

PROGRAMA HIDROMET DE ESTIMULACION DE LLUVIA. **RESULTADOS EN CUBA**

INTRODUCCION

- Cuba antes de 1980

Antes del 80, en Cuba se hicieron algunos trabajos de siembra de nubes con aviones, algunos por compañías privadas antes de 1959 y los otros por el gobierno cubano. Pero ninguno de estos trabajos fue de largo alcance y fue por períodos de tiempo muy cortos. En la mayoría de los casos el reactivo utilizado fue CO₂ sólido, (llamado también hielo seco).

- Cuba después de 1980

Se comienzan estudios de investigación en física de la atmósfera bien organizados y paralelamente campañas de incremento artificial de las precipitaciones en el oriente del país fundamentalmente. En esta década de los años 80, se uso tanto el CO₂ sólido con cápsulas pirotécnicas de Agl, obteniéndose incrementos que oscilaban cada año entre un 10 y un 25 %. Este periodo de trabajo continuó ininterrumpidamente hasta el 1991, en que por problemas económicos se suspende.

Las condiciones y años con sequía siguieron apareciendo y en julio del 2005 después de trabajos previos organizativos, se comienza con trabajos operativos y de investigación nuevamente.

INICIO DEL PROGRAMA: JULIO 2005

A partir de esta fecha, producto de la sequía severa que presentaban las provincias del oriente cubano se da inicio a un Programa que reunía 4 Proyectos:

1. Proyecto de investigación (Rusia – Cuba)
2. Proyecto ELAT (mexicano)
3. Proyecto siembra con aviones (China – Cuba)
4. Proyecto HIDROMET (Chileno)

El primero de estos como continuación de las investigaciones no concluidas en la década de los años 80, con colaboración con Rusia. Operó en la provincia de Camaguey.

El segundo, ya de tipo operativo, con la compañía mexicana Electrificación Local de la Atmósfera Terrestre (ELAT), basado en la generación de iones a través de un campo de antenas. Su actividad ha tenido oscilaciones en el tiempo. Operó en la provincia de Las Tunas.

El tercero, el ya conocido y más trabajado por el equipo cubano: siembra de nubes con Agl desde aviones, esta vez con el aporte de cartuchos y lanzadores chinos. Este proyecto solo estuvo activo desde julio hasta octubre del 2006. Operó en las provincias de Holguín, Granma, Santiago de Cuba y en ocasiones en Las Tunas.

Y el cuarto, el Proyecto de siembra de nubes con Agl desde generadores terrestres, llevado a cabo por la compañía chilena HIDROMET, SA., el cual desde que empezó no se ha detenido, sino por el contrario ha aumentado la cantidad de generadores debido a los resultados obtenidos, a petición de las autoridades cubanas.

METTECH SPA – www.mettech.cl

Texto de libre distribución. La creación y propiedad intelectual son propiedad de sus autores. Mettech SPA solo recopila y difunde información relacionada a la siembra de nubes.

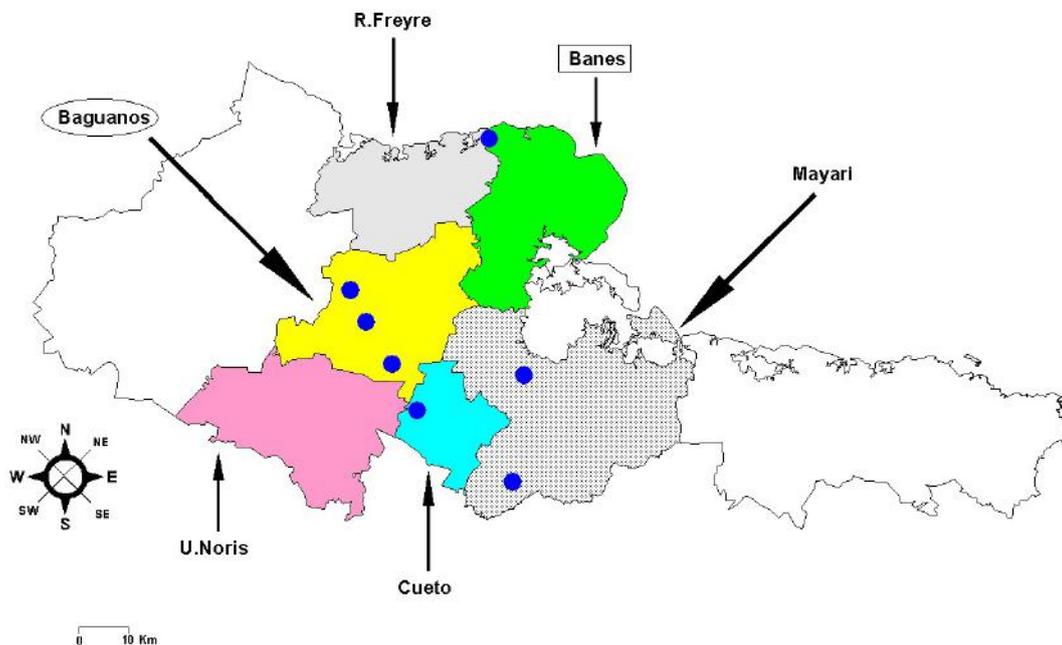
EL PROYECTO HIDROMET.
Año 2005

El sistema terrestre se aplicó primeramente de manera experimental, ya que no había muchas experiencias de su aplicación climas tropicales. Se esperaba resultados positivos, aunque el porcentaje de incremento fuera una incertidumbre. Para beneficio de todos, los resultados fueron mejores que cualquier expectativa previa, como es posible de apreciar en las evaluaciones efectuadas.

De los 3 programas en ejecución en Cuba (dos aéreos u uno terrestre), el único que ha presentado un continuo incremento, tanto en la cantidad de equipos como en la cobertura de tiempo, ha sido el de generadores terrestres. El contrato inicial era por 2 años, solo en la temporada lluviosas (verano). Sin embargo ha funcionado de forma continua y ya se está en el quinto año de aplicación, sin intenciones manifiestas de ponerle término.

En cuanto a la cantidad de equipos, se comenzó con 14, para posteriormente aumentar a 23, en seguida a 25 y actualmente se está en proceso de instalar 6 más, llegando a un total de 31, cubriendo amplia y principalmente la provincia de Holguín y en segundo lugar a Santiago de Cuba.

El programa chileno comenzó operativamente el 29 de julio del 2005, con 14 generadores distribuidos por las provincias orientales de Holguín, Santiago de Cuba y Granma, ubicados siete en Holguín, seis en Santiago de Cuba y uno en Granma. Esta distribución seguía el objetivo inicial del proyecto que era favorecer la Cuenca del río Cauto y la mitad occidental de la provincia Holguín. Centrando la atención en la provincia de Holguín la distribución de generadores inicial se muestra en el siguiente mapa:



METTECH SPA – www.mettech.cl

Texto de libre distribución. La creación y propiedad intelectual son propiedad de sus autores. Mettech SPA solo recopila y difunde información relacionada a la siembra de nubes.

Como el movimiento de la nubosidad, en esta región del país, fundamentalmente es de componente Este, la primera evaluación estadística realizada fue de correlación –regresión entre un polígono de trabajo y otro de control, escogiendo al municipio Báguanos como el de trabajo debido a la disposición de generadores en su entorno y al municipio de Banes como el de control. El periodo escogido para esta evaluación fue el trimestre agosto-octubre del 2005, que corresponde al inicio del trabajo y el fin del periodo lluvioso en la región. Los resultados fueron los siguientes:

Los datos utilizados corresponden a los valores mensuales de precipitación de los municipios de Báguanos y Banes de agosto a octubre, desde 1970 hasta el 2004. Los resultados extraídos de esta base se comparan con los valores del trimestre correspondiente del 2005 para los municipios de referencia.

Los resultados de la correlación regresión entre el polígono de trabajo y el de control fueron los siguientes:

Coefficiente de correlación R = 0.68

Los coeficientes de la regresión lineal:

Intercepto (b) = 141.2866

Pendiente (a) = 0.6658

La lluvia caída durante el trimestre en ambos polígonos fue la siguiente:

Y = 590.6 mm

X = 449.2 mm

Si evaluamos para la lluvia caída en el polígono de control cuánto debería haber caído en el polígono de trabajo, los resultados son los siguientes:

X = 449.2 mm Y = 440.4 mm

Una diferencia de 150.2 mm que correspondería a un incremento de un **34.1 %**

Pero analizando la lluvia en los demás municipios de la región, encontramos que el año no había sido un año promedio, sino lluvioso, por lo que no evaluamos con el valor dado por la regresión, sino con el extremo superior del intervalo de confianza para el polígono de trabajo que fue:

Limites de confianza para la variable dependiente con alfa = 0.05 fueron:

[400.0 mm -- 480.7 mm]

Escogiendo el extremo superior de este intervalo notamos que la diferencia fue de 109.9 mm por encima lo que representa un incremento del **22.9 %**

Ahora, cuán lluvioso fue el trimestre podemos valorarlo por la magnitud de la lluvia caída en el polígono de control, donde evaluamos que la lluvia cayó en el percentil 81,5 de la distribución de precipitación. Si valoramos en la distribución trimestral del polígono de trabajo, el mismo percentil, i.e., el 81,5 tiene un valor para esta región de 477.9 mm, casi igual que el extremo superior que habíamos tomado a priori. Con este valor, la diferencia con lo que precipitó fue de 112.7 mm que representa un incremento de **23.6 %**, muy aproximado al valor antes dado.

Año 2006.

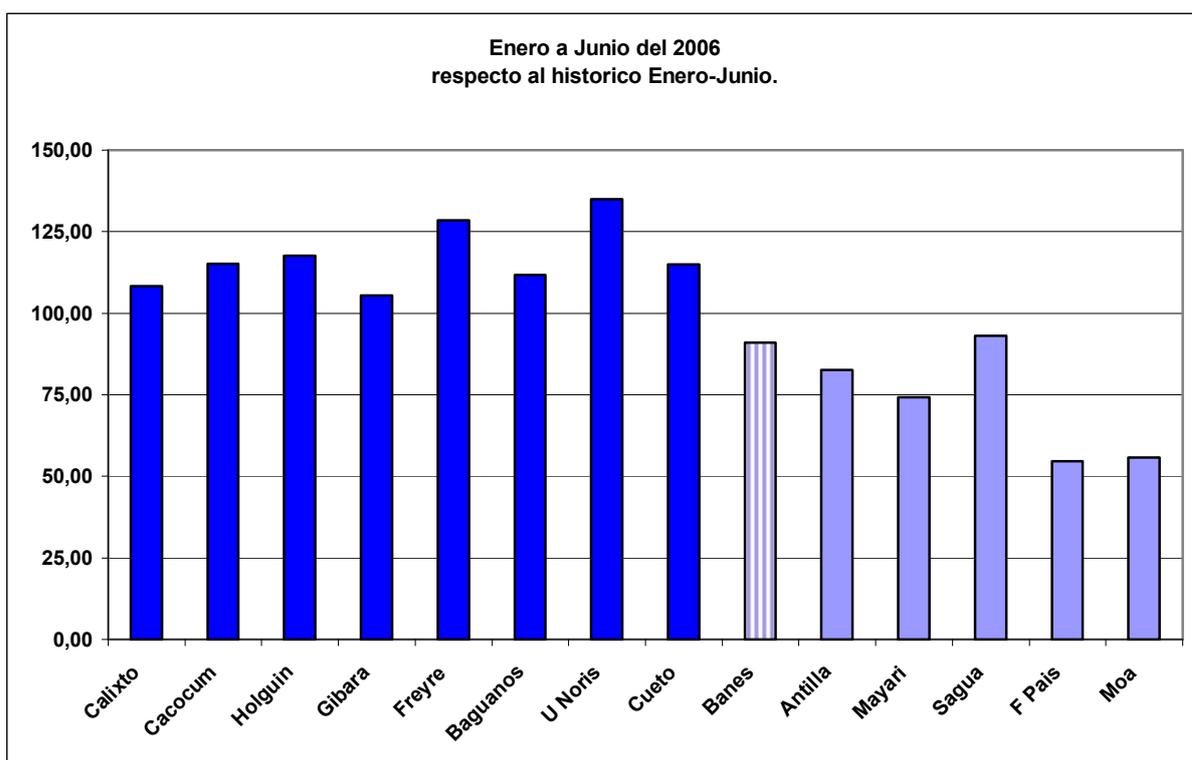
En el año 2006 los generadores trabajaron interrumidamente, pero en el periodo desde Julio hasta Octubre, se realizaron operaciones de siembra con aviones en la mitad occidental de la provincia, i.e. donde se encuentran los generadores, lo que impide separar los efectos para la

METTECH SPA – www.mettech.cl

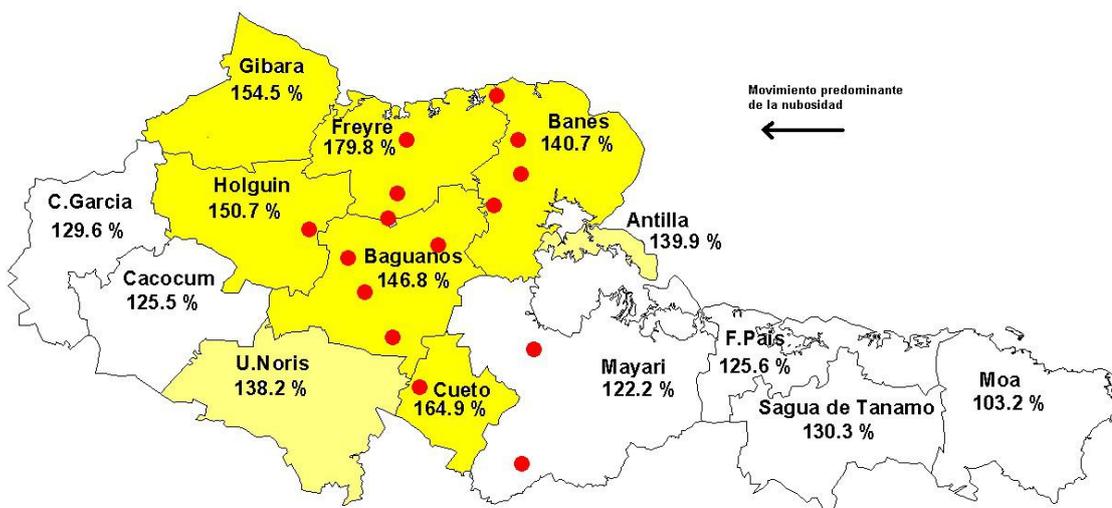
Texto de libre distribución. La creación y propiedad intelectual son propiedad de sus autores. Mettech SPA solo recopila y difunde información relacionada a la siembra de nubes.

evaluación, aunque en Septiembre sólo se operó un día en la zona de los generadores y en Octubre unos cuatro días. Sin embargo, tenemos índices que indican su efecto, como lo es la lluvia caída hasta el mes de Junio respecto a su promedio histórico en los todos los municipios de la provincia, y se observa mayores acumulados en los municipios del poniente, donde se encuentran los generadores y viento abajo.

El siguiente grafico de barras los señala claramente:

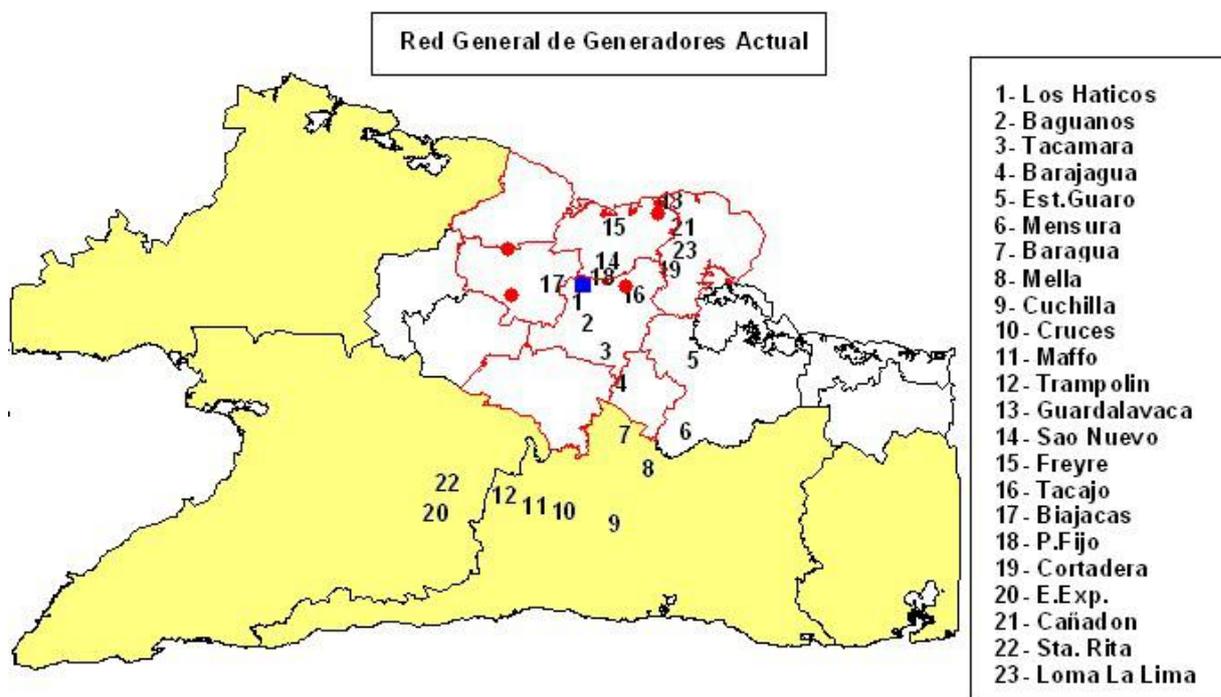


El resultado final de las precipitaciones en la provincia de Holguín en este año fue el que aparece en el siguiente mapa:



Un detalle interesante es señalar que históricamente los cuatro municipios del oriente de la provincia son los más lluviosos, inclusive del país, y aunque este año también fue lluvioso, los municipios donde el incremento respecto al acumulado anual sobrepasaron el 40 % fueron los señalados en la región donde se ubican los generadores o hacia el occidente de los mismos, según el movimiento predominante de la nubosidad en la zona.

Este año, en Agosto, también producto de las necesidades hídricas de la provincia, en especial el abasto de agua a la población de Holguín y la zona turística, se consideró aumentar el número de generadores en 9, totalizando 23, de los cuales 15 se ubican en la zona occidental de Holguín.



El cuadro azul representa el embalse "Gibara", de uso en el abasto de agua a la población de Holguín al igual que los dos círculos rojos que se encuentran hacia el Oeste del mismo. Los otros dos círculos rojos son embalses de uso agrícola uno y el de la costa de utilidad para el turismo.

Valoremos el caso particular y de suma importancia para la población de la ciudad cabecera de la provincia de Holguín, que toma sus aguas de tres embalses; Cacoyugüín de 5.62 Hm^3 , Güirabo de 15.2 Hm^3 y Gibara de 65.6 Hm^3 de capacidad. Este último embalse, que almacena el 75.9 % del agua que abastece la ciudad de Holguín, se encontraba a inicio del programa en Julio del 2005 con un 2 % de agua embalsada respecto a su capacidad total, mientras que en enero del 2007 su acumulado de agua embalsada llegaba al 74 % de su capacidad total, es decir, por encima de los 48 millones de metros cúbicos.

Imágenes de este embalse antes y después podemos verlos a continuación:

METTECH SPA – www.mettech.cl

Texto de libre distribución. La creación y propiedad intelectual son propiedad de sus autores. Mettech SPA solo recopila y difunde información relacionada a la siembra de nubes.



Embalse Gibara
Volumen Total
65.6 Hm³
Volumen en la
fecha
2.06 Hm³
Fecha
Julio -2005

Antes



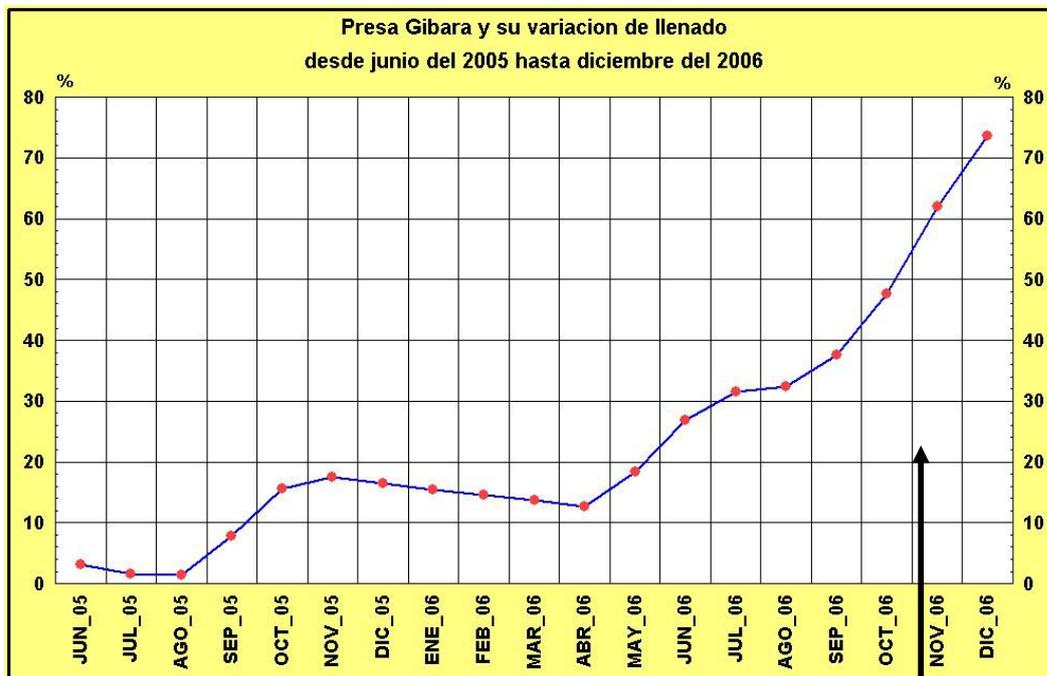
Embalse Gibara
Volumen Total
65.6 Hm³
Volumen en la
fecha
48.29 Hm³
Fecha
Enero -2007

A principios de 2007

METTECH SPA – www.mettech.cl

Texto de libre distribución. La creación y propiedad intelectual son propiedad de sus autores. Mettech SPA solo recopila y difunde información relacionada a la siembra de nubes.

La evolución en porcentaje de este embalse respecto a su capacidad total la vemos en la siguiente línea, observe como después de la instalación de los nueve generadores en Agosto del 2006, la pendiente de llenado mensual crece.

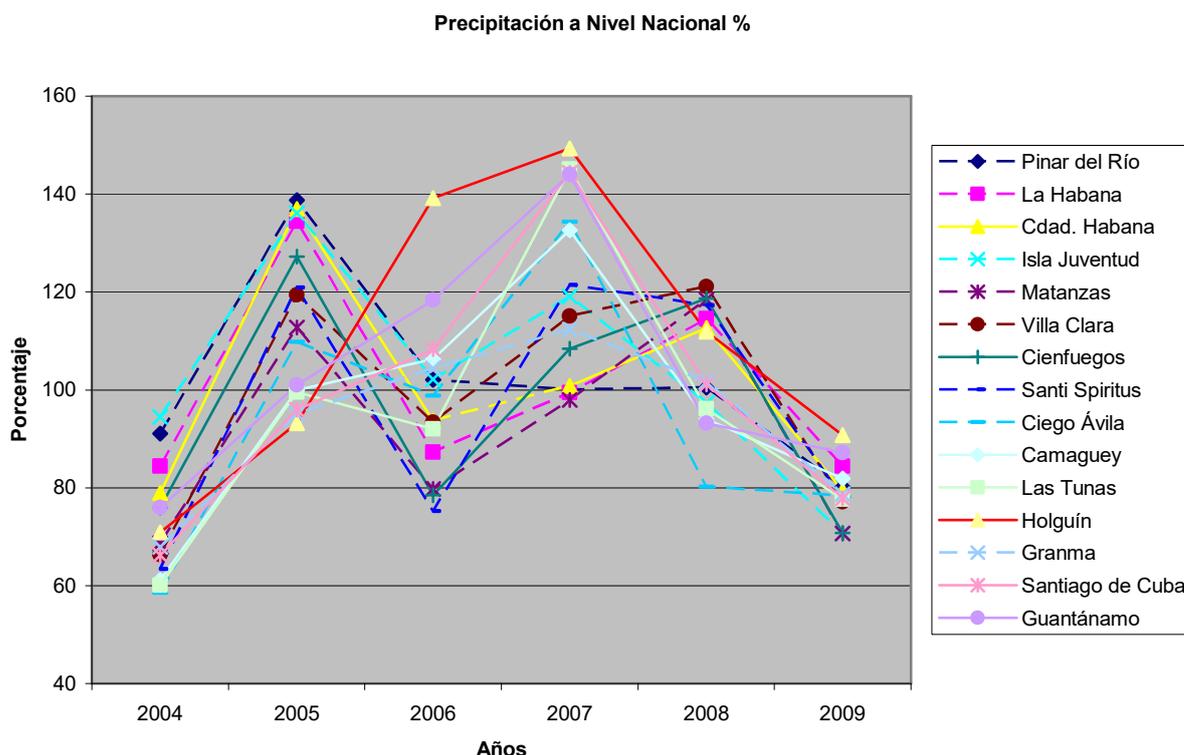


METTECH SPA – www.mettech.cl

Texto de libre distribución. La creación y propiedad intelectual son propiedad de sus autores. Mettech SPA solo recopila y difunde información relacionada a la siembra de nubes.

Años 2008 y 2009

En los años siguientes, se continuaron sin interrupción las evaluaciones periódicas a cargo de meteorólogos pertenecientes al INSMET – Instituto de Meteorología de Cuba – y a arrojado resultados iniciales entre 15 al 17% de aumento de la caída pluviométrica, ubicando a Holguín como la mejor provincia a nivel nacional en cuanto a superávit pluviométrico y la que presenta los mejores índices de reservas de agua embalsada.



Lo anterior se visualiza en este gráfico, donde se puede apreciar que la Provincia de Holguín (en rojo), pasa de ser una de las más deprimidas a nivel nacional el año 2004 y gran parte del 2005 al más alto superávit pluviométrico a nivel nacional el 2006 y 2007. El año 2008, pasan algunos ciclones y tormentas importantes por el occidente del país, donde no se aplican programas, y superan a Holguín, pero el año 2009 nuevamente toma la cabeza. Esta misma situación se repite al comparar los niveles de agua embalsada a nivel nacional, donde Holguín también mantiene el liderazgo.

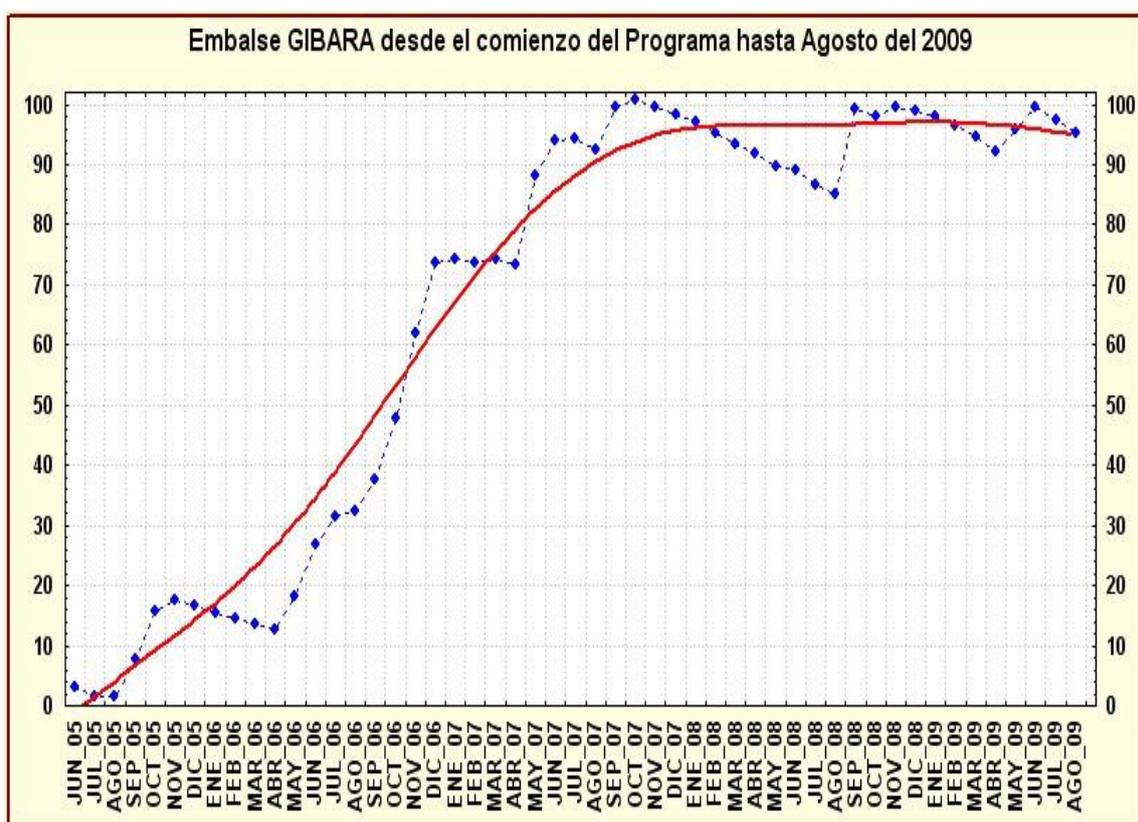
La segunda provincia que presenta en este periodo el mejor superávit pluviométrico y agua embalsada es Santiago de Cuba. Coincidentemente Holguín tiene 17 de los 25 equipos instalados en su zona y Santiago de Cuba 8. En otras palabras, cuando comenzó a operar el programa de

METTECH SPA – www.mettech.cl

Texto de libre distribución. La creación y propiedad intelectual son propiedad de sus autores. Mettech SPA solo recopila y difunde información relacionada a la siembra de nubes.

generadores terrestres, Holguín pasó de ser una de las provincias más afectadas por el déficit de lluvias a ser la mejor a nivel nacional, condición que la ha mantenido invariablemente durante los casi 5 años de programa. Santiago de Cuba se mantiene en segundo lugar entre las provincias bajo programas de estimulación y Camaguey en tercer lugar, donde se realiza el Programa aéreo.

Al analizar nuevamente en forma específica el comportamiento de la presa Gibara - principal embalse que da agua a la ciudad de Holguín - se aprecia claramente en el gráfico siguiente un importante repunte partir de octubre del 2006, fecha en que se rodeó la presa con equipos, lográndose por primera vez, desde que fue construida, que comenzara verter a fines del verano del 2007, manteniendo considerables y tranquilizadores niveles de llenado desde entonces, siendo Holguín en la actualidad, la que presenta el mayor porcentaje de llenado de sus presas a nivel nacional.



Resumen.

Podemos decir al final del año 2006, que el Proyecto de siembra de nubes con generadores terrestres llevado a cabo por HIDROMET S.A. dio resultados observables con incremento de la lluvia caída en el orden de un **23 %** de incremento.

METTECH SPA – www.mettech.cl

Texto de libre distribución. La creación y propiedad intelectual son propiedad de sus autores. Mettech SPA solo recopila y difunde información relacionada a la siembra de nubes.

Estos valores incrementados en las precipitaciones están de acuerdo con los resultados de otras técnicas aplicadas en la década del 80 donde se obtuvieron resultados de este nivel en años relativamente lluviosos y del orden de un 8 - 10 % en años de poca pluviosidad.

El abasto de agua a la población de la ciudad cabecera de la provincia de Holguín fue resuelto, contando al finalizar el 2006 con un 79,6 % de su reserva total, no obstante, como estrategia a seguir en estos programas, se decidió continuar con el trabajo de los generadores para mantener los niveles de agua alcanzados.

En las evaluaciones de los años posteriores, el porcentaje se ha enmarcado en porcentajes más cercanos a los obtenidos internacionalmente en cuentos de programas de este tipo, del orden del 15 al 17% de incremento.

Como se puede apreciar entonces, los resultados del Programa con Generadores son muy evidentes y regulares, reafirmando como una de las metodologías confiables y probadas a nivel internacional para Programas Operativos.



Guillermo Puente
Meteorólogo especialista en Modificación del Clima
Supervisor Técnico Programa Lluvia Provocada
Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente - CITMA - Cuba

Correo electrónico: gpg180355@yahoo.es

METTECH SPA – www.mettech.cl

Texto de libre distribución. La creación y propiedad intelectual son propiedad de sus autores. Mettech SPA solo recopila y difunde información relacionada a la siembra de nubes.