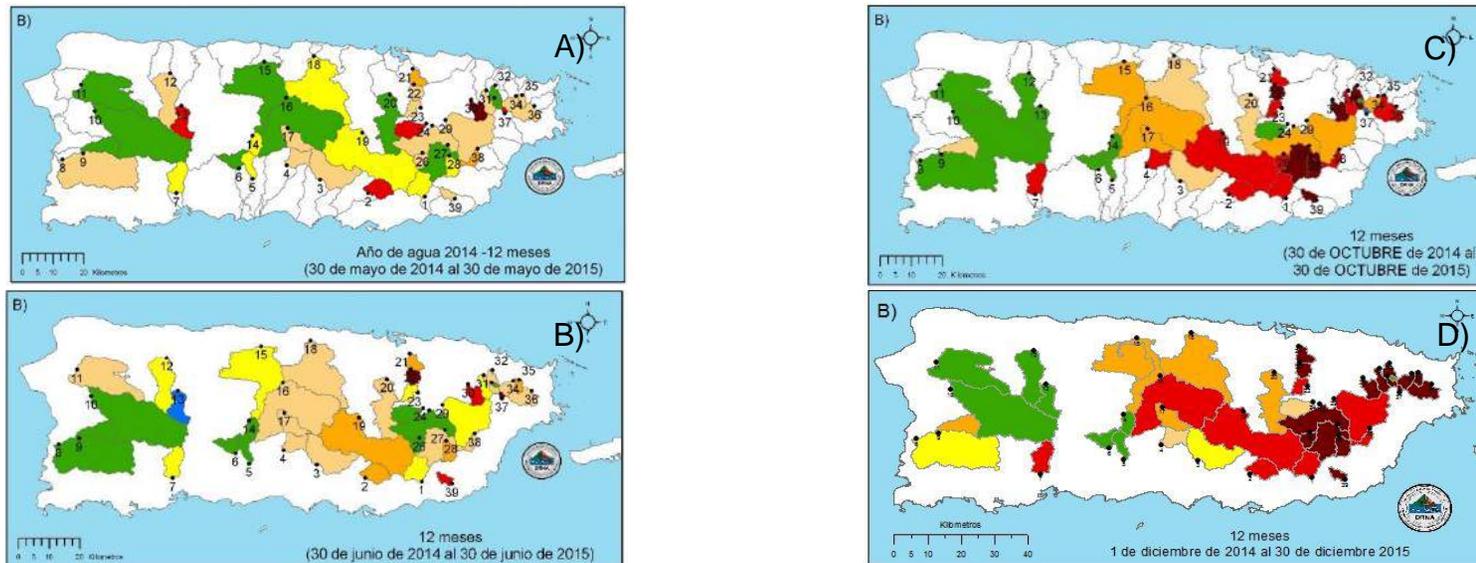


Ilustración 27. Mapas generados utilizando la “Herramienta de monitoreo de condiciones hidrológicas” para el periodo de 12 meses.

ACUÍFEROS DEL SUR

Los piezómetros instalados en la región sur de Puerto Rico se utilizan para registrar los niveles de agua en el acuífero. Para la fecha del 6 de julio, los niveles de los acuíferos eran bajos, entre bajo lo normal y muy por debajo de lo normal, en los municipios de Juana Díaz, Santa Isabel, Salinas y Guayama. En Ponce se mantenían normal, pero con una tendencia marcada en su reducción. Los hidrogramas de los ríos que alimentan estos acuíferos mostraban un caudal muy bajo (Ilustración 28). Información obtenida de <http://pr.water.usgs.gov/>.

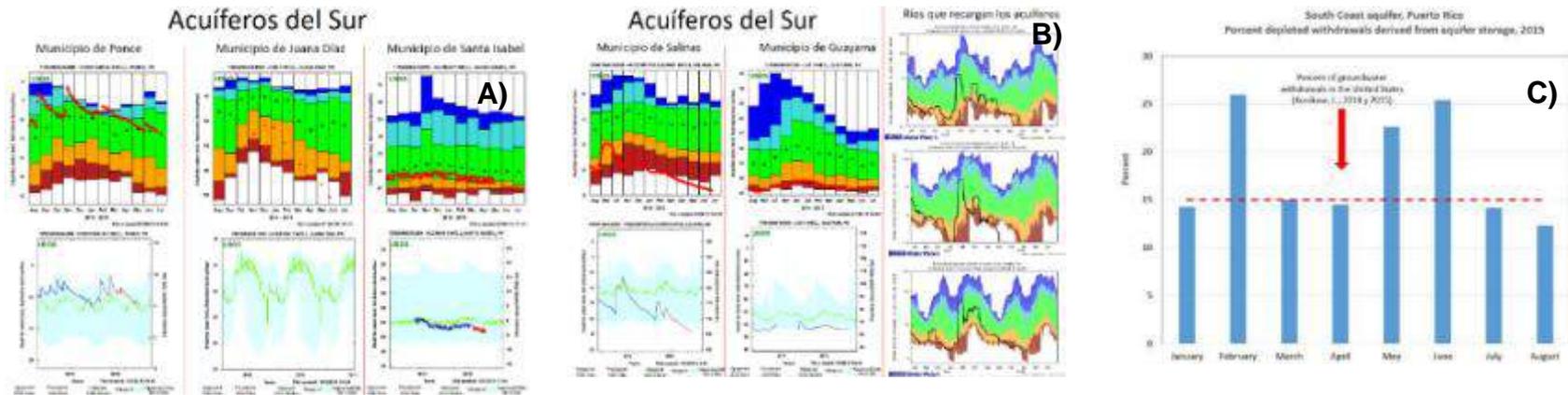


Ilustración 28. Tendencia del cambio de la tasa de agotamiento de los acuíferos del sur mostrando los últimos 8 meses de récord del 2015. A) Ponce, Juana Díaz y Santa Isabel, B) Salinas y Guayama, C) Porcentaje de reducción en las extracciones del almacenaje del acuífero (USGS, 2015).

Para el 24 de septiembre, aunque los pozos de Ponce, Juana Díaz y Santa Isabel mostraban un aumento en su nivel con respecto a los patrones observados en los meses previos, en Ponce y Santa Isabel, el nivel del piezómetro estaba a nivel de observación, mientras que Santa Isabel y Salinas se encontraban en condición crítica. Para el 9 de noviembre de 2015, los niveles de los pozos estaban en condición óptima en los pozos de Ponce y Santa Isabel (Ilustración 29). El piezómetro de Juana Díaz se encontraba bajo nivel de observación y el de Salinas en condición crítica, estableciendo niveles históricos en este último (31.38 establecido el 25 de agosto de 2016).

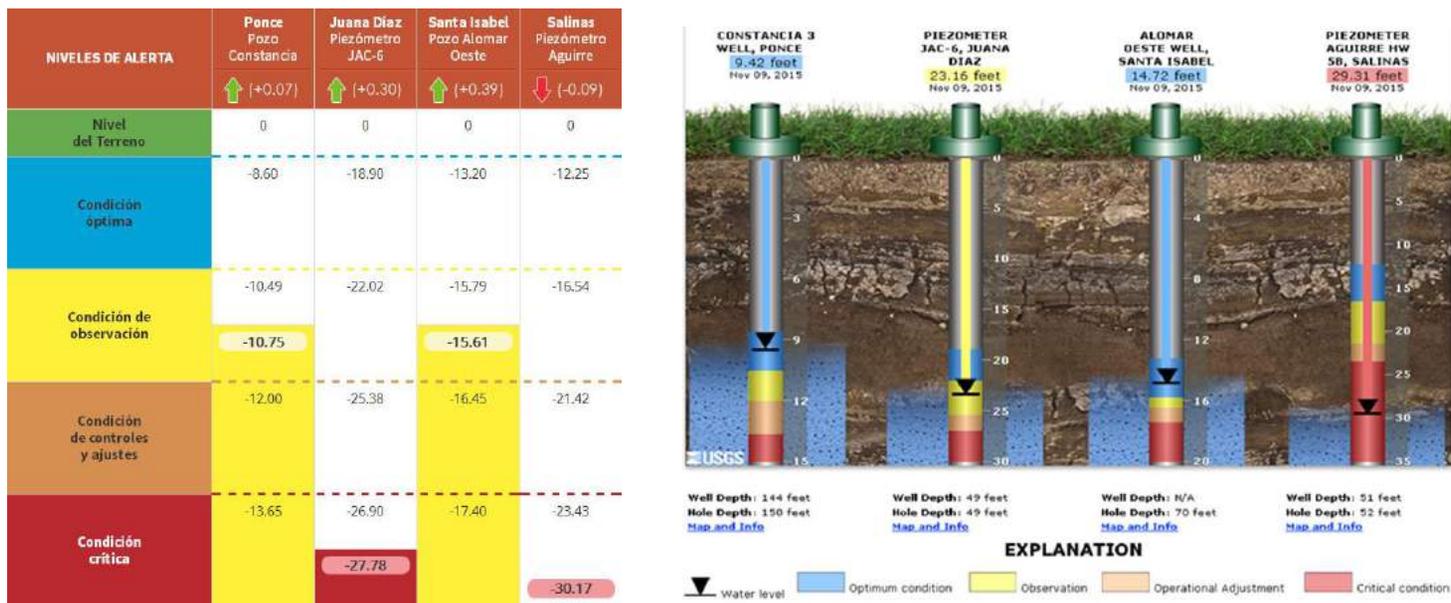


Ilustración 29. Niveles observados en los acuíferos al 9 de noviembre de 2015 (USGS, 2015).

EFFECTO DE LA SEQUÍA EN REFUGIOS, RESERVAS NATURALES Y BOSQUES DEL DRNA

- En el **Bosque Estatal Carite** ocurrieron parchos del bosque en los que la vegetación se secó aumentando el potencial a incendios en la orilla de las carreteras estatales que cruzan el bosque y en las inmediaciones de las áreas recreativas.
- En el **Bosque Estatal Toro Negro** se observó un cambio en el comportamiento de la avifauna de este bosque, posiblemente causado por una disminución considerable en el entorno natural.

Reserva Natural y Refugio de Vida Silvestre de Humacao

- Hasta el 1^{ro} de septiembre la desembocadura del río Antón Ruiz se encontraba cerrada a causa del bajo flujo en el río. La fauna típica de la reserva presentó algunas señales de estrés (aletargamiento). Pescas experimentales evidenciaron que las poblaciones de peces fueron afectadas por las condiciones de sequía de los pasados meses.
- Los niveles bajos de las lagunas debido a la falta de lluvia y escorrentías que las nutren y las altas temperaturas que se han experimentado en la reserva, afectaron la oxigenación en la columna de agua. El oxígeno disuelto en las lagunas de la reserva: Santa Teresa II, Palmas y Mandri III, llegó a estar por debajo de 4mg/L, lo que afectó la vida acuática.
- Para el 21 de octubre de 2015 se abrió la desembocadura del río Antón Ruíz de forma mecánica. Esta acción favoreció la normalización de los niveles de agua y la entrada y salida de organismos al sistema.

Reserva Nacional Estuarina de Investigación de Bahía de Jobos

- Se observó el efecto de la sequía en la vegetación, especialmente en los pastos, el cual se mantenían secos, por lo que eran susceptibles a incendios. Se observó vegetación muerta o seca y bajo estrés por falta de agua (Mangle Blanco, Palma Real, Helecho de Mangle, Mangle Botón, Palma de coco).
- Se observó defoliación y sequía de rodal de mangle blanco al norte del Mar Negro.
- Áreas secas susceptibles a incendios amenazaban hábitat y nidos de aves (Mariquita de PR, Bobo mayor).
- Se dejaron de observar las aves acuáticas en áreas, como el salitral, cercano al Centro de Visitantes. Éstas se mantenían en áreas llanas inundadas por la marea, ej. la zona de Mar Negro, donde se observaron diversidad de playeros y viudas. La cuenca hidrográfica ha sido afectada por múltiples incendios.
- No se observó la corrida de jueyes que ocurre anualmente para el mes de agosto debido a la falta de lluvia.
- Los niveles del acuífero según medidos en los piezómetros JBNERR del USGS, están por debajo de los promedios mínimos históricos desde finales del 2014. El

nivel de agua en el acuífero confinado o profundo se mantuvo por debajo del nivel del mar desde finales del 2012 y continuaban en descenso. Algunos de los piezómetros que tienen entre 24 y 30 pies de profundidad estaban completamente secos.

- El bajo nivel de agua en el acuífero afectó la condición estuarina de la reserva, debido a que disminuía la descarga de agua dulce de los manantiales que afloran en la bahía de Jobos, que son utilizados por los manatíes que residen en la zona. La presencia de manatíes en la zona mermó debido a la falta de agua dulce.

Refugio Natural de Vida Silvestre Embalse La Plata

- Se observaron afloramiento de algas a través de todo el embalse.
- El embalse La Plata estuvo cerrado al público, desde el 30 de junio de 2015 hasta el 14 de noviembre de 2015. Esto fue una medida de precaución para evitar que los pescadores quedaran atrapados en el lodo. El embalse estuvo cerrado hasta que se registró un aumento en el nivel superficial del embalse La Plata que permitiera el uso de las instalaciones de pesca recreativa.
- El descenso en los niveles de agua en el embalse se reflejó en los parámetros de calidad de agua, con concentraciones de oxígeno disuelto por debajo de 4mg/L en algunos puntos de monitoreo.
- Los cambios en la calidad del agua representaron retos para la vida acuática en el refugio de vida silvestre, incluyendo los peces en el embalse los que a su vez son indicadores biológicos de calidad de agua. Se observó movimiento errático y comportamiento poco común de algunos peces.
- En el periodo comprendido de mayo a noviembre 2015 se reportaron varios episodios de mortandad de peces en el embalse La Plata. Hasta esa fecha se registraron un total de 78,562 peces muertos, lo que es indicativo que la calidad del agua se deterioró. Entre las especies de peces que se afectaron con la el deterioro en la calidad del agua en el embalse se encuentran: Tilapias; “Red Devils”; Barbudos; Tucunaré; Lobinas; Plecos y Sardinas.
- Los nidos de peces quedaron expuestos cuando los niveles del embalse descendieron.
- Con los peces muertos se estableció un proyecto de composta agroecológica.
- Se realizó remoción de los sedimentos acumulados en las orillas de los embalses como un esfuerzo conjunto entre el municipio de Cataño y el DRNA. Luego se incorporó el municipio de Toa Alta. Los sedimentos removidos se utilizaron como material de relleno para el vertedero de Toa Alta y para cubrir las fosas del proyecto de composta agroecológica. Se movieron aproximadamente 14,000 m³ de sedimento.

Refugio Natural de Vida Silvestre Embalse Cerrillos

- 7 de mayo de 2015- El nivel de Cerrillos se encontraba en su nivel más bajo de los últimos once años y cinco meses, aproximadamente a unos 1.83 pies por encima del nivel de conservación biológica que es de 528 pies. Los nidos de lobinas se encontraban expuestos y la rampa para botes estaba fuera del agua.



Las lluvias de la tormenta Erika aumentaron el nivel.

*Desde el 19 de mayo de 2015 la AAA dejó de extraer agua del embalse Cerrillos.

- 14 de julio de 2015- Hubo un afloramiento de algas verdes río arriba, en algunas pozas y en el cauce, debido al poco caudal. Dentro del embalse se encontraron plántulas de Jacinto las cuales fueron removidas.

AGRICULTURA

Al 21 de julio del 2015, los agricultores en los municipios de Lares y Utuado no reportaron pérdidas. A continuación, un resumen de los datos de la información provista por el Departamento de Agricultura (DA).

Región	Pérdidas (\$)	Sectores afectados
Caguas	2,684,324.00	Plátanos, Ganado, Pasto/Forraje, Ñame, Ají, Recao, Calabaza, Habichuelas verdes.
Naranjito	2,187,587.00	Café, Apio, Calabaza, Habichuelas, Jengibre, Plátanos, Pasto/Forraje, Chayote, Papaya, Ají, Yautía, Ñame, Yuca, Cilantrillo, Recao, Melón Sandía, Pepinillo, Batata, Ganado, Berenjena, Malanga, Guineo,
San Germán	17,800.00	Pasto/Forraje, Ganado.
Arecibo	5,303,252.00	Pasto/Forraje, Plátanos, Grama, Ají
Mayagüez	258,636.00	Pasto/Forraje, Batata.
Ponce	1,673,958.00	Ganado, Pasto/Forraje, Cilantrillo, Calabaza, Ají, Aguacate, Plátanos, Guineo, Berenjena, Melón sandía, Habichuelas.

Al 4 de agosto de 2015, el DA informó que la sequía tuvo un costo 14 millones de dólares para atender el impacto de la sequía en la agricultura; un promedio de \$2 millones a la semana. Los renglones más afectados por la sequía fueron el de pastos mejorados, que sobrepasan de 3.6 millones de dólares, seguido de pérdida de peso del ganado con 700 mil dólares.

Productos vegetales - Fue la región más afectada, con pérdidas estimadas en \$5,303,252 debido a que en este municipio se encuentra una de las compañías de grama más grande de Puerto Rico, Gramas Lindas. Los sectores más afectados, dejando fuera el caso de Gramas Lindas, lo fueron los pastos mejorados y farináceos. La gran mayoría de las fincas del municipio de Barranquitas se afectaron considerablemente. En esta zona los cultivos dependen de la lluvia, ya que no cuentan con sistemas de riego.

Productores de farináceos (ej. el plátano), debido a lo seco que estaba el suelo no se pudieron sembrar. Los dos suplidores grandes de productos agrícolas como Costa Rica y República Dominicana, también se encontraban en sequía. Por lo tanto, se mantuvo la merma del envío de sus productos a la Isla. Aunado a esto, en República Dominicana tenían el problema de la mosca frutera, por lo que se restringió la entrada de productos procedentes de Republica Dominicana en Puerto Rico. El municipio de Yabucoa tuvo una crisis fuerte en la siembra del plátano, donde el 70% de los agricultores de plátano perdieron sus cosechas. Se estimaba que el plátano podía subir su precio de 60 a 70 centavos por plátano a nivel de finca, con precios en los supermercados de \$1.00 a \$1.25 dólares.

Productos de carne - El principal suplidor de carne en Puerto Rico es el estado de California, y al también encontrarse en sequía, causó que los precios de la carne importada aumentaran, siendo más costosa que la producida en Puerto Rico.

Otros productos - El semillero de la finca Monte Rey, ubicada en el municipio de Dorado, suplidor de los agricultores, no estaba produciendo a consecuencia de la sequía. Para este mismo municipio se reportó la pérdida de la cosecha de 2 cuerdas de ñame por sequía.

Como respuesta al impacto de la sequía en la agricultura el Gobernador aprobó la asignación de medio millón de dólares para pastos mejorados a los municipios que están en sequía extrema y severa. De igual manera, se realizó una reunión el jueves, 6 de agosto del 2015 con los agricultores y ganaderos del área en el municipio de Coamo con la Secretaria del DA, personal del NRCS y personal del USDA-Farm Service Agency (FSA) para comunicar y orientar sobre los programas de asistencias en caso de desastre. Esta reunión se realizó también en el municipio de Caguas con la asistencia de 100 agricultores y ganaderos.

El Departamento de Agricultura reportó lo siguiente:

- Un total de 133,211 cabezas de ganado vacuno y 5,995 de pequeños rumiantes estuvieron expuestos a condiciones de sequía severa y extrema, lo que resultó en la reducción en la producción de leche y una baja significativa en el peso del ganado. La escasez de agua provocó un aumento en costo de los suplementos alimenticios para el ganado.
- Unas 93,521 cuerdas de pastos se encontraban en área de sequía severa y extrema (De un total de 219,533 de cuerdas con pastos en la Isla).
- De mayo a junio, miles de cuerdas fueron impactadas por 1,400 fuegos más que en años anteriores. Normalmente los fuegos forestales se daban en la zona del suroeste de Puerto Rico, para el 2015 se extendieron hacia el norte central de la Isla. El fuego que ocurrió en Gurabo, afectó la estación experimental agrícola (Reserva Agrícola de 508 cuerdas).
- Pérdida de productos por deshidratación de las plantas.
- Debido a lo seco y árido que estaba el terreno, se atrasó la siembra de semillas. Esto conllevó a que no se desarrollan las plantas ni los frutos de éstas, lo que resultó en que algunos alimentos escasearan para finales de 2015 e inicios del 2016.
- Aumentaron los costos de los sistemas de riego.
- Las pérdidas estimadas por la sequía fueron de alrededor de 14 millones de dólares. Los renglones que más se afectaron por la sequía fueron, en orden de severidad: Grama; Pasto/Forraje; Plátanos; Ganado; Recao; Ñame; Cilantrillo; Aguacate; Yautía; Calabaza; Apio; Ají; Guineos y Jengibre. A nivel regional, los municipios más afectados en términos de porcentaje fueron los siguiente: Arecibo (38%); Caguas (23%); Ponce (21%); Naranjito (16%) y Mayagüez (2%).

El DA expidió varios documentos oficiales para atender la sequía. Estos son: 1) Orden Administrativa Núm. 2015-018 de la Secretaria del Departamento de Agricultura de

Puerto Rico, Dra. Myrna Comas Pagan; 2) Carta del Secretario de Agricultura del Departamento de Agricultura de Estados Unidos, Thomas J. Vilsack; 3) Orden Ejecutiva Núm. OE-2015-025 del Gobernador de Puerto Rico, Hon. Alejandro García Padilla y 4) Orden Administrativa Núm. 2015-020 de la Secretaria del Departamento de Agricultura de Puerto Rico, Dra. Myrna Comas Pagan. La Orden Administrativa 2015-20 se trató de una asignación de \$500,000 para ayudar a los ganaderos con los costos de proveer alimentos al ganado lechero, de carne y pequeños rumiantes ubicados en los municipios bajo clasificación de sequía severa, sequía extrema y sequía excepcional. Esta consistió en un reembolso del 50% del costo del alimento concentrado hasta máximo de 10% por quintal a lo que sea menor y hasta un máximo de 200 animales adultos para ganado vacuno (6 meses o más); un quintal de alimento concentrado por cada dos cabezas de ganado vacuno. En el caso de los pequeños rumiantes, el incentivo fue para un máximo de 120 animales, y por cada tres pequeños rumiantes un quintal de alimento concentrado. Información provista por el Departamento de Agricultura de Puerto Rico.

INCENDIOS FORESTALES

La cantidad de incendios forestales registrados en Puerto Rico en el 2015 fue mayor que los registrados en el 2014 pero menor que los registrados para el 2013. En los tres años, la mayor cantidad de incendios se registró entre los meses de enero a marzo para el 2013 y 2014 (Ilustración 30-A). Mientras que para el 2015, la mayor cantidad de incendios se registró entre los meses de marzo, abril y mayo. Los distritos más afectados por incendios forestales fueron Caguas, Humacao, Barceloneta y Guayama (Ilustración 30-B).

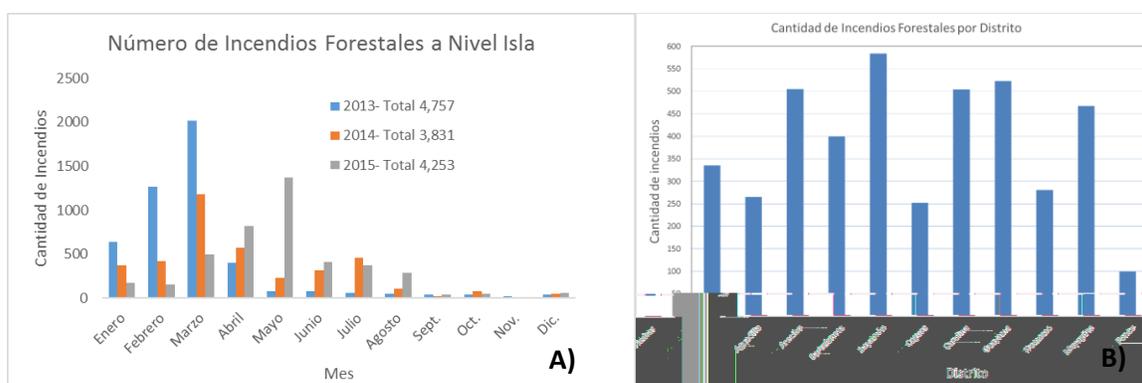


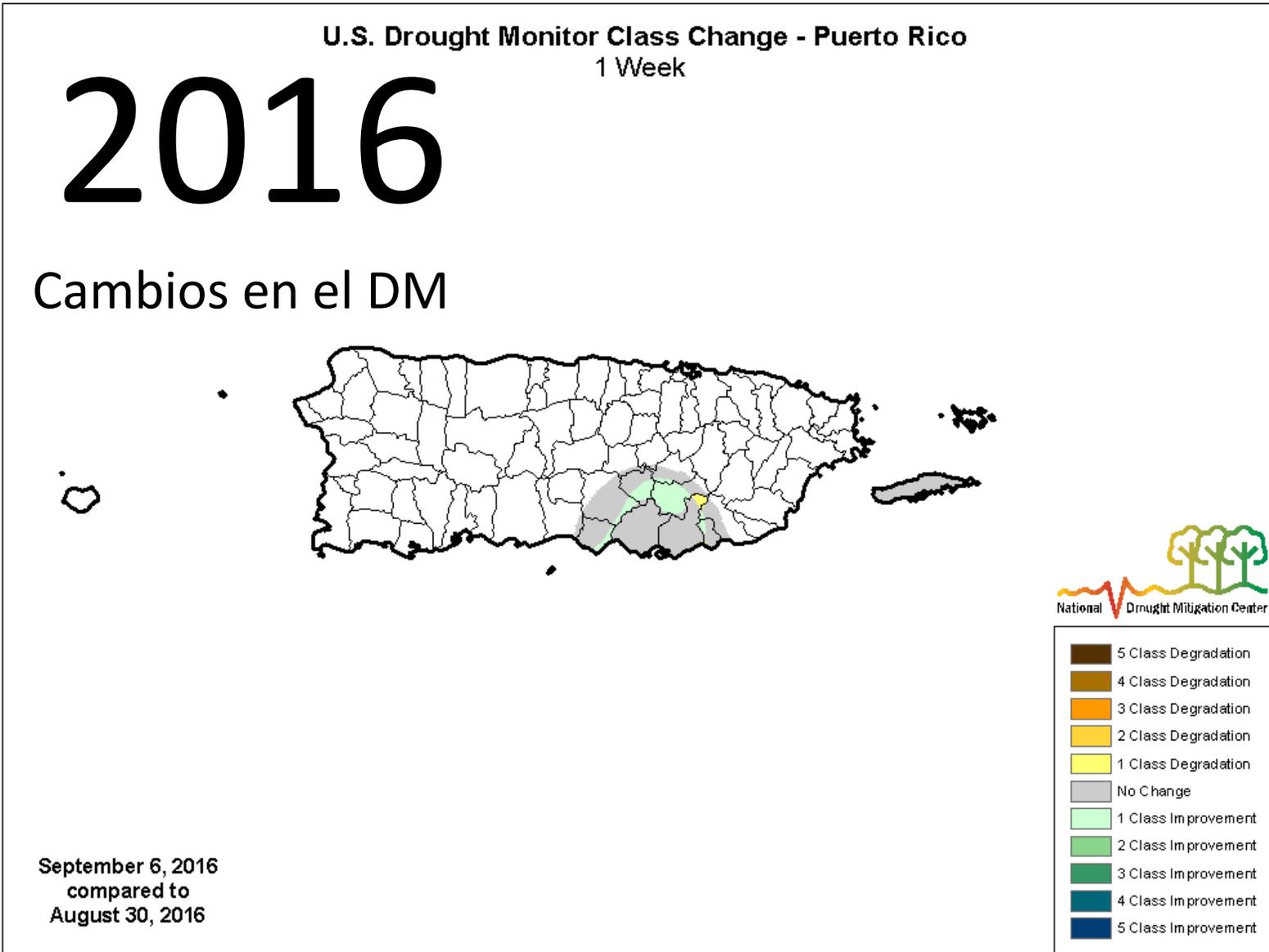
Ilustración 30. A) Incendios forestales en Puerto Rico, desde el 2013 hasta el 2015 y B) Cantidad de incendios forestales por distritos. Datos provistos por el Cuerpo de Bomberos de Puerto Rico.

ESTRATEGIAS PARA GARANTIZAR LA DISTRIBUCIÓN DEL AGUA PARA CONSUMO

La AAA realizó una serie de medidas para maximizar el uso del agua y lograr su distribución en los sectores más afectados. A la fecha del 15 de septiembre de 2015, la AAA informó que se habían gastado alrededor de 48 a 50 millones de dólares, con gasto aproximado de 10 millones de dólares mensuales.

Entre las medidas implantadas se incluyen las siguientes:

- a) **Racionamiento de agua:** Se estableció un plan de racionamiento para las áreas que se suplen del embalse Carraízo, del embalse La Plata y el acuífero del Sur en Santa Isabel, Coamo y Salinas.
- b) **Sistema de recirculación** para el lavado de los filtros.
- c) **Alternación de la fuente de abasto:** en la región de Ponce, una vez bajaron los niveles en el embalse Cerrillos, se utilizó el agua del embalse Toa Vaca para minimizar los impactos en la vida acuática del refugio de Vida Silvestre de Embalse Cerrillos.
- d) **Oasis:** Se tiene récord de que se colocaron oasis en los municipios de Loíza, Bayamón, Toa Baja, Toa Alta, Cataño, Carolina, Río Piedras para la preparación de aquellos sectores de importancia social y económica del país a dichos eventos (hospitales, centros correccionales, centros de envejecientes, escuelas públicas y privadas, hoteles, etc.).
- e) **Combinar las extracciones de los pozos con las extracciones de los embalses.** Se identificaron 27 pozos en la zona norte para suplir agua a los municipios de la región norte y metropolitana, los cuales fueron evaluados por el Departamento de Salud para garantizar la potabilidad del agua. La AAA indicó que seguirá operando el sistema de abasto de agua combinando el agua que proveen los pozos junto con el agua que suplen los embalses, aun en periodos en que no hay sequía.
- f) **Rehabilitación de los tanques de almacenamiento y rehabilitación de las líneas de distribución** (ej. Tanque para almacenar agua de Toa Vaca).
- g) **Limpieza de exclusas.**
- h) **Construcción de tomas flotantes** en los embalses de Patillas y Carite.
- i) **Remoción de orilla de los sedimentos en los embalses La Plata, Loíza y Cidra.** Se removieron 260,000m³ de sedimentos en el embalse La Plata; 15,000m³ del embalse Carraízo y 20,000m³ del embalse de Cidra.
- j) **Acuerdos con la AEE** para limpiar los sistemas de túneles (en desuso) que conectan los embalses Dos Bocas y Caonillas con Pellejas, Adjuntas, Viví y Jordán para asegurar el rendimiento seguro para la toma del Superacueducto. También era necesario realizar una evaluación de la condición de las tomas y las entradas a los túneles y la modificación de estas tomas.
- k) **Modificaciones en la operación de los embalses:** Se redujo la producción en la Planta de Sergio Cuevas de 80MGD a 63MGD. También se cerraban válvulas de noche.



<http://droughtmonitor.unl.edu>

LLUVIA REGISTRADA PARA EL 2016

El año inició con un déficit de lluvia en la región costera de toda la isla el cual era más intenso en la zona noreste. A corto mediano y largo plazo, para el mes de mayo ya se perfilaba una mejoría en el déficit de lluvia a través de la isla, en gran medida debido a que los eventos de lluvia que típicamente se observan para los meses de abril y mayo ocurrieron. Para el mes de mayo 2016 se observaban áreas donde el déficit de lluvia era de hasta 20 pulgadas, y persistía, particularmente en algunos parchos de las regiones norte, sur, centro y este de Puerto Rico (Ilustración 31-A). Ya para el mes de julio se pronosticaba que el evento de sequía estaba en proceso de concluir para la mayor parte del país. No obstante, todavía se registraban déficits de lluvia en algunos sectores de la isla. Las condiciones de sequía continuaban manifestándose en Puerto Rico, especialmente en la zona sureste de la isla y unos pequeños parchos del este noreste. Los embalses se encuentran en buen estado, con excepción del embalse Toa Vaca. Las proyecciones climatológicas apuntaban a precipitación normal a levemente sobre lo normal.

Para el 31 de agosto de 2016, la mayor cantidad de lluvia observada se concentró al oeste de Puerto Rico, donde se registraron hasta 20 pulgadas de lluvia acumulada (Ilustración 31-B). Otras áreas donde se reportó mucha lluvia es en la zona del Bosque Nacional del Yunque y en la Sierra de Cayey, donde se registraron hasta un máximo de 15 pulgadas de lluvia acumulada. En el resto de la isla la cantidad de lluvia fue menor, entre 1 a 5 pulgadas de lluvia acumulada. Para esta fecha, lo esperado es que haya dos regiones de mayor acumulación de lluvia, un parcho al este (en el Yunque) y otro al oeste (tonalidad roja en el mapa, Ilustración 31-C).

El mapa de “*departure from normal*” ilustra déficit y excesos en la cantidad de lluvia para todo Puerto Rico (Ilustración 31-C). El oeste interior, parte de los llanos del norte y el este han tenido un superávit de lluvia (color rosado en el mapa) mientras que unos parchos pequeños de la isla se mantuvo un déficit de 1 a 8 pulgadas (color amarillo a rojo en el mapa). Las áreas que aún permanecen en déficit son pocas en comparación con lo que se registró durante el 2015.

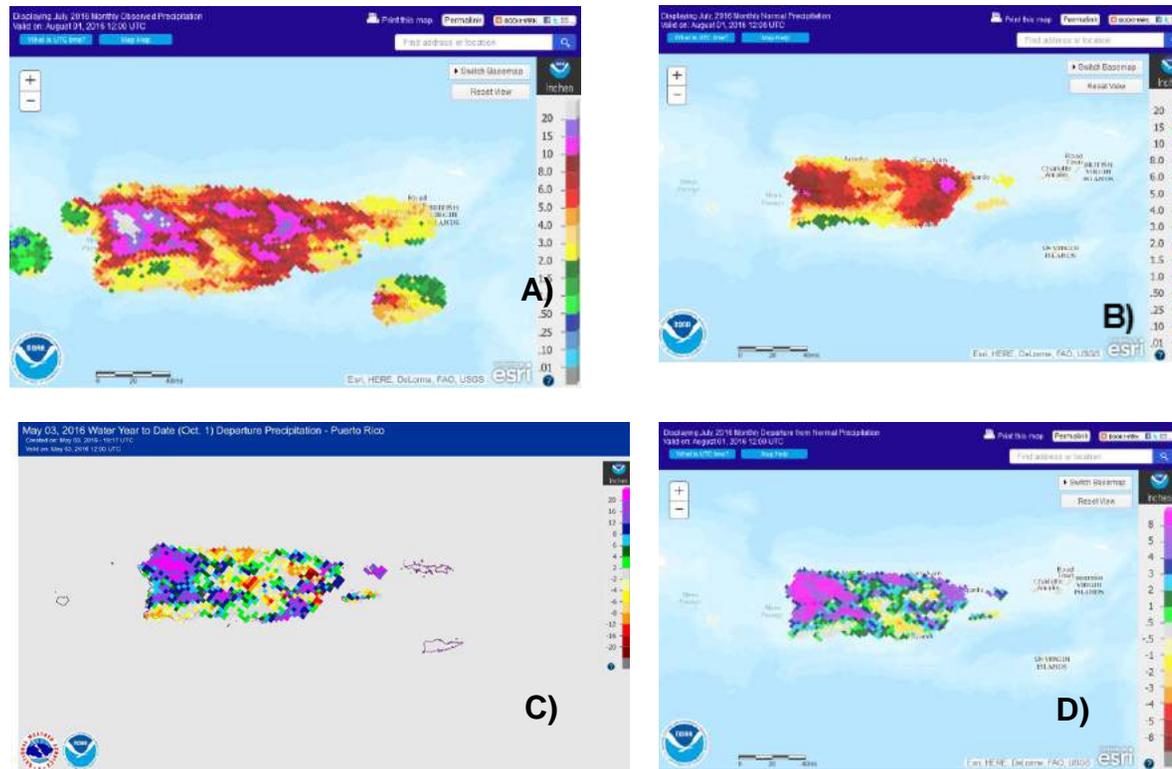


Ilustración 31. Lluvia observada para el 2016. A) Lluvia mensual observada para julio de 2016, B) lluvia normal (*monthly normal*) para el mes de julio de 2016, y C) desviación sobre lo normal (*departure from normal*) para el mes de julio de 2016. Información obtenida de <http://water.weather.gov> utilizando la herramienta de AHPS Precipitation Analysis.

Al primero de noviembre, la cantidad de lluvia observada en toda la isla fue positiva (Ilustración 31-B). Al observar el mapa de “*departure from normal*” las áreas que se mantienen con déficit de lluvia son muy pocas (puntos amarillos, Ilustración 32- B)

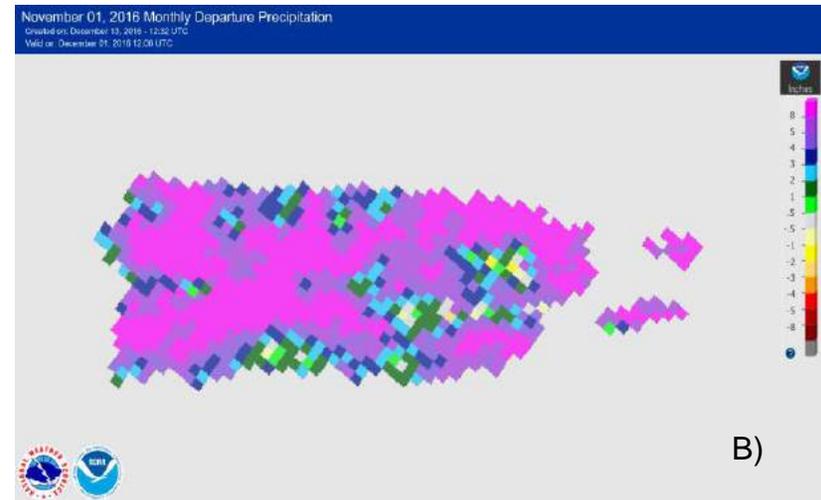
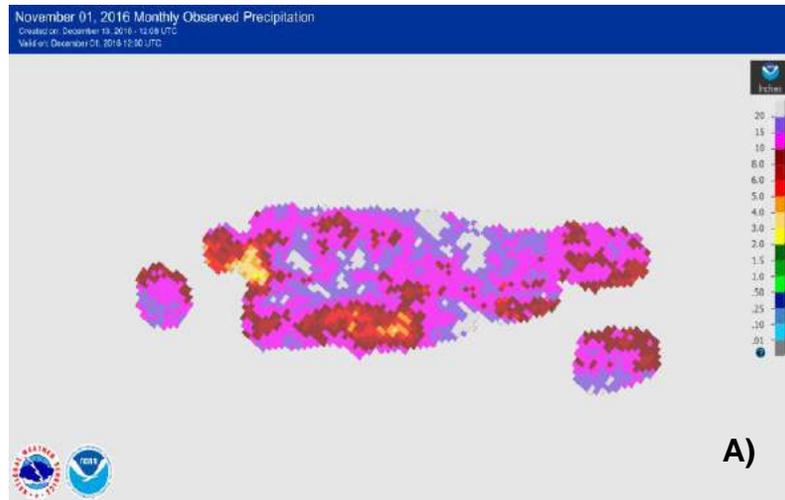


Ilustración 32. A) Lluvia mensual observada al 1 de noviembre de 2016 y B) *departure from normal*.

PRONÓSTICOS ESTADÍSTICO DE LLUVIA PARA LA REGIÓN DEL CARIBE (2016)

El pronóstico de lluvia para la región del Caribe varió durante el 2016. A principios de año, para el área de Puerto Rico, entre los meses de enero a marzo (Ilustración 33-A), los modelos eran inciertos, mostrando la región de Puerto Rico en blanco, con probabilidad de lluvia similar de lluvia bajo lo normal, normal y sobre lo normal (*equal chances*). Ya para abril, mayo y junio de 2016 (Ilustración 33-B), el pronóstico fue mayormente de condiciones de lluvia sobre lo normal, con un 20% de lluvia bajo lo normal, un 35% de lluvia en lo normal y 45% de condiciones de lluvia sobre lo normal. Para los meses de agosto, septiembre y octubre (Ilustración 33-C), se esperaban que se mantuvieran las condiciones de humedad para Puerto Rico, con un 25% de lluvia bajo lo normal, un 35% de lluvia en lo normal y 40% de condiciones de lluvia sobre lo normal. Para los meses de noviembre, diciembre y enero (Ilustración 33-D), se esperaba que la lluvia sea sobre lo normal, con un 20% de lluvia bajo lo normal, un 35% de lluvia en lo normal y 45% de condiciones de lluvia sobre lo normal, lo que eventualmente ha ocurrido.

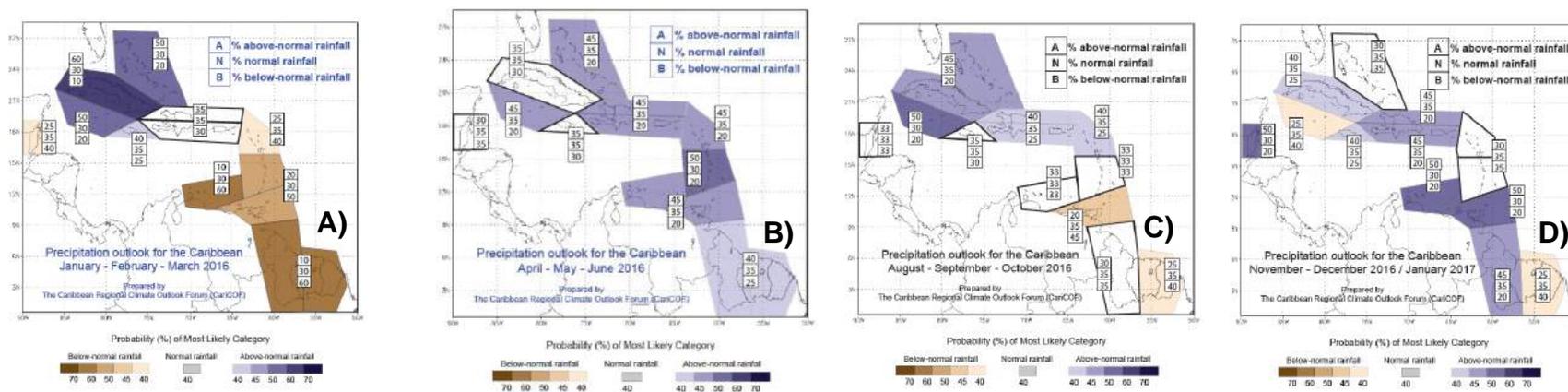


Ilustración 33. Pronósticos de lluvia para el 2016. A) enero a marzo de 2016, B) abril, mayo y junio de 2016, y C) junio, julio y agosto y D) noviembre, diciembre y enero de 2017. Información provista por Caribbean Regional Climate Outlook Forum a través del Servicio Nacional de Meteorología, San Juan Puerto Rico.

Según los modelos sobre El Niño, se esperaba que este se mantuviese positivo durante en los primeros meses de enero y se debilitase durante la primavera del 2016 (Ilustración 34-A). Ya para mediados del 2016, los modelos confirmaban los patrones esperados, reducción en el Niño y la manifestación de condiciones más neutrales o la Niña (Ilustración 34-B).

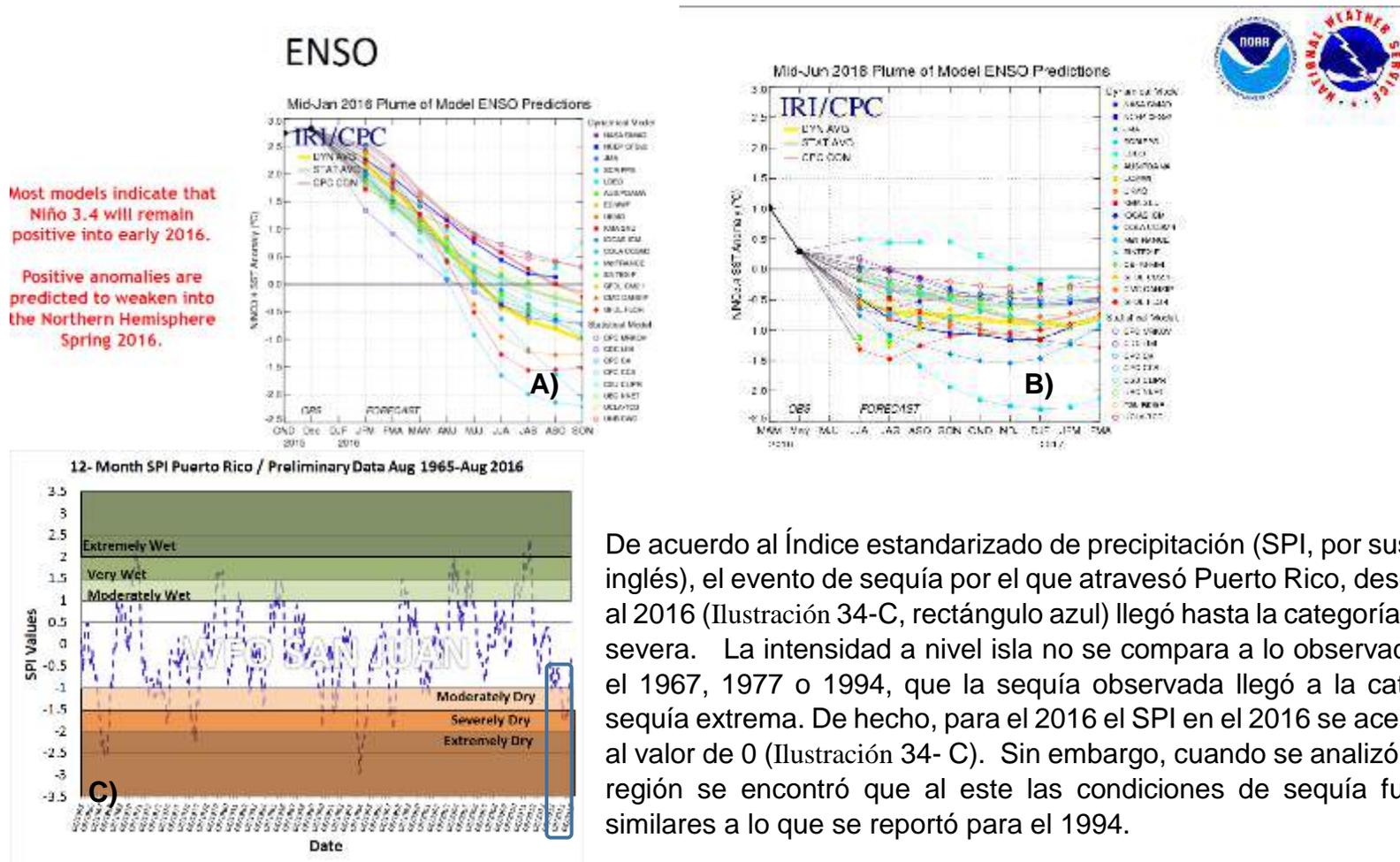


Ilustración 34. A) Modelos del Niño para el 2016, B) y C) índice estandarizado de precipitación para Puerto Rico.

De acuerdo al Índice estandarizado de precipitación (SPI, por sus siglas en inglés), el evento de sequía por el que atravesó Puerto Rico, desde el 2014 al 2016 (Ilustración 34-C, rectángulo azul) llegó hasta la categoría de sequía severa. La intensidad a nivel isla no se compara a lo observado durante el 1967, 1977 o 1994, que la sequía observada llegó a la categoría de sequía extrema. De hecho, para el 2016 el SPI en el 2016 se acerca mucho al valor de 0 (Ilustración 34- C). Sin embargo, cuando se analizó el SPI por región se encontró que al este las condiciones de sequía fueron muy similares a lo que se reportó para el 1994.

PROBABILIDAD CICLÓNICA

Los modelos de predicción sobre cambio climático para el 31 de agosto al 13 de septiembre de 2016, predijeron la formación de tormentas tropicales y lluvia sobre el promedio para la región del Caribe (Ilustración 35). Estas condiciones fueron favorables para reducir el déficit de lluvia que había para Puerto Rico.

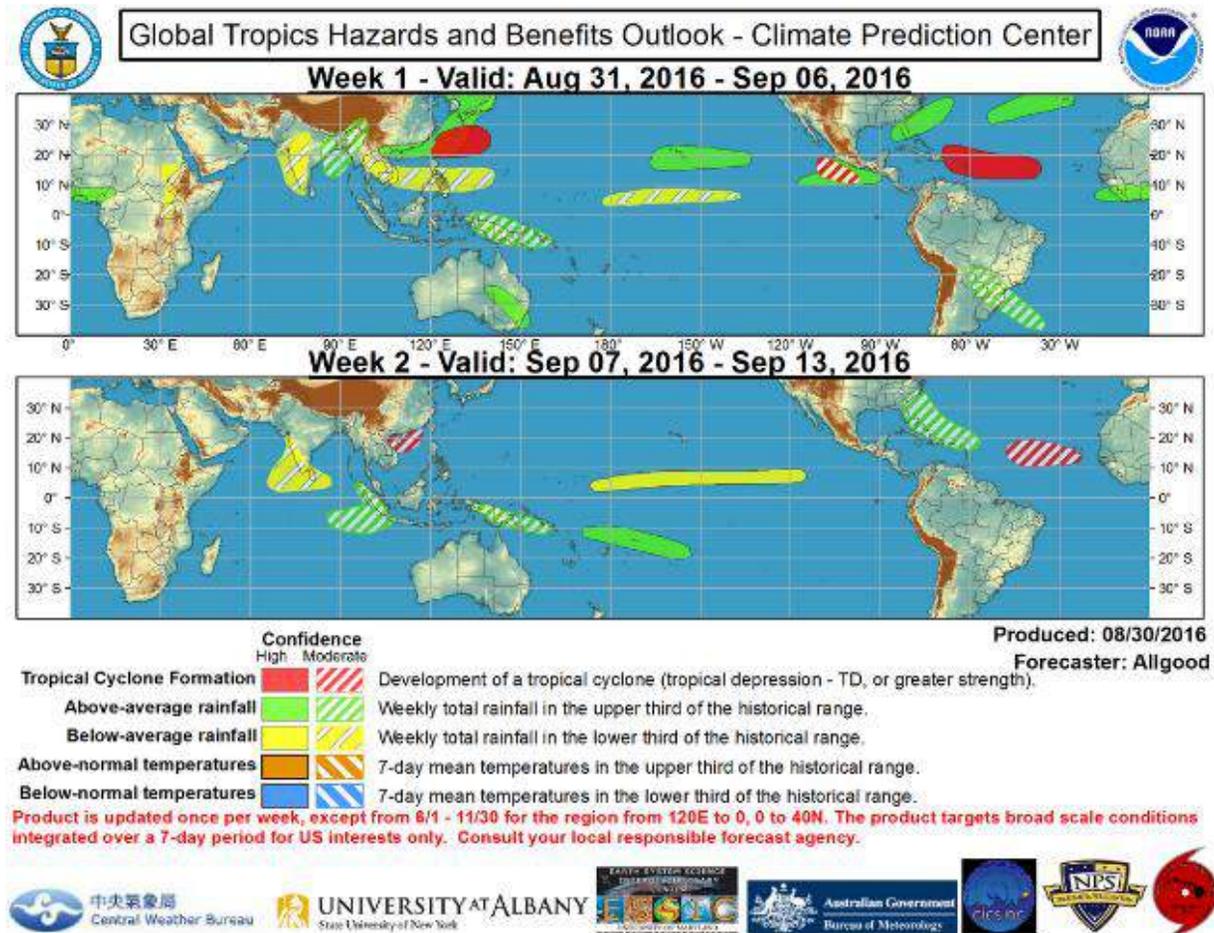


Ilustración 35. Modelos de predicción de cambio climático para el 31 de agosto hasta el 13 de septiembre de 2016.

MONITOR DE SEQUÍA

En el 2016, el DM mostraba a la isla afectada por la sequía, desde sequía atípica a sequía severa particularmente para la región del sur de Puerto Rico. Los municipios de Salinas, Guayama, Arroyo y Cayey estaban afectados por sequía severa. A partir del mes de marzo, se redujo el área afectada por la sequía a 16%. En el mes de mayo se redujo aún más, 25.66%. Para el mes de julio aumentó un poco el área (0.95%), pero no hubo un cambio en la cantidad de municipios afectados. Para el 29 de agosto, solo se mantienen bajo sequía moderada a los municipios de Salinas, Guayama, Cayey, Aibonito, Coamo y Arroyo, lo que representa un 11.20% del territorio de Puerto Rico afectado por sequía. Ya para el 22 de noviembre se declara que esos terrenos manifiestan solo sequía atípica, lo que refleja una mejoría sustancial.

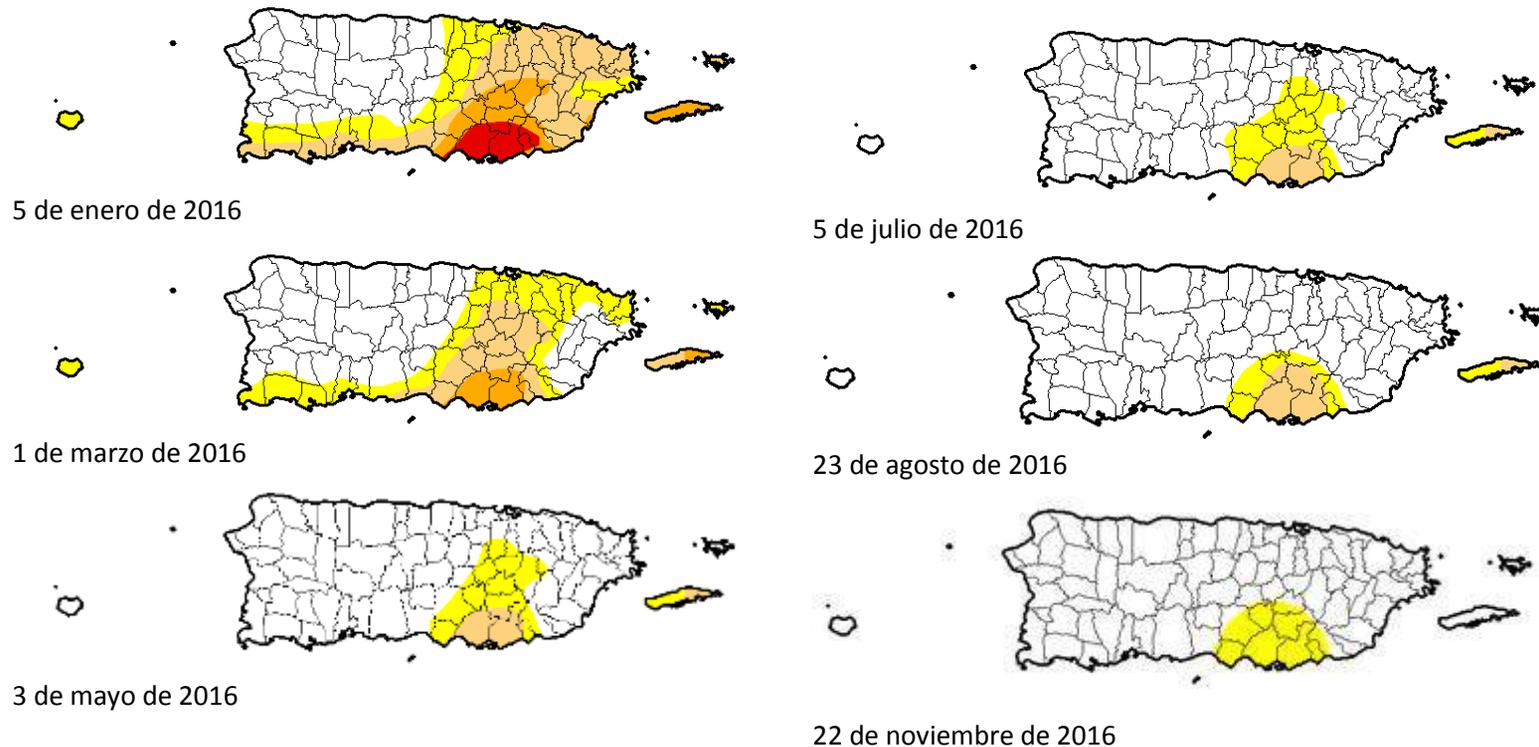


Ilustración 36. Áreas afectadas por el Monitor de Sequía durante el 2016.

Tabla 2. Porcentaje de las áreas afectadas por las diferentes categorías por fechas, según los mapas presentados en la Ilustración 31.

Semana	Cambio	Ninguno	D0	D1	D2	D3	D4
5 de enero de 2016	0	41.00	17.29	27.42	9.37	4.92	0
1 de marzo de 2016	-16	57.00	24.18	13.85	4.97	0	0
3 de mayo de 2016	-25.66	82.66	12.45	4.89	0	0	0
5 de julio de 2016	+0.95	81.71	13.40	4.89	0	0	0
23 de agosto de 2016	-6.19	87.90	5.62	6.48	0	0	0
15 de noviembre de 2016	+1.51	89.41	10.59	0	0	0	0
29 de noviembre de 2016	+10.59	100	0	0	0	0	0

Los municipios de Salinas y Guayama estuvieron afectados por algún tipo de sequía, entre sequía atípica y moderada, a partir desde el 15 de noviembre de 2013. Ya para la fecha del 29 de noviembre de 2016, el Monitor de Sequía eliminó toda la zona que estuvo afectado por sequía (Ilustración 37).

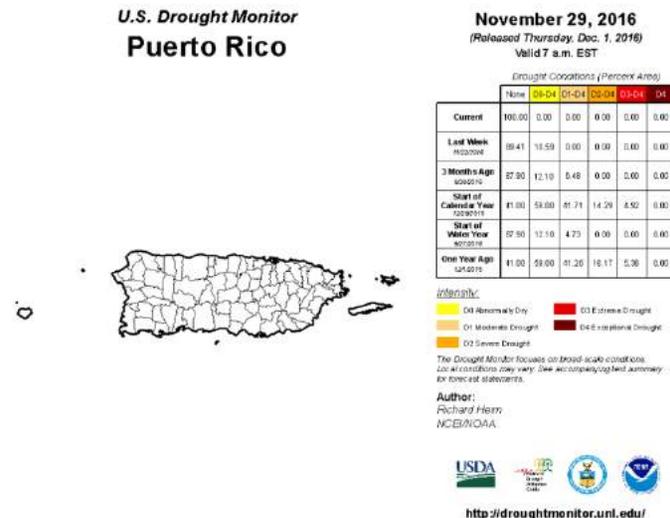


Ilustración 37. Al 29 de noviembre de 2016, ya no quedaban áreas afectadas por sequía.

SUELOS: CAMBIOS EN LA SATURACIÓN DE LOS SUELOS DURANTE EL 2016

La saturación del suelo varió durante el 2016 como respuesta a los cambios en el clima como resultado de la sequía. En los mapas de saturación del suelo, las tonalidades azules son indicativas de alta saturación del suelo, mientras que las rojas indican lo contrario. En enero, la saturación del suelo era baja principalmente en la región del sur. En la región costera del norte la saturación era baja para los municipios de Vega Baja hasta Arecibo. En el mes de marzo, la humedad del suelo también era baja en la región costera tanto del noroeste como para el sur y unos parchos en el interior. Para enero 16, la alta saturación se concentraba en la región este y en el centro montañoso. En marzo 16, se apreció baja saturación del suelo principalmente para región sur de Puerto Rico. Un patrón similar se observó para el mes de mayo. En julio el déficit de saturación de suelo fue más marcado, con dos parchos de humedad uno al este y otro al oeste. Ya para el mes de agosto, el déficit de saturación de los suelos a través de la isla era menor, excepto los municipios del sur, especialmente Santa Isabel, Salinas y Guayama (Ilustración 38).

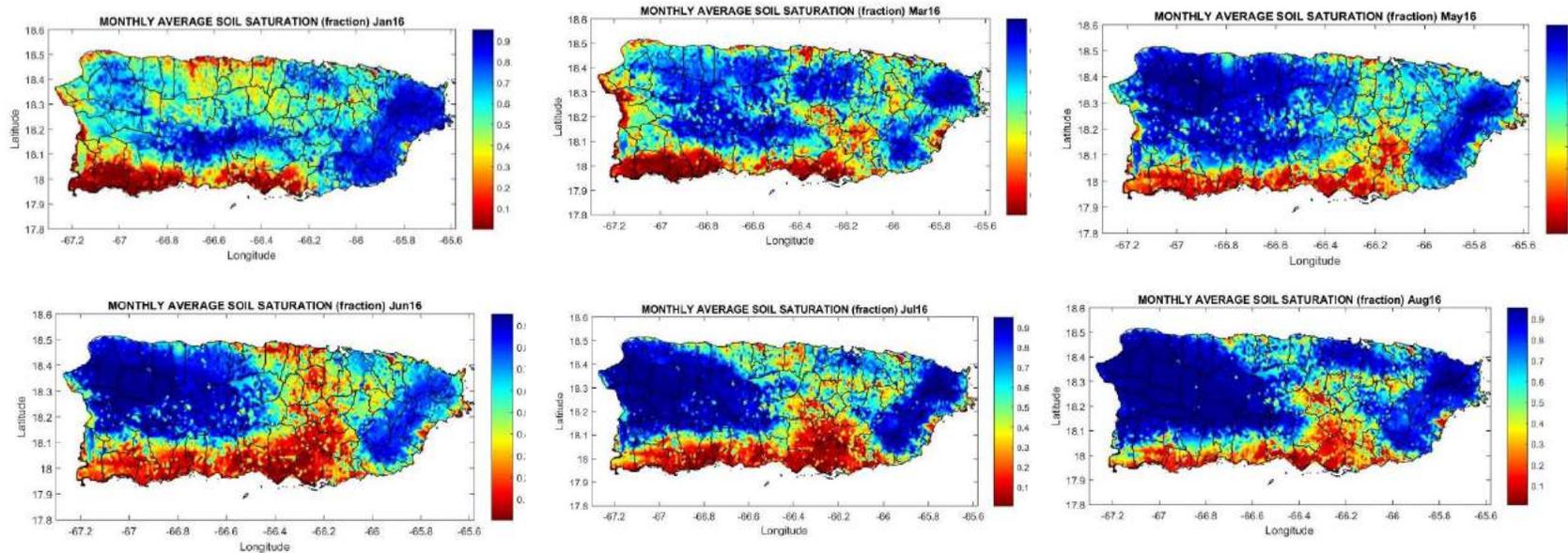


Ilustración 38. Cambios en la saturación del suelo reportados para el 2016. Solo se presentan los meses donde el cambio fue más significativo. Información obtenida de <https://pragwater.com/projects/>

VARIACIONES EN EL ESTRÉS HÍDRICO EN LA TRANSPIRACIÓN DE LAS PLANTAS PARA EL AÑO DE 2016

El estrés hídrico en la transpiración de las plantas varió durante el 2016 como respuesta a la sequía. En los mapas de estrés hídrico en la transpiración de las plantas, las tonalidades azules son indicativos de saturación del suelo alta, mientras que las rojas indican baja saturación del suelo. En enero, el estrés hídrico en la transpiración de las plantas era bajo principalmente en la región del sur. En el mes de marzo era bajo mayormente en varios municipios de la región sur: Guánica, Yauco y parte de Guayanilla, Santa Isabel y Salinas. En mayo, era bajo en casi toda la isla, excepto en la región sur, pero en menor intensidad en comparación con el mes de mayo. Para el mes de julio, había una mayor extensión de las áreas afectadas, concentrado en los municipios de la región sur y parte pequeña de la costa norte (Ilustración 39).

Información obtenida de <https://pragwater.com/projects/>

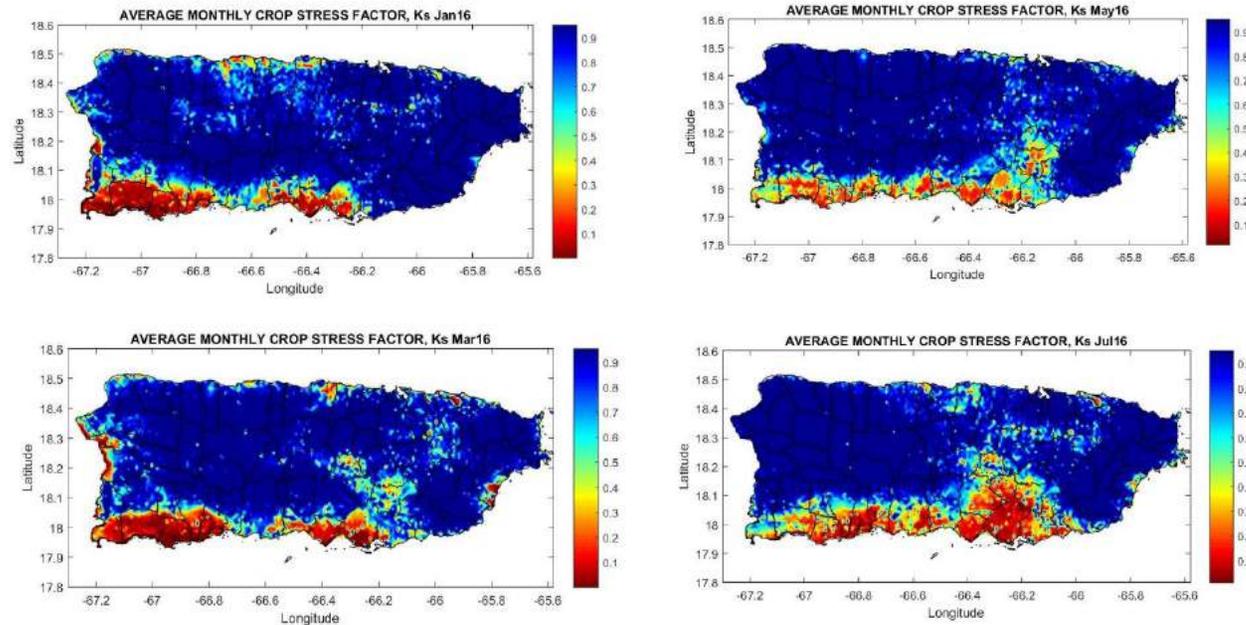


Ilustración 39. Cambios en estrés hídrico reportados para el 2016. Solo se presentan los meses donde el cambio fue más significativo.

EMBALSES

Durante el 2016, los embalses monitoreados se mantuvieron muy cercanos o a nivel de tope en niveles considerados saludables, excepto el embalse Cerrillos, en parte porque la extracción es superior al flujo que se le extrajo diariamente. El comportamiento de Cerrillos fue similar a lo observado durante los años de 2014 y 2015 (Ilustración 40). Al mes de diciembre, todos los embalses ya se encontraban a nivel de tope (se muestra en cada gráfica con una línea de color verde).

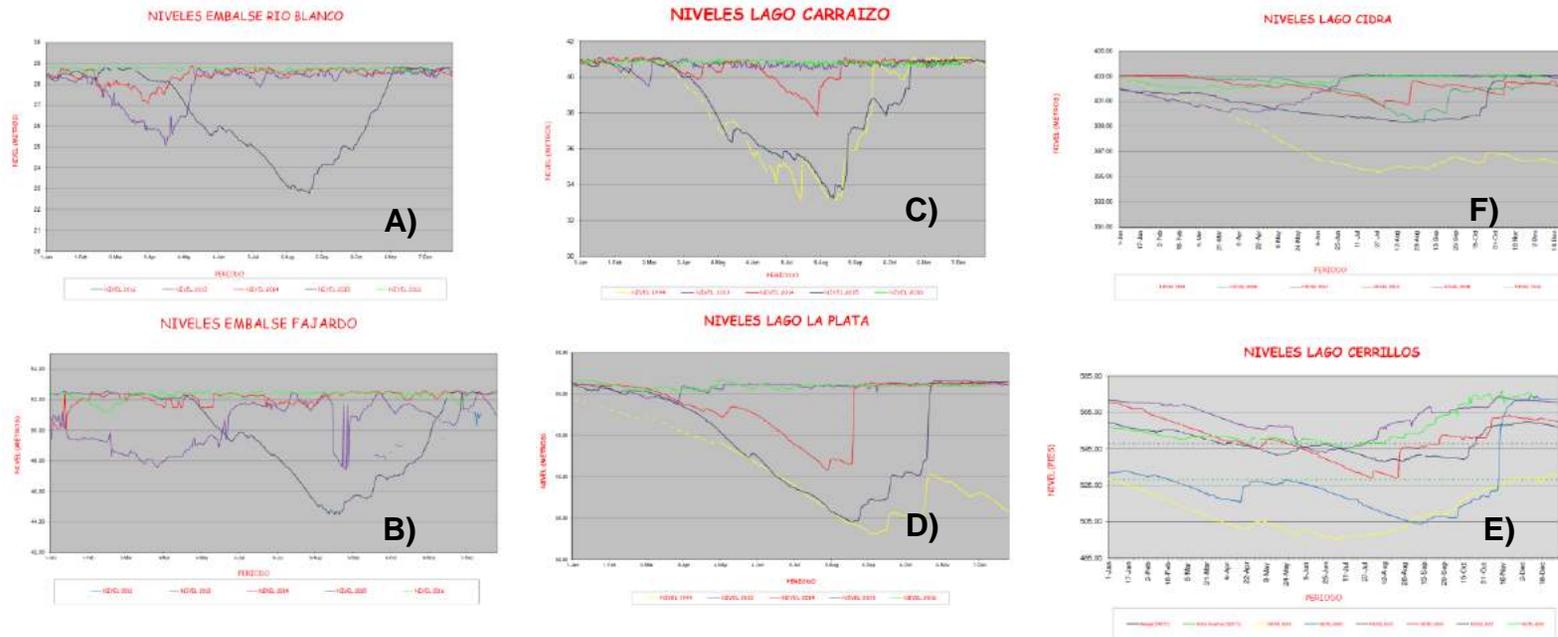


Ilustración 40. Cambios en el nivel de los diferentes embalses: A) río Blanco, B) río Fajardo, C) Loíza (Carraízo), D) La Plata, E) Cidra y F) Cerrillos. Fuente: Centro de Información de Emergencias, AAA.

HERRAMIENTA DE MONITOREO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

La Herramienta de Monitoreo de Cuenca Hidrográficas, al igual que en años anteriores, fue utilizada para evaluar el comportamiento de las cuencas hidrográficas para los diferentes periodos. El color azul es indicativo de que el flujo estuvo sobre lo normal, el color verde es normal y las tonalidades de amarillo a rojo representan condiciones de sequía. Mientras más intenso el color rojo, más está afectada la cuenca por la sequía. Para el 2016, a corto plazo (1 mes), se encontró que el periodo de junio las cuencas hidrográficas se encontraban entre condiciones normales y condiciones atípicamente secas, mayormente para la región central de Puerto Rico (Ilustración 41- A).

Ya entre enero y junio (Ilustración 41-C), aumentan cuencas con condiciones atípicamente secas y moderadas. Ya considerando un plazo de 12 meses, se observa una tendencia marcada a largo plazo donde se aprecia un aumento gradual en las condiciones de sequía a lo largo de la isla, con muchas de las cuencas en condición de sequía severa y excepcional, mayormente para la región central y este de la isla (Ilustración 41- E). Es importante destacar que, durante el 2015, en muchos de los ríos se detectaron niveles históricos de flujo más bajo.

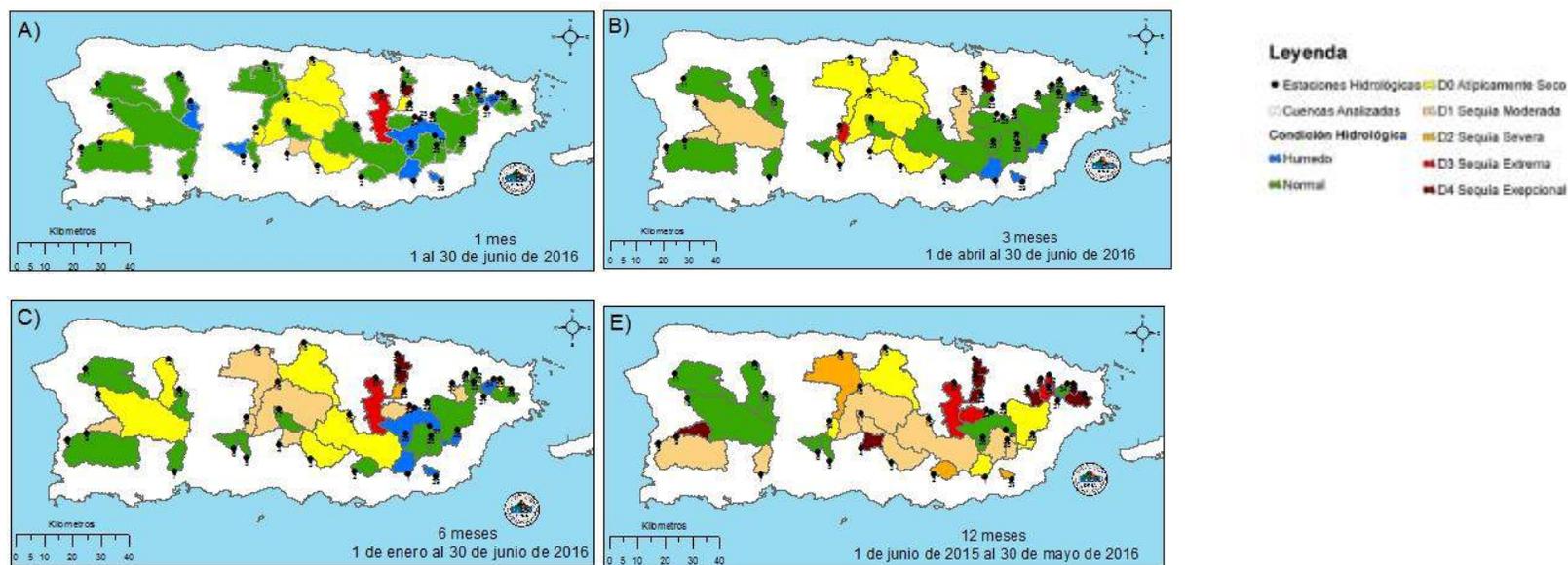


Ilustración 41. Cambios en las condiciones de sequía observados durante el 2016, a corto (1 y 3 meses) y largo plazo (6 y 12 meses). Mapas desarrollados por DMPA-DRNA.

ACUÍFEROS DEL SUR

A la fecha del 13 de septiembre de 2016, el acuífero del Sur, ubicado entre los municipios de Salinas y Guayama mostraba que los niveles se encontraban bajo lo normal o muy por debajo de lo normal (círculos y cuadrados amarillos y rojos, Ilustración 42). El piezómetro en Salinas reportó el nivel histórico más bajo, el 25 de agosto de 2016 ya que se redujo hasta unos -31.38 pies (Ilustración 43). El nivel máximo reportado fue el 23 de julio de 2010, que se encontraba a -2.59 pies.

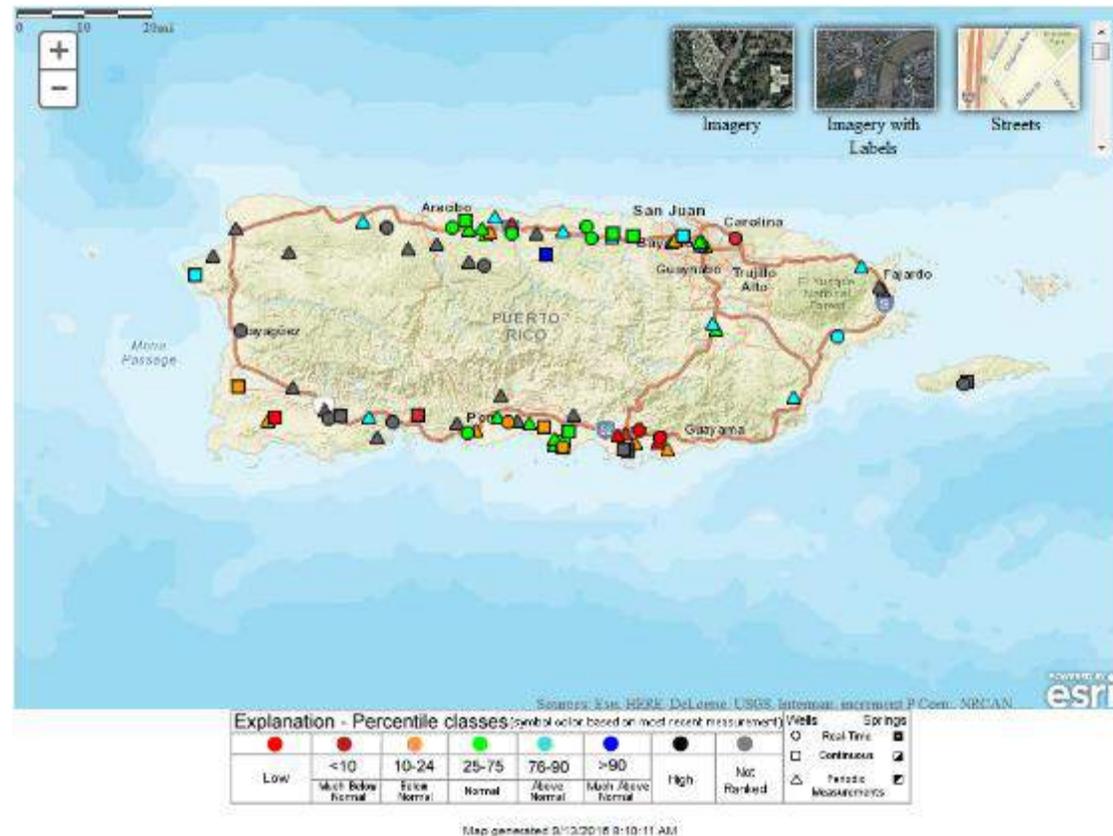


Ilustración 42. Ubicación de pozos a través de Puerto Rico y percentila en la que se encuentra el pozo.

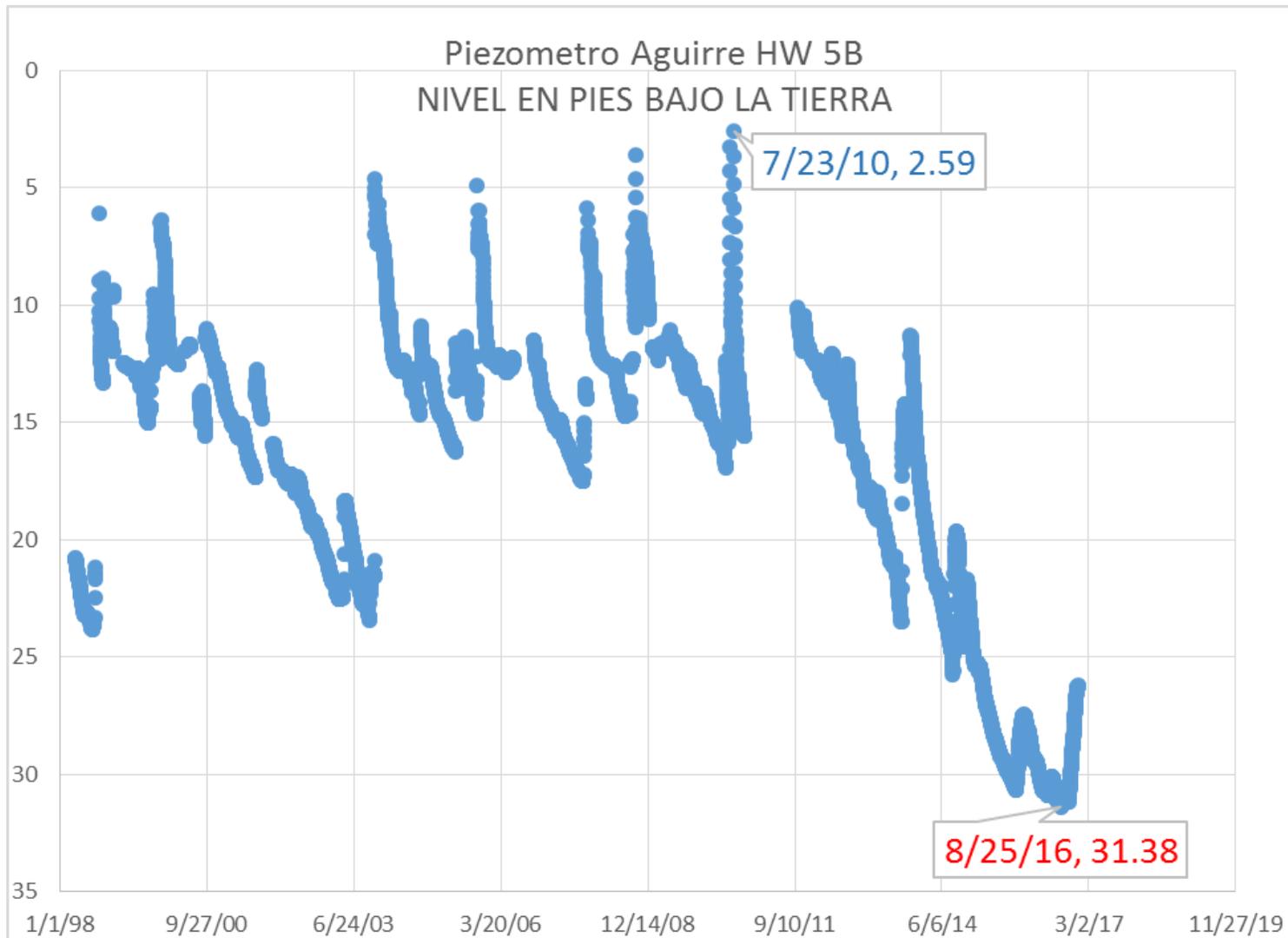


Ilustración 43. Cambios históricos en el nivel del piezómetro de Aguirre HW5B, comenzando en abril de 1998 hasta diciembre de 2016.

AGRICULTURA

Para el 2016, el Departamento de Agricultura no informó datos sobre efectos de la sequía en la agricultura.

ECOLOGÍA

Durante el 2016 la fauna y flora de la zona de los embalses se encontró estable. No se reportaron eventos de mortandad masiva de peces. Se reportaron eventos de afloramiento de algas de menor magnitud a lo observado durante el 2015.

El embalse de Cerillos es el único embalse que presentó una disminución significativa en sus niveles y se vieron leves afloramientos de algas marrones. El cambio en el nivel del embalse resultó en que la rampa para botes en el área recreativa del embalse quedó fuera del agua (Ilustración 44).



Ilustración 44. Rampa del embalse de Cerillos expuesta. Esto tiene impactos en las actividades recreativas en el embalse.

FUEGOS FORESTALES

El Cuerpo de Bomberos informó en la reunión del Comité de agosto de 2016, que, debido a la condición de sequía en el sur, se han iniciado los fuegos forestales en esa zona. El teniente Figueroa del Cuerpo de Bomberos informó además lo siguiente:

- 1) Se observó un aumento significativo en los siniestros.
- 2) Comenzando en enero hasta abril de 2016, se ha reportado siguiente:
 - a) enero 2016: 192 fuegos, 600.77 acres afectados;
 - b) febrero 2016: 242 fuegos, 651.50 acres afectados;
 - c) marzo 2016: 124 fuegos, 392.75 acres afectados;
 - d) abril 2016: 80 fuegos, 190.75 acres afectados.

LOGROS

Ante la reducción en la lluvia y los abastos de agua en varias regiones del país, el Gobierno tomó unas medidas de prevención. Como iniciativa principal estableció un Comité Ejecutivo (CE) para el análisis de los patrones de lluvia y condición de sequía que se manifestaban en Puerto Rico para informar sobre ello al Gobernador y asesorarle sobre las acciones que se deben realizar. El Comité Ejecutivo de Manejo de Sequía está compuesto por los jefes de las siguientes agencias estatales: AMEAD, DRNA, AAA, DA, Cuerpo de Bomberos y AEE. A su vez, el CE nombró un Subcomité Científico (CC) compuesto por personal de agencias estatales, tales como: el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales y la Agencia Estatal para el Manejo de Emergencias y Mitigación de Desastres, quienes son las agencias líderes en este esfuerzo, además de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (AAA), la Autoridad de Energía Eléctrica (AEE), el Departamento de Agricultura (DA), y el Cuerpo de Bomberos. También participa el personal de diferentes agencias federales, tales como: el Servicio Nacional de Meteorología (NWS), Servicio Geológico (USGS), el Servicio Forestal (USFS) y el Servicio para la Conservación de Recursos Naturales (NRCS). Investigadores de la Universidad de Puerto Rico Recintos de Ciencias Médicas, Carolina y Mayagüez y el Servicio de Extensión Agrícola brindan con su conocimiento, experiencias de campo y herramientas desarrolladas. Los comités se reúnen según entienden necesario.

El CC está encargado de estudiar y analizar toda la información disponible sobre las observaciones climatológicas, meteorológicas, hidrológicas y sus efectos en el componente ecológico y socioeconómico del País para la toma de decisiones sobre el manejo de la sequía. La primera reunión del Comité Científico de Sequía se realizó en junio de 2014. En esta primera reunión se presentó la preocupación de que los caudales de varios cuerpos de agua de Puerto Rico mostraban una tendencia consistente de reducción desde el 2012 (Ilustración 45). En estas cuencas, aun cuando llovía, los caudales se reducían rápidamente. Estos patrones se analizaron por cada estación del USGS para identificar las tendencias a sequía. Este fue el paso preliminar para el desarrollo de la Herramienta de Monitoreo de Condiciones Hidrológicas, descrita más adelante.

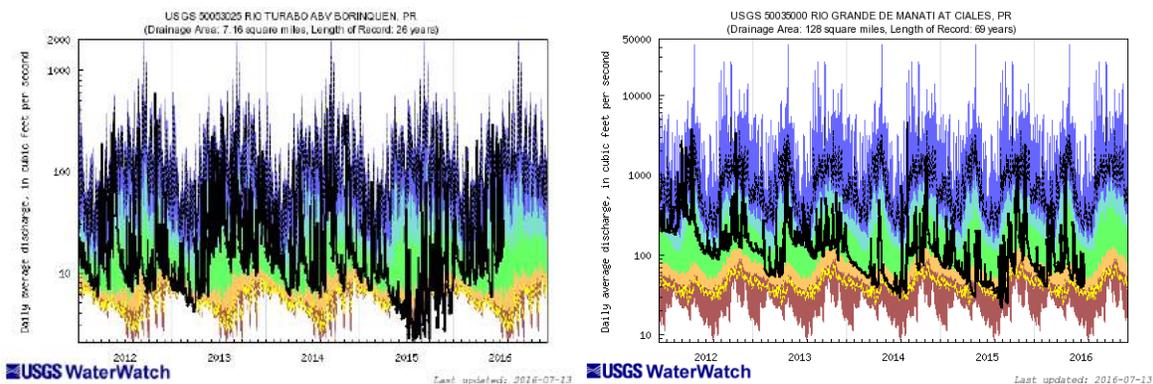


Ilustración 45. Caudal registrado en el río Turabo, desde el 1^{ro} de enero de 2012 hasta 1^{ro} de julio de 2016 (izquierda) y en el río Grande Manatí en Ciales, desde el 1^{ro} de enero de 2012 hasta 1^{ro} de julio de 2016 (derecha).

Orden Ejecutiva

Una de las primeras recomendaciones del CC al Comité Ejecutivo fue la emisión de una Orden Ejecutiva declarando una “*Emergencia por sequía*” el jueves, 10 de julio de 2014. Para esta fecha, el Monitor de Sequía de los EEUU clasificó 12 municipios bajo la condición de sequía moderada (D1, Ilustración 46). Otros 35 municipios fueron clasificados bajo la condición de atípicamente seco (D0), los cuales más tarde aumentaron a 39, para un total de 51 municipios afectados por las diferentes condiciones de sequía. El DRNA como agencia responsable ministerialmente del manejo de los recursos hídricos de la Isla y agencia líder del CC, recomendó la declaratoria de emergencia por sequía al Gobernador. Luego de declararse la emergencia, la AEMEAD fue designada como la agencia encargada de diseñar la estrategia interagencial y multisectorial para atender la emergencia.

Municipios de Puerto Rico afectados por sequía



Ilustración 46. Municipios afectados por la sequía, según identificado por el Monitor de Sequía para el 10 de julio de 2014 (USDM, por sus siglas en inglés).

Primera Conferencia de Sequía

El DRNA coordinó la primera Conferencia de Sequía, celebrada durante el 24 y 25 de abril de 2015 en la Universidad Metropolitana. En ésta participaron 14 deponentes, quienes presentaron una diversidad de temas sobre diferentes aspectos de la sequía. Estos fueron: Israel Matos Mercado, Edwin Almodovar, Alejandro Silva Huyke, Gregory Morris PhD, Alberto M. Lázaro Castro, Odalys Martínez, Félix Aponte González PhD, Pablo Méndez Lázaro PhD, Ricardo Colón Rivera PhD y Sofía Burgos Caraballo PhD. De Estados Unidos se invitó a Norman Miller PhD de la Universidad de California en Sierra Nevada y James Emery PhD. El Dr. Miller presentó una breve perspectiva sobre cambio climático y el agua, sus efectos en California y detalles sobre sus trabajos de modelaje. El Dr. Emery habló sobre como el desarrollo de los recursos subterráneos juegan un rol en el futuro de Puerto Rico y como pueden manejarse durante periodos de sequía como fuente de abasto, las ventajas de su uso y técnicas exitosas utilizadas para el desarrollo de las aguas subterráneas. En esta reunión participaron un total de 125 personas el primer día y 96 personas el segundo día. Las ponencias presentadas fueron grabadas y transcritas y se encuentran disponibles en el portal del DRNA.

Protocolo para el Manejo de la Sequía en Puerto Rico

Durante la primera Conferencia de Sequía, el Comité Ejecutivo de Manejo de Sequía firmó el *Protocolo para el Manejo de la Sequía en Puerto Rico*. El Protocolo surge como respuesta inicial ante la sequía observada durante el 2014, en miras de guiar los esfuerzos interagenciales para el monitoreo y coordinación de acciones ante los eventos de sequía. El objetivo del Protocolo es establecer los pasos a seguir por los diferentes recursos del Gobierno de Puerto Rico para estructurar la respuesta adecuada y el manejo de la información pertinente de acuerdo a la necesidad ante sequía. Este protocolo atiende dos grandes áreas de trabajo: (1) el Manejo de Sequía y (2) Fases de Acción. Este protocolo debe ser revisado y fortalecido a raíz de la experiencia e información científica y técnica disponible.

El *Protocolo para el Manejo de la Sequía en Puerto Rico* establece las fases de acción, establecidas de acuerdo a lo que reporta el Monitor de Sequía Federal (Tabla 1). El CC hace la recomendación al CE sobre la culminación de las condiciones de sequía para Puerto Rico. El Secretario del DRNA utiliza la información para recomendar al Gobernador declarar el fin de la sequía, a tenor con las disposiciones de la Ley de Aguas de Puerto Rico. La Junta de Planificación en conjunto con el Instituto Nacional de Estadísticas con apoyo del Comité Ejecutivo realizará un informe para identificar el impacto económico del evento de sequía, a ser entregado a la Oficina del Gobernador y jefes de las dependencias del Ejecutivo, 60 días luego de la declaración del fin de la sequía.

Tabla 3. Fases de Acción establecidas en el Protocolo para el Manejo de la Sequía en Puerto Rico.

FASES	CATEGORÍAS DEL MONITOR DE SEQUÍA	ACCIONES
Vigilancia	D-0; D-1	Atípicamente seco, sequía moderada
Aviso de Estado de Sequía	D-1; D-2	Sequía moderada, Sequía severa
Aviso de Sequía Extrema	D-3; D-4	Sequía extrema, Sequía Excepcional

Mecanismos de compilación y transferencia de información

Durante la sequía de 2014-16 se desarrollaron dos mecanismos para mejorar la capacidad de compilación y transferencia de información durante las reuniones del CC, la Herramienta de Monitoreo de Aguas Superficiales en Cuencas Principales de Puerto Rico y la Caracterización de las Condiciones de Sequía en Reservas y Refugios.

HERRAMIENTA DE MONITOREO DE AGUAS SUPERFICIALES EN CUENCAS PRINCIPALES DE PUERTO RICO

Durante el periodo de sequía, era necesaria la vigilancia preventiva de los recursos hídricos para mitigar los posibles efectos negativos. Aun cuando se contaba con la información del USGS, a nivel de cuenca hidrográfica no se tenía la condición hidrológica para una fecha de interés para ser evaluado. Por otro lado, eventos pasados de sequía (ej. Sequía de los años 1967 y 1994) no estaban representados por el Monitor de Sequía de los Estados Unidos (USDM). Por tal motivo, se desarrolló una herramienta para determinar la condición hidrológica en la que se encuentran algunas de las cuencas principales de Puerto Rico, tomando en cuenta los datos diarios históricos de flujo. Esta permite establecer las tendencias hidrológicas para un rango de periodo determinado de: 1, 3, 6, 9 y 12 meses. A partir de la fecha de interés, se analiza de forma retroactiva el récord histórico de los datos de caudal para algunas de las estaciones de flujo que opera el Servicio Geológico. Además, permite comparar los periodos analizados de un año en particular con las condiciones previamente reportadas para cualquier periodo que esté representado en el récord histórico.

Se utilizaron un total de 39 estaciones de las 88 estaciones hidrológicas con las que cuenta el USGS. Por cada estación, se realizó una depuración de los datos para eliminar aquellos periodos donde no se registraron datos de flujo. El análisis se realizó a partir del primer año con datos continuos de caudal. Para cada día del año, se calculó el flujo promedio por los pasados 1, 3, 6, 9 y 12 meses. Los valores de flujo se organizaron por cada día del año, de acuerdo a los años presentes en el récord histórico, para luego determinar el valor de la percentila a la que correspondía el flujo promedio. El valor de la percentila obtenido para cada periodo se tradujo a una categoría de sequía, llamada sequía hidrológica (SH). Se utilizó como base los rangos de las condiciones hidrológicas establecidos por el USDM, que distinguen los cinco niveles de sequía con su respectivo rango de percentil. Estos son: atípicamente seco, sequía moderada, sequía severa, sequía extrema y sequía excepcional. En adición, se agregaron dos nuevas categorías: condiciones normales y húmedas (Ver Tabla 2). Se utilizaron los colores establecidos por cada categoría de sequía para representar mediante mapas la condición de sequía hidrológica en la que se encontraba cada cuenca, por cada periodo analizado. El producto final es un mapa, donde las cuencas representadas por cada estación están sombreadas con los colores que presentan cada categoría (Ilustración 47).

Tabla 2: Categoría de Condición Hidrológica de las cuencas principales de Puerto Rico. SH hacen referencia a la sequía hidrológica.

Categoría	Descripción	Rango (Percentil)
H	Húmedo	71-100
N	Normal	31-70
SH0	Atípicamente seco	21-30
SH1	Sequía Hidrológica Moderada	11-20
SH2	Sequía Hidrológica Severa	6-10
SH3	Sequía Hidrológica Extrema	3-5
SH4	Sequía Hidrológica Excepcional	0-2

Fuente: Elaborado por OPA (Información obtenida del *National Drought Mitigation Center* para la clasificación y valores de rango de las categorías de sequías).

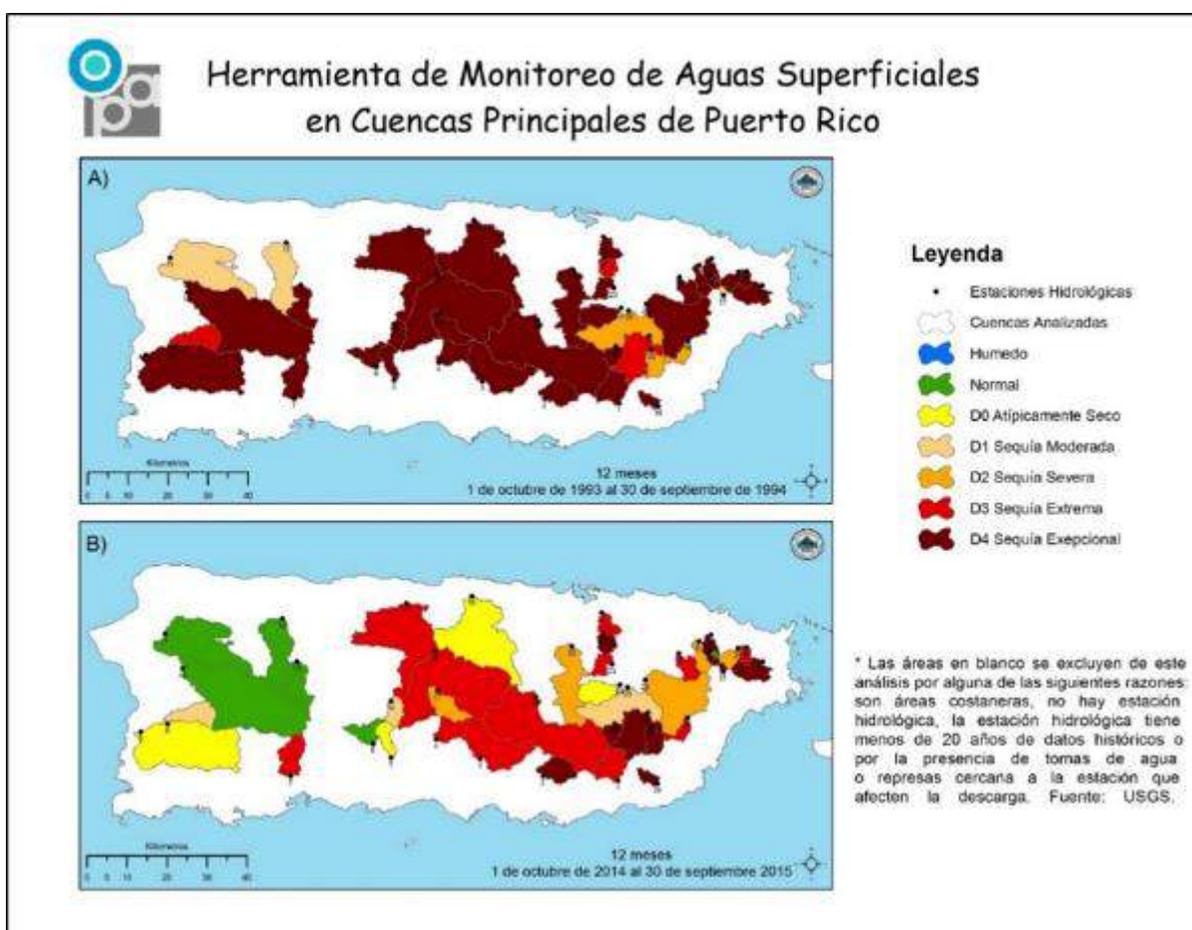


Ilustración 47. Condiciones hidrológicas observadas en Puerto Rico para la sequía del 1994 contrastada con la sequía de 2015.

HERRAMIENTA DE MONITOREO DE LOS EMBALSES

El monitoreo de los embalses se realizó de acuerdo a la frecuencia con la que se realizaban las reuniones del CC. Se creó una plataforma en Excel, que de acuerdo

a los niveles de los embalses que reportaba por el USGS, se determinaba el porcentaje y el volumen de agua disponible en de cada embalse.

En el caso del embalse Cerrillos, se estableció el nivel de 528 pies como nivel de conservación biológico y como criterio para cesar las extracciones de agua del embalse. Personal del Departamento de Vida Silvestre, Pesca y Acuicultura del estado de Mississippi en colaboración con personal del DRNA, establecieron unos límites de extracción de agua del embalse para proteger los recursos acuáticos. Estos niveles son:

Nivel máximo del embalse: 573 pies

Intervalo de operación normal: 573-548 pies

Primer nivel de alerta: 548 pies

Segundo nivel de alerta: 528 pies

Límite de extracción: 510 pies

La metodología utilizada para establecer estos niveles se detalla en el documento titulado “*Cerrillos Reservoir Water Withdrawal Evaluation*”.

En este informe se evaluó el posible efecto de reducción en el nivel del embalse en la población de lobinas establecida en el embalse de Cerrillos. La cepa de estos peces que se ha establecido en el embalse de Cerrillos está bien adaptada al clima de Puerto Rico. Con este ejercicio, se pretendía controlar los efectos de la sequía sobre la población de lobinas, ya que se había reportado que cuando los niveles del embalse se reducen drásticamente, los peces se aglutinan y empiezan a competir por los recursos (espacio y alimentos), por lo que los peces se estresan, poniéndose más delgados. Eventualmente se dan eventos de mortandad masivos que alteran la calidad del agua.

MONITOREO DE LOS ACUÍFEROS

El monitoreo de los efectos de la sequía sobre los Acuíferos de la Costa Sur se realizó de acuerdo a la frecuencia con la que se realizaban las reuniones del CC. Esto responde al hecho de que ya estos acuíferos están en estado crítico debido a la sobreexplotación de éstos. Paralelamente, el Comité Científico recomendó al Departamento completar el proceso de declaración de área crítica de éstos para brindar protección a las aguas subterráneas en éstos.

EL CC evaluaba, inicialmente, los ríos que alimentan los acuíferos del sur, incluyendo los ríos Lapa y Majada, de la cuenca del río Nigua en Salinas y el río Coamo, en Santa Isabel y Coamo. Estos datos se obtuvieron de las estaciones de flujo y del *Mapa a tiempo real de flujo comparado con datos históricos* (Ilustración 48 y 49) provisto por el Servicio Geológico de EU (USGS), el cual se puede acceder en la página <http://pr.water.usgs.gov/infodata/surfacewater.html>.

Thursday, May 14, 2015 08:00ET



Choose a data retrieval option and select a location on the map

- List of all stations
 Single station
 Nearest stations
 Peak flow

Explanation - Percentile classes							
●	●	●	●	●	●	●	○
Low	<10 Much below normal	10-24 Below normal	25-75 Normal	76-90 Above normal	>90 Much above normal	High	Not-ranked

Ilustración 48. Mapa a tiempo real de flujo comparado con datos históricos para mayo de 2015 (Fuente: USGS).

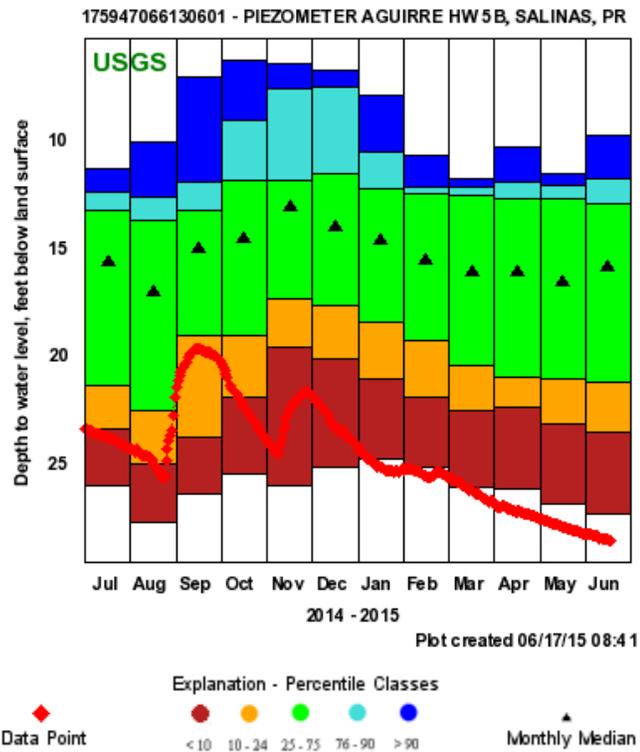


Ilustración 49. Niveles de agua subterránea en el piezómetro de Aguirre, Salinas, PR durante 2014-2015 (Fuente: USGS).

Para el mes de junio 2015 se comenzó a utilizar gráficas provistas por el USGS, en donde se podía apreciar las tendencias de descenso en los acuíferos de la costa sur, esto para los periodos 2014-2015 (Ilustración 50). Además, para dicha fecha el Dr. Eric Harmsen, catedrático en el Departamento de Ingeniería Agrícola la UPR-Mayagüez desarrolló un programa donde se estimó el parámetro de “Acuífer recharge”. Al integrar este parámetro, se logró ilustrar el grado de percolación profunda y la percolación necesaria para recargar los acuíferos a nivel isla. Mediante esta herramienta se pudo confirmar que el agua utilizada en ese momento provenía de almacenamiento y no de la recarga de éstos. A partir de esta información se sugirió implementar un racionamiento para las zonas cuya fuente de abasto eran acuíferos.

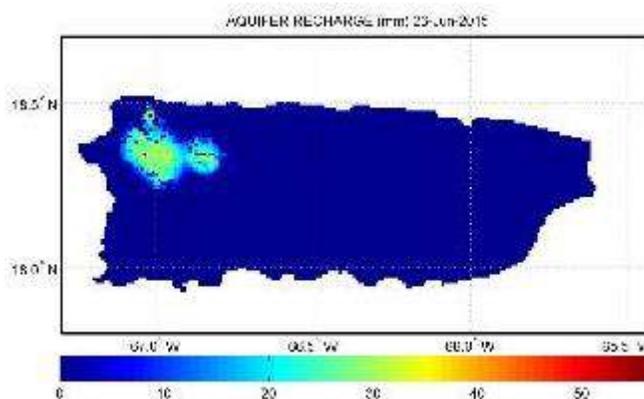


Ilustración 50. Mapa de grado de recarga de los acuíferos. Los colores de la leyenda definen los niveles, las tonalidades de azul intenso reflejan menor recarga. Los valores están en milímetros.

Ya para septiembre de 2015 se establece en la página del DRNA un enlace a la página de la AAA, donde aparece una gráfica sencilla que visualiza el Nivel del Agua Subterránea de los Acuíferos de la Costa Sur, por medios de unos pozos de observación o centinelas que monitorea el USGS (ilustraciones 48, 49 y 51A y 51B). Esta información se actualizaba cada jueves en colaboración con el USGS, hasta que concluyo el plan de racionamiento de la zona. Era de gran utilidad para la vigilancia de los acuíferos, no solo de las agencias, sino de los municipios que estaban en el área afectada. Esta información estaba disponible en el siguiente enlace: <http://www.acueductospr.com/PLANDERACIONAMIENTO/sur.html#acuiferos>, se accede a un mapa interactivo donde identifican las áreas afectadas por el racionamiento.

Ya para el 2016 esta información solo está disponible al público por medio del internet en el portal del USGS (http://pr.water.usgs.gov/drought/hydro_conditions_selected_wells.html). El DRNA continúa con el monitoreo semanal de los acuíferos del sur ya que éstos se dilatan más tiempo en recuperarse que las aguas superficiales. Como se indicó anteriormente, el agua que se está extrayendo de los acuíferos es agua de almacenamiento y que éstos se están sobreexplotando. La Ilustración 51B presenta el comportamiento de los acuíferos del sur durante el periodo del 15 de julio de 2015 hasta el 15 de diciembre de 2016. Como puede observarse en la gráfica la recuperación de los acuíferos no se ha completado, especialmente para el acuífero

de Salinas; por lo que se mantiene la vigilancia de éstos en conformidad con lo estipulado en la Orden Administrativa 2016-18 de 28 de junio de 2016 emitida por el DRNA en la que se declaran en estado crítico estos acuíferos.



Ilustración 51 A). Gráfica del Nivel del Agua subterránea de los Acuíferos de la Costa Sur al 24 de septiembre de 2015. **B)** Gráfica de los niveles en los pozos centinelas de los acuíferos del sur hasta diciembre 2016.

CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DE SEQUÍA EN LAS RESERVAS Y REFUGIOS

En las reuniones del CC se determinó que era necesario establecer una metodología estandarizada que permita determinar cómo se afectan las reservas y refugios por la sequía. Para esto se creó un índice, en base a diferentes parámetros y ajustado para refugios de vida silvestre con cuerpos de agua, como es el caso de La Plata, Cerrillos y Guajataca o para las reservas, ya que muchas de ellas tienen amplia extensión de terreno. Mediante la implantación de este índice, se comparó el comportamiento de cada una de las reservas y refugios durante la sequía, y el tiempo que tardan en recuperarse. Otro aspecto que se intentó medir fue el esfuerzo realizado para manejar aspectos de la sequía, para poder estimar los gastos que se tuvieron que realizar para manejar los daños directos o indirectos asociados a la sequía.

Para lograr estos objetivos, se solicitó el apoyo de los oficiales de manejo de todas las Reservas y Refugios para que completaran el formulario semanalmente y lo entregaran todos los martes en la mañana, para que de esta forma pudiese ser reportado en la reunión del CC. El formulario contiene 10 criterios para evaluar los embalses (Ilustración 52) y 7 criterios en el caso de reservas, bosques y refugios (Ilustración 53). Los criterios se seleccionaban de acuerdo a las condiciones más cercanas a lo que presenta el formulario, se suman los valores y se divide entre la cantidad de parámetros evaluados. Esto da un valor que permite determinar en la condición en la que se encuentra la reserva, bosque o refugio evaluado.

INFORME SOBRE LA SEQUÍA DE 2014-2016 EN PUERTO RICO

Período que reporta: _____ Oficial de Manejo: _____
 Nombre de la Reserva o Refugio: _____
 Caracterización de las Condiciones de Sequía en Bosques, Reservas y Refugios

Refugio de Vida Silvestre (Embalse). Tabla para la puntuación de elementos:

1. Niveles del Embalse:		6. Algas:	
Condición	Puntuación	Condición	Puntuación
El embalse se encuentra a un nivel operacional.	0	Agua clara, no hay afloramiento de algas.	0
El embalse se encuentra o está llegando a nivel de rampa.	1	Afloramiento leve de algas en el fondo o en áreas donde hay poco movimiento del agua o parchos pequeños de algas flotando en la superficie.	1
El embalse se encuentra a nivel crítico para la vida. Los niveles de peces quedan expuestos.	2	Afloramiento severo de algas en el fondo o en áreas donde hay poco movimiento del agua o parchos grandes de algas flotando en la superficie.	2
Los niveles del embalse ya están bajo niveles mínimos de operación para extracción de agua.	3		
2. Tributarios que alimentan el embalse:		7. Oxígeno disuelto:	
Condición	Puntuación	Condición	Puntuación
Tributario con flujo alto.	0	Buena (concentración fluctúa entre 8-10 mg/L).	0
Tributario con flujo normal.	1	Regular (la concentración fluctúa entre 7.5 mg/L).	1
Tributario con flujo bajo, los bancos están expuestos y presentan grandes depósitos de sedimentos.	2	Pobre (la concentración es menor de 4 mg/L).	2
3. Mortandad de Peces:		8. pH:	
Condición	Puntuación	Condición	Puntuación
Se observa nada o muy baja mortandad de peces.	0	Buena (fluctúa entre 6.0-8.5).	0
Se reporta una leve mortandad de peces, momentáneamente.	1	Regular (fluctúa entre 3.5- 5.9).	1
Se reporta una mortandad severa de peces, incluyendo tilapias y plecos.	2	Pobre (es igual o menor de 3.7).	2
4. Vegetación Terrestre:		9. Cantidad de visitantes:	
Condición	Puntuación	Condición	Puntuación
Dóse cerrado con una amplia cobertura. No hay vegetación terrestre creciendo en los cauces.	0	Cantidad normal de visitantes.	0
Dóse semi abierto causado por la sequía. Hay poca vegetación terrestre creciendo en el cauce.	1	Reducción leve.	1
Dóse completamente abierto causado por la sequía. Hay vegetación terrestre creciendo en el cauce.	2	Reducción dramática.	2
		No hubo visitantes en la reserva.	3
5. Fuegos:		10. Facilidades de pesca:	
Condición	Puntuación	Condición	Puntuación
No se reportan fuegos.	0	Las facilidades están en su nivel óptimo de operación.	0
Se reportan fuegos leves.	1	Las facilidades levemente afectadas.	1
Grandes hectáreas afectadas por incendios intencionales o espontáneos.	2	Rampa para botes y plataforma inaccesible.	1

División Monitoreo del Plan de Aguas
Versión 2015

Período que reporta: _____ Oficial de Manejo: _____
 Nombre de la Reserva o Refugio: _____
 Caracterización de las Condiciones de Sequía en Bosques, Reservas y Refugios

Refugio de Vida Silvestre (Embalse). Hoja de Puntuaciones.

Totalice la puntuación de cada elemento evaluado en la tabla para la puntuación de elementos:

Criterio	Puntuación de Esta Semana	Observaciones	Puntuación Semana Anterior
1. Niveles del Embalse			
2. Tributarios que alimentan el embalse			
3. Mortandad de peces			
4. Vegetación terrestre			
5. Fuegos			
6. Algas			
7. Oxígeno disuelto			
8. pH			
9. Cantidad de visitantes			
10. Facilidades de pesca			
Puntuación Total (suma del 1-10)			
Puntuación Total/ # Número de criterios			
Clasifique de acuerdo a la puntuación en:			
Clasificación	Puntuación de Esta Semana	Puntuación Semana Anterior	
Condiciones normales (0- 0.55)			
Afectado levemente por la sequía (0.56- 1.11)			
Afectado regular por la sequía (1.12-1.67)			
Muy afectado por la sequía (1.68-2.2)			
Comentarios. ¿Algún suceso importante durante el periodo que reporta?:			
Indique la cantidad de horas que invirtió durante el periodo que reporta para resolver y manejar aspectos relacionados a la sequía. Indique si ha tenido pérdidas y estime los costos. Explique.			

División Monitoreo del Plan de Aguas
Versión 2015

Ilustración 52. Formularios a caracterizar las condiciones de sequía en bosques, reservas y refugios del DRNA.

Período que reporta: _____ Oficial de Manejo: _____
 Nombre de la Reserva o Refugio: _____
 Caracterización de las Condiciones de Sequía en Bosques, Reservas y Refugios

Reserva Natural. Tabla para la puntuación de elementos:

1. Vegetación Terrestre:		4. Fuegos. Indique el área:	
Condición	Puntuación	Condición	Puntuación
Dóse cerrado con una amplia cobertura. No hay vegetación terrestre creciendo en los cauces.	0	No se reportan fuegos.	0
Dóse semi abierto causado por la sequía. Hay poca vegetación terrestre creciendo en el cauce.	1	Se reportan fuegos leves.	1
Dóse completamente abierto causado por la sequía. Hay vegetación terrestre creciendo en el cauce.	2	Grandes hectáreas afectadas por incendios intencionales o espontáneos.	2
2. Fauna:		5. Ríos o quebradas que pasan por la reserva:	
Condición	Puntuación	Condición	Puntuación
La fauna típica de la reserva se encuentra en condiciones normales.	0	Ríos o quebradas con flujo alto, desembocadura abierta.	0
La fauna típica de la reserva presenta algunas señales de estrés.	1	Ríos o quebradas con flujo normal, desembocadura parcialmente abierta.	1
La fauna típica de la reserva está en condiciones críticas y hay una mortandad masiva.	2	Río o quebrada con flujo bajo, con desembocadura cerrada.	2
3. Áreas secas con potencial de incendios:		6. Cambios en la cantidad de visitantes:	
Condición	Puntuación	Condición	Puntuación
No hay áreas con potencial de incendios.	0	Cantidad normal de visitantes.	0
Pocas áreas con potencial de incendios.	1	Reducción leve en la cantidad de visitantes.	1
Grandes hectáreas con potencial de incendios.	2	Reducción dramática.	2
		No hubo visitantes en la reserva.	3
		7. Condiciones generales:	
		Condición	Puntuación
		No se observan cambios en las condiciones generales.	0
		Se observan pocos cambios en las condiciones generales (aumento en polvos fugitivos, patrones secos, etc.).	1
		Se observan cambios drásticos en las condiciones generales (aumento en polvos fugitivos, patrones secos, etc.).	2

División Monitoreo del Plan de Aguas
Versión 2015

Período que reporta: _____ Oficial de Manejo: _____
 Nombre de la Reserva o Refugio: _____
 Caracterización de las Condiciones de Sequía en Bosques, Reservas y Refugios

Reserva Natural. Hoja de Puntuaciones.

Totalice la puntuación de cada elemento evaluado en la tabla para la puntuación de elementos.

Criterio	Puntuación de Esta Semana	Observaciones	Puntuación Semana Anterior
1. Vegetación terrestre			
2. Fauna			
3. Fuegos			
4. Ríos o quebradas que pasan por la reserva			
5. Cambios en la cantidad de visitantes			
6. Cambios en la cantidad de visitantes			
7. Condiciones generales			
Puntuación total			
Puntuación Total/ # Numero de elementos			
Clasifique de acuerdo a la puntuación			
Condiciones normales (0-0.53)			
Afectado levemente por la sequía (0.54-1.06)			
Afectado regular por la sequía (1.07-1.60)			
Muy afectado por la sequía (1.61-2.14)			
Otros comentarios. ¿Algún suceso importante durante el periodo que reporta?:			
Indique la cantidad de horas que invirtió durante el periodo que reporta para resolver y manejar aspectos relacionados a la sequía. Indique si ha tenido pérdidas y estime los costos. Explique.			

División Monitoreo del Plan de Aguas
Versión 2015

Ilustración 53. Formularios a llenar por los oficiales de manejo para la caracterización de las condiciones de sequía en las reservas, bosques y refugios del DRNA.

SIEMBRA DE NUBES

Durante el 2015, el caudal de los ríos que alimentan los embalses de La Plata y Loíza, los cuales suplen a la Zona Metropolitana de San Juan (ZMSJ) con unos 170 Mgd, era muy bajo. Por tal razón, fue necesario el establecimiento de un programa de racionamiento de agua en la zona metropolitana, que afectó a cerca de 1.2 millones de residentes de la ZMSJ.

En un intento de inducir la lluvia en estas cuencas, la AAA contrató la compañía SOAR, para aumentar el flujo de los tributarios que alimentan los embalses de La Plata, Loíza y Cidra a un costo de \$66,500 mensuales por 3 meses, según se reseñó en la presa. De acuerdo a lo que indicó personal de la AAA, el monto total para este proyecto fue de \$362,717.54. Para esto se realizaron inyecciones a las nubes con alto potencial de formación con cloruro de calcio y yoduro de plata. El informe presentado por la AAA declara que las cantidades de cloruro de calcio fue de 2.5 gramos por unidad. Por cada bengala que contenía yoduro de Plata se disparó aproximadamente 2.5 gramos por milla cuadrada, lo que equivale a 0.96 microgramos por metro cuadrado (Quiñones, 2016).

La empresa SOAR realizó un total de 40 vuelos, donde se arrojaron un total de 230 bengalas entre el periodo del 15 de julio al 25 de octubre de 2015 (Ilustración 54). Se realizaron análisis gráficos y semi- cuantitativos para determinar la efectividad de inducir la lluvia con las inyecciones realizadas. Se tomó en cuenta la hora, fecha y ubicación del avión de SOAR al momento del disparo de cada bengala. De acuerdo a los datos de lluvia y escorrentía de los pluviómetros e hidrómetros operados por el USGS se encontró que los esfuerzos realizados resultaron en eventos de lluvia no significativos, y en aquellos casos en los cuales se pudo relacionar con las inyecciones, los resultados fueron mínimos (Quiñones, 2016).

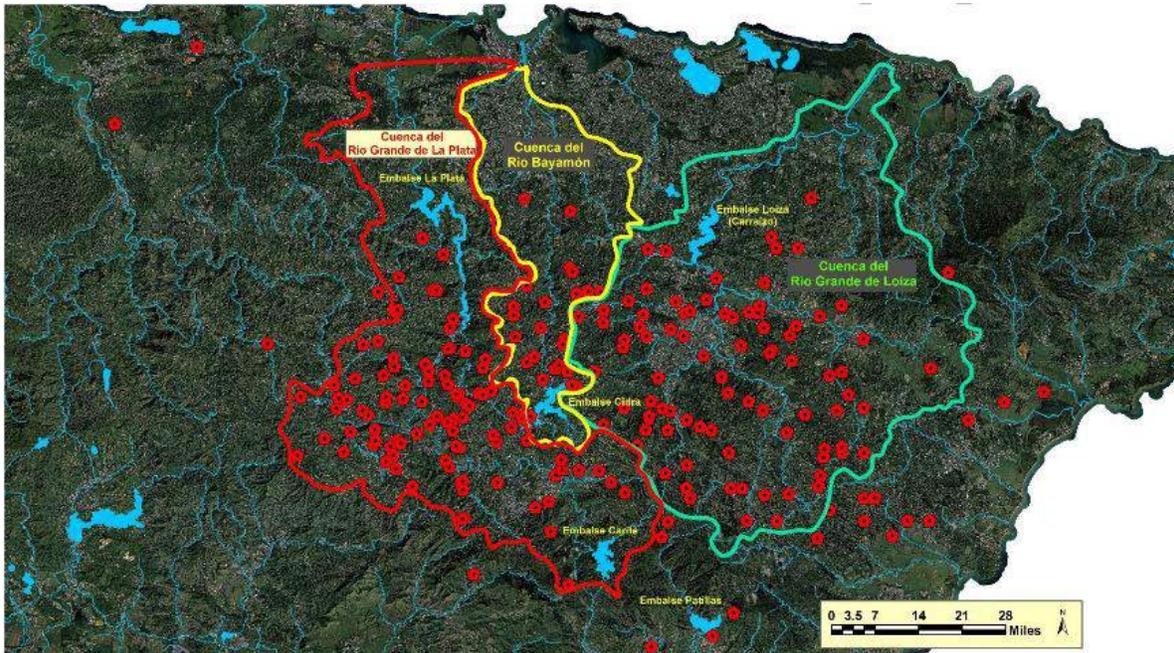


Ilustración 54. Ubicación de las bengalas disparadas durante el periodo del 15 de julio al 25 de octubre de 2015. Fuente: AAA, 2016.

LECCIONES APRENDIDAS Y RECOMENDACIONES

Las diversas acciones efectuadas entre el 2014 y 2016 para atender la emergencia por sequía han brindado valiosas lecciones en cuanto a la efectividad de ejecución de acciones de manejo para enfrentar episodios de sequías con alternativas para replicar, modificar y evitar ante futuros eventos.

Recomendaciones:

Tomando como base las experiencias y análisis realizados por el Comité Científico de Sequía en la evaluación de las condiciones de sequía registrados durante los años 2014-2016, se identificaron las acciones que se deben realizar al atender eventos futuros de sequía en Puerto Rico. Las acciones se han dividido según el tipo de acciones recomendadas, si requieren acciones normativas u operacionales de parte de las instrumentalidades del Estado.

RECOMENDACIONES OPERACIONALES:

1. En condiciones ordinarias de precipitación, mantener las extracciones en los embalses y ríos sin exceder el rendimiento seguro determinado para los mismos.
2. Establecer medidas operacionales en los embalses principales que combinen el uso de agua subterránea (pozos) con las extracciones de agua superficiales para la provisión de oferta de agua durante todo el año.
3. Establecer un programa de reforestación y mantenimiento de la cubierta forestal en la parte alta de las cuencas hidrográficas de los embalses, para garantizar un aumento de al menos 20% de cobertura forestal al año 2030 en comparación con el 2007.
4. Promover la creación de aljibes y otras medidas estructurales para el aprovechamiento de las aguas de lluvia en las áreas residenciales incentivando la creación de éstos en proyectos residenciales existentes y hacerlo mandatorio en nuevos proyectos.
5. Evaluar la viabilidad técnica y económica de re-dirigir efluentes de plantas de tratamiento de aguas usadas hacia humedales (naturales o creados) para propiciar la recarga de dichas aguas a los acuíferos, mientras se completa un proceso de purificación de esas aguas.
6. Propiciar y fomentar medidas y técnicas eficientes de riego y almacenamiento de agua para cultivos, especialmente en la zona de la montaña.
7. Fomentar la siembra de cultivos con bajo requerimiento de agua.
8. Realizar un estudio para reconocer el estado actual y potencial de abasto de aguas de los acuíferos en Puerto Rico.
9. Continuar levantando y actualizando la información científica sobre los acuíferos de Puerto Rico, particularmente para los acuíferos del sur y propiciar el desarrollo de modelos matemáticos e hidrogeológicos que faciliten la interpretación de los datos y el desarrollo de herramientas para pronosticar el comportamiento o tendencia de éstos.

10. Establecer tarifas diferidas durante eventos de sequía por concepto de uso de agua en exceso del promedio mensual/anual, para todos los usuarios.
11. Establecer herramientas de apoyo para toma de decisiones (*Decision Support Tools*) para generar mayor información de utilidad en el análisis y manejo de eventos de sequía.
12. Establecer un programa de educación ciudadana desde enero hasta mayo para que todos los años se implanten campañas educativas sobre sequía y preparar a la ciudadanía para eventos de sequía.
13. Revisar el protocolo de sequía.

RECOMENDACIONES NORMATIVAS:

1. Desarrollar un plan integral de manejo de sequía para Puerto Rico.
2. Establecer un fondo de emergencia para la respuesta ante sequías y otros desastres naturales por parte de AEMEAD.
3. Implantar la política pública del DRNA para lograr la reducción de pérdidas de agua potable en el sistema de acueductos de AAA a un 30% para el 2030.
4. Completar la inscripción de franquicias de agua para todas las tomas de AAA y AEE al 2020.
5. Desarrollar pólizas de seguros en eventos sequías para los agricultores del país, por parte del DA.
6. Incorporar en los diseños urbanos medidas para el aprovechamiento y recolección de agua de lluvia para usos no-potables.
7. Desarrollar una guía operacional de embalses para el manejo los sedimentos y evitar que se continúen atrapando en éstos.
8. Implantar las acciones y actividades estipuladas en el Plan Integral de Recursos de Agua 2016 del DRNA, especialmente aquellas dirigidas a la optimización del recurso agua.
9. Poner en vigor la declaración de área crítica para los acuíferos del sur y velar por su cumplimiento.
10. Revisión y enmiendas a las leyes de los distritos de riego de AEE para atemperarlas a las normativas establecidas en la Ley de Aguas (Ley 136-76) en cuanto al uso y aprovechamiento de las aguas de Puerto Rico.
11. Desarrollar un plan nacional para el manejo de incendios forestales.
12. Generar políticas para la promoción de permeabilización de espacios urbanos impermeabilizados en las áreas de recarga de acuíferos y áreas de captación de las cuencas asociadas a los embalses principales.
13. Utilizar los distritos de planificación especial para la conservación de recursos hídricos para evitar daños a los cuerpos de agua de la isla, tanto superficiales como subterráneos.
14. Identificar e implementar acciones de manejo para atender las necesidades de dirección y conservación de los suelos y la capa forestal en la parte alta y media de las cuencas hidrográficas en virtud de sus funciones de protección

- y conservación de los cursos de agua superficiales, fuentes de abasto de agua principal para la población y a los ecosistemas asociados a éstos.
15. Crear mediante ley la oficina del climatólogo del Estado, adscrita a la Universidad de Puerto Rico.
 16. Continuar promoviendo la investigación científica para la atención temprana de sequías meteorológicas e hidrológicas.
 17. Promover la investigación científica para identificar nuevas formas de optimización del uso de agua y de nuevas fuentes de generación de agua dulce (i.e. reuso de aguas usadas, plantas desalinizadoras)
 18. Continuar promoviendo la investigación científica para la innovación en medidas de abastecimiento y producción de agua, desde las universidades públicas y privadas del país.
 19. Implantar el Protocolo para el Manejo de la Sequía en Puerto Rico en los futuros eventos de sequía

OTRAS RECOMENDACIONES

1. Automatización de la Herramienta de Monitoreo de Aguas Superficiales en Cuencas Principales de Puerto Rico y la Herramienta de Monitoreo de los Niveles de los Embalses.
2. Taller a los oficiales de manejo para el uso adecuado de los formularios para la “Caracterización de las Condiciones de Sequía en Reservas, Bosques y Refugios” y creación de plataforma cibernética para el reporte de los datos.

CONCLUSIONES

Los eventos reseñados en este informe indican que el evento de sequía fue más intenso para el año de 2015. Las lecciones aprendidas durante este periodo permitieron a establecer mecanismos más eficientes para el manejo del agua, particularmente para aquellas zonas donde las condiciones de sequía llegaron a nivel extremo.

Los efectos remanentes de la sequía aún persisten en algunas partes de Puerto Rico. Por ejemplo, aunque el DM no reconoce áreas afectadas por la sequía, el acuífero en Salinas a finales del 2016 permanece en estado crítico. Esto sugiere que el DRNA debe implementar otros mecanismos que ayuden a su recuperación.

Se espera que los eventos de sequía sean más frecuentes, por lo que es indispensable que las recomendaciones operacionales y normativas presentadas se implanten en la brevedad posible para que el País se encuentre más resiliente ante futuros eventos de sequía y se reduzcan los daños y las pérdidas relacionadas a estos eventos.

REFERENCIAS

1. Colón, J. A. (2009). *Climatología de Puerto Rico*. San Juan, Puerto Rico. La Editorial, Universidad de Puerto Rico.
2. Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. (2016). *Plan Integral de Recursos de Agua*. División Monitoreo del Plan de Aguas. Secretaria Auxiliar de Planificación Integral. San Juan, Puerto Rico.
3. IPCC. (2014). *Climate change 2014: Synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full.pdf. Accesado en diciembre 2015.
4. Martínez Sánchez, O. (2014). *Rainfall Deficits and Mid/Long-Term Forecast*. NWS Puerto Rico, San Juan, Puerto Rico.
5. Organización Meteorológica Mundial. (2006). *Vigilancia y alerta temprana de la sequía: conceptos, progresos y desafíos futuros*. OMM-Nº 1006, 28 p. http://www.droughtmanagement.info/literature/WMO_drought_monitoring_early_warning_es_2006.pdf Obtenida el 6 de marzo de 2015.
6. Quiñones, F. (2016). *Evaluación de los resultados del proyecto “Inducción de lluvia durante la sequía del 2015 en Puerto Rico”, llevado a cabo por la empresa SOAR para la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (AAA)*. Autoridad de Acueductos y Alcantarillados.
7. Rosario, F. (29 de abril de 2015). Calor y bruma dominarán el ambiente. Primera Hora. Recuperado de <http://www.primerahora.com/noticias/puerto-rico/nota/calorybrumadominaranelambiente-1080115/> Obtenido el 12 de diciembre de 2016.
8. Valiente, O. M. (2001). Sequía: Definiciones, tipologías y métodos de cuantificación. *Investigaciones Geográficas*. (26), 59-80. Instituto Universitario de Geografía, Universidad de Alicante.

ANEJO I: GALERÍA DE FOTOS

Galería de Fotos de los principales efectos de la Sequía

Foto DRNA Embalse Loíza, 01/júnio/2015



Foto DRNA Embalse Loíza, 24/agosto/2015



Foto DRNA Embalse Loíza, 05/octubre/2015



A) Embalse Loíza con un nivel de 117.18 pies estando a unos 17.77 por debajo del nivel tope del lago. **B)** Embalse Loíza en unos de sus niveles más críticos de 110.49 pies estando a unos 24.46 por debajo del nivel tope del lago. **C)** Gracias a las lluvias el Embalse Loíza comenzó su ascenso. Para la fecha con un nivel de 126.20 pies unos 8.75 por debajo del nivel del tope.

A)

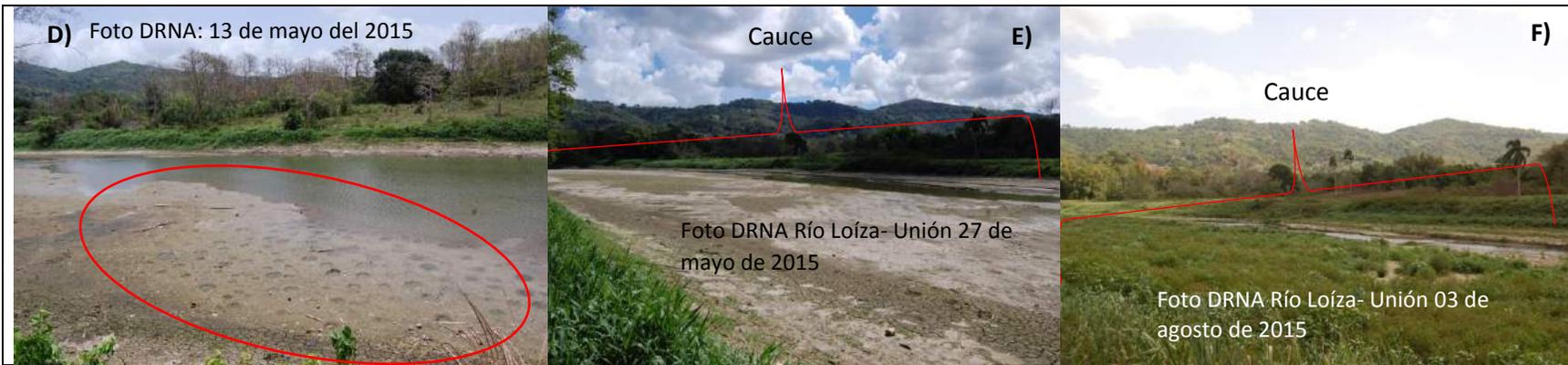


B) Foto DRNA Río Loíza, 27 de julio de 2015



C) Foto DRNA Río Loíza, 05 de octubre de 2015

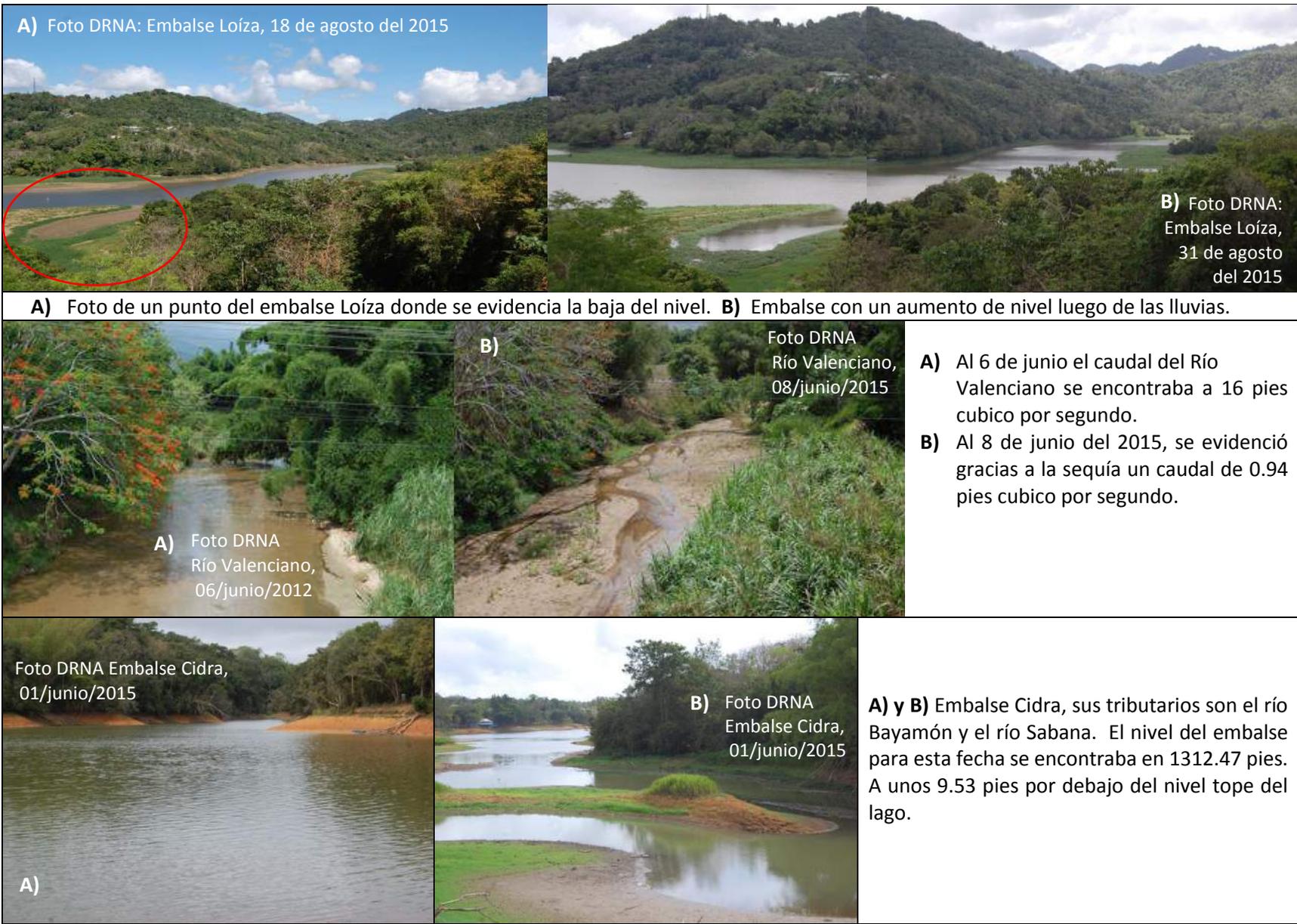




- A) y D)** Cauce aguas abajo de la unión del río Loíza con el río Gurabo (tributarios del embalse Loíza), con flujo de estiaje.
- B) y E)** cauce aguas abajo de la unión del río Loíza con el río Gurabo (tributarios del embalse Loíza), con flujo de estiaje y vegetación dentro del cauce.
- C)** cauce aguas abajo de la unión del río Loíza con el río Gurabo (tributarios del embalse Loíza), con flujo de estiaje.
- F)** Nidos de peces expuestos en la orilla.



A) y B) Como parte de la dramática disminución de los niveles del embalse Loíza por la sequía, se evidenció estructura dentro del embalse, como es el caso de una casa antigua.



A) Foto DRNA: Embalse Loíza, 18 de agosto del 2015

B) Foto DRNA: Embalse Loíza, 31 de agosto del 2015

A) Foto de un punto del embalse Loíza donde se evidencia la baja del nivel. **B)** Embalse con un aumento de nivel luego de las lluvias.

A) Foto DRNA Río Valenciano, 06/junio/2012

Foto DRNA Río Valenciano, 08/junio/2015

A) Al 6 de junio el caudal del Río Valenciano se encontraba a 16 pies cubico por segundo.
B) Al 8 de junio del 2015, se evidenció gracias a la sequía un caudal de 0.94 pies cubico por segundo.

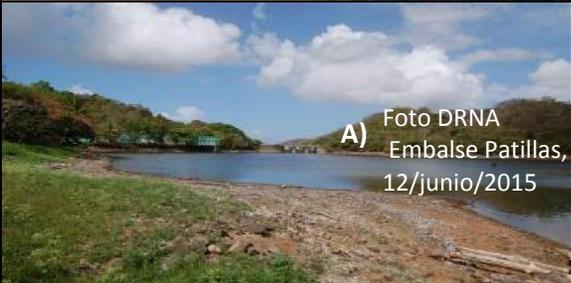
Foto DRNA Embalse Cidra, 01/junio/2015

B) Foto DRNA Embalse Cidra, 01/junio/2015

A) y B) Embalse Cidra, sus tributarios son el río Bayamón y el río Sabana. El nivel del embalse para esta fecha se encontraba en 1312.47 pies. A unos 9.53 pies por debajo del nivel tope del lago.



 <p>A) Foto DRNA: 7 de julio del 2015</p>	 <p>B) Foto DRNA: 7 de julio del 2015</p>	<p>A) Hubo dos eventos significativos de mortandad de sardinas el 2 y 3 de julio. Leve evento de mortandad, donde murieron aproximadamente 2,000 sardinas, 1 barbudo, 1 tilapia y 1 lobina (1 de junio del 2015).</p> <p>B) Avistamiento de afloramientos de algas marrones.</p>
 <p>A) Foto DRNA: 16 de junio del 2015</p>	 <p>B) Foto DRNA: 14 de julio del 2015</p>	 <p>C) Foto DRNA: 6 de mayo del 2015.</p> <p>A) Plataforma para embarcaciones expuesta fuera del agua y nidos de peces expuestos en la orilla. 30/06/2015 se cerró el área recreativa del lago La Plata. Esto se debió a los riesgos de las áreas que antes estaban bajo agua.</p>
<p>B) Hubo dos eventos significativos de mortandad de sardinas el 13 y 14 de julio. Las sardinas muertas cubrían el recodo del embalse que ubica en la zona norte del área recreativa del refugio. C) La rampa para embarcaciones ha estado cerrada desde mayo debido al descenso del nivel de embalse.</p>		
 <p>A) Foto DRNA Embalse Río Blanco, 10 de agosto del 2015</p>	 <p>A) y B) Embalse Río Blanco a 75.86 pies.</p>	 <p>B) Foto DRNA Embalse Río Blanco 10 de agosto del 2015</p>

<p>A) Foto DRNA. Embalse Río Fajardo, 10 de agosto del 2015</p> 	<p>B) Foto DRNA. Embalse Río Fajardo, 10 de agosto del 2015</p> 	<p>C) Foto DRNA. Embalse Río Fajardo 10 de agosto del 2015</p> 	<p>A, B y C) Embalse Río Fajardo a 147.86 pies.</p>
<p>A) Foto DRNA: 13 de mayo del 2015</p> 	<p>B) Foto DRNA: 4 y 31 de agosto del 2015</p> 	<p>A) Al 7 de mayo de 2015, se encontraba en su nivel más bajo de los últimos once años y cinco meses, aproximadamente, unos 1.83 pies por encima del nivel de racionamiento para el nivel de conservación biológica que es de 528 pies. Nidos de Lobinas actualmente expuesto. La rampa para botes fuera de uso. Desde el 19 de mayo de 2015 la AAA dejó de extraer agua del embalse Cerrillos. B) Las lluvias de la tormenta Erika aumentaron el nivel.</p>	
<p>A) Foto DRNA: Embalse Lucchetti 13 de julio de 2015</p> 	<p>B) Foto DRNA: Embalse Lucchetti, 22 de septiembre de 2015</p> 		<p>A) Al 13 de julio el embalse estaba en 553.98 pies unos 16.02 pies por debajo del nivel tope del lago. B) Al 22 de septiembre según datos del USGS, el embalse estaba en 565.39 pies, unos 4.61 pies por debajo del nivel tope del lago.</p>
<p>A) Foto DRNA Embalse Patillas, 12/junio/2015</p> 	<p>B) Foto DRNA. Río Grande de Patillas, 12/junio/2015</p> 		<p>A) Al 12 de junio del 2015 el embalse Patillas se encontraba a 211.03 pies, unos 10.97 pies por debajo del nivel tope del lago. B) Al 12 de junio del 2015, según la estación del USGS 4.86 pies cúbicos por segundo. Encontrándose muy por debajo de la mediana histórica para ese periodo según los datos del USGS.</p>



Vista aérea (aprox. 4 acres) rodal de mangle blanco defoliado (7/14/15).

A) Reserva Nacional Estuarina de Investigación de Bahía de Jobos. Al 18 de agosto se registró defoliación y sequía de rodal de mangle blanco al norte del Mar Negro. Muerte de palmas reales; Typha; Acrosticum sp y muerte de palmas de coco. Además, al momento se han registrado 7.59 pulgadas de lluvia. Este valor es menor a cualquiera registrado en los pasados 6 años, seguido por el 2014 con 15.94 pulgadas de lluvia.



Embalse Carraízo

24 de agosto de 2014

Impreso en DRNA

Diciembre 2016

