



**VIII** Congreso Nacional y  
**I** Congreso Internacional  
de Riego, Drenaje y Biosistemas  
COMEI - UAAAN 2023 | Saltillo, Coahuila  
4 al 6 octubre 2023



## MESA REDONDA: ESTIMULACIÓN DE LLUVIA: ¿MITO O REALIDAD?

# ESTIMULACIÓN DE LLUVIAS

**Ponente Invitado:**

Alejandro J. Trueba Carranza



Fecha de presentación: 04 de octubre 2023



**AGRICULTURA**  
SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL



**Sonhos**  
universidad personalizada



## Antecedentes

Desde que el humano domesticó a las plantas descubrió su dependencia del clima para optimizar su esfuerzo en las nuevas cosechas.

Desde entonces nació también su incesante búsqueda para modificar su entorno para obtener mayores y mejores cosechas, el clima no fue la excepción y prácticamente en todas las culturas existen vestigios en tal sentido, algunos de los cuales se mantienen a la fecha.

En el plano científico el primer hecho relevante fue el desarrollo de la química de superficie de Irving Langmuir (1932); Vincent Schaefer (1946) sembró por primera vez nubes con hielo seco y posteriormente Bernard Vonnegut (1947) descubrió al yoduro de plata como la molécula ideal para inducir la cristalización del agua en la atmósfera e inducir la precipitación.

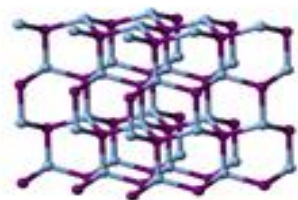
## Antecedentes

En México la más remota experiencia registrada, al margen de las ceremonias mágicas, fue en 1953, en Nuevo León donde se hizo uso de un avión de guerra norteamericano que arrojó por una escotilla hielo seco a una atmósfera cargada de humedad... Y llovió.

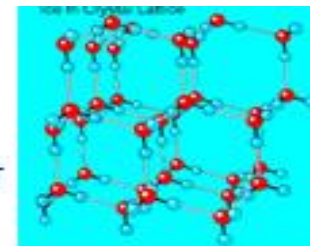


# Teoría de la Estimulación de Lluvias

La teoría de la estimulación de lluvias se sustenta en replicar las condiciones de la naturaleza, aplicar las leyes de la física del agua y la inyección de núcleos de condensación detonantes de una reacción desencadenante en la nube.



Estructura molecular del Yoduro de Plata



Estructura molecular del Agua (Hielo)

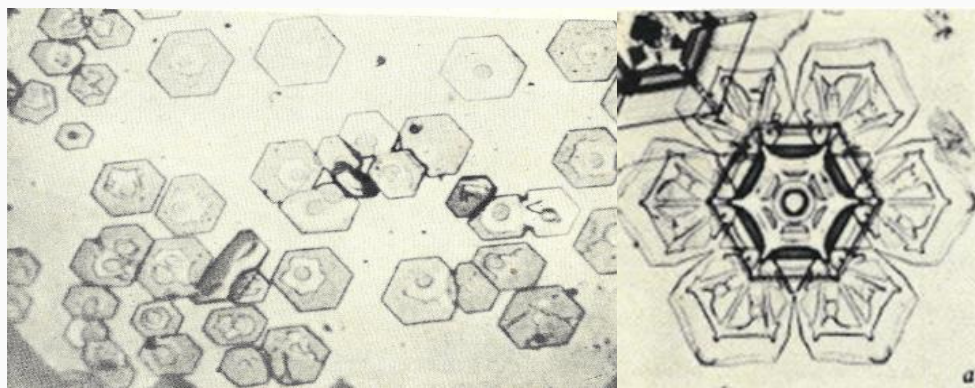


# Teoría de la Estimulación de Lluvias

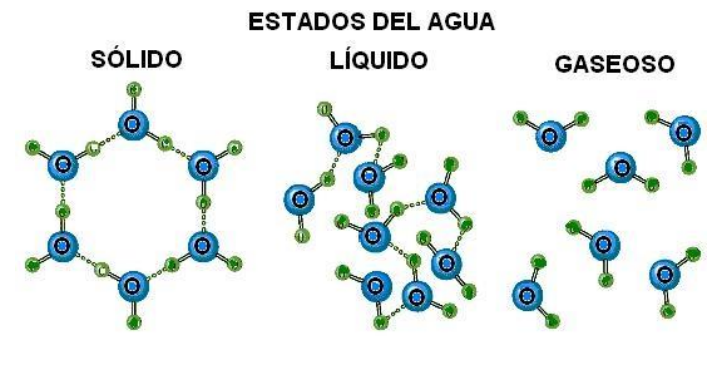
La estimulación de lluvias inicia al liberar las moléculas de yoduro de plata en la nube, su estructura molecular (1) hace que se posen en ella los cristales de hielo (2) liberando energía que empuja la fusión de otros cristales en reacción desencadenante para formar una gota y miles más, iniciando una precipitación.



*Yoduro de Plata 9200 X al Ocular*



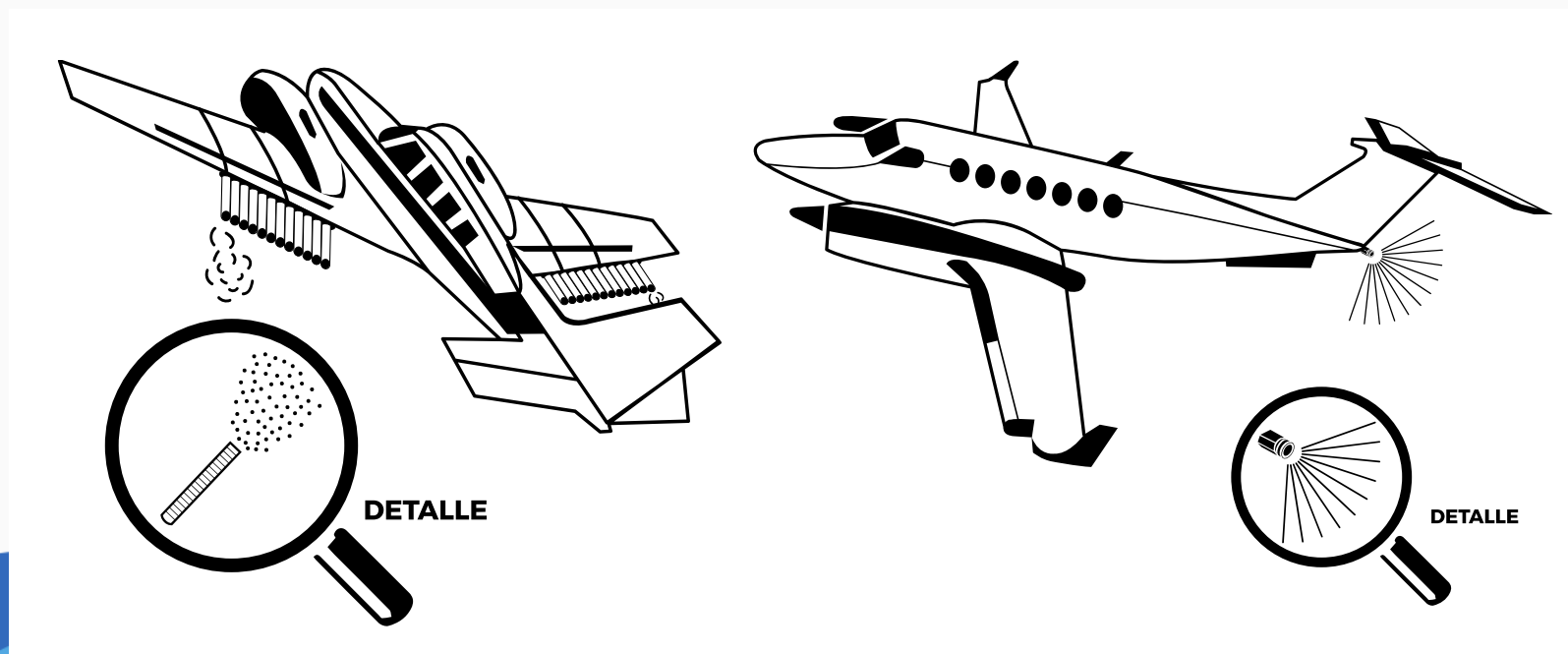
*E. Molecular del Hielo*



*Estados Físicos del Agua*

# La Tecnología

La tecnología utilizada parte de los principios básicos del yoduro de plata en su reacción teórica que hasta la fecha se utiliza a través de bengalas (tecnología mundial), pero empleando una forma mucho más eficiente en cuanto a nitidez de núcleos en la atmósfera desarrollada por Manuel Menéndez (1975) y perfeccionada por el suscrito (tecnología mexicana).



## Aplicación Tecnológica

La diferencia en la aplicación del yoduro de plata entre ambas tecnologías determina un gran abismo de opciones operativas que marca el gran paso operativo y de eficiencia entre ellas:

### SISTEMA DE BENGALAS

Limita la disponibilidad de núcleos nítidos

Tiene restricciones en nucleación y temperatura

No permite interacción con la nube

Opera solo en nubes frías (-20°C)

El tiempo de reacción es lento

### SISTEMA RAINMATE

La potencializa al máximo

No las tiene

Permite la manipulación de ésta

No tiene restricciones por temperatura

La reacción en lluvia es inmediata

## Aplicación Tecnológica

A partir del 2020/21 (invierno) y hasta el verano 2023 se han desarrollado **veintiún proyectos** beneficiando 37.5 millones de hectáreas, interactuando en todos los desiertos mexicanos y cubriendo territorio de **doce Estados de la República** a través de **365 misiones de vuelo**, todas generadoras de lluvia y que invariablemente cambiaron el escenario de sequía inicial por el de condición de humedad (**Monitor de Sequías** de la CNA), lograron incrementos en la precipitación (eficacia) en rangos de **entre 40% y 78%** (medidos con pluviómetros e imágenes de satélite) y propiciando **el desarrollo significativo de la vegetación** (NDVI imágenes de satélite) entre las superficies objetivo y las del resto del territorio.

Resultados paralelos se apreciaron en la **captación de agua en presas de almacenamiento** resultado de los escurrimientos generados.



# Beneficios *in situ*



# Beneficios *in situ*

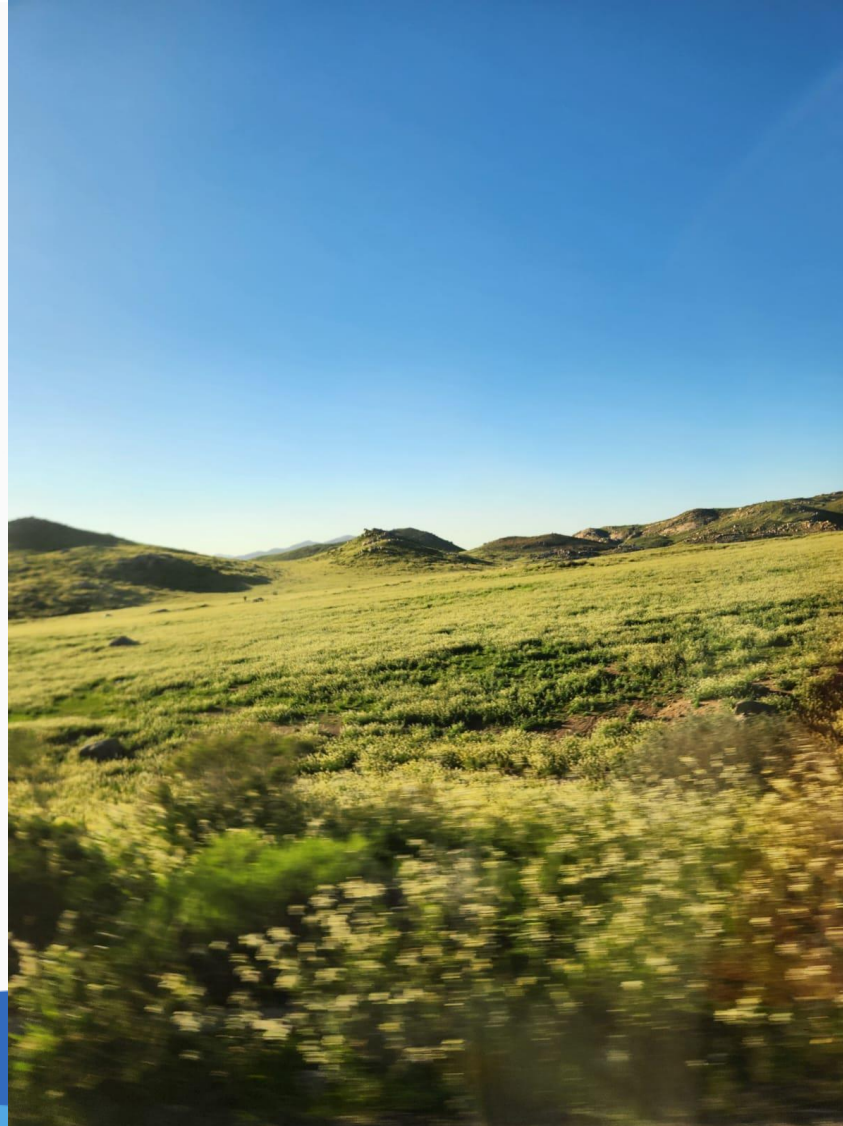




**VIII** Congreso Nacional y  
**I** Congreso Internacional  
de Riego, Drenaje y Biosistemas  
COMEI - UAAAN 2023 | Saltillo, Coahuila  
4 al 6 octubre 2023



# Beneficios *in situ*

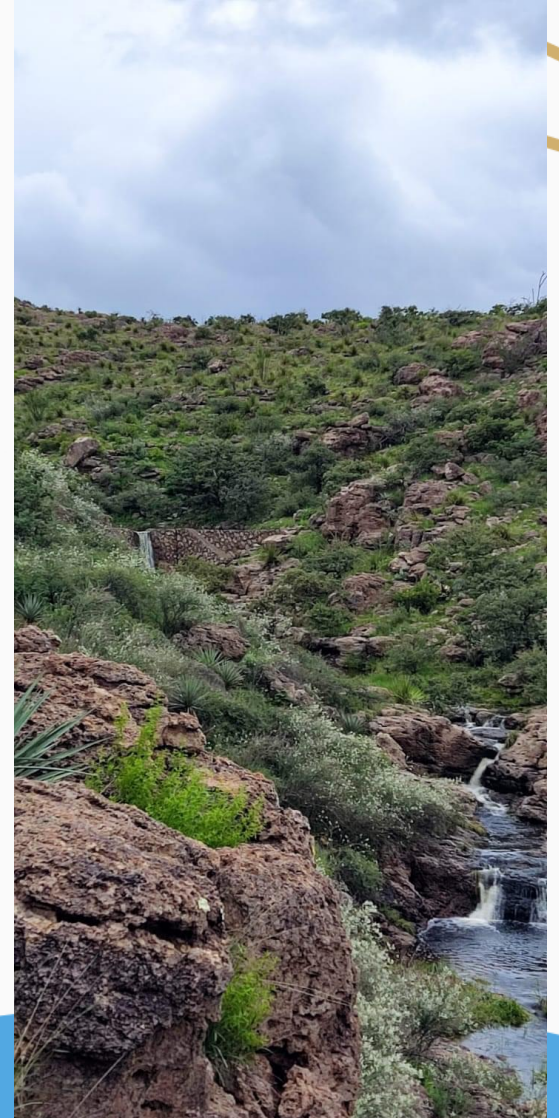
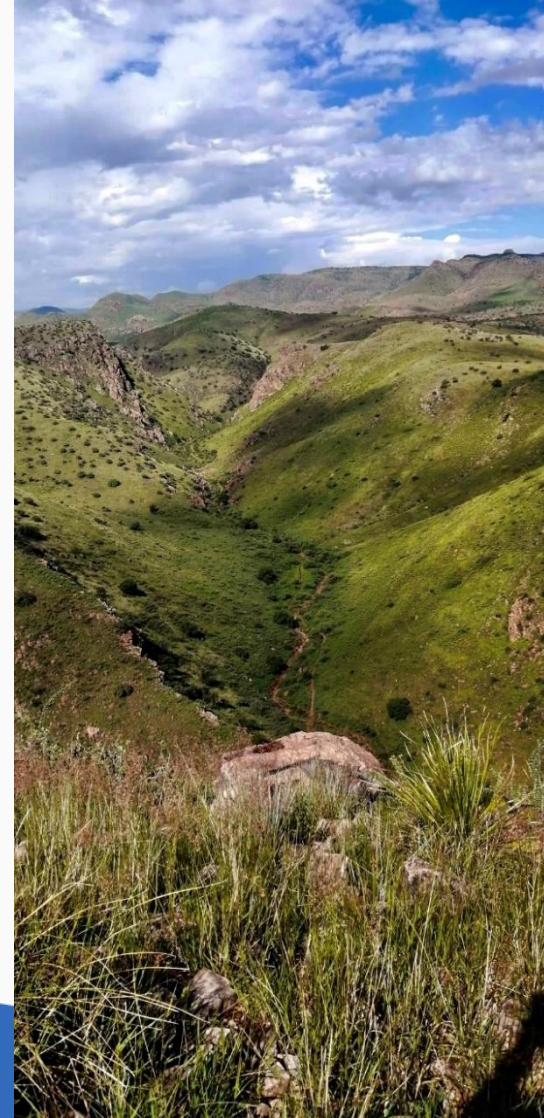




**VIII** Congreso Nacional y  
**I** Congreso Internacional  
de Riego, Drenaje y Biosistemas  
COMETI - UAAAN 2023 | Saltillo, Coahuila  
4 al 6 octubre 2023



# Beneficios *in situ*

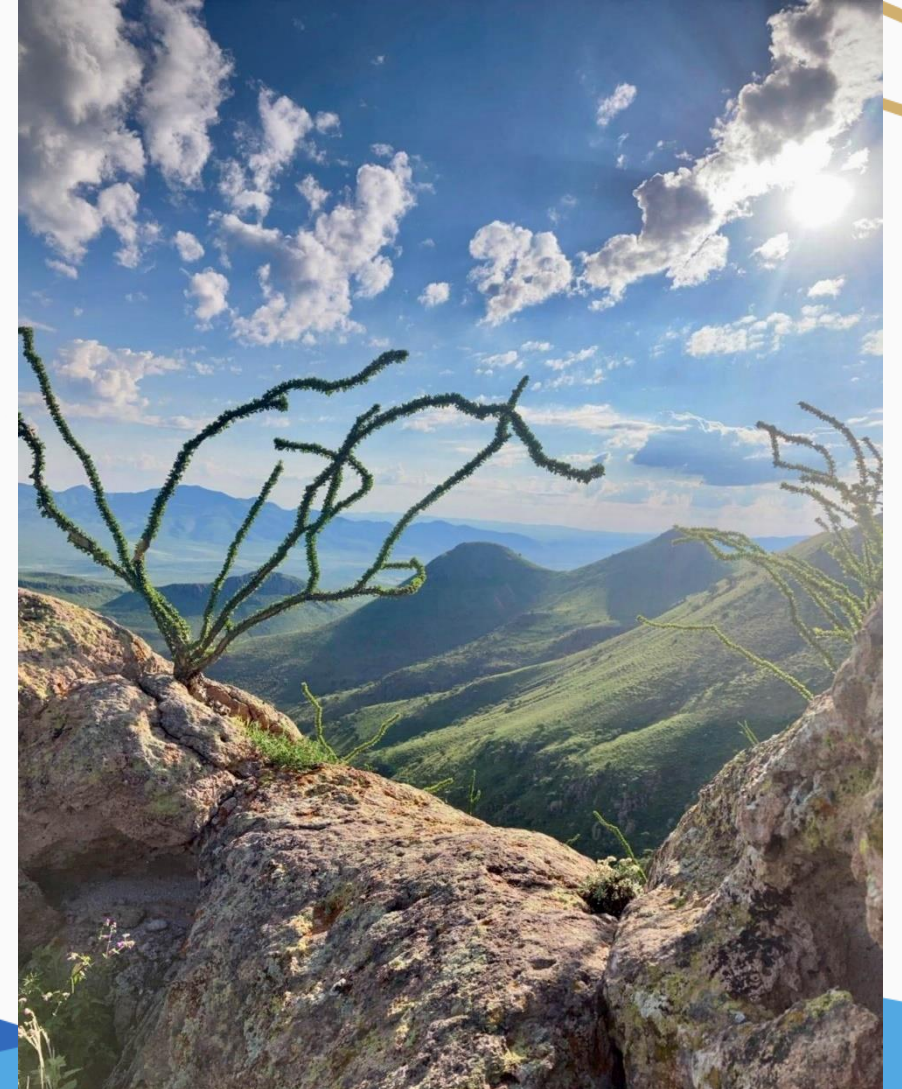
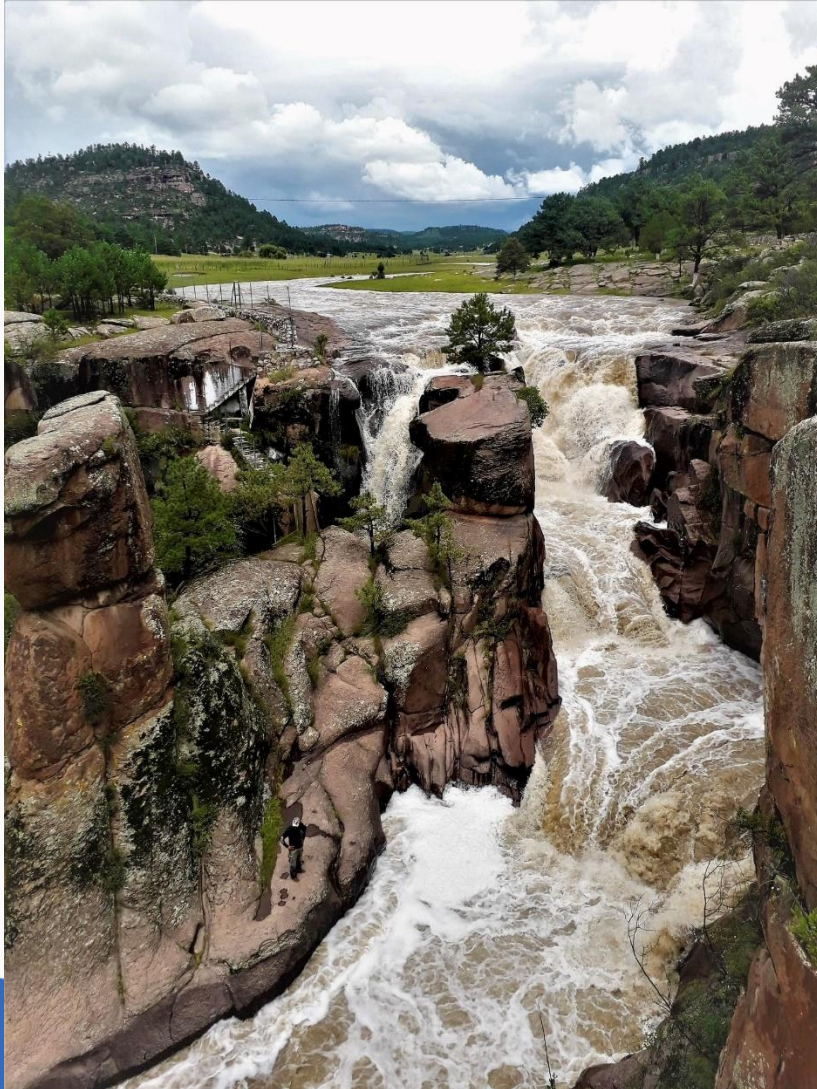




VIII Congreso Nacional y  
I Congreso Internacional  
de Riego, Drenaje y Biosistemas  
COMETI - UAAAN 2023 | Saltillo, Coahuila  
4 al 6 octubre 2023



# Beneficios *in situ*





VIII Congreso Nacional y  
I Congreso Internacional  
de Riego, Drenaje y Biosistemas  
COMEI - UAAAN 2023 | Saltillo, Coahuila  
4 al 6 octubre 2023



# Beneficios *in situ*



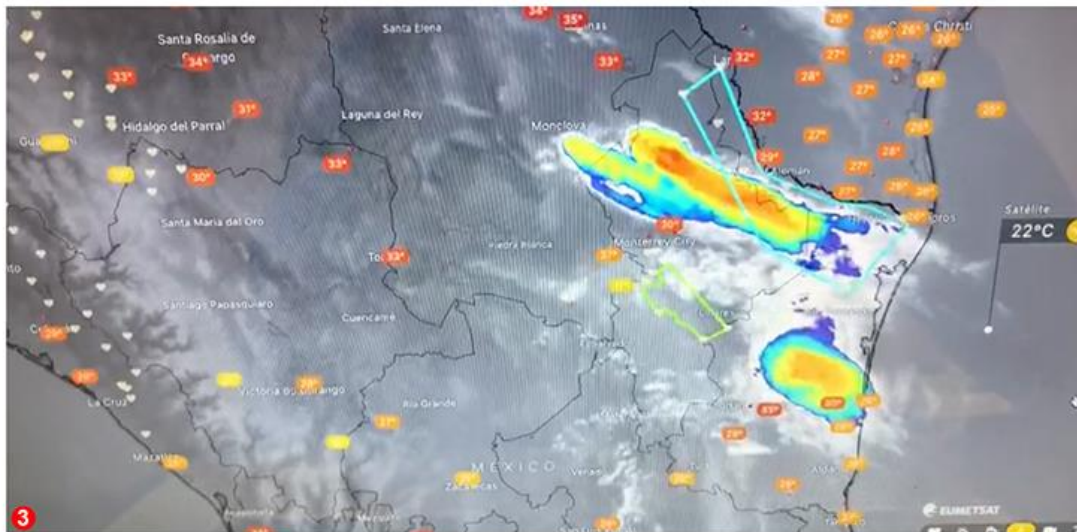
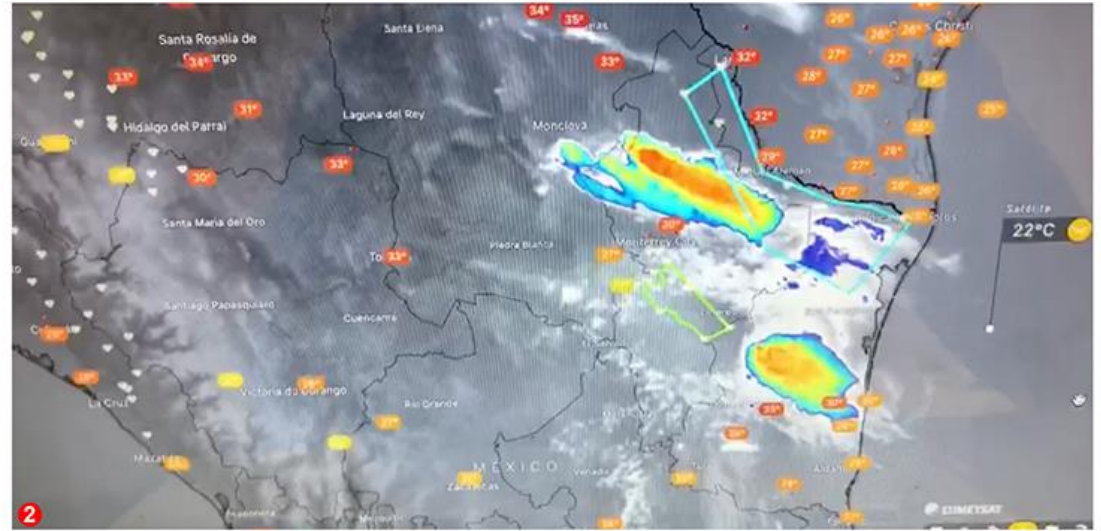
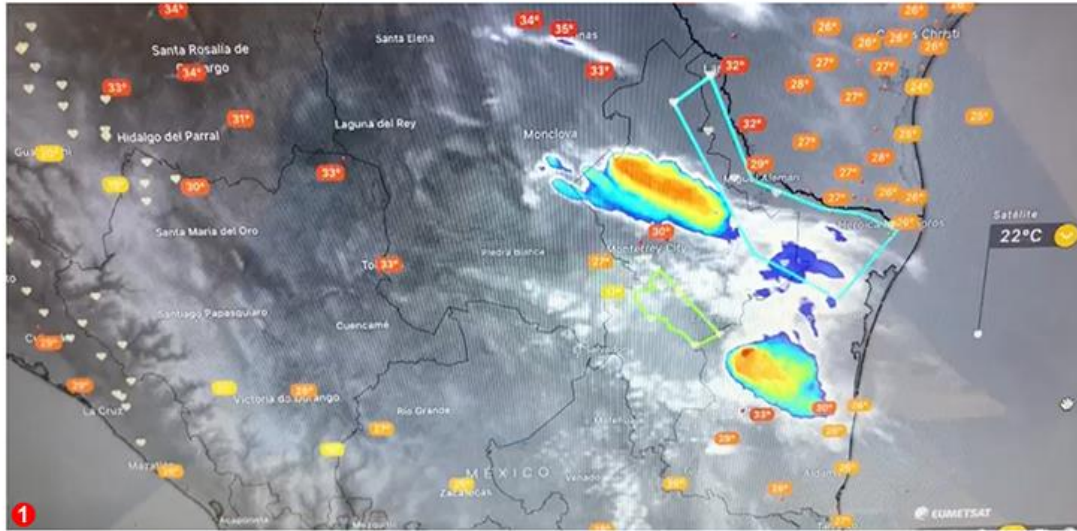
**Riego por  
lluvia**



VIII Congreso Nacional y  
I Congreso Internacional  
de Riego, Drenaje y Biosistemas  
COMEI - UAAAN 2023 | Saltillo, Coahuila  
4 al 6 octubre 2023



# Registros satelitales (GOES)



# Incrementos en la precipitación y el desarrollo vegetativo (*in situ*)

## Proyecto Sinaloa 2021

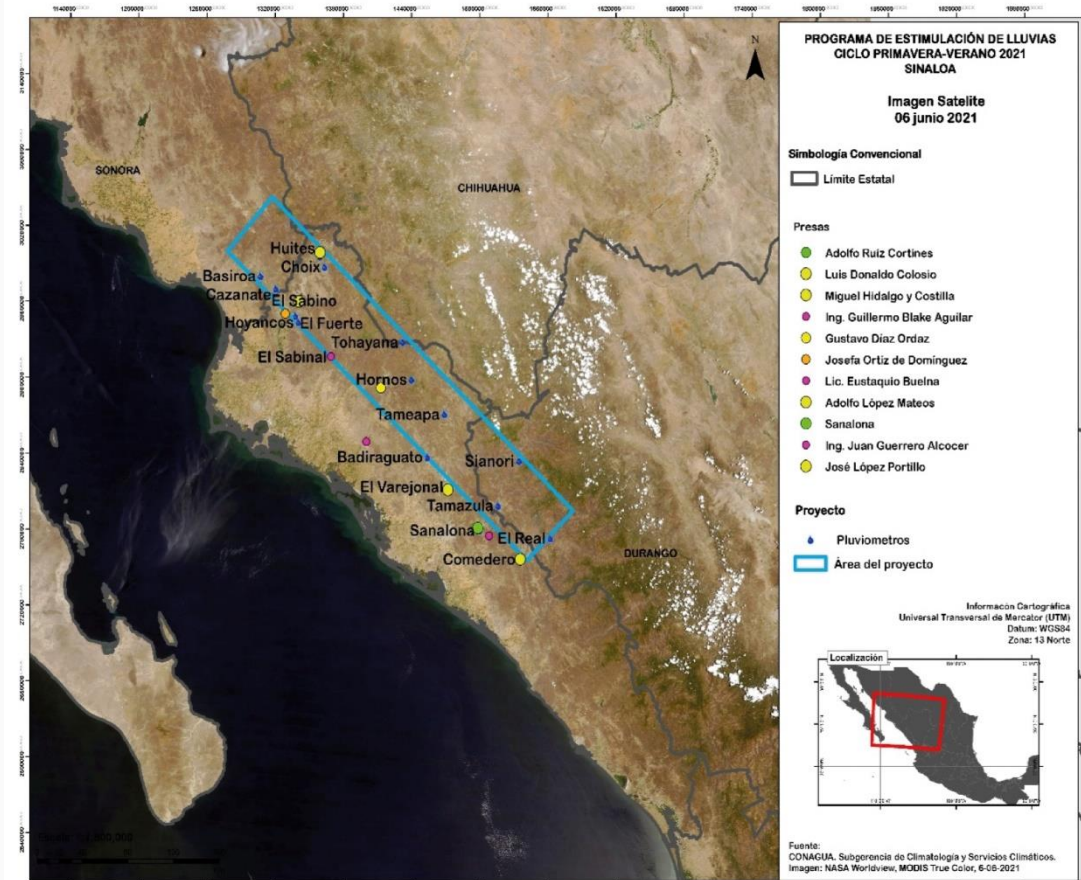
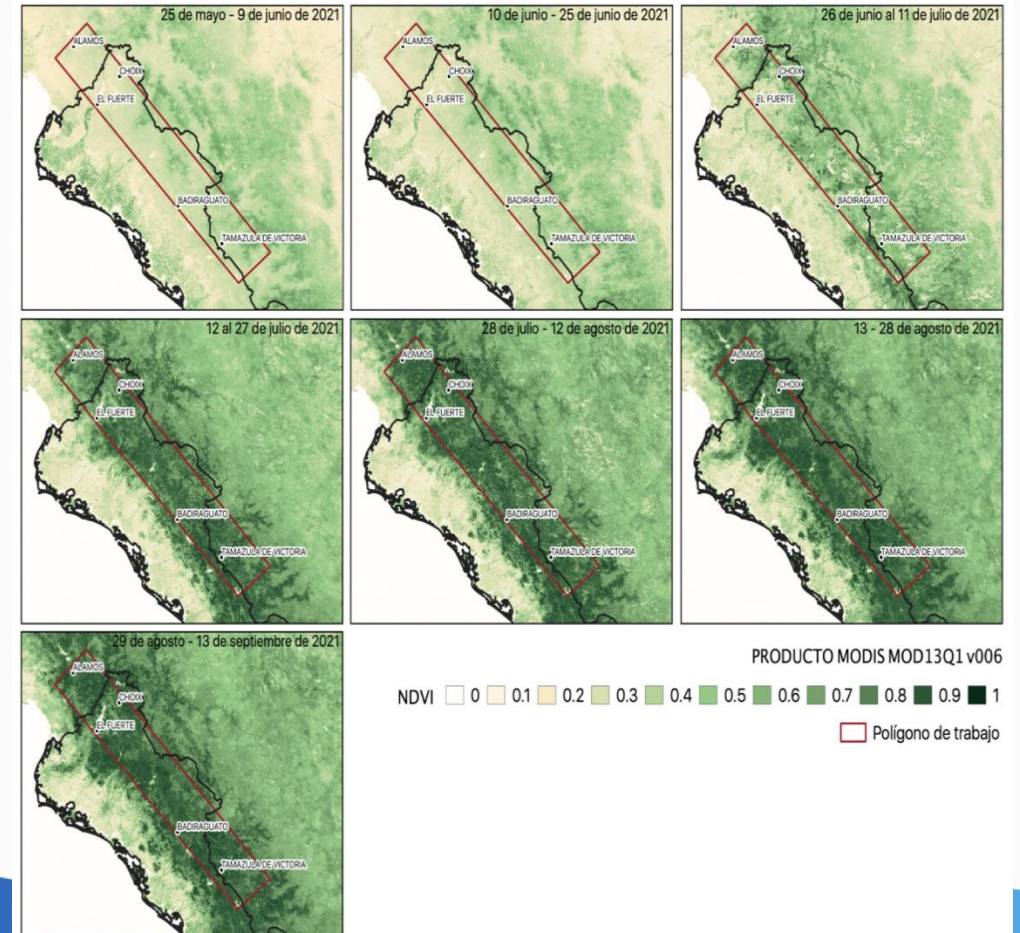


Figura 1. Polígono establecido de trabajo

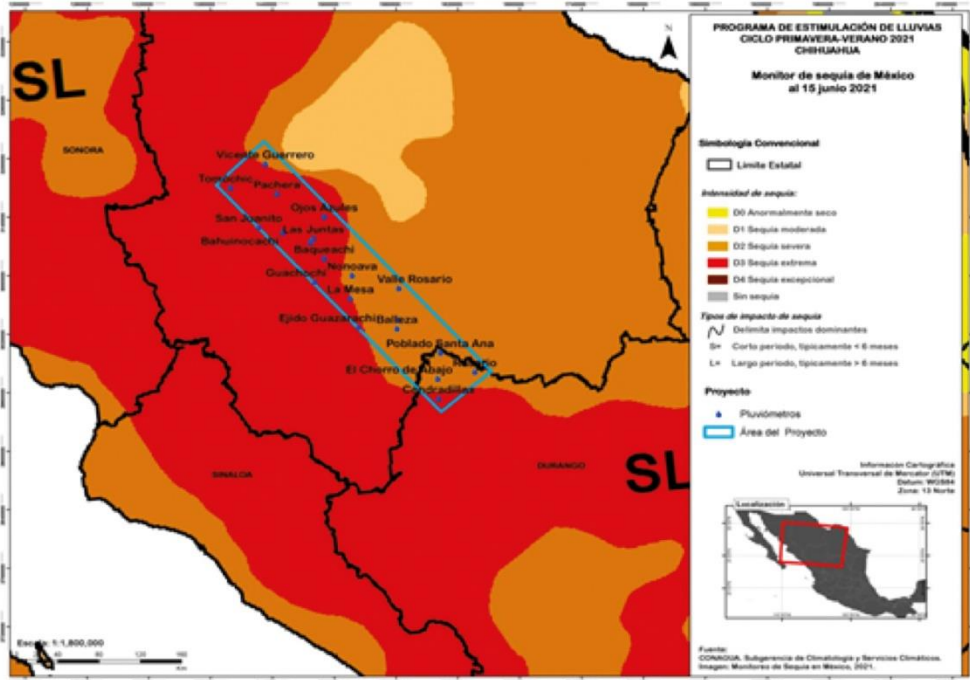




# Condiciones de Sequía

Porcentaje de área (%) al 15 de Junio 2021

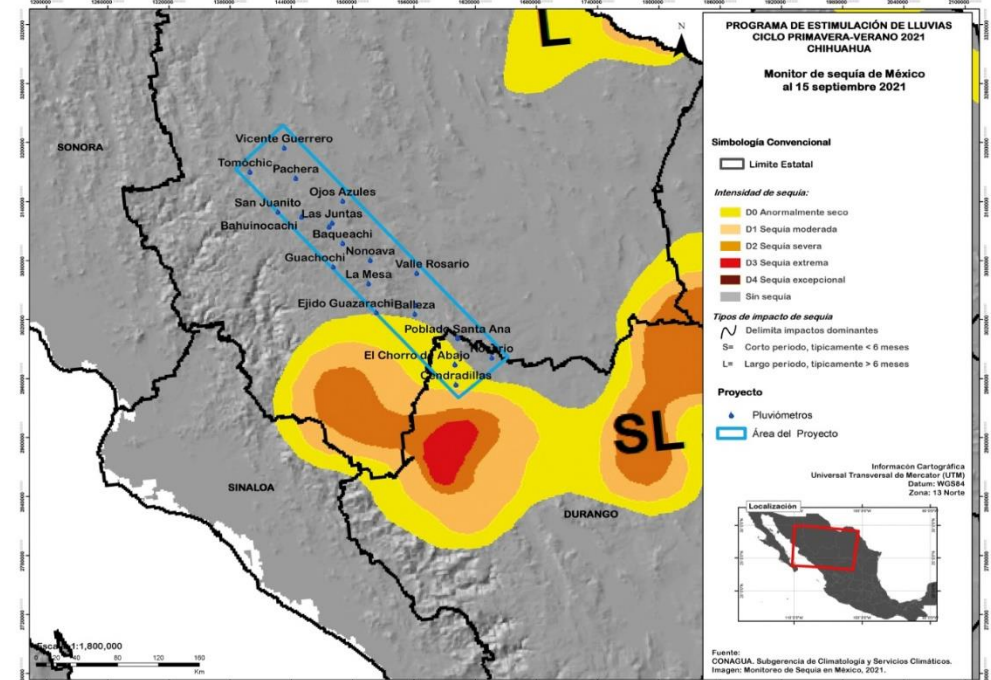
Inicio de proyecto



Tipo de sequía	D0	D1	D2	D3	D4
Porcentaje del área con sequía	0.0	7.6	47.4	41.4	3.6
Municipios con sequía	-	2	29	31	5

Porcentaje de área (%) al 15 de Septiembre 2021

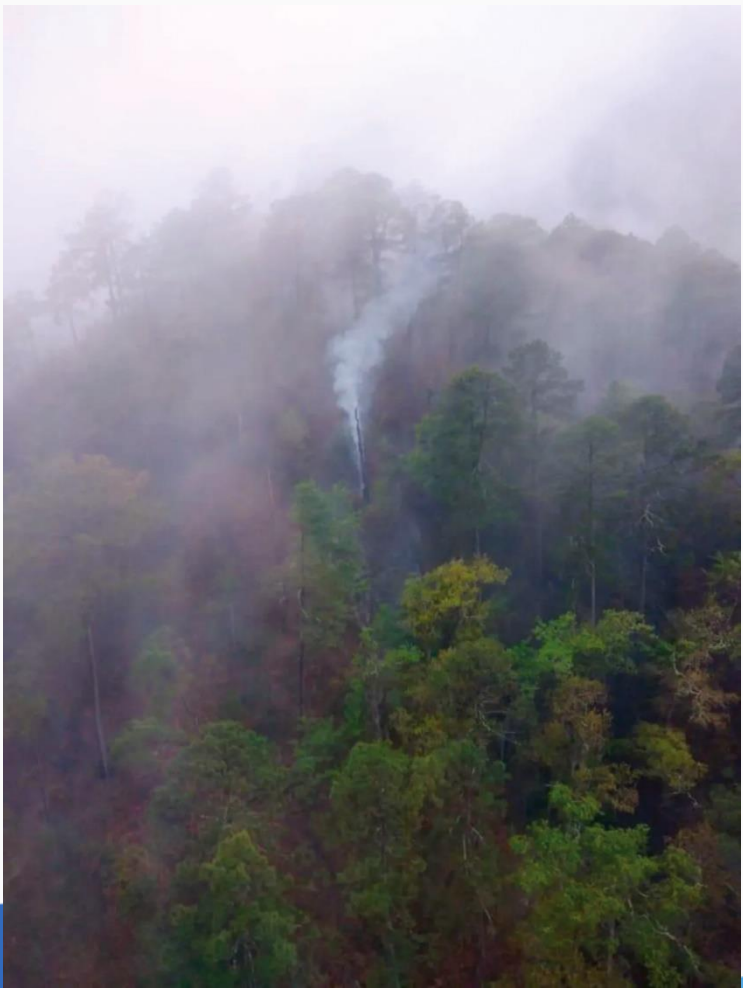
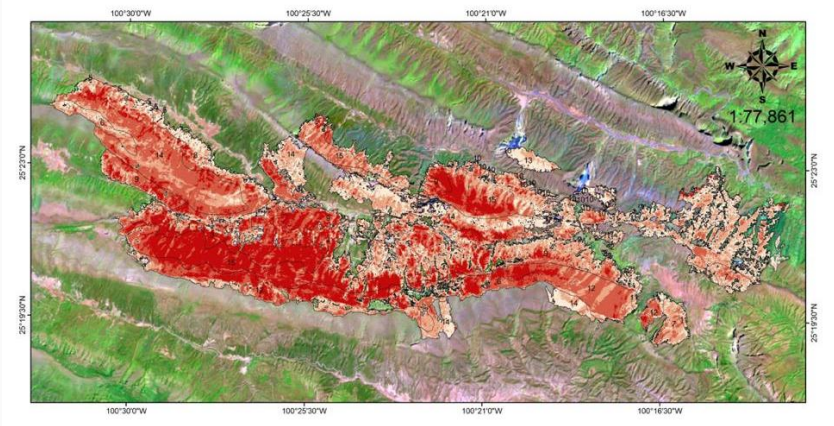
Fin de proyecto



Tipo de sequía	D0	D1	D2	D3	D4
Porcentaje del área con sequía	10.6	5.7	3.4	0.0	0.0
Municipios con sequía	5	6	4		

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional. Monitor de Sequía en México.

# Combate de incendios





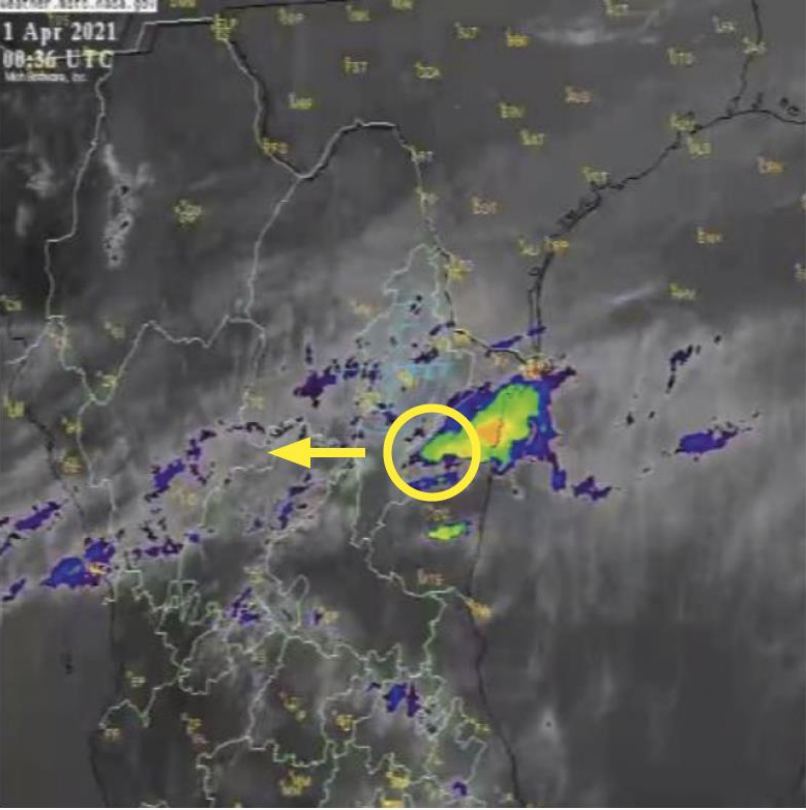


# Combate de incendios

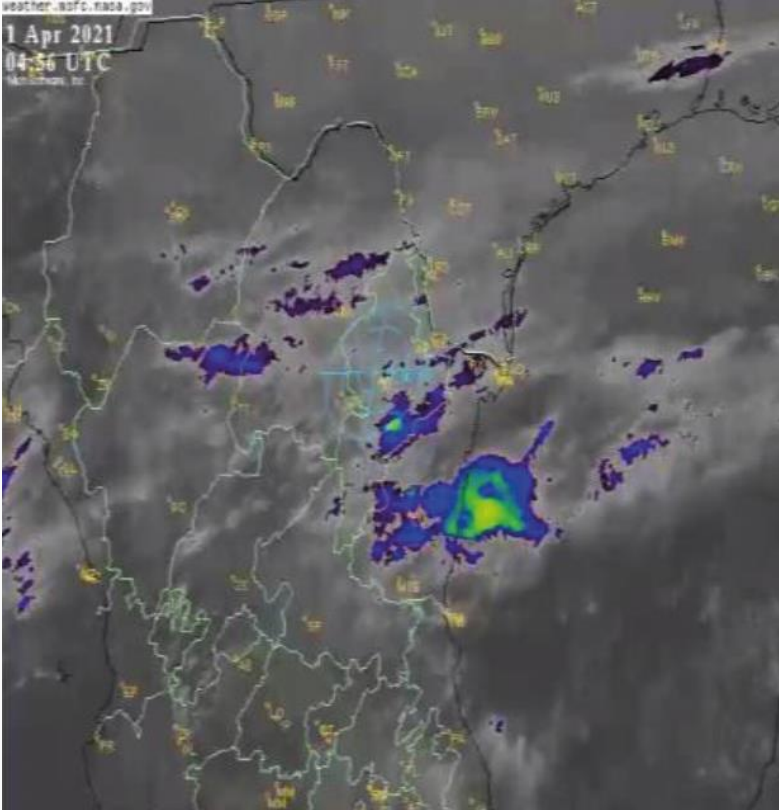
Imagen previa a la estimulación de lluvia



Imagen posterior a la estimulación, el círculo amarillo indica el desplazamiento logrado y que generó la lluvia que apagó el incendio



Extinción del sistema nuboso No 47



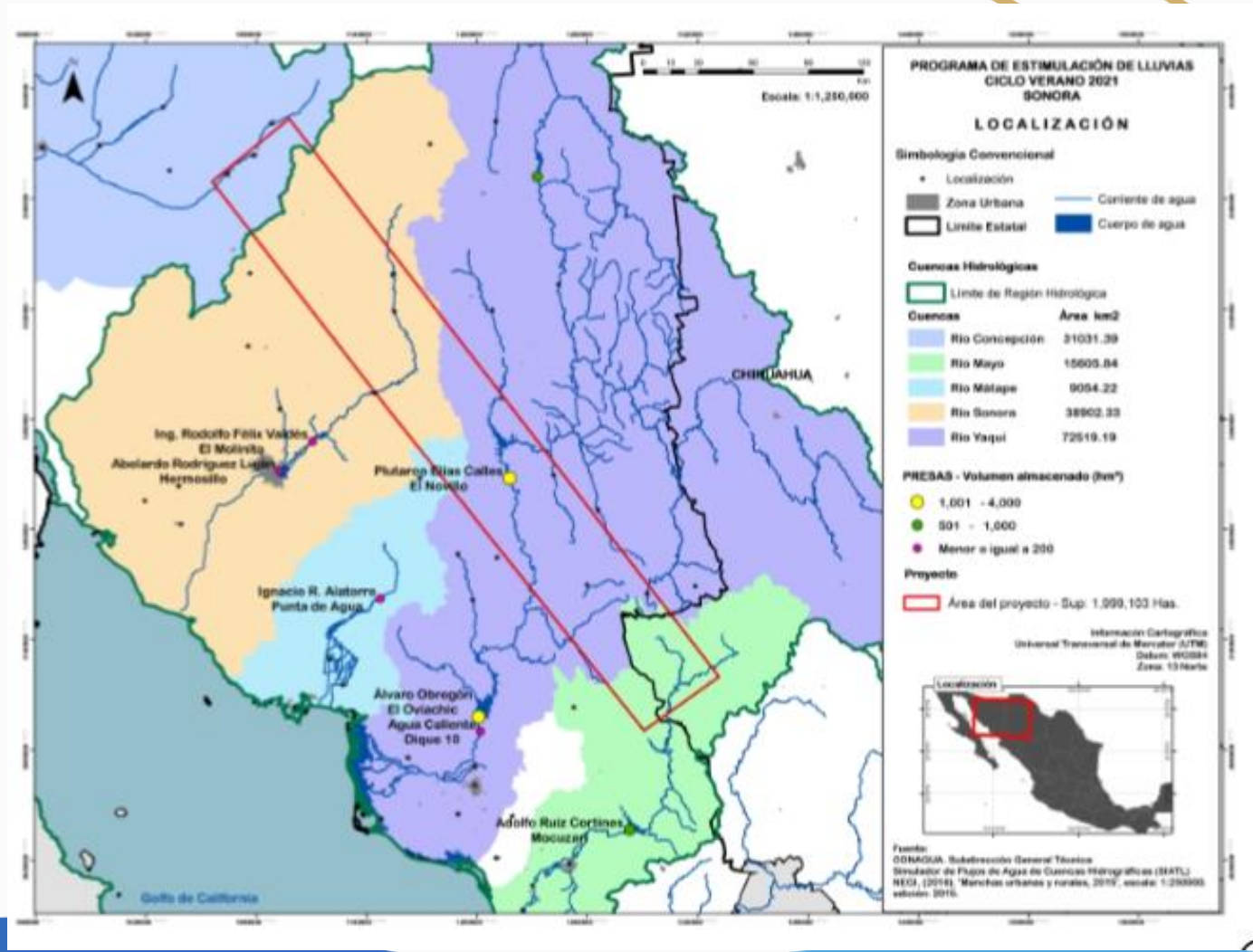


V07, Vuelo histórico del 31 de marzo 2021  
en que se sofocó un incendio de más de 15  
mil hectáreas en Coahuila y Nuevo León

# Polígono de trabajo para Sonora

2 millones de hectáreas, 5 Cuencas, 7 Presas

**Proyectos 2021 y 2023**



# Beneficios en Presas





# Beneficios en Presas

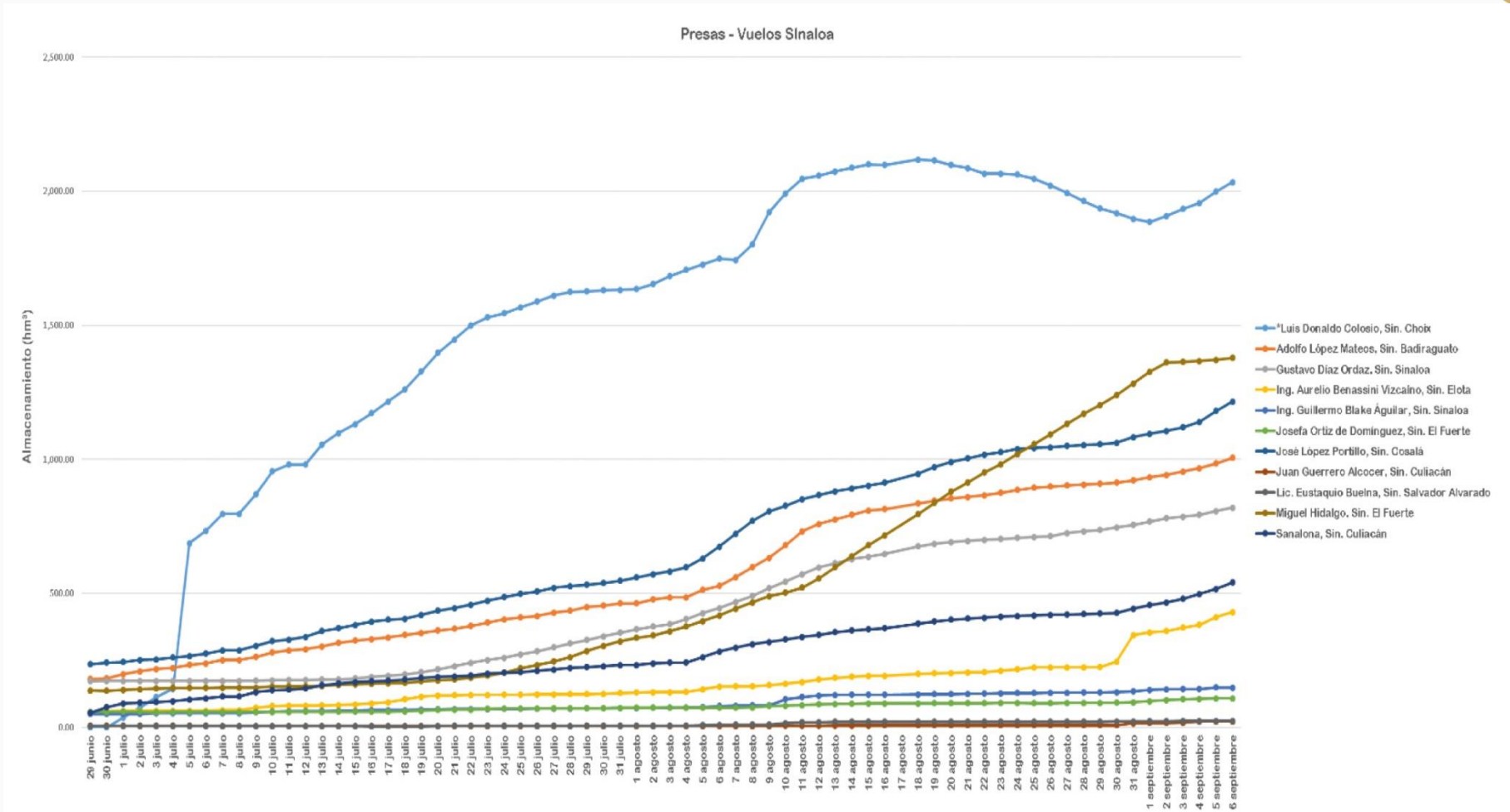


# Beneficios en Presas





# Captación de escurrimientos en presas de almacenamiento



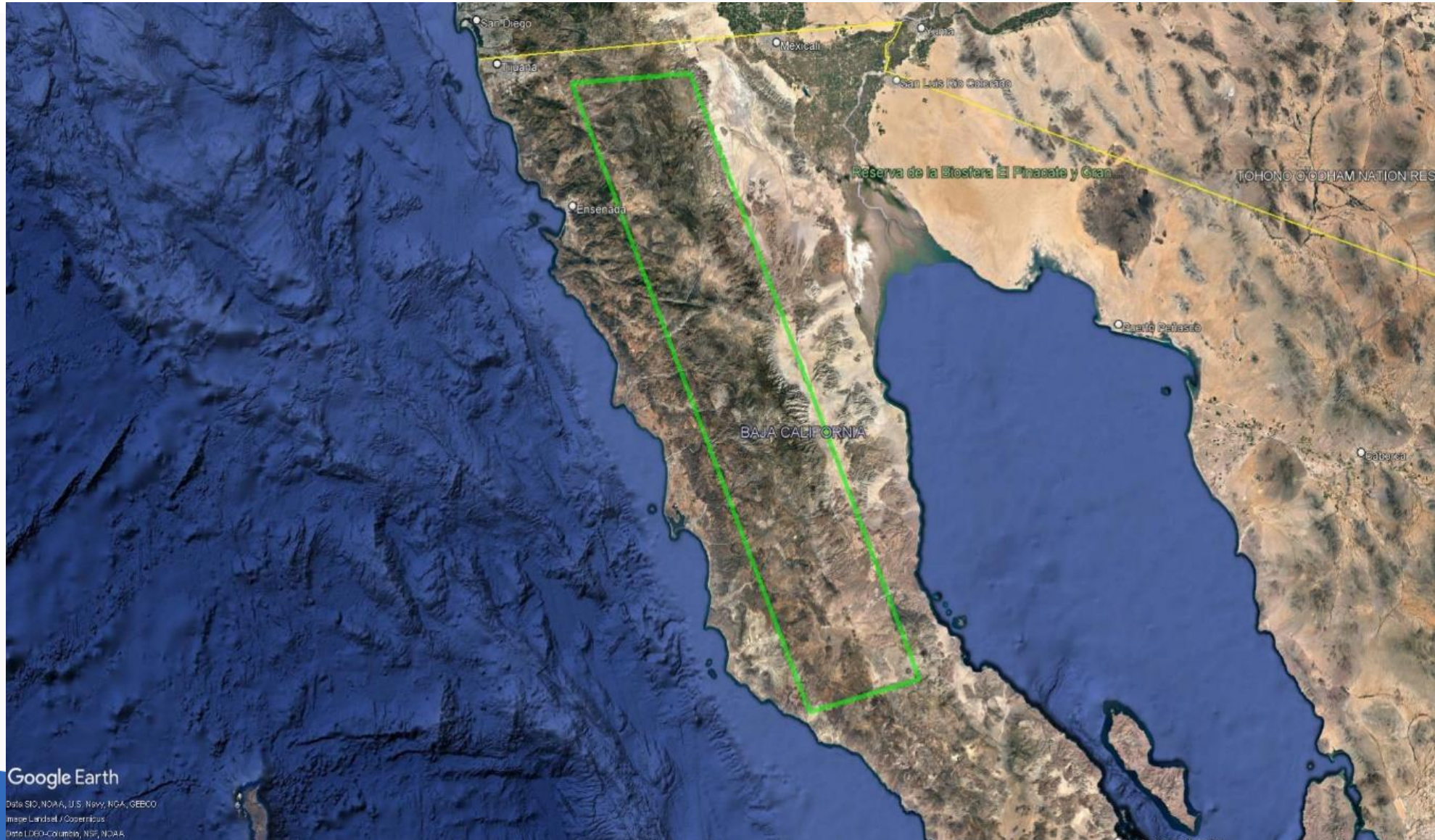
Evolución en el almacenamiento de agua en las presas del Estado de Sinaloa desde el inicio y hasta el fin de programa.



VIII Congreso Nacional y  
I Congreso Internacional  
de Riego, Drenaje y Biosistemas  
COMEI - UAAAN 2023 | Saltillo, Coahuila  
4 al 6 octubre 2023



# Recarga de Acuíferos



Google Earth

Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO  
Imagery Landsat / Copernicus  
Data LDEO-Columbia, NSF, NOAA

# Agua potable



# Agua potable

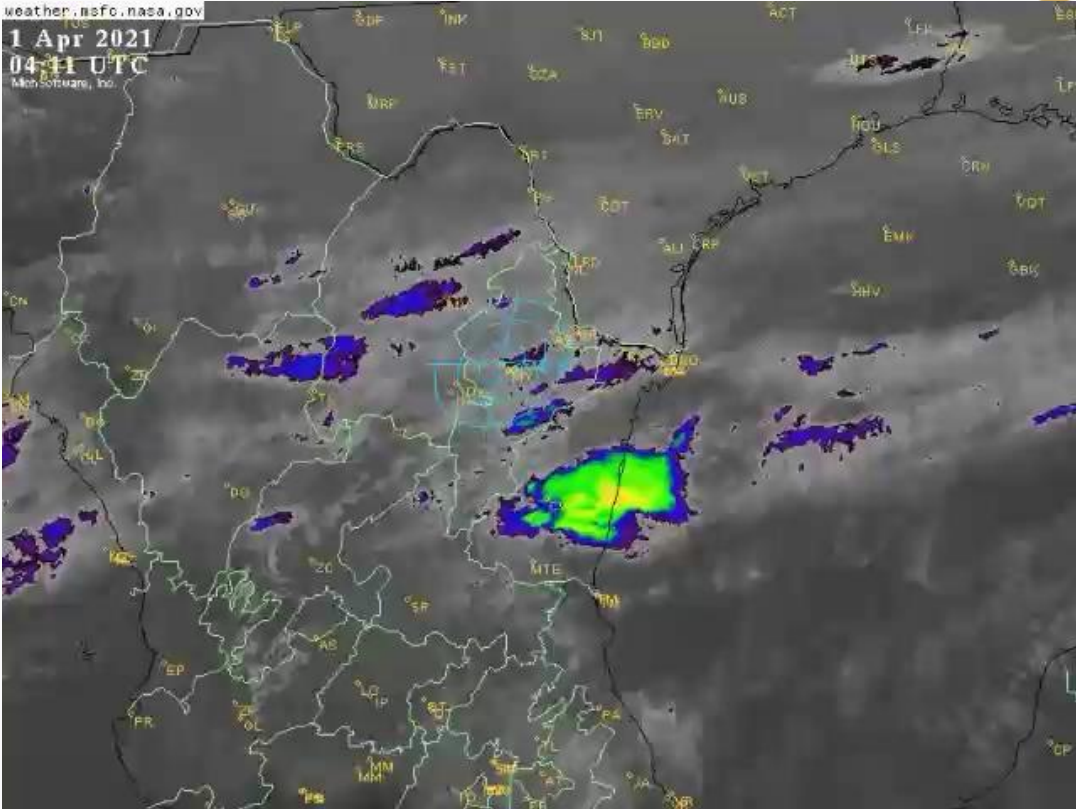
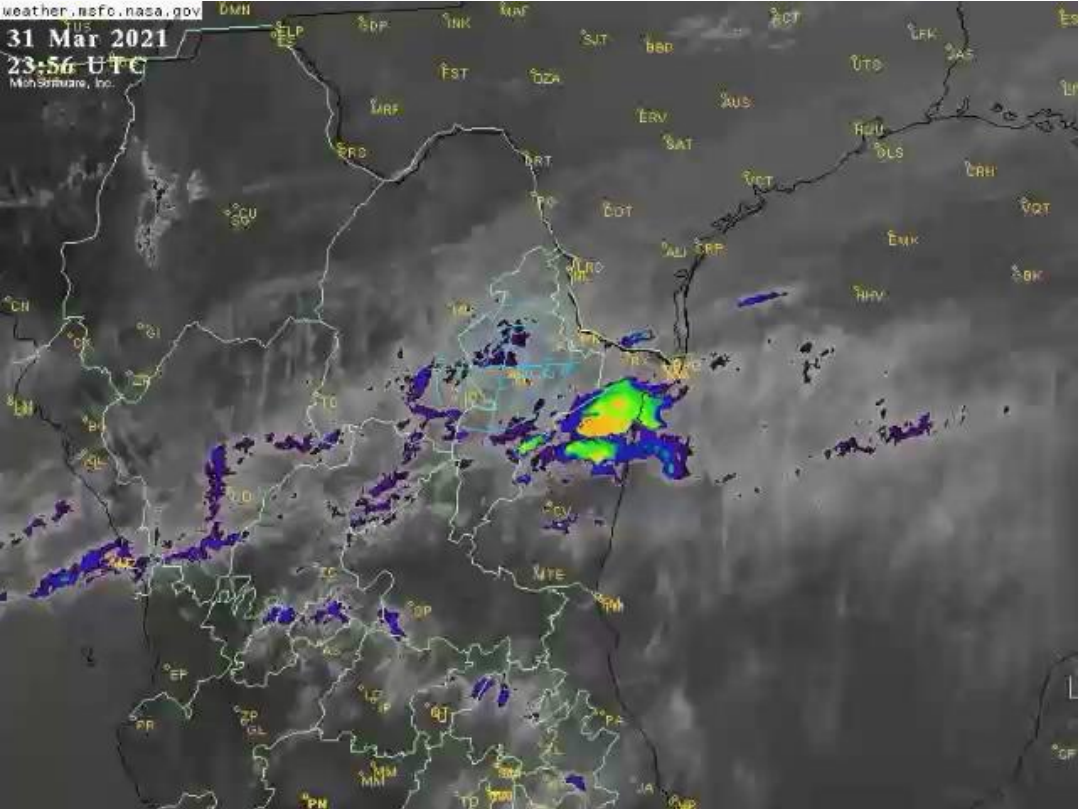




Presas La Boca,  
foto de la  
izquierda seca  
como la  
tomamos, a la  
derecha una  
operación aérea  
y abajo la Presa  
recuperada



# Registros satelitales (GOES)



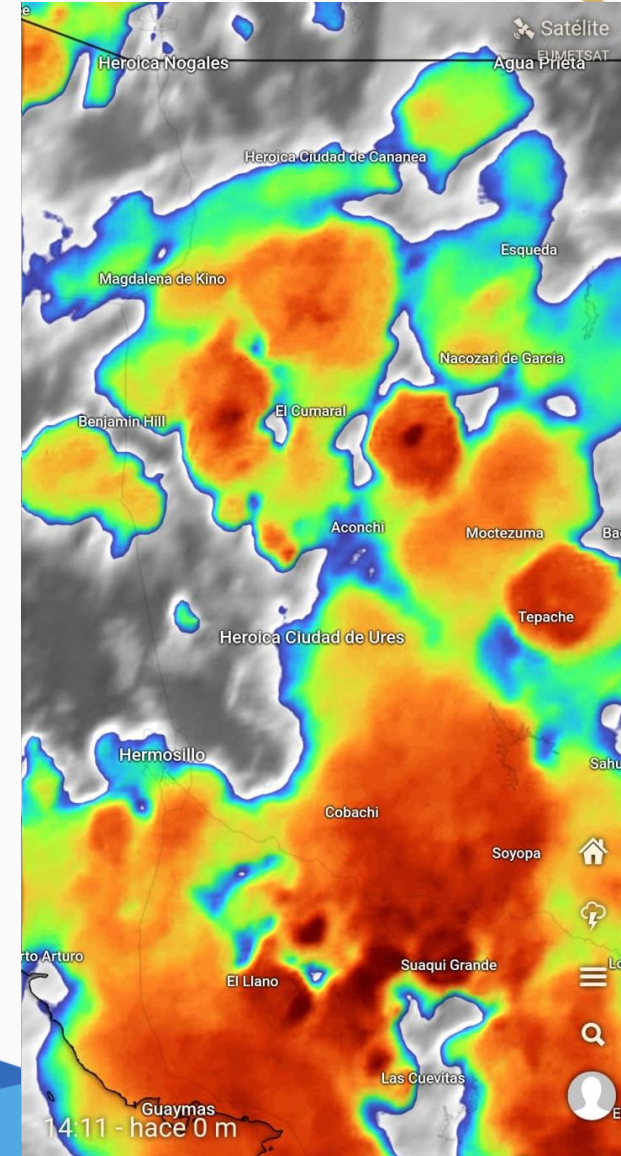
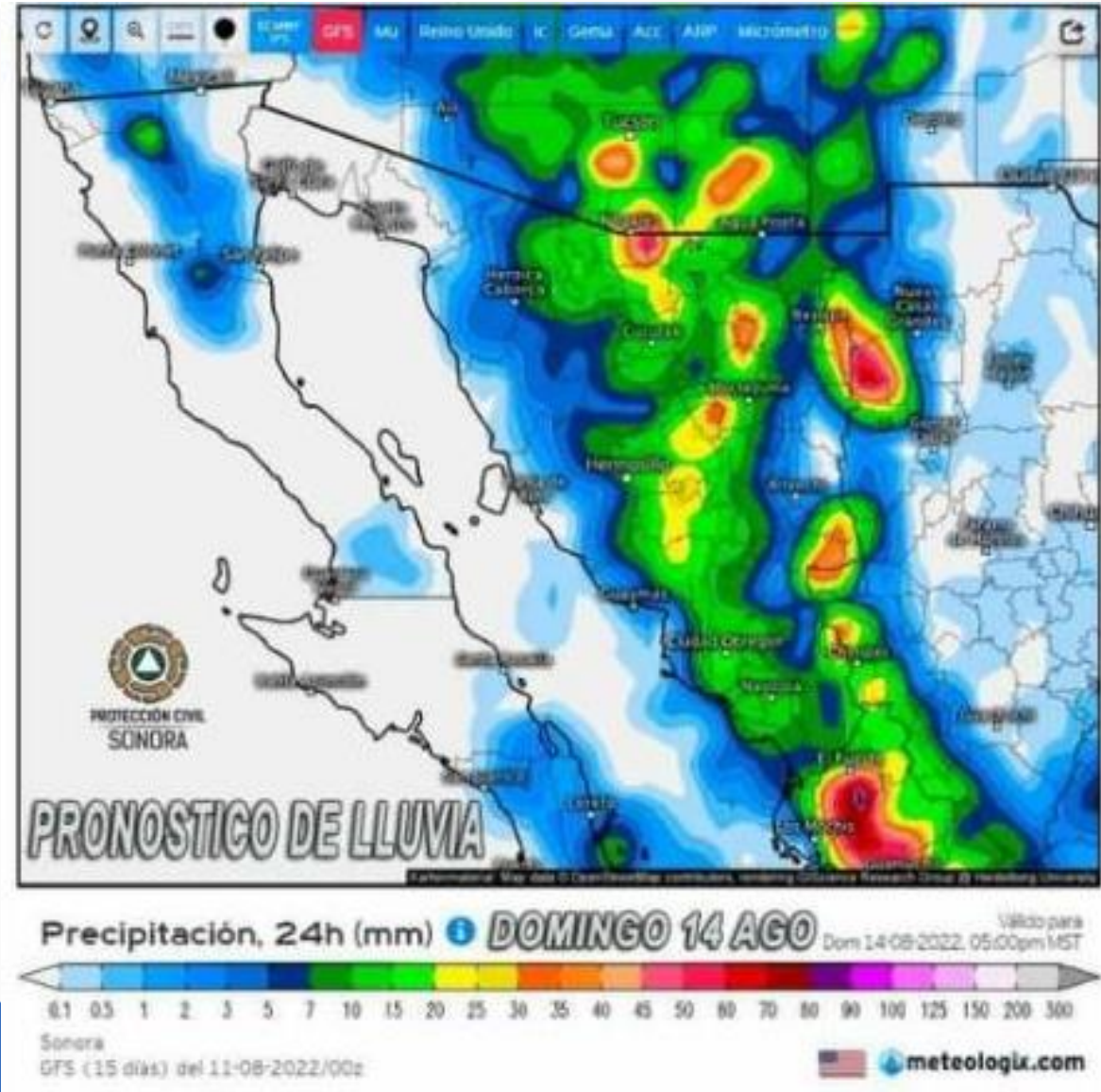




VIII Congreso Nacional y  
I Congreso Internacional  
de Riego, Drenaje y Biosistemas  
COMEI - UAAAN 2023 | Saltillo, Coahuila  
4 al 6 octubre 2023



# Aplicación Windy





VIII Congreso Nacional y  
I Congreso Internacional  
de Riego, Drenaje y Biosistemas  
COMEI - UAAAN 2023 | Saltillo, Coahuila  
4 al 6 octubre 2023



# Coordinación Interinstitucional que detonó el proyecto desde 2021



## SADER

SECRETARÍA DE AGRICULTURA  
Y DESARROLLO RURAL















VIII Congreso Nacional y  
I Congreso Internacional  
de Riego, Drenaje y Biosistemas  
COMEI - UAAAN 2023 | Saltillo, Coahuila  
4 al 6 octubre 2023



# Principales Observaciones

El diseño operativo aplicado ofrece una serie de variantes positivas que permite una reacción desencadenante prácticamente inmediata, con la posibilidad de trazar líneas de reacción que logran desplazamientos en las nubes, que permite diferentes maniobras para adaptarse a las condiciones de la nubosidad y orografía, posición de las áreas objetivo y ataque de nubes en diferentes estados de desarrollo (versatilidad única).

Que ante la falta de años de operación estamos construyendo nuestra nueva estadística y a tres años consecutivos se aprecia una recurrencia en la presencia de nubes en las áreas trabajadas, como si fuera una memoria del agua o lluvias por inercia, como mencionan otros observadores.

Que en los tres años de operación se erradicó la sequía, se potenció la humedad, se salvaron cultivos, llenaron las presas y se sofocaron incendios.





VIII Congreso Nacional y  
I Congreso Internacional  
de Riego, Drenaje y Biosistemas  
COMEI - UAAAN 2023 | Saltillo, Coahuila  
4 al 6 octubre 2023



# Principales aportaciones tecnológicas

Se generó una nueva forma de volar, con aguerridos y excelentemente bien preparados pilotos mexicanos.

Se está en desarrollo, muy promisorio, de técnicas de evaluación del impacto de la lluvia a través de diferentes plataformas satelitales que evalúan la densidad vegetal (índice de verdor), humedad en el suelo y de la precipitación misma, así como del uso de radares como el GOES y aplicaciones como el Windy.

Que es una tecnología que puede considerarse como una opción para paliar los efectos del cambio climático que nos amenaza.

# Pendientes importantes

Integrar otras disciplinas al proyecto que sumen en cuanto a técnicas de evaluación de las operaciones, midan con precisión los incrementos en lluvia generados por efecto del mismo y diseñar esquemas socioeconómicos que dé el justo valor a los resultados obtenidos en términos monetarios y de satisfacción de los beneficiarios.

Que se considere al **proyecto** no solo como tal, sino como un **programa** regular de las Instituciones de Fomento que permitan construir las nuevas estadísticas y diseñar acciones complementarias en términos de planeación del agua, del suelo y de la planta.

Que se aprovechen los excedentes de agua que se generan para potenciar plantaciones forestales, cosecha de agua de lluvia y conservación de suelos y manejo de los cultivos de las áreas objetivo y adyacentes beneficiadas con el proyecto.



Alejandro J. Trueba Carranza  
Adriana Mandujano Moreno  
Joaquín Contreras Gil  
Alejandra Trueba Meave  
Jessica Martínez Jiménez  
Eduardo Prieto Valles  
Rafael Sáenz Ramos  
Luis García Saavedra  
Marco Polo Martínez  
Jorge A. Sánchez Arellano  
Luis Rodrigo García Aguilar  
Martín Máynez Chavarría  
Rafael Sáenz Peñuelas  
Gustavo Rodríguez Vera  
Anacleto Chapa Ríos  
Alejandra Báez Flores  
Samantha Rodríguez de la Gala Hernández  
Bernardo Ricardo Eaton González  
Nadia F. Siordia González  
Carlos Eduardo Tomas Mayorquín  
María de los Ángeles Milanés Salinas  
Javier Guillins Villareal  
Bertha García Capitanachi  
Tania Abigail Burgos Othón

Carolina Trujillo López  
Edgar Bustillos Daniel  
Alejandro Nevárez Durán  
Eduardo Pérez Rodríguez  
Jesús Antonio Chapa Marmolejo  
Alejandra Maldonado Gutiérrez  
Nathanael Traperero Cabrales  
Sofía Estrada Valles  
Pamela García Aguilar  
Rodrigo Monsalvo Velázquez  
Erika Lucía Marroquín Moreno  
César López Morales  
Yasmin Córdoba Sánchez  
Omar Musalem López  
Víctor Alfonso Torres Sánchez  
Carlos Rodríguez Santana  
Ana María Hernández Baladés  
Mario Marín Silva Serna  
José Hugo Loperena Rodríguez  
Brian Enrique Avila Ortega  
Mario Manuel Velázquez Mandujano  
Javier Moreno Trujillo



**VIII** Congreso Nacional y  
**I** Congreso Internacional  
de Riego, Drenaje y Biosistemas  
COMEI - UAAAN 2023 | Saltillo, Coahuila  
4 al 6 octubre 2023



# GRACIAS!

Alejandro Trueba  
55 3071 1119

[startuprenaissance.com](http://startuprenaissance.com)

Fecha de presentación: 04 de octubre 2023



**AGRICULTURA**  
SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL

