

Diseño y construcción del prototipo de un cohete de alcance medio para provocar lluvias artificiales

Design and construction of the prototype of a medium-range rocket to cause artificial rains

Recibido: 31 de agosto de 2022 | Revisado: 23 de septiembre de 2022 | Aceptado: 26 de septiembre de 2022

Gustavo Ordoñez Cárdenas¹

Abstract

The objective of this research is to design and build the prototype of medium-range rocket, mounted on a mobile launch ramp for the production of artificial rains and also to prevent the fall of hail in certain areas of Peru in times of drought. Rockets were designed, built, tested and launched to produce artificial rain using silver iodide. The efficacy of a prototype with a 3-inch nominal diameter (maximum height 4,000 meters) and another with a 4-inch nominal diameter (maximum height 5,500 meters) was validated, considering that most of the clouds are between 2 and 5 km above the land surface. The 3-inch rocket was selected for its economic, technical and operational viability. With solid propellant rocket motors, designed and placing a small payload of silver iodide (250 to 300 grams), certain types of clouds can be "bombed" by precipitating "artificial rains", thus avoiding the fall of hail and the Lack of rain in some regions of the country. Importance of research on national defense issues linked to climate change and the country's food security, to solve different drought problems that benefit the inhabitants of Peru. The population areas of the world that suffer from drought, forest fires, etc.

Keywords: Prototype, static tests, propulsion, combustion chamber, ecosystems, rocket, silver iodide, artificial rain.

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo diseñar y construir el prototipo de un cohete de alcance medio, montado en una rampa de lanzamiento móvil para la producción de lluvias artificiales y también evitar la caída de granizo en determinadas zonas del Perú en épocas de sequía. Se diseñó, construyó, se realizaron las pruebas y el lanzamiento de los cohetes para producir lluvias artificiales, usando yoduro de plata. Se validó la eficacia de prototipo de 3 pulgadas de diámetro nominal (altura máxima 4000 metros) y otro de 4 pulgadas de diámetro nominal (altura máxima 5500 metros) considerando que la mayor parte de las nubes se encuentran entre los 2 y 5 Km sobre la superficie terrestre. Se seleccionó por su viabilidad, económica, técnica y operativa el cohete de 3 pulgadas. Con los motores cohete de propulsor sólido, diseñados y colocando una pequeña carga útil de yoduro de Plata (de 250 a 300 gramos), se puede "Bombardear" cierto tipo de nubes precipitando "Lluvias Artificiales", evitando así la caída de granizo y la falta de lluvias en algunas regiones del país. Importancia de la investigación en temas de defensa nacional vinculados al cambio climático y a la seguridad alimentaria del país, para solucionar diferentes problemas de sequía que beneficie a los habitantes de Perú. La población zonas del mundo que sufran fenómenos de sequía, incendios forestales, etc.

Palabras Clave: Prototipo, pruebas estáticas, propulsión, cámara de combustión, ecosistemas, cohete, yoduro de plata, lluvia artificial.

Este artículo es de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International



¹ Escuela Universitaria de Posgrado – UNFV. Lima, Perú
Correo: ghocing755@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-7725-0169>

DOI <https://doi.org/10.24039/rcvp2022111635>

Introducción

En esta investigación se logró evaluar la mejor manera de diseñar, fabricar y experimentar un motor cohete de propelente sólido con la finalidad de resolver algunos problemas tecnológicos que aquejan al país como son: en el campo civil, la producción de lluvias artificiales, evitar la caída de granizo, estudios de la alta atmósfera, en el campo militar: equipamiento con artillería reactiva a nuestras Fuerzas Armadas, que actualmente importan el 100% de este tipo de Material, lo que nos permitirá obtener un gran ahorro de divisas. La idea para realizar esta investigación, es el resultado de por lo menos 35 años de paciente estudio, primero como un estudio teórico y luego con la gran cantidad de información técnica acumulada, se decidió realizar los diseños y experimentación, es así que el 01 de octubre del año 2004 se realizó el primer lanzamiento experimental exitoso, que al día de hoy lleva 350 lanzamientos exitosos.

El problema de investigación es producir lluvias artificiales en las zonas de sequía para favorecer a la agroindustria, controlar los incendios forestales y evitar la caída de granizo. Con las materias primas y el personal humano disponible en el país fue posible el diseño, fabricación, ensayos y lanzamiento de cohetes de propulsante sólido de media alcance para inyectar yoduro de plata a las nubes y producir lluvias artificiales. Se determinó la cantidad óptima de yoduro de plata para iniciar la precipitación de las lluvias artificiales, también las dimensiones más apropiadas de un cohete para llevar la carga útil necesaria para alcanzar las nubes. Se encontró el tipo de propelente adecuado y económico para este propósito.

Con esta técnica se espera mejorar la agroindustria mediante la producción de lluvias artificiales durante las épocas de sequía que se presentan debido al cambio climático y al calentamiento global, también para combatir los incendios forestales y evitar la caída de granizo. La aplicación de esta técnica permitirá disminuir la destrucción de cultivos y evitando la pérdida de animales debido a la sequía. Mejorando la productividad en los ecosistemas agroindustriales.

Otros estudios e investigaciones sobre el tema realizadas en los últimos años, como el de Rogers (2015), que demostró que los aerosoles naturales, algunos de los cuales son higroscópicos, tienen un tamaño variable. Entre alrededor de 10-3 micras de radio, caso por ejemplo de los pequeños iones, constituidos por enjambres de unas pocas moléculas de carga, hasta más de 10 micras, como es el caso de las mayores partículas de sal, de polvo o procedentes de la combustión. Sus concentraciones varían también ampliamente, tanto en el lugar como en el tiempo. Los pequeños iones carecen de

importancia para la formación de gotitas, ya que tan solo facilitan un poco la nucleación homogénea, mientras que las partículas de 10 micras tampoco pueden ser muy efectivas.

Según Viñas (2021), la siembra de nubes para producir lluvias artificiales perdió popularidad, cuando se reveló en 1972 que esta técnica se había utilizado por los americanos como arma bélica en la Guerra de Vietnam para inundar carreteras y atascar el movimiento de tropas y carros de combate. Estos hechos pusieron en guardia a la comunidad internacional. La lluvia artificial podía destruir vidas humanas y arruinar cosechas. Incluso en tiempo de paz, la modificación del régimen de lluvias crea problemas legales. Supongamos que la lluvia se produce artificialmente sobre una granja agrícola o ganadera; más allá, en la dirección del viento existe otra granja B, también necesitada de agua y su propietario opina que ha perdido injustamente su oportunidad de recibir el beneficio de una lluvia natural, ya que la nube fue drenada antes de llegar a su "destino" y en consecuencia, denuncia el proceso. ¿Pero, qué juez puede asegurar que el "destino natural" de aquella lluvia era la granja B y no otra C más alejada, o el propio océano, donde nadie se beneficiará del agua derramada? El tema nos recuerda el caso anecdótico del vecino ateo de un pueblo, que, ante una fuerte sequía, se negó a participar en las rogativas organizadas por el párroco pidiendo en procesión la ayuda del cielo. Las aguas aparecieron copiosas ante la alegría de las gentes, pero aquel vecino denunció al párroco por considerarle culpable de un rayo que provocó un incendio en su granero.

Por otra parte, ¿qué efectos producen las sustancias químicas como el yoduro de plata, utilizados en la producción de lluvias, sobre el agua de ríos, lagos o mares, sobre las plantas y sobre los animales? Incluso a nivel estatal, ¿sería lícito proyectar grandes lluvias en el oeste de un país, de naturaleza árida, a expensas de debilitar las lluvias en su zona oriental? Todas estas preguntas y otras semejantes condicionan a los científicos sobre la licitud del empleo comercial de las lluvias artificiales. La cuestión ha sido planteada en las Naciones Unidas y en otros foros internacionales, sin que haya sido tomada una decisión definitiva, pero en muchos países estas prácticas han sido expresamente prohibidas.

Priem y Heidman (2018), presentan un modelo y una teoría que describen el proceso de combustión de un cohete. El modelo se basa en la suposición de que la vaporización del propelente es el proceso de combustión que controla la velocidad. Los cálculos de la tasa de vaporización y las historias muestran los efectos de los propulsores, las condiciones de rociado, los parámetros de diseño del motor y los parámetros operativos en el proceso de vaporización. Los resultados se correlacionan con una longitud de cámara efectiva para el caso de usarlos con fines de diseño. Se presenta

un análisis del efecto cuantitativo de la vaporización incompleta del propulsor en el rendimiento de la cámara de combustión. Con este análisis, se comparan los rendimientos experimentales y calculados de la cámara de combustión para los inyectores en los que se puede calcular el tamaño de gota. Para otros inyectores, los tamaños de gota se deducen y se muestran como funciones del tipo de inyector y el tamaño del orificio. También se describe la técnica para usar los resultados calculados para diseñar cámaras de combustión de cohetes.

Según Franco (2018), el mundo afronta las evidentes muestras de contaminación en la actualidad: lluvia ácida, efecto invernadero, cambio climático y alteraciones de la capa de ozono, que están afectando la salud humana, biodiversidad y ecosistemas; son más evidentes en las naciones subdesarrolladas como el Perú. En la ciudad de cerro de Pasco es muy marcada la contaminación ambiental, que eliminan sus agentes contaminantes sin un tratamiento adecuado a los recursos de agua, aire y suelo.

Para Pavés (2022), en China y Emiratos Árabes ya crean lluvia artificial, se han puesto manos a la obra para hacer que esta técnica sea una realidad eficaz. El gigante asiático anunció hace ahora un año un ambicioso programa para manipular la climatología en un área de nada menos que 5,5 millones de kilómetros cuadrados para 2025. Fundamentalmente, el método es el de rociar las nubes con yoduro de plata. Se trata no solo de conseguir lluvia, sino de evitar el granizo, perjudicial para la agricultura. El objetivo del plan es lograr para ese año que el área protegida por las operaciones de prevención de granizo llegue a más de 580.000 kilómetros cuadrados, informó el gobierno chino.

El programa quiere servir para actuar en la prevención de catástrofes, la producción agrícola, la respuesta ante incendios forestales y de pastizales, así como en la gestión de altas temperaturas inusuales o sequías. De momento, lo que ha logrado China es sembrar de inquietud a sus vecinos India y Taiwán, que temen que estas operaciones a gran escala tengan un impacto sobre sus respectivos territorios, robándoles las nubes. China, en realidad ya ha utilizado el sistema de siembra de nubes para limpiar la atmósfera ante la celebración de grandes eventos como los cónclaves del Partido Comunista en Pekín, el último de ellos el verano pasado. De este modo se logra reducir la contaminación de la ciudad.

El objetivo general de esta investigación fue diseñar y construir un cohete de propulsante sólido montado en una rampa de lanzamiento móvil para producir lluvias artificiales con la finalidad de optimizar la productividad en los ecosistemas agroindustriales; determinar la cantidad óptima de yoduro de plata para dar inicio a la lluvia artificial, evaluar el mejor tipo de

propelente económico y asequible para el cohete sólido, determinar la altura promedio a que se encuentran las nubes, se determinó las dimensiones más adecuadas del cohete para llevar esta carga útil hasta la altura en que se encuentran las nubes, este cohete planteado contribuyó al desarrollo aeroespacial del país, se logró disminuir la dependencia del extranjero en este rubro.

Materiales y métodos

El tipo de diseño fue experimental. Los experimentos y lanzamientos de cohetes se realizaron en un desierto al Sur de Lima denominado Cruz de Huesos (frente a la playa de San Bartolo).

La técnica empleada fue producir lluvias artificiales sembrando o inyectando en las nubes sal común, yoduro de plata, hielo seco (CO₂) en fase sólida, etc. Utilizando aviones para producir lluvias artificiales, en ciertas cantidades, siendo la cantidad más pequeña el yoduro de plata. Se bombardeó las nubes con cohetes llevando una pequeña carga de yoduro de plata, inyectarlo a las nubes y dar inicio a la caída de la lluvia artificial.

Para la identificación de la necesidad, se utilizó diseño conceptual, preliminar y detallado.

Figura 1
Modelo descriptivo lineal de diseño para el proyecto de investigación para la producción de lluvias artificiales



Nota. La figura muestra las fases del diseño del prototipo.

El procedimiento para estudiar el problema de la investigación fue de la siguiente manera:

- Se diseñaron los cohetes de combustible sólido, prototipos de 3" Ø y 4" Ø, que serían suficientes para llevar la carga útil de 300 gramos de yoduro de plata a una cierta altura. Luego se dibujaron los planos de fabricación.
- Se desarrolló un sistema innovador para llevar el yoduro de plata, inyectarlo en las nubes y recuperar el cohete para reutilizarlo, mediante un paracaídas.
- Se diseñó una rampa especial para montarlo en la tolva de una camioneta pick up 4x4, se diseñó el sistema eléctrico de lanzamiento.
- Se adquirió los materiales necesarios para la fabricación de los cohetes, la rampa de lanzamiento y los accesorios.
- Se contrató los servicios metal mecánicos externos para la fabricación de los cohetes, la rampa de lanzamiento y los accesorios.
- Se procedió a recepcionar los equipos fabricados y ensamblarlos en las instalaciones del IDIMAR.
- Se procedió a realizar los ensayos estáticos de los cohetes de 3" Ø y 4" Ø, en el desierto de "Cruz de Huesos" (al sur de Lima frente a San Bartolo) para determinar el empuje, tiempo de combustión, temperatura de combustión, los cuales fueron satisfactorios.
- Se procedió a programar la logística para realizar el primer ensayo para producir lluvias artificiales, adquirir el yoduro de plata (1 litro), alquilar una camioneta pick-up 4x4 y otros 2 automóviles para el transporte de personal, alquilar una pequeña

combi para transportar el equipo.

- Llegado el día del lanzamiento, la ubicación fue la base "Cruz de Huesos" del EP, previo permiso a la oficina de investigación y desarrollo del EP.
- Se hicieron varios disparos de cohetes de 2" Ø, 2"1/2Ø, 3" Ø, sin carga útil, finalmente se disparó un cohete de 3" Ø con una carga útil de 300 gramos de yoduro de plata a una nube ligeramente adecuada para producir una lluvia artificial, a una altitud de 1.5 km aproximadamente luego, de 5 minutos aproximadamente se produjo una ligera llovizna, hasta que se terminó de caer toda la nube (el problema era que esta nube era pequeña y muy poco adecuada para producir una lluvia artificial copiosa).
- Se continuó buscando nubes adecuadas en Cruz de Huesos, pero era diciembre del 2018, el cielo estaba claro y había pocas nubes. Finalmente se ubicó otra nube más adecuada a una altitud de 2.2 Km aproximadamente, se lanzó un cohete de 4 pulgadas de diámetro, con una carga útil de 300 gramos de yoduro de plata, luego de aproximadamente 6 minutos se produjo la precipitación de la nube hasta que se terminó de caer toda la nube produciendo una lluvia artificial más copiosa que la anterior. El problema de los desiertos aledaños a la ciudad de Lima es que no se producen nubes apropiadas y suficientemente cargadas para producir lluvias artificiales a gran escala, se realizaría el desplazamiento a la Sierra de Perú, por la carretera Central o por la carretera a Canta donde sí hay nubes apropiadas para producir lluvias artificiales abundantes.

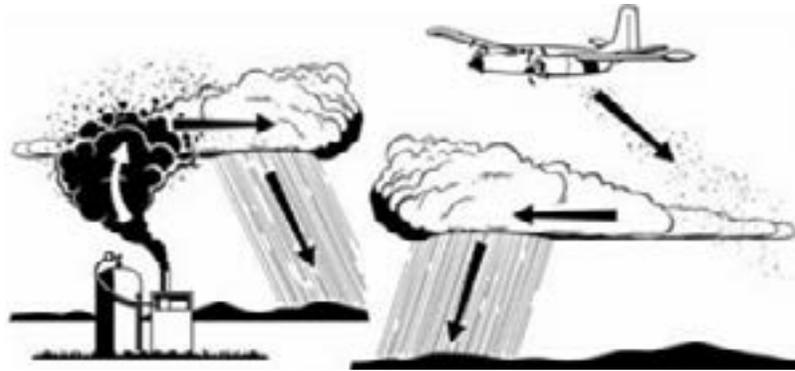
Figura 2

Lanzamiento de un Cohete de Propulsor Sólido



Nota. Extraído de Gran Enciclopedia SARPE.

Figura 3
Esquema de como producir lluvias artificiales

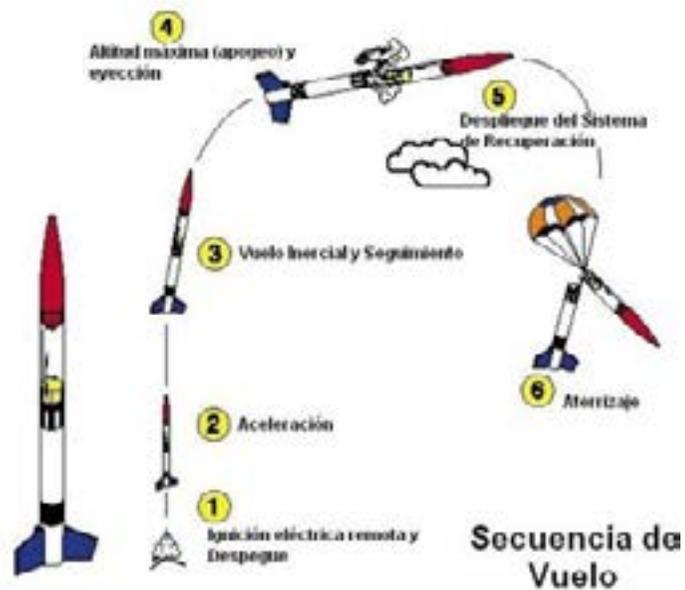


Nota. R.R. Rogers – Física de las Nubes.

Figura 4
Cohete de 3 pulgadas en su rampa de lanzamiento



Figura 5
Perfil de vuelo para inyectar yoduro de plata en las nubes y producir lluvias artificiales



Instrumentos

- Cohetes de propelente sólido de 3" Ø y 4" Ø de diámetro nominal.
- Telémetro láser.
- Yoduro de Plata.
- Propelentes (Nitrato de potasio, dextrosa, polvo de aluminio, polvo de magnesio).
- Inhibidores de tubos de PVC.
- Rampa de Lanzamiento.
- Equipos para fabricar los granos (cocina a gas, recipientes, mezcladora, pirómetro óptico).
- Banco de pruebas para medir el empuje, presión de la cámara de combustión, temperatura a la salida de la tobera, tiempo de combustión.
- 1 vehículo pick up 4x4 (alquilado)
- 2 automóviles para el traslado de personal
- 1 combi pequeña para el traslado del equipo (alquilado)
- Sistema eléctrico de lanzamiento (Batería de 12 V, cables eléctricos #14, pulsadores, alambres de micrón, pilas secas, etc.).

Participantes en este Proyecto de Investigación

- MSC. Ing. Gustavo Ordoñez Cárdenas (Ingeniero Mecánico- director).
- Bach. Ing. Wernher Gustavo Ordoñez Cabrera (Asistente del director).
- Cde. (r) FAP Romer Tuesta Gatica (Ingeniero

Electrónico Militar).

- Mg. Ing. Edgar Del Águila Vela (Ingeniero Electricista).
- Ing. Carlos Huanay Herrera (Ingeniero Electricista).
- Cde. (r) EP Fidel Vivar Anaya (Ingeniero Mecánico Militar).
- Ing. Wilder Flores Cárdenas (Ingeniero Químico).
- Dr. Ing. Jacob Astocondor Villar (Ingeniero Electrónico).
- MSC. Ing. Pablo Mamani Calla (Ingeniero Metalurgista).
- Mg. Ing. Víctor Ortiz Moscoso (Ingeniero Mecánico).
- Ing. Jesús Cuadra Sandoval (Ingeniero Mecánico).

Resultados

Se ha encontrado que es posible producir lluvias artificiales utilizando pequeños cohetes de propulsante sólido. El componente químico apropiado para producir e iniciar la lluvia artificial es el yoduro de plata en una cantidad de 300 gramos.

Este método de producir lluvias artificiales mediante cohetes es mucho más económico que utilizando aviones para sembrar las nubes con mayores cantidades de sal común o hielo seco CO₂ u otras sustancias.

Tabla 1

Costos de construcción de los cohetes Prototipo

Parámetro	Costo 2" Ø Nominal	Cohete de 2"1/2 Ø Nominal	Cohete de 3" Ø Nominal	Cohete de 4" Ø Nominal
Ojiva	25	30	40	50
Fuselaje Carga Útil	20	20	30	30
Fuselaje Cámara de Combustión	25	25	30	40
Tapón Roscado	20	20	30	30
Tobera	30	40	50	70
Iniciador	10	10	10	10
Sistema de Recuperación	30	30	40	40
Aletas Direccionales	15	20	25	25
Carga Útil (Ioduro de Plata)	25	25	30	30
Sistema Eléctrico	30	30	40	40
Inhibidores	5	5	10	10
Propelente	25	45	45	49
Costo total	\$260.00	\$300.00	\$380.00	\$424.00

Nota. Costo en dólares.

Tabla 2

Características técnicas de los cohetes de propulsante sólido disparados

Parámetro	Cohete de 2" Ø Nominal	Cohete de 2"1/2 Ø Nominal	Cohete de 3" Ø Nominal	Cohete de 4" Ø Nominal
Diámetro Nominal	2" Ø	2"1/2Ø	3" Ø	4" Ø
Número de Granos	4	5	5	4
Diámetro de la Garganta-Tobera	16mmØ	18mmØ	19.5mmØ	25.5mmØ
Número de Aletas	3	3	3	4
Tipo de Iniciador	Pólvora negra (30grs)	Pólvora negra (30grs)	Pólvora negra (50grs)	Pólvora negra (50grs)
Tobera Roscada (TOB-R)	C/R	C/R	C/R	C/R
Tapón Roscado (TAP-R)	C/R	C/R	C/R	C/R
Tipo de Rampa	Riel Móvil	Riel Móvil	Riel Móvil	Riel Móvil
Morro. Tipo.	Ojiva	Ojiva	Romo/Ojiva	Romo/Ojiva
Tipo de Fuselaje	En 2 partes	En 2 partes	En 2 partes	En 2 partes
Sistema de Recuperación	Con paracaídas	Con paracaídas	Con paracaídas	Con paracaídas
Sistema de Encendido	Eléctrico	Eléctrico	Eléctrico	Eléctrico
Ángulo de Lanzamiento	75° a 80°	75° a 80°	75° a 80°	75° a 80°
Alcance a 45° (km)	5	7.0	8.2	11
Apogeo (Altura vertical) máxima	2.5	3.5	4.0	5.5
Costo aproximado (\$)	260	300	380	424
Tubo para la cámara de combustión	Acero ASTM-A192	Acero ASTM-A192	Acero ASTM-A192	Acero ASTM-A192
Tubo para la carga útil	Acero ASTM-A192	Acero ASTM-A192	Acero ASTM-A192	Aluminio AA6063
Presión en la c.c (Bar)	60	62.5	60	60
Peso de la carga útil (kg)	0.7	0.8	1	1.8
Peso Total del cohete cargado	7.35 kg	9.25 kg	14.2 kg	30.917 kg
Longitud de fuselaje para la c.c.	470 mm	650 mm	700 mm	700 mm
Empuje kg-f (N)	225 (2207)	250 (2452)	357.3 (3504)	713.4 (6996)
Tiempo Total de vuelo (s)	18.25 seg	22.3 seg	25.5 seg	30.25 seg

Nota. Esta tabla consiste en comparar las características técnicas de los cohetes de propulsante sólido de Cohete de 2" Ø, Cohete de 2"1/2 Ø, Cohete de 3" Ø y Cohete de 4" Ø pulgadas de diámetro nominal. Después de los ensayos y lanzamientos de estos prototipos seleccionamos el cohete de 3 pulgadas de diámetro nominal, por ser el más adecuado para llevar la carga útil y el más económico.

Tabla 3

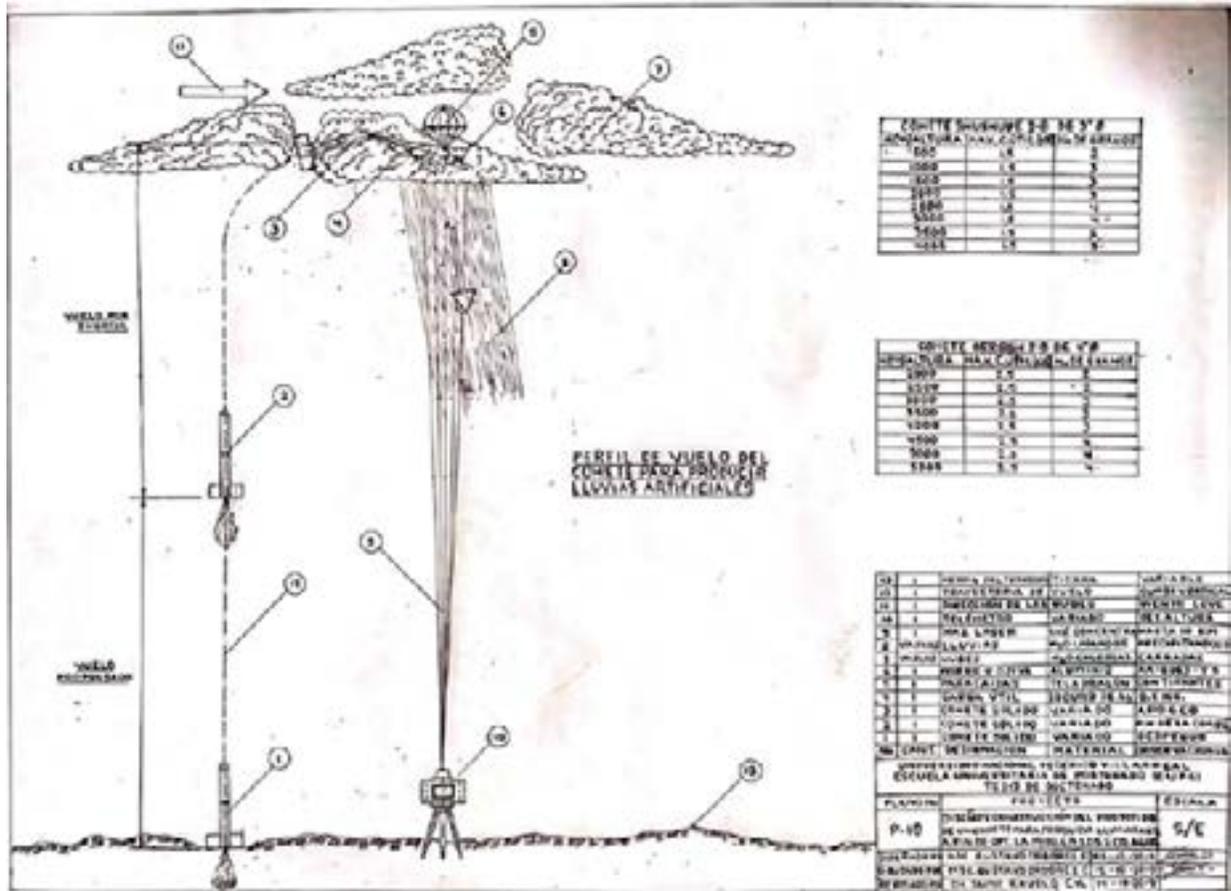
Regulación de los granos BATES de propelente sólido del cohete de 3"Ø nominal para alcanzar distintas alturas

Altura a alcanzar (m)	Número de granos BATES a colocar
1000	3.00
1250	3.25
1500	3.50
1750	3.75
2000	4.00
2250	4.25
2500	4.50
2750	4.60
3000	4.50
3250	4.50
3500	4.75
3750	4.75
4000	5.00

Nota. Esta tabla indica el número de granos de propelente sólido tipo BATES a colocar dentro del cohete en función a la altura que se desea obtener, después de obtener la altura de la base de las nubes mediante el telemetro LASER.

Figura 7

Esquema de Lanzamiento del cohete e inyección de yoduro de Plata en las Nubes



Discusión

Los resultados presentados evidencian que es una forma innovadora de producir lluvias artificiales mediante cohetes. Es un procedimiento más económico que usar aviones para sembrar las nubes.

Se puede diseñar, fabricar, hacer ensayos y lanzar motores cohete con mano de obra y tecnología nacional, para producir lluvias artificiales que en otros lugares no lo hacen.

Es posible realizar un proyecto de investigación sin contar con el apoyo económico de ninguna institución pública o privada, es decir es un proyecto autofinanciado y de relativamente bajo costo, pero de gran ingenio y gran criterio innovador y creativo.

Contrastación de otros trabajos de investigación para producir lluvias artificiales

Según Paves (2022), el sistema de siembra de nubes tiene algunas décadas de existencia, pero con resultados variados y limitados. La técnica más conocida es la siembra de nubes, cargando yoduro de plata o hielo

seco (CO₂) y lanzarla sobre la nube desde un pequeño avión, también puede lanzarse desde el suelo en las laderas de las montañas. Los primeros en investigar este fenómeno fueron los norteamericanos: Vicent Joseph Schaefer (1906 – 1993) y Bernard Volunegut (1914-1997), luego comprobaron que el yoduro de plata era el más eficaz para conseguir este efecto. Buscar una nube adecuada para la lluvia artificial se convierte en un quebradero de cabeza. Para sembrar las nubes desde el suelo se opera de la siguiente manera:

- Se quema el yoduro de plata a altas temperaturas (entre 900 y 1100 °C).
- Las corrientes ascendentes favorecen que los cristales de yoduro de plata llegar hasta la nube (hasta los 3000 metros).
- En la nube existe agua subenfriada en estado líquido por debajo de 0 °C.
- El yoduro de plata tiene una estructura cristalina similar al hielo, lo que induce a la congelación a través de la nucleación de cristales.
- Las partículas de hielo crecen y logran un peso que les permite caer en forma de nieve o lluvia.

Según Cerrillo (2019), el intento de Corea del Sur de generar precipitaciones para limpiar la atmosfera y

eliminar la polución causada por partículas procedentes de China ha vuelto a poner sobre la mesa esta posibilidad. El primer experimento coreano ha fracasado, anunció el gobierno y tienen previsto continuar con las pruebas. Los coreanos están empleando sales de yoduro de plata, el experimento se llevó a cabo sobre el Mar Amarillo (o Mar del Oeste) a unos 110 km de la localidad costera de Gunsan. Un avión de la Administración Meteorológica de Corea (KMA) y el Ministerio de Medio Ambiente esparcieron el yoduro de plata. El experimento permitió incrementar la concentración de partículas de precipitación, pero no lo suficiente para producir la lluvia artificial. El gobierno comunicó que continuará con este experimento. Según explica el catedrático Jeroni Lorente, profesor emérito de Física de la atmósfera de la UB, conocedor de esta práctica, la gran ventaja del yoduro de plata es que al quemarse en determinadas condiciones de disolución (en acetona, por ejemplo) producen pequeñísimas partículas que actúan como núcleos de hielo, de manera que al entrar a las nubes favorecen la formación de partículas de hielo aumentan su número y reducen el grosor del granizo. Esta capacidad de producir pequeñas partículas de hielo propicia que en otros tipos de nubes se estimulen las precipitaciones. Según el Dr. Lorente es difícil valorar si este método es eficaz, porque no hay una nube igual a otra y no podemos comparar que pasa con una nube sembrada y una nube no sembrada. El profesor Lorente también añade que el Proyecto Chino Sky River, destinado a instalaciones masivas de quemadores de yoduro de plata con la finalidad de ordeñar las nubes y provocar lluvias artificiales es muy ambicioso, también añade que el yoduro de plata es muy poco soluble en agua y por este motivo se puede utilizar en muy poca cantidad.

Según Gil (2021), el ambicioso plan de China para poder sembrar nubes en la mitad de su territorio (y porque preocupa sus vecinos). El gobierno chino está utilizando programas de manipulación del clima desde hace varios años. Planea ampliar su programa de lluvias artificiales o nieve artificial para llegar a cubrir 5.5 millones de km² hasta el año 2025 (60% de su territorio), esta iniciativa genera preocupación en los países vecinos como la India, por el impacto de esta tecnología y las tensiones regionales. El proyecto chino de sembrado de nubes tiene tres objetivos:

- Para el año 2025, el área afectada por las operaciones de aumento de lluvias artificiales llegue a cubrir 5.5 millones de km².
- Que para la misma fecha el área protegida por las operaciones de prevención de granizo llegue a más de 580,000 Km².
- Que para el año de 2035 se alcance un nivel global avanzado gracias a la innovación en la investigación y tecnología claves, así como a la mejora de la prevención exhaustiva de riesgos de seguridad.

China está usando drones de gran tamaño para este cometido, en la provincia de Gansu (al Norte de China), está utilizando el Dron Ganlin-1 (lluvia dulce en español), para sembrar las nubes con yoduro de plata. China los usa para producir lluvias artificiales para la producción agrícola, combatir los incendios forestales, así como combatir las sequías. Uno de los temores de esta tecnología china es la manera masiva que se está usando y que tendrá un impacto en el Monzón de Verano en la India, que es clave para toda la región.

Según Rodríguez (2018), debido al cambio climático y el calentamiento global, se está investigando tratando de manipular el clima. Brownlee, en los años 40, descubrió que las gotas de nubes sobre enfriadas podían convertirse en cristales de hielo al insertárseles un agente enfriador como el hielo seco, o un núcleo de hielo artificial como el yoduro de plata. Este trabajo tiene como objetivos: conocer y evaluar diversas tecnologías en materia de Ingeniería climática para la modificación artificial de la atmósfera en el ámbito internacional revisando diversas técnicas como como el sembrado de nubes, electrificación de la atmósfera, captura de carbono y conocer la opinión de expertos. Como resultado de esta investigación se creó un sitio web para la recopilación de información de diversas fuentes, sobre las tecnologías de la producción de lluvias artificiales. Tiene como objetivos: conocer y evaluar las tecnologías en materia de ingeniería climática para la modificación artificial de la atmósfera en el ámbito internacional y fomentar la discusión sobre las posibles ventajas y desventajas de financiar y/o implementar técnicas de geoingeniería para la modificación artificial de la atmósfera.

Limitaciones

- En los desiertos aledaños a la ciudad de Lima existen pocas nubes cargadas adecuadamente para producir lluvias artificiales mediante cohetes.
- Para continuar con este proyecto tendríamos que trasladarnos a provincias donde sí existen las nubes adecuadas desde el punto de vista meteorológico para la producción de lluvias artificiales.
- Otra limitación es que no se contó con apoyo económico de ninguna institución pública o privada para la realización de este proyecto.

Implicancias para investigaciones futuras

- Tomando como base este proyecto, otros investigadores podrían retomarlo y continuar inyectando a las nubes otros productos.
- Los organismos encargados de la investigación y desarrollo, tendrían que financiar económicamente la continuación de este

proyecto, para obtener resultados positivos en cuanto a lluvias artificiales para el sector agrícola y ganadero en las zonas de sequía y en ciertas épocas del año.

Conclusiones

- El problema planteado de diseñar, fabricar, hacer pruebas estáticas y lanzar un cohete prototipo con la finalidad de producir lluvias artificiales se ha cumplido a cabalidad, ya que se diseñaron 2 tipos de cohetes para pruebas, el de 3 pulgadas y el de 4 pulgadas de diámetro nominal, quedándonos con el de 3 pulgadas porque ofrece una solución técnica económica más viable.
- La cantidad óptima de yoduro de plata para los cohetes se determinó en 300 gramos, que fácilmente es la carga útil de los cohetes.
- Se innovó y mejoró la composición y procedimientos para la fabricación de propelente sólido, que normalmente se fabricaba fundiéndolo en baño maría. En este caso se usó una mezcladora y un depósito, fundiendo con llama directa a cierta temperatura y con una composición de 64% Kn, más 34% Dex más 2% de aditivos balísticos (polvo de aluminio y polvo de magnesio).
- Se optimizó el diseño y fabricación de los cohetes utilizando materiales existentes en el mercado nacional, como son los tubos de acero sin costura para calderas según la norma ASTM A-192, tochos de aluminio fundido AA-6063, para maquinar las ojivas, planchas de aluminio laminado AA-6063 para las aletas, etc. Sin tener que importar ningún material especial que encarecería el costo de fabricación.
- Se tuvo la idea original y creativa de montar la rampa de lanzamiento en una camioneta pick up 4 x4, de forma de tener una rampa móvil para ir en busca de las nubes apropiadas a lo largo y ancho del país.
- La tecnología utilizada en todos los procesos es totalmente nacional, con insumos y materiales netamente nacionales, se sentó las bases para desarrollar motores cohete con tecnología nacional, disminuyendo la dependencia del extranjero.

Recomendaciones

- Tomar como base la propuesta de diseño para haciendo hincapié en cada uno de los temas específicos en que se puede utilizar estos motores a reacción.
- El Perú está muy bien ubicado para tener un base de lanzamiento satelital, es decir tiene grandes alturas y la parte norte está ubicada cerca de la línea ecuatorial. Esta base podría estar ubicada en

Ayabaca en la región Piura.

- Se puede colocar el instrumental necesario en cualquiera de los cohetes prototipos para estudiar las capas superiores de la atmósfera y también tomar muestras de la contaminación ambiental.
- En las universidades nacionales del país, se debe dar prioridad a la creación de Facultades de Ingeniería Aeronáutica y Aeroespacial para formar personal técnico calificado para estudiar este tipo de temas de investigación.
- Se debe propugnar e insistir en la creación del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica, a fin de desarrollar con financiamiento estos tipos de investigación de tecnología aplicada.

Referencias

- Aguirre, J. (2021). *La ciencia ya trabaja en hacer llover en zonas con sequías pronunciadas*. Unne Medios. <https://medios.unne.edu.ar/2021/08/05/la-ciencia-ya-trabaja-en-hacer-llover-en-zonas-con-sequias-pronunciadas/>
- As. (2021). *Los aviones que siembran yoduro para provocar lluvia*. Actualidad. https://as.com/diarioas/2022/04/20/actualidad/1650432420_937104.html
- Castellanos, A. (2020). *Avance en la obtención de lluvia artificial*. Engormix. <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/avance-obtencion-lluvia-artificial-t44866.htm>
- Cerrillo, A. (2019). *¿Es posible provocar una lluvia artificial?* La Vanguardia. <https://www.lavanguardia.com/natural/20190129/4681796189/lluvia-artificial.html>
- Espinoza, R. (2019). *Diseño de un sistema de captación y almacenamiento - caso cosecha de agua para su almacenamiento – Garbanzal – Tumbes 2018* [Tesis de Titulación, Universidad Nacional de Tumbes]. Repositorio UNTumbes. <http://repositorio.untumbes.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12874/1059/TESIS%20-%20-%20OYOLA%20Y%20ESPINOZA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Estrada, R. (2012). *Este es el Plan de China de Siembra de nubes para crear lluvias artificiales*. El Financiero. <https://www.elfinanciero.com.mx/ciencia/este-es-el-plan-de-china-de-siembra-de-nubes-para-crear-lluvia-artificial/>
- Fundación de apoyo a la investigación del estado de Sao Paulo. [FAPESP]. (2021). *Lluvia artificial*

- brasileira*. Pesquisa. <https://revistapesquisa.fapesp.br/es/lluvia-artificial-brasile%C3%B1a/>
- Fundación de apoyo a la investigación del estado de Sao Paulo. [FAPESP]. (2022). *Lo que faltaba: China busca crear lluvia artificial*. Weekend. <https://weekend.perfil.com/noticias/clima/lo-que-faltaba-china-busca-crear-lluvia-artificial.phtml>
- Franco, A. (2018). *Determinación de la presencia de lluvia acida, un factor de la degradación del medio ambiente en la ciudad de Cerro de Pasco (Chaupimarca, Yanacancha y Paragsha* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. Repositorio UNDAC. http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/773/4/T026_44730635_T.pdf
- Gil, T. (2021). *El ambicioso Plan de China para poder “Sembrar nubes” en la mitad de su territorio (y por qué preocupa a sus países vecinos)*. BBC News Mundo. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-55896776>
- Guerrero, D., & Gutarra, C. (2021). *Propuesta de un programa de cosecha de agua frente a la escasez del recurso hídrico en la microcuenca Yanama, en el distrito de Yauli- La Oroya 2021* [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. Renati. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3084286>
- Laqui, V. (2017). *Efectos de la variación de los elementos climáticos en la producción de quinua, en la cuenca del río Ilave – Puno* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano – Puno]. Red de Repositorios Latinoamericanos. <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3275359>
- Murias, D. (2019). *Llevamos años intentando “Crear” lluvia: esto es lo que hemos conseguido*. Magnet. <https://magnet.xataka.com/en-diez-minutos/llevamos-anos-intentando-crear-lluvia-esto-que-hemos-conseguido>
- Pavés, V. (2022). *¿Se puede acabar con la sequía creando lluvia artificial?* Univisión. <https://www.univision.com/noticias/medio-ambiente/lluvia-artificial-siembra-nubes-china-sequia>
- Pescador, R. (2021). Lluvia artificial. *Revista cultural de nuestra América*, 23(90). <http://www.revistas.unam.mx/index.php/archipelago/article/view/55148>
- Priem, R., & Heidman, M. (2018). *Propellant vaporization as a design criterion for rocket engine combustion chambers*. Generic. <https://www.amazon.com/Propellant-vaporization-criterion-rocket-engine-combustion/dp/B09SHHCV29>
- Quispe, V. (2021). *La siembra y cosecha de agua: conocimiento local y tecnología estatal frente al cambio climático en la comunidad campesina Ccochatay/ Huaraccopata, distrito de Seclla, Huancavelica* [Tesis de maestría, Universidad Nacional del Centro del Perú – Huancayo]. Repositorio UNCP. https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/7240/T010_41459561_M.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Rodríguez, O., Prieto, R., & Colorado, G. (2022). *El estado del arte de la ingeniería climática. Instituto Mexicano de Tecnología del agua*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua [IMTA]. <http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/1399/TH-1203.1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rogers, R. (2019). *Física de las nubes* (1ª ed.). Reverte.
- TecnoXplora. (2021). *¿Cómo se consigue una lluvia artificial?* La Sexta. https://www.lasexta.com/tecnologia-tecnoxplora/ciencia/ecologia/como-consigue-lluvia-artificial_202107306103e429d6961e0001baf057.html
- Viñas, J. (2021). *Clima y evolución humana*. Divulgameteo. www.divulgameteo.es