

2ej
50

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE CIENCIAS

"DISEÑO EXPERIMENTAL DE MODIFICACION DEL
TIEMPO".

T E S I S
que para obtener el título de
F I S I C A
presenta
Ma. Isabel Villaseñor Díaz

México D.F.

1984.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

	Pag.
Introducción	1
CAPITULO I Diseño de las operaciones experimentales de "Siem- bra de Nubes"	3
CAPITULO II Selección de Métodos de evaluación para los expe- rimentos.	24
CAPITULO III Estimulación de la lluvia en la Sierra de Chichinau- tzin.	55
Conclusiones.	90
Referencias	94

Introducción.

Desde el año 1946 se han realizado en el mundo experimentos de "siembra de nubes" con diversos fines; como son: incrementar la precipitación, supresión del granizo, incrementar las nevadas, suprimir las nieblas, etc. Para todo lo anterior se hace necesario efectuar primeramente el diseño experimental adecuado, porque este tipo de experimentos son particularmente difíciles de evaluar, tanto por la variabilidad natural del fenómeno por modificar, como por el instrumental necesario para hacer mediciones, inclusive dentro de la nube, etc.

Este trabajo es una investigación, en el que se presenta primero un diseño para los experimentos de "siembra de nubes" en la República Mexicana, el instrumental mínimo necesario para las mediciones indispensables y el personal más idóneo que debe ser empleado en la dirección y control de los experimentos. Todo lo anterior es con el objeto de que los experimentos que se realizan en México sigan, por lo menos, esta metodología y poder llegar a resultados confiables desde el punto de vista estadístico, o bien, tener los medios necesarios para una evaluación física.

En los experimentos de "siembra de nubes" realizados en México, en ninguno de ellos se puede afirmar que se ha llegado a conclusiones definitivas, porque nunca se han efectuado en base a una planeación y un diseño experimental adecuado, no se ha contado con el personal apropiado, no han sido dirigidos adecua

damente debido a que no existen especialistas en esa disciplina ni se ha dado el suficiente apoyo económico.

En el último capítulo de este trabajo se hace el análisis de los datos de la precipitación de los años 1974, 1975 y 1976, que fueron obtenidos por la Comisión de Aguas del Valle de México, que realizó experimentos, a gran escala, de "siembra de nubes" en la Sierra de Chichinautzin, con generadores situados en tierra. De los resultados del análisis, se ve la importancia de tomar en cuenta los puntos señalados en los primeros dos capítulos.

CAPITULO I

Diseño de las operaciones experimentales de "Siembra de Nubes"

El objetivo en el diseño de las operaciones de "siembra de nubes", son el de hacer mejores diseños de los experimentos para la modificación del tiempo en el futuro; así como, el de la disponibilidad para la comunidad científica de mejores métodos al respecto, de manera que se tenga mejor "evidencia estadística" de los resultados.

Los estudios de meteorología de evaluación, revelan que la utilización óptima de métodos físico-estadísticos, en la evaluación de los resultados de las operaciones de la modificación del tiempo, es muy dependiente del cuidado de los cuatro aspectos que a continuación se indican:

- 1.-Diseño de las operaciones de "siembra de nubes".
- 2.-Determinar el criterio de sembrado.
- 3.-El manejo de toda misión de sembrado.
4. La cantidad y registro de datos, para usarlos posteriormente en la evaluación de los resultados del proyecto de "siembra de nubes".

1.-Diseño de las operaciones:

La etapa inicial en cualquier proyecto de modificación del

tiempo es el diseño de todas las fases de la operación.

El diseño de las fases de la operación es muy importante; tanto para las operaciones del proyecto, como para la evaluación de los resultados. En la fase inicial se definen los siguientes aspectos de las operaciones: criterio de siembra, facilidades de equipo, personal, técnicas operacionales, ..., otros aspectos de las operaciones.

Solamente aquellas personas con experiencia y conocimientos en modificación del tiempo deben ser incluidas, esto es, con criterios de innovación y bases científicas en el campo de modificación del tiempo, de preferencia profesionales en ciencias de la atmósfera, meteorología sinóptica, climatología, física de nubes y dinámica de la atmósfera.

En las siguiente tabla (Tabla I), se indica la secuencia básica de los pasos del diseño que se consideran necesarios.

TABLA I.

A.-Revisión, análisis y evaluación de los factores climatológicos sinópticos en la zona de blanco y sus alrededores.

B.-Designación del tipo de nubes y/o del sistema de nubes.

C.-Planeación de la forma de llevar a cabo el procedimiento de la siembra de nubes:

- 1) Material nucleante que será empleado en el sembrado.
- 2) Método que se debe utilizar para colocar en las nubes el material nucleante (avión, generadores en tierra, otros).
- 3) Localización de la parte de la nube que se debe sembrar (base, nivel medio, tope, otros).
- 4) Método de dispersión del material nucleante en la nube (generador de yoduro de plata, bengalas, cohetes, dispersor de hielo seco, etc.).

D.-Necesidades, facilidades y equipos:

- 1) Centro de operaciones.
- 2) Equipo meteorológico.
- 3) Avión.
- 4) Generadores situados en tierra.
- 5) Plano de la región en donde se va a sembrar.

E.-Personal:

- 1) Profesionales con conocimientos en ciencias de la atmósfera y física de nubes.
- 2) Conductores de avión.
- 3) Técnicos en instrumentos de las operaciones de sembrado y técnicos en observaciones.

F.-Medidas que se deben de hacer:

- 1) Meteorológicas.
- 2) De avión.
- 3) De radar.
- 4) Otras.

Después de tener el proyecto de siembra, el tamaño de la zona de blanco, la fecha en que se inicia y la duración del proyecto. Los pasos enunciados en la Tabla I son los básicos que deben seguirse en todos los proyectos de modificación del tiempo, excepto en las operaciones comerciales en las cuales la siembra generalmente no es al azar.

Como primer paso en el desarrollo del diseño del experimento, se recomienda usar como guía el análisis de la climatología sinóptica en la zona de blanco. Esto se aplica tanto en los proyectos experimentales como en los comerciales. Así tenemos que en todos los proyectos, para incrementar la lluvia en la estación de verano, se considera el promedio anual de todas las tormentas y su variabilidad, frecuencia de días con lluvia, clasificación en varias categorías de acuerdo a su intensidad, y, además el número de días en los cuales se observó una característica meteorológica poco frecuente; como puede ser, granizo, inundaciones, tornados, borrascas, etc., que son útiles para estimar las situaciones en que debe sembrarse y la capacidad de inducir diversas cantidades de lluvia por la siembra de nubes, y la frecuencia de eventos de sembrado que pueden ser suprimidos a causa de tormentas violentas.

Antes de establecer definitivamente el criterio de siembra, se debe determinar el tipo de nubes que serán tratadas durante el proyecto. La selección de los tipos de nubes debe estar de acuerdo con el propósito de la siembra, el clima del área objeto del proyecto, y en qué estaciones del año; por ejemplo, cuando se siembra para incrementar la precipitación natural en el transcurso de la estación en el Oeste medio de U.S.A., puede necesitarse primeramente el sembrado de nubes convectivas del tipo Cumulus-aisladas y grupos de nubes Cumulus, tomando en cuenta que en cualquier caso, los sistemas organizados pueden ser los representativos de la precipitación durante el verano (Huff, 1969).

El criterio de siembra de nubes que se aplica en las operaciones, debe basarse en medidas prácticas de variables meteorológicas, las cuales a su vez, se basan en avances tecnológicos recientes en siembra de nubes y aplicar información útil obtenida por el análisis de climatología sinóptica referenta a nubes, y otros factores pertinentes en la zona de blanco. El criterio de siembra también debe considerar aquellos factores que son medibles y que pueden calcularse en forma rutinaria, con frecuencia y aproximación aceptables para poder llevar a cabo una evaluación satisfactoria del proyecto de siembra de nubes, sin pasar por alto ninguno de los requerimientos mencionados.

La determinación de las técnicas para siembra deben ser muy dependientes de los estudios precedentes respecto al tipo de nubes seleccionada para la siembra, y del criterio de siembra que se considere.

Si se tienen facilidades económicas, se necesita un centro operacional con espacio y equipo adecuado para todo el personal. El equipo meteorológico que se use dependerá del tipo del proyecto, si es comercial o experimental. Como mínimo se necesita un radar meteorológico de preferencia de 5 cm o 10 cm de onda, como una ayuda para determinar cuando se debe sembrar, para ayudar a reconocer con suficiente anticipación, eventos significativos del tiempo con características especiales y los cambios posibles que pudieran ocurrir por la siembra de nubes, y para verificar las actividades de siembra en la zona de blanco.

Respecto a las necesidades del avión, generadores en tierra y medios de siembra, variarán con el tipo, objetivo y localización del proyecto, lo mismo para los puntos E y F de la Tabla I

II.-Determinación del criterio de siembra.

Para cada evento de siembra en el transcurso del proyecto es necesario tener información bien documentada de cuando decidir sembrar, o no sembrar, lo cual será muy importante en la evaluación de las operaciones de siembra. Previamente a cada proyecto operacional, se deben seleccionar los métodos y criterios de siembra para que el operador las seleccione de acuerdo a las situaciones. Los meteorólogos expertos en modificación del tiempo deberían ser los más indicados para establecer estos criterios. Como puede haber varios criterios de siembra usados en las operaciones del proyecto, es importante, para finalmente hacer las evaluaciones de los resultados, que se consideren los

eventos de siembra que se realizaron con un determinado criterio.

El potencial de sembrabilidad durante las operaciones, se determina básicamente, considerando pronósticos sinópticos del tiempo y observaciones meteorológicas. Para predecir situaciones de siembra se usan comunmente varias técnicas. Estas técnicas incluyen pronósticos sinópticos del tiempo, tal como el reportado por algún servicio meteorológico, en el que se incluyen los valores esperados respecto a viento, temperatura, punto de rocío, nubosidad, precipitación, y otros parámetros que se obtienen del análisis de cartas de superficie y de altura en las cuales se usan radiosondas, observaciones de superficie, datos de satélite y observaciones del radar. Por tanto, las decisiones de sembrabilidad se basan en varios factores como los que a continuación se mencionan:

- a) Agua precipitable.
- b) Vientos de superficie y de altura.
- c) Tipo y tamaño de las nubes esperadas.
- d) Precipitación natural esperada, etc.

Los modelos de nubes se usan frecuentemente como ayuda para los pronósticos y análisis sinópticos, para determinar las situaciones en que se debe sembrar. Así, para siembra de nubes convectivas, esos modelos usan datos de la atmósfera superior por la mañana y por la tarde. Las predicciones de las nubes generadas por computadora, al procesar los modelos de las nubes, nos proporcionan un método objetivo de sembrabilidad para

una situación del tiempo dado.

En la mayoría de los experimentos, cualquiera que sea su objetivo, el radar es una herramienta indispensable que sirve para múltiples propósitos, uno de los usos importantes es como herramienta de observación para determinar potencialidades de siembra. De acuerdo a los datos que de él se obtienen, es posible modificar las resoluciones de siembra que se hicieron anteriormente con base en los pronósticos sinópticos del tiempo y/o resultados de los modelos numéricos de nubes.

Las observaciones aéreas de varios parámetros atmosféricos, como son: núcleos de congelación, velocidades verticales del viento, concentraciones de núcleos de condensación; se usan también en algunos proyectos como ayuda, para determinar en un día dado, la sembrabilidad.

Sin considerar, cómo el criterio de sembrabilidad es determinado, es muy importante, tener medidas de rutina de aquellos factores meteorológicos a partir de los cuales se determina el criterio de siembra, con una frecuencia tal que permita un análisis efectivo y clasificación de todas las situaciones meteorológicas durante el periodo operacional. Este procedimiento debe ser una necesidad básica de las operaciones de modificación del tiempo con fines experimentales.

Para la determinación diaria de las situaciones de siembra, y no siembra, se requiere de ciertas facilidades y equipo para

obtener la información que servirá como base para las resoluciones de sembrabilidad. Como ya se mencionó anteriormente, las necesidades pueden variar sustancialmente, dependiendo del tipo de proyecto, información disponible, adelantos científicos y tecnológicos, y otros factores.

A continuación se enlistan algunos factores que integran el conjunto de procedimientos, además del tipo de facilidades y equipo que puede servir de ayuda en el proyecto.

A). -Información para determinar el potencial de sembrabilidad:

- 1) Pronóstico sinóptico de nubes, precipitación y características atmosféricas pertinentes.
- 2) Cálculo de propiedades de las nubes a partir de modelos numéricos por medio de una computadora.
- 3) Predicciones de la precipitación natural que se basa parcialmente en el uso de:
 - a) Modelos climatológicos sinópticos.
 - b) Variables predictoras que se calculan de estudios sinópticos históricos.
- 4) Observaciones de satélite y radar de las condiciones en las zonas de blanco y también en las regiones situadas viento arriba de ésta.
- 5) Potencialidad del tiempo con características muy especiales, (granizadas, tornados, trombas, tormentas eléctricas, etc.) basadas en:

- a) Mensajes de alerta de los servicios meteorológicos regionales y nacionales.
 - b) Datos del radar.
 - c) Deducciones de análisis sinópticos del tiempo.
- 6) Otros.

La importancia de A 1. Requiere el acceso a un facsimil y/o máquina de teletipo.

Solamente si la resolución de sembrabilidad es determinada estrictamente de otros datos, tales como ecos de radar y/o las observaciones desde un avión, podemos omitir la recepción de datos por los dispositivos antes mencionados. En esos casos, se hace necesaria e indispensable una vigilancia constante.

- A 2. Requiere del acceso a una computadora apropiada.
- A 3. Puede ser un requisito deseable de la fase del diseño que ayuda en las resoluciones diarias.
- A 4. Requiere de la utilización de las observaciones de satélite y radar, necesidades que son obvias. Como ya se indicó anteriormente, el radar proporciona una excelente comprobación de como las condiciones de sembrabilidad predichas se desarrollan y progresan en el tiempo.
- a 5. Es muy importante en el programa de operaciones de siembra.

La Weather modification Atmospheric Bureau (W.M.A.B.) en 1978, determinó que todos los proyectos operacionales pueden

tener monitoreo en el lugar y tiempo real para reconocer oportunidades de siembra, y eventos de tiempo con características especiales, con anticipación suficiente para evitar la intensificación de tales meteoros por la siembra.

III.-Eventos de siembra de nubes.

En toda misión de sembrado, las necesidades básicas para efectuar las operaciones de siembra de nubes, dependen de varios factores como lo que a continuación se mencionan:

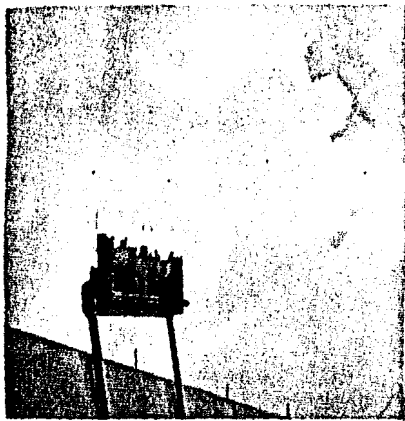
- a) El tipo de operación (comercial o experimental).
- b) Si el sembrado es variable (para producir lluvia, granizo o nieve).
- c) El régimen climatológico de la zona de blanco.
- d) Meses del año en los cuales se realiza la siembra.

Las necesidades también varían, según se usen para la siembra generadores situados en avión, o generadores situados en tierra, para la dispersión del material nucleante. La dirección de las operaciones de siembra debe definirse en la fase de diseño que, como se recordará, se determina que tipo de nubes serán sembradas, el criterio de siembra y de que manera se transportará el material nucleante.

Excepto para siembra de nubes orográficas, ver Fig. (d), con el objeto de aumentar el espesor de la capa de nieve, la siembra generalmente se lleva a cabo con avión. Una primera

consideración en la empresa de sembrar con avión, es una discusión adecuada del sistema para llegar al concepto de siembra. Por ejemplo, si la siembra se debe hacer en el nivel medio de nubes convectivas, el avión mediante el cual se lleve a cabo la operación debe ser el adecuado para volar cuando menos a 20,000 pies de altura. Así mismo, dependiendo del tamaño de la zona de blanco, el número de aviones que se necesitan para realizar la siembra en toda la zona de blanco debe determinarse. El avión debe ser equipado con aparatos para hacer mediciones del tiempo y para dispersar el material nucleante, que pueden ser generadores de humo de yoduro de plata (Ag I), cohetes, dispersores de hielo seco (CO_2) y bengalas, u otras técnicas. Debe haber una radiocomunicación adecuada entre los operadores de los aviones y los del centro operacional en tierra. Especialmente en las operaciones experimentales, se sugiere medir en el avión parámetros selectos de la nube que después se considerarán en la evaluación de los resultados. En este mismo tipo de operaciones se debe registrar la posición del avión a intervalos cortos de tiempo, de ser posible, la posición del avión se puede determinar en la pantalla del radar y fotografiada a intervalos de 5', o menos. Con generadores en tierra, la localización exacta de los quemadores debe ser conocida para cada operación individual. En las figuras (a), (b) y (c), se muestran una nube y dos formas de dispersar el material nucleante: mediante quemadores situados en tierra y haciendo uso del avión.

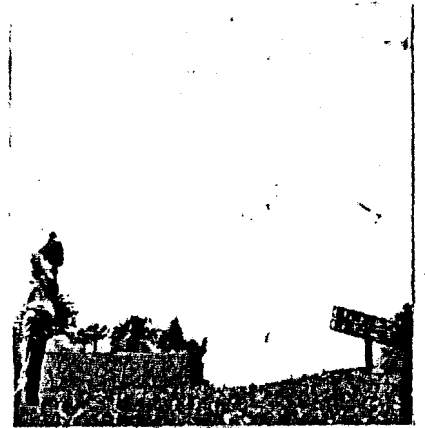
ALGUNOS APARATOS QUE SE USAN EN SIEMBRA DE NUBES



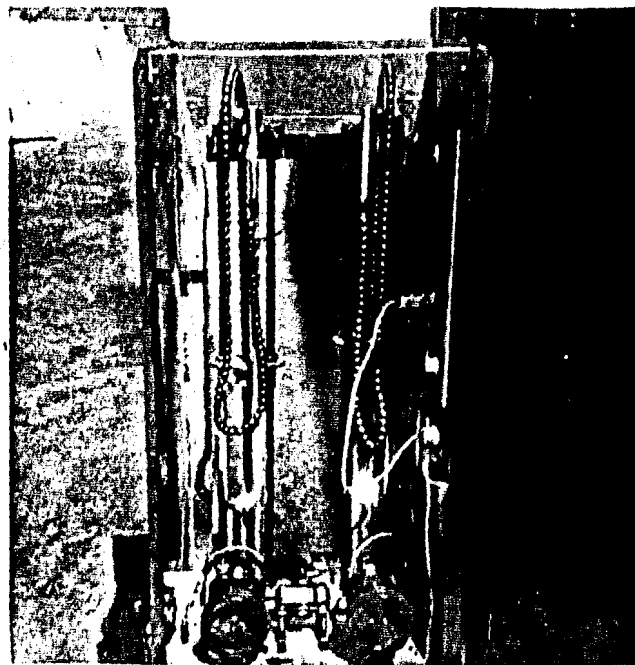
BENGALAS



AVION



COHETE



GENERADOR EN TIERRA
DE YODURO DE PLATA

fig. (a)

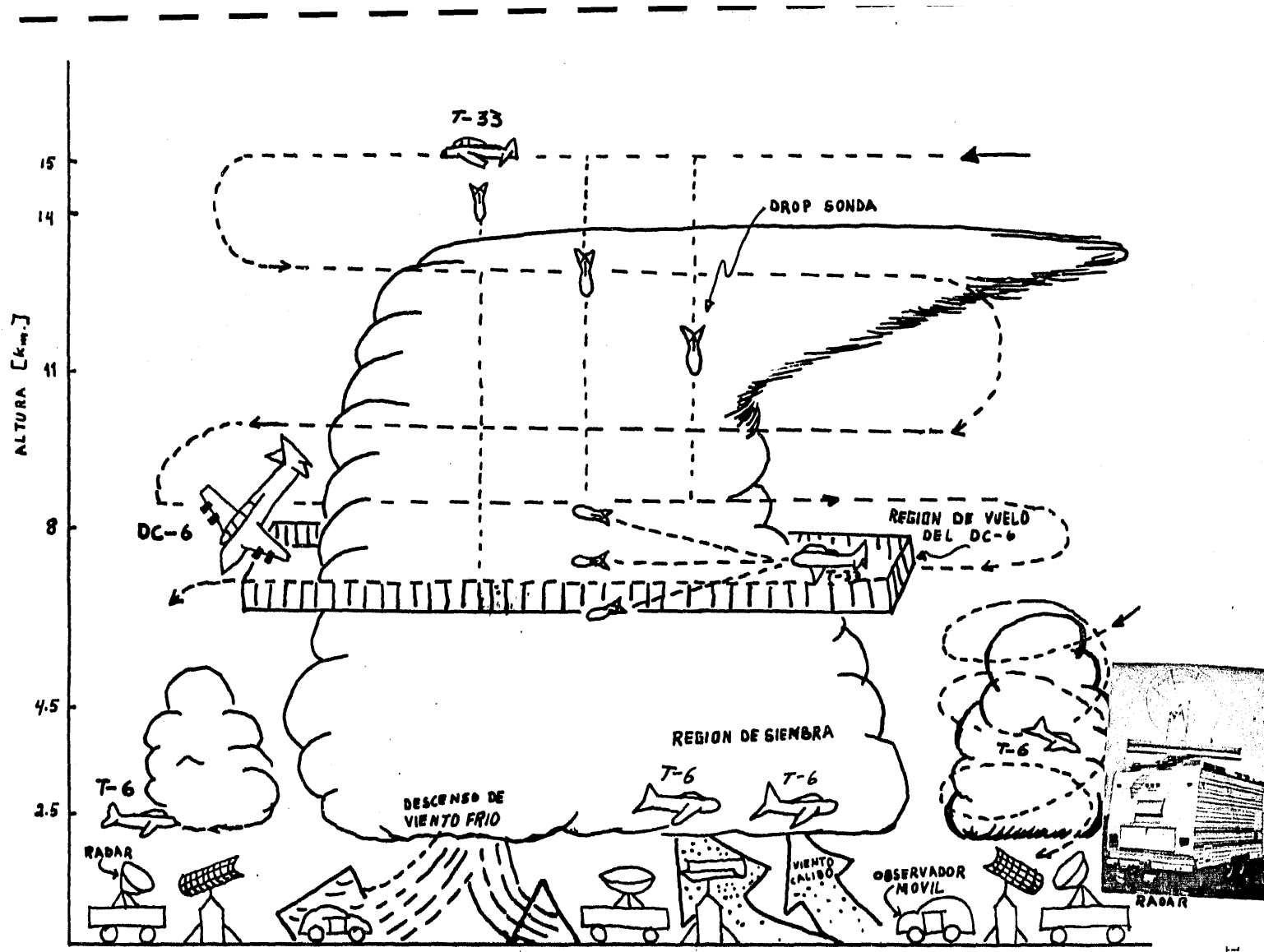


Fig. (6)

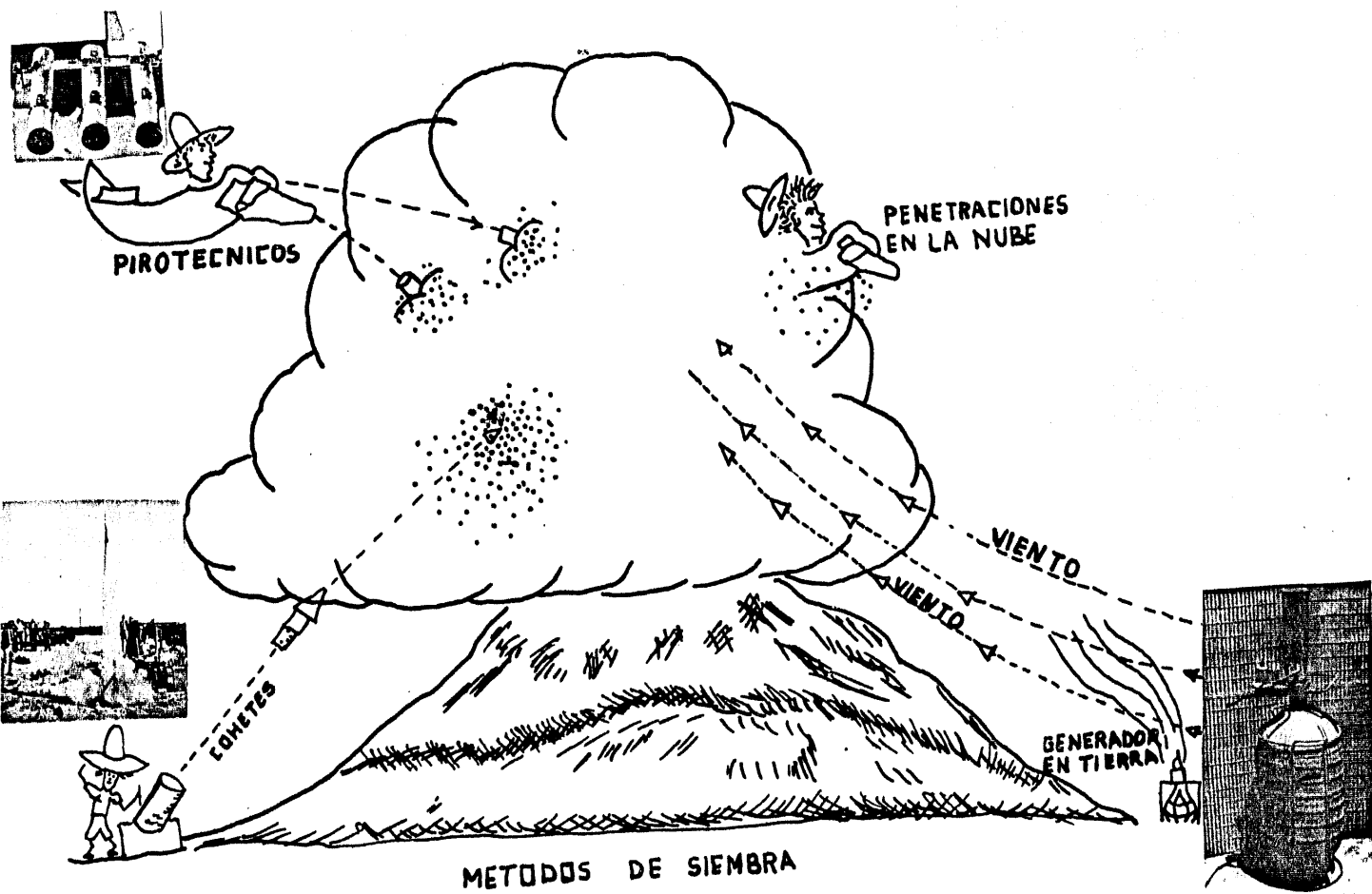
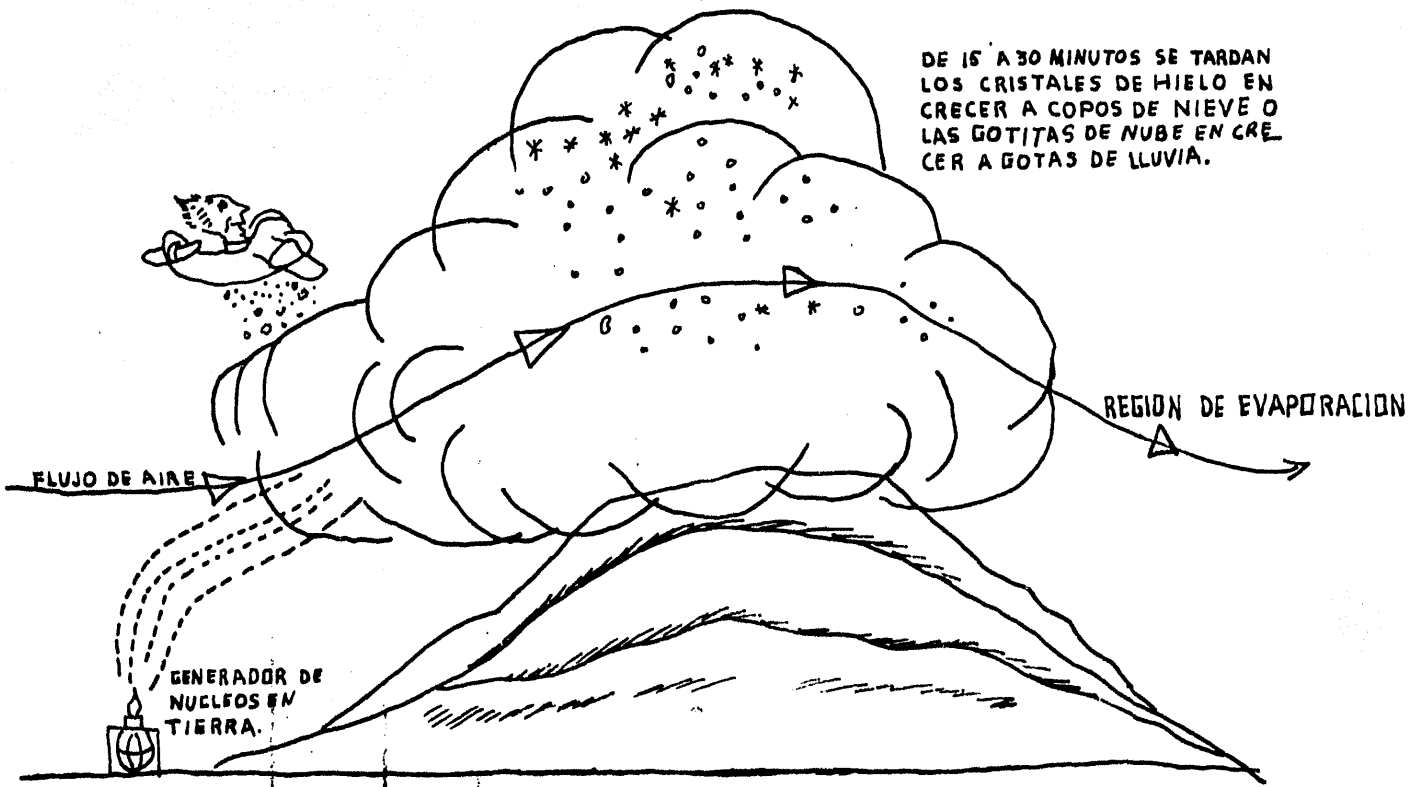


fig. (c)



SIEMBRA DE NUBES OROGRAFICAS

fig. (d)

Componentes de un proyecto experimental de siembra
de nubes.

A.-Sistema aéreo: Es el sistema adecuado para llevar a cabo el concepto de siembra. Entre otros, consta de lo siguiente:

- 1) Aparatos aprobados de modificación del tiempo (generadores de humo de yoduro de plata, bengalas, cohetes, dispersores de hielo seco, etc.).
- 2) Intercomunicación entre aviones y centro operacional en tierra (sistema de radio).
- 3) Capacidad de operación de siembra en la base de la nube, en el nivel medio, o en el tope de la nube.
- 4) Observaciones visuales a intervalos frecuentes.
- 5) Instrumentación para medir parámetros meteorológicos que ayudan al operador a verificar criterios de siembra.

B.-Sistema de radar:

- 1) Fotografías de la pantalla del radar a intervalos frecuentes (10 minutos o menos).
- 2) Radar tipo RHI, de longitud de onda de 5 y 10 cm.
- 3) Diario de vuelo en el cual se registre cualquier cambio significativo en las operaciones y/o problemas encontrados.

c.-Observaciones visuales:

- 1) Centro operacional.
- 2) avión.

D.-Sistema de medida de la precipitación:

- 1) Red de pluviómetros y/o pluviógrafos (donde sea posible hacerla telemetreada).
- 2) Datos de precipitación en el área de blancos y alrededores de ésta durante todas las operaciones. De ser posible datos sobre la ocurrencia del granizo.

E.-Cámaras de nubes (de niebla), viento arriba y sobre el área de blanco (opcional).

F.-Otros (dependiendo de lo que se busque).

En las operaciones experimentales es necesario, hasta donde sea posible, hacer uso de A, B y C. Las operaciones tipo comercial puede limitarse a A-1 hasta A-3, más un sistema de radar.

Colección y registro de datos.

Como parte de las metas en la investigación en operaciones de siembra, y técnicas de evaluación; también se considera la colección de datos y el criterio de manejo de datos para proyectos operacionales, incluye instrumentación para hacer las medidas meteorológicas necesarias, tipos de datos para ser coleccionados y los registros, y el archivo de los datos coleccionados

en la forma más adecuada para facilitar varios tipos de análisis en la evaluación de los resultados.

Los requerimientos instrumentales deben ser establecidos considerando las necesidades de la evaluación, pero deben mantenerse dentro de los límites reales de uso operacional.

En su reporte de 1978, la Weather Modification Atmospheric Bureau (W.M.A.B.), informa que la recolección y archivo de datos de medidas en el tiempo real, deben ser de manera que permitan análisis independientes para apoyar la validez y el diseño de las operaciones. Por ejemplo; ésta puede incluir registros del tiempo y lugar de cada actividad de siembra, coleccionando registros fotográficos de ecos de radar en forma rutinaria y con una frecuencia que permita reconocer los parámetros pertinentes de la tormenta y los cambios que experimentan esos parámetros, y registrar otros datos respecto a características del tiempo, tales como estimaciones de ocurrencias de granizo, datos del viento y registros de datos de precipitación en el área del proyecto; se considera que esas necesidades son razonables y aplicables a las operaciones en proyectos del tipo experimental. Así mismo, los datos necesarios que el operador proporcione y todos los registros de la zona de blanco disponibles, pueden ser útiles para la evaluación de los resultados de las operaciones en proyectos experimentales, no siendo en los proyectos comerciales que no son subsidiados por el gobierno y usualmente son emprendidos para solucionar una urgencia de incrementar la precipitación.

Las necesidades para coleccionar y registrar datos, son esencialmente las mismas para proyectos comerciales y experimentales, con dos excepciones: en las operaciones experimentales tipo I la fotografía de la pantalla del radar es una necesidad básica, igualmente lo son los registros de la precipitación, etc., deben ser incluidos: también mapas de la zona de blanco, cartas del tiempo, resultados calculados con modelos de nubes, y otras informaciones usadas en investigar decisiones de siembra de nubes deben ser archivadas, considerando también que el criterio de siembra incluye más variedad de datos que en los proyectos comerciales; por lo tanto, la cantidad de datos coleccionados y almacenados es mucho mayor en los proyectos experimentales tipo I.

En los proyectos experimentales tipo II, la colección y registro de datos es sustancialmente mayor, Esos proyectos deben tener una malla de datos de precipitación además de los ya mencionados en las operaciones experimentales tipo I, en algunos casos son necesarios observaciones en el avión, datos de la atmósfera superior y otras medidas que ayudarán en la evaluación del efecto de la siembra, y otras investigaciones adicionales.

Los proyectos Tipo I y Tipo II pueden ser experimentales o comerciales.

Operaciones experimentales Tipo II

Registros de datos adicionales, tales como los que se listan a continuación, pueden ser necesarios como parte de cada misión de siembra, dependiendo de los recursos:

- a) Avión: registro en un diario, que muestre los detalles de posición con el tiempo y otras observaciones que parezcan importantes.
- b) Fotografías de la pantalla del radar mostrando condiciones del tiempo y posiciones del avión.
- c) Registro diario del radar, mostrando todos los cambios significativos en las operaciones durante las misiones de siembra de nubes.
- d) Datos de precipitación: mallas especiales en el área de interés.
- e) Observaciones visuales, realizadas por el personal de tierra y aire.
- f) Cámara fotográfica para nubes, tomando en cuenta el criterio de siembra y/o verificación.
- g) Otros, dependiendo de los objetivos del proyecto, puede incluir uno o más de los siguientes:
 - 1) Medidas de parámetros de las nubes desde el avión.
 - 2) Datos de radar Doppler
 - 3) Sondeos de la atmósfera superior
 - 4) Datos de satélites meteorológicos.

CAPITULO II

Selección de Métodos de evaluación para los experimentos.

El describir métodos de evaluación para los resultados de un experimento antes de trazar el procedimiento experimental, puede parecer a primera vista inverso de prioridad. Asimismo, la experiencia ganada de las dificultades, problemas y errores del pasado, hace posible enfatizar cuán importante es esto para hacer un diseño claro de los procedimientos de evaluación junto con los estimadores de la probabilidad de estos eventos. Por lo tanto, a continuación se discuten los aspectos de evaluación.

El principal problema es que una unidad experimental y observacional, una nube, una tormenta, un sistema de nubes; o simplemente, uno o más días de lluvia posibles, es sembrada con algún material nucleante, y se observa un resultado. Este resultado puede ser una medida cuantitativa de una cualquiera de varias propiedades, como altura de la nube y sus cambios, ecos de radar, lluvia promedio de varios pluviómetros, viento dominante, espesor de la nieve, etc., pero para nuestro caso las observaciones de la precipitación serán consideradas como la medida necesaria.

Formularemos 4 preguntas que forman la base de cualquier estimación del efecto de la siembra de nubes:

a) ¿Es este resultado diferente de aquél que pudo haber

- ocurrido naturalmente, es decir, sin siembra de nubes?
- b) ¿Es cualquier diferencia en la precipitación mucho mayor que aquélla que pudo haber ocurrido sin siembra de nubes; es decir, es significativa en base a alguna prueba estadística?
- c) ¿Si es significativa esta diferencia, puede ésta haber sido producida por la siembra (es decir, no hubo otras causas reales y físicamente explicables)?
- d) ¿Es la magnitud de tal diferencia el resultado más probable de cualquier experimento futuro bajo las mismas condiciones, o si no, puede tal magnitud ser calculada de éste?

Si la contestación a todas esas preguntas es "sí", se puede concluir que la siembra experimental demuestra completamente el efecto en la modificación del tiempo; pero de otra manera, si una o más de las respuestas es negativa o incierta, el experimento será sin embargo valuable. La esencia de cualquier diseño estará basada en el hecho de proveer de la evaluación la mayor probabilidad para dar contestaciones lo menos ambiguas a esas cuestiones.

En los 10 años anteriores la teoría estadística y pruebas especiales han desarrollado y respetado particularmente la relación básica para el problema del análisis de la modificación del tiempo.

Todas las pruebas estadísticas que se emplean comunmente para evaluar los efectos de las siembras de nubes, tienen algunas características que hacen que ellas sean apropiadas en un tipo de modificación del tiempo y, no tan apropiadas en otras. No hay un diseño estadístico y un procedimiento de evaluación que sea el mejor reconocido universalmente, sólo algunos parecen ser mejores o son más comunmente usados. Este punto se enfatiza en lo que sigue, ya que ciertas pruebas serán descritas como ejemplos, o para ilustrar los pasos necesarios en la planeación de un experimento, no para sugerir que sean las únicas técnicas de evaluación o pruebas que se deban considerar.

Para contestar la primera pregunta es necesario encontrar un par de valores para cada unidad experimental: la lluvia sin siembra y la lluvia con siembra. Llamaremos v_i a la primera que será la i -ésima unidad experimental y w_i a la segunda. (esas variables pueden ser las cantidades de lluvia en un sólo pluviómetro, promedio de varios pluviómetros o totales de los contornos de isoyetas para el área de prueba). Ahora, si cualquier unidad es sembrada, los promedios de la lluvia por unidad, \bar{w} , puede ser calculado; si ninguna es sembrada, entonces, igualmente, \bar{v} puede ser calculada. Sin embargo, ambos promedios no pueden ser calculados para la misma unidad experimental, o grupo de unidades experimentales; es decir, para la misma unidad i -ésima, sólo w_i o v_i (pero no ambas) pueden ser medidas directamente. Se hace entonces necesario estimar una o la otra de w_i o v_i para cada unidad, o sus promedios en el experi-

mento completo. La aproximación lógica en la siembra de, digamos n_s unidades experimentales es para conseguir una serie de valores observados w_i (desde $i = 1, 2, 3, 4, \dots, n$) y para intentar determinar el valor correspondiente v_i (la cantidad de lluvia que pudo haber ocurrido si la siembra no hubiera tenido lugar).

Si el pronóstico del tiempo fuera perfecto, lo cual implicaría un conocimiento completo de los principios físicos de todas las variables que intervienen en el mismo, esas v_i se podría predecir con gran aproximación, y los cambios causados por la siembra serían plausibles. En ausencia de un pronóstico real, o al menos aproximado, se debe recurrir a encontrar un grupo de unidades observacionales que sean lo más similares entre sí en todas sus propiedades iniciales, para que esas unidades sean sembradas. Esto es lo que se hace necesario para contestar la primera de las 4 preguntas. Como demostraremos después, cualquier técnica de pronóstico meteorológico, o estudios de modelos de nubes, que suministren alguna estimación para predecir cantidades de lluvia, pueden ser usadas para improvisar las estimaciones de la cantidad de lluvia en las unidades experimentales, que pudo haber ocurrido sin la siembra, pero el punto básico inicial deber ser un grupo de unidades no sembradas.

Controles de Previsión y Aleatoriedad.

En el pasado se han usado muchas formas para establecer este grupo de unidades experimentales que no son sembradas y que

sirven como predictores de lo que pudo ocurrir en el grupo de eventos sembrados, en la ausencia de siembra. Si todos los factores físicos relevantes que intervienen en la precipitación fueren conocidos, elementos de este grupo no sembrado pueden ser conocidos -al menos en principio- por comparación directa con aquellos eventos sembrados. En ausencia de un conocimiento completo, los métodos estadísticos que se emplean son, definitivos en un rasgo relativo al grupo. Esto puede ser la aleatoriedad. La cual requiere que una unidad experimental particular (ejemplo; una nube, tormenta, día con lluvia, etc.) sea sembrada o no de acuerdo a una decisión basada en un proceso aleatorio sin usar ningún conocimiento de sus características. Estadísticamente esto asegura que las unidades no sembradas, v_i , y las unidades sembradas, w_i , se podrá trazar de la misma distribución que incluye todos los posibles tipos de tormenta con las mismas características. Físicamente esto significa que, en promedio, las propiedades meteorológicas de cada grupo (sembrados y no sembrados) son las mismas excepto por las siembras. Sólomente de esta forma podemos contestar claramente la pregunta anterior c), esto quiere decir, que cualquier diferencia significativa que se encuentre puede deberse sólomente a la siembra.

La validez de los resultados de experimentos de siembra de nubes anteriores están basados frecuentemente en este punto de aleatoriedad. Mientras cualquier causa alternativa probable para un cambio en la lluvia puede ser encontrado en adición a la siembra de nubes, igualmente diferencias altamente significati-

vas no pueden ser atribuídas claramente a lo último. Mientras una revisión detallada de los experimentos anteriores, diseños experimentales y procedimientos de evaluación no serán considerados aquí (para el análisis véase Neymann and Scott 1967; Neiburger, 1969; Brier, 1974); Esto es importante para ampliar el panorama brevemente con los tres sistemas básicos que han sido usados. Cada uno puede sin embargo ser usado, con tal que la aleatoriedad de las unidades experimentales en los grupos sembrados, sea incorporada en el diseño.

a) Exclusivamente Zona de Blanco.

Se escoge una sólo área para la siembra de nubes. Esta situación es fundamental para la siembra de nubes en programas operacionales, donde todas las unidades experimentales se juzgan adecuadas para la siembra, y por tanto, son sembradas. Tal tipo de arreglo es internacionalmente considerado como inaceptable para un experimento, tanto que la única fuente de un grupo de comparación, formado de unidades no sembradas debe formarse de datos de registros históricos. Esto puede ser equivalente a predecir la lluvia del día siguiente o del próximo mes (en ausencia de siembra) a partir de normales climatológicas. A menos que los efectos de la siembra de nubes fueran incrementos verdaderamente enormes de 1000% (mil por ciento) o algo parecido (o también decrementos muy grandes), esto puede ser, al menos, imposible para descubrir o evaluar el efecto en un período razonable de tiempo.

Difícilmente se obtiene mejor adelanto si se dejan unidades experimentales sin sembrar por pequeños períodos, en cualquier forma que no sea aleatoria, pero esto se hace comúnmente en el tiempo en que las condiciones generales del tiempo son significativamente diferentes de quéllas que fueron encontradas durante los períodos de siembra. Si las unidades experimentales se dejan sin sembrar de manera aleatoria, el experimento, sólomente en la zona de blanco, puede ser válido; aún cuando, como se demostrará, éste diseño es menos promisorio que cualquiera de los otros dos.

b) Zona de Blanco y Zona de Control.

Aquí se selecciona una zona para la siembra y una segunda zona cercana para no sembrarla y usarla como "Zona de Control". Sobre bases más simples y menos sofisticadas de las que se usaron mucho en el pasado, el área de blanco es sembrada en todas las ocasiones posibles. Esto hace necesario tener el recurso de registros históricos para proporcionar una estimación de la lluvia no sembrada que es esperada en la zona de blanco. Si las dos áreas tienen regímenes de una correlación, o una línea de regresión, para predecir la lluvia en la zona de blanco dada la lluvia en la zona de control. Una dispersión considerable de los puntos individuales (que representan las cantidades de lluvia diarias, mensuales o anuales) es igualmente común para áreas similares. En el mejor de los casos, este es un predictor muy imperfecto y todos aquellos experimentos que cuentan

con esto sólomente, rara vez dan resultados claros respecto al efecto de la siembra de nubes en las lluvias. Se ha encontrado, por ejemplo, que diferentes tipos de tormentas pueden producir líneas de regresión muy diferentes, y si las frecuencias de ese tipo de nubes varían de un año al otro, ésto hace que no sea posible relacionar datos de años sembrados con la curva histórica. Las técnicas no se mejoran cuando, para ciertos períodos de la temporada, la zona de blanco se deja de sembrar en bases no aleatorias. Si esto se hace frecuentemente cuando los pronósticos indican disminución de la cantidad de lluvia sobre ésta, en comparación con la zona de control, y se inicia la siembra cuando el pronóstico parece ser favorable a la lluvia en la zona de blanco nuevamente. Se encuentra un incremento en la lluvia si se hace la siembra, pero esto más que nada puede deberse probablemente a las condiciones del pronóstico más que a la siembra.

Cuando la aleatoriedad utilizada en la siembra de la Zona de Blanco es incorporada al sistema "Zona de Blanco-Zona de Control" la situación cambia drásticamente. Las unidades experimentales sembradas y no sembradas en el área proporcionan las mismas bases para una evaluación válida considerando la aleatoriedad sólomente en el área de control. En resumen, observaciones de la precipitación en la zona de control proporcionan una segunda fuente de estimaciones para la lluvia no sembrada. Como no son ahora el único predictor disponible, una alta correlación no es un requisito indispensable, como tampoco lo es cualquier ocurrencia de líneas de regresión diferentes, un factor

de invalidez. Como variable predictora auxiliar o covariable, cualquier correlación es una ayuda valiosa para estimaciones en la siembra aleatoria de las unidades del área de la zona de blanco misma. Se mostrará que agregando una zona de control al diseño se tiene una mejor solución que en el sólo uso de una sola zona de blanco.

c) Diseño Intercambiable.

En este caso son dos las áreas consideradas y una, o la otra son sembradas en situaciones favorables. En este diseño la aleatoriedad está invariablemente incorporada en las decisiones de cuál área sembrar en cada unidad experimental. Desde el punto de vista estadístico, este diseño es mejor que el diseño Zona de Blanco-Zona de Control, y puede ser aún mejor si se incorpora una tercera zona de control la cual nunca se siembra.

Los dos últimos diseños (Zona de Blanco-Zona de Control y diseño intercambiable) son fuertemente susceptibles a problemas de contaminación, donde el material de siembra que es dispersado sobre la zona de blanco puede contaminar la zona no sembrada. Tales efectos, junto con la posible persistencia del material de siembra en la zona de blanco durante las siguientes unidades experimentales no sembradas, son problemas potencialmente serios. Aparentemente se pueden detectar en algunos proyectos y si se tiene cuidado esmerado en la localización de las zonas de blanco y de control se garantiza que se evitarán esos problemas.

Esta precaución también debe extenderse a las trayectorias probables de los núcleos durante la siembra para evitar la introducción de los mismos en cualquier zona de control.

Algunos especialistas en diseños experimentales de modificación del tiempo, han propuesto múltiples zonas de blanco y control, seleccionadas así para comprobar en ambas la precipitación esperada y los efectos en el "área extra". Esta aproximación, así mismo, requiere de un área total experimental grande que sea Orográfica y experimentalmente homogénea. Esto no es fácil de encontrar.

Estadística Adecuada a Diseños Experimentales.

Todos los diseños, realizados con una aleatoriedad adecuada, proporcionarán las bases para estimar la lluvia promedio, \bar{v} , que puede ocurrir sin siembra para las unidades experimentales en la zona de blanco para las cuales la lluvia promedio con siembra, \bar{w} , es medida. Esto se espera en aquellos programas en los cuales \bar{w} será idéntica a \bar{v} .

Mientras la aleatoriedad puede asegurar que cualquier diferencia real entre las dos (\bar{w} , \bar{v}), puede haber sido causada solamente por la siembra; la cuestión vital es, si la diferencia observada es real o no, esto es; causada por las siembras o no. Porque pudo deberse al azar solamente, Este problema ha sido la causa de gran parte de la controversia respecto a experimentos de siembra de nubes hasta hoy.

En el futuro los especialistas (meteorologistas) podrán encontrar que una marcada diferencia entre \bar{w} y \bar{v} puede deberse exclusivamente al azar de acuerdo a los análisis estadísticos rigurosos. Esto lleva a tomar en consideración otros métodos y sugerencias que, más que estadísticamente, físicamente estén bien fundamentadas. El discernimiento puede ser falso a pesar de que las evaluaciones provengan de observaciones de cantidades físicas porque éstas son en ocasiones altamente variables, como lo es la lluvia, y otros valores específicos, que no pueden ser pronosticados aproximadamente; por lo que el recurso que se debe utilizar es el análisis estadístico para determinar si la ocurrencia de cualquier cambio significativo detectado fue por el tratamiento de los datos, esto es, la siembra de nubes.

Obviamente que la mejor aproximación es la de cambiar la mayor información física relativa a modelos de tormentas, o modelos de nubes, utilizados con los cálculos de evaluación estadística en los proyectos, que han sido encontrados más idóneos para contestar correctamente las cuatro preguntas esenciales.

El requisito imprescindible es el de incluir datos estadísticos y analizados por especialistas en estadística, en la etapa de planeación del experimento de siembra de nubes, que en general, depende fuertemente de las condiciones naturales de lluvia que prevalecen en el área. En esta forma el diseño experimental y las técnicas estadísticas pueden ser cambiadas para obtener la mejor probabilidad de sucesos experimentales, dado

el régimen de lluvia local.

Así el siguiente plan general servirá como guía para los pasos que inicialmente serán dados, con los datos encontrados en los estudios de investigación de nubes.

Al principio, el propósito del experimento debe ser determinado categóricamente. Desde el punto de vista meteorológico es determinar de una forma u otra un proceso particular de siembra de nubes llevado a cabo en tormentas o en nubes en condiciones que son probables para responder si pueden producir, o no, un incremento en la precipitación. Los especialistas en estadística anhelan tener los recursos para poder hacer más alta la confiabilidad para los resultados de la siembra; Usando una variedad de técnicas y una gran variedad de tormentas y nubes en diferentes áreas para así determinar cuál combinación produce incrementos en la lluvia, cuál produce decrementos; y cuál produce efectos insignificantes en la precipitación. De tal manera que el experimento puede ser exageradamente complejo. Esto debe ser tomado en cuenta más allá del alcance práctico para hacer frente a las situaciones del problema en consideración. Un experimento restringido, incluyendo las técnicas de siembra y situaciones de lluvia más promisorias, pueden a pesar de eso, ser bien diseñado desde un punto de vista estadístico. Tal diseño debe tenerse en cuenta para obtener la máxima probabilidad de identificar cualquier aumento que pueda ocurrir. Si no se encuentran efectos positivos, a partir de éste puede, no obstante, ser posible enterarse de los resultados alternativos más proba-

bles que pueden incrementar la precipitación de otra manera, la eficacia del diseño experimental en general no puede ser probada.

La secuencia que debe seguirse para analizar la situación local y para diseñar un experimento de siembra de nubes, en base a tales condiciones, es necesario considerar ciertas propiedades cualitativas y cuantitativas para el cambio que se desea detectar. La siembra de nubes puede cambiar numerosas propiedades de la nube así como también características de la lluvia.

Las propiedades que pueden cambiar son las siguientes:

- a) Concentración de cristales de hielo.
- b) La masa de hielo por metro cúbico en varios niveles.
- c) Espesor de la nube y velocidad vertical.
- d) Intensidad del eco de radar.
- e) Concentraciones de gotas de nube y el tamaño del espectro en la base.
- f) La lluvia en la superficie de la tierra.
- g) Corrientes de aire.
- h) La humedad en la superficie de la tierra.
- i) Cortes (bandas) de humedad y variaciones del potencial.

En la lista anterior que no es exhaustiva, la habilidad para asignar cambios claramente atribuidos a la siembra desde a) hasta i) se reducen mientras se incrementa la habilidad para asignar los cambios que producen incrementos.

En un experimento, el parámetro en observación puede ser uno cualquiera (o más de uno) de los factores señalados arriba, pero sin una pérdida real de generalidad en la discusión siguiente se considerará la medida de la lluvia de una malla de pluviómetros. También, se tendrá en cuenta que el efecto que se pretende de la lluvia es un cambio en la cantidad de lluvia por unidad experimental con lluvia, más que un cambio meramente en el número de unidades con lluvia, o en el tiempo de comienzo de la lluvia (ambas bien pueden ser el resultado de la práctica de la siembra). Finalmente se supondrá, por razones dadas inicialmente, que el efecto es multiplicativo, es decir, el efecto de la siembra se obtiene multiplicando la cantidad de lluvia, normalmente esperada de una unidad experimental, por algún factor (mayor que 1 para un incremento o menor que 1 para un decremento). Naturalmente puede ser más apropiado en algunas situaciones considerar el efecto como aditivo, lo cual a su vez alterará la prueba estadística que pueda ser usada.

Propiedades de las pruebas estadísticas y su uso en la etapa del diseño.

Hay tres cantidades que juntas pueden denominarse: "la precisión del experimento propuesto".

La primera de ellas, θ , la llamamos la magnitud esperada, y puede ser calculada. Es en realidad, el factor multiplicativo que describe el resultado de la siembra y cuyo valor es bus-

cado; pero en esta etapa, ciertas hipótesis probables, o valores deseados, le pueden ser asignados.

En término de los promedios de lluvias, sembradas y no sembradas, \bar{w} y \bar{v} respectivamente, introducidas al principio:

$$\theta = \bar{w}/\bar{v} \quad (1)$$

Así por ejemplo, si el resultado de la siembra fuera un incremento de la precipitación de un 40% en promedio, $\theta = 1.40$; mientras que un 10% de decremento puede ser representado por $\theta = 0.90$. Esto puede ser alternativamente el incremento si la hipótesis de adición se considera válida.

Las otras dos cantidades son parámetros estadísticos interrelacionadas; el nivel de significancia, α ; y la potencia de la prueba, β . Los valores, comúnmente asignados a, α , son de 0.01, 0.05, ó 0.10 denotan la probabilidad de determinar que la siembra tiene un efecto cuando en realidad no lo tiene. Esto es, si θ realmente es unitaria (es decir, no hay efecto) y el resultado de un experimento es $\theta_e \neq 1$ (diferente de 1), habrá una probabilidad de que ésta diferencia se deba exclusivamente al azar; pero si éste es menor que el valor preasignado de α , aceptamos que θ_e es diferente de θ debido al efecto de la siembra de nubes. β se calcula a partir de α y θ y es una medida de la probabilidad de evitar el error opuesto, es decir, atribuir al azar el que θ_e sea diferente de 1 cuando esto se debe a la siem

bra de nubes. Así, β es la probabilidad de que cuando un efecto real es producido por la siembra, éste sea reconocido como tal y no atribuido al azar.

El conflicto común en todos los diseños estadísticos es que cuando se desea asignar un valor pequeño a α (asegurando así que cuando hay menos del 1% de probabilidad, por ejemplo, de producir el valor observado de θ , decimos que éste debe haber sido producido por la siembra), β también tenderá a ser pequeño y tendremos una baja probabilidad de detectar cualquier cambio real producido por la siembra de nubes.

Afortunadamente, hay formas de diseñar un experimento que permite regularmente valores grandes de la potencia ($1 - \beta \geq 0.8$ por ejemplo) mientras todavía se mantiene una α razonablemente pequeña. Estos pueden ser encontrados de las dos ecuaciones que definen a α y β como integrales de la curva normal entre límites diferentes (Nayman and Scott 1967), con tal que la prueba estadística sea uniformemente distribuida.

$$1 - \alpha = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\gamma(\alpha)}^{\gamma(\alpha)} e^{-\frac{x^2}{2}} dx, \quad 1 - \beta(\theta, \alpha) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\tau - \gamma}^{\tau + \gamma} e^{-\frac{x^2}{2}} dx \quad (2)$$

donde x es la cantidad de precipitación, γ es el valor de la desviación normal en α , y τ es un parámetro de sesgo indicativo de la desviación o la asimetría de la curva, causada por la siembra.

Con una α situada en un valor predeterminado, los límites

de la integral $\gamma(\alpha)$, son inmediatamente calculables. En experimentos de siembra de nubes, un valor realístico para α de 0.10 ha sido sugerido por Neymann y Scott (1967 p. 344); esto significa que un valor de β diferente de 1 será supuesto real, si la probabilidad de su ocurrencia por azar es del 10% ahora β puede ser dependiente de este valor de α (a través de $\gamma(\alpha)$) y por el parámetro de asimetría τ . Si $\tau = 0$, ambas integrales son idénticas y β no puede ser diferente de α . Otros valores de τ implican una asimetría del origen de la totalidad de los efectos que son buscados, y un valor grande de éste tendrá como resultado un valor grande de β , implicando una alta capacidad para distinguir efectos reales de los efectos aleatorios. Los valores de la potencia dan α y τ , los que pueden ser encontrados de las gráficas de esos parámetros; en particular β excederá un valor numérico aceptable de 0.80 con $\alpha = 0.10$ solamente si τ es mayor o igual a 2.5.

Experimentos de siembra de nubes pueden, por tanto, ser diseñados en tal forma que un valor grande de τ pueda ser alcanzado. Además si uno desea ser más cuidadoso respecto de aceptar erróneamente resultados aleatorios como reales y escogemos $\alpha = 0.05$, entonces τ deberá ser, sin embargo, grande para asegurar que $\beta = 0.80$.

La siguiente ecuación para el parámetro de asimetría, τ , muestra claramente como éste está relacionado a las condiciones experimentales, la magnitud esperada del efecto por detectar y la variabilidad de las condiciones naturales:

$$\tau = \Delta \left\{ NP(1-P) \right\}^{\frac{1}{2}} \ln \theta \quad (3)$$

Donde nuevamente θ es la magnitud del efecto que se desea detectar, y se supone que es la razón de la lluvia sembrada a la lluvia no sembrada (aunque, como mencionamos antes, esto puede ser igualmente la razón de cambio de cualquier otra propiedad afectada por la siembra). Esta puede ser situada en el lugar más bajo considerado aceptable para detectar; ejemplo: si un incremento del 10% se considera como importante y útil para la siembra, entonces θ puede ser de 1.10; mientras que si sólo el 40% es digno de detectar, entonces $\theta = 1.40$. Obviamente el valor más pequeño de θ que se desea detectar, si mantenemos τ grande.

Las cantidades N y p son, respectivamente, el número de unidades experimentales y la probabilidad de siembra. De tal manera que p será comúnmente igual, a 0.5, obteniéndose:

$$\sqrt{p(1-p)} = 0.50.$$

La randomización puede hacerse en base a la siembra de más (o menos) de la mitad de las unidades experimentales; τ , y por tanto, la potencia de la prueba disminuirá. El efecto, así mismo, no será grande si 2/3 partes de las unidades son sembradas, el valor de $\sqrt{p(1-p)}$ se reducirá a 0.47.

Esta ecuación para τ , o una similar a ésta, puede ser en-

contrada por metodologías estadísticas para experimentos de siembra de nubes, con forma dependiente de las hipótesis iniciales que se hagan (como el considerar que los cambios en la precipitación son multiplicativos o aditivos). Todas ellas proporcionan al principio de un experimento, una oportunidad para determinar la probabilidad de alcanzar un resultado significativo para el experimento en cualquier período del tiempo. Esto a su vez ayuda a una optimización considerable en los diseños experimentales propuestos en la etapa de planeación.

El factor Δ en la ecuación anterior; por ejemplo, es de importancia primordial en producir valores grandes para el parámetro de asimetría, y es el más tratable para perfeccionar completa y cuidadosamente el diseño experimental. Esta es una medida de homogeneidad y predictibilidad de la variable en observación, que es indicativa del efecto de la siembra (y la cual forma la base de θ). Para la precipitación, Δ está muy relacionada a la cantidad media por unidad experimental; y así, para períodos de una día, o una tormenta, ésta tiende a ser grande.

Otras características de Δ que son importantes en el diseño de un experimento, son las siguientes: a) Esta es dependiente primeramente de la forma de la curva de la lluvia natural no sembrada, despreciando la frecuencia de unidades experimentales para los cuales varios totales de lluvia son observados. b) Esta tenderá a ser relativamente grande en áreas con muy regular o consistentes cantidades de lluvia por unidad experimental, y pequeña donde la lluvia es escasa o errática. c) Esta variará

de región a región y tenderá a ser algo más grande para regiones grandes que para regiones pequeñas. d) Esta bien puede variar entre períodos diferentes de registros históricos para la misma área, como muy posiblemente viene a ser pequeña durante las sequías que durante temporadas extensas con gran precipitación. e) Esta también dependerá del tipo de prueba estadística que sea usada en la evaluación. f) Finalmente y más importante, es que ésta se incrementará mucho en magnitud si, se pueden usar cualesquiera variables predictoras para pronóstico, o de igual manera, para indicar aproximadamente, la lluvia que puede ser esperada durante una unidad experimental particular.

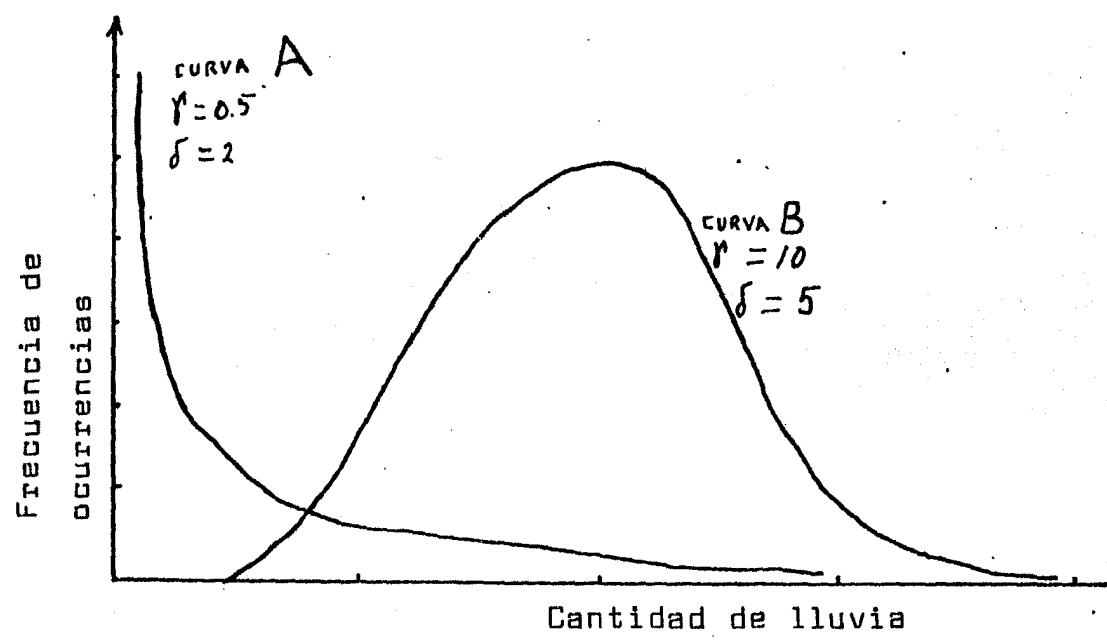
Obviamente, un mejor paso en el diseño de un experimento de siembra de nubes, será el intentar estimar Δ , y de ésta y las otras variables de control a τ , para determinar qué número de unidades experimentales, N, deben ser consideradas para proporcionar una alta probabilidad de detectar cualquier efecto significativo. En la mayoría de los casos, como se muestra en el ejemplo de la table siguiente, será necesario buscar variables predictoras útiles para mantener el experimento dentro de límites prácticos de duración.

TABLA A.

Magnitud del efecto, $\theta =$	1.05	1.1	1.20	1.30	1.40
Valores de Δ					
0.5	42,000	11,000	3,000	1,450	880
1.0	10,500	2,750	750	360	220
2.0	2,600	690	190	90	55
3.0	1,160	310	85	40	25

Número de unidades experimentales, N , necesarias (con 50% sembradas) para asegurar una probabilidad razonable de detectar varios incrementos de la lluvia, para diferentes valores de Δ (dada $\alpha = 0.1$, $\beta = 0.80$).

Para estimar Δ de los datos de la lluvia de la región en estudio, es necesario transformar las cantidades, ajustando una curva normal, o para encontrar alguna otra distribución a la que se puedan ajustar los datos. La curva que parece ser la más apropiada (independientemente de que otras puedan ser consideradas como buenas) es una distribución gamma, la cual tiene en general la apariencia de cualquiera de las dos curvas que se muestran a continuación.



Ejemplo de la distribución gamma (para unidades arbitra- rias)

Aquí γ denota el factor de forma de la distribución Gamma

y \int el factor de escala, ambas pueden ser calculadas directamente de las observaciones. En particular, si los totales de lluvia diaria son las unidades, la curva tendrá la forma A, donde la frecuencia correspondiente a cero es muy grande, y muy pequeña para las cantidades grandes. Si se escoge un período más grande; ejemplo; totales mensuales, la distribución será similar a la curva B.

En ausencia de valores predictores, Δ puede ser encontrada de las curvas experimentales (como las A y B), y para una distribución gamma está dada por $\Delta = \sqrt{\gamma}$

El problema de diseñar un experimento efectivo de duración realística, será ahora aparente, con distribuciones de la lluvia diaria (o en una sola tormenta) produciendo valores que generalmente son menores que la unidad, Δ estará entre 0.5 y 1.0.

Con N igual a 42,000; la probabilidad de detectar incrementos en la precipitación menores al 5% es casi imposible. Igualmente si tantas como 100 unidades experimentales de un día, cada una disponible por año, experimentos de duración no práctica (7 - 30 años) pueden ser necesarios para probar con una potencia de 80% un incremento del 20%, y así en todos los demás casos. Esto puede ser notado también, que mientras se usan grandes períodos como unidades experimentales, por ejemplo 2 ó 3 días, esto tendrá como consecuencia valores grandes para Δ , y por tanto, la reducción de N , y así el número de tales unidades

por año se reducirá, con los cual probablemente pequeños acortamientos del tiempo total de la duración serán necesarios. El nivel de significancia seleccionado más riguroso y generalmente usado, es de $\alpha = 0.05$, en donde todavía un mayor período experimental será necesario. Desde luego que deben ser buscadas necesariamene variables predictoras.

La incorporación de variables predictoras en el diseño del experimento.

Las variables predictoras pueden tomar varias formas. El uso de una zona de control cercana, facilita un pronóstico de la precipitación, en la zona de blanco, que puede ocurrir en ausencia de la siembra. Esta zona de control es uno de los predictores. También lo es el área no sembrada en el diseño intercambiable; aquí el valor es, primeramente, de un doblete de unidades experimentales disponibles por período.

El lugar para investigar inicialmente las variables predictoras es en las nubes y con un modelo de nube; que parece ser el mejor ajuste de las condiciones que prevalecen en la región de prueba. Estudios de pronóstico, provenientes de este modelo, pueden describir aún más. Cualquier parámetro medible de la atmósfera, que pueda estar correlacionado con la lluvia en la zona de blanco, servirá; entre mejor sea la correlación será más preciso un predictor. Tales investigaciones de pronóstico deben ser comenzadas tan pronto como el avalúo de los recursos para nubes está completo, y pueda ser continuado a tra-

vés de las etapas iniciales de planeación del experimento.

Aspectos que han mostrado ser útiles en otros programas, incluyen alturas del nivel de 700 mb, la afluencia neta del vapor de agua a la región y velocidades del viento en lo alto.

Otros predictores posibles pueden ser los gradientes de temperatura en la superficie (o en lo alto), concentraciones de núcleos de congelación, cualquier medida de la inestabilidad atmosférica para la región, la circulación general del viento en la vecindad de la zona de blanco, etc.

El efecto de cualquiera de esas variables predictoras en Δ es el de proporcionar un valor de su cuadrado, que es una función de la lluvia esperada, (basado en la precipitación de la lluvia con la línea de regresión) y su varianza.

Cuando dos o más variables predictoras sean disponibles, Δ es dada de su línea de regresión múltiple. -Como un ejemplo de la utilidad de tales predictores, Neymann y Scott (1967) muestran, como en el proyecto SCUD, el uso de dos predictores, a saber: una medida de la pendiente del nivel de 700 mb y otra del flujo neto de vapor de agua en la zona de blanco, incrementaron el valor de Δ de 1.3 a 2.6, con eso se redujo el número necesario de unidades experimentales a la cuarta parte, cuando una prueba de hipótesis particular fue usada-. Similares beneficios del uso de predictores pueden esperarse de otros procedimientos de prueba. Se pudo notar que los coeficientes de corre

lación con la lluvia, de esos dos predictores, fueron de 0.59 y 0.71; respectivamente, de tal manera que también, relativamente bajas correlaciones pueden tener un efecto marcado en Δ . De aquí que, dos o más predictores, combinados razonablemente, pueden parecer buenos, y Δ puede ser incrementada aproximadamente a 3.0. Mientras esto parece fijar la regla para detectar un incremento del 5% de la lluvia. Como se muestra en el ejemplo de la table A, parece ser que con un período experimental de 5 años sea posible identificar cualquier incremento del 10% o mayor.

Sembrabilidad, estratificación y aleatoriedad de las unidades experimentales.

Habiendo emprendido el análisis detallado de la distribución general de la lluvia, e investigado modelos de nubes y técnicas de pronóstico para la existencia de variables predictoras útiles, debería ahora ser posible delinear el área de blanco (o áreas si puede ser usado un diseño intercambiable) y áreas de control adecuadas, también definir la unidad experimental. Esta puede ser una sola nube o tormenta, un día, varios días, o un período completo de lluvia de 2 a 7 días de duración. La consideración de cuál tamaño será usado, será una necesidad para la identificación propia de su ocurrencia inminente a través del programa.

Esto trae como consecuencia el problema de sembrabilidad y la estratificación del experimento. La estratificación es de-

finida como el agrupamiento a priori, de las unidades experimentales, de tal manera que se mejora el análisis y se maximiza la probabilidad de identificar uno, o más, efectos de la siembra.

Esto puede tener tres formas genrales:

a) Una división de todas las unidades experimentales en dos categorías de: "sembrable" y "no sembrable", basado en un modelo de nube y/o criterio de pronóstico de situaciones más probables a las condiciones de siembra. Sólomente son tratadas, o no tratadas, aquéllas en base a un proceso estocástico. La eliminación de unidades no sembradas del experimento (ejemplo: días pronosticados con cielos claros, todas las nubes abajo del nivel de congelación, etc.) no afectarán la duración total del experimento, tanto que N puede ser reducida por el incremento de los valores de Δ en tal proceso.

El criterio de pronóstico para "sembrabilidad" está, por supuesto, muy relacionado a las variables predictorás consideradas. Aquéllos que son necesarios en esta clase de estratificación, es un conjunto de criterios claramente definidos en el comienzo del experimento, para el cual pueden hacerse medidas cuantitativas y la unidad clasificada como sembrable (o no sembrable) de acuerdo al tiempo, cuando la decisión aleatoria "siembra" o "no siembra" debe ser tomada. Juicios subjetivos por el pronosticador, deben ser desechados en todo lo posible. Por tanto, la estimación subjetiva de que la lluvia es probable, no es suficiente. Las técnicas de pronóstico deben ser cuantificadas de tal manera, que la probabilidad esté basada sobre medidas ob

servacionales que, como se ha demostrado, son seguidas de una alta probabilidad de actividad de lluvia.

b) Una división posterior de la categoría "sembrable" puede ser necesaria, particularmente si hay indicaciones de que podrá tener valores diferentes en el área para tormentas diferentes, o condiciones de lluvia diaria. Si al comparar con otras áreas experimentales, se muestra que la lluvia disminuye, puede provenir de ciertas situaciones de siembra ($\theta < 1$), (ejemplo: días con nubes cuyos topes son más calientes que -10 C), tales unidades pueden ser declaradas "no sembrables". Alternativamente, ellas y otros grupos de condiciones identificables, pueden ser tratadas en subexperimentos, igualmente para el alcance de la aleatoriedad separada. Se enfatiza que todos los grupos de unidades experimentales pueden normalmente ser definidas cuantitativamente desde el principio, antes de comenzar el experimento se considera la estratificación de los datos.

c) Finalmente, la estratificación puede también incluir simplemente un agrupamiento de unidades secuenciales, a fin de ampliar aspectos del análisis para abarcar períodos significativos de la temporada creciente. Esas pueden estar basadas en las temporadas de los análisis por mes, o año, del período de siembra de cada año, etc. De nuevo dichos agrupamientos deben ser claramente delineados a priori.

La estratificación es una de las bases posteriores, es de-

cir, después que el experimento ha sido completado; entonces se procede a clasificar. Este procedimiento es extremadamente importante y proporciona una idea considerable de lo que pudo haber ocurrido durante la siembra, pero las conclusiones basadas en él, serán usualmente de naturaleza algo más que tentativa, dependiendo de las bases físicas para las divisiones.

En otros experimentos, puede generalmente ser conveniente establecer, que diferencias indicadas por las divisiones de los datos fueron o no reales.

Comparado con la complejidad del análisis preliminar en general, la aplicación de la aleatoriedad a las unidades experimentales sembrables, es básicamente muy simple, pero también aquí igualmente algunos problemas pueden presentarse en la práctica.

El uso de tablas de números aleatorios, y la selección (aleatoriamente por supuesto) de una secuencia de números es una forma: se siembra cuando el número es impar y no se siembra cuando éste es par. En tal arreglo se debe estar preparado para aceptar que en ocasiones se tengan grandes secuencias de situaciones de "sembrado". En un experimento de poca duración el número de situaciones de siembra y no siembra puede ser considerablemente diferente. Para evitar esto, la aleatoriedad por pares es la más aconsejable, por lo cual una de las dos; la primera o la segunda, "unidad experimental sembrable" es sembrada en una base aleatoria. Esto tiene potencialmente la

seria inconveniencia que para la segunda unidad, el curso de la acción que sigue es conocido, lo cual puede subsecuentemente incluir en conformidad la decisión de sembrable. La misma objeción se aplica también, si en el curso de la temporada completa la acción es ampliamente conocida a través de la extracción de una tabla de dígitos aleatorios. Dichos problemas son ampliamente conocidos por los expertos en estadística, y con las sugerencias adecuadas se puede salvaguardar, en general la continuación satisfactoria en el experimento y viene a ser parte del procedimiento aceptado hoy.

Selección de la prueba.

Finalmente está el asunto de seleccionar la prueba estadística adecuada para aplicar a los datos cuando el experimento está completo. Hay muchas pruebas adecuadas y sus principios y uso no se discutirán aquí. Básicamente, todas incluyen la prueba de una hipótesis nula; ésta supone que la siembra no tiene efecto y cualquier diferencia entre los resultados observados de las unidades sembradas es debido sólo al azar. Una cantidad variable que expresa la diferencia que fue encontrada entre ellas para los eventos sembrados y que de ellos se esperaba (o encontrados para los eventos no sembrados) como un múltiplo de desviación estándar, o unidades de varianza, es entonces calculado y comparado con la distribución de todos los valores. Si esta magnitud es grande, ésta vendrá de los extremos de la distribución y será improbable que ocurra sólo

por azar. Si la magnitud es rebasada de la que se esperaba, ésta puede provenir del azar en 10, 20 ó 100 experimentos (correspondiendo a valores prefijados de $\alpha = 0.10, 0.05$ y 0.01 respectivamente) rechazaremos la hipótesis nula y aceptaremos la conclusión alternativa. La cual afirma que la diferencia fue ocasionada por la siembra.

Un grupo de pruebas estadísticas, como las no paramétricas, no requieren hipótesis respecto a la distribución de la variable que se prueba, sino que dependen sólo del signo del cambio, o de la magnitud relativa encontrada para cada unidad experimental. Son de fácil aplicación pero tienden a ser de baja potencia (esto es, $1 - \beta$ es relativamente pequeña). Las pruebas paramétricas, por otra parte, requieren que el criterio de prueba τ sea calculado de variables que se ajustan a una distribución preasignada.

En la forma más simple ésta puede expresarse como:

$$\tau = \frac{\bar{w} - \bar{v}}{\text{Desviación estándar estimada del numerador}}$$

Como la lluvia, o al menos cualquier otra medida de la siembra, no está distribuida normalmente, transformaciones (y correcciones) deben aplicarse para obtener algún criterio de prueba más riguroso. El más sofisticado de ellos, y usado en el presente, y que generalmente se considera que tiene la mayor potencia para detectar cambios ocasionados por la siembra en la precipitación es conocido como la "prueba optinal $C(\alpha)$ ". Pa

ra ésta \bar{w} y \bar{v} son reemplazadas por una variable aleatoria de las observaciones, de los cuales esta medida o valor esperado es obtenido y las diferencias sumadas. Esta variable es una función de cualesquiera información estimada que pueda estar contenida en la distribución de la lluvia, y las variables predictoras que son usadas. Los detalles de la $C(\alpha)$ son dados por Neymann y Scott (1965) y Kulkarni (1968-1969).

Otras pruebas pueden ser igualmente promisorias en diseños experimentales específicos. Tales pruebas pueden ser claramente sobreentendidas por el análisis de la distribución de la lluvia para las áreas de estudio, y por la disponibilidad de variables predictoras adecuadas. En caso de que sean dudosas, se llevan a cabo estudios de siembra simuladas por computadora en registro histórico y los resultados examinados de las pruebas disponibles. En cualquier caso, el procedimiento del análisis estadístico actual puede ser utilizado en forma detallada antes de comenzar el experimento. De otra manera, la gran multiplicidad de pruebas tiene casi siempre la oportunidad para ocasionar controversias en la etapa de evaluación, con algunas opiniones dominantes y diferentes, no necesariamente válidas en sus conclusiones.

CAPITULO III

Estimulación de la lluvia en la Sierra de Chichinautzin.

En los años de 1974, 1975, 1976; se realizaron operaciones de siembra de nubes a gran escala, en la Sierra de Chichinautzin, con quemadores de yoduro de plata situados en tierra, por la Comisión de Aguas del Valle de México; en cuyo reporte se infirió un efecto positivo de la siembra de nubes, y se mencionó un incremento de la precipitación en la zona de blanco del 20% significativo al nivel de 5%.

En este trabajo se hizo un análisis del experimento, utilizando los mismos datos de la precipitación que usó la Comisión para hacer su reporte, usando técnicas de Monte Carlo y Estadísticas no Paramétricas. Los resultados que se obtienen difieren de los obtenidos por la Comisión de Aguas de Valle de México. Se encuentra que los resultados del año 1974 son significativos en la evaluación conjunta de los tres años, la potencia de la prueba es insuficiente para llegar a conclusiones definitivas y, las hipótesis base del experimento son muy riesgosas.

Los métodos de estimulación de la lluvia se basan en los conocimientos de los procesos físicos de la formación de la precipitación.

Los experimentos actuales para modificar las nubes se basan en las siguientes suposiciones:

i) Que la presencia de cristales de hielo en una nube superenfriada son necesarios para que se forme la lluvia por el proceso de Bergerón-Findeisen, y en nubes calientes, la presencia de gotas de nube grandes para que se forme la lluvia por el mecanismo de coalescencia.

ii) Que algunas nubes producen precipitación ineficiente porque los núcleos de congelación o el espectro de tamaños de las gotas de las nubes es muy estrecho.

iii) Que esta diferencia se puede remediar "sembrando las nubes", según el caso, con núcleos de congelación y/o de condensación.

iv) Que la sobresiembra con dosis masiva de núcleos de congelación puede retardar o evitar la formación de precipitación y en particular, la formación de granizo muy grande.

Se tienen informes en los que consta que se han logrado modestos resultados. En este problema de siembra de nubes existen fundamentos teóricos que la justifican, sin embargo, es muy difícil obtener resultados convincentes en un experimento de que la siembra sí afectó la formación de la precipitación, por la gran variabilidad de los parámetros microfísicos de las nubes y la precipitación en espacio y tiempo, además de que es muy frecuente que los experimentos se realicen sin un buen control científico que permita evaluar los resultados, esto se complica más por las pretenciones exageradas de los "hacedores de lluvia".

La siembra de nubes a gran escala, como se hizo en la Sierra de Chichitautzin, con frecuencia es el resultado de la necesidad de sembrar grandes sistemas de nubes dispersas en grandes superficies y, en otras ocasiones, por ser más económico. En esta técnica los quemadores de IAg se colocan en tierra y se confía en que el humo de IAg será acarreado por las corrientes convectivas a las regiones donde son activos. Por la falta de control en varios parámetros en relación con la microfísica y dinámica de las nubes, concentraciones de núcleos activos que alcanzan las nubes, la cantidad de núcleos que se deactivan, etc., la incertidumbre respecto al efecto de la siembra de nubes es muy grande.

En la evaluación de experimentos de siembra de nubes a gran escala, la cuestión importante es si la precipitación que sigue a la siembra es independiente de ésta, por su inherente variabilidad es de un 15% a un 20% en un periodo de 15 años, y en regiones donde llueve poco, esta variabilidad es hasta de 50%, sin embargo, es en estas últimas donde se requiere aumentar la precipitación y donde es más difícil detectar estadísticamente un efecto.

2.- Técnica de siembra de nubes en la Sierra de Chichinautzin.

La siembra de nubes en la Sierra de Chichinautzin fue a gran escala, la Zona de Blanco tiene una área de aproximadamente 35,000 km² que se divide en seis zonas denominadas: Zona I, Zona II, Zona III, Zona IV, Zona V y Zona VI; como puede verse

en la figura 1. En cada zona se situaron 9, 3, 18, 10, 6 y 10 pluviómetros respectivamente. Los quemadores fueron 10, 5 de arco voltaico y 5 de gas butano. Todos los quemadores se situaron en la Zona I. En días con operación de siembras funcionaban un promedio de 7 quemadores y un promedio de 0.24 kg de IAg se quemó por día. Los quemadores se ponían a funcionar de las 9 hrs a las 13 hrs.

Los días para sembrar se seleccionaron aleatoriamente, mediante un procedimiento estocástico antes del comienzo del periodo de lluvias que es de junio a octubre.

La temperatura que se produce en el arco voltaico de los quemadores es de más de $2,500^{\circ}\text{C}$ y en los de gas butano es de $1,000^{\circ}\text{C}$, ambos tipos de quemadores no están calibrados respecto a la cantidad de núcleos de congelación activos, a diferentes temperaturas, que producen por unidad de tiempo; la cantidad de IAg que se disocia en el quemador, la cantidad de núcleos de congelación que se deactiva por la luz ultravioleta del arco voltaico y del Sol.

3. Evaluación del experimento.

Para hacer la evaluación del experimento, se tiene como base una serie de hipótesis, y supondremos que todas ellas se cumplen, que a continuación se indican:

- 1) Todas las nubes que se forman en la zona de blanco son

nubes superenfiadas y se deben tratar con IAg.

- 2) Los núcleos de congelación naturales en la zona de blanco son escasos y la lluvia se forma por el proceso de Wegner-Bergeron.
- 3) Los núcleos de congelación artificiales son dispersados por el viento en toda la zona de blanco en la concentración adecuada. Considérese que en la zona de blanco hay dos volcanes de nieve, el Ixtlaccihuatl y el Popocatepetl, con una altura de 3 km sobre el nivel del mar.
- 4) El decaimiento fotoactivo de IAg no es significativo, aunque la siembra de nubes es a gran escala y el tiempo de exposición de los núcleos de IAg a los rayos del sol es grande.
- 5) No hay persistencia de los núcleos de IAg de un día sembrado a otro no sembrado.
- 6) La contaminación de la Ciudad de México no afecta en nada, aunque está comprendida en la zona de blanco.
- 7) Las condiciones meteorológicas que afectan a un día sembrado, son las mismas que afectan a un día no sembrado.
- 8) Es frecuente que en un día ocurran varias precipitaciones en la zona de blanco y se supone que todas las precipitaciones son afectadas por las siembras, esto es, no ocurre el acarreo de núcleos por el viento y el agua.
- 9) Los ciclones y huracanes no afectan la precipitación en la zona de blanco - Considérese que la distancia aproximada del Golfo de México y del Océano Pacífico

en la zona blanco son 328 y 411 km respectivamente (Estrada 1972, 1973).

- 10) Todas las nubes que se forman en la zona de blanco necesitan la misma cantidad de núcleos de congelación artificiales.
- 11) La zona de blanco es la región donde están situados los quemadores ya que los núcleos de congelación artificiales no son acarreados fuera de esta zona por el viento.

La única variable usada en la evaluación es la lluvia media diaria en la zona de blanco.

Con base en las hipótesis anteriores, definimos dos clases de eventos:

- a) "Día sembrado", es la precipitación media en la zona de blanco, colectada a las 24 hrs, cuando los quemadores funcionaron de las 9 a las 13 hrs. Con estos días se formó una muestra de tamaño N_1 .
- b) "Día no sembrado", es la precipitación media en la zona de blanco colectada en las 24 hrs, cuando no se quemó IAq. Con estos días se formó una muestra de tamaño N_2 .

Las operaciones de siembra de nubes se realizaron en el periodo de junio a octubre de cada año.

De las seis zonas en que fue dividida la zona de blanco,

se prestó mayor atención a la Zona I, porque en esta Zona es donde están situados los quemadores.

En el año de 1974 $N_1 = 83$, y $N_2 = 70$; en el año de 1975 $N_1 = 76$, y $N_2 = 77$; en el año 1976 $N_1 = 78$ y $N_2 = 75$.

CALCULOS ESTADISTICOS

i) Prueba de hipótesis estadística.

Se usó la prueba U de Mann-Whitney, se seleccionó un nivel de significancia de 0.05. Las hipótesis por probar son las siguientes:

H_0 : las muestras "día sembrado" y "día no sembrado" no difieren en precipitación, y si difieren, es por azar.

H_1 : las muestras "día sembrado y "día no sembrado" son diferentes en precipitación por efecto de la siembra de nubes.

El criterio de la prueba usada se calcula como sigue, Siegel (1956):

$$Z(\alpha) = \frac{U - \frac{N_1 N_2}{2}}{\sqrt{\left(\frac{N_1 N_2}{N(N-1)}\right) \left(\frac{N^3 - N}{12} - \sum T\right)}} \quad (1)$$

donde $N = N_1 + N_2$. $\sum T$ es la suma de los rangos ligados y:

$$U = N_1 \cdot N_2 + \frac{N_1(N_1 + 1)}{2} - R_1 \quad (2)$$

donde R_1 es la suma de los rangos asignados a la muestra de tamaño N_1 .

En las Tablas 1 y 2 se presentan los cálculos de la apli-

cación de la prueba U para diferentes combinaciones de datos según se indica a continuación.

Las poblaciones que se compararon se formaron con eventos "día sembrado" y "día no sembrado" de un año, dos años y tres años, formando las combinaciones posibles, esto se hizo para la zona I y para el conjunto de las 6 Zonas. En la Tabla I se puede ver que la prueba U de Mann-Whitney resultó significativa para el año 1974 y en las combinaciones donde se considera este año, en la Zona I, lo cual hizo suponer que la prueba resultó significativa al nivel del 5% en las poblaciones formadas con los datos de 1974 + 1975, 1974 + 1976 y 1974 + 1975 + 1976, por el año de 1974 Ver tabla No. 7.

En la Tabla 4 y 5 se presentan algunos resultados.

4.-Contaminación del efecto de 1974 en otro año de sus mismas características.

Para realizar esta prueba y calcular la probabilidad de que el notable efecto determinado en el año de 1974, sin afirmar que sea debido a la siembra de nubes, determine que la prueba de hipótesis resulte significativa siempre que se considere este año, porque los datos del año de 1974 "pesan" mucho en la prueba, se hizo lo siguiente:

a).-Se consideraron los datos reales de 1974, se formaron dos muestras "días sembrados" y "días no sembrados" con base en el calendario real de siembras que se aplicó a este año.

b).-De la población de datos de 1974, mediante un proceso estocástico, se formaron dos muestras del mismo tamaño que en a), se denominan "días sembrados" y "días no sembrados" respectivamente.

c).-Las muestras que se obtuvieron en b) se agregaron a sus correspondientes de a), y se aplicó la prueba U de Mann-Whitney.

Las partes b y c del procedimiento anterior se repitieron 53 veces, de las cuales 43 resultaron con una diferencia significativa al nivel de 5%, por tanto, la probabilidad de que el año de 1974 afecta a otro año de sus mismas características de precipitación al incluirlo en la evaluación es de 0.81, como se muestra en la Tabla 3, los cálculos que se hicieron se muestran en las Tablas 6 y 8.

5.- Contaminación del efecto de 1974 en dos años de sus mismas características de precipitación.

En este caso se siguió el mismo procedimiento que en 4, la única diferencia es el tamaño de las muestras seleccionadas aleatoriamente, que ahora son de 153 eventos cada una, que al agregarse a las muestras correspondientes no simuladas forman muestras de mayor tamaño, esto es, las muestras de "días no sembrados" es de 223 datos, y la muestra de "días sembrados" es de 236 datos.

Se realizaron 50 pruebas siguiendo este procedimiento, de los cuales en 37 casos, la diferencia entre las muestras "días sembrados" y "días no sembrados" sí resultaron significativas al nivel de 5%; por tanto, la probabilidad de que al incluir el año 1974 en un conjunto de otros dos años, sin siembras reales, y de sus mismas características, la prueba resultó significativa al nivel del 5%, es de 0.74 como se muestra en la Tabla 3. El resultado de los cálculos se muestra en la Tabla 9.

6.-Contaminación del efecto del año 1974 en dos años de las mismas características de precipitación que el año 1975.

El procedimiento es el mismo que se siguió en 4 y las muestras son del mismo tamaño que en 5. La diferencia es que ahora se usó el año de 1975 para obtener las muestras simuladas de "días sembrados" y "días no sembrados". Resultó que en 50 pruebas, 32 resultaron con una diferencia significativa al nivel del 5% entre las muestras "días sembrados" y "días no sembrados", por tanto, la probabilidad de que al incluir el año 1974 en un conjunto de dos años de las características de 1975 con siembras simuladas y la prueba resulte significativa es de 0.64 como se ve en la Table 3. El resultado de los cálculos se presenta en la Table 10.

7.-Contaminación del efecto del año 1974 en dos años de las mismas características de precipitación que 1976.

Se siguió el mismo procedimiento que en 6; la diferencia con 6 es que ahora se consideró el año 1976 para obtener las muestras de "días sembrados" y "días no sembrados", el tamaño de las muestras es igual que en 6. Resultó que en 50 pruebas, 29 resultaron significativas al nivel del 5% en la comparación de las muestras "días sembrados" y "días no sembrados", por tanto, la probabilidad de que el efecto de 1974 se manifieste al incluirlo en dos años 1976 con siembras simuladas es de 0.58, como se ve en la Tabla 3. El resultado de los cálculos se muestra en la Tabla 11.

8.-Contaminación del efecto del año 1974 en dos años, uno de las características de precipitación de 1975, y otro de las características de 1976.

Este caso es muy importante porque se consideran los mismos años de la Tabla I, de la evaluación. El procedimiento que se siguió es igual que en 7; la diferencia está en que las muestras simuladas de "días sembrados" y "días no sembrados" se obtuvieron de los datos de los años 1975 y 1976. Se hicieron 60 pruebas, en las cuales 41 resultaron significativas al nivel del 5%, por tanto, la probabilidad de que al agregar el año 1975 al conjunto formado por los años 1975 y 1976 en los cuales se simularon siembras y se detectó un efecto de 0.68, como se ve en la Tabla 3, El resultado de los cálculos se muestra en la Tabla 12.

9. Discusión.

Como puede verse en las tablas 1 y 2 en las cuales se compararon las poblaciones de "días sembrados" y "días no sembrados" de acuerdo a los calendarios reales de operaciones para las zonas de blanco: Zona total y Zona I respectivamente, se puede observar que en la Zona total que comprende las seis zonas, y en la Zona I, el año 1974 se registra una diferencia significativa entre las poblaciones de "días sembrados" y "días no sembrados", no así en los años 1975 y 1976. Como esta diferencia entre "días sembrados" y "días no sembrados" en el año 1974 se registró en una superficie tan extensa como es el conjunto de las seis zonas, y en menor intensidad en regiones situadas en barvolento y muy distantes de la Sierra de Chichinautzin, como es la cuenca de Necaxa, Pue. es muy dudoso que se deba a la siembra de nubes, parece ser más bien a consecuencia de la variación normal del tiempo, esto último se justifica más aún porque no ha vuelto a ocurrir en la Zona total ni en la Zona I un efecto tan marcado como en 1974.

También es necesario mencionar que las grandes ciudades son fuentes de contaminación atmosférica y que se generan tanto núcleos de condensación como de congelación y, en este caso, la Ciudad de México está incluida en la Zona de Blanco Total y es colindante a la Zona I, y ya sea mediante contaminación en forma dinámica por el calentamiento de la superficie de asfalto la influencia de la ciudad, que puede considerarse como isla caliente, es importante sobre la Zona I.

Respecto al aspecto estadístico, se tiene que, de acuerdo al criterio de Neyman (1967) dado por la relación

$$\tau = \Delta \left[NP(1-P) \right]^{\frac{1}{2}} \ln (R_s) \quad (4)$$

donde τ es el parámetro de asimetría, N es el número de eventos, P es la probabilidad de que un evento sea sembrado y $\ln (R_s)$ es el logaritmo natural de la razón simple R_s que se calcula por:

$$R_s = \frac{\sum LDS}{\sum LDNS} \text{ si } N_1 = N_2 \quad \text{ó} \quad \bar{R}_s = \frac{\overline{LDS}}{\overline{LDNS}} \text{ si } N_1 \neq N_2 \quad (5)$$

donde $\sum LDS$ es la suma de la lluvia de los días sembrados $\sum LDNS$ es la suma de la lluvia de los días no sembrados, \overline{LDS} es la lluvia promedio de los días sembrados y \overline{LDNS} es la lluvia promedio de los días no sembrados.

En este experimento de siembra de nubes se encuentra que $R_s = 1.21$ $\Delta = 0.82$, por tanto, para que el experimento tenga una potencia de 0.80 se hacen necesarios $2,894.89 \approx 2,895$ eventos, esto es 19 años de experimentos de junio-octubre. Para los datos que se tienen la potencia es de 0.40.

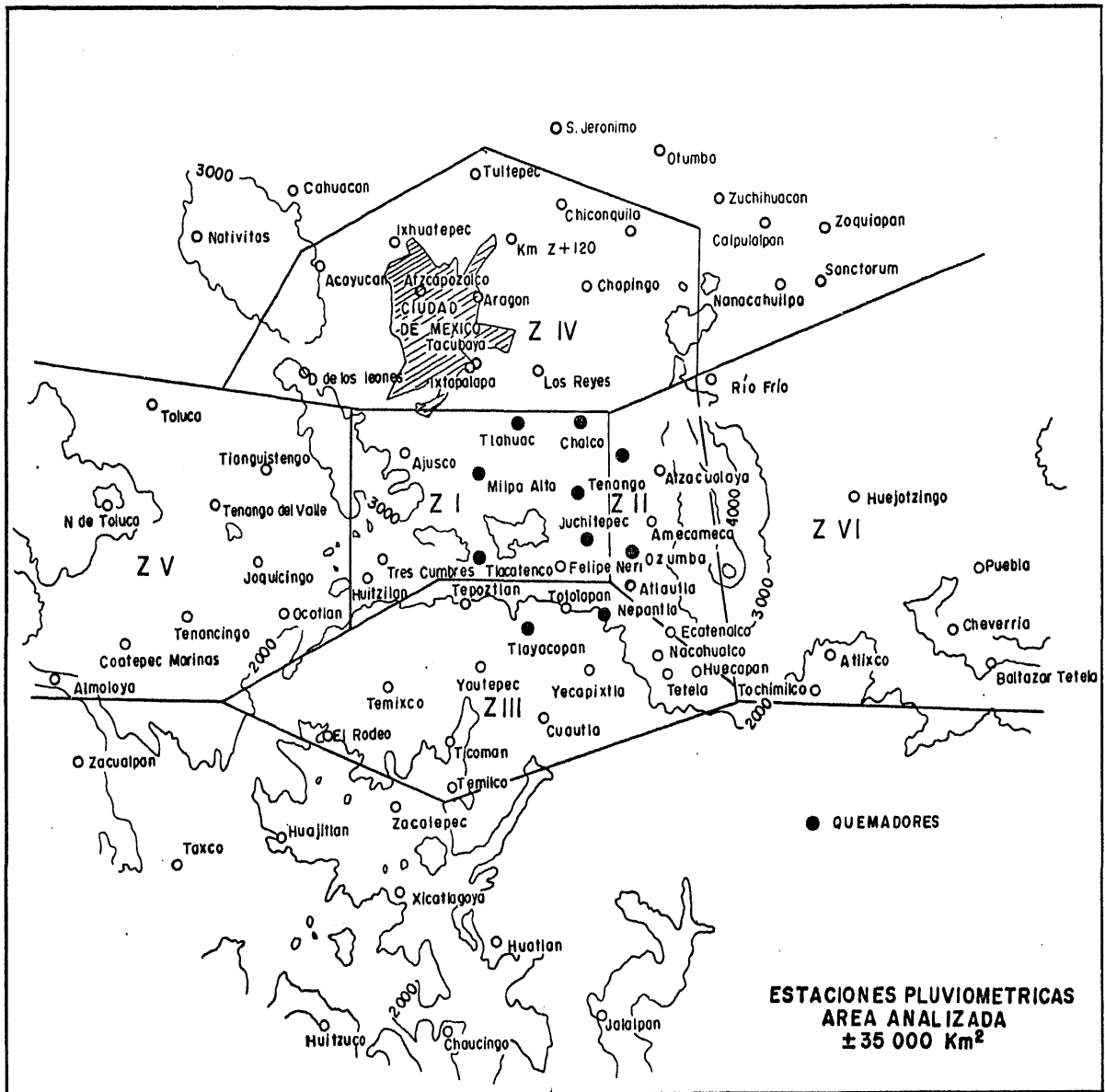


FIG. 1. AREA DE ESTIMACION DE LA LUBIA EN EL VALLE DE MEXICO

AÑOS	N	n ₁	n ₂	SRDS	SRDNS	U	Z
1974	53	70	83	5812.0	5969.0	2364.0	-1.95*
1975	53	76	77	5898.5	5882.5	2879.5	-0.171
1976	53	78	75	5990.5	5790.5	2871.5	-0.197
1974 + 1975	306	146	160	23383.5	23587.5	10473.5	-1.55
1974 + 1976	306	148	158	23632.0	23339.0	10546.0	-1.47
1975 + 1976	306	154	152	23666.5	23304.5	11676.5	-0.36
1974+1975+1976	459	224	235	52981.0	52589.0	24511.0	-1.27

Tabla 1ª - S. Chichinautzin, zona total, resultados de aplicar la prueba U de Mann-Whitney, para determinar si la diferencia entre las poblaciones de días sembrados y días no sembrados es significativa, n₁ = número de días sembrados, n₂ = número de días no sembrados, SRDS = suma de rangos de los días sembrados, SRDNS = suma de rangos de días no sembrados, * = casos que resultaron significativos al 0.05

AÑOS	N $n_1 + n_2$	Nº DE DÍAS SEBRADOS n_1	Nº DE DÍAS NO SEBRADOS n_2	SRDS	SRDNS	U	Z
1974	153	70	83	6235.0	5546.0	2060.0	-3.09*
1975	153	76	77	6124.5	5556.5	2653.5	-1.00
1976	153	78	75	5904.0	5877.0	2765.0	-0.5
1974+1975	306	146	160	24632.5	22338.5	9458.5	-2.88*
1974+1976	306	148	158	24230.0	22741.0	10180.0	-1.96*
1975+1976	306	154	152	24044.5	22926.5	11298.5	-0.52
1974+1975+1976	459	224	235	54643.5	50926.5	23196.5	-2.20*

Tabla N° 1— S. Chichinautzin, zona I, días sembrados contra días no sembrados. SRDS = suma de rangos de días sembrados, SRDNS = suma de rangos de días no sembrados.
* = casos que resultaron significativos a un nivel del 0.05, Prueba U de Mann-Witney

PARAMETROS	AÑOS	1974	1975	1976
No de días sembrados		70	78	78
No de días no sembrados		83	75	75
Lluvia promedio en días sembrados		3.07	2.54	3.05
Lluvia promedio en días no sembrados		3.82	4.09	7.22
Lluvia promedio		5.15	4.55	6.59
Lluvia total		788.4	695.6	1008.0
No de días sin lluvia (Junio- Octubre)		21	29	19
No de lluvias mayores a 10.0 mm		26	9	30
No de lluvias " " a 20.0 mm		5	1	9
No de lluvias " " a 30.0 mm		1	0	2
Desviación estandar en días sembrados		5.40	4.12	5.52
Desviación " " " " no sembrados		4.60	4.27	9.43
Desviación estandar		6.06	4.81	8.37
No de ciclones que afectaron		5	4	1

Tabla No. 2 - Parámetros característicos de la lluvia por año, para la zona T de blanco Sierra de Chichiquantzín

R_s	NO. AÑOS	1	2	3	4	5	6
1.5	Rs	5	0	0	0	0	0
1.4	Rs	1	1	0	0	0	0
1.3	Rs	10	0	0	1	0	0
1.2	Rs	13	5	8	5	0	1
1.1	Rs	14	8	18	10	11	12
1.0	Rs	24	33	27	35	45	40
0.9	Rs	27	34	34	38	34	41
0.8	Rs	25	16	12	11	12	5
0.7	Rs	10	3	1	0	0	1
0.6	Rs	2	1	0	0	0	0
0.5	Rs	0	0	0	0	0	0
\bar{R}_s		1.032	0.982	1.013	1.00	0.990	0.997
σ		0.223	0.188	0.151	0.140	0.126	0.128
N		13	10	100	100	102	100

Tabla N°3 Año de 1974, de los datos de este año se forman muestras aleatorias de 1 año, 2 años, etc. se considera a mitad sembrada y la otra mitad no sembrada, se obtiene la razón sencilla, este proceso se repite varias veces y se obtiene la frecuencia de cada R_s razón sencilla según los rangos señalados. \bar{R}_s = razón simple promedio, σ = desviación estándar de R_s y N = número de pruebas

R_s	No. de Años	1	2	3	4	5	6
1.5	Rs	1	1	0	0	0	0
1.4	1.5	3	0	0	0	0	0
1.3	1.4	8	0	0	0	0	0
1.2	1.3	13	5	3	2	1	0
1.1	1.2	20	6	10	12	5	9
1.0	1.1	21	14	12	14	11	12
0.9	1.0	33	26	31	13	33	13
0.8	0.9	21	14	18	9	12	6
0.7	0.8	7	5	1	0	0	0
0.6	0.7	4	0	0	0	0	0
0.5	0.6	0	0	0	0	0	0
R_s		1.019	0.989	0.989	0.991	0.997	0.927
σ		0.210	0.164	0.136	0.129	0.127	0.120
N		131	101	100	100	102	91

Tabla N° 4 Año de 1975, con los datos de este año se forma una muestra aleatoria de 1 año, 2 años, etc., se considera a mitad sembrada se obtiene la razón sencilla R_s este proceso se repite N veces, se obtiene la frecuencia de cada R_s según los rangos señalados, R_s = razón sencilla promedio, σ = desviación estándar de R_s .

		Nº DE AÑOS					
RAZÓN SIMPLE		1	2	3	4	5	6
5	$\frac{R_s}{L}$	5	0	0	0	0	0
4	$\frac{R_s}{L}$	5	1	0	0	0	0
3	$\frac{R_s}{L}$	4	1	0	0	0	0
2	$\frac{R_s}{L}$	7	1	6	4	3	0
1	$\frac{R_s}{L}$	20	4	4	1	4	17
0	$\frac{R_s}{L}$	22	28	26	28	35	27
0.9	$\frac{R_s}{L}$	33	26	30	43	33	49
0.8	$\frac{R_s}{L}$	24	17	18	3	7	7
0.7	$\frac{R_s}{L}$	8	8	4	1	0	0
0.6	$\frac{R_s}{L}$	3	0	0	0	0	0
0.5	$\frac{R_s}{L}$	1	0	0	0	0	0
R_s		0.9	0.11	0.987	0.983	0.989	0.991
U		0.223	0.168	0.156	0.139	0.136	0.132
N		132	0	100	100	102	100

Tabla Nº 5 - Año 1976 - con los datos de este año, se formó una muestra aleatoria de 1 año, 2 años, etc se considera una miera sembrada y otra no sembrada y se obtiene la razón sencilla R_s , este proceso se repite N veces, se obtiene la frecuencia de cada R_s según los rangos señalados. R_s = razón sencilla promedio, U = desviación estándar de R_s .

TABLA No. 6

SIEMBRAS SIMULADAS CON LOS DATOS DE 1974.

LDNS	LDS	RS	RDNS	RDS	U	Z
437.8	350.1	0.800	6653.5	5127.5	2642.5	-0.96
409.9	378	.922	6513	5268	2783	-0.44
317.5	470.4	1.481*	5546	6235	2060	-3.10*
430.1	357.8	.832	6259.5	5521.5	2773.5	-0.48
455.2	332.7	.731	6626.5	5154.5	2669.5	-0.86
478.6	309.3	.646	6967.5	4813.5	2328.5	-2.11*
446.2	341.7	.766	6533.5	5247.5	2762.5	-0.52
407.4	380.5	.934	6166	5615	2680	-0.82
456	331.9	.728	6588	5193	2708	-0.72
476.1	311.8	.655	6903	4878	2393	-1.88*
421.2	366.7	.871	6121	5660	2635	-0.99
404.1	383.8	.949	6098.5	5682.5	2612.5	-1.07
446.3	341.6	.765	6372	5409	2886	-0.07
362.7	425.2	1.172	6026	5755	2540	-1.34
422.2	365.7	.866	6395.5	5385.5	2900.5	-0.16
510.8	277.1	.542	7057.5	4723.5	2238.5	-2.44*
321.9	466	1.448*	5742	6039	2256	-2.38*
462.7	325.2	.703	6773.5	5007.5	2522.5	-1.40
461.6	326.3	.707	6486	5295	2810	-0.35
423.4	364.5	.861	6213	5568	2727	-0.65
460	327.9	.782	6560.5	5220.5	2735.5	-0.62
414	373.9	.903	6270	5511	2784	-0.44
492.1	295.8	.601	6799	4982	2497	-1.50
439.1	348.8	.794	6658	5123	2638	-0.98
432.1	355.8	.823	6004.5	5776.5	2518.5	-1.42
389	398.9	1.025	6228	5553	2742	-0.60
436.9	351	.803	6404	5377	2892	-0.05
416.1	371.8	.893	6045.5	5735.5	2559.5	-1.27
386.6	401.3	1.038	6456	5325	2840	-0.24
323.3	464.6	1.437*	5150	6631	2665	-.088
353.5	434.4	1.229	5398	6383	2897	-0.29
318.3	469.6	1.475*	5198	6583	2713	-0.70
354.3	433.6	1.224	5467	6314	2828	-0.28
346.8	441.1	1.272	5429.5	6351.5	2865.5	-0.14
340.4	447.5	1.315	5371.5	6409.5	2886.5	-0.07
361.5	426.4	1.179	5532.5	6248.5	2762.5	-0.52
361.3	426.6	1.181	5281.5	6499.5	2796.5	-0.40
424.8	363.1	.855	6381	5400	2895	-0.04
408.9	379	.927	6253.5	5527.5	2767.5	-0.50
327.9	460	1.403*	5812	5969	2326	-2.12*
483.4	304.5	.630	6680	5101	2616	-1.05
409.7	378.2	.923	5885.5	5895.5	2409.5	-1.82*
398.1	389.8	.979	5448.5	6332.5	2846.5	-0.21
311.9	476	1.526*	5037	6744	2552	-1.29

413.3	374.6	.906	5709	6072	2586	-1.17
371.3	416.6	1.122	5503	6278	2792	-0.41
328.4	459.5	1.399*	5231	6550	2746	-0.58
343.2	444.7	1.296	5395	6386	2900	-0.02
341.1	446.8	1.310	5262	6519	2777	-0.47
373.7	414.2	1.108	5560	6221	2735	-0.62

Tabla 6. Simulación de siembra de nubes con datos del año 1974, donde LDS = suma de la lluvia de los días sembrados, LDNS = suma de la lluvia de los días no sembrados, RDS = suma de los rangos de los días sembrados, RDNS = suma de los rangos de los días no sembrados, RS = razón simple, U y Z son estadísticos, * casos significativos en 5%.

TABLA No. 7

SIMULACION DE SIEMBRAS A PARTIR DE LOS DATOS DE 1974,
1975 y 1976.

LDNS	LDS	RS	RONS	RDS	U	Z
1144.2	1347.5	1.178	50598.5	54971.5	24263.5	-1.46
1085.2	1406.5	1.296	50009.5	55560.5	23674.5	-1.87*
1163.6	1328.1	1.141	51877.5	53692.5	25542.5	-0.55
1185.3	1306.4	1.102	52652	52918	26317	-0.01
1114.	1377.7	1.237	50667	54903	24332	-1.41
1153.5	1338.2	1.160	51933	53637	25598	-0.52
1135.5	1356.2	1.194	51467.5	54102.5	25132.5	-0.84
1142.7	1349	1.180	51424	54146	25089	-0.88
1158.4	1333.3	1.151	51652.5	53917.5	25317.5	-0.72
1210	1281.7	1.059	53553.5	52016.5	25451.5	-0.62
1115.2	1376.5	1.234	51462	54108	23967	-1.66*
1096.3	1395.4	1.273	49557	56013	23222	-2.19*
1114.2	1377.5	1.236	51424	54146	25089	-0.88
1119.3	1372.4	1.226	50384.5	55185.5	24049.5	-1.61*
1159.7	1332	1.148	51880	53690	25545	-0.56
1110.2	1381.5	1.244	50827	54743	24492	-1.30
1109.2	1382.5	1.246	50542.5	55027.5	24207.5	-1.50
1140.9	1350.8	1.184	50688	54882	24353	-1.40
1120.4	1371.3	1.224	50497	55073	24162	-1.53
1140.7	1351	1.184	51392	54178	25057	-0.90
1123.2	1368.5	1.218	51260	54318	24925	-0.99
1156.3	1335.5	1.155	52177	53393	25842	-0.35
1135	1356.7	1.195	51270.5	54299.5	24935.5	-0.99
1189.5	1302.2	1.095	52366	53204	26031	-0.21
1030.9	1432.6	1.390	50715.5	56410.5	22824.5	-2.47*
1116.2	1375.5	1.232	50548.5	55021.5	24213.5	-1.49
1130.9	1360.8	1.203	51169.5	54400.5	24834.5	-1.06
1092.7	1399.0	1.280	50640.5	54929.5	24305.5	-1.43
1157.3	1334.4	1.153	51380	54190	25045	-0.90
1149	1342.7	1.168	51386	54184	25051	-0.90
1061.9	1429.8	1.346	48841	56729	22506	-2.70*
1126	1365.7	1.213	50862	54708	24527	-1.27
1119.6	1372.1	1.225	50735	54835	24400	-1.36
1130.6	1361.1	1.204	51326.5	54243.5	24991.5	-0.95
1115.1	1376.6	1.234	51728.5	53841.5	25393.5	-0.66
1161.3	1330.4	1.146	51603	53967	25268.	-0.75
1185	1306.7	1.103	52474	52809.5	26425.5	-0.06
1114.5	1377.2	1.236	50698	54872	24133	-1.55
1112	1379.7	1.241	50394.5	55175.5	24059.5	-1.60*
1102.3	1389.4	1.260	50158	55412	23823	-1.77*
1117.9	1373.8	1.229	51332	54238	24997	-0.94
1123.4	1368.3	1.218	50990.5	54579.5	24655.5	-1.18

1058.8	1432.9	1.353	49144	56426	22809	-2.48*
1167.5	1324.2	1.134	51944	53626	25609	-0.51
1097.7	1394	1.270	50246	55324	23911	-1.71*
1163.4	1328.3	1.142	51579.5	53990.5	25244.5	-0.77
1119.5	1372.2	1.226	51482	54088	25147	-0.84
1110.3	1381.4	1.244	50609	54961	24274	-1.45
1099.5	1392.2	1.266	50414.5	55155.5	24079.5	-1.59*
1096.1	1395.6	1.273	49855	55715	23520	-1.98*
1118.4	1373.3	1.228	49897.5	55672.5	23562.5	-1.95*
1145.5	1346.2	1.175	51638.5	53931.5	25303.5	-0.73
1148.9	1342.8	1.169	52043.5	53526.5	25708.5	-0.44
1188.6	1303.1	1.096	52683	52887	26322	-0.00
1141.2	1350.5	1.183	51172	54398	24837	-1.06
1159.5	1332.2	1.149	51453.5	54116.5	25118.5	-0.86
1120.8	1370.9	1.223	50555.5	55014.5	24220.5	-1.49
1160.2	1331.5	1.148	50752	54818	24417	-1.35
1131.7	1360	1.202	50570.5	54999.5	24235.5	-1.48
1119.1	1372.6	1.226	50385.5	55184.5	24050.5	-1.61*
1089.2	1402.5	1.288	49972.5	55597.5	23637.5	-1.90*
1179.9	1311.8	1.112	51609.5	53960.5	25274.5	-0.75
1129.7	1362	1.205	51409	54161	24844	-1.05
1129.8	1361.9	1.205	51156.5	54413.5	24821.5	-1.07
1113.6	1378.1	1.237	50914.5	54655.5	24579.5	-1.24
1121.5	1370.2	1.222	50235	55335	23900	-1.72*
1105.8	1385.9	1.253	50167.5	55402.5	23832.5	-1.76*
1141.8	1349.9	1.182	51055	54515	24720	-1.14
1172.4	1319.3	1.125	52233	53337	25898	-0.31
1167.9	1323.8	1.133	51818	53752	25483	-0.60
1124.7	1367	1.215	50459	55111	24124	-1.56

Tabla 7. Simulación de la siembra de nubes con datos de los años 1974, 1975 y 1976, donde LDS = suma de la lluvia de los días sembrados, LDNS = suma de la lluvia de los días no sembrados, RDS = suma de los rangos de los días sembrados, RDNS = suma de los rangos de los días no sembrados, RS = razón simple, U y Z son estadísticos, * casos significativos en un 5%.

TABLA No. 8

CONTAMINACION DEL EFECTO DE 1974 EN UN AÑO DE SUS
MISMAS CARACTERISTICAS.

LDNS	LDS	RS	RDNS	RDS	U	Z
678.5	897.3	1.322	22265.5	24705.5	10484.5	-1.58
674.8	901.0	1.335	22141.5	24829.5	10360.5	-1.74
700.8	875.0	1.248	21633.5	25337.5	9852.5	-2.40
704.9	870.9	1.235	21850.5	25120.5	10069.5	-2.11
715.2	860.6	1.203	21781.5	25189.5	10000.0	-2.20
684.5	891.3	1.302	21868.5	25102.5	10087.5	-2.09
632	943.8	1.493	21359.5	25611.5	9578.5	-2.75
667	908.8	1.362	21547.5	25423.5	9766.5	-2.51
658.8	917	1.392	21701.5	25269.5	9920.5	-2.31
685	890.8	1.300	22206.5	24764.5	10425.5	-1.65
710.3	865.5	1.218	21990.5	24980.5	10209.5	-1.93
715.4	860.4	1.203	22780.5	24190.5	10999.5	-0.91
625.2	950.6	1.520	21411.5	25559.5	9630.5	-2.68
700.9	874.9	1.248	21810.5	25160.5	10029.5	-2.17
681.4	894.4	1.312	22015.5	24955.5	10234.5	-1.90
711.4	864.4	1.215	21913.5	25057.5	10132.5	-2.03
686.7	889.1	1.295	21927.5	25043.5	10146.5	-2.02
671.5	904.3	1.347	21591.5	25379.5	9810.5	-2.45
712.5	863.3	1.211	21807.5	25163.5	10026.5	-2.17
691.3	884.5	1.279	21779.5	25191.5	9998.5	-2.21
704.9	870.9	1.235	22163.5	24807.5	10382.5	-1.71
694.0	881.8	1.271	21814.5	25156.5	10033.5	-2.16
748.3	827.5	1.106	22886.5	24084.5	11105.5	-0.77
717.2	858.6	1.197	22585.5	24385.5	10804.5	-1.16
692.2	883.6	1.276	22057.5	24913.5	10276.5	-1.85
725.2	850.6	1.173	22765.5	24205.5	10984.5	-0.93
697.3	878.5	1.26	21734.5	25236.5	9953.5	-2.27
678.8	897	1.321	22209.5	24761.5	10428.5	-1.65
675.8	900	1.332	21772.5	25198.5	9991.5	-2.22
675.6	900.2	1.332	21675.5	25295.5	9894.5	-2.34
692.2	883.6	1.276	22335.5	24635.5	10554.5	-1.49
644.8	931.	1.444	21357.5	25613.5	9576.5	-2.75
606.6	969.2	1.598	20873.5	26097.5	9092.5	-3.38
703.4	872.4	1.240	21738.5	25232.5	9957.5	-2.26
679.7	896.1	1.318	22067.5	24903.5	10286.5	-1.83
716.9	858.9	1.198	23547	23424	9686	-2.51
704	871.8	1.238	23801	23170	9940	-2.18
695.7	880.1	1.265	22143.5	24827.5	10362.5	-1.74
638.9	936.9	1.466	21607.5	25363.5	9826.5	-2.43
643.3	932.5	1.449	21736.5	25234.5	9955.5	-2.26
732.1	843.7	1.152	22303.5	24667.5	10522.5	-1.53

669.3	906.5	1.354	21441.5	25529.5	9660.5	-2.64
687.2	888.6	1.293	21845.5	25125.5	10064.5	-2.12
616.4	959.4	1.556	21149.5	25821.5	9368.5	-3.02
651.6	924.2	1.418	21817.5	25153.5	10036.5	-2.16
709	866.8	1.222	22460.5	24510.5	10679.5	-1.33
622.6	953.2	1.531	20878.5	26092.5	9097.5	-3.37
708.8	867	1.223	22361.5	24609.5	10580.5	-1.45
689.6	886.2	1.285	21826.5	25144.5	10045.5	-2.15
643.4	932.4	1.449	21042.5	25928.5	9261.5	-3.16
688.2	887.6	1.29	22258.5	24712.5	10477.5	-1.59
678.8	897	1.321	21782.5	25188.5	10001.5	-2.20
673.2	902.6	1.341	21697.5	25273.5	9916.5	-2.31

Tabla 8. Efecto de contaminación del año 1974 sobre un año de las mismas características de precipitación que 1974, donde LDS = suma de la lluvia de los días sembrados, LDNS = suma de la lluvia de los días no sembrados, RDS = suma de los rangos de los días sembrados, RDNS = suma de los rangos de los días no sembrados, RS = razón simple, U y Z son estadísticos, * casos que resultaron significativos en un 5%.

TABLA NO. 9

CONTAMINACION DEL EFECTO DE 1974 EN DOS AÑOS DE SUS MISMAS CARACTERISTICAS.

LDNS	LDS	RS	RDNS	RDS	U	Z
1082.1	1281.6	1.184	51522	54048	24726	-1.13
1166.3	1197.4	1.027	53202	52368	26262	-0.51
1005.6	1358.1	1.350	49101	56469	22305	-2.84*
1062.2	1301.5	1.225	50538	55032	23742	-1.83*
1041.7	1322	1.269	50496	55074	23700	-1.86*
1059.1	1304.6	1.232	50605.5	54964.5	23809.5	-1.78*
1037.8	1325.9	1.278	50646	54924	23850	-1.75*
1061.7	1302	1.226	49326	56244	22530	-2.68*
1098.8	1264.9	1.151	50508	55062	23712	-1.85*
1077.5	1286.2	1.194	50857.5	54712.5	24061.5	-1.60*
999.6	1364.1	1.365	49336.5	56233.5	22540.5	-2.67*
975.2	1388.5	1.424	49110	56460	22314	-2.83*
1104.1	1259.6	1.141	50620.5	54949.5	23824.5	-1.77*
1033.9	1329.8	1.286	49018.5	56551.5	22222.5	-2.90*
992.4	1371.3	1.382	48787.5	56782.5	21991.5	-3.06*
1068.2	1295.5	1.213	50164.5	55405.5	23368.5	-2.09*
1028.5	1335.2	1.298	48378	57192	21582.2	-3.35*
1031.3	1332.4	1.292	50334	55236	23538	-1.97*
1067.4	1296.3	1.214	50493	55077	23697	-1.86*
1087.2	1276.5	1.174	50536.5	55033.5	23740.5	-1.83*
1141.9	1221.8	1.070	52095	53475	25299	-0.73
963	1400.7	1.454	47964	57606	21168	-3.64
1014	1349.7	1.331	48988.5	56581.5	22192.5	-2.92
1055.9	1307.8	1.238	50605.5	54964.5	23809.5	-1.78
1030	1333.7	1.295	49714.5	55855.5	22918.5	-2.41
1024.5	1339.2	1.307	49003.5	56566.5	22207.5	-2.91
1089.2	1274.5	1.170	50470.5	55099.5	23674.5	-1.87
1090.4	1273.3	1.168	50038.5	55531.5	23242.5	-2.18
1081.3	1282.4	1.186	49680	55890	22884	-2.43
1042.3	1321.4	1.268	49864.5	55705.5	23068.5	-2.30
996.7	1367	1.371	48522	57048	21726	-3.25
1162.6	1201.1	1.033	51565.5	54004.5	24769.5	-1.10
1061	1302.7	1.228	50512.5	55057.5	23716.5	-1.84
1132.9	1230.8	1.086	50374.5	55195.5	23578.5	-1.94
1110.7	1253	1.128	51334.5	54235.5	24538.5	-1.26
1074.8	1288.9	1.199	49636.5	55933.5	22840.5	-2.46
1122.5	1241.2	1.106	51081	54489	24285	-1.44
932.6	1431.1	1.534	47664	57906	20868	-3.85
1092.8	1270.9	1.163	51244.5	54325.5	24448.5	-1.33
1089.7	1274	1.169	50809.5	54760.5	24013.5	-1.63
1023.2	1340.5	1.310	50242.5	55327.5	23446.5	-2.03
1135.8	1227.9	1.081	52540.5	53029.5	25744.5	-0.41
1095.9	1267.8	1.157	51090	54480	24294	-1.44
1167.6	1196.1	1.024	51486	54084	24690	-1.16
1125.4	1238.3	1.100	52137	53433	25341	-0.70
1084.9	1278.8	1.179	50317.5	55252.5	23521.5	-1.98

1044.5	1319.2	1.263	49071	56499	22275	-2.86
1146	1217.7	1.062	51646.5	53923.5	24850.5	-1.04
1123	1240.7	1.105	50677.5	54892.5	23881.5	-1.73
1151.1	1212.6	1.053	52231.5	53338.5	25435.5	-0.63

Tabla 9.- Efecto de contaminación del año de 1974 sobre dos años con las mismas características de precipitación que 1974, donde LDS = suma de la lluvia de los días sembrados, LDNS = suma de la lluvia de los días no sembrados, RDS = suma de los rangos de los días sembrados, RDNS = suma de los rangos de los días no sembrados, RS= razón simple, U y Z son estadísticos, * casos que resultaron significativos en un 5%.

TABLA NO. 10

INFLUENCIA DE 1974 SOBRE 2 AÑOS DE LAS CARACTERISTICAS DE 1975.

LDNS	LDS	RS	RDNS	RDS	U	Z
1032.2	1147.3	1.111	51084.5	54485.5	24288.5	-1.44
968.4	1211.1	1.251	50001	55569	23205	-2.21
916.2	1263.3	1,379	48821	56749	22025	-3.04
984.6	1194.9	1,213	50142.5	55427.5	23346.5	-2.11
1047.7	1131.8	1.080	52507.5	53062.5	25711.5	-0.44
995.9	1183.6	1.188	50793	54777	23997	-1.65
959.6	1219.9	1.271	48974.5	56595.5	22178.5	-2.93
1059.9	1119.6	1.056	52219.5	53350.5	25423.5	-0.64
944.5	1235.1	1.307	49802.5	55767.5	23006.5	-2.35
963.7	1215.8	1.262	48663.5	56906.5	21867.5	-3.15
980.7	1198.8	1.222	49703.5	55866.5	22907.5	-2.42
926.3	1253.2	1.353	49027	56543	22231	-2.89
1000.6	1178.9	1.178	50765.5	54804.5	23969.5	-1.67
969.5	1210	1.248	50100	55470	23304	-2.14
1006.6	1172.9	1.165	51431.5	54138.5	24635.5	-1.20
1063.1	1116.4	1.050	52255	53315	25459	-0.62
941.9	1237.6	1.314	49217.5	56352.5	22421.5	-2.76
982.8	1196.7	1,218	50577	54993	23781	-1.80
955.9	1223.6	1.280	50425.5	55144.5	23629.5	-1.91
998.4	1181.1	1.183	50351	55219	23555	-1.96
1078.8	1100.7	1.020	53430	52140	26034	-0.21
944.4	1235.1	1.308	49472.5	56097.5	22676.5	-2.59
909.4	1270.1	1.397	49021	56549	22225	-2.90
1034.5	1145.0	1.107	51373.5	54196.5	24577.5	-1.24
952.4	1227.1	1.288	49946.5	55623.5	23150.5	-2.25
995.7	1183.8	1.189	50763.5	54806.5	23967.5	-1.67
966.9	1212.6	1.254	49791.5	55778.5	22996.5	-2.35
959.6	1219.9	1.271	50045	55525	23249	-2.18
1022.7	1156.8	1.131	51950	53620	25154	-0.83
995.8	1183.7	1.189	50977	54593	24181	-1.52
974.5	1205	1.256	49877.5	55692.5	23081.5	-2.29
986.3	1193.2	1,210	50664.5	54905.5	23868.5	-1.74
956.8	1222.7	1.278	48937	56633	22142	-2.96
912.6	1266.9	1.388	48822.5	56747.5	22026.5	-3.04
1045.3	1134.2	1.085	52029.5	53540.5	25233.5	-0.78
1007.3	1172.2	1.164	50899	54671	24103	-1.57
998.3	1181.2	1.183	50684	54886	23888	-1.73
1016	1163.5	1.145	51047.5	54522.5	24251.5	-1.47
975.6	1203.9	1.234	50116	55454	23320	-2.13
1023.2	1156.3	1.130	51710	53860	24914	-1.00
942.4	1237.1	1.310	49636	55934	22840	-2.46
970.5	1209	1.346	49913	55647	23117	-2.27
1001.4	1177.1	1.176	50892.5	54677.5	24096.5	-1.58
1018	1161.5	1.141	51373.5	54196.5	24577.5	-1.24
983.5	1196	1.216	49843.5	55726.5	23047.5	-2.32
1081.5	1098	1.015	52261	53309	25465	-0.61

993.4	1186.1	1.194	49515	56055	22719	-2.55
1074	1105.5	1.029	53568.5	52001.5	25895.5	-0.31
956.9	1222.6	1.278	49149.5	56420.5	22353.5	-2.81
1017.4	1161.1	1.142	51515	54055	24719	-1.14

Tabla 10. Efecto de contaminación del año de 1974 sobre dos años con las mismas características de precipitación que el año de 1975, donde LDS = suma de la lluvia de los días sembrados, LDNS = suma de la lluvia de los días no sembrados, RDS = suma de rangos de los días sembrados, RDNS = suma de rangos de los días no sembrados, RS = razón simple, U, Z son estadísticos, * casos que resultaron significativos al nivel del 5%.

TABLA No. 11

INFLUENCIA DEL AÑO 1974 SOBRE DOS AÑOS DE LAS
MISMAS CARACTERISTICAS.

LDNS	LDS	RS	RDNS	RDS	U	Z
1276.3	1527.6	1.197	51120.5	54449.5	24324.5	-1.41
1339.1	1464.8	1.094	52208.5	53361.5	25412.5	-0.65
1243.4	1560.5	1.255	50458.5	55111.5	23662.5	-1.88*
1244.8	1529.1	1.252	49644	55926	22848	-2.46*
1302.6	1501.3	1.152	51419.5	54150.5	24623.5	-1.20
1414.5	1389.4	0.982	52193.5	53376.5	25397.5	-0.66
1252.7	1551.2	1.238	50312.5	55257.5	23516.5	-1.98*
1310.7	1493.2	1.139	51657	53913	24865	-1.04
1307.9	1496	1.144	51624.5	53945.5	24828.5	-1.06
1106.5	1697.4	1.534	47775.5	57794.5	20979.5	-3.77*
1476.2	1327.7	0.899	53296	52274	26168	-0.12
1261	1542.9	1.223	49387	56183	22591	-2.64*
1260.8	1543.1	1.224	49823	55747	23027	-2.33*
1257.2	1546.7	1.230	49079	56491	22283	-2.85*
1136.8	1667.1	1.466	46898.5	58671.5	20102.5	-4.39*
1371.7	1432.2	1.044	51345	54225	24549	-1.26
1143.1	1660.8	1.453	48435.5	57134.5	21639.5	-3.31*
1414.31	1389.6	0.982	53069.5	52500.5	26263.5	-0.04
1267.7	1536.2	1.212	49473	56097	22677	-2.58*
1370.7	1433.2	1.046	50642.5	54927.5	23846.5	-1.75*
1205.6	1598.3	1.326	50115.5	55454.5	23319.5	-2.12*
1185.4	1618.5	1.365	49484.5	56085.5	22688.5	-2.57*
1286.5	1517.4	1.179	50865.5	54704.5	24069.5	-1.59
1245.8	1558.1	1.251	49363.5	26206.5	22567.5	-2.65*
1141.6	1662.3	1.456	48248.5	57321.5	21452.5	-3.44*
1265.9	1538	1.215	50144	55426	23348	-2.10*
1406.8	1397.1	.993	52433.5	53136.5	25637.5	-0.49
1356.7	1447.2	1.067	51120	54450	24324	-1.42
1345.5	1458.4	1.084	51714.5	53855.5	24918.5	-1.00
1397.6	1406.3	1.001	51758	53812	24962	-1.00
1261.3	1542.6	1.223	49060.6	56509.5	22264.5	-2.87*
1264.1	1539.8	1.218	50207	55363	23411	-2.06*
1206.9	1597	1.323	50864	54706	24068	-1.60*
1362.1	1441.8	1.058	50207	55363	23411	-2.06*
1200.8	1603.1	1.335	48906.5	56663.5	22110.5	-2.97*
1344.1	1459.8	1.086	50971.5	54598.5	24175.5	-1.52
1310.5	1493.4	1.139	51514	54056	24718	-1.14
1324.2	1479.7	1.117	50641.5	54928.5	23845.5	-1.75*

1298.6	1505.3	1.159	50972	54598	24176	-1.52
1288	1515.9	1.177	51131.5	54438.5	24335.5	-2.99*
1218.7	1585.2	1.301	49420	56150	22624	-2.61*
1270.5	1533.4	1.207	50486	55084	23690	-1.86*
1270.8	1533.1	1.206	50190	55380	23394	-2.07*
1314.7	1489.2	1.133	40561	55009	23765	-1.81*
1247.1	1556.8	1.248	51429	54141	24633	-1.20
1385.5	1418.4	1.024	52838	52732	26042	-0.20
1280.7	1523.2	1.189	50618	54952	23822	-1.77*
1227.8	1576.8	1.284	50985	54585	24189	-1.51
1332.7	1471.2	1.104	49544	56026	22748	-2.53*
1181.7	1622.2	1.373	48888	56682	22092	-2.99*

Tabla 11.-Efecto de contaminación del año de 1974 sobre dos años con las mismas características de precipitación que en 1976, donde LDS = suma de la lluvia de los días sembrados, LDNS = suma de la lluvia de los días no sembrados, RDS = suma de rangos de los días sembrados, RDNS = suma de los rangos de los días no sembrados, RS = razón simple, U y Z son estadísticos, * casos que resultaron significativos en un 5%.

TABLA No. 12

INFLUENCIA DE 1974 SOBRE DOS AÑOS, UNO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE 1975 Y OTRO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE 1976.

LDNS	LDS	RS	RDNS	RDS	U	Z
1107.7	1391	1.264	50623	54947	22657	-2.58*
1143.9	1347.8	1.178	49686	55884	23351	-2.10*
1121	1370.7	1.223	49811.5	55758.5	23246.5	-2.18*
1234	1257.7	1.019	51365	54205	24569	-1.24
1155.1	1336.6	1.157	50366.5	55203.5	23801.5	-1.79*
1066.4	1425.3	1.336	49652	55918	23087	-2.29*
1170.1	1321.6	1.129	50347.5	55222.5	23785.5	-1.80*
1192.	1299.7	1.090	51568	54002	24772	-1.10
1159.7	1332	1.148	50259	55311	23694	-1.86*
1106.9	1384.8	1.251	49774	55796	23209	-2.20*
1171.5	1320.2	1.127	50395.5	55174.5	23830.5	-1.76*
1165.9	1325.8	1.137	51206.5	54363.5	24641.5	-1.19
1079.6	1412.1	1.308	50002	55568	23437	-2.04*
1051.3	1440.4	1.370	48211	57359	21646	-3.30*
1125.6	1366.1	1.214	51018	54552	24453	-1.33
1040.3	1451.4	1.395	48832	56738	22267	-2.87*
1082.1	1409.6	1.303	49452	56118	22887	-2.43*
1198.6	1293.1	1.079	51603.5	53966.5	25038.5	-0.91
1192.5	1299.2	1.089	51643.5	53926.5	25078.5	-0.88
1183.9	1307.8	1.105	50910	54660	24345	-1.40
1116.6	1375	1.231	50464.5	55105.5	23899.5	-1.72*
1128.7	1363	1.207	49718	55852	23153	-2.24*
1146.8	1344.9	1.173	50054	55516	23489	-2.00*
1190.7	1301	1.093	50930	54640	24365	-1.39
1164	1327.7	1.141	50370.5	55199.5	23805.5	-1.78*
1200.5	1291.2	1.075	51331	54239	24766	-1.11
1272.2	1219.5	0.958	51989.5	53580.5	25424.5	-0.64
1051.5	1440.2	1.370	47919	57651	21354	-3.51*
1151.4	1340.3	1.164	50555.5	55014.5	23990.5	-1.65*
1058.3	1433.4	1.354	47974	57596	21409	-3.47*
1205.9	1285.8	1.066	51115	54455	24550	-1.26
1058.3	1433.4	1.354	49454.5	56115.5	22889.5	-2.43*
1162.7	1329	1.143	50157.5	55412.5	23592.5	-1.93*
1083.7	1408	1.299	49399	56171	22834	-2.47*
1094.3	1397.4	1.277	49607.5	55962.5	23042.5	-2.32*
1172.5	1319.2	1.125	50666.5	54903.5	24101.5	-1.57
1155.6	1336.1	1.156	49976	55594	23411	-2.06*
1142.8	1348.9	1.180	49748	55822	23183	-2.22*
1095.4	1396.3	1.275	48634.5	56935.5	22069.5	-3.01*
1150.2	1341.5	1.166	51125.5	54444.5	24560.5	-1.25
1038.6	1453.1	1.399	48851.5	56719	22286	-2.85*
1173.4	1318.3	1.123	50997	54573	24432	-1.34

1145.8	1345.9	1.175	51156	54414	24591	-1.23
1104.5	1387.2	1.256	49497.5	56072.5	22932.5	-2.40*
1217	1274.7	1.047	51555.5	54014.5	24990.5	-0.95
1152.1	1339.6	1.163	50866	54704	24301	-1.43
1087.9	1403.8	1.290	48573	56997	22008	-3.05*
1109.2	1382.5	1.246	50237.5	55332.5	23672.5	-1.88*
1170.2	1321.5	1.129	50354	55216	23789	-1.79*
1006.9	1484.8	1.475	49492	56078	22927	-2.40*
1082.8	1408.9	1.301	49924	55646	23359	-2.10*
1170	1321.7	1.130	51579.5	53990.5	25014.5	-0.93
1073.8	1417.9	1.320	50310.5	55259.5	23745.5	-1.82*
1111.5	1380.2	1.242	50287	55283	23722	-1.84*
1182.4	1309.3	1.107	49936.5	55633.5	23371.5	-2.09*
1085.4	1406.3	1.296	48606	56964	22041	-3.03*
1058.2	1433.5	1.355	49926	55644	23361	-2.10*
1177.2	1314.5	1.117	50870.5	54699.5	24305.5	-1.43
1094.7	1397	1.276	50614	54956	24049	-1.61*
1202.8	1288.9	1.071	50083.5	55486.5	23518.5	-1.98*

Tabla 12. Efecto de contaminación del año de 1974 sobre dos años, uno con las características de precipitación de 1975 y otro con las características de precipitación de 1976, donde LDS = suma de la lluvia de los días sembrados, LDNS = suma de la lluvia de los días no sembrados, RDS = suma de rangos de días sembrados, RDNS = suma de rangos de días no sembrados, RS = razón simple, U y Z son estadísticos, * casos que resultaron significativos al nivel del 5%.

Conclusiones.

I.-Las operaciones de modificación del tiempo pueden ser de dos tipos:

- 1.-Operaciones comerciales, en las cuales todas las situaciones que satisfacen el criterio de siembra son tratadas (sembradas).
- 2.-Operaciones experimentales, en las cuales se usa más instrumentación y se hacen más mediciones, además de que se usa la aleatoriedad en la siembra de nubes.

Los requisitos básicos de los dos tipos de operaciones difieren sustancialmente, pero ambos pueden usar el criterio operacional sin interferir cuando se conducen operaciones en condiciones meteorológicas adversas y se crea la demanda de modificación del tiempo.

Para que las operaciones de modificación del tiempo sean confiables en la evaluación de los resultados, se requiere una atención cuidadosa de los cuatro puntos básicos:

- 1) Diseño de las operaciones
- 2) Determinación del criterio de siembra
- 3) Dirección de cada misión de sembrado
- 4) Colección y registro de todos los datos pertinentes para la evaluación.

II.-Al hacer la evaluación estadística de los experimentos, se debe prestar fundamental atención en todos aquellos factores meteorológicos de ocurrencia poco frecuente que puedan influir en los resultados finales.

III.-En el análisis que se hace de los datos obtenidos por la Comisión de Aguas del Valle de México, que realizó experimentos a gran escala en la Sierra de Chichinautzin, se concluye:

1.-De acuerdo a los cálculos realizados, no se puede considerar que las siembras son o no efectivas por la baja potencia de la prueba.

2.-Según los datos que se tienen, solamente en el año de 1974 se encuentra una diferencia significativa entre la lluvia de los "días sembrados" y la lluvia de los "días no sembrados", sin afirmar que sea por las siembras; es el que se refleja en los resultados de la evaluación del conjunto de los tres años 1974, 1975, y 1976.

Se infiere también, que en la evaluación estadística de este tipo de experimentos, se consideren años secos y lluviosos por separado con el objeto de obtener resultados más precisos.

Como ya antes se ha mencionado (Estrada 1972, 1973), es necesario considerar otras variables que influyen directamente en la precipitación de una región, y como es la proximidad a

fuentes de contaminación artificial (ciudades), ciclones, etc., y sobre todo que en los experimentos intervengan personas que tengan una preparación afín.

IV.-Por la variabilidad natural de la lluvia, el granizo, etc., en los experimentos de modificación del tiempo (siembra de nubes, supresión del granizo, disipación de nieblas, etc.), se hace necesario un diseño experimental muy estructurado y completo de tal forma que la evaluación de los resultados sea muy objetiva.

Para realizar experimentos de modificación del tiempo con fines de investigación, etapa que aún no se ha superado, requieren por la naturaleza de lo que se investiga, un mínimo en cuanto a los siguientes puntos:

- a) Preparación de los investigadores en el campo de la meteorología, y en especial de la física de nubes.
- b) Instrumental y recursos: radar, avión, radio sonda, etc., porque de otra forma los datos básicos para la comprobación física y/o estadística son insuficientes.

La mayor parte de las tierras que se cultivan en la República Mexicana son de temporal, la mayor producción de Energía Eléctrica se genera en las Plantas Hidráulicas; por lo que los experimentos de siembra de nubes, han tenido como objetivo encre-mentar la precipitación. Un ejemplo son los experimentos reali-

zados en los años de 1974, 1975 y 1976 en la Sierra de Chichinau-
tzin por la Comisión de Aguas del Valle de México, que es proto-
tipo de casi todos los realizados en el país, y es notoria la
falta de planificación, de diseño, de instrumentación etc., y
por lo mismo, los resultados que se pudieron obtener carecen de
evidencia estadística.

REFERENCIAS.

- 1.-Adderley, E.E., Rainfall increases downwind from cloud seeding projects in Australia. American Meteorological Society. Boston 1978. pp 42-46.
- 2.-E.M. Fournier d'Albe. Climatic zones favourable for cloud seeding with hygroscopic nuclei. World Meteorological Organization. August 1976. pp 3-6.
- 3.-L. Vardiman et al. Generalized seedability criteria for winter orographic clouds. pp 41-48. World Meteorological Organization. 1976.
- 4.-R.R. Rogers. Física de las Nubes. Ed. Reverté, S.A.
- 5.-Fleagle, R.G., and J.A. Businger. An Introduction to Atmospheric Physics.
- 6.-Barry, R.G., y R.J. Chorley, 1972. Atmósfera, Tiempo y Clima. Barcelona, Ediciones Omega S.A.
- 7.-Louis J. Battan. El Tiempo Atmosférico, 1976. Barcelona, Ediciones Omega, S.A.
- 8.-Weather Modification: Prospects and Problems. Cambridge University Press 1980.
- 9.-B. Federer et al., Journ. Weather Modif., 8 (1975), p 177
- 10.-B. Federer et al., Grossversuch IV: Design of a Randomized Hail Suppression Experiment using a soviet Method 1977.
- 11.-B.J. Mason, D.Sc., F.R.S., The Physics of Clouds. Clarendon Press. Oxford. Second Edition. 1971. pp 369-398.
- 12.-Braham, R.R., 1966. Final Report of Project Whitetop, Parts I and II. University of Chicago, Department of Geophysical Sciences.
- 13.-Elliot, R.D., 1967. Evaluation Parameters. Proc. Skywater II. Conf., U.S. Dept. of Interior, Bureau of Reclamation, Denver, Colo., pp 55-112,
- 14.-Huff, F.A., 1969. Climatological Assessment of Natural Precipitation Characteristics for Use in Weather Modifications. J. Appl. Meteor., 8, pp 401-410.
- 15.-Huff, and S.A. Changnon, Jr., 1972. Evaluation of Potential Effects of Weather Modification on Agriculture in Illinois. J. Appl. Meteor., 11, pp 376-384.

- 16.-Morgan, G.M., D.A. Brunkow, and R.C. Beebe, 1975. Climatlogy of Surface Fronts. Circular 122, Illinois State Water Survey, Urbana, Ill., 46 pp.
- 17.-Floyd A. Huff and Stanley A. Changnon, Jr. Final Report. Part I National Science Foundations. July 1980. 22 pp.
- 18.-Comisión de Aguas del valle de México, 1979. "Estimulación de la lluvia en la Sierra de Chichinautzin".
- 19.-Estrada Betancourt Jorge, 1972. "Algunos resultados de la evaluación de la estimulación de la lluvia en la Cuenca de Necaxa, Puebla". Compañía de Luz y Fuerza del Centro, S.A.
- 20.-Estrada Betancourt Jorge, 1973. "Análisis no paramétrico de la siembra de nubes en la Cuenca del Necaxa, Puebla". Compañía del Luz y Fuerza del Centro, S.A.
- 21.-Neyman J. and E.L. Scott, 1967. "Sobre out sanding problems relating to rain modification". Proc. 5th Berkeley Symposim on Mathematical Statistics and Probability, Vol. 4, Berkeley and Los Angeles, University of California Press. pp 371-384.
- 22.-Siegel S. "Diseño Experimental no paramétrico". Ed. Trillas, S.A., 1979. 335 pp.
- 23.-Weather Modification Atmospheric Bureau. 1978.