PROYECTOS DE ESTIMULACIÓN DE LLUVIAS 2023

TAM

STARTUP RENAISSANCE

El arte de transformar lo imposible en realidad

DEDICATORIA

Dedicado a todas las personas que están y a las que ahora su recuerdo nos acompaña, pero que han sido parte del camino que hemos recorrido y emprendido juntos para materializar lo que en un momento fue un sueño.

TERCER ANUARIO DE RESULTADOS DEL PROYECTO DE ESTIMULACIÓN DE LLUVIAS (2023)

Dr. Víctor Manuel Villalobos Arámbula
SECRETARIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL

Tras la presencia de recurrentes y severas sequías en México, en noviembre del 2020 se recibió la instrucción del Presidente de la República de implementar un programa de estimulación de lluvias para la zona norte del país. De inmediato nos abocamos a analizar las opciones y, finalmente, decidimos dar oportunidad a una emergente tecnología mexicana que se sustentaba en una teoría, razonablemente viable, que podría ofrecer resultados al respecto.

A pesar de críticas y prejuicios de ciertos sectores, en 2021 contratamos a la empresa y su primera asignación fue provocar lluvia en la zona más desértica del país, Ensenada, Baja California, donde contamos con el valiosísimo apoyo de aviones de la Fuerza Aérea Mexicana. Así, logramos no solo atenuar la sequía en beneficio de la ganadería local, sino también validar la teoría de que sí es posible contrarrestar los efectos catastróficos de la sequía.

Desde entonces y hasta el cierre del ciclo primavera-verano 2023 hemos podido apoyar 21 proyectos en beneficio de los estados de Baja California, Chihuahua, Coahuila, Durango, Estado de México, Nuevo León, San Luis Potosí, Sinaloa, Sonora, Tamaulipas y Zacatecas, logrando incrementos en la precipitación por arriba del 150% (50% más sobre lo esperado en condiciones normales) y aumentando también los escurrimientos a presas de almacenamiento, todo esto en una superficie acumulada de más de 40 millones de hectáreas, hecho que definitivamente ha ayudado a sostener y, en ocasiones, aumentar la productividad agropecuaria en estos años de sequía, especialmente el 2023, que fue particularmente severo. Un impacto no menor es el que hemos logrado con la sofocación de incendios, desde ligeros hasta descomunales, como el de Nuevo León y Coahuila en el 2021.

Entendemos que la validación científica de un proyecto tan complejo, que implica interactuar con nubes, vientos, temperatura y otros parámetros meteorológicos donde aún a la ciencia se le dificulta comprender reacciones específicas, puede ser motivo de que la estimulación de lluvias pudiera ser cuestionada, pero, de igual forma, debería ser aceptable que, ante resultados positivos derivados de la aplicación de un reactivo en una nube que de inmediato manifiesta una reacción que propicia precipitaciones que favorecen el desarrollo de la vegetación, llenan presas de almacenamiento y apagan incendios, también podría ser considerada como irrefutable y aún esperanzadora, ante un destino que, por si fuera poco, parece no tener con qué enfrentarlo.

Con este proyecto de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural estamos abriendo la puerta a una tecnología que puede constituirse como una herramienta más, para contribuir a paliar los efectos catastróficos que impactarán aún más al campo y a la producción nacional de alimentos. Un resultado positivo a esta iniciativa, es que algunos gobiernos estatales y organizaciones de productores comienzan a tomar el proyecto en sus manos y también lo visualizan como opción viable para paliar el cambio climático y sus terribles consecuencias.

RELEVANCIA DEL PROYECTO DE ESTIMULACIÓN DE LLUVIAS

Dr. Héctor Manuel Arias Rojo
DIRECTOR GENERAL DE LA CONAZA

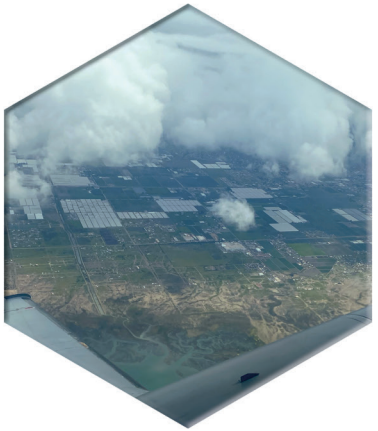
En marzo del año 2021, la amenaza de una sequía prolongada en México motivó a las cámaras de senadores y diputados a comparecencias de las distintas oficinas gubernamentales para la implementación de proyectos para tomar acciones al respecto. La SADER, a través de la CONAZA, propuso implementar el proyecto Estimulación de Lluvia para Mitigar la Sequía en cuatro proyectos en Primavera Verano de ese año (PV 2021) en Sinaloa, Sonora, Chihuahua y la Región Lagunera, y dos proyectos en Otoño Invierno: Baja California y Sonora, usando una tecnología mexicana 100% y diferente, que consistía en la aplicación aérea de un reactivo en forma líquida y a presión. Como resultado se abatió la sequía en nueve millones de hectáreas; pero, sobre todo, el aumento significativo de la vegetación en el área de prueba, e incrementos históricos en las presas de los estados de Sinaloa, Sonora, Chihuahua y Durango.

En los Ciclos de Primavera Verano de los años 2022 y 2023, como Proyectos Estratégicos de la SADER, se repitió la tendencia en Sinaloa, Chihuahua y Sonora, pero en el año 2023, un Año El Niño Fuerte, la cantidad de lluvia y el mejoramiento de la vegetación no fue tan notorio como en los años 2021 y 2022. En parte porque en el año 2023 se iniciaron proyectos en Aguascalientes y San Luis Potosí, cuyos resultados fueron limitados debido al poco tiempo (mes y medio en Aguascalientes y un mes en San Luis Potosí) y lo tardío de la temporada y también por los efectos de los centros de alta presión generados como un año El Niño.

En la primavera del 2024, la situación se vuelve a repetir con una sequía acumulada, especialmente en el noroeste de México, donde se encuentran casi la mitad de los distritos de riego del país y las zonas más productivas. Las Cámaras de Senadores y Diputados esperan acciones que incidan en la seguridad alimentaria del país. La CONAZA y la SADER seguimos pensando que esta tecnología llevada a cabo por esta empresa mexicana es la solución para estas, cada vez más frecuentes, fluctuaciones climáticas.

El objetivo, tanto de la SADER como la CONAZA, es el mejoramiento de la vegetación en las áreas propuestas. Este mejoramiento de la condición de la vegetación cumple al 100% el objetivo principal de la Secretaría de Agricultura, aumentar la producción del campo, ya que las mediciones de indicadores de vegetación, índice NDVI (Índice de Vegetación de Diferencias Normalizadas) muestra claramente los incrementos del verdor de la vegetación desde menos de 0.3, indicador de sequía o vegetación con estrés hídrico, hasta valores de 0.6, vegetación en buena condición, y hemos tenido valores al final de la temporada de 0.8, vegetación en la mejor condición de contenido de humedad. Como resultado, tuvimos mayor producción dentro de los polígonos de estimulación, especialmente vegetación de la población objetivo de la CONAZA: matorrales, pastizales y agricultura de temporal, asociados a ganadería y agricultura de subsistencia. En esta superficie, casi diez millones de hectáreas, viven los productores agropecuarios más pobres del país. Esto representa casi el 10% de las zonas áridas de México. Aún más, las áreas sometidas a la estimulación de lluvia, corresponden a las áreas de escurrimiento del mayor número de obras de almacenamiento de agua para riego, representando casi el 50% de la superficie de distritos de riego del país, asegurando también, la producción de las zonas de riego, ya que la agricultura de riego puede ser hasta diez veces más productiva que la agricultura de temporal.

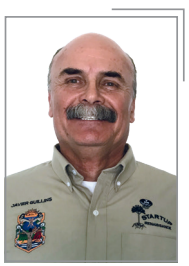
Estos son los resultados que la SADER espera con la tecnología de estimulación de lluvias, aplicada con rigor en las zonas donde se necesita y durante la época que se desarrolla la vegetación natural para asegurar la producción agropecuaria y el bienestar de la gente del campo.



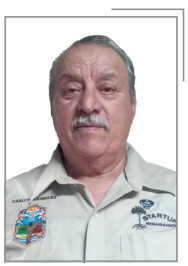
BAJA CALIFORNIA

Dr. Joaquín Contreras Gil
COORDINADOR

Ing. Carlos Eduardo Tomas Mayorquin
OPERADOR DE REACTIVO



Ing. Javier Guillins Villareal
COORDINADOR DE PLUVIÓMETROS

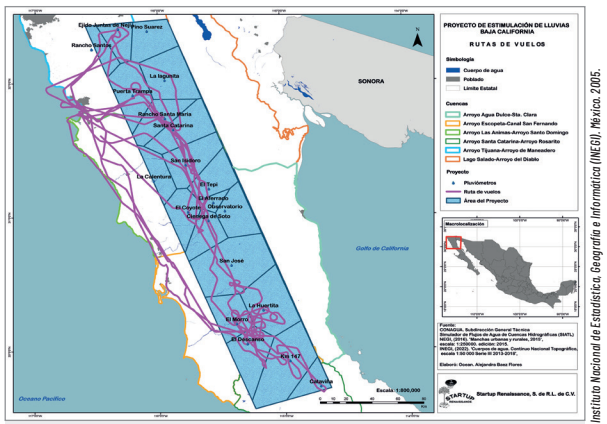


Ing. Carlos Rodríguez Santana
COORDINADOR DE PLUVIÓMETROS

M. en C. María de los Ángeles Milanés Salinas
AUXILIAR EN INFORMÁTICA

PROYECTO DE ESTIMULACIÓN DE LLUVIAS EN BAJA CALIFORNIA, CICLO INVIERNO 2022- 2023

Este proyecto se ejecutó con el trabajo coordinado de la SEDENA a través de la FAM y de la SADER a través de la CONAZA con personal técnico de Startup Renaissance. Se realizaron 7 vuelos entre el 15 de febrero y el 15 de marzo de 2023, donde se liberaron 620 litros de reactivo, en un acumulado total de 53,700 km^2, dentro de un polígono de trabajo de 2,033,548 ha, cubriendo parcialmente los municipios de Mexicali, Tecate, Ensenada, San Quintín y San Felipe, B.C.



Mapa de localización del proyecto con las trayectorias de los vuelos

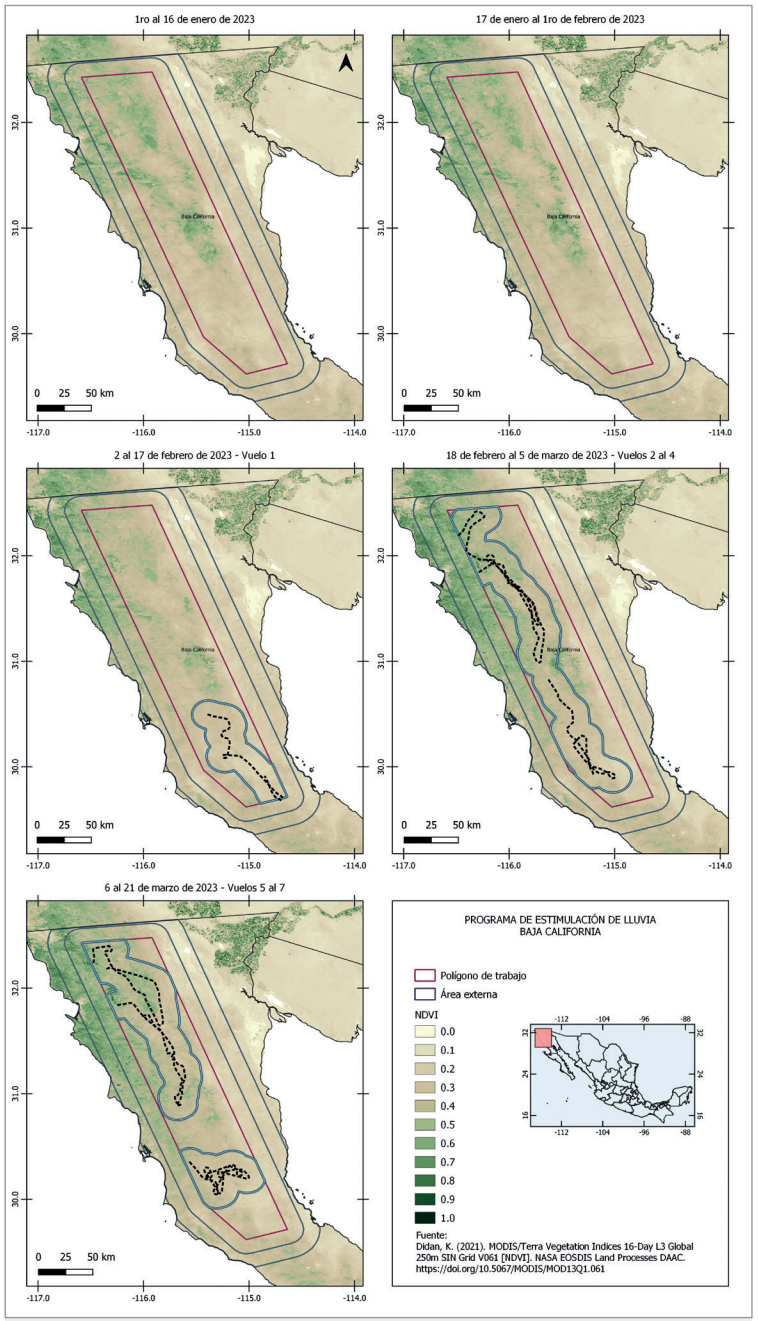
Fuente: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). México. 2005.

Se realizaron 7 vuelos de estimulación

Distancia efectiva recorrida dentro del polígono de trabajo	Superficie cubierta dentro del polígono de trabajo	Reactivo Rainmate® aplicado
1,790 km	**53,700 km^2**	**620 lt**

Lámina precipitada acumulada durante los días de vuelo:
185 millones de m^3

Incremento de la lluvia sobre lo pronosticado en las áreas sobrevoladas más el efecto del viento:
11.22 %



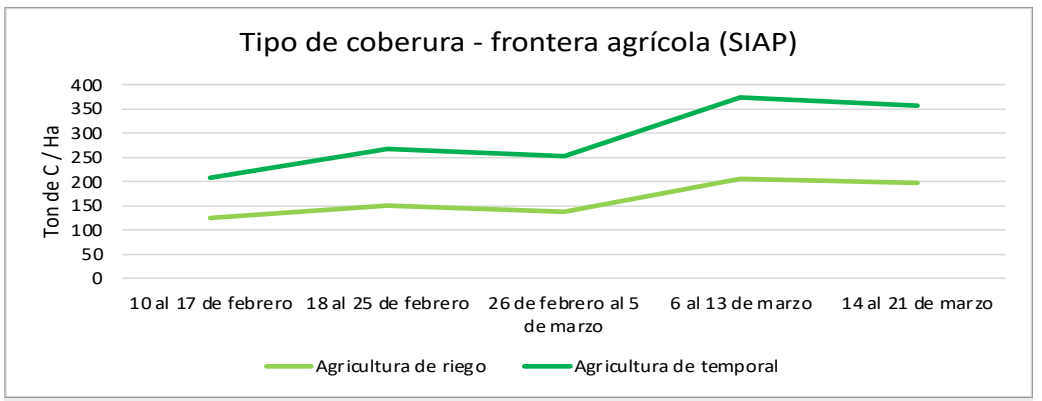
Imágenes del índice de vegetación (NDVI) en el periodo previo y durante la estimulación

SENSORES REMOTOS / ÍNDICE DE VERDOR (NDVI)

El valor de NDVI aumentó considerablemente conforme se realizaron los vuelos de estimulación. El valor promedio para esta variable en el área externa aumentó muy poco (de 0.27 a 0.30). Sin embargo, el área de estimulación registró un aumento considerable del más del 56% desde el primer registro (vuelo 1) hasta el último (vuelo 7). Al comparar las tres zonas de trabajo, el área de estimulación mostró valores de NDVI más homogéneos a lo largo de todo el periodo del proyecto.

CONTRIBUCIÓN EN LA COBERTURA VEGETAL

El análisis con base en los tipos de cobertura de INEGI, indicaron también que la agricultura de temporal y la de riego fueron las que menos carbono fijaron (menos del 2% cada uno y eso debido a su muy poca superficie), el pastizal fijó 2.46% , finalmente el chaparral fijó 58.99% y el matorral 35.15%, siendo estas últimas la vegetación de mayor importancia para la ganadería de agostadero y fue la más abundante.



Se muestra la evolución de las toneladas de carbono por hectárea para cada tipo de cobertura definida en la frontera agrícola (Agricultura de riego y de temporal), según la serie IV del SIAP del año 2022. Estos valores derivan de la cantidad de carbono (Kg de Carbono por m^2). No se reportan las toneladas de carbono totales en superficie debido a la cantidad desigual de hectáreas de cada cobertura.

Con base a la agricultura de riego (227 ha) y temporal (12,181 ha) (Frontera Agrícola, datos SIAP, 2016), la vegetación respondió, de acuerdo con lo esperado, fijando un promedio de 100% de carbono entre el periodo inicial y final para la cobertura de agricultura de temporal, mientras que para la agricultura de riego el aumento solo fue de 64%.

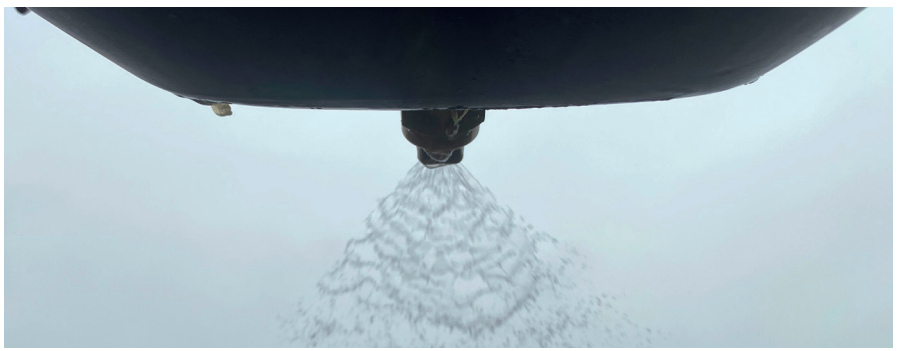
PRECIPITACIÓN

La precipitación registrada en pluviómetros y/o sensores remotos para los días de vuelo fue del 100%, es decir, se registró lluvia todas las veces que se voló y se aplicó Rainmate®, en al menos un sitio.

Caso	Descripción	Precipitación (mm)		Incremento (%)
		Pronóstico acumulado	Registro pluviométrico acumulado	
1	Análisis del polígono total	216.300	213.890	98.886
2	Análisis de nubes estáticas	90.800	92.720	102.115
3	Análisis de nubes dinámicas	92.800t	103.220	111.228

Los resultados son buenos, considerando los pocos vuelos que se pudieron realizar sin que se pudieran aprovechar los frentes fríos de diciembre, enero y parte de febrero, que son los que regularmente aportan más lluvia.

Para los últimos cuatro de los siete vuelos, los valores de precipitación más altos se registraron en el área de estimulación y dentro del polígono de trabajo. La información de los pluviómetros confirma que, para el vuelo del 6 de marzo, los registros más altos se ubican en el sur, mientras que, para la precipitación del 11 de marzo, los registros más altos fueron en la zona norte del polígono de trabajo.



RESULTADOS

De acuerdo a lo aquí informado, se cumplieron de manera satisfactoria los objetivos de la CONAZA, para el estado de Baja California ciclo invierno 2022 – 2023. Estas lluvias de invierno, sin duda ayudaron a que se presentara abundante forraje durante la primavera y parte del verano, que es cuando se presentan lluvias de nuevo en las partes altas del estado. Por lo anterior, este ha sido un año favorable para la ganadería extensiva.

CUTZAMALA

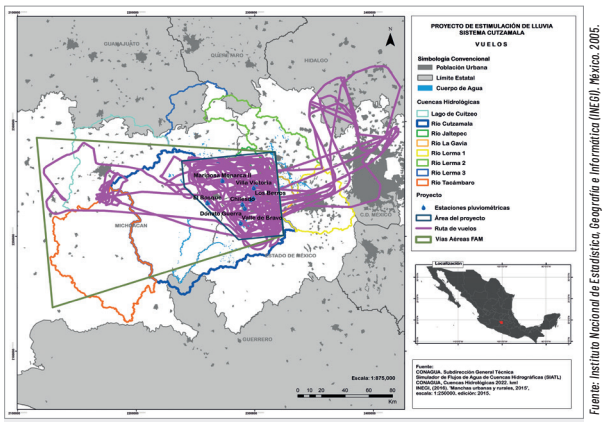
Ing. Luis García Savedra
COORDINADOR

Ing. Martín Máynez Chavarría
OPERADOR DE REACTIVO

Lic. Pamela García Aguilar
AUXILIAR EN INFORMÁTICA

PROYECTO DE ESTIMULACIÓN DE LLUVIA SISTEMA CUTZAMALA - 2023

Este proyecto surge como parte de las estrategias para contrarrestar los efectos de la crisis hídrica que azota principalmente a la Ciudad de México y zona metropolitana. El gobierno de la Cd. De México, con el apoyo de la SADER-CONAZA, SEDENA-FAM, inició con la Estimulación de nubes en las cuencas que conforman el Sistema Cutzamala (cuencas Río Lerma – Toluca, Río Jaltepec, Río la Gavia y Río Cutzamala). Se propuso un polígono inicial de 438,809 ha que incluye una parte del Estado de México y otra parte del estado de Michoacán. Se realizaron 8 vuelos de estimulación entre el 29 de marzo y el 07 de mayo del 2023.



Mapa de las trayectorias de vuelos del proyecto

Fuente: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). México. 2005.

Se realizaron 8 vuelos de estimulación

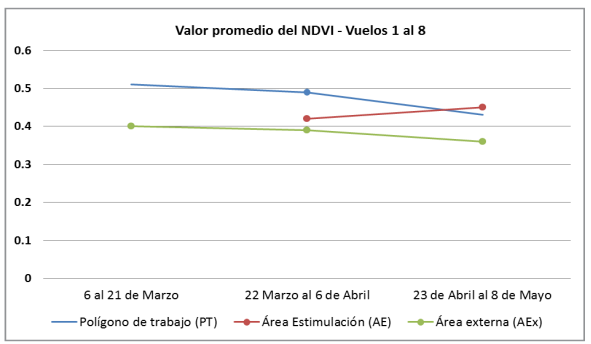
Distancia efectiva recorrida dentro del polígono de trabajo	Superficie cubierta dentro del polígono de trabajo	Reactivo Rainmate® aplicado
4,604 km	**138,120.00 km²**	**800 lt**

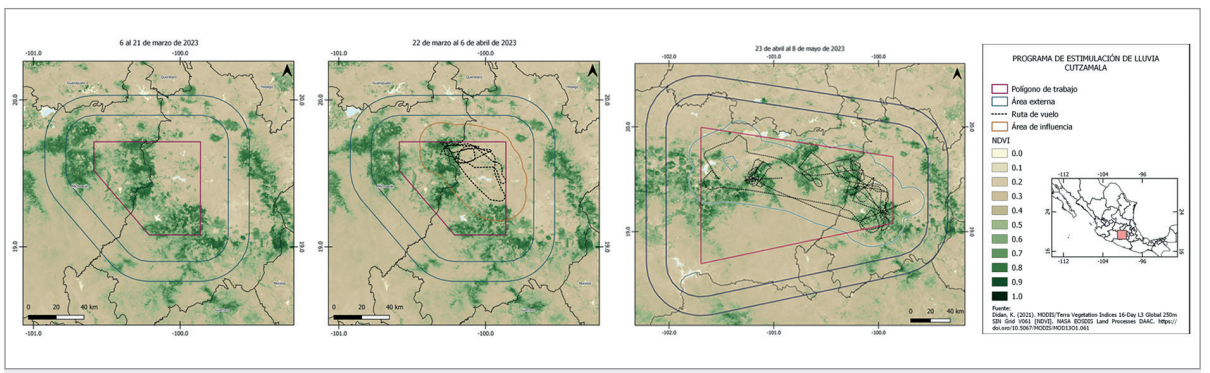
Lámina precipitada acumulada en todo el polígono, durante los 8 días de vuelo de Estimulación:
3,970,550.94 m³

Porcentaje de eficacia de lo pronosticado vs lo registrado, estimado por sensores remotos:
106.42 %

SENSORES REMOTOS / ÍNDICE DE VERDOR

El verdor se incrementó más dentro del polígono de trabajo y en el área de estimulación, en comparación con el área externa.

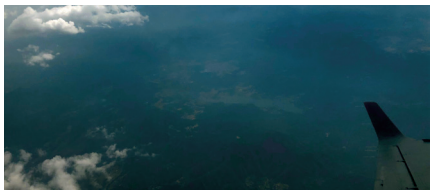




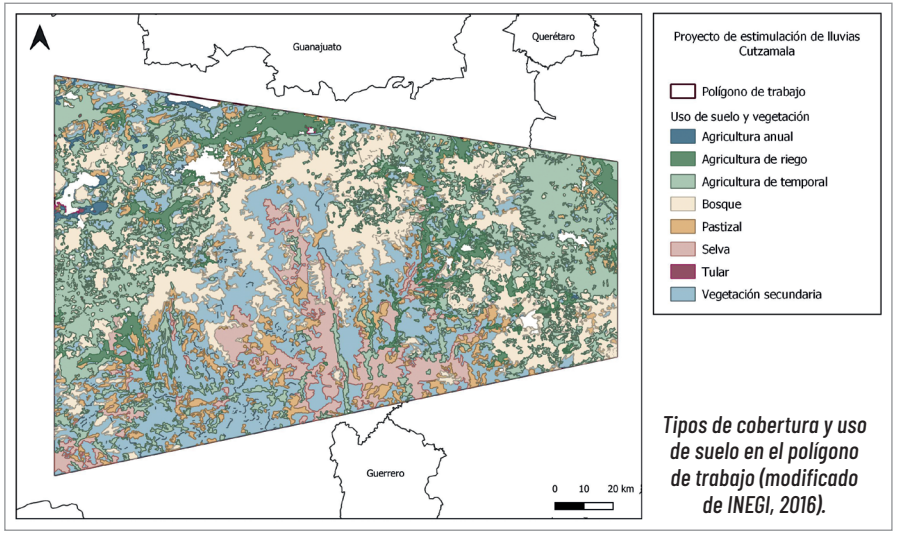
Imágenes del verdor para el periodo previo a la estimulación atmosférica (izquierda); imagen del valor de NDVI para el periodo del vuelo 1 (centro); últimos vuelos 5 al 7 (derecha).

COBERTURA VEGETAL

Las coberturas principales están representadas por la vegetación secundaria y la agricultura de temporal con 499,214 hectáreas.



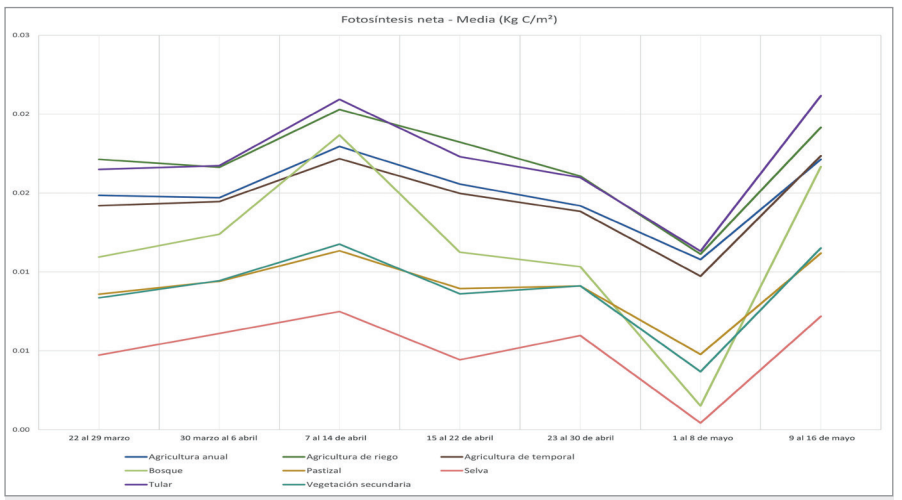
Coberturas	Área (Ha)
Agricultura anual	9,419
Agricultura de riego	107,061
Agricultura de temporal	499,214
Bosque	488,523
Pastizal	151,448
Selva	152,225
Tular	1,437
Vegetación secundaria	587,551



Tipos de cobertura y uso de suelo en el polígono de trabajo (modificado de INEGI, 2016).

FOTOSÍNTESIS NETA

La variable **Fotosíntesis neta** indica el verdor de la vegetación y el aumento de la biomasa, mediante la medición del aumento de carbono con base en la actividad fotosintética. La agricultura de riego fue la cobertura que registró el mayor incremento en la fotosíntesis o captura de carbono, seguida por el bosque y la vegetación secundaria.



Se observaron dos repuntes en la productividad de la vegetación, el primero a la semana del primer vuelo y el segundo al finalizar los vuelos.

Los resultados indican que las coberturas registran un aumento de entre 15 y 50% en la productividad

PRECIPITACIÓN

La estimulación creó condiciones de mayor precipitación dentro del área que se estimuló que en las áreas aledañas, y con esta información se puede inferir que se registraron en total 11, 208,062.71 m^3 de lluvia acumulada de acuerdo a sensores remotos, en los 8 días de vuelo.

La información de precipitación en localidades, mostró que donde se generó mayor precipitación fue Estación Villa Victoria, y con el registro máximo, la localidad Estación Mariposa Monarca II.

Descripción	Precipitación (mm)		
	Pronóstico acumulado	Registro pluviométrico acumulado	Incremento (%)
Análisis del polígono total	148.04	153.23	103.506
Análisis de nubes estáticas	115.74	115.37	99.680
Análisis de nubes dinámicas	139.54	148.50	106.421

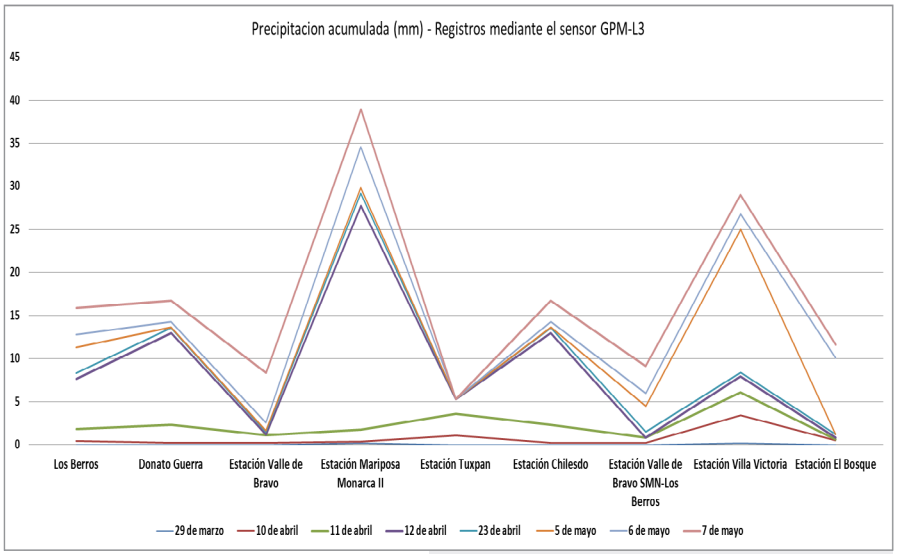
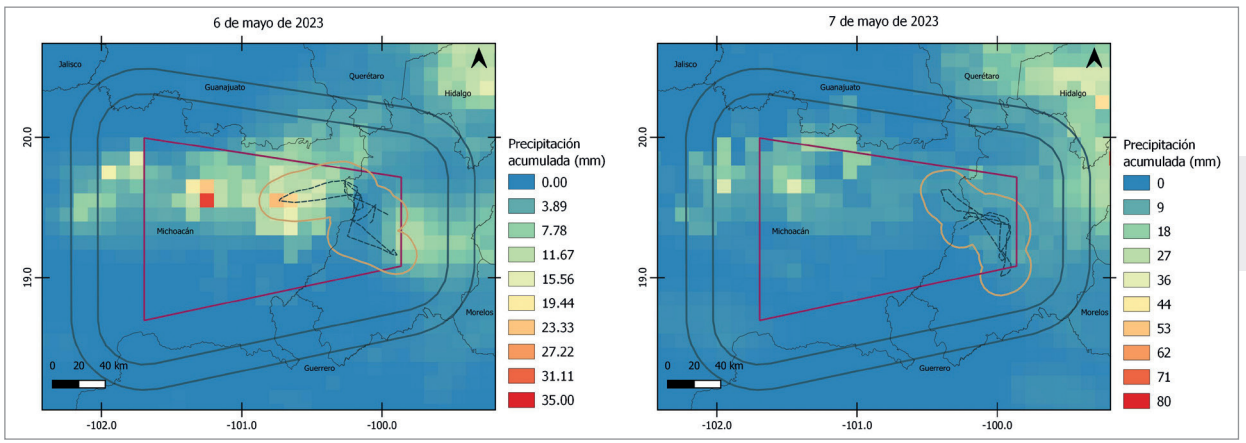


Gráfico de la precipitación acumulada (mm) registrada mediante el sensor GPM_3IMERGDL v06 en los sitios en donde se ubican los pluviómetros asociados al polígono del proyecto.



Imágenes que muestran la precipitación acumulada para los vuelos 7 y 8. Vuelos donde se registró la máxima precipitación 20.46 y 25.16 mm.

RESULTADOS

La limitada eficiencia de 26.42% superior a lo pronosticado, es el resultado de realizar estos vuelos fuera de la temporada de lluvias de la región, bajo pronósticos muy precarios de nubosidad, que explican los resultados. De acuerdo a sensores remotos se lograron dos repuntes de productividad de la vegetación en las áreas sobrevoladas, lo que sin duda tuvo un impacto positivo para la vida silvestre en general y la vegetación en particular, siendo esto indicador de que se logró aminorar el efecto de la sequía en los productores primarios más sensibles a las condiciones de clima, como son los ganaderos extensivos.

TAMAULIPAS

C.P.A. Víctor Alfonso Torres Sánchez
COORDINADOR

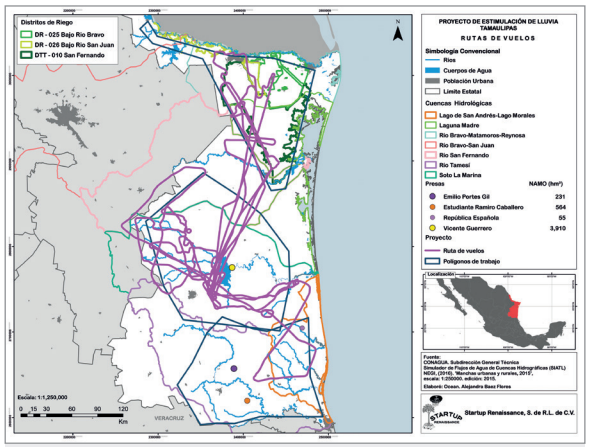
Ing. Mario Marín Silva Serna
COORDINADOR DE PLUVIOMETROS

Ing. José Hugo Loperena Rodríguez
OPERADOR DE REACTIVO

LCC. Brian Enrique Avila Ortega
AUXILIAR EN INFORMÁTICA

PROYECTO DE ESTIMULACIÓN DE LLUVIA TAMAULIPAS - 2023

Este proyecto se puso en marcha para mitigar los efectos de la falta de agua para cultivos en los Distritos de Riego en Tamaulipas, DR-025 "Bajo Río Bravo", y DR-026 "Bajo Río San Juan", y el Distrito de Riego de Temporal Tecnificado San Fernando 010. Se realizaron 7 vuelos de estimulación en un periodo de un mes, del 28 de marzo al 27 de abril de 2023, cubriendo un área de 750,000 ha.



Mapa de localización de municipios en el proyecto

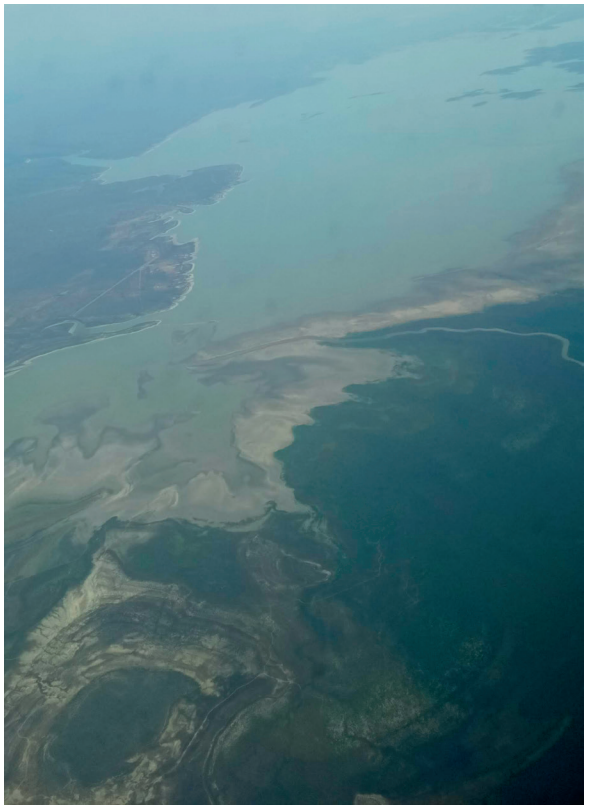
Fuente: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). México, 2005.

Se realizaron 7 vuelos de estimulación

Distancia efectiva recorrida dentro del polígono de trabajo	Superficie cubierta dentro del polígono de trabajo	Reactivo Rainmate® aplicado
2,084 Km	**62,520 Km²**	**700 lt**

Lámina precipitada acumulada en todo el polígono:
797,347,783.39 m³

Incremento total de precipitación en todo el polígono (pronóstico vs registrado)
76.39%

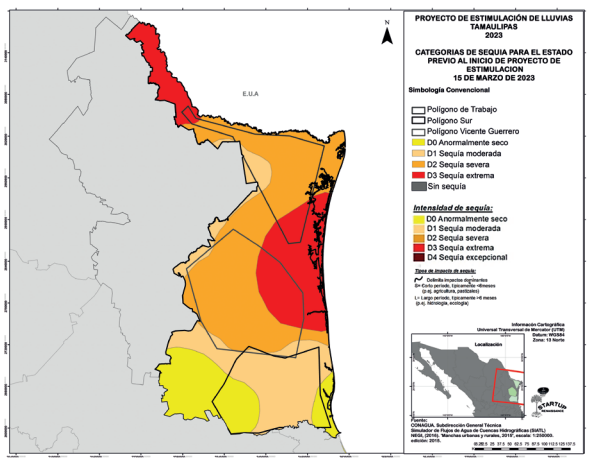


CONTRIBUCIÓN A LA MITIGACIÓN A LA SEQUÍA

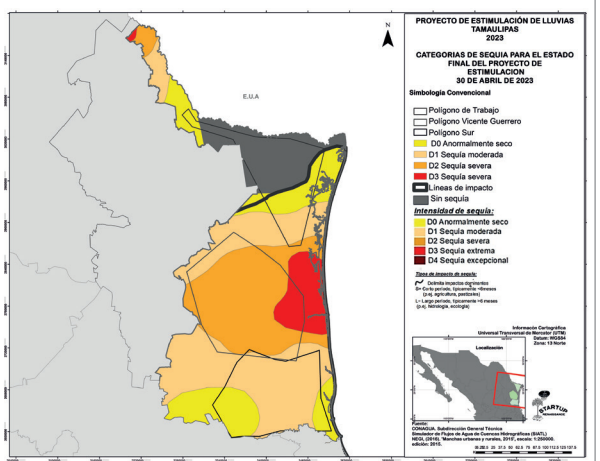
Previo al inicio de los vuelos, el estado de Tamaulipas contaba con 35 municipios afectados con alguna de las categorías de sequía, es decir el 81.4% de su superficie estatal. Conforme se fue aplicando el proyecto, al final de los vuelos de estimulación, se observó una diminución en el área afectada a 74.4% es decir, se logró disminuir el efecto de la sequía en 3 municipios. Lo más importante es que se logró revertir en el norte de Tamaulipas, que es donde se ubican los distritos de riego más importantes para ese estado.

Monitoreo Sequía en México, al inicio y al fin del proyecto. La imagen de la izquierda indica la sequía al inicio de proyecto, la imagen de la derecha, al finalizar el proyecto. El área marcada en gris oscuro representa el área donde se eliminó la sequía. Sin embargo es evidente que no se logró contener en la parte central del estado.

Porcentaje de área de sequía al 15 de Marzo de 2023



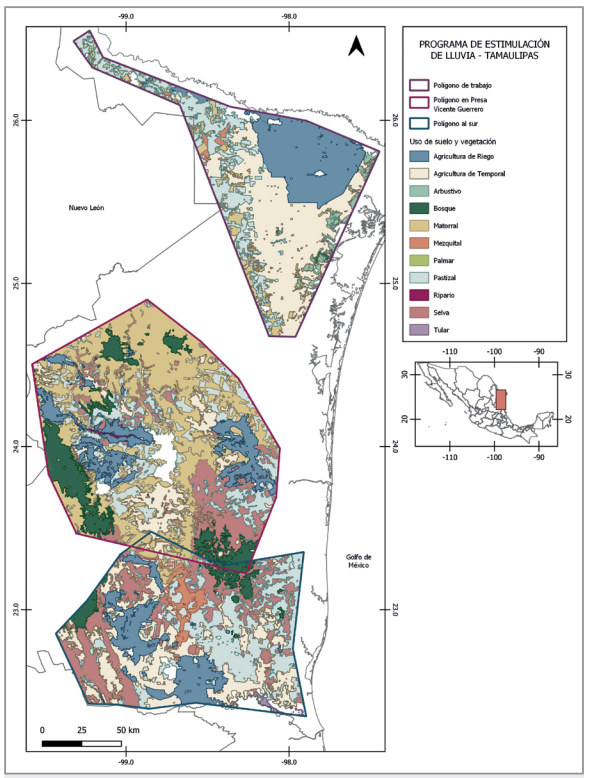
Porcentaje de área de sequía al 30 de Abril de 2023



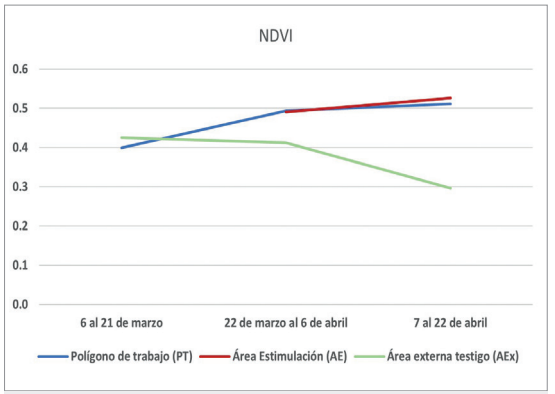
Fuente: Monitor de Sequía en México (MSM) generados en el Servicio Meteorológico Nacional de México (SMN).

SENSORES REMOTOS / ÍNDICE DE VEGETACIÓN

El verdor de la vegetación dentro del área de estimulación aumentó conforme se realizaron los vuelos de estimulación.



Tipos de cobertura y uso del suelo en el polígono de trabajo (modificado de INEGI, 2016)

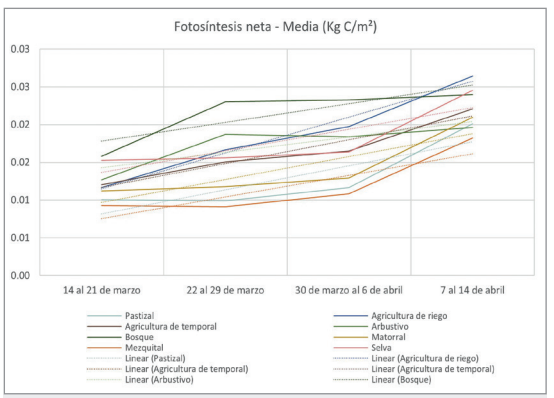


Se muestran los valores promedio del índice NDVI para el periodo analizado, que corresponde a los vuelos 1 al 8 y los periodos previo y posterior a la estimulación

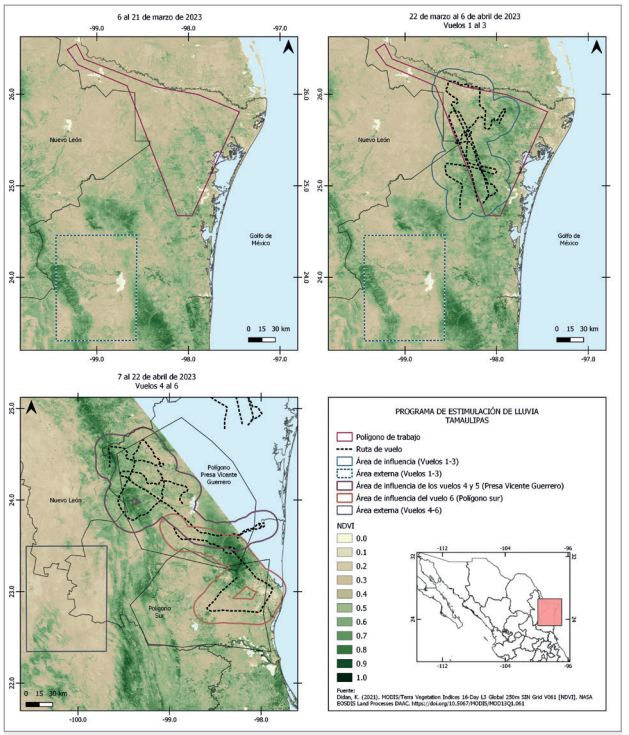
PRODUCTIVIDAD / FOTOSÍNTESIS

A excepción del bosque y la cobertura arbustiva, el resto de vegetación se incrementó de manera positiva, registrando un aumento del 100% entre en periodo inicial y final del proyecto.

En el polígono de la Presa Vicente Guerrero, la única cobertura que mantuvo la tendencia de aumento fue el mezquital.



Productividad por tipo de cobertura y uso de suelo dentro del polígono de trabajo (norte), previo, durante y posterior al periodo de estimulación. Se observa una tendencia al incremento del 100% en el período posterior a la estimulación

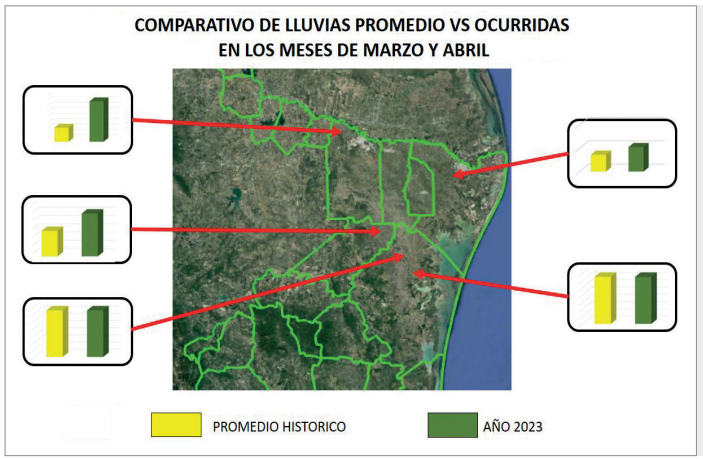


Imágenes del verdor de la vegetación en el periodo previo y durante la estimulación

PRECIPITACIÓN

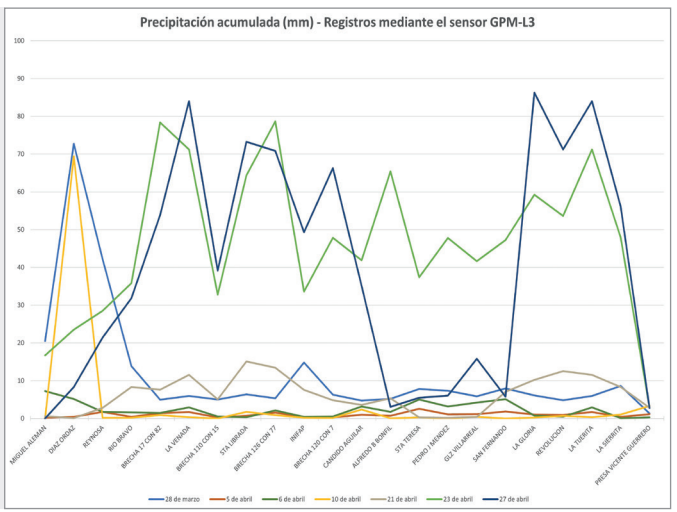
En seis de los siete vuelos realizados, el promedio de precipitación del área de estimulación fue cercano al doble de lo pronosticado. Es importante comentar que los datos de registros de pluviómetros se complementaron con información de sensores remotos.

Caso	Descripción	Precipitación (mm)		Eficacia (%)
		Pronóstico acumulado	Registro pluviométrico acumulado	
1	Análisis del polígono total	818.60	1,444.00	176.399
2	Análisis de nubes estáticas	216.90	323.00	148.917
3	Análisis de nubes dinámicas	281.10	439.00	156.172



Comparativo del comportamiento histórico de las lluvias contra el registrado durante el proyecto de estimulación del 2023, donde se puede apreciar en verde una mayor precipitación para los mismos meses durante el desarrollo del proyecto

Gráfico de la precipitación acumulada (mm) registrada mediante el sensor GPM_3IMERGDL v06 en los sitios en donde se ubican los pluviómetros asociados al polígono del proyecto. Es importante comentar que los datos de registros de pluviómetros se complementaron con información de sensores remotos



RESULTADOS

Se cumplió con el objetivo original de este proyecto, donde se trataba de salvar los cultivos de riego de los dos principales distritos de Tamaulipas, lo que se logró de manera satisfactoria, ya que además de ser salvados estos cultivos, se lograron excedentes importantes en las cosechas ya que se lograron precipitaciones importantes en el norte del estado, a pesar de ser la temporada seca, sin embargo, se logró un excelente aprovechamiento de los frentes de nubes que se presentaron.

AGUASCALIENTES

Ing. Luis García Savedra
COORDINADOR

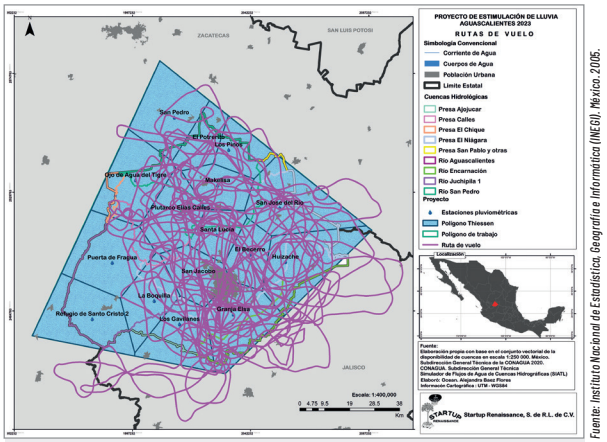
Ing. Luis Rodrigo García Aguilar
OPERADOR DE REACTIVO

Ing. Fausto Edeza Reyna
COORDINADOR DE PLUVIÓMETROS

Lic. Pamela García Aguilar
AUXILIAR EN INFORMÁTICA

PROYECTO DE ESTIMULACIÓN DE LLUVIAS AGUASCALIENTES

Se realizaron 15 vuelos, entre el día 04 de agosto y el 08 de septiembre, con la liberación de 1,500 litros de Rainmate® cubriendo un acumulado total de 152,310.00 de km^2 de trabajo. El polígono que se propuso tiene una superficie de 773,039.70 ha, que cubre por completo el Estado de Aguascalientes, y tiene influencia directa sobre las cuencas Presa Ajojucar, Presa Calles, Presa El Chique, Presa el Niagara, Presa San Pablo, Río Aguascalientes, Rio Encarnación, Río Juchipila 1 y Río San Pedro.



Mapa de localización del proyecto con las trayectorias de los vuelos

Fuente: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). México, 2005.

Se realizaron 15 vuelos de estimulación

Distancia efectiva recorrida dentro del polígono de trabajo	Superficie cubierta dentro del polígono de trabajo	Reactivo Rainmate® aplicado
5,077 Km	**152,310 Km^2**	**1,500 lt**

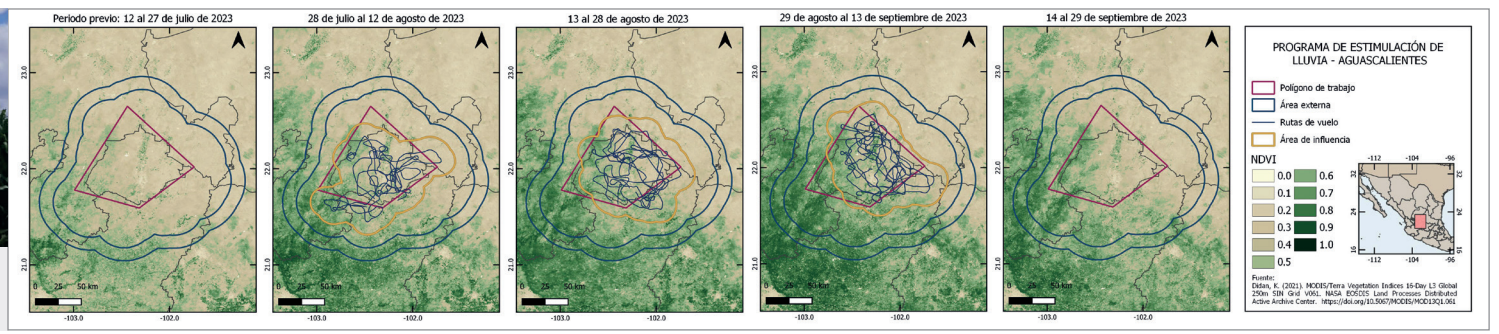
Lámina precipitada acumulada estimada por sensores remotos durante los días de vuelo:
966 millones de m^3

Incremento de la lluvia versus lo pronosticado en las áreas sobrevoladas más el efecto del viento de acuerdo a Sensores Remotos:
7.49 %

SENSORES REMOTOS / ÍNDICE DE VERDOR (NDVI)

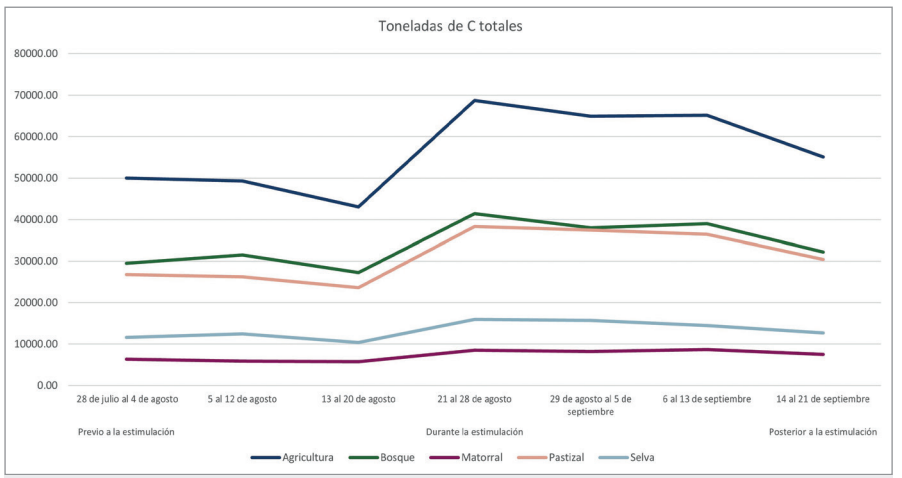
Con relación al verdor de la vegetación, ya se mostraba para el área externa un mayor índice de NDVI, sin embargo, el incremento en este parámetro dentro del polígono fue de 43% y fuera del polígono de 36%, por lo que en términos relativos el crecimiento fue más acelerado dentro del área de trabajo y por lo tanto donde se estimuló la lluvia.

NDVI dentro del polígono de trabajo, área de influencia y área externa



CONTRIBUCIÓN EN LA COBERTURA VEGETAL

La vegetación con el mayor contenido de carbono estimado por hectárea son: el bosque, la selva, la agrícola y el pastizal. Al final del periodo de estimulación se registró un descenso en este indicador, pero se debe considerar que este dato se obtiene después de casi un mes sin estimulación. Este fenómeno ya se ha observado antes, en donde cuando la estimulación es en periodos cortos, la vegetación responde positivamente a la estimulación, por el contrario, en intervalos más amplios entre eventos de estimulación, la vegetación no responde positivamente e inclusive se observa un decline en los valores de las variables asociadas a productividad.



Se muestra la evolución de las toneladas de carbono por hectárea, para el total de la superficie de cada tipo de cobertura de vegetación significativa para actividades productivas, con base en la serie VII de INEGI del año 2018. Estos valores derivan de la cantidad de carbono (Kg de Carbono por m^2) y de la superficie total que cubre el tipo de cobertura

PRECIPITACIÓN

La precipitación registrada en Sensores Remotos para los días de vuelo fue del 100%, es decir, se registró lluvia todas las veces que se voló y se aplicó Rainmate®, en al menos un sitio.

Descripción	Precipitación (mm)		Eficacia (%)
	Pronóstico acumulado	Acumulado en pluviómetros	
Análisis del polígono total	1,915.20	1,896.69	99.03
Análisis de nubes estáticas	927.00	824.05	88.89
Análisis de nubes dinámicas	1,061.20	1,140.76	107.49

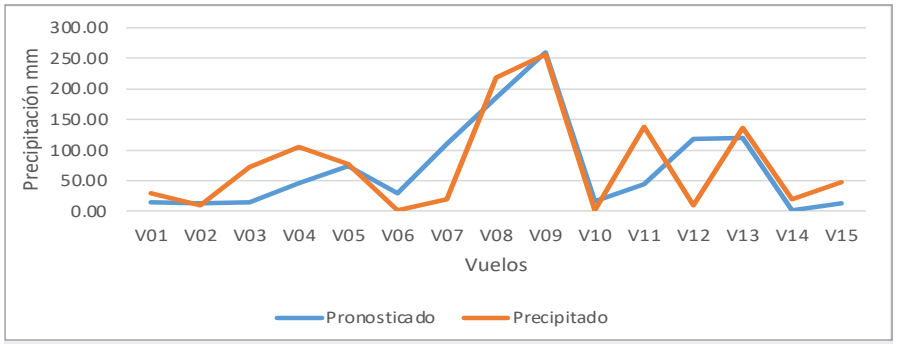


Gráfico de la precipitación registrada mediante el sensor GPM_3IMERGDL v06 los días de vuelo

Se analizó cada uno de los vuelos de estimulación por separado. El registro promedio de precipitación fue mayor dentro del polígono de trabajo. Las imágenes de precipitación nos muestran que la ruta de vuelo y su área de influencia, casi en todos los vuelos, salieron del polígono de trabajo, por lo que la estimulación también causó un efecto positivo en el área externa. Los vuelos 8 y 9 fueron para los que se registró la precipitación acumulada más alta.

RESUMEN DE RESULTADOS

La precipitación lograda durante los días que se registraron los vuelos, fueron un 107.49 % contra lo pronosticado, es decir, se logró un 7.49 % arriba del pronóstico. Los sensores remotos nos indican que se logró un incremento en NDVI (verdor) de este parámetro dentro del polígono, del 43% y fuera del polígono fue de 36%, lo que tiene un alto valor estratégico principalmente para la ganadería, esto a pesar de haberse realizado los vuelos tarde, ya que iniciaron el 4 de agosto.

CHIHUAHUA

Ing. Martín Máynez Chavarría
COORDINADOR

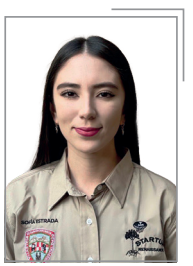
Ing. Everardo Lerma Ceballos
OPERADOR DE REACTIVO

Ing. José Luis Nava Rodriguez
OPERADOR DE REACTIVO

Ing. Alejandro Nevárez Durán
TÉCNICO DE CAMPO

Ing. Jorge A. Sánchez Arellano
NAVEGANTE

Ing. Edgar Bustillos Daniel
TÉCNICO DE CAMPO



Ing. Sofía Estrada Valles
AUXILIAR EN INFORMÁTICA

PROGRAMA DE ESTIMULACIÓN DE LLUVIAS CHIHUAHUA, CICLO PV 2023

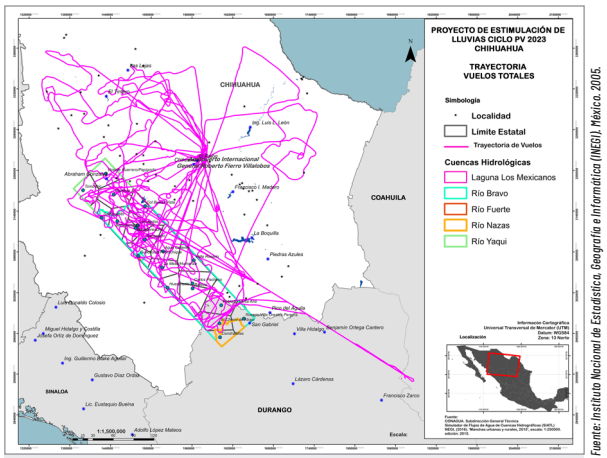
Se realizaron 18 vuelos de estimulación entre los días 01 de julio y el 02 de octubre de 2023 en un polígono de 2,006,326 ha, a bordo de una aeronave King Air, Modelo 350i, propiedad del Gobierno Federal (SEDENA, FAM) y un King Air B200 proporcionado por el Gobierno del Estado de Chihuahua.

Se realizaron 18 vuelos de estimulación

Distancia efectiva recorrida dentro del polígono de trabajo	Superficie cubierta dentro del polígono de trabajo	Reactivo Rainmate® aplicado
7,364 Km	**220,890 Km²**	**1,800 lt**

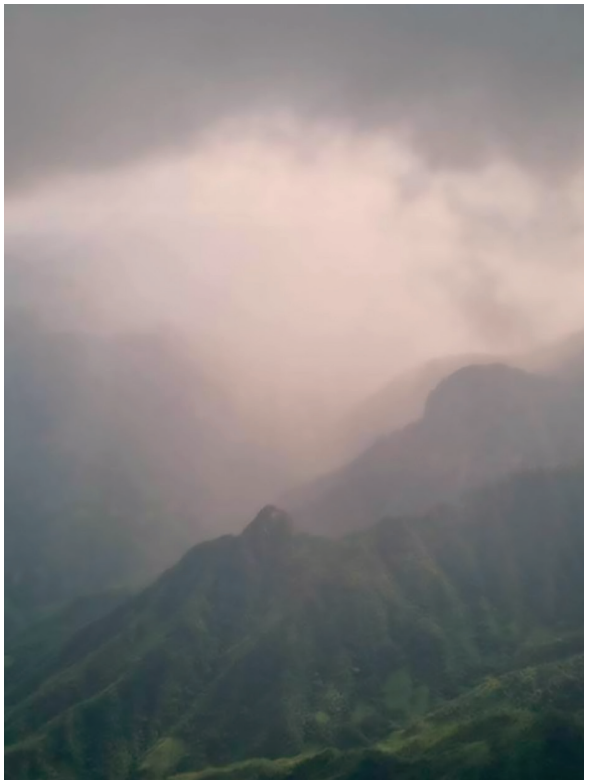
Lámina total acumulada de agua para todo el polígono los días de vuelo:
1,021,917,016 m³

Incremento de precipitación vs. lo pronosticado los días de vuelo, para nubes dinámicas: 78.5%. Esto representa poco menos del doble de lluvia prevista en forma natural.



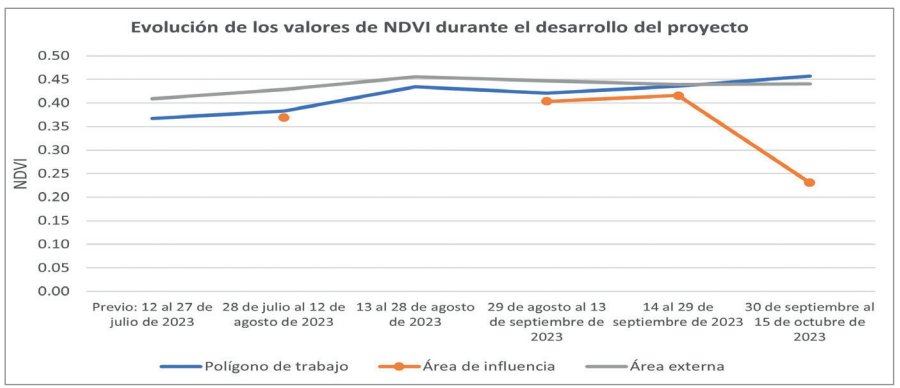
Mapa de localización del proyecto con las trayectorias de los vuelos.

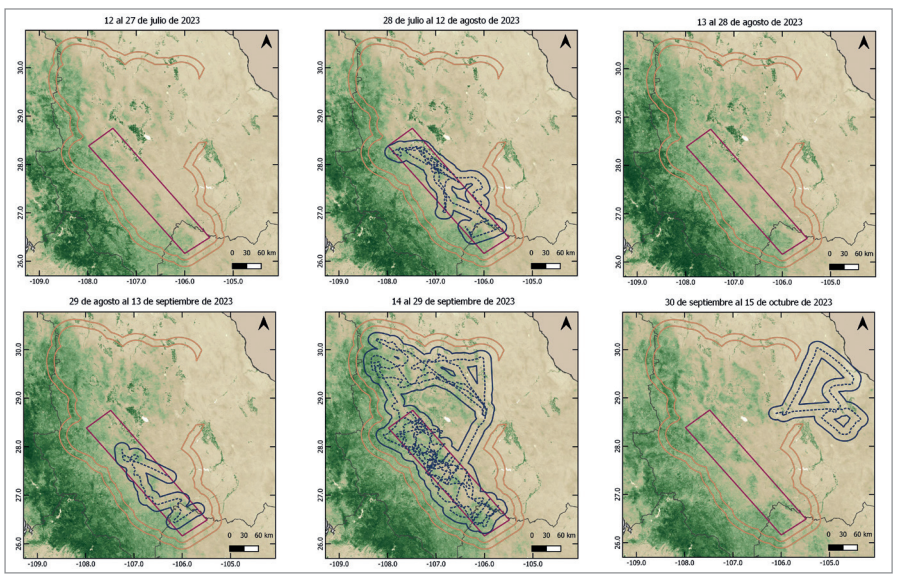
Fuente: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), México, 2005.



SENSORES REMOTOS / ÍNDICE DE VEGETACIÓN (NDVI)

El verdor de la vegetación, al inicio de los vuelos, era mayor en el área externa que en el área de estimulación. Al término de los vuelos se invirtió esta condición de manera notable, tal como se puede apreciar en la gráfica. En ésta, la línea azul corresponde a la tendencia en aumento dentro del polígono de trabajo y logra superar al área externa.





Hay que ver que a pesar de la ausencia de frentes fríos, y con la presencia de un sistema anticiclónico y la fuerte onda de calor que se presentó en todo el país durante la temporada de estimulación, se generaron volúmenes de agua que contribuyeron a que la vegetación mantuviera su productividad, lo que fue un aspecto determinante para el mantenimiento del ganado.

Lo anterior refuerza la postura de efectividad de la aplicación del Rainmate® y el proyecto de Estimulación de Lluvias.

COBERTURA VEGETAL

Dentro del polígono de trabajo, la vegetación más importante son el pastizal y la agrícola. En todos los tipos de vegetación se lograron incrementos en el verdor, lo que sugiere mayor productividad. El aumento más importante se dio al final de los vuelos, dónde se observa una clara tendencia al incremento.

Coberturas	Área (Ha)
Agricultura	284,181.5
Bosque	1,286,769.7
Pastizal	426,637.5

21 Junio 2023 **VILLA DE OCAMPO** **24 Septiembre 2023**

27 Junio 2023 **PACHERA** **23 Septiembre 2023**

Los resultados en campo muestran que la condición de la vegetación, antes de los vuelos, es más seca que al final de la aplicación del proyecto, donde el verdor aumentó.

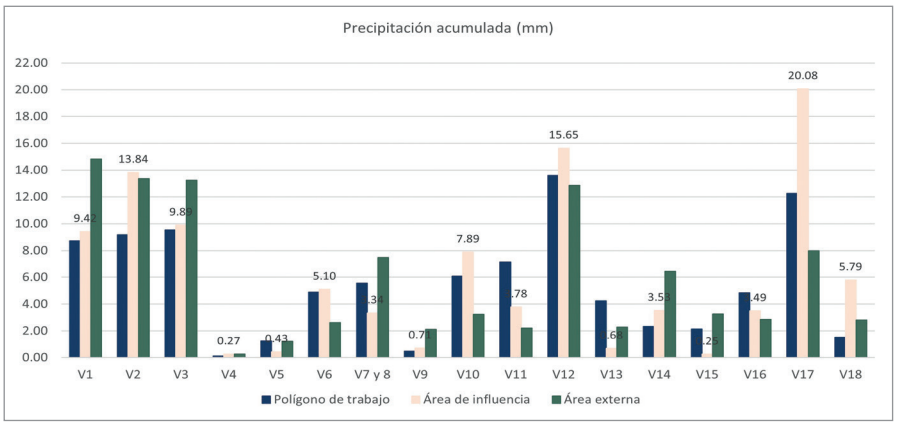
La cobertura agrícola aumentó más de 40% la cantidad de carbono, desde el inicio del proyecto hasta su finalización

FOTOSÍNTESIS NETA / PRODUCTIVIDAD

Los registros de fotosíntesis neta indican que los valores más altos del periodo analizado se presentan cuando comenzó la estimulación, y en el período posterior a la estimulación. En la figura se muestra el incremento del verdor, previo y durante los vuelos de estimulación (círculos amarillos).

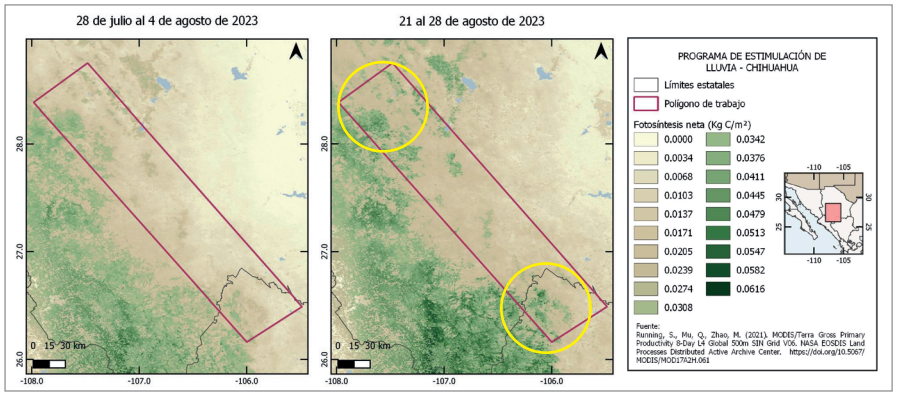
PRECIPITACIÓN

Se registró una lámina total acumulada de agua para todo el polígono, de acuerdo a los pluviómetros, de 1,021,917,016 m^3 (1,021.91 hm^3) en una superficie total de 30,094,890 ha. En los tres casos de análisis se superaron los pronósticos.



En 9 de los dieciocho vuelos, el promedio de precipitación acumulada (mm) fue mayor en el área de estimulación (barras rosas). En 4 vuelos el registro promedio de precipitación fue mayor dentro del polígono de trabajo (barras azules), siendo al final mayor la precipitación acumulada dentro del polígono de trabajo que fuera de este, con una eficiencia de 178.5%.

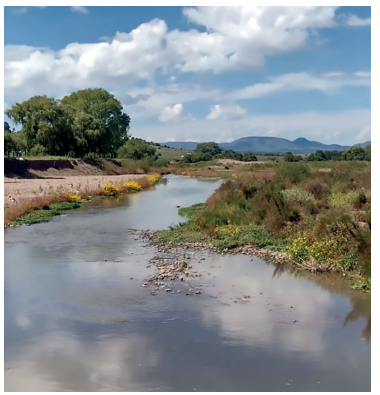
La eficacia del proyecto es de 178.5%



Descripción	Precipitación (mm)		Eficacia (%)
	Pronóstico acumulado	Acumulado en pluviómetros	
Análisis del polígono total	590.0	1,053.1	**178.5**
Análisis de nubes estáticas	204.6	468.6	229.0
Análisis de nubes dinámicas	216.5	605.6	279.7

La cifra de 178.5% de eficacia en el 2023 sugiere ser muy atractiva, desafortunadamente el pronóstico de precipitación para el mismo año era muy bajo (de 590 mm acumulados en todos los pluviómetros, los 18 días de vuelo), en contraste con el año pasado (2022) donde fue de más de 4,205.9 mm, es decir, lo pronosticado para 2023 significa sólo el 14% de lo pronosticado para 2022.

Lo anterior se traduce en un menor número de días nublados para la temporada 2023 comparado con la temporada 2022.



RESULTADOS

2023 fue un año climáticamente devastador para Chihuahua y todo el norte de México, dónde las condiciones para la Estimulación de Lluvias fueron muy precarias al presentarse escasos frentes de nubosidad; aún así los vuelos tuvieron un 178.5% de eficacia, lo que representa más de un millar de hectómetros cúbicos de precipitación extra que con toda seguridad marcaron una diferencia entre el no aplicar la Estimulación y el sí hacerlo.

REGIÓN LAGUNERA

Ing. Jorge A. Sánchez Arellano
COORDINADOR

Ing. José Luis Nava Rodriguez
OPERADOR DE REACTIVO

Ing. Eduardo Pérez Rodriguez
COORDINADOR DE PLUVIÓMETROS

Dra. Consuelo Margarita Maury de Santiago
AUXILIAR EN INFORMÁTICA

PROGRAMA DE ESTIMULACIÓN DE LLUVIAS REGIÓN LAGUNERA, CICLO PV 2023

Este proyecto dió inicio desde 2021, ante un panorama crítico de sequía en el norte del país. Para esta temporada se ejecutaron 15 vuelos de estimulación en una aeronave King Air Model 350i proporcionada por la Fuerza Aérea Mexicana, entre los días 01 de Julio y el 29 de septiembre de 2023, recorriendo un área acumulada de 173,730 km^2. Tres de estos vuelos se realizaron en dos polígonos adicionales ubicados al oeste de los polígonos de trabajo originales, a petición de los Gobierno de los Estados.

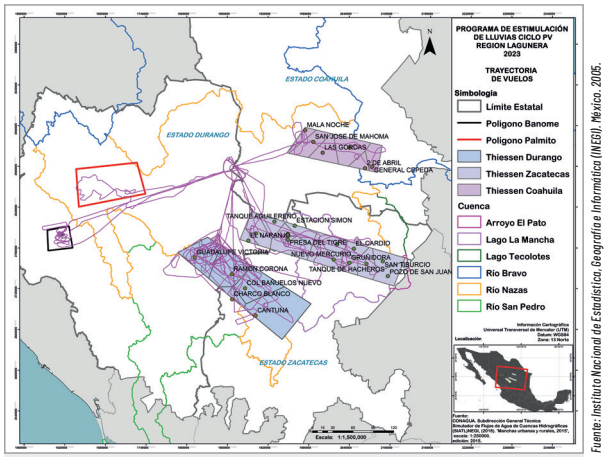
Avión King Air, Modelo 350i utilizado proporcionado por la FAM para los vuelos

Se realizaron 18 vuelos de estimulación

Distancia efectiva recorrida dentro del polígono de trabajo	Superficie cubierta dentro del polígono de trabajo	Reactivo Rainmate® aplicado
5,791 Km	**173,730 Km^2**	**1,500 lt**

Lámina precipitada acumulada durante los días de vuelo:
359,691,448.5 m^3

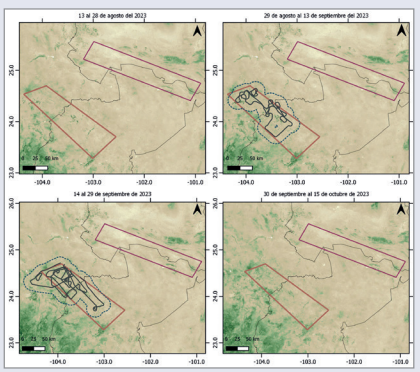
Incremento de lluvia superior a lo pronosticado los días que se voló:
62.14%



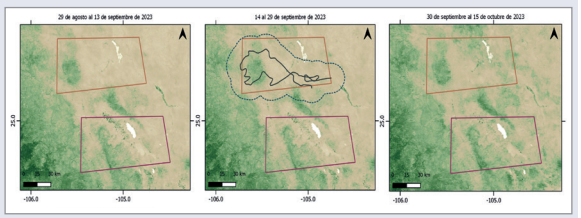
Localización de los polígonos del proyecto con las trayectorias de los 15 vuelos de estimulación realizados

Fuente: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). México, 2005.

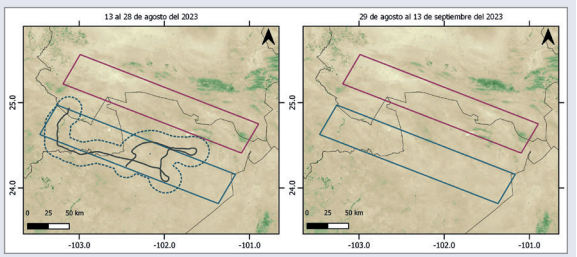
SENSORES REMOTOS / ÍNDICE DE VEGETACIÓN (NDVI)



Para los ocho periodos analizados para el estado de Durango, el verdor fue mayor en el área de influencia y el polígono de trabajo, que en el área externa.



Para el polígono Banome en los tres periodos analizados el promedio fue mayor en el polígono de trabajo; para El Palmito, el promedio fue mayor en el área externa, pero muy similar al valor promedio registrado para el polígono de trabajo y en el área de influencia.



Para Zacatecas, en la mayoría de los casos el promedio del verdor fue mayor o igual en el polígono de trabajo y en el área de influencia que en el área externa.

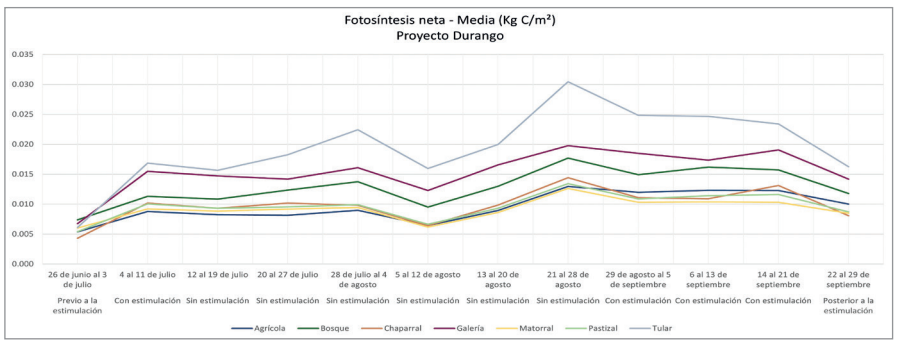
COBERTURA VEGETAL

Los tipos principales de cobertura vegetal dentro de los polígonos de interés para el proyecto son: el matorral en Coahuila, el agrícola en Durango, el matorral en Zacatecas, el pastizal en El Palmito, y el bosque en Banome son las coberturas con la mayor superficie dentro de los polígonos de trabajo.

PRINCIPALES TIPOS DE COBERTURA Y USO DE SUELO PARA LOS POLÍGONOS DE TRABAJO

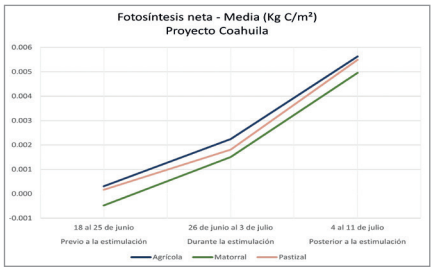
Coberturas	Área (Ha)
Agríloca-Durango	534,552.0
Matorral-Coahuila	232,328.8
Matorral-Zacatecas	879,576.6
Pastizal-El Palmito	239,851.00
Bosque-Banome	78,328.0

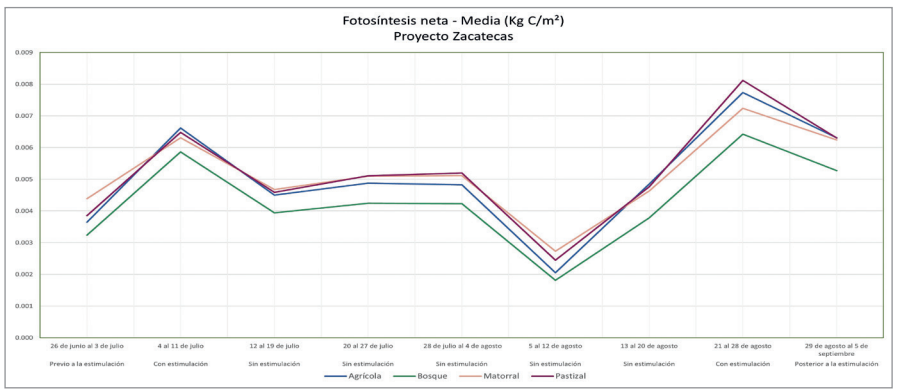
Superficie agrícola en el estado de Durango.

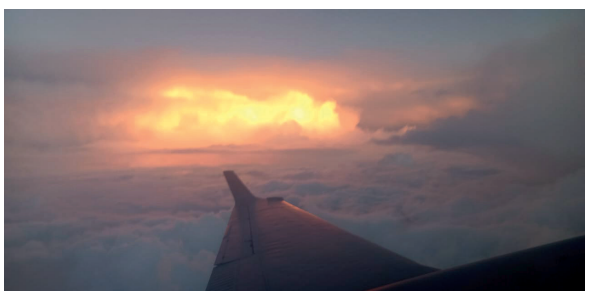


FOTOSÍNTESIS NETA / PRODUCTIVIDAD

Los resultados de biomasa muestran que los tipos de vegetación relevantes para el proyecto, agrícola, matorral y pastizal, son las que presentaron un mayor contenido de carbono, lo que beneficia a la población objetivo que son los ganaderos extensivos, en algunos casos agricultores temporaleros y a la vida silvestre.





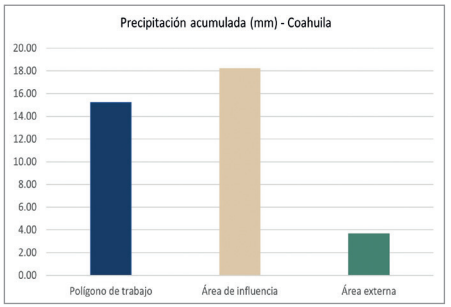


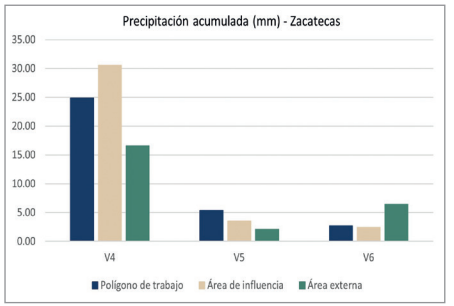
PRECIPITACIÓN

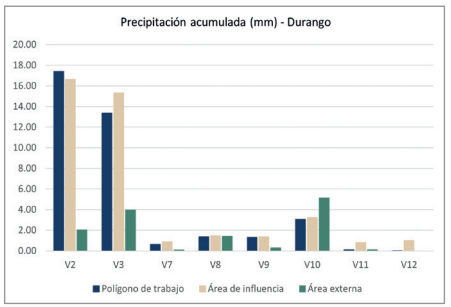
Con respecto al agua precipitada acumulada resultado de la estimulación en todos los polígonos, se obtuvo una eficiencia del 100%, después de haber aplicado el reactivo, ya sea en menor, igual o mayor grado que lo pronosticado, a nivel de tierra se obtuvieron 75 registros, y se generaron 359,691,448.5 m^3 de agua.

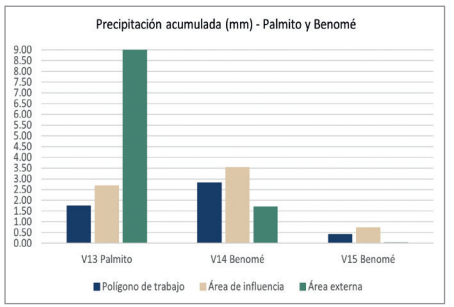
Descripción	Precipitación (mm)		Eficacia (%)
	Pronóstico acumulado	Acumulado en pluviómetros	
Análisis del polígono total	210.9	342.0	162.1
Análisis de nubes estáticas	160.8	167.4	104.1
Análisis de nubes dinámicas	166.2	198.3	119.3

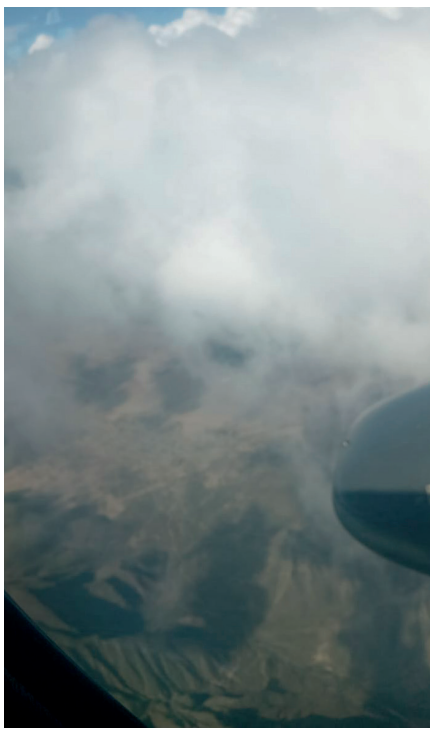
El pronóstico acumulado fue de 210.9 mm, para los días de vuelo, en contraste, la precipitación registrada en los pluviómetros instalados fue de 342 mm. Esto representa el 62.1% de incremento.





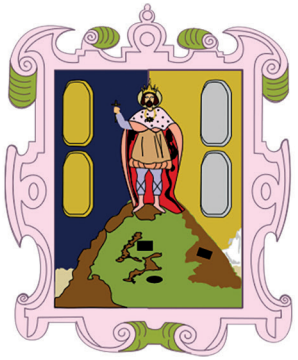






RESUMEN DE RESULTADOS

El Incremento de lluvia fue superior a lo pronosticado los días que se voló en **62.14%.** La fotosíntesis es un indicador de aumento de biomasa con base al contenido de carbono de las plantas. Como resultado de la estimulación los tipos de vegetación relevantes para el proyecto, agrícola, matorral y pastizal, son las que presentaron un mayor contenido de carbono, lo que beneficia a la población objetivo que son los ganaderos extensivos, en algunos casos agricultores temporaleros y a la vida silvestre.



SAN LUIS POTOSÍ

C.P.A. Víctor Alfonso Torres Sánchez
COORDINADOR

LAE. Josué Hervert Portilla
OPERADOR DE REACTIVO

LCC. Brian Enrique Avila Ortega
AUXILIAR EN INFORMÁTICA

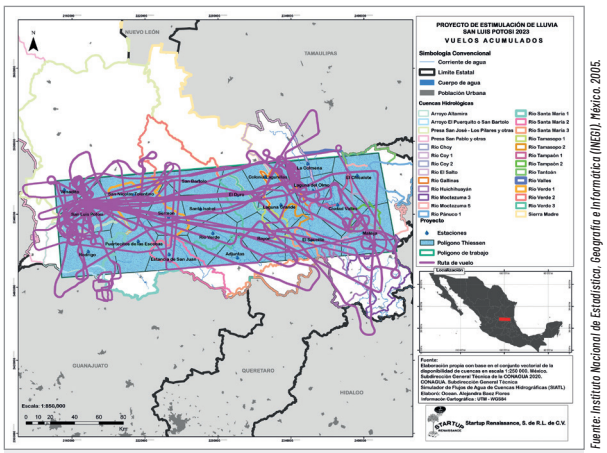
PROYECTO DE ESTIMULACIÓN DE LLUVIAS SAN LUIS POTOSÍ

Se realizaron 12 vuelos con avión proporcionado por el Gobierno del Estado, entre el día 15 de septiembre y el 08 de octubre, con la liberación de 1,200 litros de Rainmate® cubriendo un acumulado total de 129,750km^2 de trabajo,en un polígono de 2,009,715.07 ha.

Se realizaron 12 vuelos de estimulación

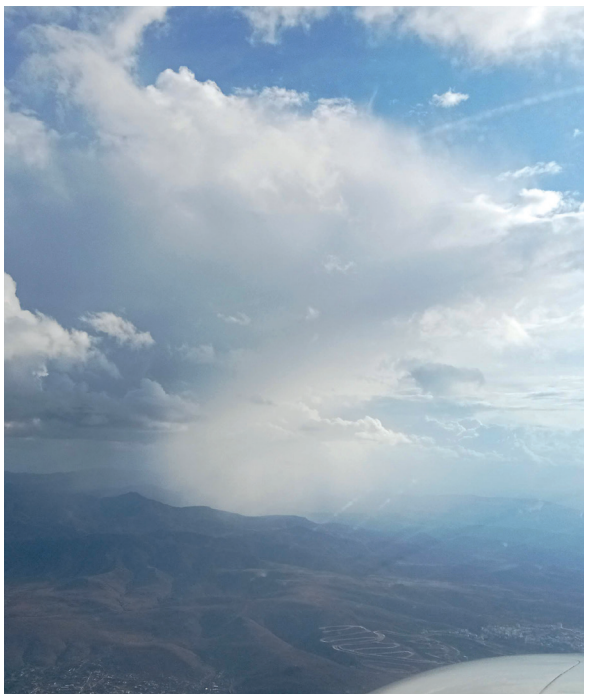
Distancia efectiva recorrida dentro del polígono de trabajo	Superficie cubierta dentro del polígono de trabajo	Reactivo Rainmate® aplicado
4,325 Km	**129,750 Km^2**	**1,200 lt**

Lámina precipitada acumulada durante los días de vuelo:
275 millones de m^3



Mapa de localización del proyecto con las trayectorias de los vuelos

Fuente: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). México, 2005.



SENSORES REMOTOS / ÍNDICE DE VERDOR (NDVI)

Al inicio del proyecto, la curva de productividad de la vegetación ya se encontraba en descenso y que esta tendencia logró ser revertida, registrando un incremento, por lo tanto, este crecimiento en gran parte puede ser atribuido al proyecto.

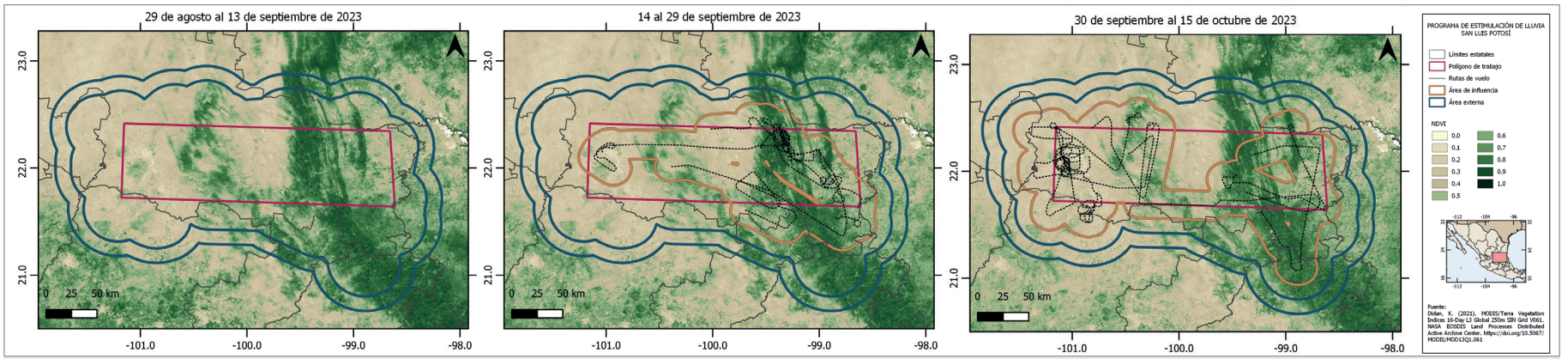
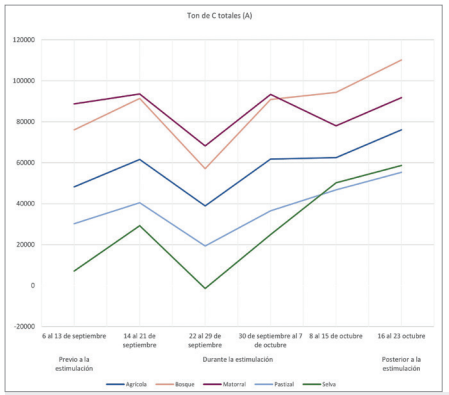
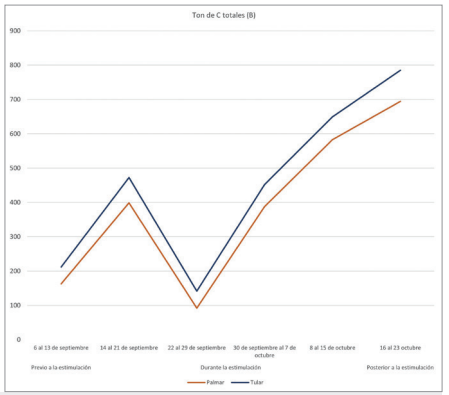


Imagen del índice de vegetación (NDVI) del periodo previo a la estimulación (29 de agosto a l 13 de septiembre de 2023), y del periodo en el que se realizaron los vuelos 1 al 5 (14 al 29 de septiembre de 2023) y los vuelos 6 al 12 (30 de septiembre al 15 de octubre de 2023). Se muestra el NDVI dentro del polígono de trabajo, área de influencia y área externa.

FOTOSÍNTESIS NETA / PRODUCTIVIDAD

Dentro del polígono de interés para el proyecto, el matorral es la cobertura más extensa, seguido por la agrícola y el bosque. Los registros de fotosíntesis neta indican que valores más altos del periodo analizado se presentan al final y posterior a la estimulación, lo que indica que la vegetación se estimuló por la precipitación y generó biomasa. La vegetación con el mayor contenido de carbono estimado por hectárea son: el palmar, la selva, el bosque y el tular. La cobertura agrícola al final del periodo de estimulación presentó una mayor cantidad de carbono estimado que el pastizal y el matorral, mostrándose un aumento de más del 58% desde el periodo previo a la estimulación.





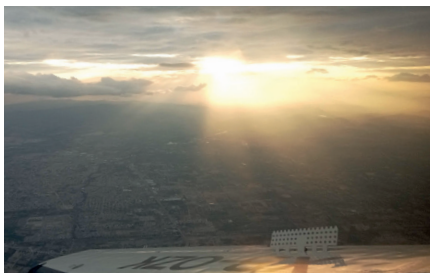
Se muestra la evolución de las toneladas de carbono por hectárea para el total de la superficie de cada tipo de cobertura de vegetación significativa para actividades productivas: Agricultura, Bosque, Matorral, Pastizal, y Selva (A) y Palmar y Tular (B), con base en la serie VII de INEGI del año 2018. Estos valores derivan de la cantidad de carbono (Kg de Carbono por m^2) y de la superficie total que cubre el tipo de cobertura.

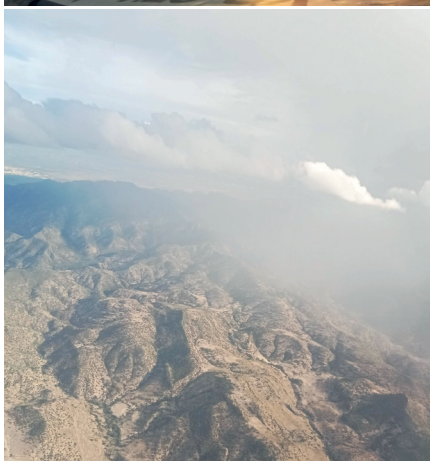
PRECIPITACIÓN

La precipitación registrada por Sensores Remotos para los días de vuelo fue del 100%, es decir, se registró lluvia todas las veces que se voló y se aplicó Rainmate®, en al menos un sitio.

De acuerdo a los resultados de las estaciones, el mayor porcentaje se obtuvo sobre las nubes dinámicas, es decir, aquellas nubes sobre las que se voló y que registraron también efectos en estaciones vecinas, a donde el viento empujó estas nubes "tratadas". Este porcentaje fue de 50.418 % de lo pronosticado y es finalmente el indicador de eficacia del proyecto, ya que en este cálculo se excluyen las áreas donde no se voló.

Es claro en la evolución del NDVI, que la precipitación fue mayor donde operó el proyecto que en la parte exterior, lo que se confirma con los gráficos de productividad.

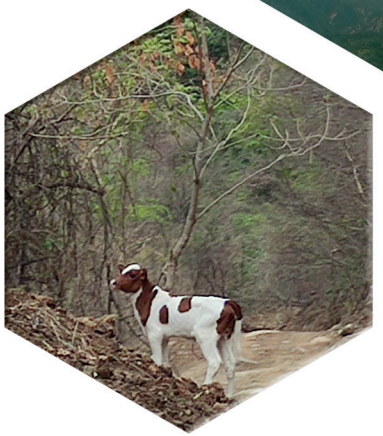




RESULTADOS

Se lograron buenos resultados, considerando que el proyecto se aplicó prácticamente ya terminada la temporada de lluvias. Este año sin duda fue muy complicado en gran parte del país, ya que se quedaron cortos los pronósticos de sequía. Los días que se voló en este estado, se logró una precipitación de 275.2 millones de m^3. Los resultados si bien parecen magros, indican que ayudaron a contener la sequía ya que se logró que la vegetación continuara desarrollándose.

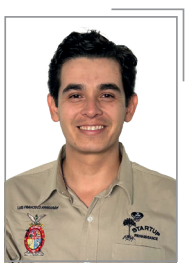
SINALOA



Ing. Rafael Sánz Ramos
COORDINADOR

Ing. Rafael Sánz Peñuelas
OPERADOR DE REACTIVO

Ing. Luis Enrique Arrearán Ramírez
COORDINADOR DE PLUVIÓMETROS



Ing. Luis Francisco Arrearán Montoya
COORDINADOR DE PLUVIÓMETROS

Ing. Nathanael Trapero Cabrales
AUXILIAR EN INFORMÁTICA

PROYECTO DE ESTIMULACIÓN DE LLUVIA EN EL ESTADO DE SINALOA - 2023

Los vuelos de estimulación iniciaron el 31 de julio y continuaron hasta el 27 de septiembre, realizando 25 en total. Se utilizó un avión modelo Rockwell 690B Turbo commander proporcionado por el Gobierno del Estado de Sinaloa, con matrícula XC HHS. Se liberaron un total 2,600 litros de Rainmate, empleando en promedio 44 minutos de vuelo en cada misión. Estos 25 vuelos lograron estimular lluvia por un total de **5,353,140,327.76 m³** de lluvia los días que se voló.

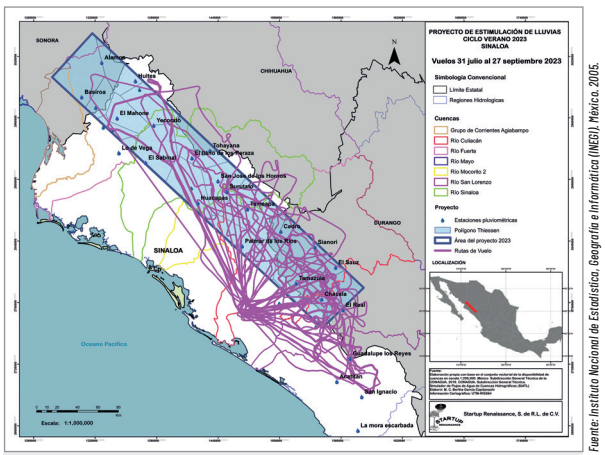
El proyecto comprendió una superficie de aproximadamente 2,024,418.69 ha, enmarcada en un polígono que influye las cuencas del Grupo de corrientes Agiabampo, Río Culiacán, Río Fuerte, Río Mocorito, Río San Lorenzo, Río Sinaloa y Río Elota.

Se realizaron 25 vuelos de estimulación

Distancia efectiva recorrida dentro del polígono de trabajo	Superficie cubierta dentro del polígono de trabajo	Reactivo Rainmate® aplicado
5,719 Km	**171,570.00 Km²**	**2,600 lt**

Lámina precipitada acumulada durante los días de vuelo:
5,353 Millones de m³

Lluvia precipitada versus lo pronosticado los días que se voló:
214.6%

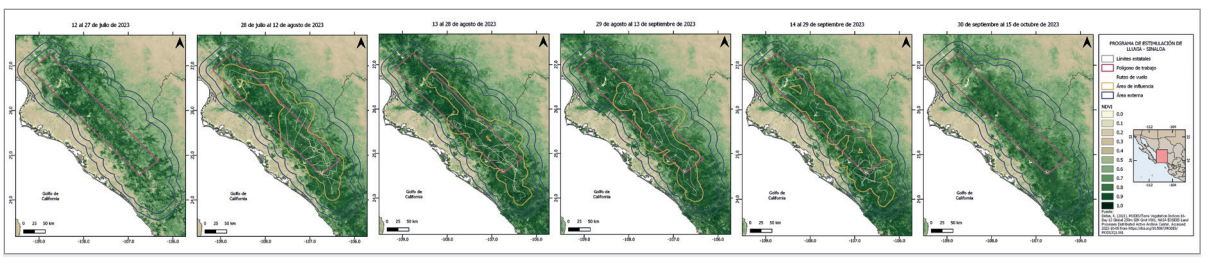


Mapa de localización del proyecto con las trayectorias de los vuelos

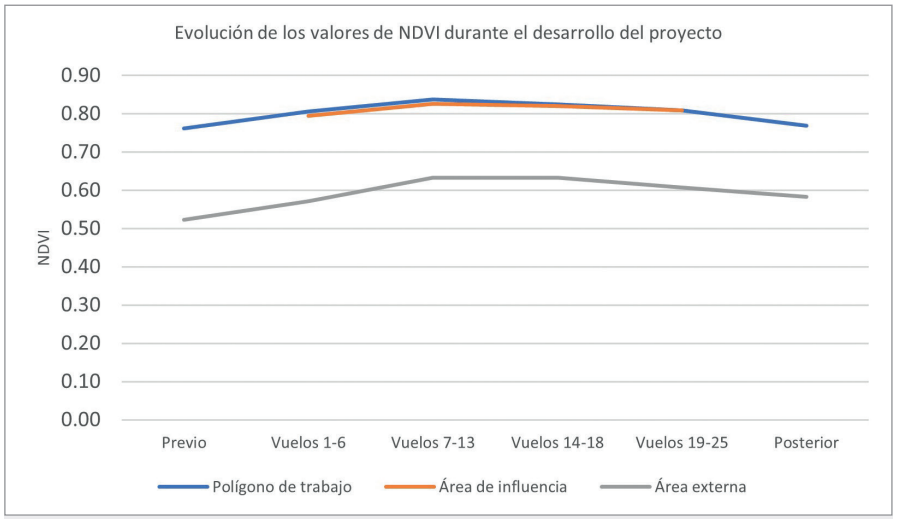
Fuente: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), México. 2005.

SENSORES REMOTOS / ÍNDICE DE VERDOR (NDVI)

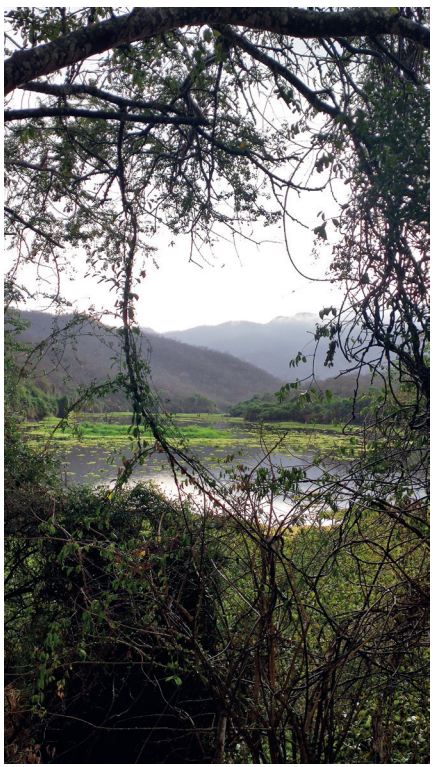
Los valores de NDVI fueron superiores tanto en el polígono de trabajo como en el área de influencia, con respecto al área externa, esto se evidencia en todos los vuelos, pero especialmente en los vuelos 1 al 18. Es destacable el aumento de los valores de NDVI durante el periodo de estimulación, no sólo en el área del polígono y área de influencia, como es de esperarse, pero también incluso en el área externa adyacente.



Imágenes del índice de vegetación (NDVI) para el periodo previo a la estimulación atmosférica (arriba izquierda); imagen del valor de NDVI para el periodo de los vuelos de estimulación 1 al 6 (arriba centro); vuelos 7 al 13 (arriba derecha); vuelos del 14 al 18 (abajo izquierda); vuelos 19 al 25 (abajo centro) y posterior a la estimulación (abajo derecha).

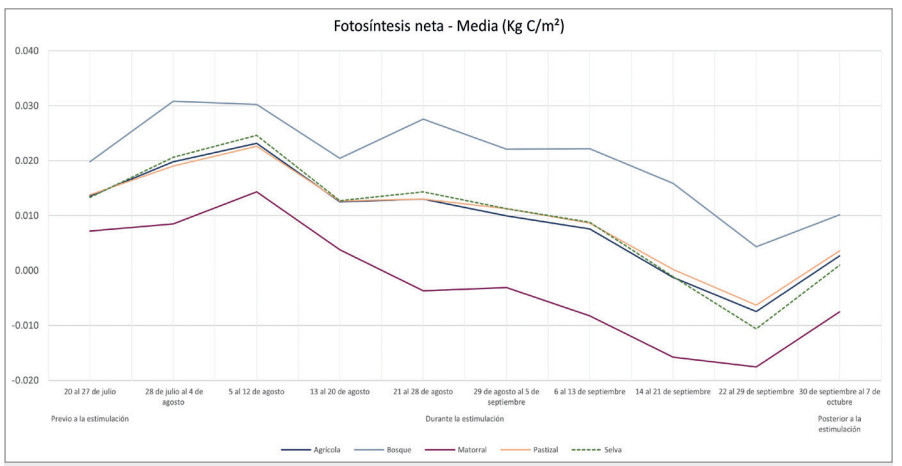


Se muestran los valores promedio del índice NDVI para el periodo analizado, que corresponde a los vuelos 1 al 25 y los periodos previo y posterior a la estimulación.



FOTOSÍNTESIS NETA / PRODUCTIVIDAD

Todas las coberturas de vegetación tuvieron un aumento en la producción fotosintética, con respecto al periodo previo a la estimulación. La cobertura que mostró mayor aumento fue la de bosque, seguida de selva, agrícola y pastizal. Son notorios tres repuntes de la actividad, el primero al inicio del proyecto, el segundo el 21 de agosto y el tercero al concluir estos trabajos a finales de septiembre.



Media de fotosíntesis neta por tipo de cobertura y uso de suelo (modificado de INEGI, 2016), dentro del polígono de trabajo, previo, durante y posterior al periodo de estimulación

PRECIPITACIÓN

El análisis global de la precipitación para todo el periodo analizado muestra que dentro del polígono de trabajo el promedio de precipitación y la precipitación acumulada fueron mayores que en el área externa, se calcula que el promedio de precipitación fue alrededor de 64% mayor dentro del polígono de trabajo y el área de influencia, que en el área externa. La precipitación registrada en cuanto menos un pluviómetro y/o sensores remotos para los días de vuelo fue de 100% de los casos.

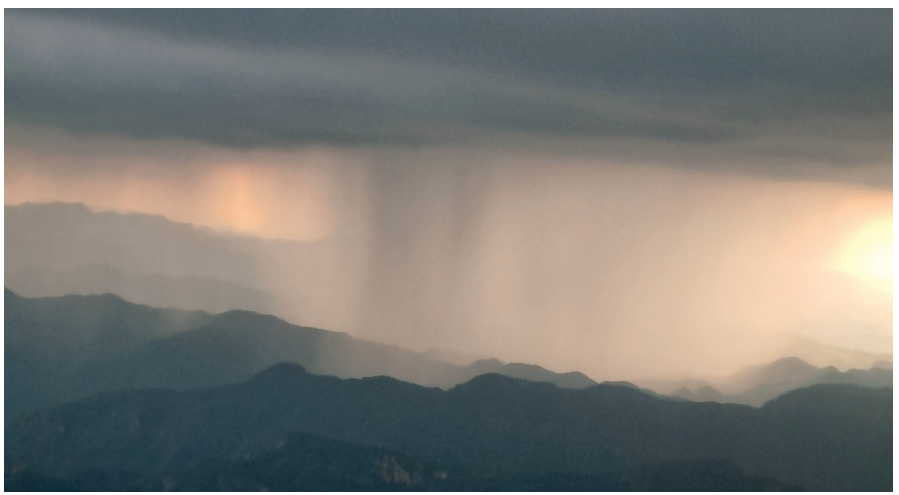
Descripción	Precipitación (mm)		Eficacia (%)
	Pronóstico acumulado	Acumulado en pluviómetros	
Análisis del polígono total	2,342.0	5,026.8	214.6
Análisis de nubes estáticas	599.50	1,823.92	304.2
Análisis de nubes dinámicas	689.20	2,280.94	330.9

Lograr lluvias por el doble del pronóstico no es poca cosa y con mayor razón con las nubes dinámicas, donde se logró más de tres veces el pronóstico.

CONTRIBUCIÓN AL LLENADO DE PRESAS

Las 11 presas que se encuentran dentro del área de influencia del proyecto registraban 3,899.38 hm^3 antes de iniciar el proyecto (al 26 de julio) y para el final de la ejecución del proyecto, el 27 de septiembre, registraron un total de 4,497.20 hm^3, un aumento de 597.82 millones de m^3.

Con relación al NAMO original para todas las presas, el almacenamiento inicial estaba al 24.9% y al finalizar se logró un 28.66%.



RESUMEN DE RESULTADOS

La precipitación lograda en los pluviómetros durante los días que se registraron los vuelos, fueron un 214.6% contra lo pronosticado en la totalidad del polígono y de 330.91% en las áreas sobre voladas más el efecto del viento. Como resultado de esto los valores de NDVI fueron superiores tanto en el polígono de trabajo como en el área de influencia, con respecto al área externa.

SONORA

M. en C. Marco Polo Martínez Mayorquín
COORDINADOR

Dr. Luis Eduardo Tellechea López
OPERADOR DE REACTIVO

Biol. Alejandra Maldonado Gutiérrez
COORDINADORA DE PLUVIÓMETROS

M. en C. Tania Abigail Burgos Othón
COORDINADORA DE PLUVIÓMETROS

M en C. Carolina Trujillo López
AUXILIAR EN INFORMÁTICA

PROYECTO DE ESTIMULACIÓN DE LLUVIAS EN SONORA, CICLO VERANO 2023

Este proyecto es realizado en coordinación entre la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Recursos Hidráulicos, Pesca y Acuacultura (SAGARHPA Estatal), la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER Federal) y la Comisión Nacional de Zonas Áridas (CONAZA). El polígono propuesto para la temporada de verano tiene una superficie de 2,032,080.82 ha, que abarca las cuencas del Río Concepción, Río Mayo, Río Mátape, Río Sonora y Río Yaqui (figura 1) influyendo en 17 municipios de Sonora y 2 de Chihuahua. Los vuelos se realizaron del 9 de agosto al 7 de septiembre en una aeronave modelo Twin commander 690C, matrícula XCCE propiedad del Gobierno del Estado de Sonora.

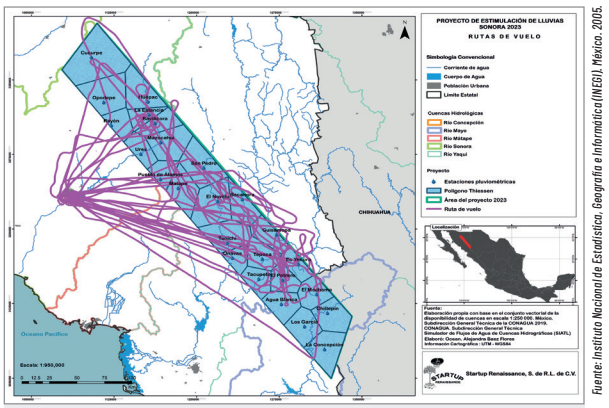


Figura 1. Mapa de localización del proyecto con las trayectorias de los vuelos

Fuente: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). México. 2005.

Se realizaron 14 vuelos de estimulación

Distancia efectiva recorrida dentro del polígono de trabajo	Superficie cubierta dentro del polígono de trabajo	Reactivo Rainmate® aplicado
4,397 Km	**131,910 Km²**	**1,400 lt**

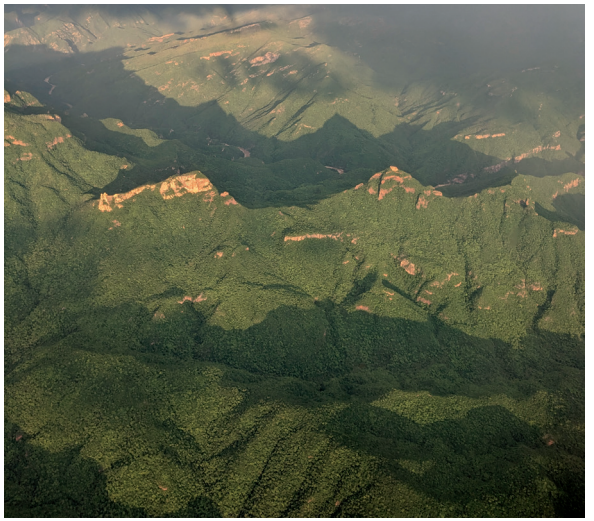
Lámina precipitada acumulada durante los días de vuelo:
2,086,993,169.40 m³

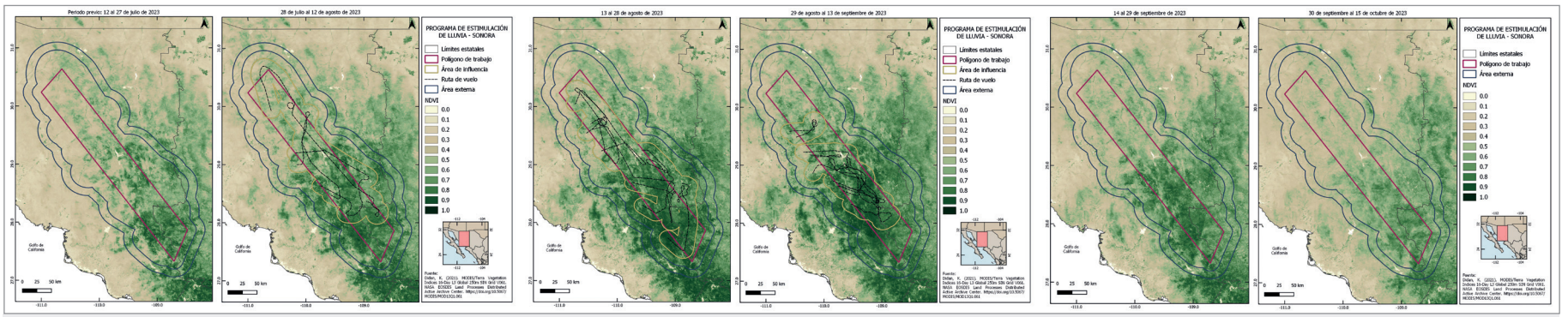
Eficiencia lograda entre lo pronosticado contra lo precipitado los días de vuelo:
294.8%

SENSORES REMOTOS / ÍNDICE DE VEGETACIÓN (NDVI)

Para las variables NDVI o índice de vegetación, los sensores remotos indican incremento en el verdor de la vegetación y el aumento de la biomasa mediante la medición del carbono con base en la actividad de fotosíntesis.

En todos los periodos analizados, se observó que el verdor aumentó un 15% más en el polígono de trabajo y en el área estimulada, que en el área externa. El verdor aumenta gradual y progresivamente, pero disminuye al final del periodo de estimulación, excepto para el área estimulada, en donde se observa que se mantiene. Este comportamiento de la vegetación como respuesta a la estimulación de esta lluvia tardía, es de un gran valor para los ganaderos.

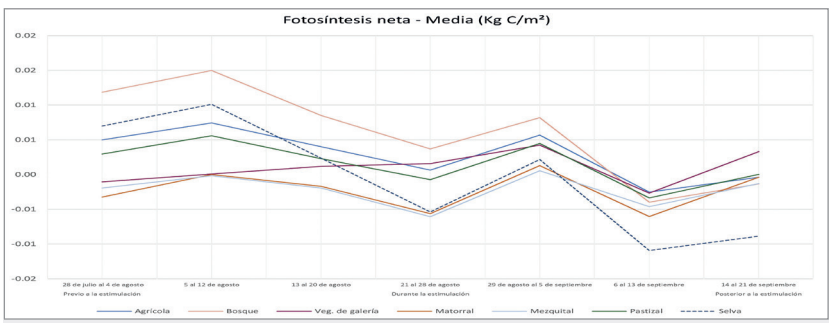




Imágenes del índice de vegetación (NDVI) en el periodo previo y durante la estimulación.

CONTRIBUCIÓN EN LA COBERTURA VEGETAL

La cobertura vegetal tiene relación directa con el índice de verdor, es decir, un mayor número en índice de verdor refiere a mayor cobertura vegetal. En el polígono de interés la selva baja presenta la cobertura de mayor extensión territorial, seguido del matorral y después el bosque. Por lo tanto son los principales tipos de vegetación beneficiadas por el aumento del 15% de índice de verdor en el polígono de trabajo y donde se encuentran los principales agostaderos.



Media de fotosíntesis neta por tipo de cobertura y uso de suelo (modificado de INEGI, 2016), dentro del polígono de trabajo, previo, durante y posterior al periodo de estimulación.

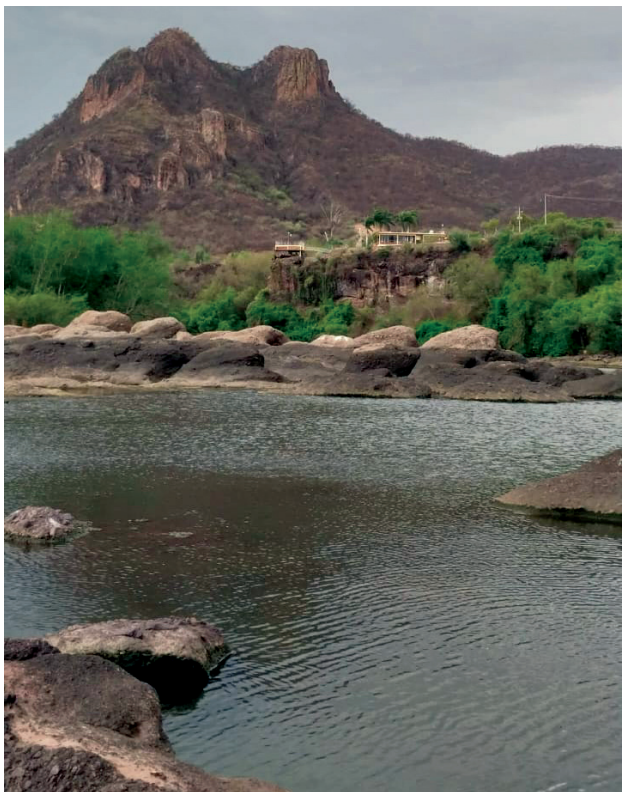
El contenido de carbono estimado aumentó después del tercer y cuarto vuelo, fenómeno observado en otros proyectos de estimulación, y disminuye parcialmente a partir del vuelo 8, aumentando al final del periodo de estimulación y post-estimulación. El bosque de galería es la cobertura que termina con la mayor cantidad de carbono por hectárea, seguida por el pastizal.

PRECIPITACIÓN

La precipitación registrada en pluviómetros y/o Sensores Remotos para los días de vuelo fue del 100%, es decir, se registró lluvia todas las veces que se voló y se aplicó Rainmate®, en al menos un sitio.

Descripción	Precipitación (mm)		Eficacia (%)
	Pronóstico acumulado	Acumulado en pluviómetros	
Análisis del polígono total	887.07	2,615.17	**294.8**
Análisis de nubes estáticas	302.20	507.03	**167.7**
Análisis de nubes dinámicas	360.80	757.45	**209.9**

El análisis global de la precipitación por sensores remotos, en nueve de los catorce vuelos, registró un promedio de precipitación mayor en el área de estimulación y en el polígono de trabajo que en el área externa.



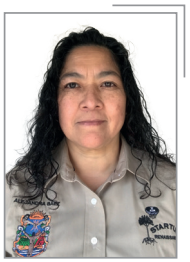
RESULTADOS

La precipitación lograda (Eficacia) durante los días que se registraron los vuelos, fue de 294.81% contra lo pronosticado, por lo que se logró mucha más precipitación durante estos días. Los sensores remotos nos indican que se lograron incrementos en el verdor de la vegetación dentro del polígono de trabajo durante la aplicación del proyecto, lo que tiene un efecto directo sobre la cobertura vegetal y por lo tanto para la ganadería, principalmente, significando esto una aportación importante para la mitigación de los efectos de la sequía.

EQUIPO CENTRAL STARTUP RENAISSANCE

EQUIPO DE ANÁLISIS TÉCNICO

Dr. Joaquín Contreras Gil
COORDINADOR



Ocean. Alejandra Baez Flores
ANALISTA

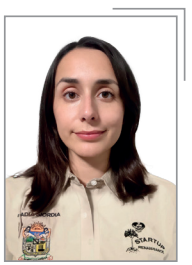
M. en C. Samantha Rodríguez de la Gala Hernández
ANALISTA

M. en C. María de los Ángeles Milanés Salinas
ANALISTA

M. en C. Bertha García Capitanachi
ANALISTA

EQUIPO DE ANÁLISIS ESPECTRALES, SUELO Y VEGETACIÓN

Dr. Bernardino Ricardo Eaton González
COORDINADOR TÉCNICO



M. en C. Nadia Fernanda Siordia González
ANALISTA ESPECIALIZADA

EQUIPO METEOROLÓGICO

M. en C. Jessica Martínez Jiménez
COORDINADORA DE METEOROLOGÍA

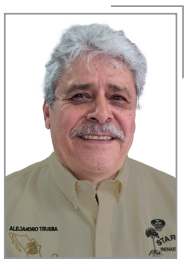
Lic. Yasmin Córdoba Sánchez
METEORÓLOGA

CAPACITACIÓN A PERSONAL DE VUELOS

C.P.A. Víctor Alfonso Torres Sánchez
COORDINADOR

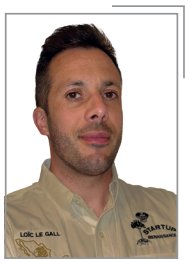
EQUIPO CENTRAL STARTUP RENAISSANCE

EQUIPO TÉCNICO CENTRAL

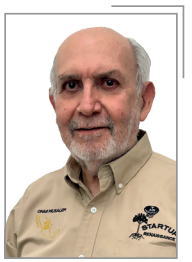


Ing. Alejandro Jesús Trueba Carranza
COORDINADOR GENERAL

Lic. Alejandra Trueba Meave
DESARROLLO DE NEGOCIOS INTERNACIONALES



Ing. Loïc Le Gall
COORDINADOR GENERAL DE PROYECTOS INTERNACIONALES



Dr. Omar Musalem López
CONSULTOR

M. en C. Obed Mayoral Fernández
ASESOR TECNOLÓGICO

Ing. Rodrigo Monsalvo Velázquez
COORDINADOR MECÁNICO

Ing. César López Morales
LOGÍSTICA

D.C.G. Erika Lucía Marroquín Moreno
COORDINADORA DE DISEÑO GRÁFICO

EQUIPO DE LA FUERZA AÉREA MEXICANA

BAJA CALIFORNIA

Eduardo Alvarado Barrera
Tte. F.A.P.A.

Jorge Alberto Zertuche Velasco
Tte. F.A.P.A.

José Marcelino Gutiérrez González
Sbtte. F.A.E.E.A.

Daniel Corona Díaz
Sargento 2/o F.A.E.M.A.

CUTZAMALA

Marco Antonio Martínez Luis
Tte. F.A.P.A.

Francisco Menes Torres
Cap. 2/o. F.A.P.A.

Miguel Angel Ibarra Lazcano
Cap. 2/o. F.A.P.A.

CHIHUAHUA

Marco Antonio Gómez Amador
Cap. 2/o F.A.P.A.

Omar Jesús Ochoa Lizárraga
Cap. 2/o F.A.P.A.

Daniel Badillo Ángeles
Tte. F.A E.E.A.

Eduardo Alvarado Barrera
Tte. F.A.P.A.

José de Jesús Carmona Mandujano
Tte. F.A.P.A.

Miguel Ángel Cruz Bautista
Tte. F.A.A.A.

Daniel Corona Díaz
Sargento 2/o F.A.E.M.A.

Ronaldo De Los Santos Carrasquedo
Sargento 2/o F.A.E.E.A.

REGIÓN LAGUNERA

Marco Antonio Gómez Amador
Cap. 2/o F.A.P.A.

Ricardo Aguilar Díaz
Tte. FAPA

Eduardo Agustín González Alonso
Tte. FAPA

Ronaldo De Los Santos Carrasquedo
Sargento 2/o F.A.E.E.A.

EQUIPO DEL GOBIERNO DEL ESTADO DE SINALOA

Jorge Ignacio Yñigo Riesgo
PILOTO

Javier Eduardo Carey López López
COPILOTO

Luis Alfredo Jiménez López
COORDINADOR DE VUELOS

Elías de la Vega Beltrán
COORDINADOR DE VUELOS

José Everardo Corrales Hernández
TÉCNICO EN AVIACIÓN

Miguel Ángel Félix Lizárraga
TÉCNICO EN AVIACIÓN

EQUIPO DEL GOBIERNO DEL ESTADO DE AGUASCALIENTES

Jorge Aubry
CAPITÁN

Roberto De Los Santos
CAPITÁN

EQUIPO DEL GOBIERNO DEL ESTADO DE SAN LUIS POTOSÍ

Raymundo Martínez
CAPITÁN

Sergio Márquez
CAPITÁN

José Alejandro Aguilar Hernández
TÉCNICO AERONÁUTICO

EQUIPO DEL GOBIERNO DEL ESTADO DE CHIHUAHUA

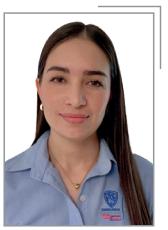
Capt. Gerardo Ramos de León
PILOTO

Capt. Juan Guerra Zárate
PILOTO

Ing. José Zacarías Galván Meléndez
TÉCNICO DE LA SECRETARIA DE DESARROLLO RURAL

Mtro. José Luis Holguín Núñez
TÉCNICO DE LA SECRETARIA DE DESARROLLO RURAL

Ing. Iván Pizarro Chávez
TÉCNICO DE LA SECRETARIA DE DESARROLLO RURAL



M. en C. Maria Trinidad Realyvázquez Valencia
TÉCNICO DE LA SECRETARIA DE DESARROLLO RURAL

EQUIPO DEL GOBIERNO DEL ESTADO DE SONORA

Capt. Roberto Andere García
DIRECTOR DE HANGAR

Bernardino Abril López
COORDINADOR DE HANGAR

Sergio Adrián López Cortés
PILOTO

Alejandro Jáuregui Rentería
PILOTO

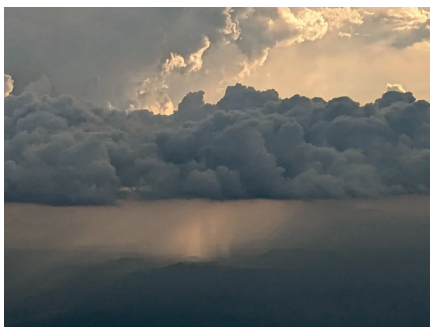
Juan Pablo Valenzuela Martínez
PILOTO

Héctor Ramón Aguirre Carranza
PILOTO

Jaime Luna Virgen
MECÁNICO AERONÁUTICO

José Israel Favela Aldana
MECÁNICO AERONÁUTICO

Leonardo Cobarrubias Vázquez
AYUDANTE GENERAL



AGRADECIMIENTOS

Alejandro Jesús Trueba Carranza

A tres años cumplidos con el proyecto de estimulación de lluvias evidentemente tenemos mucho por agradecer, primero quiero hacerlo a los funcionarios que aguantaron de todo, burlas, críticas, presiones, pero que se mantuvieron firmes a lo largo de este período, me refiero al Secretario de Agricultura Víctor Manuel Villalobos Arámbula y a quien encabeza a la Comisión Nacional de las Zonas Áridas, el Dr. Héctor Manuel Arias Rojo, sin cuyo decidido apoyo tal vez nuestro proyecto no habría llegado a completar 21 proyectos Estatales y Regionales con 376 vuelos de estimulación, todos con resultados positivos en el incremento de la precipitación; de ellos es también el mérito que hemos alcanzado con nuestros resultados.

A nuestro equipo de trabajo en Startup Renaissance, quienes desde el inicio compartieron con nosotros confianza, trabajo arduo y creativo y que forjaron el lema de "el arte de transformar lo imposible en realidad", indudablemente el tamaño de los logros y alcances del proyecto nunca podrían ser de un solo hombre y el equipo de Startup en su conjunto y con la sumatoria de esfuerzos de todos y cada uno de sus miembros somos quienes hemos logrado los resultados de estos tres años.

A funcionarios estatales y fundamentalmente a los productores que colaboraron con nosotros en los proyectos tomando registros de lluvia, observaciones durante los vuelos y a través de sus opiniones que denominamos la percepción social, nos orientaron a mejorar las operaciones de vuelo y fundamentalmente las observaciones de campo que posteriormente vertemos en nuestros informes y que consolidan a nuestra tecnología y por mucho, como la que mejores resultados en cuanto a incrementos en la precipitación se refiere de cuantos proyectos de este tipo se realizan hoy a nivel mundial.

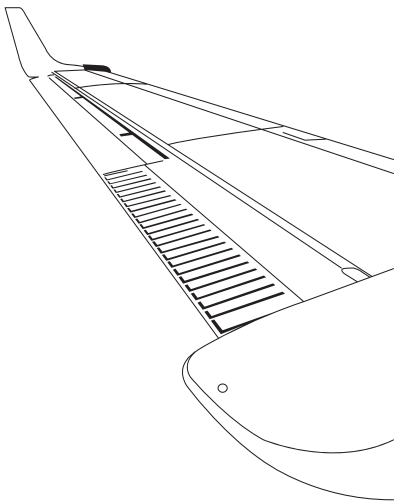
Sin embargo el camino aún no se ha pavimentado, y como recientemente comenté en una entrevista y resumiendo el impacto de cada uno de nuestros tres años de actividades, el primero fue de burla, incredulidad y critica; el segundo de asombro por los resultados inobjetables alcanzados y el tercero de pirateo o usurpación de nuestra tecnología principalmente por representantes de Estados movidos por el lucro que han pretendido copiar nuestro reactivo y operación o simplemente reportan como suyos eventos meteorológicos naturales presentados dentro de su territorio. A ellos nuestro repudio, porque con su burdo trabajo y ambición ponen en riesgo la credibilidad en una tecnología emergente, 100% mexicana que hoy por hoy es la única opción que ha presentado resultados promisorios para controlar la sequía y sus consecuencias para México y tal vez para el mundo.

Alejandro J. Trueba Carranza
Joaquín Contreras Gil
Alejandra Trueba Meave
Jessica Martínez Jiménez
Rafael Sánz Ramos
Luis García Saavedra
Martín Máynez Chavarría
Marco Polo Martínez Mayorquin
Jorge A. Sánchez Arellano
Luis Rodrigo García Aguilar
Rafael Sánz Peñuelas
Gustavo Rodríguez Vera
Alejandra Báez Flores
Samantha Rodríguez de la Gala Hernández
Bernardino Ricardo Eaton González
Nadia F. Siordia González
Carlos Eduardo Tomas Mayorquin
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
Alejandra Maldonado Gutiérrez
Sofía Estrada Valles
Pamela García Aguilar
Rodrigo Monsalvo Velázquez
César López Morales
Yasmin Córdoba Sánchez
Omar Musalem López
Víctor Alfonso Torres Sánchez
Obed Mayoral Fernández
Carlos Rodríguez Santana
Mario Marín Silva Serna
José Hugo Loperena Rodríguez
Brian Enrique Avila Ortega
Nathanael Trapero Cabrales
Mario Manuel Velázquez Mandujano
Javier Moreno Trujillo
Fausto Edeza Reyna
Loïc Le Gall
Everardo Lerma Ceballos
Luis Eduardo Tellechea Robles
Josué Hervert Portilla
José Luis Nava Rodríguez
Consuelo Margarita Maury de Santiago
Ismael Blas Amador
Luis Enrique Arrearán Ramírez
Luis Francisco Arrearán Montoya
Erika Lucía Marroquín Moreno

Javier Moreno
ESCULTOR

Mario Manuel Velázquez Mandujano
FOTOGRAFÍA DE PORTADA

Todas las fotografías publicadas en este documento fueron tomadas por el personal de Startup Renaissance



STARTUP
RENAISSANCE
AGRICULTURA
SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL
CONAZA
El arte de transformar lo imposible en realidad