

## I. Nombre del Proyecto de Investigación

Pronóstico estacional de condiciones de sequía meteorológica en México utilizando un sistema de modelación climática regional para el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta por sequía.

## II. Requisitos de elegibilidad técnicos y administrativos

### a) Elegibilidad técnica:

En este proyecto se desarrollará la capacidad para realizar un pronóstico de las condiciones mensuales medias del estado de la atmósfera, con un horizonte de hasta nueve meses. Para generar este pronóstico, se utilizará un modelo climático de área limitada ya empleado y probado en otras aplicaciones a nivel internacional. Al desarrollar y probar dicha capacidad, se tendrá una base sólida para realizar estimaciones, por medio de ensambles de corridas del modelo, de la probabilidad de ocurrencia en todo el territorio mexicano de condiciones futuras de sequía meteorológica o de lluvias por arriba de su normal climatológica.

El índice de severidad de sequía de Palmer se utilizará como un índice objetivo para caracterizar la sequía meteorológica. Estudios recientes dan a este índice una mayor confianza que otros índices alternos. Por otra parte, una porción significativa de la variabilidad de la sequía en las regiones áridas y semiáridas del país está asociada a la variabilidad oceánica. Esto es particularmente claro en el norte del país, donde la señal del Niño/Niña domina el efecto de otras oscilaciones atmosféricas con periodos de décadas, por ejemplo.

Para lograr lo anterior, es necesario utilizar un modelo climático regional, el cual básicamente es un modelo atmosférico acoplado a un modelo del océano. Es importante enfatizar que, debido a las escalas de tiempo consideradas, un modelo acoplado nos brinda la posibilidad de contar con un océano totalmente activo y consistente con la atmósfera localizada sobre el área primordial de investigación. De esta manera, el acoplamiento es un ingrediente fundamental para simular el intercambio natural entre el océano y la atmósfera, permitiendo así un análisis detallado de los procesos físicos representados en los modelos y responsables de la evolución de la precipitación.

Es necesario determinar la extensión geográfica de un dominio computacional que incluya Norteamérica, México y una parte de Centroamérica, abarcando una porción significativa del Océano Pacífico, del Golfo de México, del Mar Caribe y parte del Océano Atlántico. Determinar la extensión territorial del dominio del modelo es crucial para representar las interacciones atmósfera-océano que dominan la variabilidad climática de la sequía meteorológica o de condiciones de lluvias intensas, como se observó en gran parte de nuestro país los meses anteriores (mayo-octubre, 2014). Una vez determinado el dominio computacional, y con el modelo ya verificado,

se procederá a generar miembros de un ensamble de simulaciones con la configuración elegida en nuestro clúster del Centro de Ciencias de la Atmósfera, el cual cuenta con 512 núcleos exclusivos para este trabajo. Estas simulaciones nos permitirán realizar estimaciones de la probabilidad de ocurrencia de condiciones de sequía meteorológica o lluvias por arriba de lo normal a todo lo largo del país y, sobre todo, en algunas regiones de conocida vulnerabilidad a los impactos de eventos extremos climatológicos.

El producto final de este proyecto será un reporte electrónico del pronóstico climatológico que resumirá la evolución de las condiciones medias de la atmósfera para cada mes, describiendo con detalle las regiones del país que pudieran ser afectadas por condiciones de sequía o lluvias por arriba de lo normal. Dicho reporte constituirá un insumo para el ANR y será de utilidad para el Sistema Nacional de Alertas. Con esta finalidad se utilizarán las variables de salida del modelo y el índice de severidad de sequía de Palmer. Cabe hacer notar que este índice por sí mismo no representa un pronóstico del estado del suelo, más bien es la estimación del estado futuro a partir la información futura suministrada por el modelo regional acoplado

Este estudio es pertinente para la evaluación objetiva de los riesgos asociados a eventos climáticos anómalos con un horizonte de pronóstico de hasta nueve meses, ya sean tanto déficits de precipitación como excesos. Este pronóstico suministrará información oportuna que contribuirá a que se tomen a tiempo algunas medidas críticas pertinentes enfocadas a optimizar y canalizar los recursos necesarios, tanto económicos como humanos, para atender las necesidades de la población ante una situación anómala de las condiciones climatológicas. Por ejemplo, para una región agrícola el anticipar con algunos meses la aparición de una condición de secas en una temporada del año normalmente lluviosa es importante, pues esta información puede ayudar a las autoridades estatales y federales a planificar y autorizar recursos que ayuden a mitigar los efectos regionales de una sequía. De igual manera, un pronóstico de temporada de lluvias muy intensa permitiría una mejor planificación de los cultivos de temporal en las zonas rurales así como la toma de medidas preventivas en zonas urbanas para minimizar el riesgo de inundaciones.

Con base en lo anterior, se puede afirmar que la ejecución de este proyecto contribuye con una solución de fondo a uno de los problemas persistentes a nivel nacional y que pueden agravarse ante la inminencia del cambio climático.

**b) Elegibilidad administrativa:**

Conforme a lo señalado en el oficio de solicitud, el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), como instancia técnica-científica de la Coordinación Nacional de Protección Civil se encuentra plenamente acreditado e identificado ante los órganos decisorios del Fondo para la Prevención de Desastres

Naturales (FOPREDEN) y su Representante Legal cuenta con las atribuciones necesarias a fin de garantizar la adecuada ejecución del mismo.

El objetivo del Proyecto de Investigación se apega a lo establecido en la fracción I del artículo 48 de las ROFOPREDEN, el cual señala que la Subcuenta proporcionará financiamiento para “*Estudios o investigaciones orientados a generar y mejorar el conocimiento sobre los Fenómenos Naturales Perturbadores*”.

### III. Monto del financiamiento con cargo a la Subcuenta de Investigación del FOPREDEN

\$5, 428,571.43 (Cinco millones cuatrocientos veintiocho mil quinientos setenta y un pesos 43/100 m.n.)

### IV. Términos de referencia del Proyecto de Investigación:

#### a) Objetivo General del Proyecto de Investigación

Tener la capacidad para realizar un pronóstico probabilístico de las condiciones mensuales medias del estado de la atmósfera, con un horizonte de hasta nueve meses, cuyos resultados serán analizados y resumidos en un reporte electrónico que incluya la probabilidad de ocurrencia, en todo el territorio mexicano, de condiciones de sequía meteorológica o lluvias por arriba de lo normal.

#### b) Objetivos Específicos del Proyecto de Investigación

Para lograr el objetivo, se realizarán los siguientes pasos:

1. Elección del dominio computacional y evaluación del desempeño del modelo en el periodo histórico, utilizando datos de distintas bases de datos observacionales disponibles.
2. Realizar estimaciones futuras, por medio de ensambles de corridas del modelo, de la probabilidad de ocurrencia de meses con lluvias por arriba de lo normal o condiciones de sequía meteorológica.
3. Generar un reporte electrónico del pronóstico climatológico con horizontes de uno a nueve meses, resumiendo la evolución de las condiciones medias de la atmósfera y describiendo con detalle las regiones del país que pudieran ser afectadas por condiciones de sequía o lluvias por arriba de lo normal, utilizando las variables de salida del modelo y el índice de severidad de sequía de Palmer. Este producto se actualizará trimestralmente como parte de un proyecto piloto a ser evaluado para su puesta en modo operacional.

#### c) Descripción detallada del escenario de peligro, vulnerabilidad y/o riesgo que se debe estudiar o resolver, a través de la ejecución del Proyecto de Investigación

Riesgo por sequía

En contraste con el entendimiento y estudios sobre los riesgos asociados a inundaciones y ciclones tropicales, los riesgos relativos a sequías siguen siendo aún poco conocidos. Por esta razón, las sequías suelen ser, en general, un riesgo menos visible. Existen ciertos criterios globales para medir la amenaza de sequía pero resulta muy difícil obtener datos confiables que son necesarios para estimarla. Por las razones anteriores, la evaluación de los riesgos por sequía es aún hoy en día incipiente y no se cuenta con un modelo global fiable para estimar el riesgo de sequía.

Diversos estudios de caso en algunas regiones del mundo indican que precipitaciones insuficientes o irregulares son responsables sólo parcialmente de los impactos observados de las sequías. El riesgo de sequía se va construyendo en el tiempo por varios factores, entre los que se encuentran en primer lugar la pobreza y la vulnerabilidad rural asociada al incremento desordenado de asentamientos humanos irregulares, lo cual lamentablemente ocurre muy frecuentemente en nuestro país. Por otro lado, la creciente demanda de agua asociada a la urbanización, la industrialización y el crecimiento de la agroindustria son otros factores que contribuyen al riesgo de sequía. Finalmente, otros factores que también contribuyen son una gestión inadecuada del suelo y del agua, una gobernanza débil o ineficaz, y la variabilidad natural del clima y el cambio climático causado por las actividades humanas. Todos estos factores incrementan la vulnerabilidad y la exposición, convirtiendo así las amenazas de sequía meteorológica en riesgos.

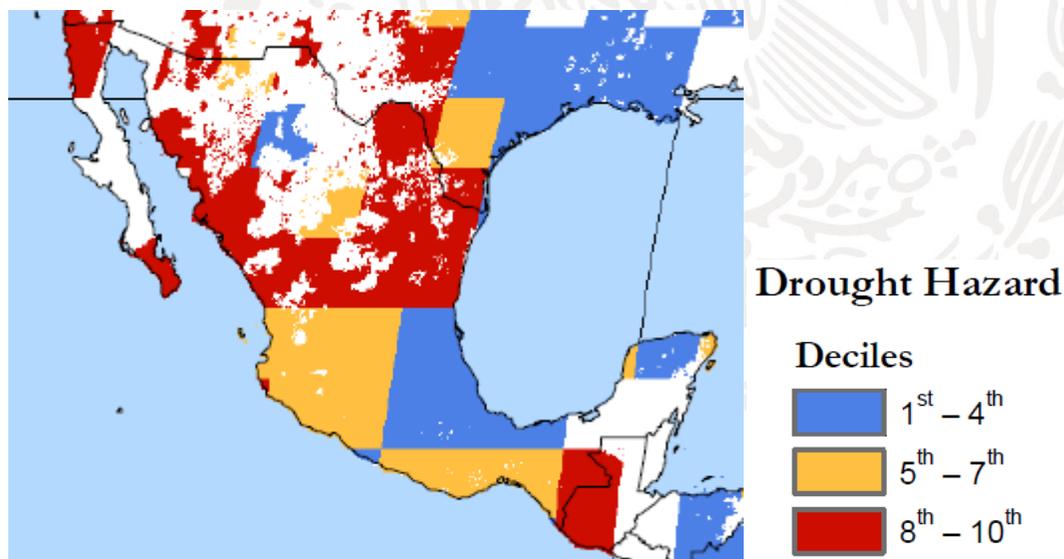
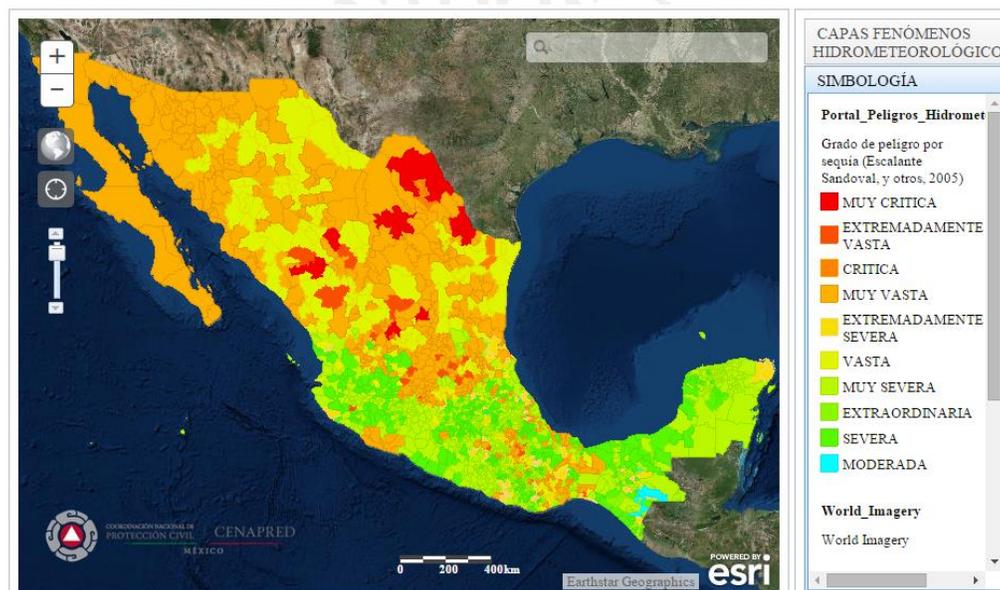


Figura 1. Peligro por sequía obtenida del “International Research Institute for Climate Prediction”. Distribución por deciles del Índice WASP (Weighted Anomaly of Standardized Precipitation). Valores mayores denotan frecuencias mayores de ocurrencia de sequías. Fuente: Center for Hazards and Risk Research – CHRR – Columbia University, Center for International Earth Science Information Network – CIESIN – Columbia University, and International Research Institute for Climate and Society – IRI – Columbia University. 2005. Global Drought Hazard Frequency and

*Distribution. Palisades, NY: NASA Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC). <http://dx.doi.org/10.7927/H4VX0DFT>. Accessed 22 October 2014.*

En la Fig. 1 se observa que todo el norte de México tiene una gran probabilidad de experimentar una sequía y lo mismo se aplica para una pequeña porción del sureste. En la región centro, el peligro de una sequía es medio y menor en los estados del sureste en la vertiente del Golfo de México. Es notorio que prácticamente todo nuestro país muestra un cierto grado de peligro por sequía, con valores de críticos a muy críticos en el centro y norte de México (ver Fig. 2).



*Figura 2. Grado de peligro por sequía en México. Fuente: Atlas Nacional de Riesgos del CENAPRED, 2014.*

Según reportes de la NASA, la agencia aeroespacial de Estados Unidos, el 2014 podría convertirse en el año más cálido de la historia reciente del planeta si se mantiene la tendencia de los últimos meses en las temperaturas registradas en la superficie terrestre y el agua del mar. Los datos acumulados hasta el mes de septiembre indican que el 2014 podría situarse a la cabeza del ranking de temperaturas elevadas que encabezan hasta ahora los años 2010 (el más cálido desde 1885, año de inicio de este tipo de datos), 2005, 1998 y 2013. Diez de los años más cálidos de la historia reciente del planeta se acumulan en el periodo 1998-2013, señal evidente del proceso de calentamiento global (cambio climático) que afecta al planeta.

Aunque los episodios de sequía en México se pueden atribuir en su mayor parte a la variabilidad climática natural, es necesario considerar que los efectos del calentamiento global antropogénico se irán sumando a los causados por dicha variabilidad, por lo que se espera que esta clase de condiciones se presenten con mayor frecuencia y que en consecuencia despierten cada vez mayor interés por parte de la sociedad. Muchos expertos

coinciden en que con el paso del tiempo, tanto las lluvias como las sequías se volverán más intensas, situación que planteará un verdadero reto a nuestro país. Por lo anteriormente expuesto, es prioritario iniciar estudios tendientes a entender y desarrollar la capacidad de pronóstico mediante modelos de océano-atmósfera acoplados como el aquí propuesto.

La caracterización física de la sequía ha sido un tema de investigación básica que ha agrupado tradicionalmente a científicos de diversas ramas como agronomía, meteorología y edafología. Más recientemente se ha incluido a la oceanografía, en parte debido a que la sequía no es un solo proceso físico sino el resultado de un conjunto de interacciones entre los componentes del sistema climático: atmósfera, océano, suelo y vegetación. Estas interacciones que ocurren en escalas de meses y hasta décadas pueden, bajo ciertas circunstancias, producir un déficit en la precipitación con respecto a la media climática. Esta es la definición clásica de una sequía meteorológica. El déficit de precipitación, por otra parte, puede llevar a una disminución de las aguas superficiales, subterráneas y al volumen de embalses (sequía hidrológica). La sequía agrícola se define como la disminución de la humedad del suelo en la zona de raíces lo cual perturba los ciclos de cultivo y, al mismo tiempo, resiente la sequía meteorológica con mayor rapidez que la sequía hidrológica. En la figura 3 se muestra esquemáticamente la relación entre los diferentes tipos de sequía.

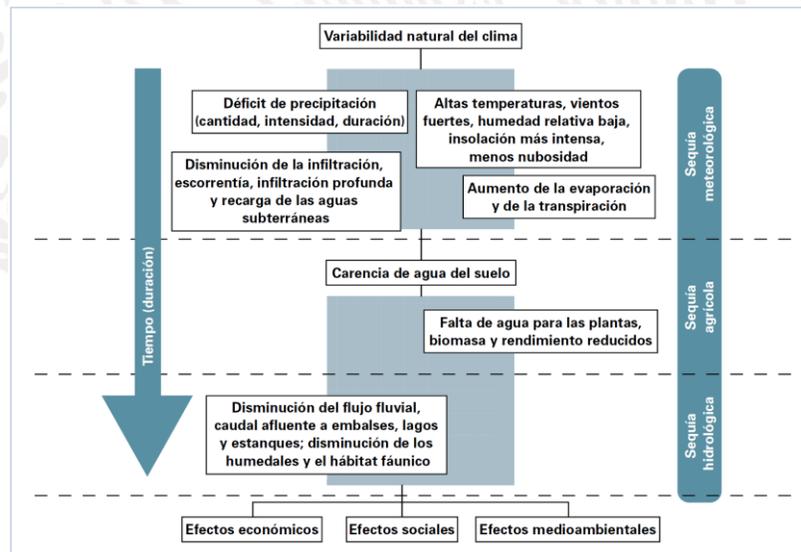


Figura 3. Secuencia de sucesos de sequía y de sus efectos para tipos de sequías comúnmente aceptados. Todas las sequías son consecuencia de un déficit de precipitación o de sequía meteorológica, que a su vez puede provocar otros tipos de sequía y de efectos. (Fuente: Centro Nacional de Mitigación de Sequías, Universidad de Nebraska-Lincoln, Estados Unidos de América).

Como evento climático extremo, la sequía meteorológica puede durar varios años pero, evidentemente, también

el pronóstico del comienzo y término de la sequía reviste una importancia mayor. Por otra parte, los escenarios previstos ante el cambio climático, indican que aumentaría la frecuencia y severidad de las sequías, con efectos mayores en las zonas áridas. Las sequías tienen un impacto significativo sobre las fuentes de agua y las actividades agrícolas.

Palmer (1965) desarrollo un índice para intentar caracterizar la sequía. El índice se construye a partir de series de tiempo de temperatura a 2 m, intensidad de precipitación y humedad de suelo. Lamentablemente, a nivel mundial, no existen series de tiempo de variables meteorológicas suficientemente largas y con una buena representación espacial. En México, es importante notar que existen pocas estaciones climatológicas y/o automáticas que midan las tres variables del índice de Palmer: humedad de suelo, temperatura y precipitación en las regiones áridas y semiáridas. La mayor parte de las estaciones meteorológicas se concentran en el centro y sur del país. Por ello, ha existido siempre la problemática de ausencia de series de tiempo largas espacialmente distribuidas de variables meteorológicas superficiales y de humedad de suelo, que son requeridos para calibrar y mejorar los índices de sequía (Alley, 1984).

*Alley, W. (1984). The Palmer Drought Severity Index: Limitations and Assumptions. J. Climate and Appl. Meteorol. Vo. 23, 1100-1109.*

*Palmer, W. C. (1965). Meteorological Drought. Weather Bureau. U.S. Department of Commerce, Washington D.C. Research Paper No. 45*

Descripción de la vulnerabilidad de la población e infraestructura expuesta

A lo largo de la historia, un porcentaje importante de la población del centro y norte de México ha sufrido repetidamente los impactos de la sequía. Alrededor del 40% del país es catalogada como desierto o zona semiárida.

Según datos que podemos encontrar en algunas agencias noticiosas<sup>1</sup>, la sequía afectó en el 2011 a 22 entidades federativas de la República Mexicana, alrededor 14 millones de personas entre campesinos y ganaderos, por lo que la Cámara de Diputados aprobó \$150,000 millones de pesos para apoyar la sobrevivencia de millones de campesinos y mantener de cierta forma la actividad agrícola.

La sequía de 2011, impactó a más de 2 millones de hectáreas y a más de un millón de cabezas de ganado que servían de sustento a más de 3 millones de familias<sup>2</sup>. Esta sequía, catalogada de severa a excepcional, alcanzó un 75% del territorio nacional.

---

<sup>1</sup> (<http://www.cnnexpansion.com/economia/2012/06/08/sequia-cuesta-150000-mdp-a-mexico>)

<sup>2</sup> (Ver <http://smn.cna.gob.mx/climatologia/sequia/2011/sequia0611.png>)

El 40% de la República Mexicana padece sequía en distintos grados de intensidad y, si bien es mayor en los estados del norte, ésta se ha intensificado en la zona central del país afectando ya labores importantes en la conformación de la canasta básica alimentaria. Según datos de CONAGUA, en Septiembre de 2013, había 275 municipios en 17 entidades federativas afectados, en algún grado de severidad, por la sequía. Lo anterior representa una área correspondiente a un 17.4% del territorio nacional.

Los desastres causados por fenómenos naturales, tales como la sequía en su fase más crítica, constituyen detonadores de situaciones sociales, económicas y políticas preexistentes. En el momento de la emergencia afloran conflictos, relaciones y situaciones que no aparecen con tanta claridad cuando la vida no es alterada por la ausencia o escasez de agua.

**d) Características de los entregables que se espera obtener como resultado de la ejecución del Proyecto de Investigación**

Reporte electrónico del pronóstico climatológico que resumirá la evolución de las condiciones medias de la atmósfera para cada mes, describiendo con detalle las regiones del país que pudieran ser afectadas por condiciones de sequía o lluvias por arriba de lo normal.

Al finalizar el primer año: Evaluación objetiva de la capacidad de pronóstico del modelo bajo diversas condiciones climatológicas observadas en el periodo histórico (años Niño, Niña y neutros).

Realizar un pronóstico estacional trimestral a partir del mes 12 de ejecución del proyecto.

A los 18 meses: Evaluación objetiva del pronóstico realizado, al finalizar el mes número 12, para los nueve meses siguientes. Para esta evaluación se contará con una estimación de lo observado para los primeros seis meses de pronóstico (del total de nueve) y se recopilarán todos los elementos disponibles para calcular diversas métricas que nos indiquen que tan acertado fue el pronóstico. Asimismo, se evaluará el pronóstico emitido en el mes 18, aunque en este caso se tendrá la estimación de lo observado sólo para tres meses.

**e) Forma y medio en que deberán ser entregados los resultados del Proyecto de Investigación**

Todos los entregables serán presentados en medios digitales, a fin de facilitar su análisis y procesamiento.

**f) Plazo máximo para el desarrollo del Proyecto de Investigación;**

18 meses, a partir de su aprobación

**g) Programa de la ejecución del gasto del Proyecto de Investigación**

Se adjunta programa.

**h) Calendario de entrega de reportes trimestrales**

A más tardar el último día hábil de los meses 3, 6, 9, 12 y 18, en función de la fecha de inicio del Proyecto de Investigación.

**i) Criterios considerados para la evaluación del Proyecto de Investigación**

1. Integralidad, coherencia y pertinencia de la información que analizada.
2. Cobertura geográfica acorde con las necesidades del pronóstico.
3. Precisión de los datos de pronóstico.
4. Compatibilidad de la información entregada con la plataforma del ANR y del SNA.

