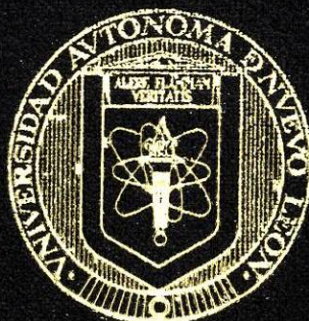


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE AGRONOMIA



ESTIMULACION ARTIFICIAL DE
LA LLUVIA

SEMINARIO (OPCION 11-A)
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA
PRESENTA

GUILLERMO GONZALEZ MORALES

0.551
2
87

MARIN, N. L.

JULIO DE 1987

T

QC925

G6

c.1



1080060535

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE AGRONOMIA



ESTIMULACION ARTIFICIAL DE
LA LLUVIA

SEMINARIO (OPCION 11-A)

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA
PRESENTA

GUILLERMO GONZALEZ MORALES

MARIN, N. L.

JULIO DE 1987

T
QC925
C6

04 F 1
F 2
198

F. tesis

ESTIMULACION ARTIFICIAL DE LA LLUVIA

SEMINARIO
(Opción II-A)

Sometido al Comité de Tesis como
requisito para obtener el título de

INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA

Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León

Permiso para su publicación, reproducción total o parcial
debe ser obtenido en dicha Universidad.

APROBADA:

Asesor Principal

Asesor Técnico

Asesor Técnico

Julio de 1987

A mis padres:

Sr. José Eleuterio González Gutiérrez
Sra. Felisa Morales de González

Por todo el cariño y apoyo que siempre me han brindado.

A mi hermano

Dr. José Eleuterio González Morales, por
su ayuda desinteresada que el siempre ha
puesto a mi alcance.

Mi agradecimiento a:

Ph. D. Rigoberto E. Vazquez Alvarado, por su colaboración y asesoría en la elaboración del presente -- trabajo.

A todas aquellas personas que de una manera u otra ayudaron en la presentación de este trabajo.

I N D I C E

	PAGINA
LISTA DE TABLAS	VII
LISTA DE FIGURAS	VIII
RESUMEN	1
INTRODUCCION	3
REVISION DE LITERATURA	5
2.1 Breve Historia	5
2.2 Descripción de los principales tipos de nubes.	9
2.3 Física de la precipitación	11
2.3.1 Mecanismo de la lluvia	15
2.3.2 Formación de la precipitación	16
2.3.3 Condensación y núcleos de congelamiento.	16
2.4 Tipos de Precipitación según el proceso que lo origina.	18
2.5 Efecto de la sustancia disuelta y Efecto de curvatura	20
2.6 Precipitación inducida artificialmente	24
2.7 Diferentes mecanismos de precipitación.	27
2.8 Problemas de contaminación	29
2.9 Problemas legales	30
MATERIALES Y METODOS	31
3.1 Método estático y método dinámico	31
3.2 Generación o estimulación de la lluvia	33
3.3 Estimulación de la lluvia por siembra de nubes con yoduro de plata.	36

3.4	Materiales y equipos empleados en la estimulación artificial de la lluvia en Nuevo León. Período 1968-1969	40
3.5	Selección de los días propicios ..	47
3.5.1	Cálculo del porcentaje de saturación y desplazamiento por el viento.....	49
3.6	Materiales y equipo empleado en la estimulación artificial de la lluvia en Nuevo León en el período 1980-1986.....	55
4.	RESULTADOS	62
5.	CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS.....	64
6.	BIBLIOGRAFIA	66

LISTA DE TABLAS

PAG

- | | | |
|----|--|----|
| 1. | DATOS METEOROLOGICOS ESTACION CERRO PRIETO. (16) | 59 |
| 2. | DATOS METEOROLOGICOS ESTACION LA BOCA. (16) | 61 |

LISTA DE FIGURAS

	<u>PAG</u>
1. REPRESENTACION SEMILOGARITMICA DE LA PRESION- DE VAPOR DE SATURACION EN FUNCION DE LA TEM- PERATURA. (1)	8
2. CRECIMIENTO DE GOTITAS POR CONDENSACION Y --- COALESCENCIA (DE EAST Y MARSHALL). (1)	13
3. PROCESO DE COALESCENCIA. (8)	14
4. FORMACION Y CRECIMIENTO DE GOTITAS DE NUBE. - (15)	23
5. ESQUEMA DE LA ACCION DE UNA INSEMINACION DE-- YODURO DE PLATA. (17)	39
6. FUNCIONAMIENTO DEL APARATO QUEMADOR ACETONA-- YODURO DE PLATA. (10)	42
7. FUNCIONAMIENTO DEL APARATO QUEMADOR ACETONA-- YODURO DE PLATA. (10)	43
8. FUNCIONAMIENTO DEL APARATO QUEMADOR ACETONA-- YODURO DE PLATA. (10)	44
9. FUNCIONAMIENTO DEL APARATO QUEMADOR ACETONA-- YODURO DE PLATA. (10)	45
10. FUNCIONAMIENTO DEL APARATO QUEMADOR ACETONA-- YODURO DE PLATA. (10)	46
11. AREAS OBJETIVO EN LA ESTIMULACION ARTIFICIAL-- DE LA LLUVIA EN NUEVO LEON EN EL PERIODO 1980 1986. (16)	56
12. CLIMOGRAMA DE GAUSSEN ESTACION CERRO PRIETO. (16)	58
13. CLIMOGRAMA DE GAUSSEN ESTACION LA BOCA. (16)	60

RESUMEN

La estimulación artificial de la lluvia se basa fundamentalmente en la introducción de nucleantes en una nube que reúna las condiciones apropiadas. El principal reactivo o sustancia utilizado actualmente es el yoduro de plata, ya que por su estructura similar a la de un cristal de hielo, puede actuar como si fuese un núcleo de hielo. Otro nucleante sería el hielo seco (CO_2), que al crear un punto de muy baja temperatura, permite la aparición de hielo en la nube.

El yoduro de plata se introduce en un avión, o se dispara en cartuchos a la nube, con cohetes y cañones; pero también se puede introducir desde el suelo con quemadores, confiando a la turbulencia del aire la difusión de los núcleos hasta la parte alta de las nubes, donde pueden surtir su efecto. Actualmente se pueden conseguir generadores de núcleos de yoduro de plata regulables por control remoto, que pueden ser encendidos cuando las condiciones atmosféricas sean las adecuadas.

El hielo seco solamente puede ser introducido en la nube, desde el aire (avión, avioneta).

Generalmente las nubes estimuladas son del tipo cumulus que presentan un desarrollo vertical, debido al proceso de convección, que favorece la distribución de los núcleos de la nube, además tienen un alto contenido de humedad.

Las nubes del tipo estratos, ofrecen perspectivas muy pobres, debido a que su contenido de humedad es bajo y las condiciones atmosféricas que lo rodean son por lo general estables.

Las nubes orográficas, por lo general, poseen contenidos de humedad menores que los cumulus de verano, pero tienen la ventaja de que su formación es continua siempre y --- cuando haya aire humedo fluyendo del lado de barlovento.

Hemos estado hablando de la lluvia en nubes frias. Por lo tanto en la zona tórrida, y en verano en las templadas, - son comunes las nubes calientes, y sembrarlas con núcleos de congelación lograría poco o ningún efecto. Se ha enzayado - sembrar nubes calientes con grandes gotas, o núcleos salinos gigantes, pero el resultado ha sido difícil de interpretar.

ESTIMULACION ARTIFICIAL DE LA LLUVIA

1. INTRODUCCION

Hacer caer la lluvia a voluntad es un sueño muy antiguo del hombre que empieza a cumplirse ya, aunque aisladamente, - hemos visto que la atmósfera contiene a menudo agua suficiente para formar nubes, pero también puede que los mecanismos falten o sean insuficientes para provocar la formación de gotas gruesas capaces de llegar al suelo. Las técnicas modernas pueden intervenir precisamente en la formación de estas gotas.

La lluvia artificial no puede existir si no existe humedad atmosférica suficiente, es únicamente una ayuda y control de los procesos naturales de la precipitación atmosférica.

Se ha estimado que solo el 10% de la humedad atmosférica que atravieza los Estados Unidos de América se convierte en precipitación, por lo tanto no es de extrañar que dediquen muchos esfuerzos a tratar de aumentar la condensación efectiva de esa humedad en especial en regiones de clima árido o semiárido, donde cada vez se abren más zonas de cultivo y por lo tanto se necesita más agua.

En general la estimulación artificial de la lluvia consiste en la introducción de nucleos de congelamiento, en una nube que reúna las condiciones propicias para la estimulación. Tanto el dióxido de carbono (CO_2) como el yoduro de plata, son los agentes mas comunmente utilizados para el bombardeo de nubes.

Los procesos de control de humedad atmosférica no solo se reducen a producir la lluvia artificial sino que intentan llegar a una verdadera gestión y control de recursos atmosféricos entre los que, además, se cuentan los de control de -- niebla, huracanes, trombas de agua, granizadas, etc.; campos en los que coinciden muy diferentes intereses (agricultura, - protección civil, gestión de aeropuertos, etc.)

En terminos generales la lluvia artificial no supone aumentos de pluviosidad extraordinarios, sino solo de un pe-- queño porcentaje al menos con las técnicas y conocimientos - actuales.

Por naturaleza, es difícil circunscribir los efectos de la lluvia artificial a una zona determinada, pues las nubes se mueven a merced de los vientos. Por lo tanto los resultados deben ser analizados bien estadísticamente para no caer en algun error.

El objeto de éste trabajo es el de analizar la importancia que tiene la estimulación artificial de la lluvia en un área determinada. Al tener un aumento significativo en la - precipitación en zonas áridas y semiáridas donde el factor - humedad es primordial y trae como consecuencia un aumento en la producción de cultivos, por lo tanto hay un aumento en -- los ingresos de los agricultores y campesinos, pudiendo te-- ner un nivel de vida más alto, o simplemente la urgencia de aumentar las disponibilidades hidraulicas de alguna ciudad - que lo requiera. Pero habrá que analizar cual técnica es la mas adecuada y conveniente a usar en cada zona.

2. REVISION DE LITERATURA

2,1 Breve Historia

Los primeros intentos científicos de lluvia artificial-conocidos, se remontan al siglo XVI y están contenidos en la obra de J. Boecler, *Disertatio Physica Pluvia*, publicado en 1710, aunque ya era conocido que ciertos fenómenos tales como la combustión de bosques ó las erupciones volcánicas eran capaces de producir lluvia. A finales del siglo pasado empezaron a proliferar las ideas sobre la lluvia artificial en varias partes del mundo, pero las primeras bases científicas no aparecieron hasta que se empezó a conocer la termodinámica de las nubes. (5)

En 1932 Tor Bergeron, físico noruego puso de relieve la función generadora a bajas temperaturas en las nubes; la teoría de Bergeron - Findeisen constituye una parte importante del mecanismo de crecimiento de las gotas de lluvia actualmente aceptadas, y está basada en el hecho de que la humedad relativa del aire es mayor con respecto a una superficie de hielo que con respecto a una superficie de agua. Cuando la temperatura del aire baja por debajo de los 0°C , la presión de vapor atmosférica disminuye más rápidamente sobre una superficie de hielo que sobre el agua (vease fig. 1). Esto hace que la presión de vapor de saturación sobre el agua sea mayor que sobre el hielo especialmente entre las temperaturas de -5°C y -25°C , en que la diferencia sobre pasa los 0.2 mb; si coexisten en una nube cristales de hielo y gotas de agua subenfriada, éstas tienden a evaporarse y el vapor se deposita directamente sobre los cristales de hielo (ésto es descrito a menudo por los meteorólogos como "sublimación" -

aunque en realidad se refiere a la evaporación directa del - hielo). (1,4,15)

Fueron las investigaciones efectuadas en 1946 en los laboratorios de la General Electric Co. por Langmuir y V. - - Schaeffer las que aseguraron el brillante inicio de ésta nueva técnica. Ellos mostraron primero que si se introducen en una "cámara fria" llena de una niebla de finas gotitas de agua sobrefundida algunas partículas de hielo seco, se producen la precipitación muy rápida de pequeños cristales de hielo que no son otra cosa que el resultado de la congelación- (por ruptura de la sobrefusión de las finas gotitas de agua- de la niebla). Utilizando ese mismo fenómeno en la naturaleza los investigadores de la General Electric, mostraron desde 1947 que era posible provocar caídas de nieve dispersando por medio de aviones granos de hielo seco en una nube formada de gotitas sobrefundidas. Esta disminución de la temperatura de congelación de las finas gotitas de agua se explica-termodinamicamente por la sobre presión existente en el seno de aquellas debido a la tensión superficial. Paralelamente a esos ensayos en las nubes, Schaeffer obtuvo en la cámara - fria del laboratorio la precipitación de cristales de hielo- llamada nucleación, a partir de un aerosol análogo a los que forman las nubes, ya no utilizando hielo seco, sino otras -- sustancias diversas normalmente contenidas en la atmósfera- (arena, polvo, sal, esporas, etc.) o seleccionadas por razón de su sistema de cristalización próximo al del hielo. - Concluyendo si no existe ningún núcleo de condensación en la cámara fria, la temperatura crítica a que un aerosol de agua sobrefundida se transforma integro y en todos los casos en - cristales de hielo es de $-39^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$, los diversos tipos- de arena, polvo, etc. provocan la precipitación de cristales de hielo entre -20 y -30°C . (2, 3 , 18)

El yoduro de plata una de cuyas características alotró- picas es que cristaliza del mismo modo que el hielo, ofrece

la buena particularidad de provocar la nucleación a partir de menos 4°C alcanza su actividad máxima a menos 10°C, éste fenómeno descubierto por Vonnegut, es tanto más importante para las aplicaciones practicas, cuanto que la sublimación del yoduro de plata por procedimientos simples del cual hablaremos mas adelante, permite producir 10^{15} , partículas -- por gramo de Ag I; cada una de éstas partículas constituyen un excelente núcleo para la formación de un cristal de hielo, y es posible sembrar, masas de volúmenes considerables de nubes con poco gasto. (9, 17)

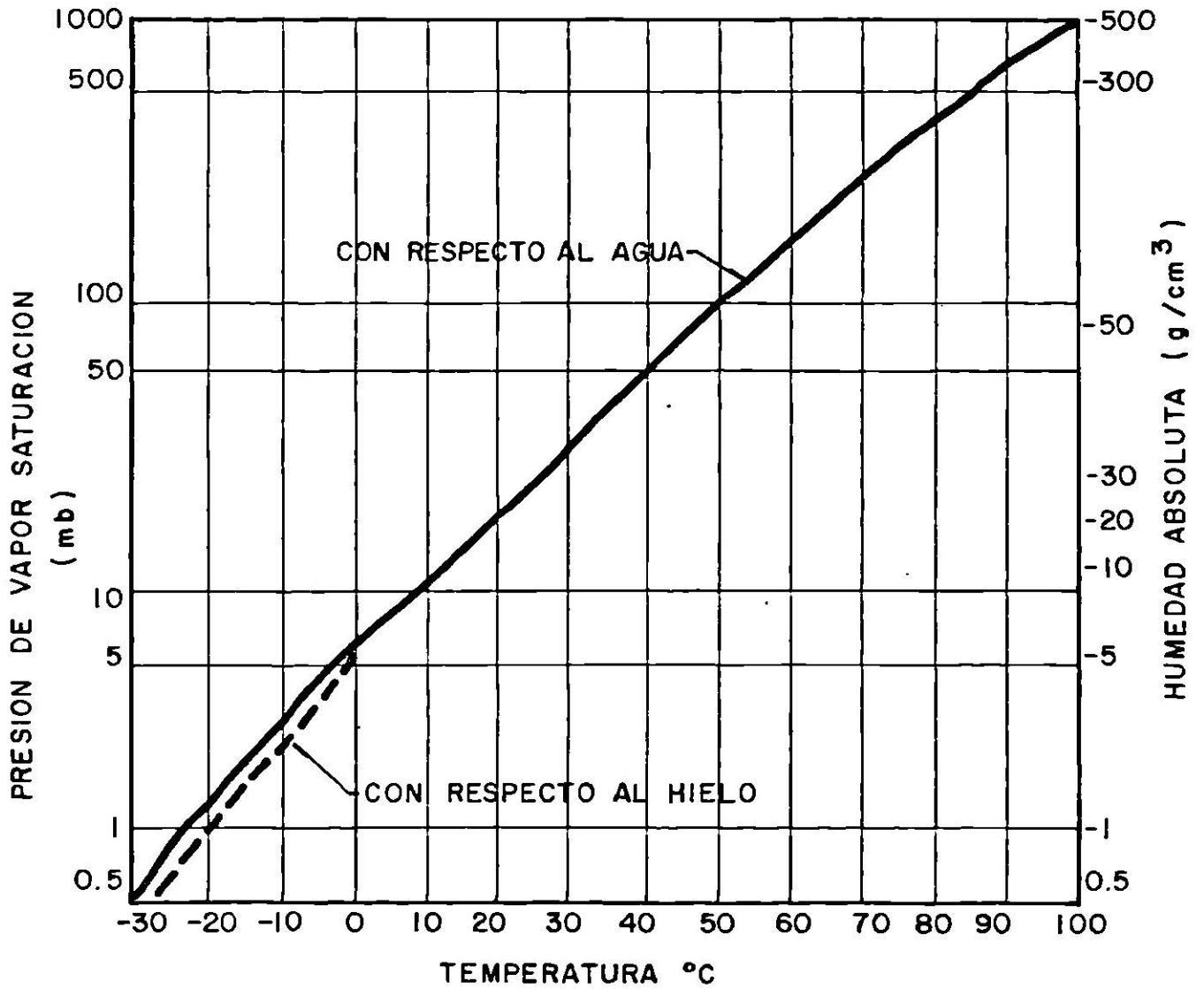


FIGURA 1.- REPRESENTACION SEMILOGARITMICA DE LA PRESION DE VAPOR DE SATURACION EN FUNCION DE LA TEMPERATURA. (1)

2.2 Descripción de los principales tipos de nubes

Cirros ó Cirrus: Presenta un aspecto curvo y fibroso, color blanquesino semejando pinceladas aisladas en el fondo azul de la bóveda celeste; los vientos fuertes a esas alturas son principalmente responsables de su forma; cuando los cirros por la acción del viento se unen formando un velo o capa generalmente tenue y con tendencia a cubrir totalmente el cielo recibe el nombre de Cirrostratos (a menudo los cirrostratos forman halos).

Cirrocumulus: Son masas globulantes blancas que parecen pequeñas, por la altura, con ondulaciones y dispuestas de tal forma que semeja escamas o piel de borrego, por lo que suele llamarse "cielo aborregado" a la presencia de éstas formaciones nubosas.

En ocasiones cuando se forman nubes típicas de tormenta (cumulonimbos) cuya parte superior se extiende formando un cúspide en forma de penacho o yunque, al desprenderse éste, forma a esa altura nubes cirros densos por lo general llamados falsos.

Altostratos: Son similares a los cirrustratos con los que suelen confundirse pero más densos por lo que presentan un color gris a zulado.

Alto cumulos: Presentan diversos aspectos, siendo los más comunes los de apariencia de cirrocumulos pero los elementos de la nube son de mayor tamaño produciendo a menudo sombras. (8)

Estratocumulos: Pueden presentarse en forma aislada o formando capas formada por bandas o rollos de color gris obscuro, suelen confundirse con los nimbostratos, pero a diferencia de éstos no producen practicamente precipitación.

Nimbostratos: Este tipo nuboso de aspecto uniforme extensión horizontal, gran espesor y coloración gris obscuro, se caracteriza por su precipitación de carácter continuo.

Estratos: Se presentan como un manto uniforme y tenue por lo general formandose a baja altura, solo precipitan lloviznas.

Cumulos: Las nubes cumulos son de forma bien definida y se presentan por lo general en forma aislada, cuando aparecen con poco desarrollo vertical se les llama "Cumulos Humilis ó Mediocris" o también cumulos de buen tiempo, cuando estas masas adquieren notable desarrollo vertical reciben el nombre de Cumulus Congestus o Cumulus Potentes y semejan cúpulas o torres, su forma obedece a movimientos violentos verticales del aire en su interior, su precipitación generalmente fuerte y de chubasco es decir se presenta y termina en forma súbita.

Cumulonimbos: Son las nubes típicas de tormenta de gran desarrollo vertical constituyen la etapa de madurez de cúmulo congestus presentando en su interior violentas corrientes ascendentes y descendentes de aire, formación de cristales de hielo en la parte superior y frecuentemente granizo, precipitación moderada o fuerte de chubasco, las cúspides pueden alcanzar y aun exceder los 15 kms. de altura de éstas nubes, se originan los tornados. (8)

2.3 Física de la precipitación

Desde hace aproximadamente 30 años en diversos países se ha ido incrementando el interés por la investigación de la física de las nubes, así como el mejoramiento continuo del conocimiento de los fenómenos meteorológicos y algunos de sus parámetros, mejorándose las técnicas de laboratorio de medición directa de los fenómenos y las estaciones meteorológicas.

Se ha establecido que las nubes están formadas por gotas pequeñas de agua que se forman por acumulación de moléculas de agua en partículas muy finas denominadas núcleos, que se pueden encontrar flotando en la atmósfera. Una gota de lluvia está formada por varios cientos de miles de gotas de agua de nube; el crecimiento de las gotas de agua puede producirse por uno de los dos procesos más importantes conocidos que ocurren en forma simultánea. Uno de ellos (predominante en invierno y las alturas más frías) consiste en la formación de cristales de hielo a partir del vapor de agua de una nube sobresaturada de humedad y super-fría; esos cristales crecen tan rápidamente como exista vapor de agua disponible de la misma nube o bien del que se evapora de las gotas de agua de la nube, para reponer el vapor congelado.

Cuando estos cristales han aumentado de peso lo suficiente, se precipitan a través de las nubes y chocan con gotas de agua de la nube produciéndose en esta fase copos de nieve.

Esta nieve puede llegar como tal a la superficie de la tierra, o como granizo o como lluvia dependiendo de las condiciones de temperatura y viento cerca de la superficie terrestre. (8, 10)

El segundo proceso de formación de gotas de lluvia es la coalescencia de gotas de agua de las nubes, este proceso predomina en nubes Cumulus Tropicales y es muy notable que sea de gran importancia en la mayor parte de las regiones del mundo.

La teoría de coalescencia supone el crecimiento de las gotas por adición de otras gotas, de modo que al crecer la gota inicie su descenso incorporando otras nuevas que encuentra en su camino. El tiempo de crecimiento de una gota hasta el tamaño preciso para caer en nubes de tipo cumulus (convectivas) es de alrededor de 30 minutos. El fenómeno es complejo pues existen fenómenos de repulsión electrostática y de movimiento propio de las partículas. (5, 7)

Aunque la coalescencia es el principio bastante lenta, la gota puede alcanzar 200 μ de radio en 50 minutos. Fig. 2 Los cálculos demuestran que las gotas deben tener radios mayores de 19 μ para que puedan soldarse con otras.

Originalmente se creyó que la turbulencia atmosférica por ocasionar choques entre partículas de la nube sería responsable en gran parte de la coalescencia; desgraciadamente se encuentra que las partículas pueden romperse con igual facilidad cuando están sujetas a choques y se observó que muy a menudo no hay precipitación desde nubes muy turbulentas. (1)

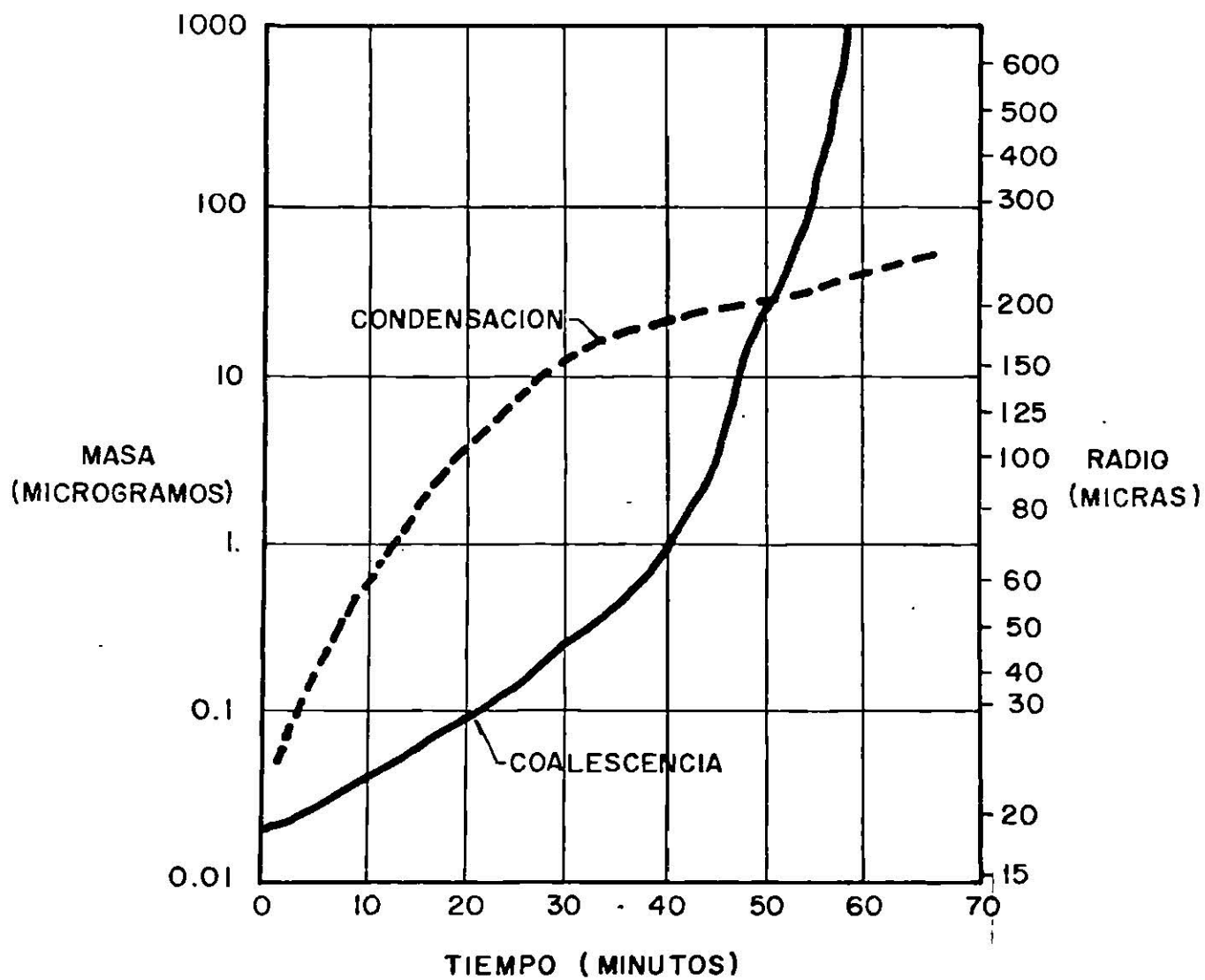


FIGURA 2.- CRECIMIENTO DE GOTITAS POR CONDENSACION Y COALESCENCIA. (DE EAST Y MARSHALL) (1)

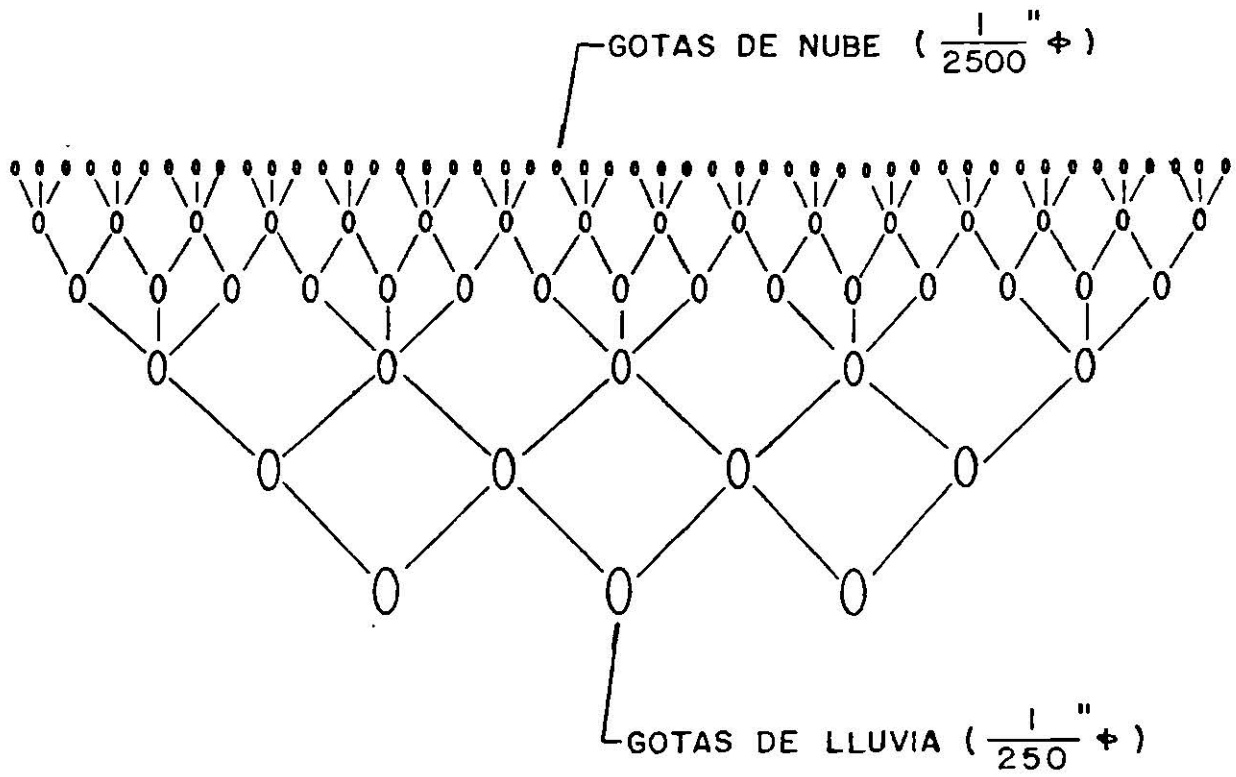


FIGURA 3.- PROCESO DE COALESCENCIA. (8)

2.3.1 Mecanismo de la lluvia

A pesar de los indudables adelantos de la meteorología, no se tiene aún un suficiente y profundo conocimiento del mecanismo de la producción de la precipitación atmosférica, ya sea en forma de lluvia o en forma de nieve. La lluvia es un fenómeno de nucleación, es decir inducido por núcleos o partículas nucleantes que deben pre-existir en la nube; la nucleación se llama homogénea cuando las partículas o núcleos son gotitas de agua o cristaliticos de hielo y se llama heterogénea cuando esas partículas son otras substancias tales como polvo, cristaliticos de diversas substancias o gotas grandes de agua o hielo. La nucleación homogénea requiere que exista una intensa sobre saturación en la nube, mientras que la nucleación heterogénea puede ser efectiva con solo una pequeña saturación, de modo que en general este es el tipo de nucleación dominante. Una de las teorías de formación de lluvia es la del cristal de hielo (teoría de Bergeron Findeisen o proceso de Wegener-Bergeron descrito anteriormente); si un cristal de hielo se introduce en una nube sobresaturada, el cristal crece hasta que se inicia su caída durante la cual puede aglomerarse con otros cristales que encuentre en su caída, este cristal llegará al suelo como hielo, como nieve, o como agua, dependiendo de la temperatura y puede que incluso se evapore durante su caída. Esta teoría requiere que al menos en algún punto de la nube exista una temperatura suficientemente baja (menos 40°C) como para que se inicien algunos núcleos de hielo; no siempre puede admitirse que esto suceda. (5)

2.3.2 Formación de la precipitación

La humedad siempre está en la atmósfera aún en los días sin nubes. Para que ocurra la precipitación se requiere de algún mecanismo que enfrie el aire lo suficiente para que -- llegue de esta manera a, o cerca del punto de saturación. Los enfriamientos de grandes masas necesarios para que se produzcan cantidades significativas de precipitación, se logran -- cuando ascienden las masas de aire, este fenómeno se lleva a cabo por medio de sistemas convectivos y convergentes que resultan de radiaciones desiguales, las cuales se producen -- por calentamiento o enfriamiento de la superficie de la tierra y la atmósfera o por barreras orográficas. (8, 10)

2.3.3 Condensación y núcleos de congelamiento

La observación y la teoría ponen de manifiesto que la condensación de vapor de agua en gotitas de una nube, tiene lugar sobre ciertas partículas (que sirven de núcleo) de substancias que tienen una gran afinidad con el vapor de agua. -- Esas partículas se llaman núcleos de condensación, y las substancias que las constituyen, substancias higroscópicas, esto quiere decir en realidad que las moléculas de vapor de agua no son capaces de unirse en gotitas solo cuando empiezan a hacerlo sobre núcleos a propósito.

Una vez que comienzan el vapor de agua se condensa sobre el agua líquida que ya se ha formado. (7)

El tamaño de los núcleos pueden ser:

- . Núcleos pequeños de 0.1μ de diámetro
- . Núcleos medianos de 0.1 a 1μ de diámetro
- . Núcleos grandes, mayor de 1μ de diámetro

Estos núcleos pueden estar formados por:

- . Polvo fino, producto de la erosión terrestre causada por el viento y otros agentes.
- . Liberación de moléculas de sal de las superficies ma ri nas, en movimiento de espuma, burbujas, etc.
- . Producto de las combustiones naturales de madera, ma le za, bosques, etc.
- . Producto de erupciones volcánicas y de las explosiones provocadas por el hombre.
- . Producto de las combustiones y procesos industriales fábricas, automóviles.
- . Finalmente otro origen puede ser también el de las fuentes extraterrestres, como los meteoritos. (11)

Los núcleos de congelamiento consisten de minerales arcillosos, siendo el coalín el más frecuente. Los núcleos ar tif icia les de congelamiento que se utilizan con mas frecuencia en la modificación de los climas (Bombardeo de nubes) -- son el dióxido de carbono (hielo seco) y el yoduro de plata.

Los núcleos de congelamiento sirven únicamente como cen tro s de nucleación de la fase líquida y por lo tanto para iniciar el crecimiento de los cristales de hielo. El CO_2 pue de producir cristales de hielo en una nube super enfriada a cualquier temperatura, hasta aproximadamente 0°C ; el Ag I -- tiene un valor de nucleación de alrededor de -4 . (10)

2.4 Tipos de Precipitación Según el Proceso que lo Origina

Precipitación Convectiva: Se debe como lo indica el -- nombre mismo a la corriente ascendente del aire debido al -- proceso de convección, cuando una masa que asciende contiene suficiente humedad, al enfriarse alcanza la saturación y el nivel de condensación formándose nubes, las cuales generalmente presentan desarrollo vertical notable y llegan a producir fuertes lluvias, granizadas o aún tormentas, existiendo dentro de ellas movimientos violentos ascendentes y descendentes de aire (turbulencias a veces severa). Estas nubes se llaman convectivas y presentan aspecto cumuliforme. (8,10, 12)

Precipitación Orográfica: En este tipo de precipitación, el mecanismo de ascenso del aire es diferente al anterior, se debe al encuentro ó choque que experimenta una masa de aire (con suficiente humedad) con obstáculos orográficos como sierras, montañas, etc., la masa de aire en su ascenso condensa la mayor parte de su humedad del lado de Barlovento, causando precipitaciones que determinan una mayor vegetación y fertilidad en ese lado de las cordilleras o sierras. (8,10, 12)

Precipitación Frontal: Cuando dos masas de aire distintas se encuentran, la zona que separa a dichas masas se le llama Frente. Si las características de dichas masas son de presentar un contraste notable de temperatura, es decir una cálida y otra fría, la masa con mayor temperatura, al ser -- más ligera asciende sobreponiéndose a la de menor temperatura, y en dicho ascenso, el vapor de agua sufre el proceso --

anteriormente descrito al enfriarse el aire y condensar formando nubes y ocurriendo la precipitación que en éste caso es de origen frontal. (8, 10, 12)

2.5 Efecto de la Substancia Disuelta y Efecto de curvatura.

Sabemos por ejemplo que la sal común se pone húmeda mucho antes de que la humedad relativa del aire llegue al 100%. Por consiguiente la gota que contiene la sal puede estar en equilibrio con el aire en derredor cuando la humedad relativa es menor del 100%. Las condiciones de equilibrio dependen de la concentración de la solución; a ésto lo llamaremos efecto de la substancia disuelta.

Imaginamos ahora que introducimos un núcleo de sal en aire humedo no saturado. Entonces se producirá condensación sobre la sal, sin embargo, a medida que la gotita crece la sal se diluye y el crecimiento de la gotita será como muestra, la curva A de la Fig. 4. Cuando la gota ha llegado a tener un radio de unas 2 micras, la sal está tan diluida que practicamente la gota se comporta como si fuera de agua pura resulta que el efecto de la substancia disuelta solo tiene importancia al comenzar el proceso, aunque durante ésta fase la tiene primordial ya que las gotitas no se formarían en ausencia de núcleos. (15)

El efecto de la substancia disuelta tiene en contra otro que se llama efecto de curvatura. Cuando las gotas son muy pequeñas la tensión superficial es apreciable, la "piel" de la gotita se comporta como una membrana estirada y es necesario realizar un trabajo para estirla más. De hecho esto significa que una gotita se opondrá a los depósitos de nuevas moléculas de vapor, mientras la presión de vapor no sea más grande que la saturación correspondiente a una superficie plana de agua. En otras palabras una gota pequeña no estará en equilibrio con el aire de alrededor a menos que la humedad relativa sea mayor del 100%, y el aire tiene que estar sobresaturado para que la condensación comience.

Supongamos ahora que una gotita de agua pura se introduce en aire sobresaturado con una humedad tan alta que la gota empieza a crecer, entonces disminuye la curvatura de la gotita y cuando el crecimiento prosigue el efecto de curvatura tiende a anularse más ó menos como muestra la curva B de la Fig. 4; cuando la gotita tiene un tamaño de 2 ó 3 micras de radio el efecto de curvatura es tan pequeño que prácticamente la gota se comporta como si tuviera superficie plana. Así se pone de manifiesto que los dos efectos, el del soluto y el de la curvatura son importantes solamente al principio; después el proceso es casi el mismo que si fuera agua pura y la superficie de la gota fuera plana. El tamaño verdadero resulta de conjugar el efecto del soluto y el de curvatura, como se ve en la Fig. 4. Supongamos que se introduce en aire no saturado un núcleo de sal, éste absorberá entonces agua hasta quedar en equilibrio con el aire de alrededor.

Indiquemos esta situación en el punto L en la Fig. 4 luego se enfría el aire de manera que la humedad relativa aumenta un poco, la gotita crecerá hasta un nuevo equilibrio; supongamos que lo alcanza en M. Enfriemos el aire nuevamente de forma que su humedad relativa aumenta hasta el valor indicado por N, la gotita crecerá entonces siguiendo la curva LMOP, sin llegar al equilibrio con el aire que la rodea. Después de pasado el máximo que se representa por el punto O, el crecimiento de la gotita es inestable, en el sentido de que separa cada vez más la gotita del equilibrio, éste crecimiento inestable es muy importante por que pasado el máximo O, la gota continúa creciendo ya sin resistencia, es fácil ver que en la atmósfera la condensación ocurre de preferencia en las partículas más grandes y que las menores quedarán desaprovechadas, para demostrarlo imaginemos que introducimos un núcleo Y mucho menor que el X, el efecto de la substancia disuelta en Y será entonces ----

menor que el de X, y el de curvatura mayor por lo tanto la condensación comenzará sobre el núcleo X antes de iniciarse sobre el Y. Además el X alcanzará su máximo O, antes de -- que Y pueda alcanzar H.

El crecimiento inestable del X (a lo largo de la rama- O P Q) tendría a consumir todo el vapor de agua disponible evitando así que el Y alcance su máximo H, donde comenzaría su crecimiento inestable. (15)

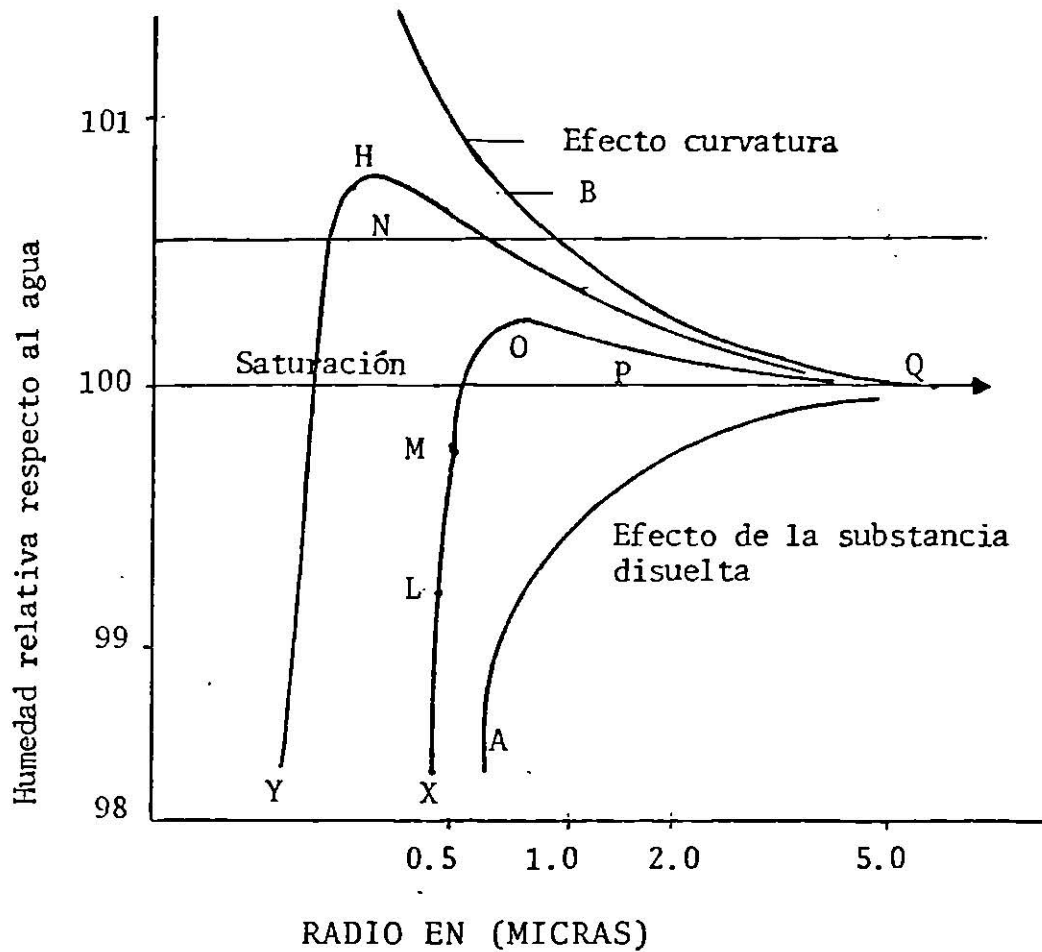


FIGURA 4.- FORMACION Y CRECIMIENTO DE GOTITAS DE NUBE. (15)

ASI SE FORMAN Y EMPIEZAN A CRECER LAS GOTITAS DE NUBE. UN NUCLEO CORRIENTE DE CONDENSACION X CRECERA POR COMPENSACION ENTRE EL EFECTO DE LA SUBSTANCIA DISUELTA Y EL DE CURVATURA, Y LA CURVA DE SU DESARROLLO SERA L,M,O,P,Q.

2.6 Precipitación Inducida Artificialmente

La modificación del clima a menudo llamada control del tiempo, es el término general que se utiliza para indicar los esfuerzos para alterar artificialmente los fenómenos meteorológicos naturales de la atmósfera; granizo y los rayos, mitigar los huracanes, disipar la niebla prevenir las heladas y alterar el balance de la radiación, etc., están incluidos bajo el término modificación del clima. (10)

Gran parte de los esfuerzos para cambiar el tiempo han sido dirigidos a intentar descubrir la forma de aumentar la lluvia o la nieve, cada vez se necesita más agua y las sequías periódicas especialmente en las zonas agrícolas del mundo, han hecho que la búsqueda de nuevas fuentes de agua sea vital. (2)

La demostración hecha en 1946 de que el dióxido de carbono sólido (hielo seco) puede causar la precipitación en una nube que contenga gotas de agua superenfriada dió nuevo ímpetu al bombardeo de nubes, éste descubrimiento dió estímulo para que pronto se descubrieran otras sales, en particular el yoduro de plata que también pueden inducir la precipitación.

Tanto el hielo seco como el yoduro de plata, los agentes más comunmente utilizados para el bombardeo actúan como núcleos de congelamiento en nubes superenfriadas. Para el bombardeo de nubes con hielo seco se requiere enviar éste por medio de avionetas, globos ó cohetes.

El Yoduro de Plata que es más efectivo cuando se calienta hasta el punto de vaporización, puede ser enviado a la nube bien sea por generadores localizados en la tierra o en el aire, pero tiene la desventaja de que su efectividad se ve muy reducida si se expone a la luz del sol; ésta reducción se produce en el número de partículas efectivas aproximadamente 10 por cada hora de exposición, sin embargo, los bajos costos de operación de los generadores localizados en la tierra han hecho de éste método el más común para aumentar la precipitación.

La temperatura límite para la nucleación del yoduro de plata es de -4°C (25°F) para nubes, cuya temperatura en la base sea mayor que el congelamiento, existe una diferencia marcada dependiendo de si el yoduro de plata se suelta desde generadores en la tierra ó desde el aire en tales situaciones el yoduro de plata que se suelta desde la tierra puede embeberse en las gotas de agua líquida y no ocurrirá cristalización hasta tanto la temperatura haya disminuído por ascenso convectivo, hasta -10 a -15°C (14 a 5°F).

Por lo tanto a menos de que exista un mecanismo convectivo de ascenso que produzca el enfriamiento necesario, la siembra realizada desde un generador en tierra no es efectiva; por otro lado el yoduro de plata que se coloca en la nube a niveles donde la temperatura está entre -5°C (23°F) ó menos, producirá la cristalización inmediata de gotas de agua líquida puras únicamente por contacto. (10)

La efectividad del bombardeo de nubes depende de muchos factores tales como la altura de la base y de la parte superior de la nube, la temperatura de las nubes, la distribución de las corrientes ascendentes, de la densidad de la nube, la cantidad y la concentración del agua líquida en la nube, el número y distribución de los núcleos naturales de congelamiento o condensación; el número de núcleos artificiales

añadidos y el lugar donde ellos se coloquen en la nube. Se están realizando pruebas para verificar la efectividad del bombardeo de nubes en lugares donde se pueden observar los resultados con redes relativamente densas de medición de -- precipitación y por radar. La precipitación sobre el área sembrada llamada área blanco, se compara por lo general con la precipitación medida muy cuidadosamente en aquellas á- - reas cercanas que no han sido bombardeadas y que se cono- - cen como áreas de control. (10)

2.7 Diferentes Mecanismos de Precipitación

Hay diferentes mecanismos substancialmente distintos-- que hacen que las diminutas partículas de las nubes se unan, formando elementos de suficiente masa, para caer de la nube como precipitación. El primero se funda en que la tensión-saturante del vapor sobre el hielo es menor que sobre el -- agua. Por tanto las partículas de hielo se apoderan del - vapor, crecen y empiezan a caer a través de la nube. La -- lluvia de ese origen suele llamarse en un sentido técnico - lluvia fría, sea cualquiera la temperatura con que se lle- gue al suelo.

Es probado que también cae lluvia de nubes sin partícu- las congeladas, esa lluvia suele llamarse caliente y al pa- recer es iniciada por gigantescos núcleos de condensación - de sal marina, por su gran tamaño (5^o mas); tales núcleos producen gotitas de nube de masa suficiente, para caer mas- de prisa que los elementos ordinarios de la nube.

Mas en cuanto una gota comienza a caer sensiblemente,- respecto a la demás de la nube, los choques y la captura de gotas menores aseguran su posterior crecimiento.

Estos distintos procesos suelen cooperar, y a veces se refuerza la precipitación por la existencia de cargas y cam- pos eléctricos, las gotas grandes pueden caer tan de prisa - que se desintegran y cada uno de los fragmentos inicie su e- volución a gran gota. Tales reacciones en cadena son impor- tantes en las nubes de tormenta, las gotas se rompen en o-- tras mas pequeñas que a su vez son elevadas por la corrien- te ascendente ésto puede conducir a repetidos crecimientos y fraccionamientos de las gotas con el resultado de que se

producen una gran cantidad de gotas de lluvia en cuanto se debilita la corriente ascendente o se sustituye por una descendente se produce un aguacero fuerte, en cambio en los sistemas de nubes horizontalmente muy extensos las velocidades verticales son muy pequeñas (5 a 10 cm/seg), por lo que las gotas son generalmente de menor tamaño y menos numerosas. (15)

2.8 Problemas de Contaminación

Se ha especulado con la posibilidad de que los nucleantes empleados en la producción de lluvia artificial produzcan una contaminación del agua caída. Los resultados de los trabajos realizados indican que tal contaminación, si existe, pero es perfectamente tolerable (Douglas 1970). (5)

En general la contaminación máxima en partículas de plata (Ag) del aire lanzado por un generador de yoduro de plata (AgI) no llega a los límites máximos establecidos para el agua potable. Las lluvias normales llevan hasta 20×10^{-6} ppm de Ag y el agua de lluvia provocada artificialmente puede llevar entre 20 y 200×10^{-6} ppm de Ag; la concentración máxima permisible según el servicio de Sanidad Pública Americana es de 50000×10^{-6} ppm.

El ion yoduro no presenta ningún peligro especial, tanto la sal común, como el hielo seco no presenta peligro alguno, la cantidad de CO_2 introducida equivale en grosso modo a la producción normal de un automóvil en ese tiempo. (5)

2.9 Problemas Legales

La lluvia artificial ha sido producida con cierto éxito pero también ha planteado ciertos problemas legales involucrados.

El punto principal es a quien pertenecen las nubes, puede ser finalmente necesario regular la lluvia desarrollando reglas de aplicación nacional y por medio de tratados internacionales. (9)

Es indudable que aún nos queda mucho por aprender acerca de la ciencia y la tecnología de la modificación del tiempo, cada vez se pone más relieve que a medida que se va desarrollando el conocimiento y las técnicas para modificar las nubes, la precipitación y los sistemas depresionarios, la sociedad sufrirá las consecuencias. Se han suscitado ya cuestiones legales acerca de a quien pertenecen las nubes y la precipitación y es de esperar que se presenten muchos otros problemas. Los científicos de la atmósfera reconocen actualmente que el único enfoque racional de la modificación del tiempo es el que incluye la participación de ecólogos, sociólogos, especialistas en derecho y el público en último término. El objetivo de un proyecto semejante debería ser obtener el máximo de beneficios para toda la sociedad. (15)

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Método Estático y Método Dinámico

El método estático consiste en la introducción de una cierta cantidad de núcleos artificiales de congelamiento, por ejemplo un núcleo por cada litro de aire de nube, para producir cristales de hielo, que a través de difusión y crecimiento, eventualmente tomarán el tamaño de partículas precipitables.

El enfoque dinámico conlleva la siembra masiva de, por ejemplo, 100 a 1000 núcleos por litro de aire en las nubes cumulos que se van a estimular mediante la liberación del calor de fusión, las fuerzas de flotación y las circulaciones necesarias para sostenerlos. Con temperaturas y distribuciones de humedad favorables, el bombardeo masivo de cúmulos superenfriados, cuyas partes superiores están a una altura inferior al nivel de -40°C , pueden levantar las partes superiores de las nubes de 3 a 5 km., en unos pocos minutos, de tal manera que se extiendan lo suficiente por encima del nivel de -40°C , donde la cristalización es natural y espontánea aumentando de ésta manera la precipitación natural. (5)

El enfoque dinámico es particularmente útil en latitudes bajas, donde las partes superiores de los cúmulos a menudo están por debajo del nivel de -25°C . Se han desarrollado modelos que se pueden predecir el crecimiento de una nube -- después de haber sido bombardeada. La diferencia entre el máximo predicho para la altura de la parte superior de la nube después de sembrada y la altura real antes de sembrar, -

llamada capacidad de siembra está altamente correlacionada - con el aumento de lluvia esperado por el bombardeo. Las -- disminuciones en lluvia se asocian con capacidad de siembra inferiores a 0.8 km, pero se encuentran incrementos apreciables con capacidades de siembra que sobrepasan los 3 km.

Las nubes de tipo estrato, ofrecen perspectivas muy pobres para siembras efectivas cuya finalidad sea el aumento - de la lluvia. El contenido de humedad es relativamente bajo y las condiciones atmosféricas que rodean tales nubes son -- por lo general estables.

Si la temperatura de la nube está por debajo del límite inferior de nucleación del agente utilizado para la siembra, ésta puede dar como resultado una turbulencia débil que distribuye los núcleos del hielo de tal manera que la nube sedipa con muy poca o ninguna precipitación.

Las nubes orográficas por lo general poseen contenidos de humedad más bajos que los cúmulos de verano, pero tienen la ventaja de que su formación es continua siempre y cuando haya aire húmedo que fluya hacia arriba. (10)

3.2 Generación ó Estimulación de la lluvia

La generación de la lluvia artificial se basa fundamentalmente en la introducción de nucleantes en una nube que reúna las condiciones apropiadas. Se trata de núcleos heterogéneos, el principal de los cuales es el yoduro de plata como hemos mencionado anteriormente (Ag I); su estructura es muy similar a la de un cristal de hielo, de modo que puede actuar como si fuese un núcleo de hielo.

Otro nucleante de uso muy generalizado es el hielo seco ó nieve carbónica (CO_2 sólido), troceado a tamaño de guisantes, que al crear un punto de muy baja temperatura, permite la aparición de núcleos de hielo. Otros materiales tales como los yoduros alcalinos (de Cs, Li, K, Rb, Na), son también algo efectivos y se suele emplear acompañando al yoduro de plata. (5)

El metaldehído, florogucinal, 1-5 dihidroxinaftaleno y otras sustancias orgánicas son también muy efectivas pero tienen dificultades de introducción en la nube. El ácido clorosulfónico parece reunir condiciones muy aceptables y es muy estable. En las nubes calientes, las sustancias mencionadas no son efectivas porque no son capaces de formar hielo; en éste caso son efectivas las sustancias higroscópicas como el cloruro de sodio.

El yoduro de plata se puede introducir a la nube mediante dispositivos terrestres o mediante dispositivos aerotransportados, el dispositivo terrestre o quemador más usual actualmente (en EUA), consiste en un tanque lleno de acetona en el que se ha disuelto Ag I (en general al 2%) y CNa ó --

CIK, y un dispositivo de propano y se producen gran número núcleos AgI. El dispositivo se instala en un lugar montañoso, donde chocan las nubes, a fin de que el nucleante alcance el punto conveniente de la nube. En otras ocasiones el quemador del yoduro de plata puede ser aerotransportado en una avioneta, en cuyo caso puede ser llevado al lugar más conveniente de la nube, operación que además de cara puede ser peligrosa, si se trata de nubes de tormenta o con riesgo de depositar hielo sobre el avión. Es posible conseguir actualmente generadores de núcleos de AgI regulables por control remoto, para adoptar su producción a las circunstancias que se presenten. Se suele instalar un generador terrestre cada 250 Km^2 de área en la que desea producir lluvia (Douglas, 1970). (5)

Las radiaciones luminosas (actínicas) producen la parcial descomposición del yoduro de plata, por lo que se pierde efectividad si el tiempo de acción ha de ser largo. (Castán, 1971). (3,5,15)

El hielo seco solo puede ser introducido en la nube con una avioneta, con los consiguientes gastos y peligros.

La sal común exige normalmente su adición desde el aire, aunque a veces se puede realizar desde tierra con quemadores.

El formaldehído exige su transporte por avión ya que su estabilidad como núcleos es pequeña (coagula o se evapora)

En España se ha desarrollado el empleo del ácido clorosulfónico con éxito, en especial en nubes calientes (Castán, 1971), se debe de introducir con avionetas, pero basta con que se vuele sobre las nubes. (5)

Ciertas técnicas balísticas de cohetes y de globos parecen ser efectivas en variadas circunstancias, pero su empleo más frecuente es el control de tormentas, granizadas, etc.

Las actividades humanas producen cierto grado de contaminación de la atmósfera con polvo, humo y partículas que pueden actuar como nucleantes.

En ciertos lugares con aire húmedo es posible provocar lluvia artificial por calentamiento; según Vaillant (1968) - la creación sobre el terreno de una extensión lisa (de más de 1 Km^2), ennegrecida para que absorba el calor solar y aislada para que no pierda calor, pueda crear corrientes convectivas ascensionales que se transforman en cúmulos y pueden dar lluvias. El método es aplicable en zonas cálidas - próximas al mar o lagos. Sin embargo las realizaciones son escasas y el método queda limitado a condiciones muy especiales. (4,5,17)

3.3 Estimulación de la lluvia por siembra de nubes con yoduro de plata

El hielo seco triturado diseminado en la nube por avión (ó por bombas ó cohetes disparados desde el suelo), no es ya empleado más que ocasionalmente o con un fin experimental para precipitar grandes cúmulos aislados; el elevado -- costo de tales operaciones no permite su utilización industrial. Las operaciones de lluvia artificial de larga duración y extendidas a zonas extensas, utilizan más a menudo -- la siembra de las nubes por partículas de yoduro de plata, por generadores instalados en tierra. (10,15,16)

1. Los generadores de núcleos de yoduro de plata

El yoduro de plata (Ag I) se presenta bajo la forma de un polvo amarillento de densidad -- próxima a 4.0 (peso molecular 304.7). A fin de realizar la dimensión y el tipo de partícu la más favorable a la nucleación, la sal debe ser vaporizada a alta temperatura (óptima 1300°C), y los vapores obtenidos enfriados -- bruscamente. Diversos procedimientos han sido utilizados en la practica a ese efecto.

a) Inyección de una solución al 2% de AgI en Acetona ., en una llama de hidrógeno o de butano a temperatura de alrededor de 820 grados (Bollay). (7,16)

b) Combustión a muy poco espesor de un fuego de coke metalurgico impregnado de 2, 3 ó 5% -- de Ag I (Krick); se obtiene facilmente la --

temperatura óptima de 1300°C. (16, 17)

c) Combustión al aire en una parrilla metálica en un fogón de forja de campo (generalmente no aumentado) de carbón de leña impregnado de 2% de Ag I (Dessems). (17)

d) Fusión de sal y calentamiento de vapores en horno eléctrico especial "Temple", de los vapores por una corriente de aire fría. (17)

2. Conducta de la operación; esquema probable de la acción de núcleos de Ag I.

Los generadores de núcleos o partículas de yoduro de plata son instalados en el suelo y -- los innumerables núcleos (10^{14} núcleos por -- gramo de AgI), así producidos, son transportados a las nubes por las corrientes ascendentes naturales y la difusión turbulenta que existe siempre en la atmósfera, en las condiciones requeridas para que una acción sobre las precipitaciones pueda ser llevada a cabo. Los generadores de yoduro de plata están dispuestos de tal modo que, habida cuenta de los diversos factores meteorológicos (velocidad de viento, altura de la isoterma o, -5° , -10°C , etc.), se provoca la precipitación de las nubes situadas sobre el blanco escogido es decir la cuenca vertiente. (17)

Cuando las partículas de Ag I proyectados -- desde el suelo, han alcanzado la zona apuntada, su acción sobre un espeso sistema de nubes de temperatura media en verano, puede --

esquematzarse de la siguiente manera.
Dividamos la altura de la nube en 3 zonas
(Fig. 5).

1. En la zona inferior entre los isoter-
mas 0° y -4°C (3000 - 3500 m aprox.), la
nube no es influida por el yoduro de plata,
que actua más que por debajo de -4°C .

2. En la zona media entre las isoter-
mas -4° y -17°C (3500 - 5000 m aprox.) las
partículas de Ag I provocan la "nuclea-
ción", es decir la formación de una mul-
titud de cristales de hielo. En esta zo-
na los nucleos glaciogenos naturales -
(polvos, esporas, etc.) son todavía inac-
tivos.

3. En la zona superior los isoter-
mas -17° y -40°C (5000 - 8000 m aprox.) los
núcleos glaciogenos naturales se hacen ac-
tivos y concurren, con las partículas de
Ag I, a asegurar la nucleación.

Más allá de la isoterma -40°C a las partí-
culas de Ag I no parecen ser de utilidad
alguna, ya que a esa temperatura los cris-
tales de hielo se forman espontáneamente
en el aire saturado. (1, 5, 10, 17)

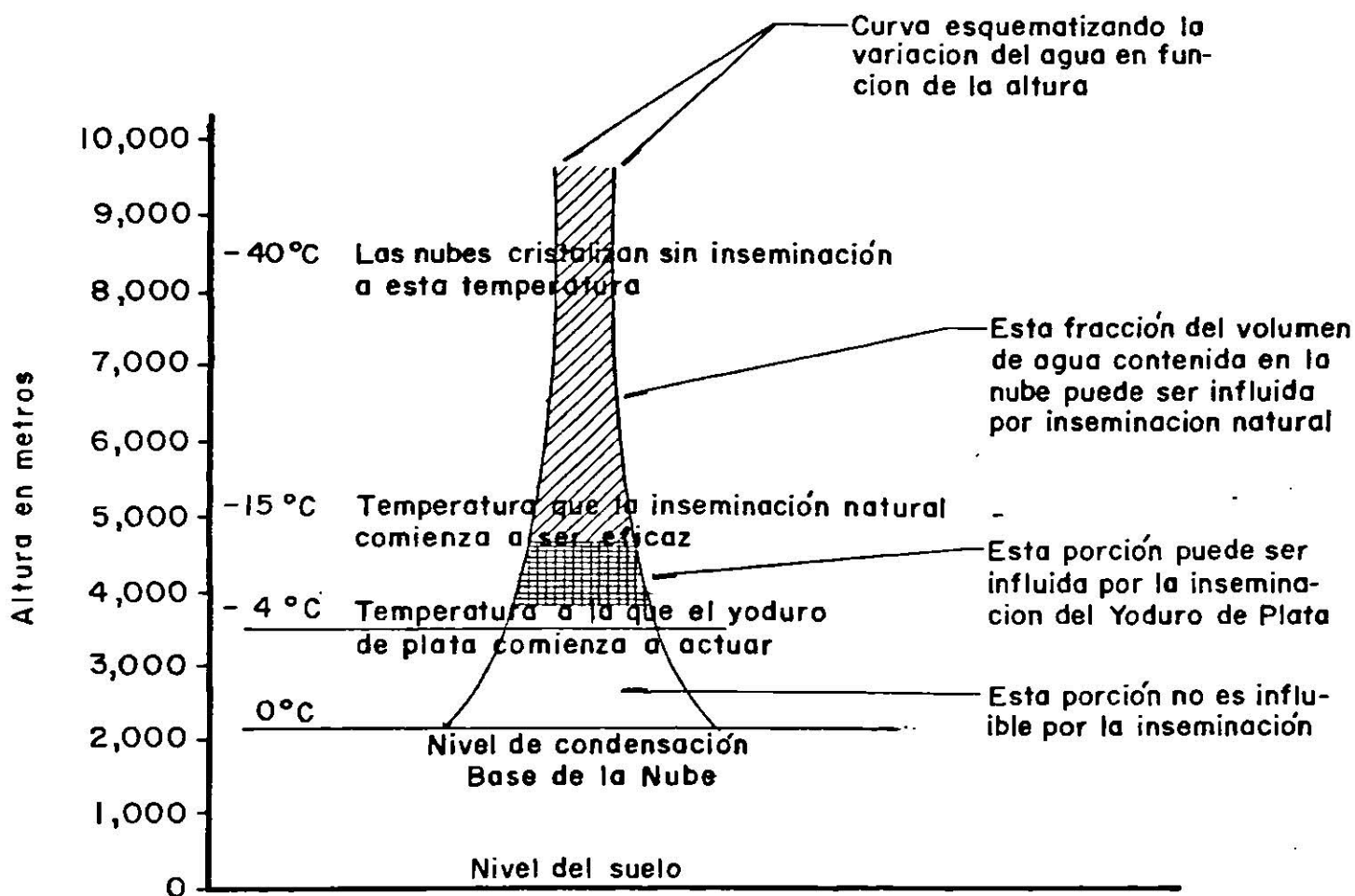


FIGURA 5.- ESQUEMA DE LA ACCIÓN DE UNA INSEMINACION DE YODURO DE PLATA. (17)

3.4 Material y Equipo Empleado en la Estimulación Artificial de la Lluvia en Nuevo León 1968-1969

A continuación describiremos el tipo de aparato usado en nuestra región que es el tipo acetona-yoduro de plata, éste es una modificación de un modelo norteamericano.

- a) Partes de que está constituido; consta de dos unidades, una de ellas es el aparato quemador de yoduro de plata (A) que almacena la solución de "Acetona-yoduro de plata-yoduro de sodio". El yoduro de sodio se emplea como auxiliar para que se disuelva el yoduro de plata; en una relación molar 2 a 1 (Ag I-Na I). Este tanque debe ser de acero inoxidable, la otra unidad es la fuente que suministra gas para el encendido y combustión, y proporciona la presión necesaria para que fluya la solución de acetona-yoduro de plata del tanque (A) ver Figuras 6, 7, 8, 9 y 10.

Para controlar la cantidad y el momento en que debe salir la solución de acetona, existe un sistema (D) consiste de tubería, válvulas de dos pasos y un regulador de presión (salida 5 lbs/pulg.²). El punto donde se produce la combustión de gas butano con o sin acetona, es la parte (E) de la pieza de fierro fundido. (3,7,17)

- b) Los materiales que se emplean son: Solución de acetona-yoduro de plata-yoduro de sodio, al 3% en peso de yoduro de plata, con una relación molar AgI-NaI de 2 a 1; ésta solución se encuentra en el recipiente (A) y se consume a una taza ajustable -

de 1.0 a 1.5 lts. por hora. Otro de los materiales, es el gas licuado embotellado (comercial, butano, propano).

- c) Operación: La presión del gas fuerza a la solución acetona-yoduro de plata, a salir por el tubo (T) que termina en una aguja hipodérmica (J), - - (22 x 38 mm) Fig. 7 y 9, la cual se mezcla con -- gas butano a 25 lbs/pulg.² que sale por la esprea (G) consumiéndose la mezcla a la salida de la pieza de fierro fundido (E).

La secuencia de operación del aparato se puede observar en la Fig. 8, 9 y 10.

- d) Mantenimiento.- aparte de la reposición de la solución de acetona-yoduro de plata, debe limpiarse con una aguja suavemente y oxidos de la pieza de fierro fundido (E).

Las agujas hipodérmicas (J) no deben tocar, ni estar a menos de 1 cm. de las paredes y bordes de (E) para evitar que se tapen o quemem, por excesivo calentamiento. Estas - agujas pueden reponerse facilmente antes de encender el aparato. Esta debe doblarse o curverse ligeramente de modo - que el chorro de acetona-yoduro plata, pase por el centro - del chorro del gas de la esprea (G) a unos 3 a 5 cm. encima de la esprea para que la solución se atomice.

Todas las uniones deben estar bien apretadas para evitar fugas. En el aparato quemador (A) a excepción de la pieza (E) que es de fierro fundido, todas las piezas, conexiones, tuberias y tanques deben de ser de acero inoxidable o bronce. (7)

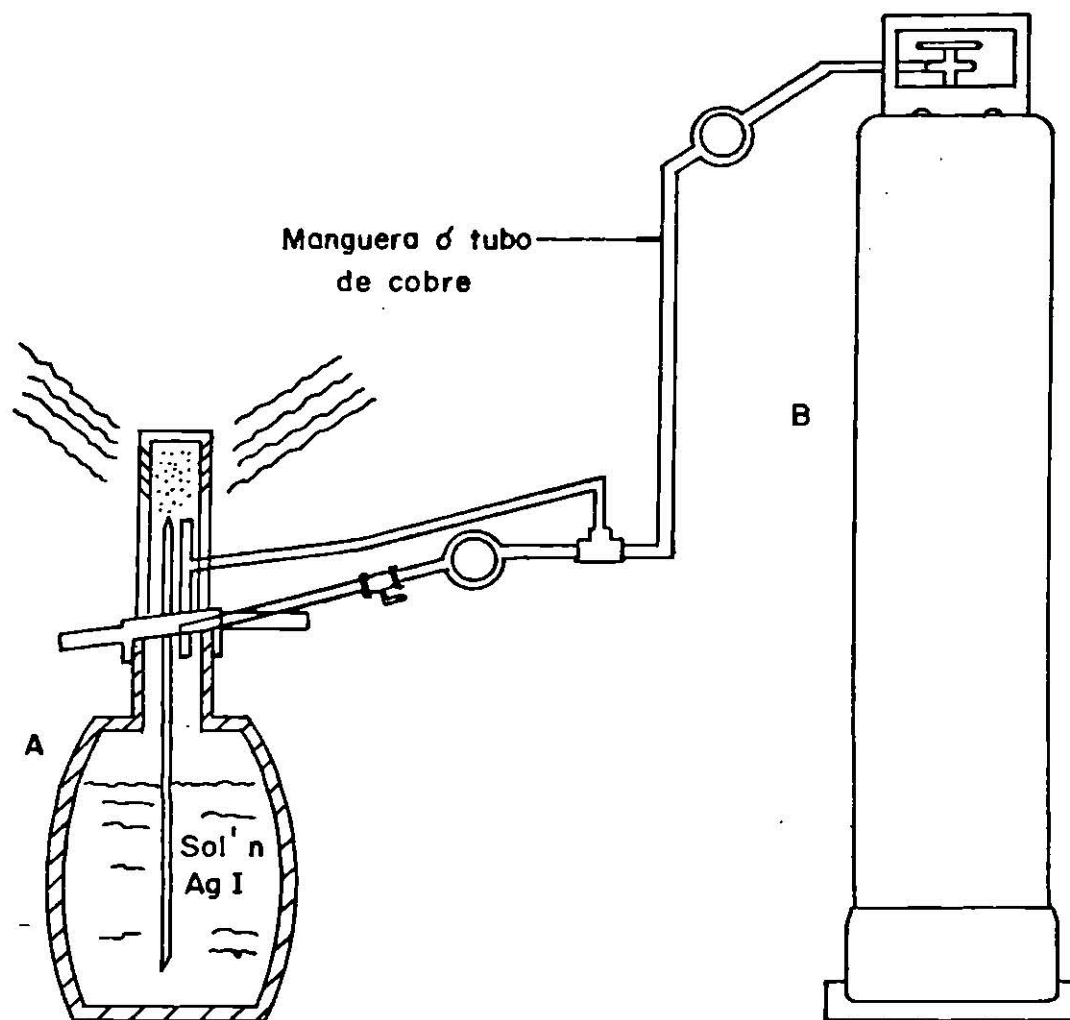


FIGURA 6.- FUNCIONAMIENTO DEL APARATO QUEMADOR ACETONA YODURO DE PLATA. (10)

EL APARATO QUEMADOR TIPO ACETONA-BUTANO, CONSTA DE UN TANQUE (B) DE GAS LICUADO (BUTANO-PROPANO) Y UN TANQUE (A) EN EL QUE SE ENCUENTRA ALMACENADA LA SOLUCION DE YODURO DE PLATA, QUE ESTA REMATADO POR EL QUEMADOR PROPIAMENTE DICHO.

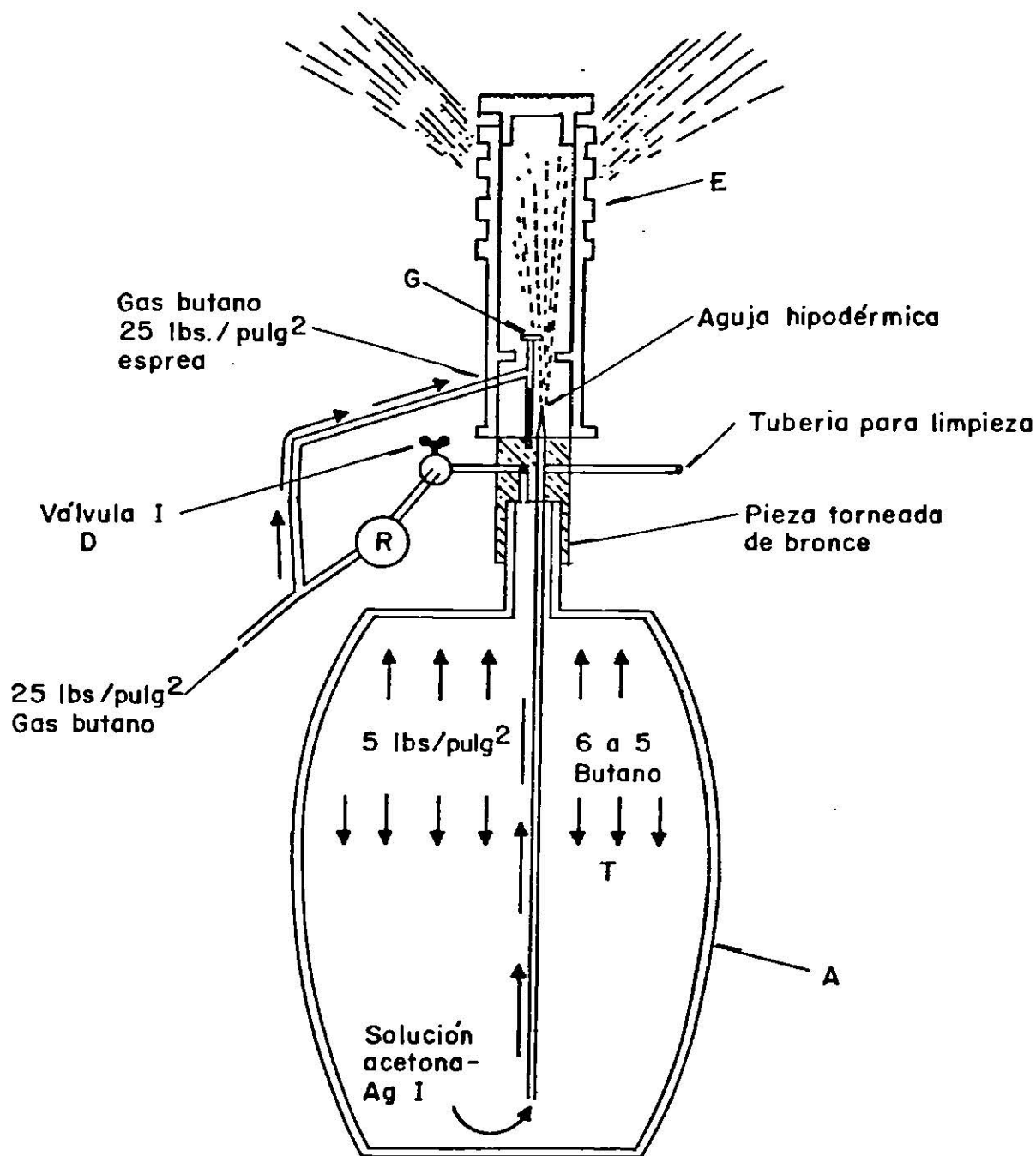


FIGURA 7.- FUNCIONAMIENTO DEL APARATO QUEMADOR ACETONA YODURO DE PLATA. (10)

LA MANIVELA DE LA VALVULA (I) PERMITE EL ACCESO DE GAS BUTANO AL INTERIOR DEL TANQUE (A) Y HACE SALIR POR LA-AGUJA HIPODERMICA LA ACETONA QUE AL PASAR SOBRE LA ES-PREA (G) SE ATOMIZA Y SE MEZCLA PARA SER QUEMADOS JUN-TOS, A LA SALIDA DEL QUEMADOR (E).

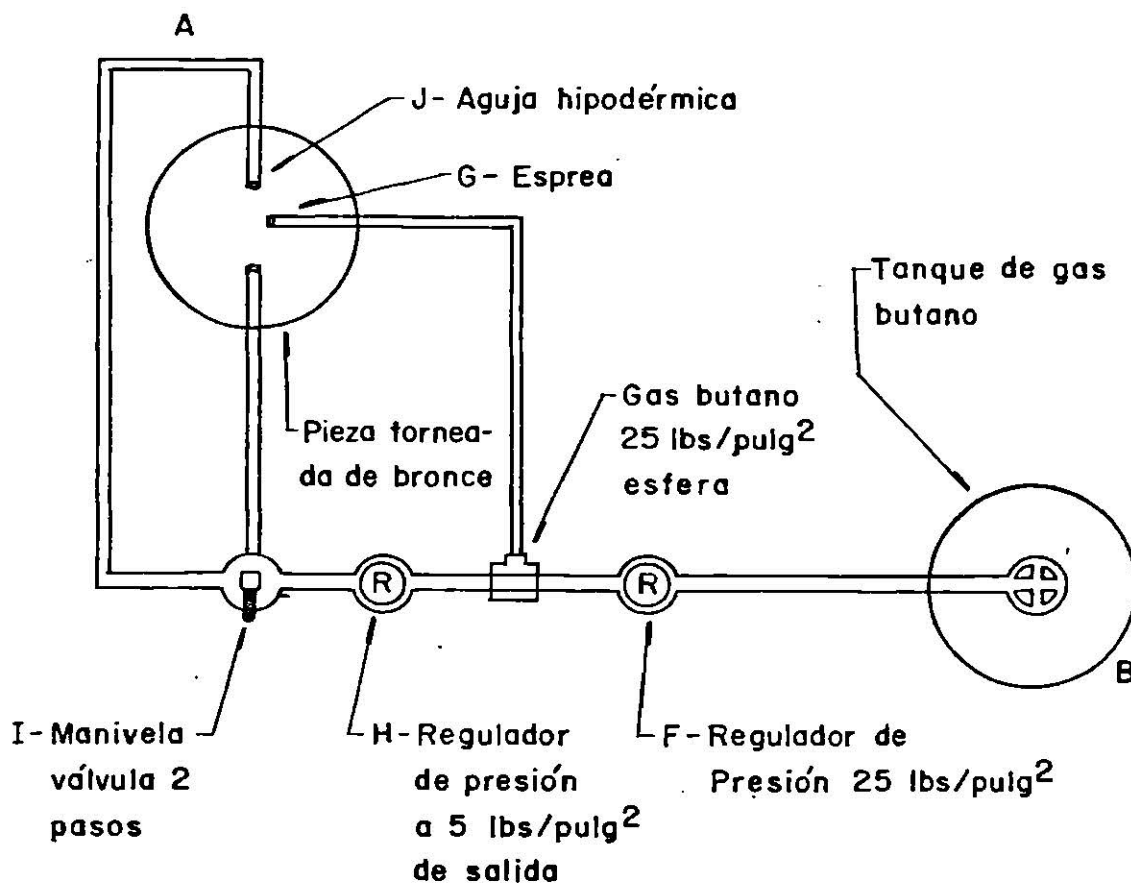


FIGURA 8.- FUNCIONAMIENTO DEL APARATO QUEMADOR ACETONA YODURO DE PLATA. (10)

POSICION DE LA VALVULA (I) PARA INICIAR EL ENCENDIDO DEL APARATO. AQUI LA VALVULA (I) NO PERMITE ACCESO DE GAS BUTANO AL INTERIOR DEL TANQUE (A), SE ABRE LA VALVULA DEL TANQUE DE GAS BUTANO (B) Y SE ENCIENDE EL QUEMADOR (E) HASTA ESTE MOMENTO SOLO PASA GAS POR LA ESPREA (G).

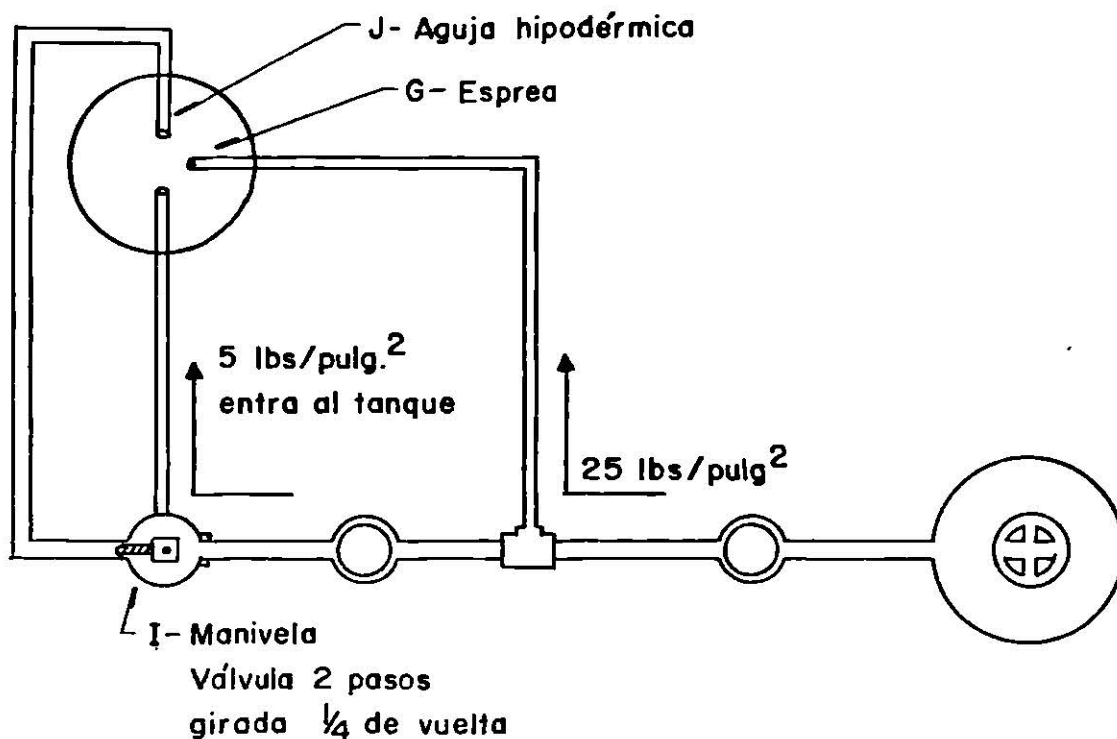


FIGURA 9.- FUNCIONAMIENTO DEL APARATO QUEMADOR ACETONA YODURO DE PLATA. (10)

AL COLOCAR LA MANIVELA (VALVULA I) EN LA NUEVA POSICION SE PERMITE EL PASO DE GAS BUTANO - - (A 5 lbs/pulg.²) AL INTERIOR DEL TANQUE CON ACETONA-YODURO DE PLATA (A) SIENDO ASI FORZADA LA-SOLUCION A SALIR POR LA AGUJA HIPODERMICA (J) - DONDE SE ATOMIZA, MEZCLA Y ENCIENDE JUNTO CON - EL GAS BUTANO, A LA SALIDA DE LA PIEZA DE FIE--RRO FUNDIDO.

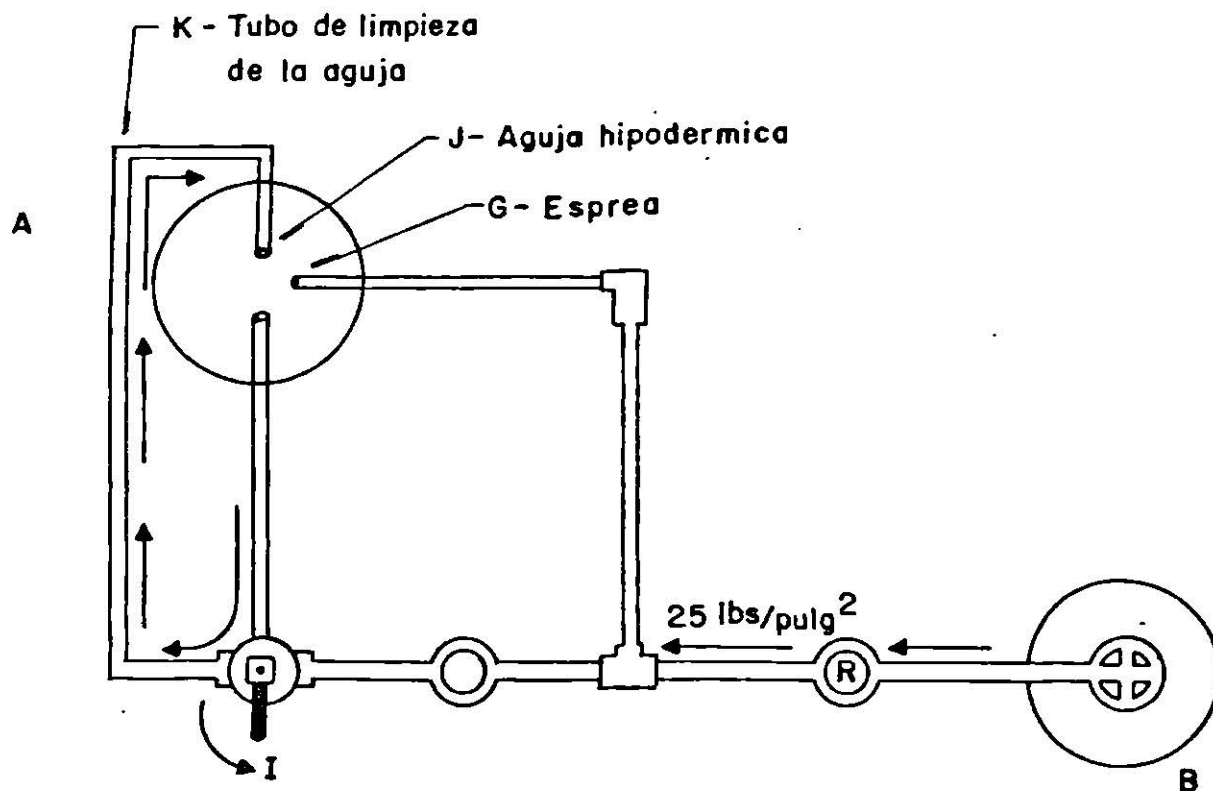


FIGURA 10.- FUNCIONAMIENTO DEL APARATO QUEMADOR ACETONA YODURO DE PLATA. (10)

ANTES DE APAGAR EL APARATO QUEMADOR (AL FINALIZAR EL TRABAJO DE CADA DIA) SE VUELVE LA MANIVELA (I) A SU POSICION ORIGINAL. ASI YA NO ENTRA GAS BUTANO AL TANQUE (A) Y EL GAS QUE SE ENCUENTRA EN SU INTERIOR, SALE POR UN TUBO (K) Y FLUYE POR LA AGUJA (J) ARRASTRANDO Y LIMPIANDO LOS RESIDUOS DE AgI , DE LA AGUJA HIPODERMICA, UNOS MINUTOS DESPUES (AL CAMBIAR EL COLOR DE LA FLAMA) SE CORTA EL SUMINISTRO DE GAS BUTANO, QUEDANDO ASI EL APARATO LISTO PARA OTRA ENCENDIDA.

3.5 Selección de los días propicios

Según trabajos que se han desarrollado en nuestra región (Monterrey 1969, Santa Catarina, etc.) se ha considerado como único parámetro, el contenido de humedad atmosférica de cada día con los datos registrados en el radio sonda, también se considera una capa atmosférica, limitada por los niveles 423 y 7 mil m.s.n.m. La cota 423 corresponde a la estación radiozonda.

Se calculan los valores de saturación del aire con vapor de agua, tomando en cuenta la presión barométrica y la temperatura, de cada nivel reportado en el radiosondeo y se expresan en gramos de vapor de agua por metro cúbico de aire. Con éstos valores de saturación teórica, se calcula la lámina de agua precipitable o sea lámina que se produciría si un prisma de atmósfera de 1.00 x 1.00 de base y 6,577 m. de altura (niveles 423 a 7 mil M.S.N.M.) con las características de presión y temperaturas registradas, a diferentes niveles, se encontrase saturada (100% HR) y por algún medio imaginario se pudiese precipitar toda esa agua en la base lo que nos daría una lámina de agua precipitable (mm) determinada, (LAP teórica con 100% de saturación). (9, 10)

Así mismo, se calcula lámina de agua precipitable real lap para cada día, o sea lámina que se precipitaría, si en ese misma prisma mencionado anteriormente, se precipitara todo el vapor de agua que realmente existe, de acuerdo con los valores de por cientos de humedad relativa registrados en cada nivel; las relaciones lap/LAP dan cifra que multiplicandose por cien dan un valor de "saturación general", del prisma considerado que viene siendo el % de saturación.

Y en función a éste porcentaje de saturación, se clasifican los días en propicios y no propicios, los días con --

menos del 50% se consideran como no propicios.

Para efectuar la evaluación de los trabajos, se deja un día propicio sembrado y otro no sembrado (para así comparar las precipitaciones registradas en unos y otros días).

Posterior al cálculo del porcentaje de saturación se estima la dirección y distancia a que sería arrastrado el yoduro de plata, de acuerdo con los datos de dirección y velocidad del viento registrado cada día.

Si el día en cuestión era propicio y tocaba ser sembrado, se hacen funcionar los aparatos. (2, 9, 10)

3.5.1 Cálculo del % de saturación y desplazamiento por el viento

a) Cálculo del % de saturación. De la estación de radio obtienen datos de presión, temperatura y % de humedad relativa a diversas alturas sobre el nivel del mar; con el dato de presión y temperatura, se obtiene el valor de humedad específica saturada sobre el agua (r_w) en gramos de vapor de agua, por - kilogramos de aire (saturation mixing ration over water) estos valores y las fórmulas de más adelante se tomaron del libro de tablas meteorológicas del instituto Smithsonian de E.U.A. (Smittsonian meteorological tables:, edición 6a. de la misma -- Institución). Se tomaron además los siguientes valores y consideraciones, (10)

1. Peso molecular aparente de aire seco (M) 28,966,
2. Temperatura absoluta del punto de congelación (0°C) T, igual a 273. 16° kelvin.
3. Peso molecular del vapor de agua (Mw) igual a 18,0160.
4. Densidad del aire (ρ) =

$$\rho = .34838 \frac{P}{T \cdot V} \quad (I)$$

en donde (ρ) es la densidad del aire, en kilogramos por metro cúbico; P es la presión atmosférica en milibarios y T·V esta temperatura virtual ajustada del aire, en grados kelvin (temperatura absoluta).

$$5. \quad T'V = T V. C \quad (II)$$

c = factor de compresibilidad, que para valores usuales hace que el valor de $T V$ varíe alrededor de 0.1°C (libro de tablas) por lo tanto se puede considerar prácticamente que $T'V = T V$ en (III) nuestro caso.

6. La temperatura virtual $T V$, se puede escribir en la expresión.

$$T V = T \frac{(1 + r/E)}{(1 + r)} \quad (IV)$$

donde r = humedad específica o "mixing ratio".

$$E = \frac{M_v}{M_a} = \text{relación de pesos moleculares del vapor de agua, y aire seco (E = 0.62 197)}$$

$$T = \text{Temperatura absoluta } ^\circ\text{K} = (T^\circ\text{C} + 273.16)$$

7. Tomando en cuenta lo anterior (Formula I, III, IV) podemos considerar que:

$$\rho = \frac{0.34838 p (1 + r)}{T (1 + r/E)}$$

8. Tenemos además que:

$$U = \% \text{ H R} = \frac{r}{r_w} 100 \quad \text{y} \quad E = 0.62197$$

9. Por lo tanto podemos escribir

$$\text{densidad (rho)} = \rho = \frac{0.34838 p \left(1 + \frac{r_w U}{100000}\right)}{(T^\circ\text{C} + 273.16) \left(1 + \frac{r_w U}{62197}\right)}$$

ya que en los datos de radiosondeo se reporta.

$U = HR =$ en porciento (hay que dividir por 100 los valores de r_w U

$P =$ presión en milibarios

$T =$ temperatura en °C y de las tablas

$r_w =$ humedad específica saturante, en gramos de vapor de agua por kilogramos de aire seco (por esto se dividieron por mil los valores de r_w), para tener Kg. de vapor de agua por kilogramos de aire. (10)

10. Los valores (ρ) densidad del aire en Kg/m^3 y multiplicados por r_w en Kg de vapor de agua por Kg de aire seco (cuando este aire se encuentra saturado), podemos decir que es la humedad absoluta del aire saturado (A_s) bajo determinadas condiciones de temperatura, (factor fundamental para la cantidad) la presión (p) y 100 % HR será igual a:

$$A_s = \rho r_w \text{ en Kg de vapor de agua}/\text{m}^3 \text{ de aire, donde}$$

$A_s =$ Humedad absoluta de saturación.

11. La humedad real del aire, para los mismos valores de T° y P , pero valor de HR diferente a 100%.

$$A = \frac{A_s}{100} \frac{HR}{100} \text{ en Kg de vapor de agua}/\text{m}^3 \text{ de aire}$$

$A =$ Humedad absoluta, real en Kg de vapor de agua/ m^3 de aire.

12. Con estos datos de humedad (As, A) y los niveles SNM a que se encuentran podríamos construir 2 gráficas en ordenadas son los niveles y las abscisas son valores de As y A respectivamente; uniendo los puntos tendremos una serie de trapecios con los contenidos de humedad en prismas hipotéticas de 1 metro por lado y de alto y los límites son los niveles reportados en cada radiosondeo. La suma de las áreas de los trapecios obtenidos de los niveles comprendidos y As nos daran respectivamente la lámina de agua precipitable teórica, si estuviese 100% saturada de vapor de agua, toda la columna (LAP) en un caso; y la lámina de agua precipitable real o sea con los valores registrados de % de humedad relativa (A) en el radiosondeo (Lap) en el otro caso. Estos valores son diferentes en cada radiosondeo, ya que dependen --- principalmente de las temperaturas registradas y de las presiones a diversos niveles. (10)
13. La relación de Lap y LAP y por cien, nos da el % de saturación general de la atmósfera, entre los niveles con siderados. Este valor es el que se toma la clásifica ción de días propicios y no propicios para el experimen to.
14. Se considera que los datos obtenidos en los radiosondeos son representativos en un radio de 150 Km, lo más re comendable es que halla el mayor número de estaciones - meteorológicas posibles. (10)
- b) Calculo del desplazamiento por el viento.

Una vez que se ha clasificado el día según su porcentaje de humedad, se calculan las posibles trayectorias o desplazamientos a que está sujeto el vapor de yoduro de plata, en caso de hacerse funcionar un aparato quemador, hipotéticamente situado en la estación radiosonda y considerando los datos de viento (dirección y velocidad en las diversas capas) de los mismos radiosondeos de las mañanas hasta una altura de diez mil metros sobre el nivel del mar.

Las velocidades de ascenso de los núcleos de congelación se considera que pueden variar de algunos centímetros a varios metros (0.10 a 1.50 m. por segundo). En estudios realizados en la Universidad de Colorado EUA, se consideró una velocidad ascensional de 0.75 m por segundo y la dispersión del yoduro de plata (influido por la turbulencia del aire y las velocidades de ascenso y horizontales), se consideró que fluctúan, en ángulos de 45° a 15°. Para estos casos se considera un ángulo de dispersión horizontal de 30°.

(10)

Los datos del viento están reportados por espesores de atmósfera con igual dirección y velocidad. Se calculan los anchos del haz de yoduro de plata y los desplazamientos de la siguiente manera, para cada espesor ó capa.

1º Se expresa el espesor (E) en metros, se divide por la velocidad ascensional (Va) en metros por segundo y se obtiene el tiempo en segundos que tardarían teóricamente, los núcleos de yoduro de plata (Ag I) en cruzar cada capa ó espesor. $T = E/v_a$.

2º Durante ese tiempo (T), los núcleos estarán sujetos a un desplazamiento horizontal, en función de la dirección del viento y la velocidad (v) en ese espesor. Por lo ---

anterior durante ese tiempo (T) segundos será desplazado (D) metros.

$$D = T \cdot v = \text{mts.}$$

donde v = velocidad media cada capa, expresada en mts/seg.

3º Acumulado sucesivamente cada uno de los desplazamientos calculados en cada espesor. (D_{ac}), tendremos el desplazamiento acumulado, con el cual podemos calcular el ancho (A) del haz de yoduro (dispersión horizontal) teniendo en cuenta un ángulo 30° , esto es:

$$A = D_{ac} \cdot 0.540 = \text{mts. } 6 \text{ Kms., según éste } D_{ac}.$$

4º Así resumiendo, tendremos para cada límite superior de los espesores, la dirección del viento, el desplazamiento en esa dirección y el ancho del haz del Ag I.

5º Con estos valores se van trazando en un papel los desplazamientos resultantes, tomando en cuenta, que las direcciones de vientos reportados son de donde éste sopla y que el yoduro es arrastrado por el viento, al mismo tiempo que asciende. (10)

3.6 Material y equipo empleado en la estimulación artificial de la lluvia en Nuevo León en el período 1980 - 1986.

El objetivo de éste programa es el de conseguir la -- máxima cantidad de agua para una condición climatológica dada.

Del agua de lluvia se generan las aportaciones de volumenes hidráulicos a las presas y también a los acuíferos subterráneos.

Debido a lo antes expuesto, el programa se enfoca principalmente a respaldar el abastecimiento de agua para la ciudad de Monterrey. Por una parte se trabajaron las cuencas de las presas de "Cerro Prieto" y "La Boca". Por otra parte sobre el área de recarga de los acuíferos conocidos como campos de pozos "La Huasteca" y "Mina", Fig. 11, así como también el programa está sujeto a una ayuda eventual a las zonas de temporal del estado.

Se tiene evaluado el método a emplear y se puede esperar un incremento mínimo de un 20% en los almacenamientos en las presas por encima de los valores que se obtendrán - en forma natural.

Sobre el rendimiento en la recarga de los acuíferos no se tiene experiencia, pero se atenderá éste renglón regularmente a lo largo de varios años (entre seis y diez años) para llegar a una conclusión confiable.

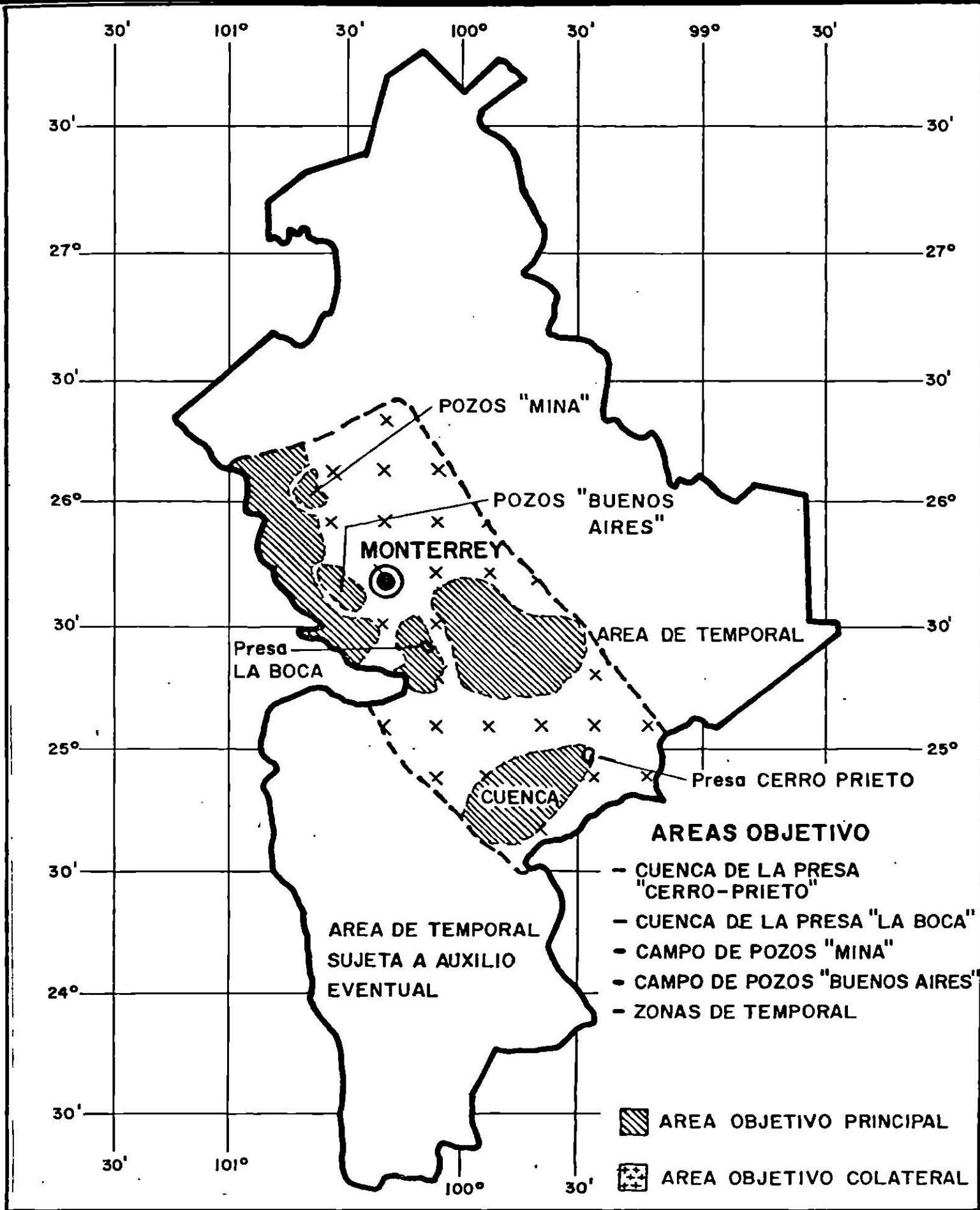


FIGURA 11.- AREAS OBJETIVO EN LA ESTIMULACION ARTIFICIAL DE LA LLUVIA EN NUEVO LEON 1980 - 1986. (16)

Por naturaleza es difícil circunscribir los efectos del programa a una zona determinada, pues las nubes se mueven a merced de los vientos.

La estimulación artificial de la lluvia en éste programa es mediante dispositivos aerotransportados, por lo cual se cuenta con un avión bimotor que puede ser Aereocomander 680 ó 680 F ó un Bee-chcraft Queen Air equipados para la estimulación de lluvias, con tripulación especializada; materiales químicos nucleantes y todo lo relativo a su operación desde un aeropuerto de la ciudad de Monterrey, N.L.

Se llevan 2 tanques de 70 litros cada uno con el reactivo que va en una proporción de 10 grs. de yoduro de plata por litro de acetona, donde la acetona actua como solvente y enfriador; se lleva otro tanque el cual está cargado con aire con una presión de 100 lbs/pulg.², el cual está conectado con los dos tanques que contienen reactivo, con la finalidad de que el reactivo salga finamente atomizado en la base de la nube.

La siembra se inician en el mes de Mayo y terminan en Octubre para cubrir el período en que se presentan las oportunidades para estimular los mantos nubosos (ver climograma de Gausson) Fig. 12 y 13.

El tipo de nubes que se estimulan generalmente son los Cúmulos Nimbos, debido a que son los que presentan las mejores condiciones para la estimulación artificial. (16)

Climográfica de Gaussen

ESTACION: Cerro Prieto

COORDENADAS: Latitud Norte 24° 56'
 Longitud Oeste G. W. 99 24'
 a. s. n. m. 250 m.

Datos correspondientes a 30 años de operaciones (según S. R. H.)

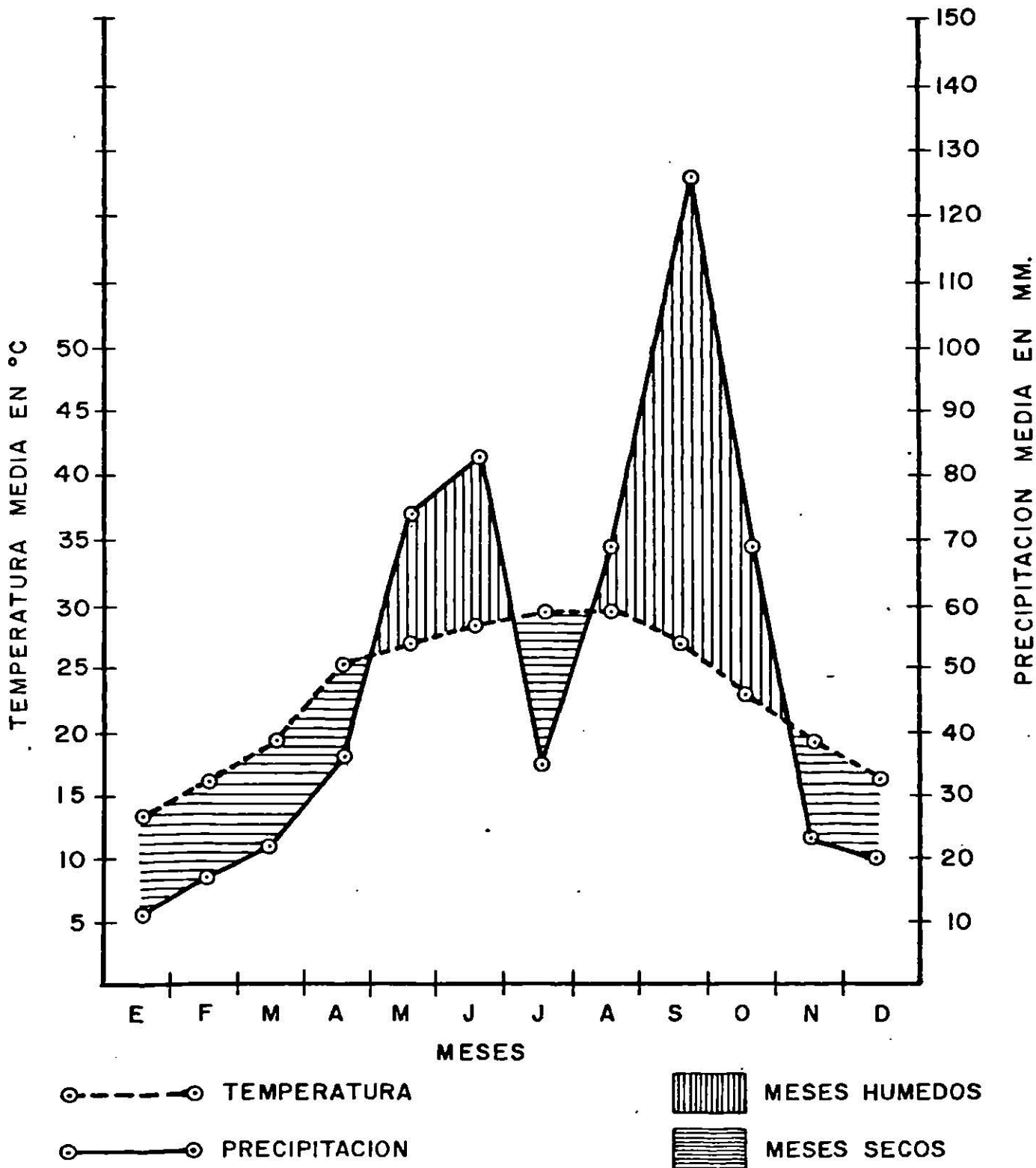


FIGURA 12.- CLIMOGRAFICA DE GAUSSEN ESTACION CERRO PRIETO. (16)

TABLA 1.- DATOS METEOROLOGICOS ESTACION CERRO PRIETO. (16)

M E S	PRECIPITACION MEDIA	T E M P E R A T U R A			HELADAS (DIAS, MAX)
		MEDIA	MAXIMA	MINIMA	
ENERO	10.9	13.8	17.7	11.6	6.0
FEBRERO	16.9	16.2	22.8	13.9	7.0
MARZO	22.9	19.8	24.0	16.3	1.0
ABRIL	36.6	25.6	29.0	19.8	-
MAYO	74.5	27.0	29.7	21.4	-
JUNIO	83.0	28.9	31.5	24.9	-
JULIO	35.0	29.7	31.9	26.4	-
AGOSTO	69.1	29.6	31.9	27.0	-
SEPTIEMBRE	125.7	27.0	28.7	24.3	-
OCTUBRE	69.2	22.9	27.2	15.2	-
NOVIEMBRE	23.5	19.1	22.0	15.8	4.0
DICIEMBRE	20.0	16.3	22.2	12.0	3.0
MEDIAS ANUALES	583.9	23.2	24.0	20.8	9.0

Climografica de Gausсен

ESTACION: La Boca

COORDENADAS: Latitud Norte 25° 25' 37"
 Latitud Oeste G.W. 100° 08' 50"
 a. s. n. m. 416.04

Datos correspondientes a 31 años
 de operacion (según SARH)

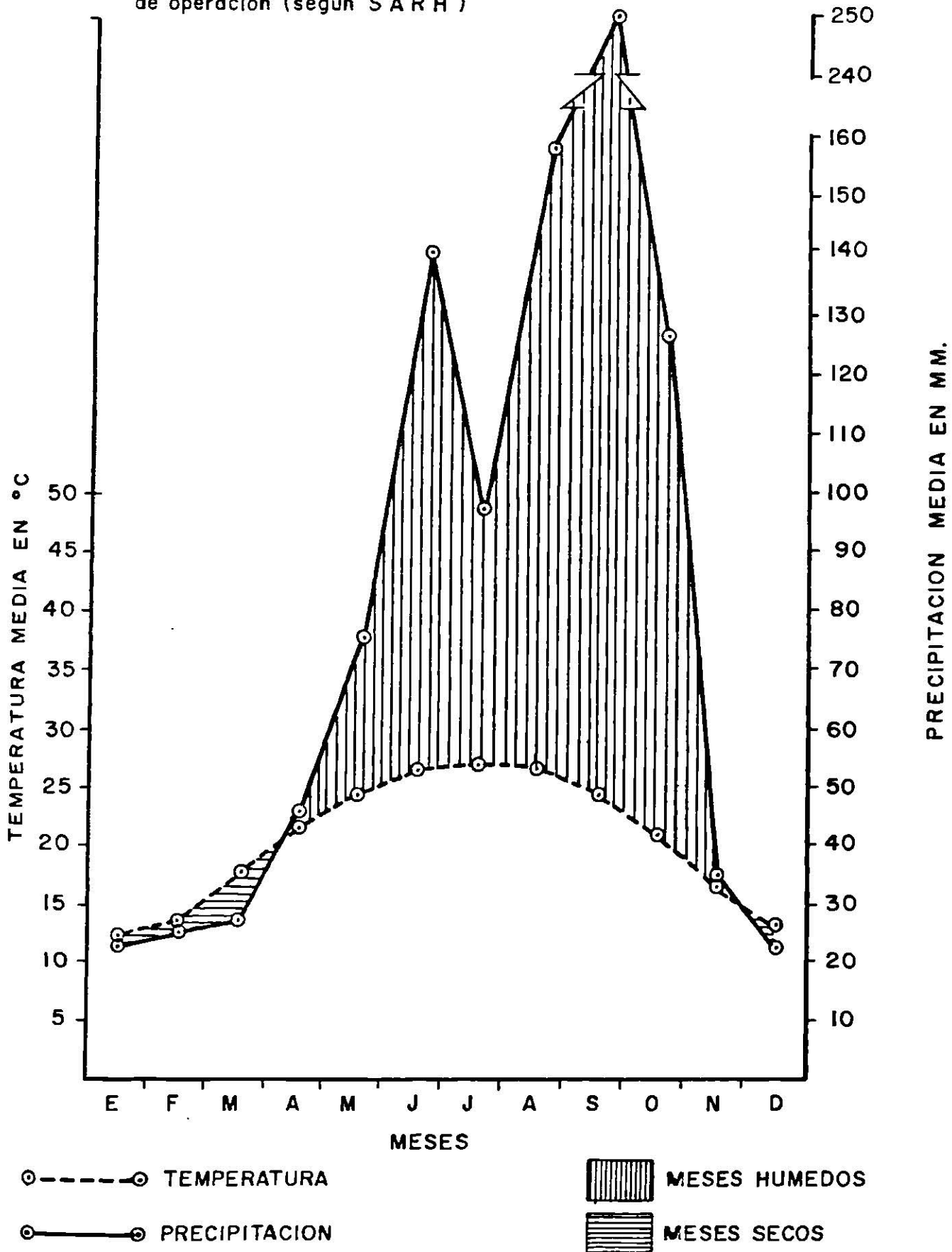


FIGURA 13.- CLIMOGRAFICA DE GAUSSEN ESTACION DE LA BOCA. (16)

TABLA 2.- DATOS METEOROLOGICOS ESTACION LA BOCA. (16)

M E S	PRECIPITACION MEDIA	T E M P E R A T U R A		
		MEDIA	MAXIMA	MINIMA
ENERO	23.00	12.13	16.20	9.20
FEBRERO	25.20	13.75	19.80	11.60
MARZO	27.10	18.05	20.40	14.90
ABRIL	46.10	21.97	26.40	18.50
MAYO	75.70	24.59	29.90	22.40
JUNIO	140.20	26.63	29.10	24.00
JULIO	97.00	27.10	29.10	24.90
AGOSTO	157.90	26.99	28.80	25.00
SEPTIEMBRE	249.10	24.71	27.20	22.10
OCTUBRE	126.70	21.15	25.10	18.10
NOVIEMBRE	35.50	16.70	22.40	12.00
DICIEMBRE	22.50	13.32	16.30	9.90
MEDIAS ANUALES	1025.90	20.67	22.30	18.90

4. Resultados

1. Hay algunos indicios, pero no del todo claros, de que las cantidades ó distribución de las precipitaciones que caen de nubes ó sistemas tempestuosos aislados, puede ser influidos por las técnicas de estimulación artificial de la lluvia. Parece lógicamente seguro, que los sistemas tempestuosos sobre fundidos de tipo orográfico se dejan influir hasta aumentar un 10% su precipitación natural.
2. Experimentos de siembras de nubes de tipo cúmulos - parecen presentar cierto éxito, aunque también se registran fracasos. En algunos casos se observó déficit tanto como exceso. A veces se modificó el reparto más bien que la cantidad precipitada.
3. Hay un amplio márgen de opiniones sobre el éxito de los experimentos encaminados a combatir el granizo, evitar los rayos, disipar nieblas y estratos bajos, así como la disolución de tormentas tropicales.

(15)

4. Se ha informado que la siembra de nubes orográficas sobre la cuenca del río King en California E.U.A., durante un período de 10 años ha producido un amento de un 6% en la escorrentía con aumentos para años individuales que varían desde el 2 al 68%. Otros experimentos de siembra realizados sobre nubes orográficas reportan que se ha producido un aumento en la precipitación de más de 100% para períodos individuales, cuando la siembra se realizó únicamente bajo las condiciones más favorables de temperatura y viento. (10)

La opinión generalizada entre los científicos es que la estimulación artificial de la lluvia puede aumentar la precipitación en áreas de algunas decenas de kilómetros de diámetro entre un 10 y un 30%. En otros casos la siembra puede disminuir la precipitación en el mismo porcentaje y en otro puede no tener efecto alguno; desgraciadamente se han hecho pocos progresos para identificar las determinadas circunstancias que producen cada uno de éstos efectos.

Los problemas científicos y prácticos de la modificación del tiempo son sumamente complejos. Para conseguir resultados útiles, es menester que las modificaciones sean predecibles, rindan frutos efectivos que respondan a una necesidad y no ocasionen en otros sitios consecuencias perjudiciales. (2)

5, Conclusiones y Sugerencias

De los estudios realizados se puede concluir que se pueden obtener aumentos en la precipitación en determinadas áreas, principalmente las cercanas o cerros ó montañas. Es posible que al incrementarse o redistribuirse la precipitación, se puede causar una aparente disminución en la precipitación en zonas vecinas; parece conveniente y deseable -- que se continúe con los trabajos de investigación sobre la estimulación de la lluvia.

Por otro lado es importante pugnar por que se aumente la información meteorológica, incrementando el número de estaciones de radiosonda en la zona afectada, así como la de estaciones pluviométricas y pluviográficas.

Parece importante y necesario trabajar con dispersión directa de yoduro de plata en las nubes, simultánea al funcionamiento de aparatos asentados en el terreno.

Es deseable que se planee la forma de controlar algunas zonas los trabajos de investigación de estimulación de la lluvia, para que no se interfieran los trabajos de investigación con trabajos aplicativos, así como controlar a los particulares que intenten estimular la lluvia en cualquier entidad, por la posible disminución en precipitación ó redistribución de éstas en zonas aledañas.

Los meteorólogos y estadísticos discuten animadamente -- sobre los resultados de la estimulación artificial de la -- lluvia, la razón principal del desacuerdo es la dificultad de valorar los resultados de los experimentos. Por ejemplo, cuando se ha estimulado una nube ó un sistema borrasu

coso y se mide la precipitación resultante, no es posible determinar exactamente cuanto habría llovido si no hubiese habido estimulación artificial.

Las técnicas de predicción del tiempo no pueden realizar aún predicciones con la exactitud suficiente para responder a ésta pregunta. Se cree que los efectos de la estimulación, son relativamente pequeños comparados con la naturaleza cambiante de la precipitación. Por ésta razón deben emplearse pruebas estadísticas sensibles y bien ideadas. El enfoque más satisfactorio es el que incorpora un procedimiento al azar mediante el cual se estimula tan solo una parte de las nubes ó borrascas adecuadas (generalmente la mitad). Entonces se compara la muestra estimulada con la no estimulada y se calcula la probabilidad de que las diferencias observadas sean debidas al azar y no a la estimulación con yoduro de plata.

6. BIBLIOGRAFIA

1. BARRY R.G. Y CHORLEY R.J. 1972, Atmósfera, Tiempo y Clima. Ed. Omega, S. A. pp 27, 93 - 97.
2. BALTAN L.J. 1976, El Tiempo Atmosférico. Ed. Omega. University of Arizona. pp 124 - 127.
3. CRITCHFIELD H.J. 1974, General Climatology. By - - - Prentice-Hall-Inc, Englewood Cliff, New Jersey. - - - pp 397 - 405.
4. CROWE P.R. 1971, Concepts in Climatology. Ed. Longman. University of Manchester. pp 119 - 120.
5. CUSTODIO E. LLAMAS M.R. 1976, Hidrología Subterránea. Ed. Omega. pp 2219 - 2222.
6. DURAND F. DASTES. 1972, Climatología. Ed. Ariel. -- pp 250 - 254.
7. "ESTIMULACION DE LA LLUVIA EN MONTERREY". Informe 1969, U.N.L-S.A.R.H.-CAP.
8. FOLLETO DE METEOROLOGIA. 1980, Facultad de Agronomía, U.A.N.L. Marín, N. L.
9. KAZMANN R.G. 1974, Hidrología Moderna. Ed. C.E.C.S.A. pp 47 - 75.
10. LINSLEY R.K. 1979, Hidrología para Ingenieros. Ed. Mc. Graw Hill, México. pp 45 - 53.

11. LUQUE J.A. 1981, Hidrología Agrícola Aplicada. Ed. Hemisferio Sur. pp 48 - 51.
12. MANUAL DE CONSERVACION DEL SUELO Y DEL AGUA. 1982, Dirección General de Conservación del Suelo y Agua S.A.R.H. Colegio de Postgraduados Chapingo, México. pp 29 - 30
13. MASON B.J. 1972, Nubes, Lluvia y Lluvia Artificial. Ed. E.U.D.E.B.A. Buenos Aires. pp 150.
14. MEDINA M. 1977, Iniciación a la Meteorología. Ed. - Paranifosa. pp 209 - 213.
15. PETTERSEN SVERRE. 1976, Introducción a la Meteorología. Ed. Espasa-Calpe, S.A. Madrid. pp 138 - 148.
16. PROGRAMA DE ESTIMULACION DE LLUVIAS. 1986, S.A.R.H. Gobierno del Estado de Nuevo León.
17. REMENEIRAS G. 1974, Tratado de Hidrología Aplicada. Editores, Técnicos, Asociados, S. A. Barcelona. -- pp 71 - 75.
18. VAZQUEZ A.R. 1984, R.S.A.P. (1era. Parte) Colegio de Graduados, F.A.U.A.N.L. Marín, N. L.
19. VIERS G. 1975, Climatología. Ed. Oikos-Tau, S. A. - Barcelona-España. pp 91 - 93.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

- 1.- LIST ROBERT U.
"SMITHSON METEOROLOGICAL TABLES"
Publicado por el Instituto Smithsonian, 6a.
Edición.
- 2.- WEATHER AND CLIMATE MODIFICATION.
Problems and Prospects. National Academy of
Sciences National Research Council, Publication
No. 1350. Washington, D. C., 1966.
- 3.- Preprints of the "First Conference on Weather
Modification", AMERICAN METEOROLOGICAL SOCIETY.
1968. Boston, Mass.
- 4.- Reprints of the "SECOND CONFERENCE ON WEATHER
MODIFICATION". AMERICAN METEOROLOGICAL SOCIETY.
1970. Boston, Mass.
- 5.- "ESTIMULACION DE LA LLUVIA EN MONTERREY", Informe
1968, U.N.L. - S.A.R.H. - C.A.P.

