

## **II sesión de la Plataforma Regional para la Reducción de Riesgo de Desastre en las Américas, Nuevo Vallarta, Nayarit, México**

**Aplicación de la modelación probabilista para la gestión del riesgo de desastre en ciudades, sectores esenciales e infraestructura**

Sesión Paralela (Marzo 16, 2011) – Organizada por el Banco Mundial

### **La aplicación de modelos en el manejo del recurso hídrico y plan de contingencia del Canal de Panamá**

**Jorge A. Espinosa**

**Gerente de la Sección de Recursos Hídricos**



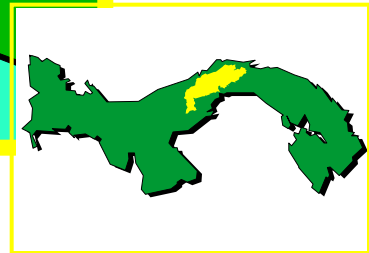
**CANAL DE PANAMÁ**

16 de marzo de 2011



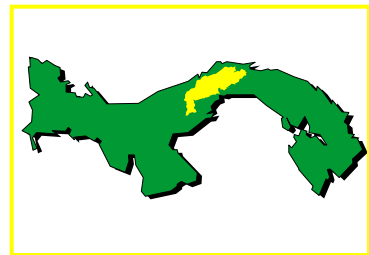
© 2009 TerraMetrics. Datos de mapa ©2009 Tele Atlas. LeadDoo Consulting. MapLink/Tele Atlas. Europa Technologies - Términos de uso

# Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá (CHCP)



# Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá (CHCP)

Debido a la Construcción del Canal de Panamá, la Cuenca Hidrográfica del Canal tiene la distinción de ser la única cuenca de tamaño considerable en el planeta que descarga sus aguas en dos océanos



# El Canal de Panamá

- El Canal de Panamá se inauguró el 15 de Agosto de 1914
- La vía acuática es aproximadamente de 50 millas (80 km) de largo entre el Océanos Atlántico y Pacífico
  - El Lago Gatún se encuentra a 85 pies (26 m) por arriba del nivel del mar
- La vía acuática es utilizada para subir y bajar las naves en cada juego de Esclusas desde el lago Gatún por gravedad (aproximadamente 55 millones de galones de agua por tránsito)



# PRECIPITACIÓN ANUAL (mm)

**Leyenda**

- Centros poblados
- Límite de provincia
- Vías principales
- Ríos
- Cuenca Hidrográfica del Canal

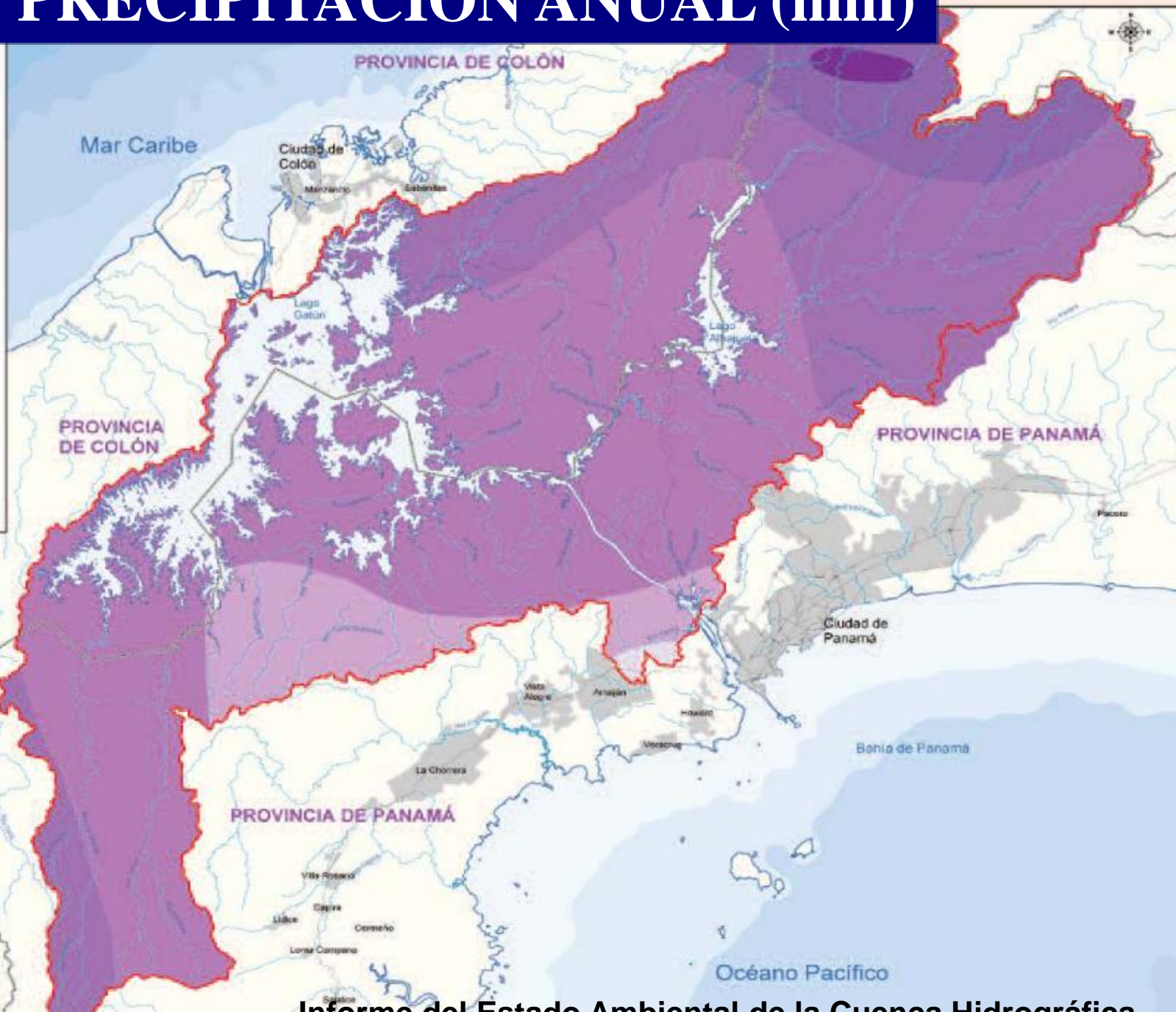
**Precipitación (mm/año)**

- Menos de 1750
- 1751-2050
- 2051-2550
- 2551-3500
- 3501-4550
- más de 4551

Mapa producido por la Comisión Interinstitucional de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá

Fuente: Centro de Información Ambiental de la Cuenca  
Comisión Interinstitucional de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá

División de Ambiente  
Departamento de Ambiente, Agua y Energía  
Autoridad del Canal de Panamá



# Usos del Agua en el Canal de Panamá



# Potabilización de Agua para Consumo Humano





# Navegación



M/V Fortune Plum: Panama Canal's one-millionth transit  
September 4, 2010



# Hidrogeneración de Energía Eléctrica



**Planta Hidroeléctrica Gatún  
24 MW**



**Planta Hidroeléctrica de Madden  
36 MW**

## Uso del Agua extraída de los embalses Gatún y Alhajuela

Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá.

Volumen promedio de agua en Millones de metros cúbicos (Mm<sup>3</sup>)

Periodo 1990 - 2010

Vertidos Gatún

12%

Potabilización

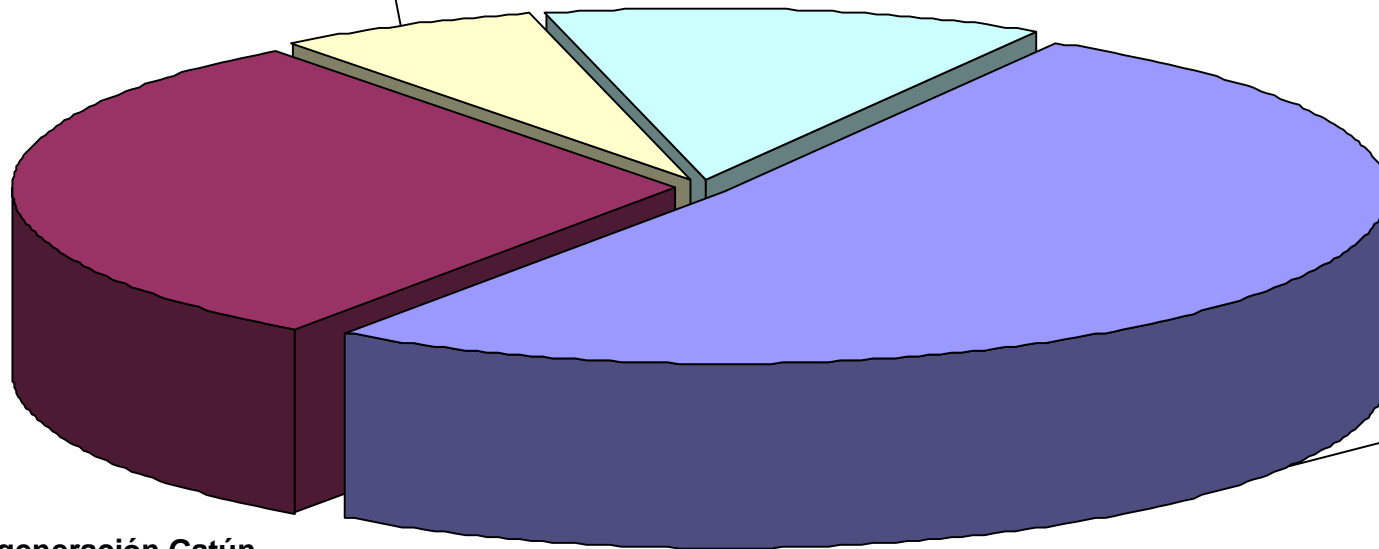
6%

Tránsito de buques

52%

Hidrogenación Gatún

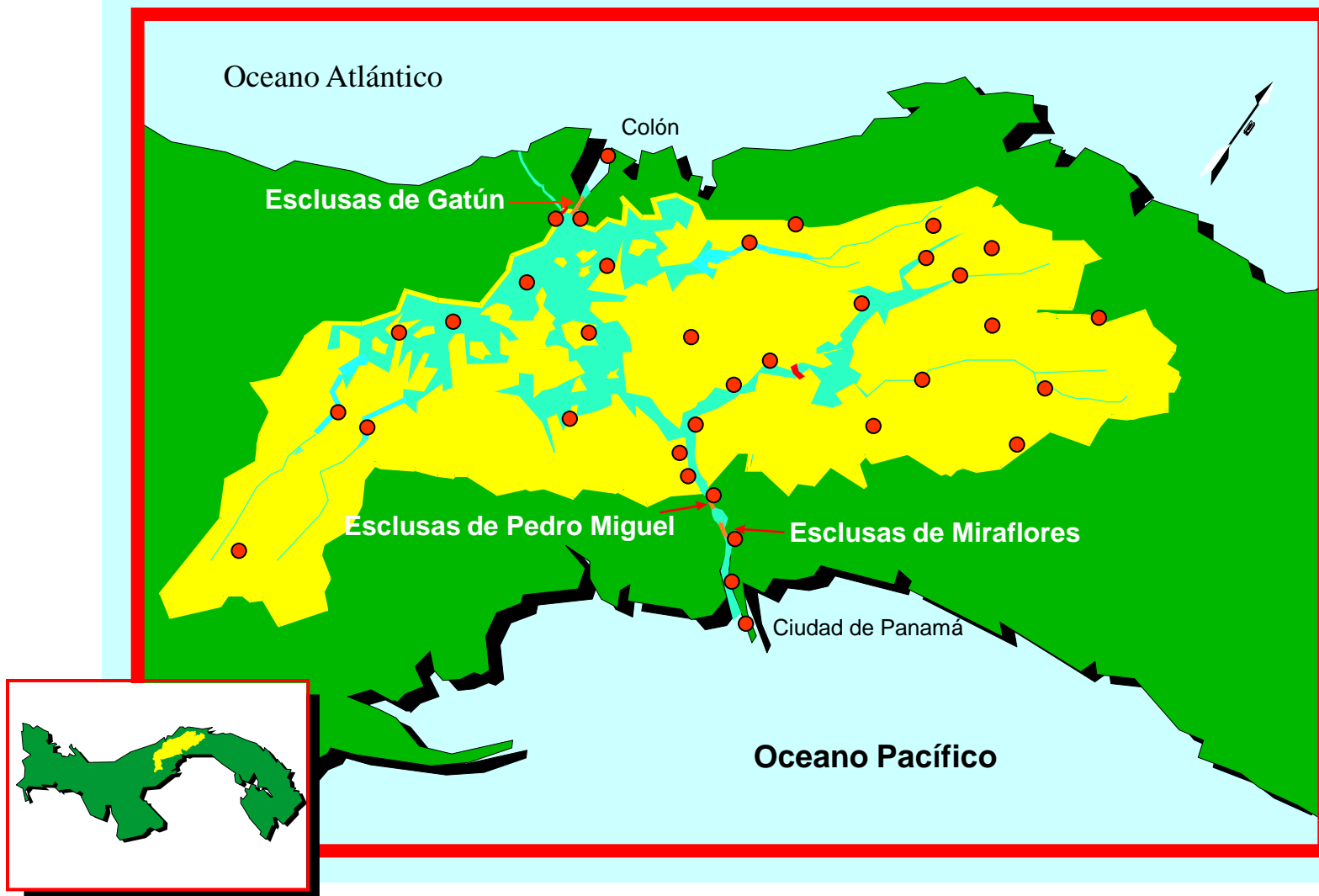
30%



# Equipos Utilizados para la Adminsitración del Recurso Hídrico

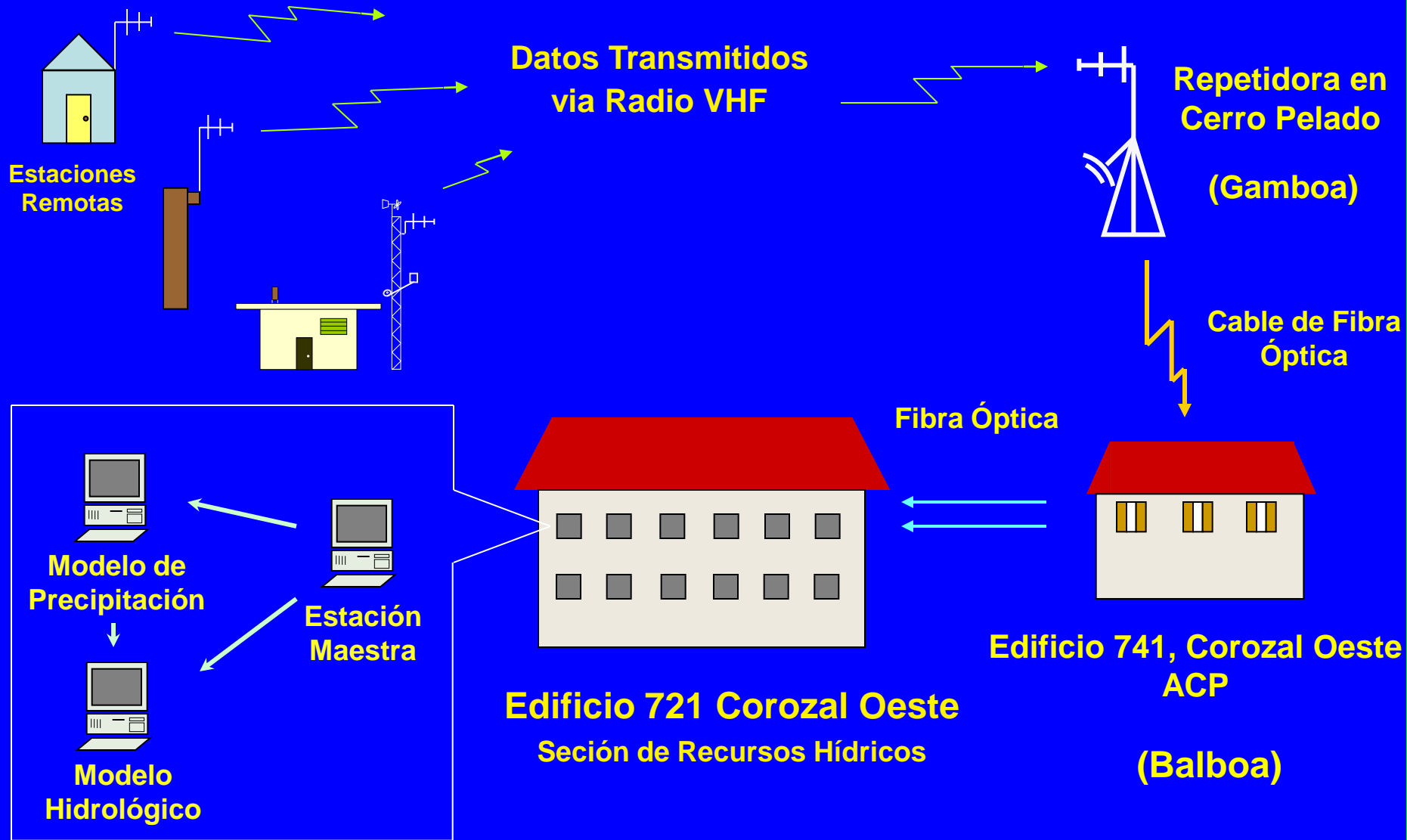


# RED HIDROMETEOROLÓGICA DEL SISTEMA DE TELEMETRÍA DEL CANAL DE PANAMÁ



# SISTEMA DE TELEMETRÍA

## Seccion de Recursos Hídricos



# Estación Meteorológica y de Nivel de Lago



# Estación Meteorológica



**VALIDACION DE LOS DATOS DE LOS  
SENSORES DE VISIBILIDAD**



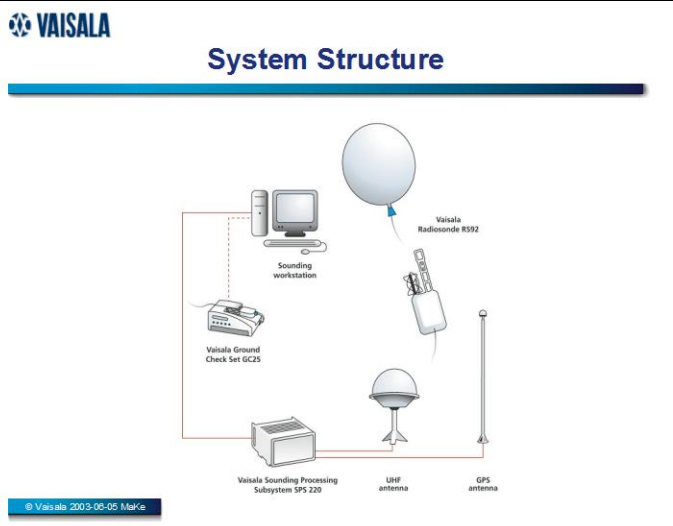
# Estación de Precipitación



# Estación de Aforo de Río



# Estación de Radiosondeo



# Estación de Recepción Directa de Imágenes de Satélites Meteorológicos

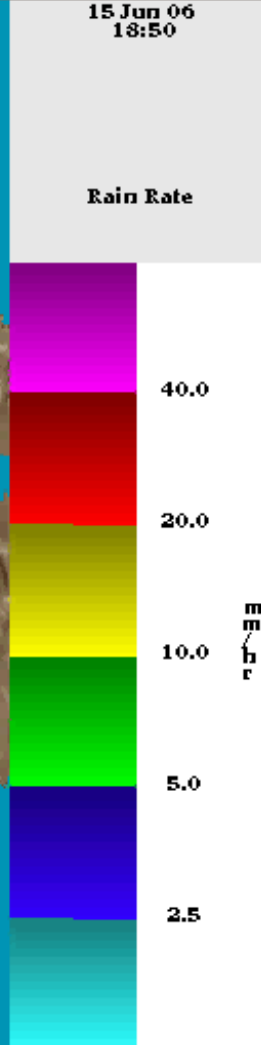
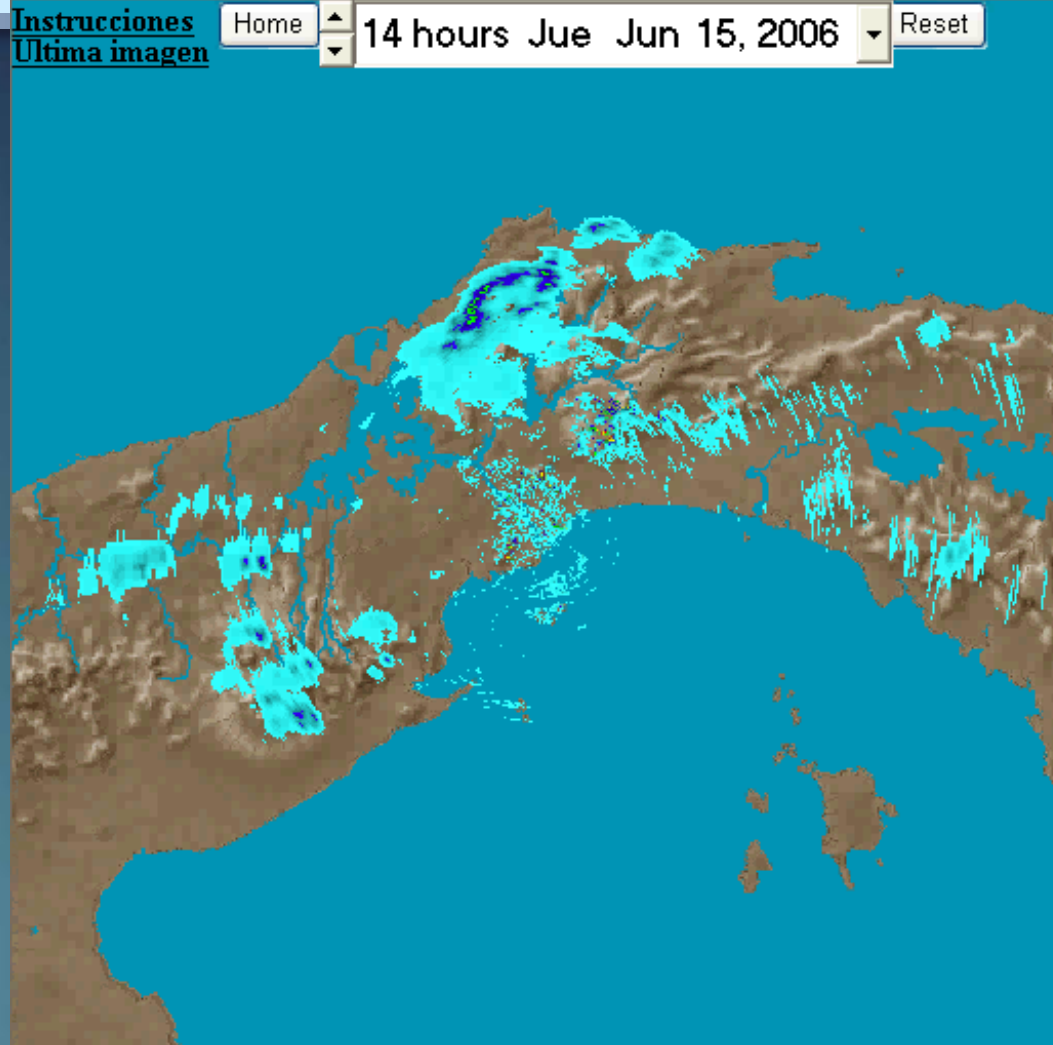


# PUERTO NOAA



# Radar Meteorológico

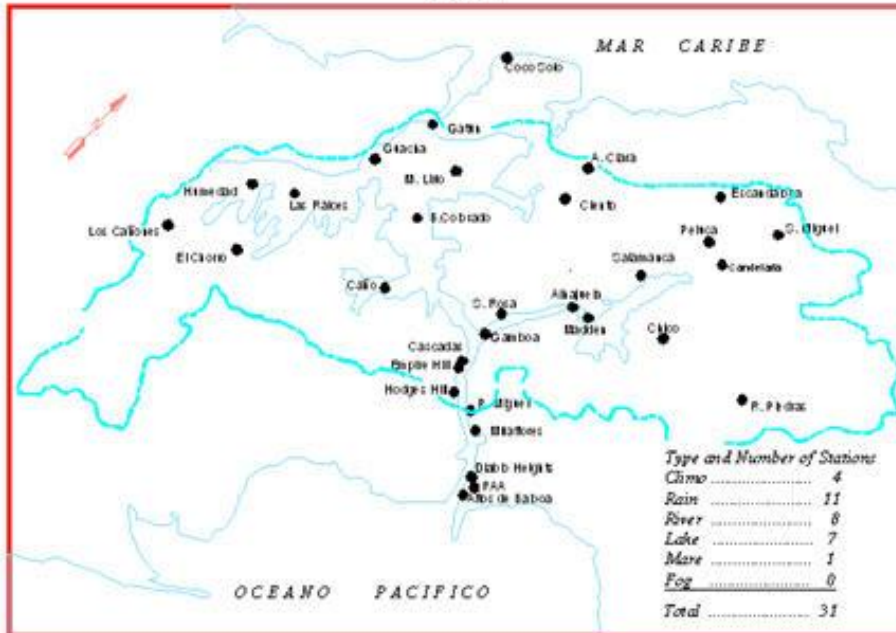
(Doppler Banda S)



# Evolución de la Red de Estaciones Hidrometeorológicas de la ACP en los últimos 20 años

AUTORIDAD DEL CANAL DE PANAMÁ  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y PROYECTOS  
SECCIÓN DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA

Mapa de Localización de las Estaciones de Telemetría  
1988

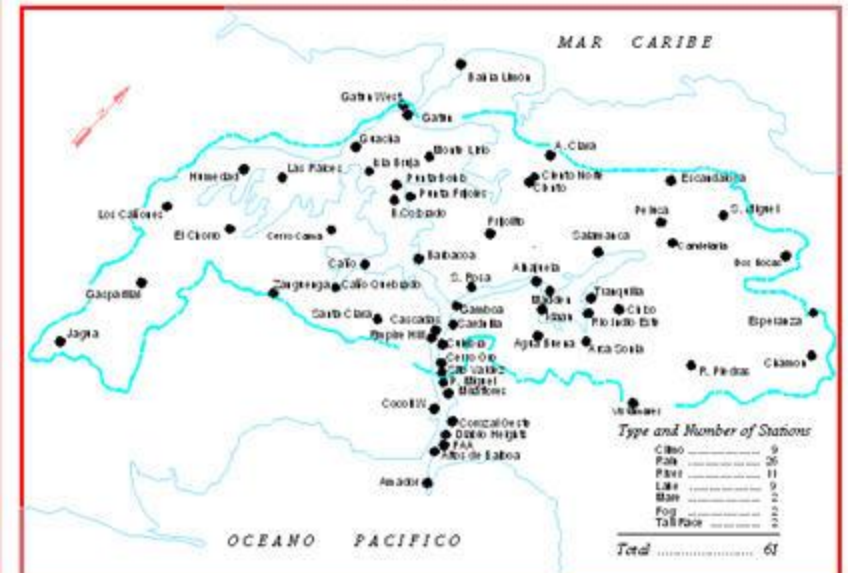


AUTORIDAD DEL CANAL DE PANAMÁ  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y PROYECTOS  
SECCIÓN DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA

Mapa de Localización de las Estaciones de Telemetría  
1998



Mapa de Localización de las Estaciones de Telemetría  
2008



# Pronósticos de El Niño / Oscilación del Sur (ENSO)



## DISCUSION DIAGNOSTICA

emitido por

**CENTRO DE PREDICCIONES CLIMATICAS/NCEP/NWS**  
**Traducción cortesía de: WFO SAN JUAN, PUERTO RICO**  
**10 de febrero de 2011**

**Estado de Alerta de ENSO: [Advertencia de La Niña](#)**

**Sinopsis: Condiciones de ENSO neutral o La Niña son probables durante los meses de mayo-junio de 2011**

[http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/enso\\_advisory/index.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_advisory/index.shtml)



# Pronóstico del Climatológico del Centro Europeo

ECMWF Seasonal Forecast

Prob(most likely category of precipitation)

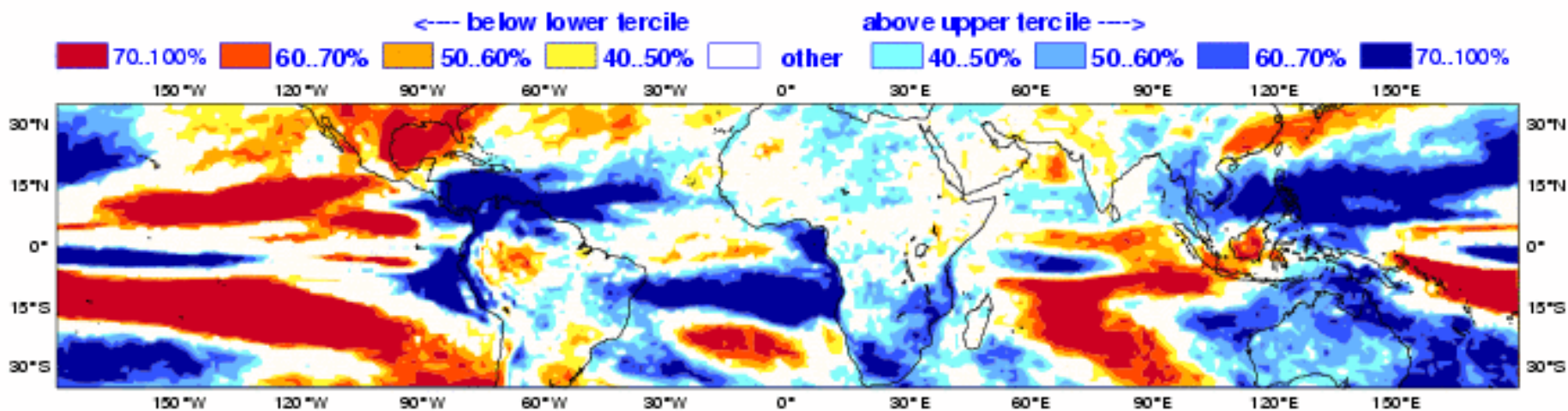
Forecast start reference is 01/02/11

Ensemble size = 41, climate size = 275

System 3

MAM 2011

No significance test applied

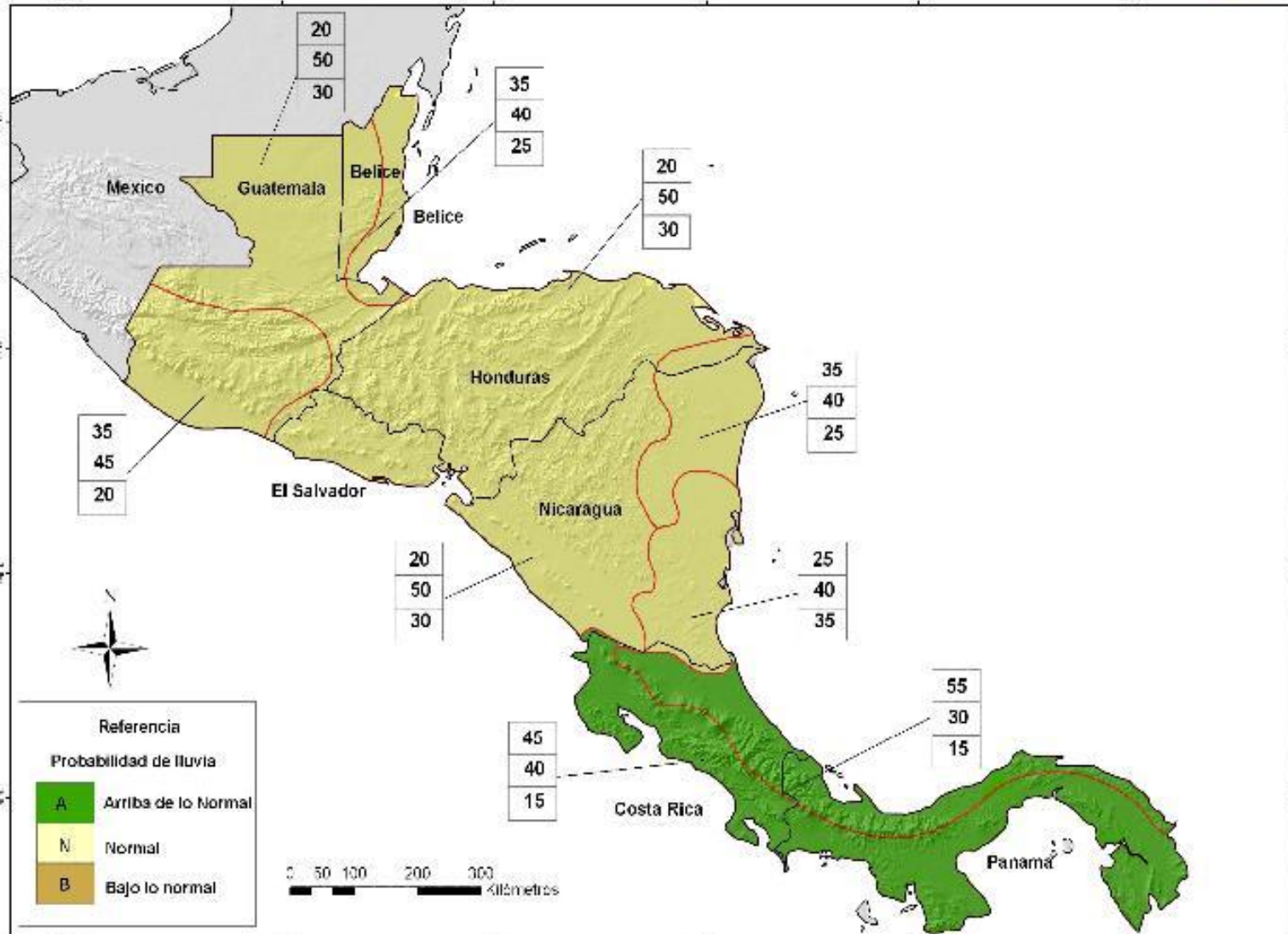


Forecast issue date: 15/02/2011

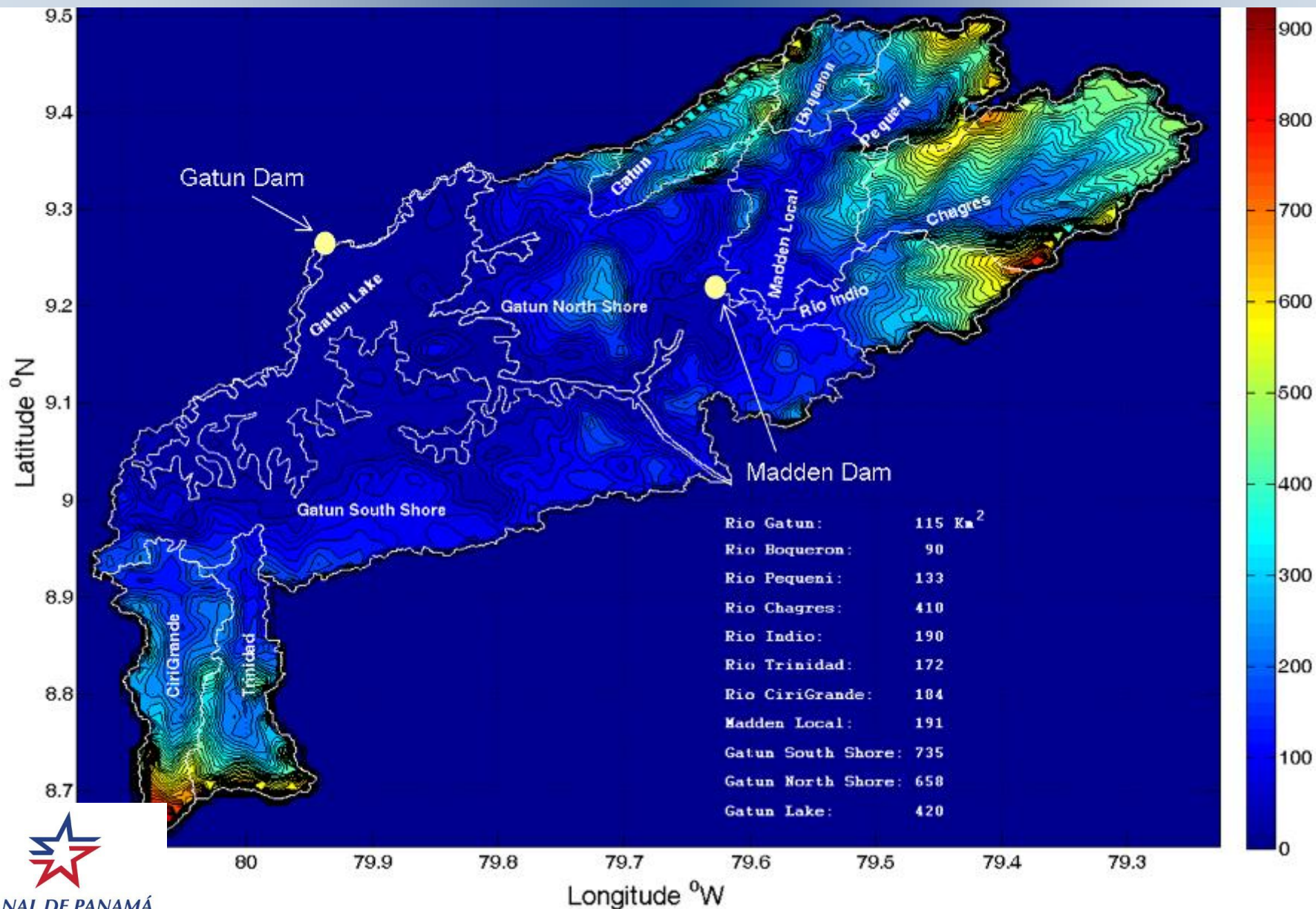
# Foro Climático de América Central



## PERSPECTIVA CLIMATICA PARA AMERICA CENTRAL DICIEMBRE 2010 - MARZO 2011

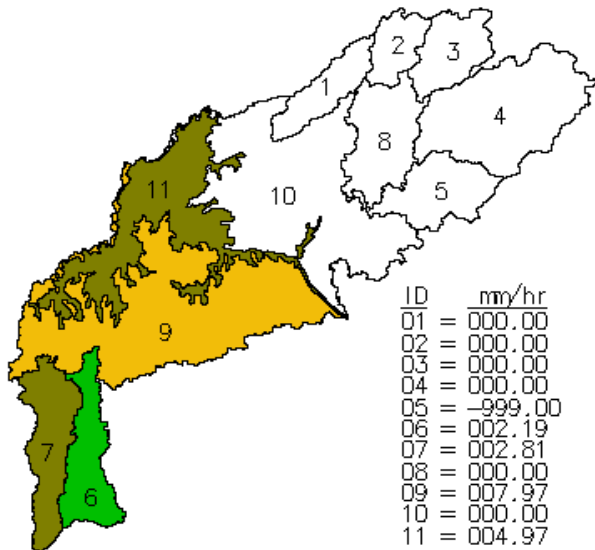


# Mapa Digital de la Superficie de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá (CHCP)

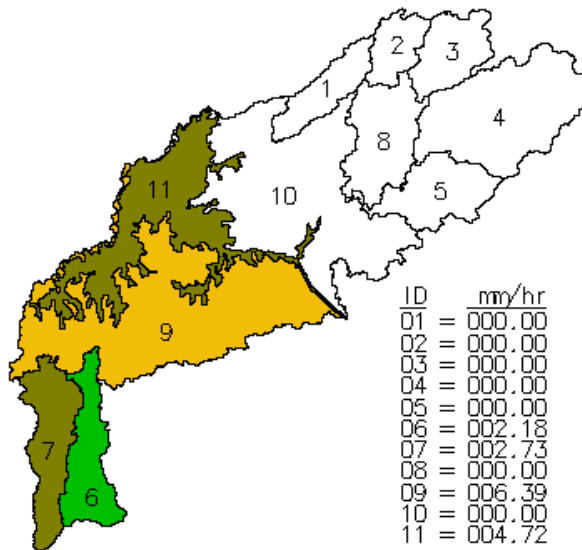


# Estimación de la Precipitación Media Superficial Observada

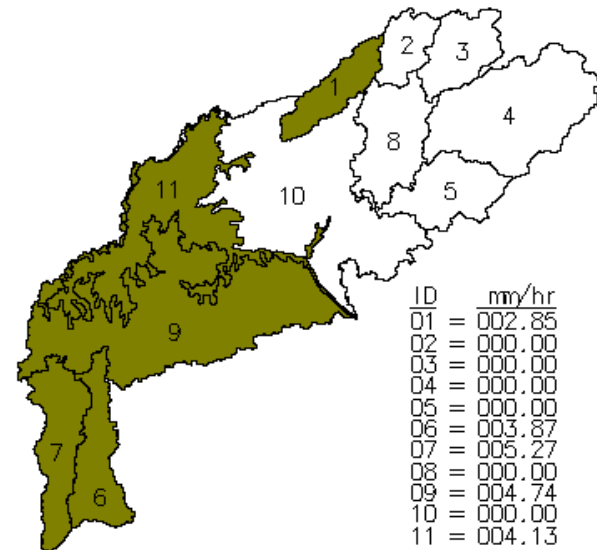
1999-03-16 12 Z radar



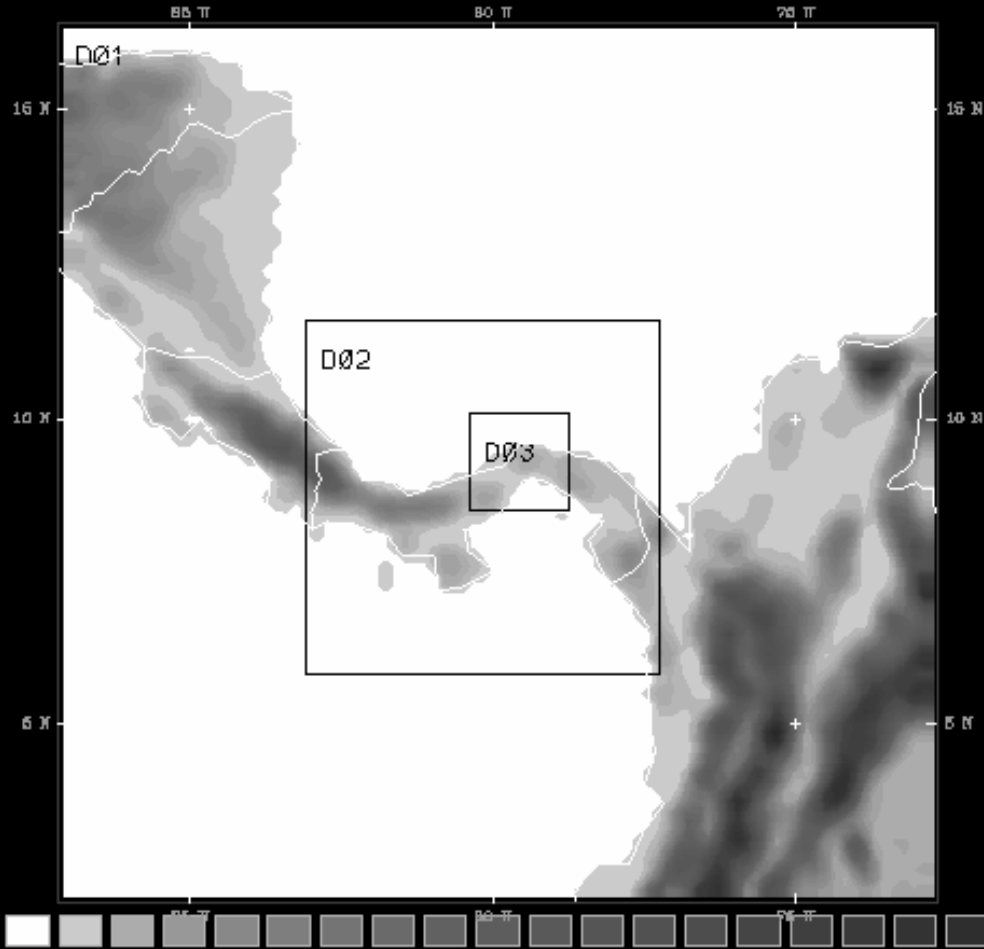
1999-03-16 12 Z merged



1999-03-16 12 Z gauge



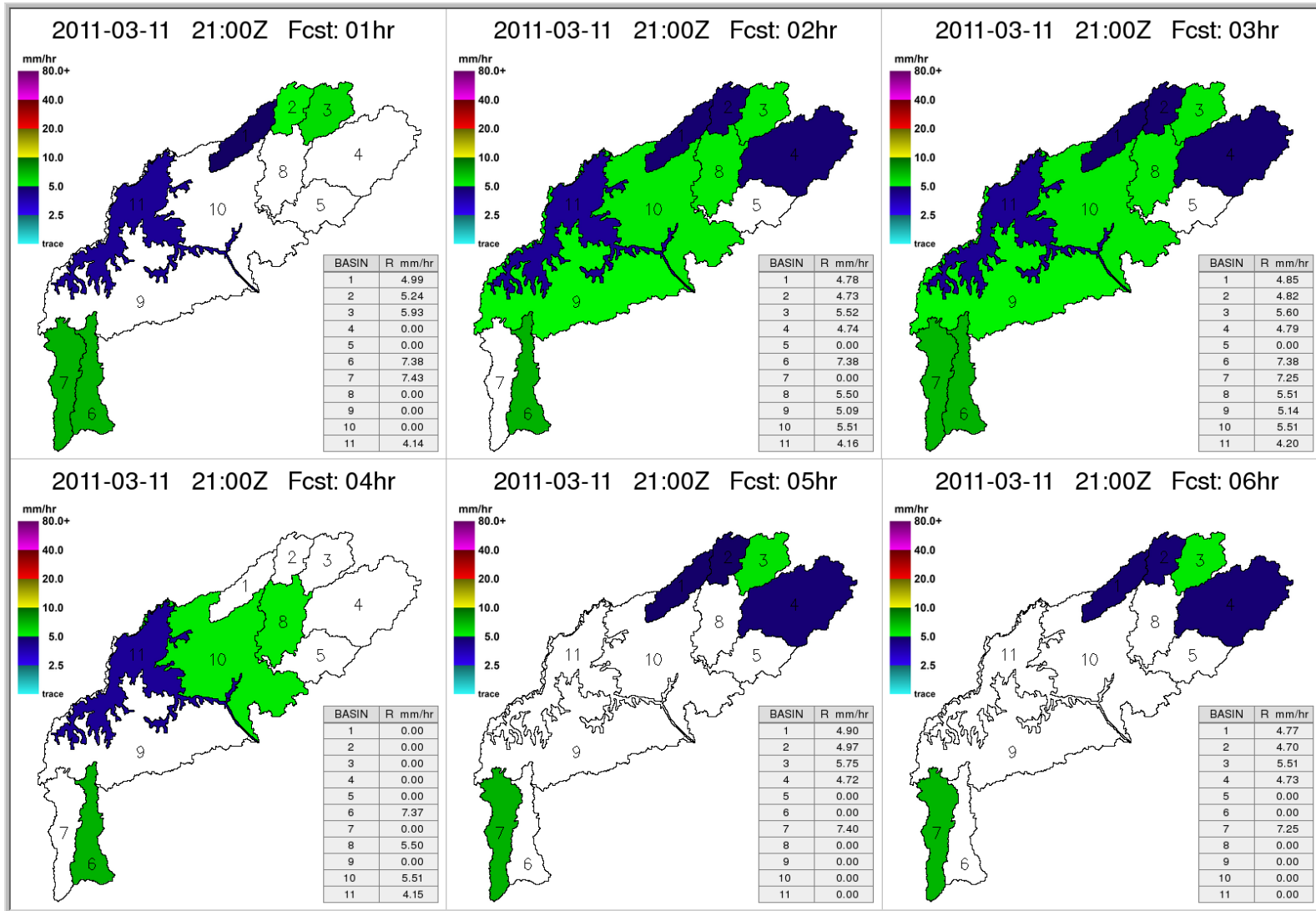
# Modelo Meteorológico MM5 de la ACP



D01. Dominio del modelo,  
grilla de 18 km  
D02 = grilla de 6 km  
D03 = grilla de 2 km



# Pronóstico Cuantitativo de la Precipitación para la CHCP



# Pronóstico de Cuantitativo de la Precipitación

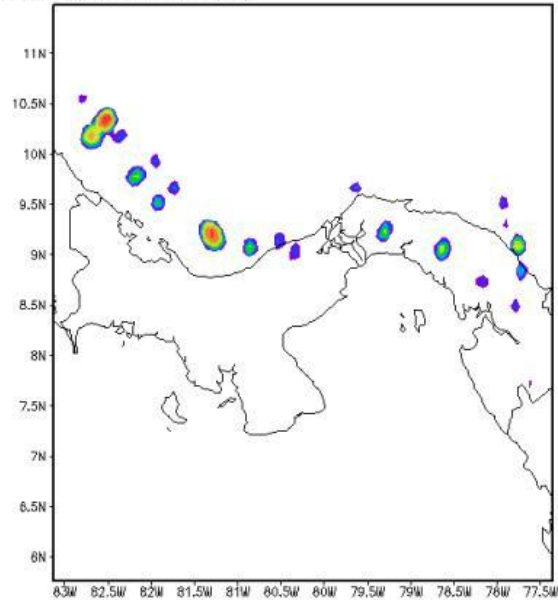
Panama-CFS MM5 6km FORECAST

Initial time: 12Z11MAR2011

FCST 7h

Valid at 19Z11MAR2011

shaded: Cumulative Rainfall Since Hour 6 (mm)



GRADS: OOLA/IGES

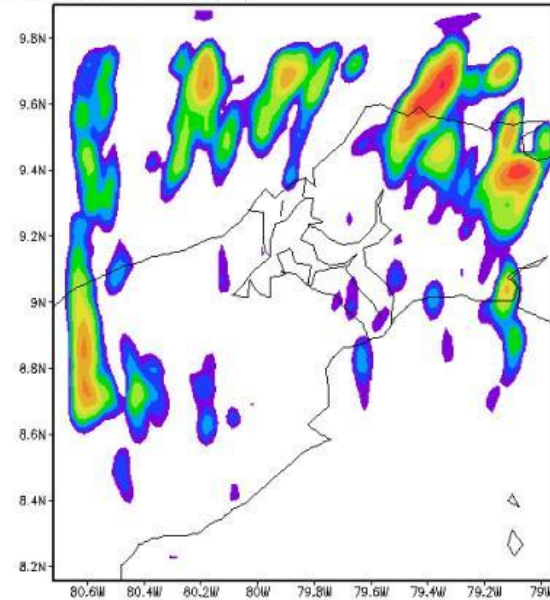
Panama-CFS MM5 2km FORECAST

Initial time: 12Z11MAR2011

FCST 12h

Valid at 00Z12MAR2011

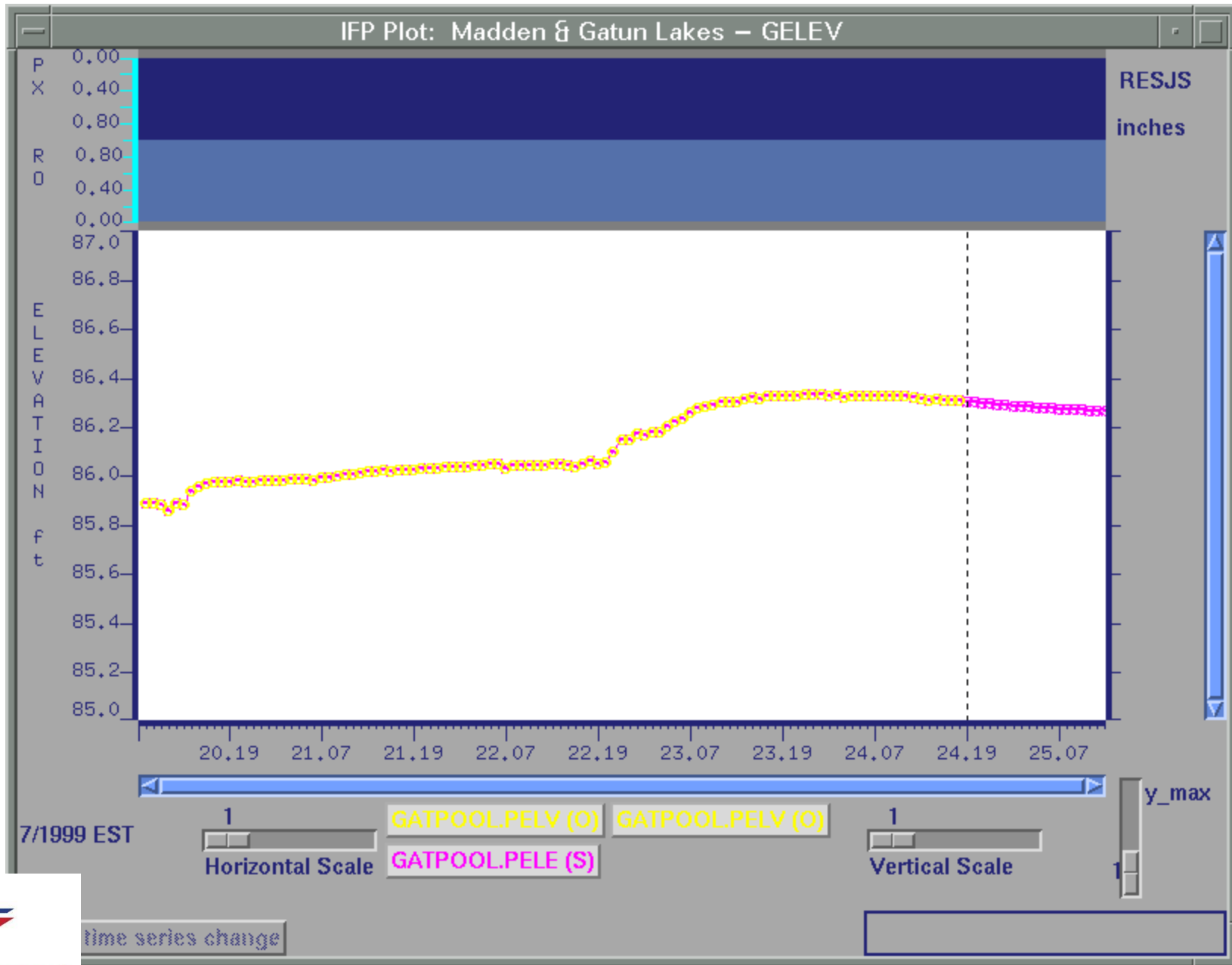
shaded: Cumulative Rainfall Since Hour 6 (mm)



GRADS: OOLA/IGES



# NWSRFS: Pronóstico del nivel del Lago Gatún



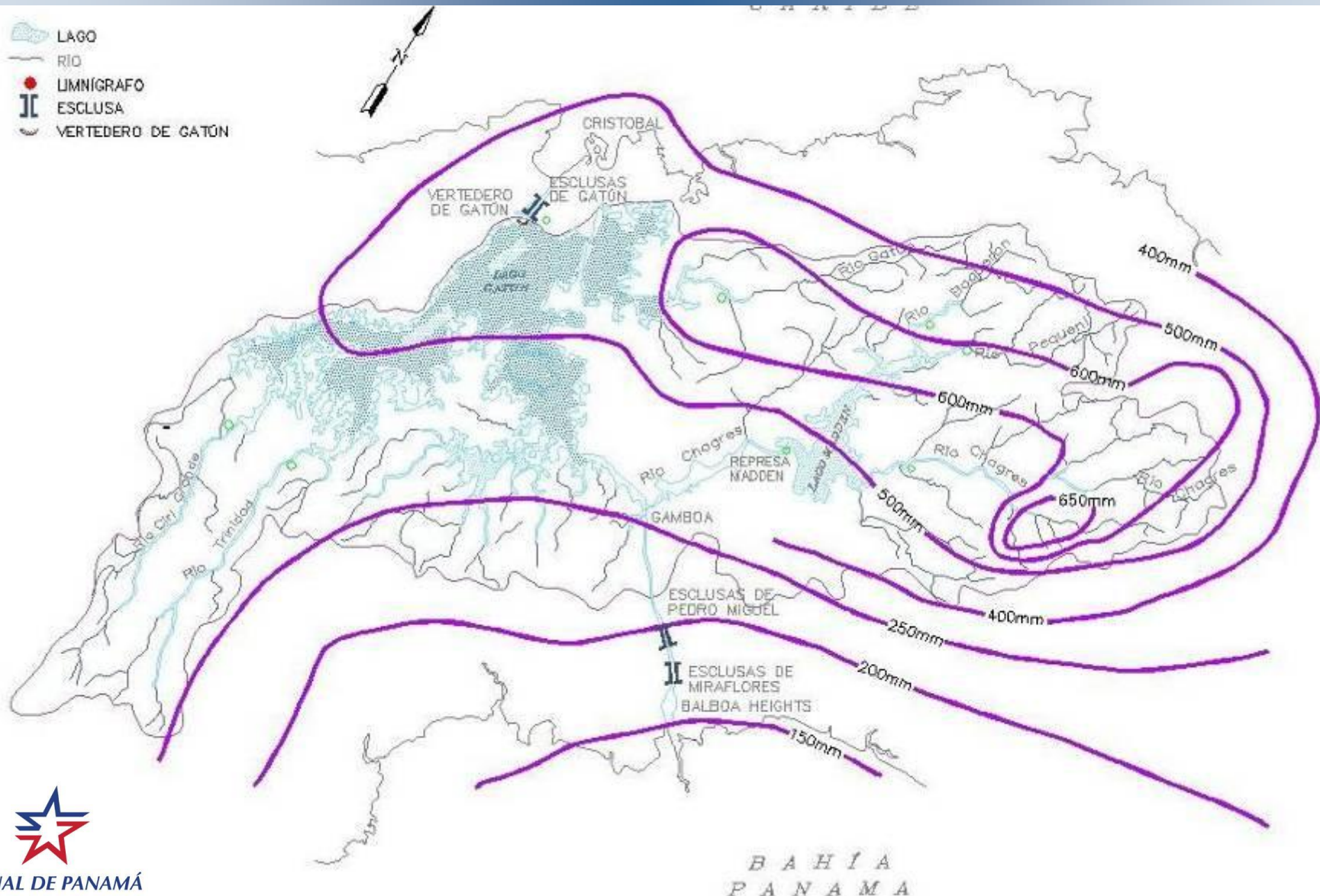


# Pantalla Principal: “Sistema de Apoyo a las Decisiones - DSS”



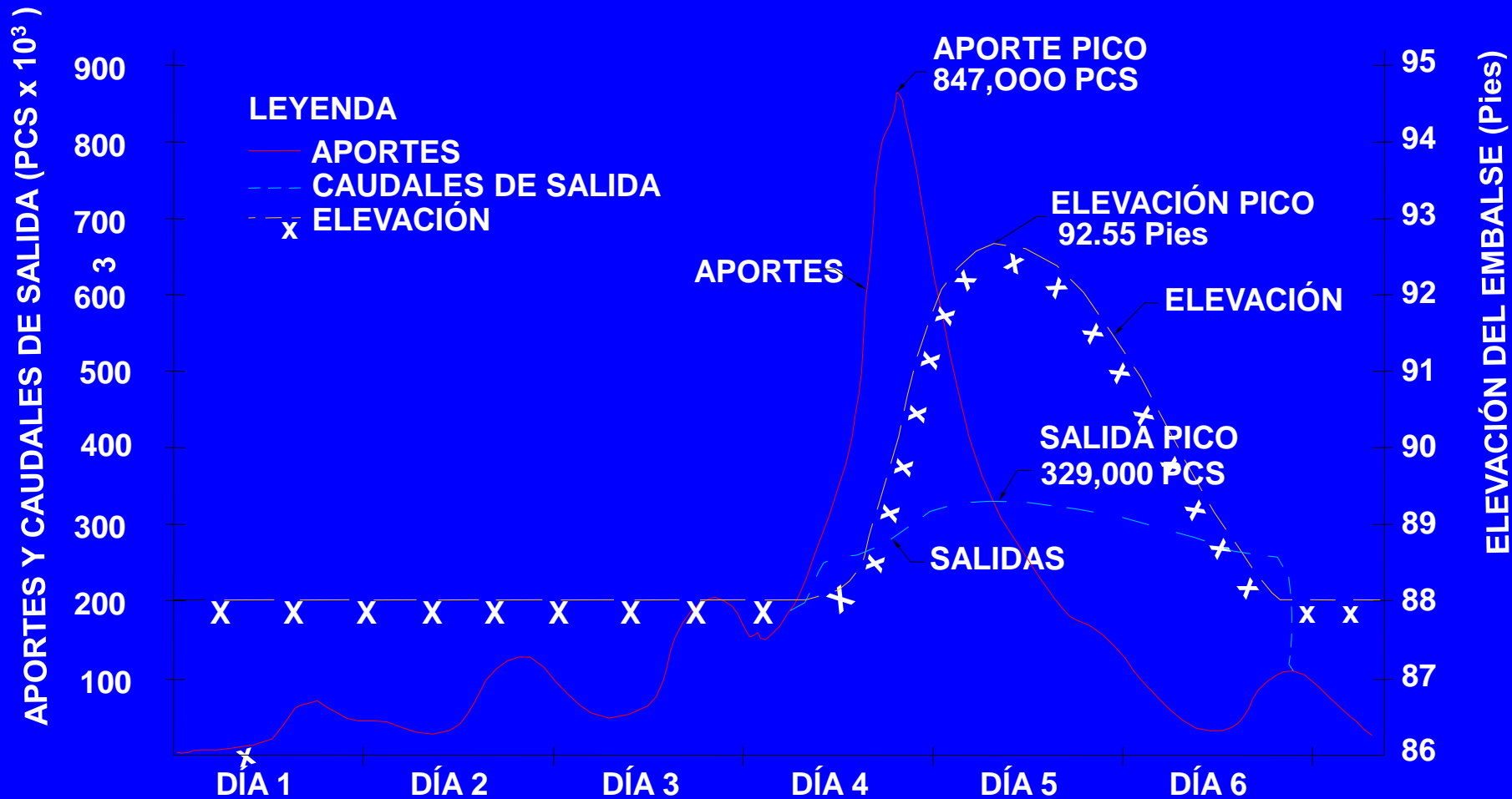
# Isoyetas de la Precipitación Máxima Probable

Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EEUU, 1979.



# Crecida Máxima Probable para el Embalse de Gatún

(Fuente: Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EEUU, 1979.)

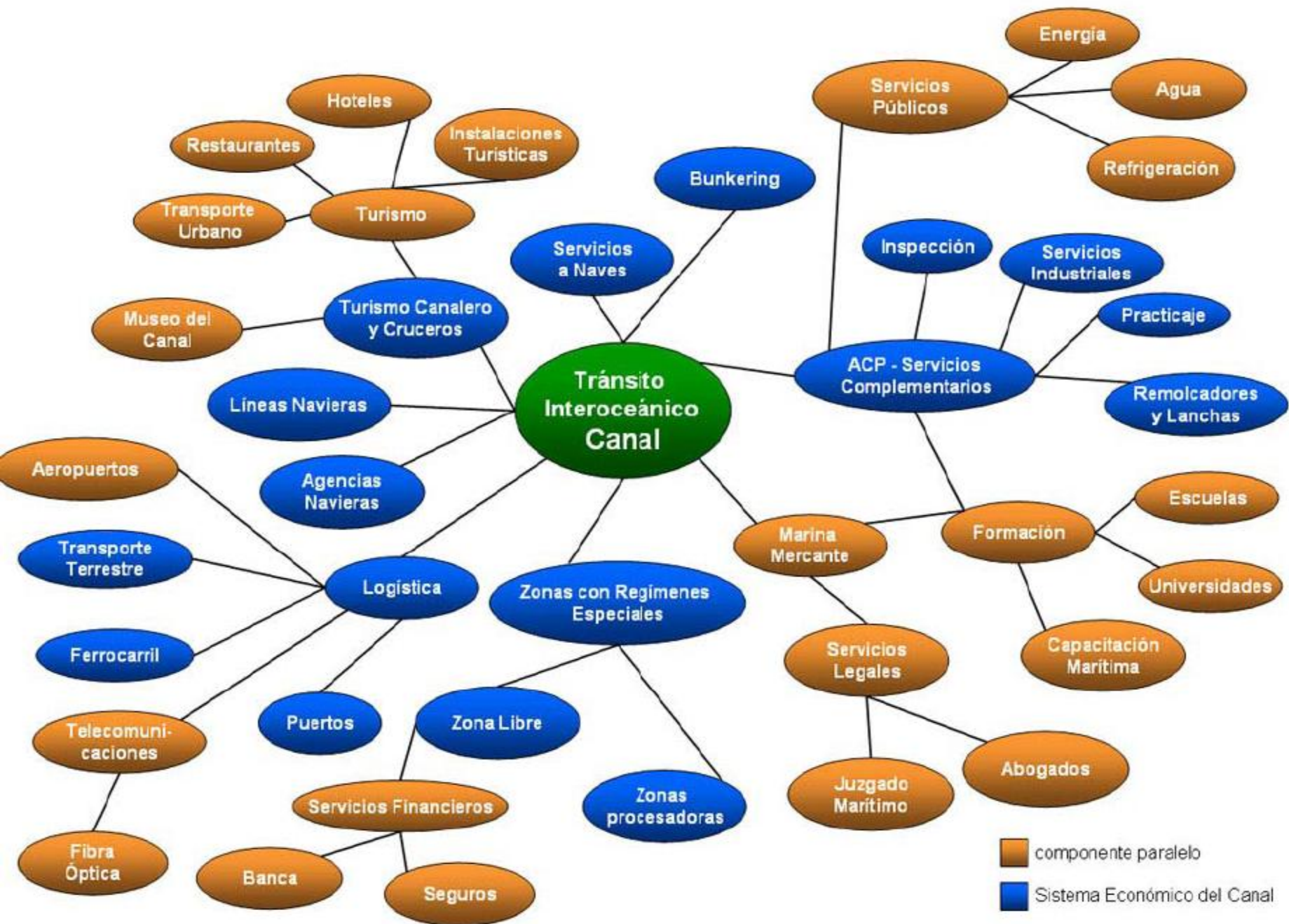


# Zonas de Decisión para Control de Inundaciones



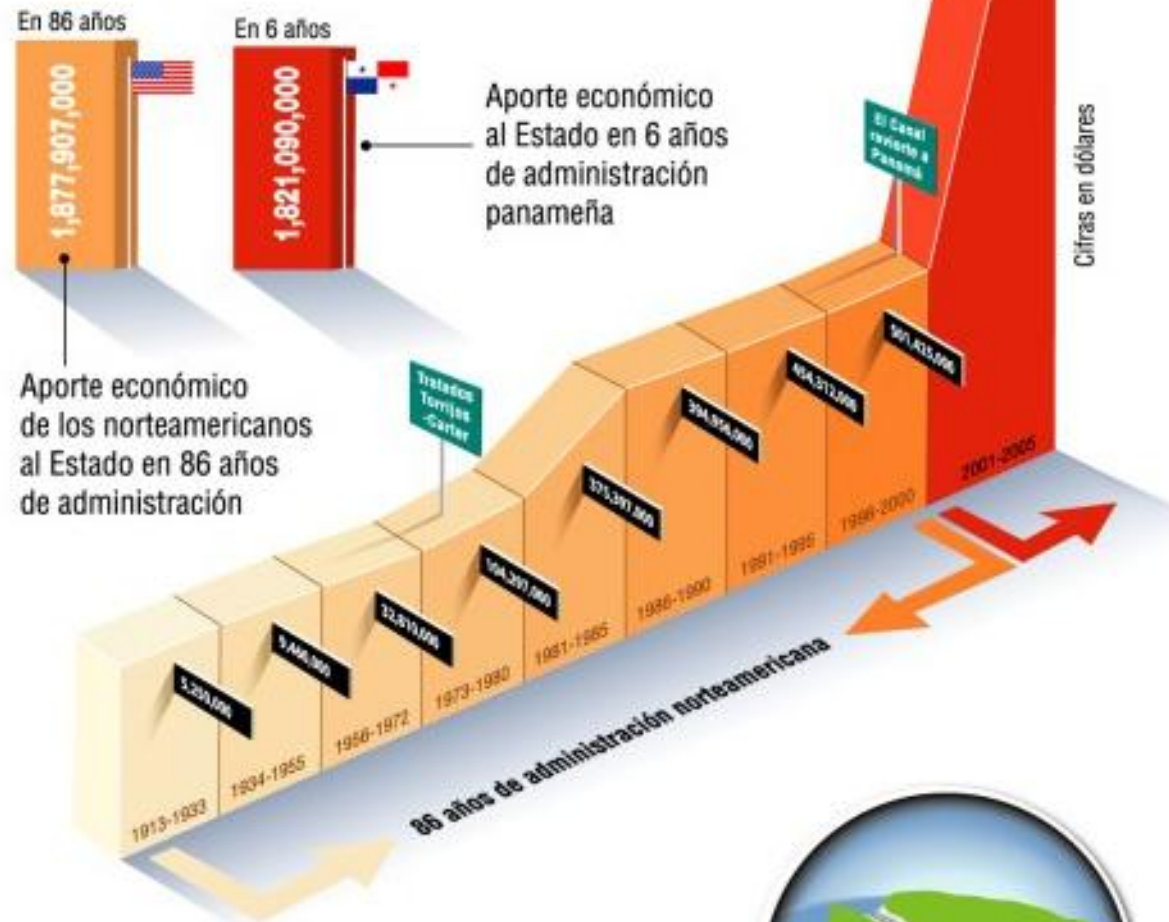
ZONA	SISTEMA DE TORMENTA	DECISIÓN
A	COMPLEJO FUERTE	
B	COMPLEJO FUERTE	NORMAL MÁXIMO
C	COMPLEJO FUERTE	EMERGENCIA
D	SIMPLE FUERTE	A DISCRECIÓN
E	SIMPLE FUERTE	NORMAL MÁXIMO
F	SISTEMA DÉBIL	A DISCRECIÓN





componente paralelo  
 Sistema Económico del Canal

## Aportes del Canal al Estado panameño \*



\*Cifras oficiales al 30 de septiembre de 2003.  
Los periodos fiscales de la ACP van del 1 de octubre al 30 septiembre del siguiente año.



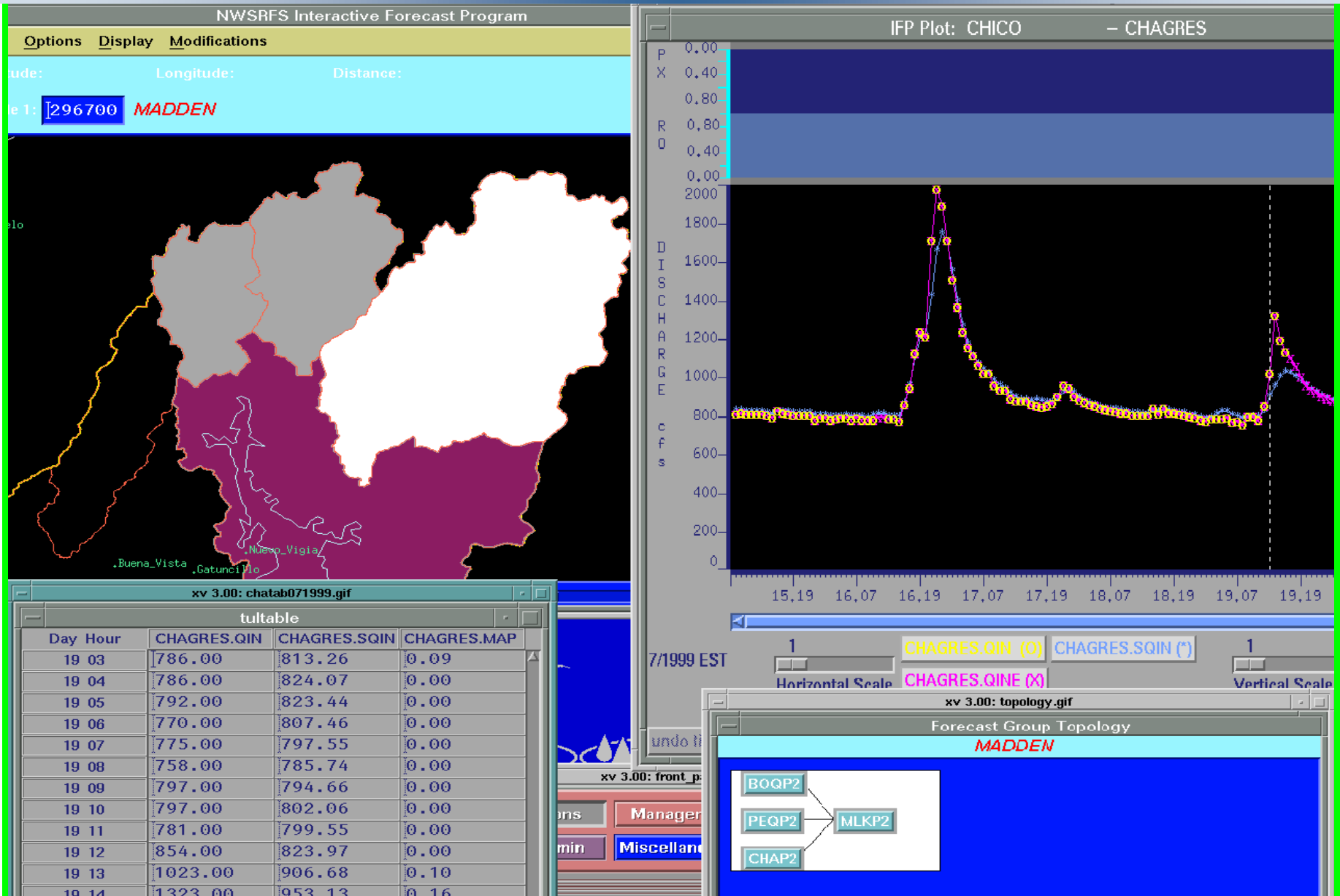
Imaginémonos un Canal que pueda transitar el doble de la carga de hoy, incrementando significativamente sus aportes al Estado



# Administración del Recurso Hídrico



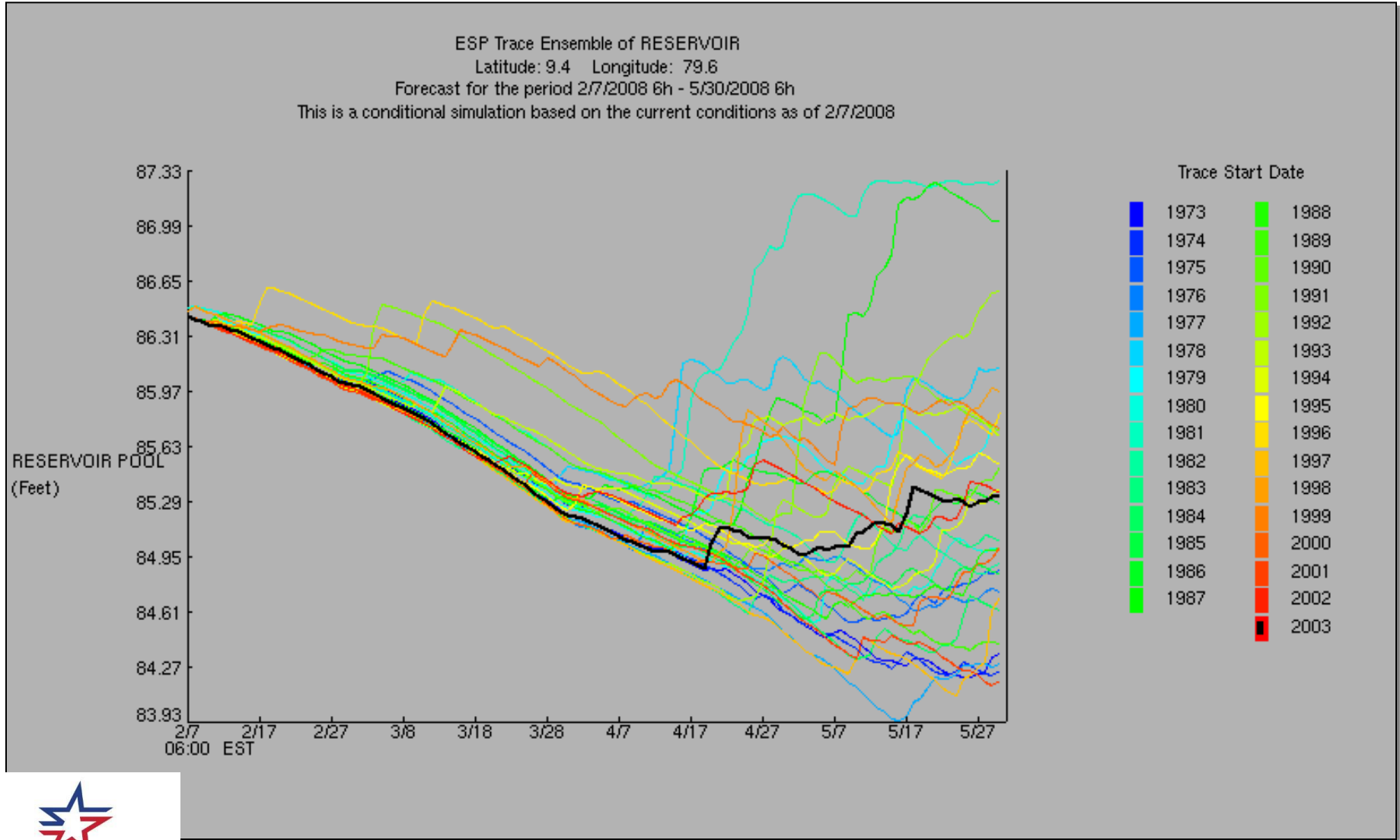
# NWSRFS: Modelo Hidrológico





# Pronóstico Ensamblado de la Escorrentía

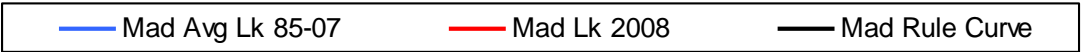
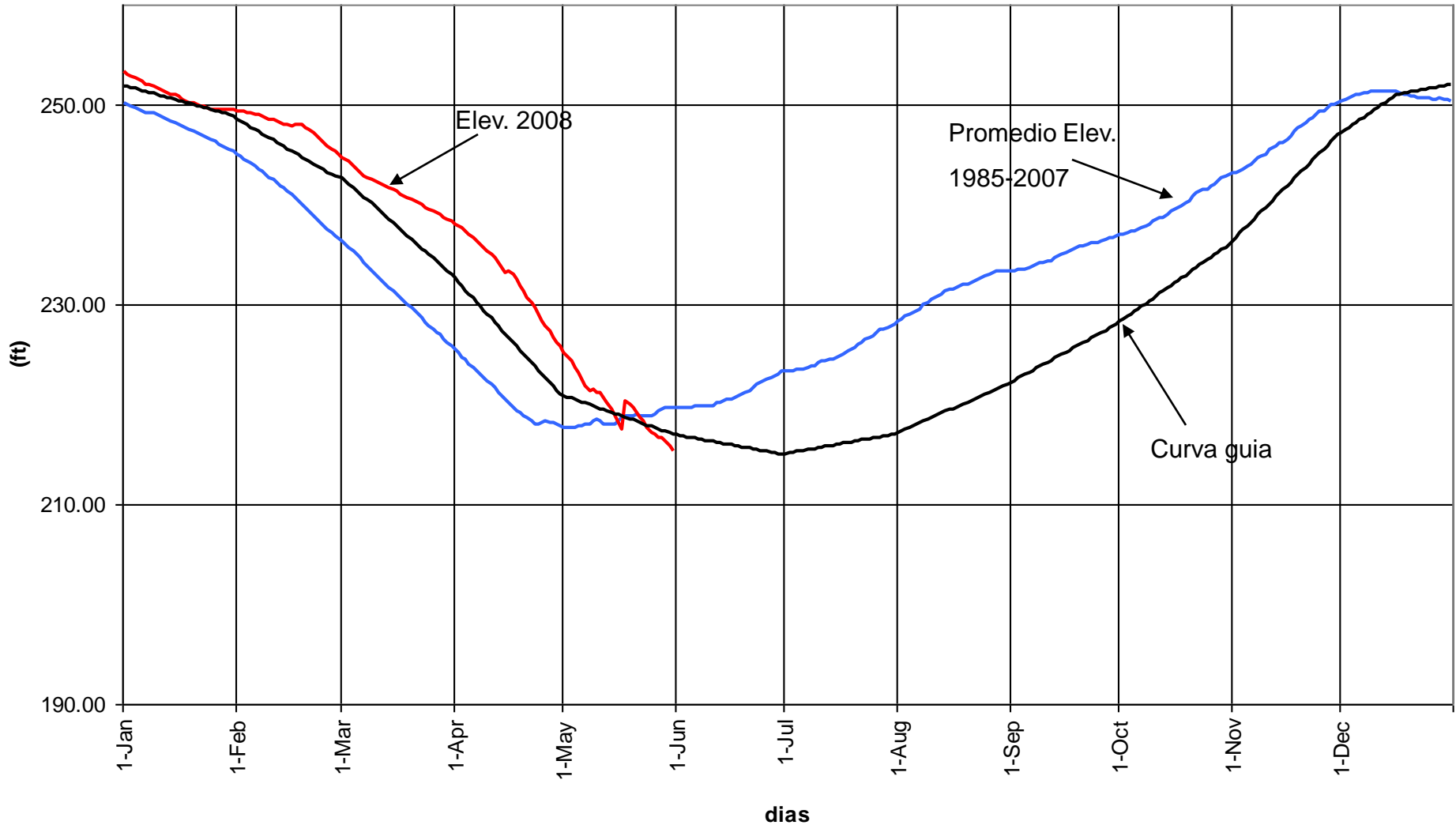
ESP: Ensemble Streamflow Prognosis



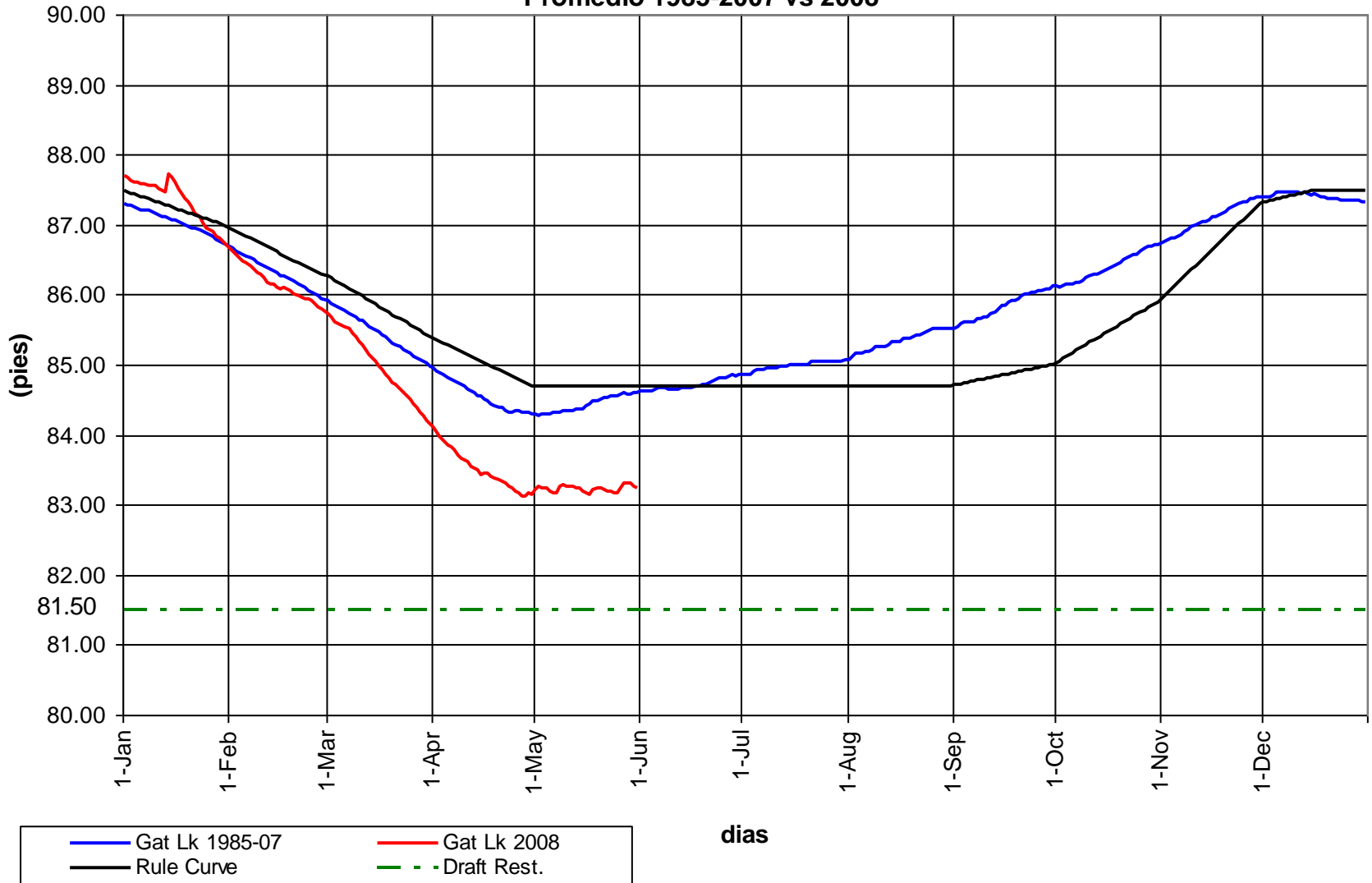
# Lago Alhajuela

## Elevación por día

### Promedio 1985-2007 vs 2008



### Lago Gatun Elevación por Día Promedio 1985-2007 vs 2008



# Plan de Contingencia del Canal de Panamá y la Tormenta de Diciembre de 2010 “La Purísima”



# Origen del nombre “La Purísima”

Históricamente los campesinos le otorgaban el nombre “La Purísima” a aquella tormenta que se da 5 días antes o después del 8 de diciembre, día de la “Inmaculada Concepción de la Virgen María”. Esta tormenta es la última que se presenta en el año antes del inicio de la temporada seca e indica el final de las prácticas agrícolas de los cultivos tradicionales.

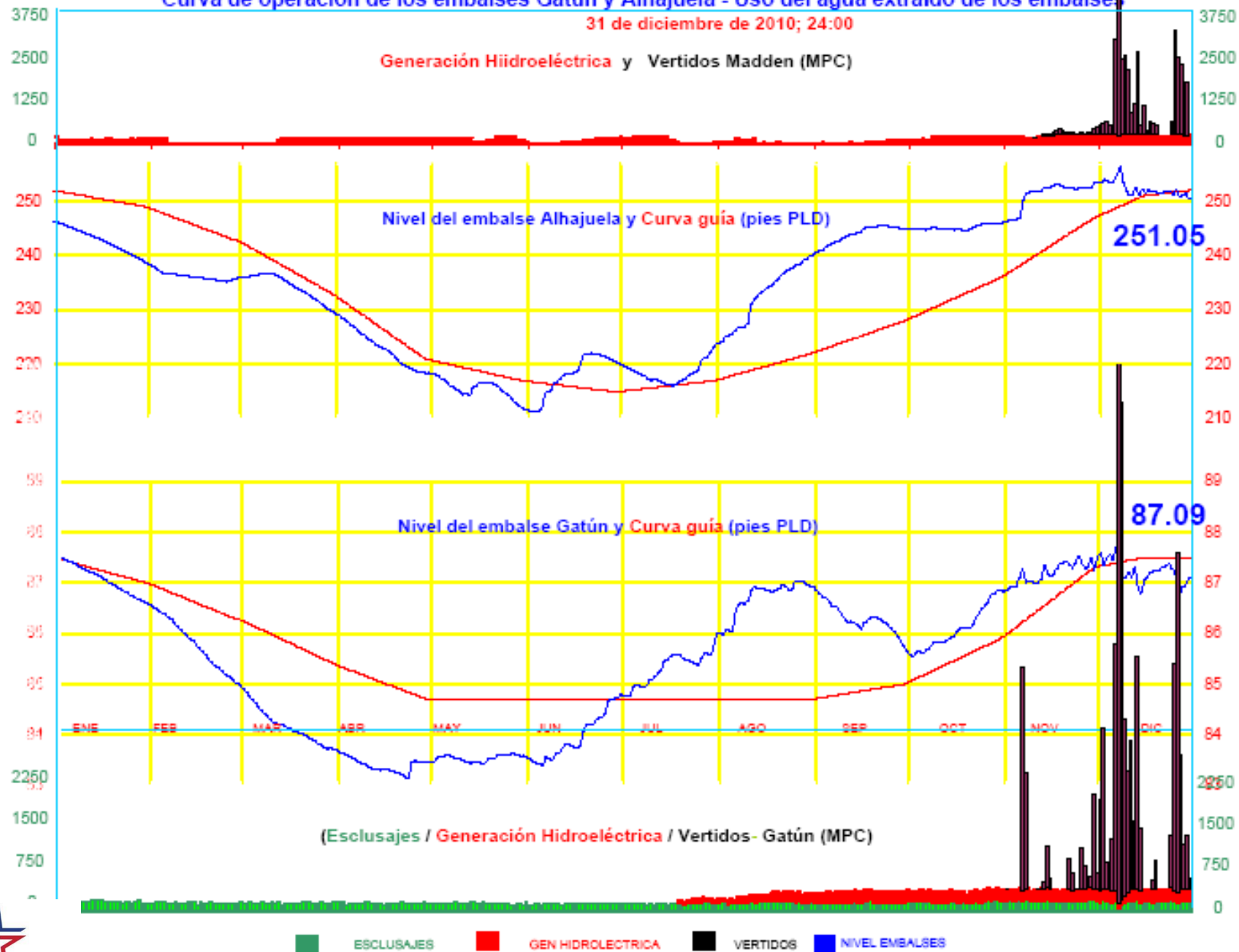


### Sección de Recursos Hídricos

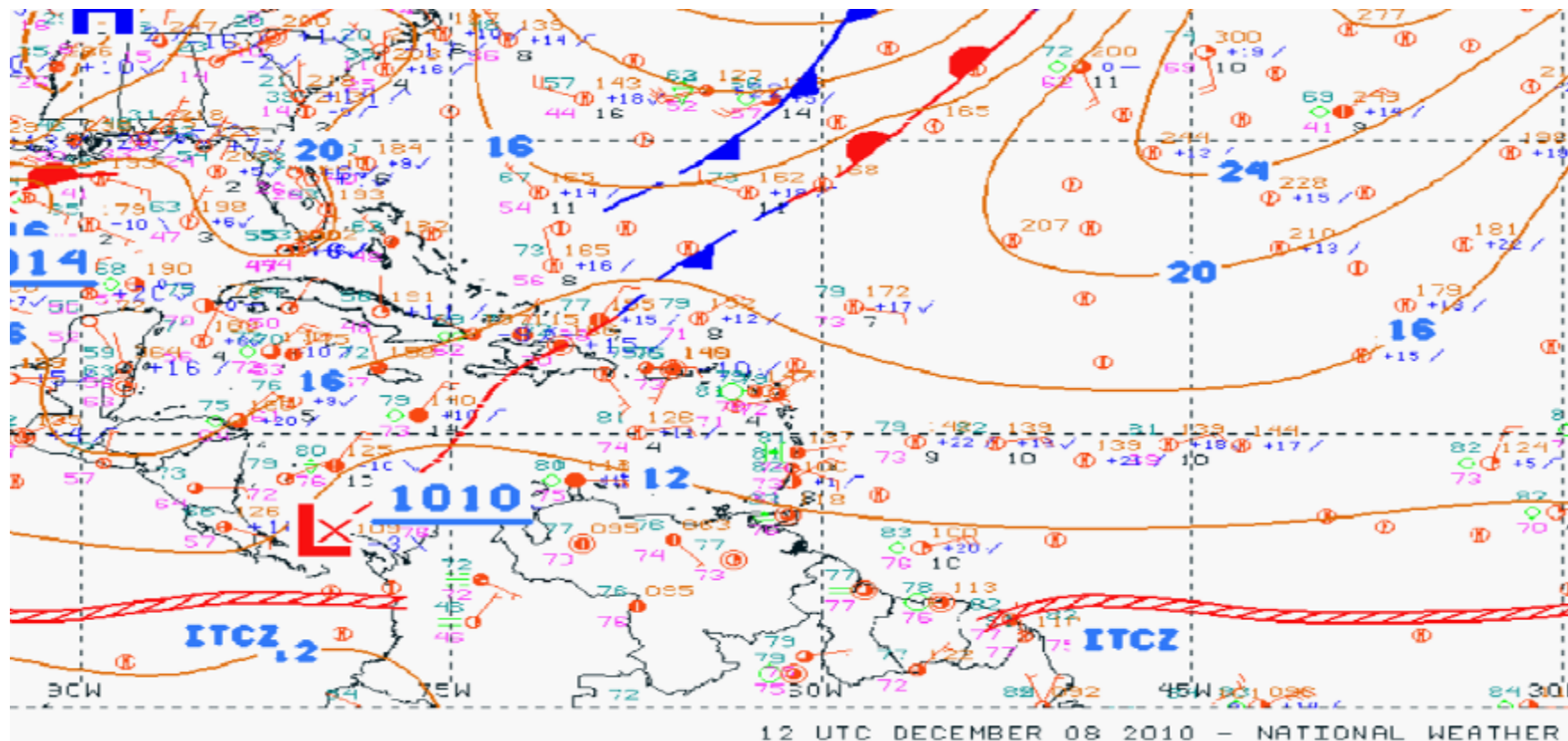
#### Curva de operación de los embalses Gatún y Alhajuela - Uso del agua extraído de los embalses

31 de diciembre de 2010; 24:00

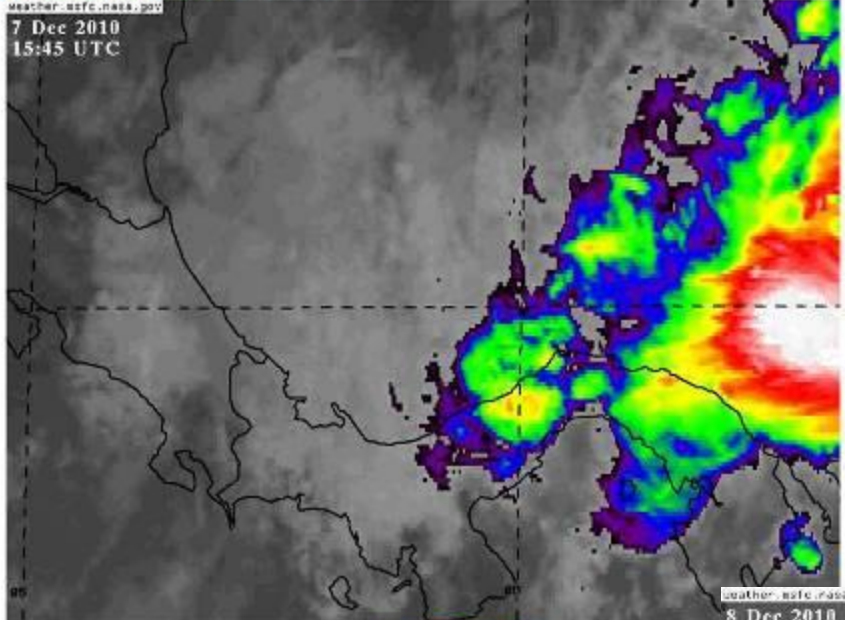
Generación Hidroeléctrica y Vertidos Madden (MPC)



# MAPA DE SUPERFICIE DEL 8 DE DICIEMBRE DE 2010 A LAS 12Z



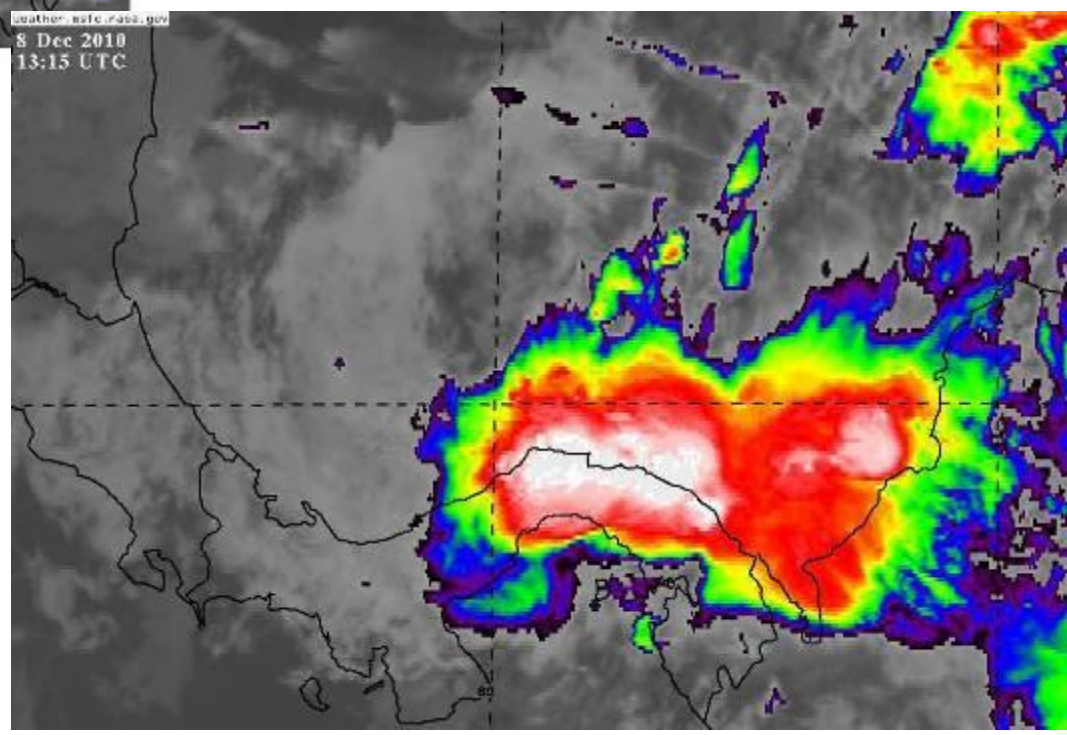
Slower Default Faster < Stop Play >  
weather.usfc.nasa.gov



Cloud free, very warm surface temperatures  
Weak, warm cloud tops, low altitude  
Intense, cold cloud tops, high altitude

weather.usfc.nasa.gov

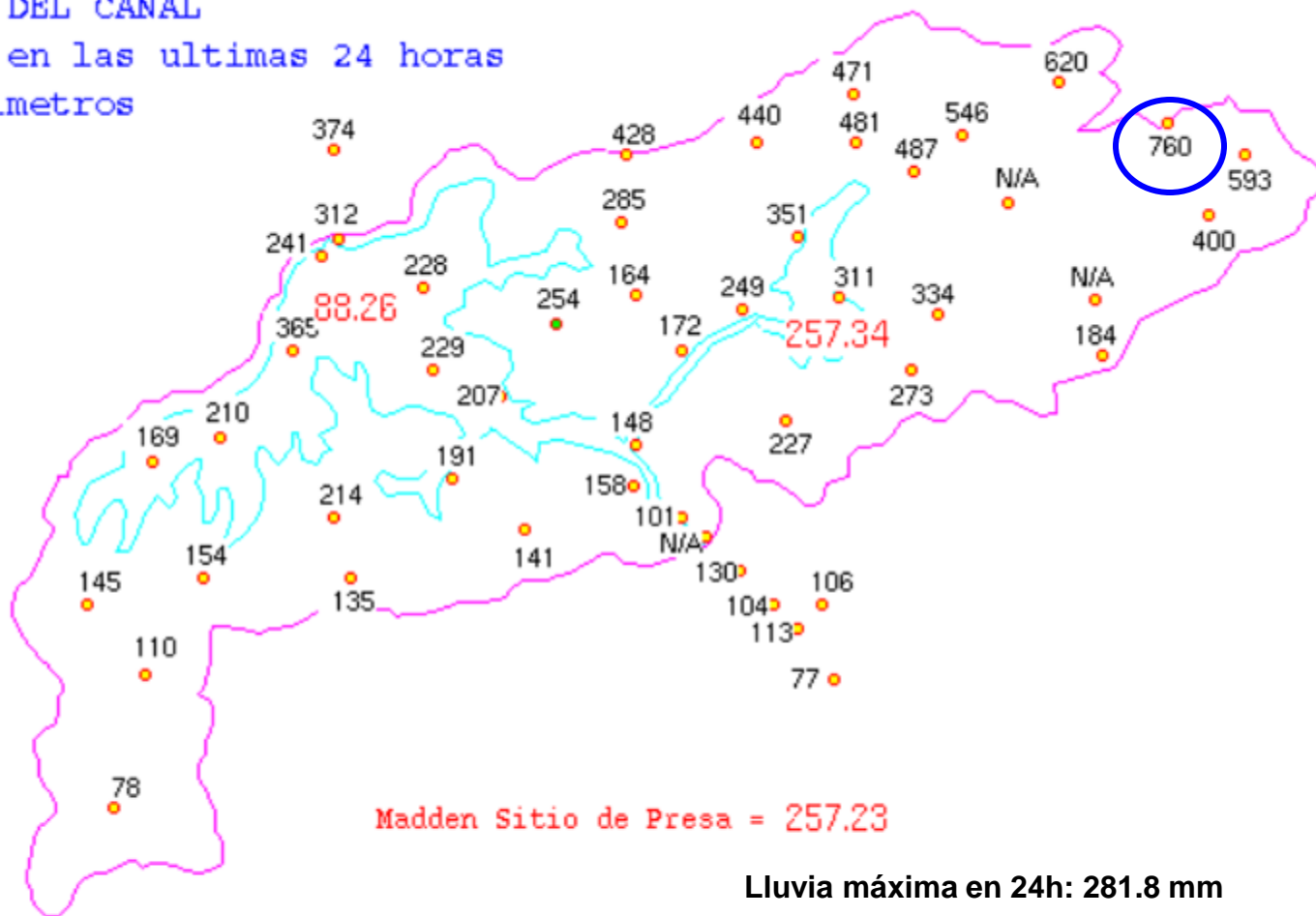
8 Dec 2010  
13:15 UTC





### CUENCA DEL CANAL

Lluvia en las ultimas 24 horas  
en milímetros

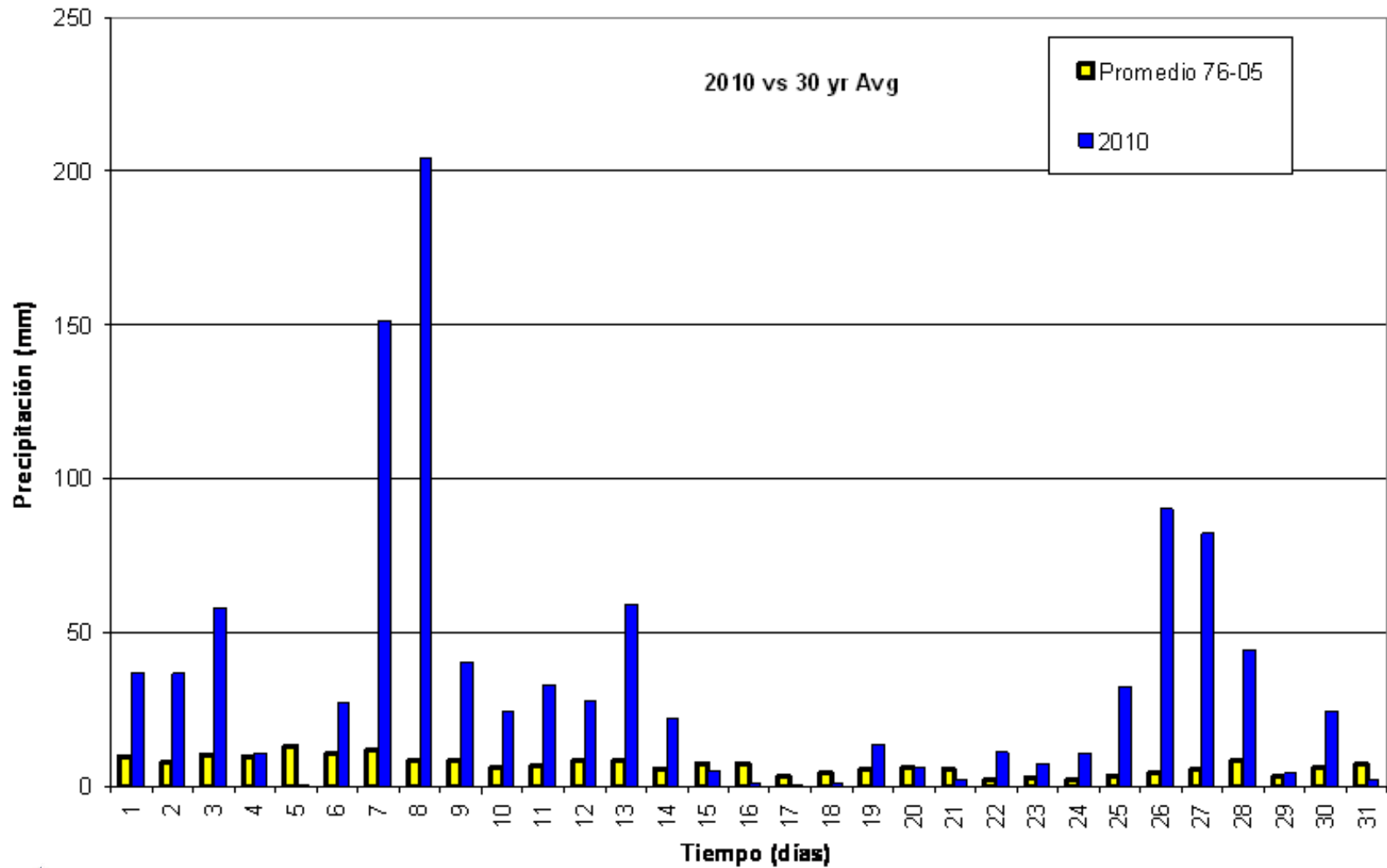


Precipitación máxima registrada en una estación en 24 horas:  
Esperanza: 760mm

. no a escala



Precipitación Diaria del Promedio de 20 estaciones  
Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá  
1 al 31 de diciembre de 2010





# Estación Chico en el Río Chagres

5 de Octubre de 2008

**A las 2324 HL del 7 Dic. 2010 una  
crecida de más de 43 pies de cresta  
inhabilita los medidores del nivel de  
la estación Chico en el Río Chagres**



CANAL DE PANAMÁ

16 de Diciembre de 2010

# Estación Chico en el Río Chagres, CHCP

29 de diciembre de 2010



# Tormenta “La Purísima”

8 de diciembre de 2010

A las 1045 HL se activa oficialmente el Sistema de Comando de Incidentes de la ACP.





# Centro de Comando de Incidentes de la ACP

8 diciembre 2010



## Vertedero de Gatún 8 de Dic. 2010

Operación de vertido de  
14 compuertas.



Con una operación de vertido de  
10 compuertas o más se cierra  
el puente sobre el canal de  
descarga del vertedero de  
Gatún.





Planta hidroeléctrica de Gatún  
8 Dic. 2010.

Carretera hacia Gatún entre la  
entrada de José D. Espinar y el  
área de Mindi, Colón  
8 Dic. 2010.





# Vertedero de Madden

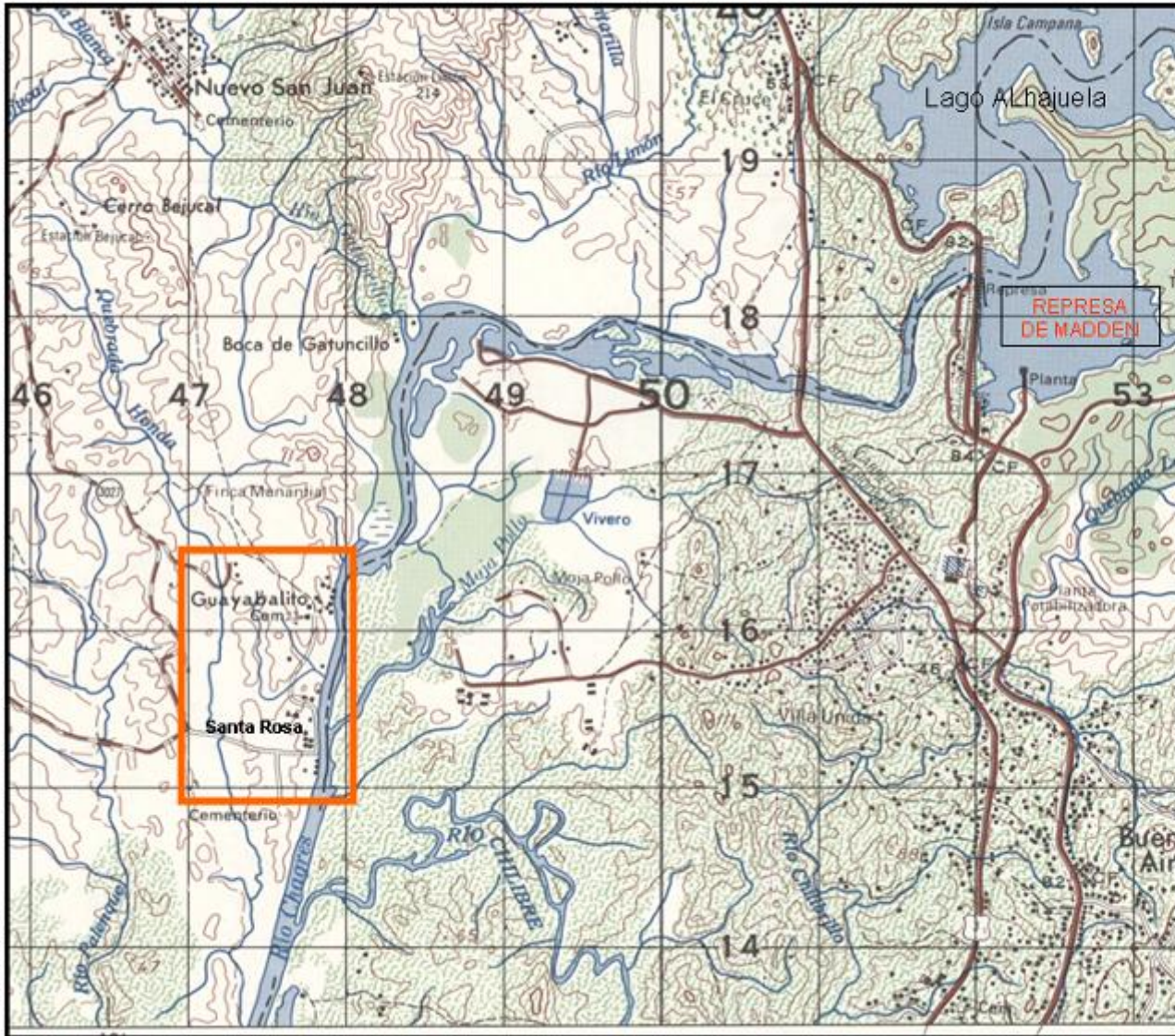
8 Dic. 2010



**Vertido de 149,595 pies cúbicos por segundo, en Madden  
(con este caudal en dos segundo se llenaría 3 piscinas olímpicas)**



1020000mN



1014000mN

646000mE

653000mE

Autoridad del Canal de Panamá

Sección de Recursos Hídricos



Ct 0 500 1000 17  
Escala en metros

Curvas de Nivel a intervalos de 20m

**GUAYABALITO Y SANTA ROSA  
PLAN DE RESPUESTA A  
EMERGENCIAS**

LOCALIZACIÓN REGIONAL

Figura N°1



La Purísima



Escuela de Sta. Rosa, 8 Dic. 2010, 1037HL



23:10:35



# EJERCICIO DE CONTROL DE INUNDACIONES 2010

14 de oct, 2010

ACP

CFON

PNP

SENAN

SENAN



Trabajadores de la Unidad de Hidrología Operativa (ACP) colocando letreros en las comunidades



Equipo Social de la ACP dirigiendo taller con las comunidades(julio 2006)

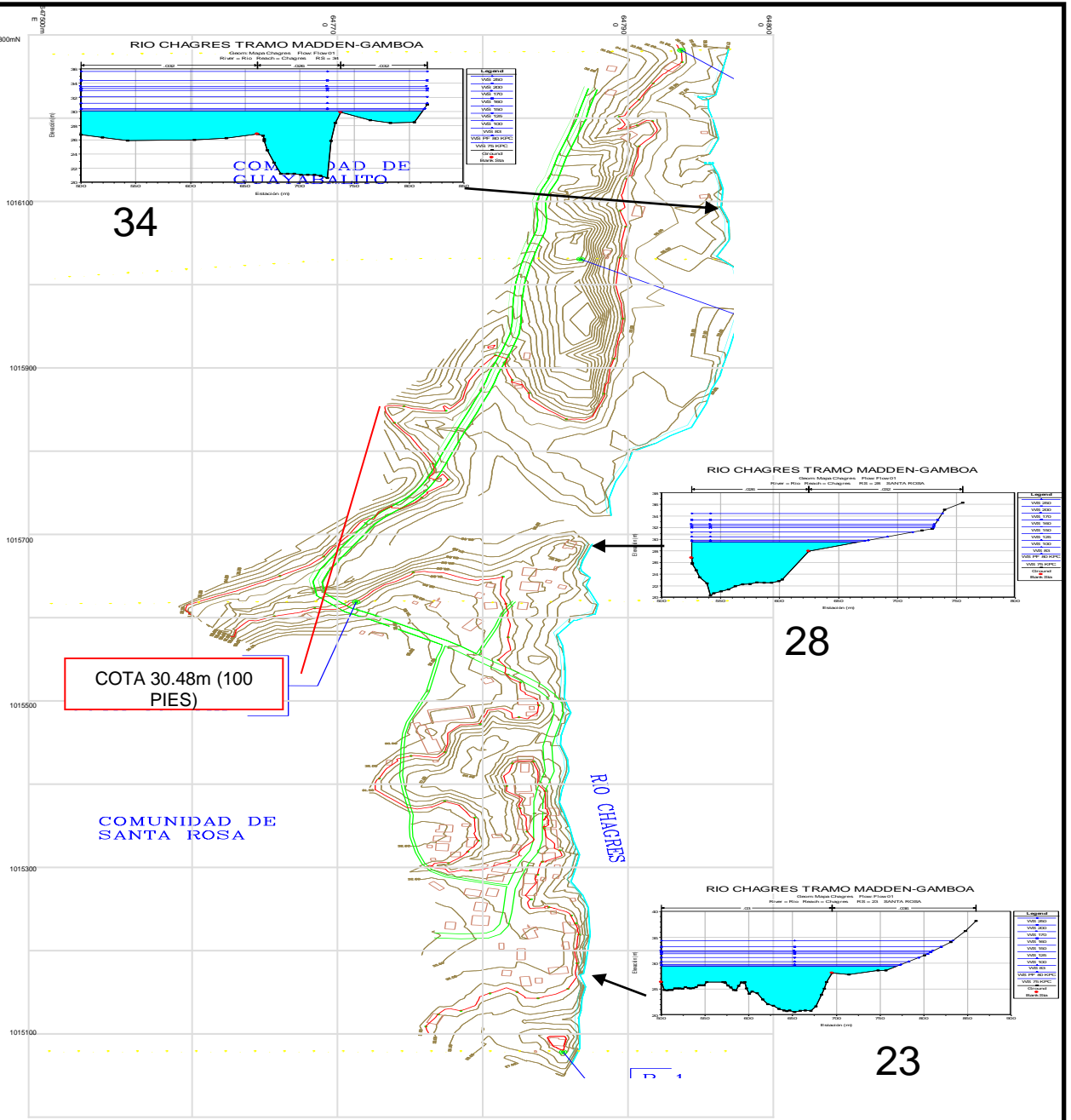


Sistema de Protección Civil de Panamá preparándose para el Ejercicio de Simulacro de Inundación con la Comunidades



Trabajadores de la Unidad de Hidrología Operativa (ACP) colocando letreros en las comunidades





**Autoridad del Canal de Panamá**  
 Sección de Recursos Hídricos

Curvas de Nivel a intervalos de 1m



**GUAYABALITO Y SANTA ROSA**  
**PLAN DE RESPUESTA A**  
**EMERGENCIAS**

ELABORACION DE AGUA PARA OPERANTES TUBOS (HEC-6AS)

Figura N°5




# Visita del Administrador de la ACP y su equipo a las Comunidades de Guayabalito y Santa Rosa luego de la inundación

10 Dic. 2010



Hora Local	Nivel (pld)		Vertidos (pcs)	
	Gatún (pies)	Alhajuela (pies)	Gatún # compuertas	(pcs)
100	87.69	254.70	13	173,652
200	87.74	254.74	14	183,185
300	87.80	254.82	14	185,986
400	87.83	254.98	14	186,609
500	87.86	255.22	14	187,233
600	87.94	255.52	14	188,014
700	88.04	255.86	14	189,423
800	88.08	256.13	14	190,522
900	88.13	256.33	14	191,308
1000	88.16	256.53	14+ 2 alc	198,780
1100	88.21	256.93	14+ 5 alc	231,883
1200	88.26	257.21	14+ 5 alc	232,673
1300	88.34	257.22	14+ 5 alc	233,464
1400	88.39	257.26	14+ 5 alc	234,573
1500	88.45	257.49	14+ 5 alc	235,366
1600	88.50	257.57	14+ 5 alc	236,002
1700	88.53	257.47	14+ 5 alc	236,638
1800	88.56	257.17	14+ 5 alc	237,116
1900	88.56	256.91	14+ 5 alc	237,116
2000	88.57	256.58	14+ 5 alc	237,275
2100	88.55	256.42	14+ 5 alc	236,956
2200	88.52	256.25	14+ 5 alc	236,638
2300	88.48	256.32	14+ 5 alc	236,161
2400	88.42	256.35	14+ 5 alc	235,048

## Niveles de los Embalses Gatún y Alhajuela y Vertidos de Gatún 8 de Diciembre de 2010

 Operación de alcantarillas  
de las esclusas



**8 de diciembre de 2010**

**Esclusas y vertedero de Miraflores**

Las operaciones de esclusajes son suspendidas temporalmente a las **11:00 a.m.** debido al vertido por las alcantarillas de las esclusas



# Río Chagres – Gamboa

(8 de diciembre de 2010)

Desechos arrastrados por la corriente hasta el cauce de navegación  
en el área de Gamboa

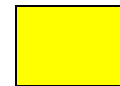


Hora Local	Nivel (pld)		Vertidos (pcs)	
	Gatún	Alhajuela	Gatún # compuertas	Alhajuela (pcs)
100	88.33	256.43	14 + 5 alc	233,780
200	88.22	256.50	14+ 5 alc	232,041
300	88.10	256.55	14+ 5 alc	230,151
400	87.98	256.60	14+ 4 alc	219,267
500	87.87	256.63	14+ 4 alc	217,389
600	87.78	256.66	14+ 4 alc	215,986
700	87.67	256.63	14+ 4 alc	214,120
800	87.57	256.58	14+ 4 alc	212,571
900	87.46	256.53	14+ 1 alc	190,026
1000	87.37	256.49	14+ 1 alc	188,486
1100	87.31	256.45	9	175,579
1200	87.28	256.34	14	128,974
1300	87.20	256.10	14	176,574
1400	87.13	255.79	14	175,963
1500	87.07	255.53	14	155,023
1600	87.06	255.27	9	110,221
1700	87.05	254.99	7	89,218
1800	87.04	254.73	7	89,140
1900	87.04	254.52	7	89,140
2000	87.05	254.29	7	89,140
2100	87.07	254.07	7	89,297
2200	87.07	253.86	7	89,455
2300	87.08	253.63	7	89,534
2400	87.08	253.44	7	89,534

## Niveles de los Embalses Gatún y Alhajuela y Vertidos de Gatún 9 de Diciembre de 2010



Operación de alcantarillas de las esclusas



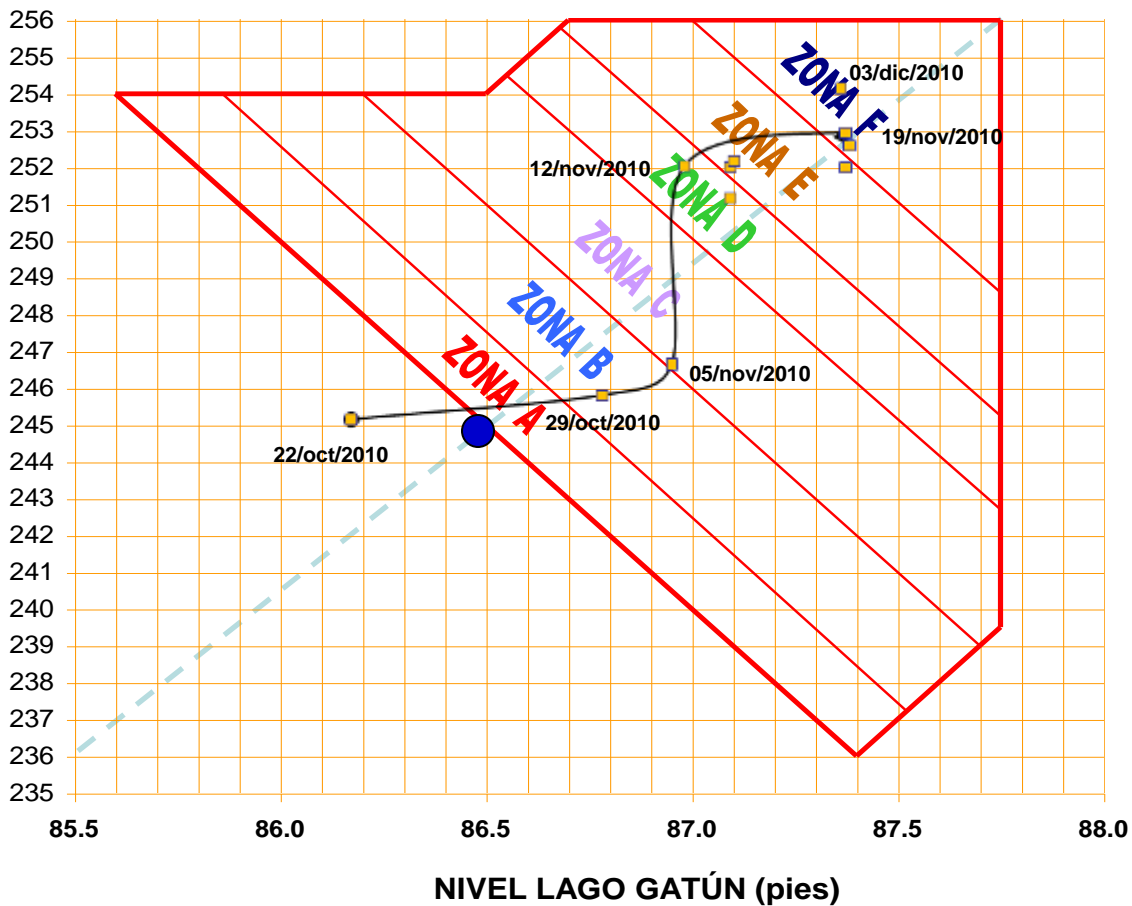
Se reinicia el tránsito de buques con una prueba

# Esclusajes el 9 de diciembre de 2010

Se abre el Canal al tránsito de buques a las **5:00 a.m.**



NIVEL LAGO ALHAJUELA (pies)



●  
257.61'  
88.57'  
8 Dic. 2010  
1600 HL

# ZONA DE DECISIONES

15/oct/2010 – 31/dic/2010  
Semanales (viernes 24:00 hrs)

ZONA	SISTEMA DE TORMENTA	DECISIÓN
A	FUERTE COMPLEJO	A DISCRECIÓN
B	FUERTE COMPLEJO	MÁXIMO NORMAL
C	FUERTE COMPLEJO	EMERGENCIA
D	FUERTE SIMPLE	A DISCRECIÓN
E	FUERTE SIMPLE	MÁXIMO NORMAL
F	SISTEMA DÉBIL	A DISCRECIÓN



# Tormenta “La Purísima”

9 de diciembre de 2010

A las 1855 HL se desactiva oficialmente el Sistema de Comando de Incidentes de la ACP

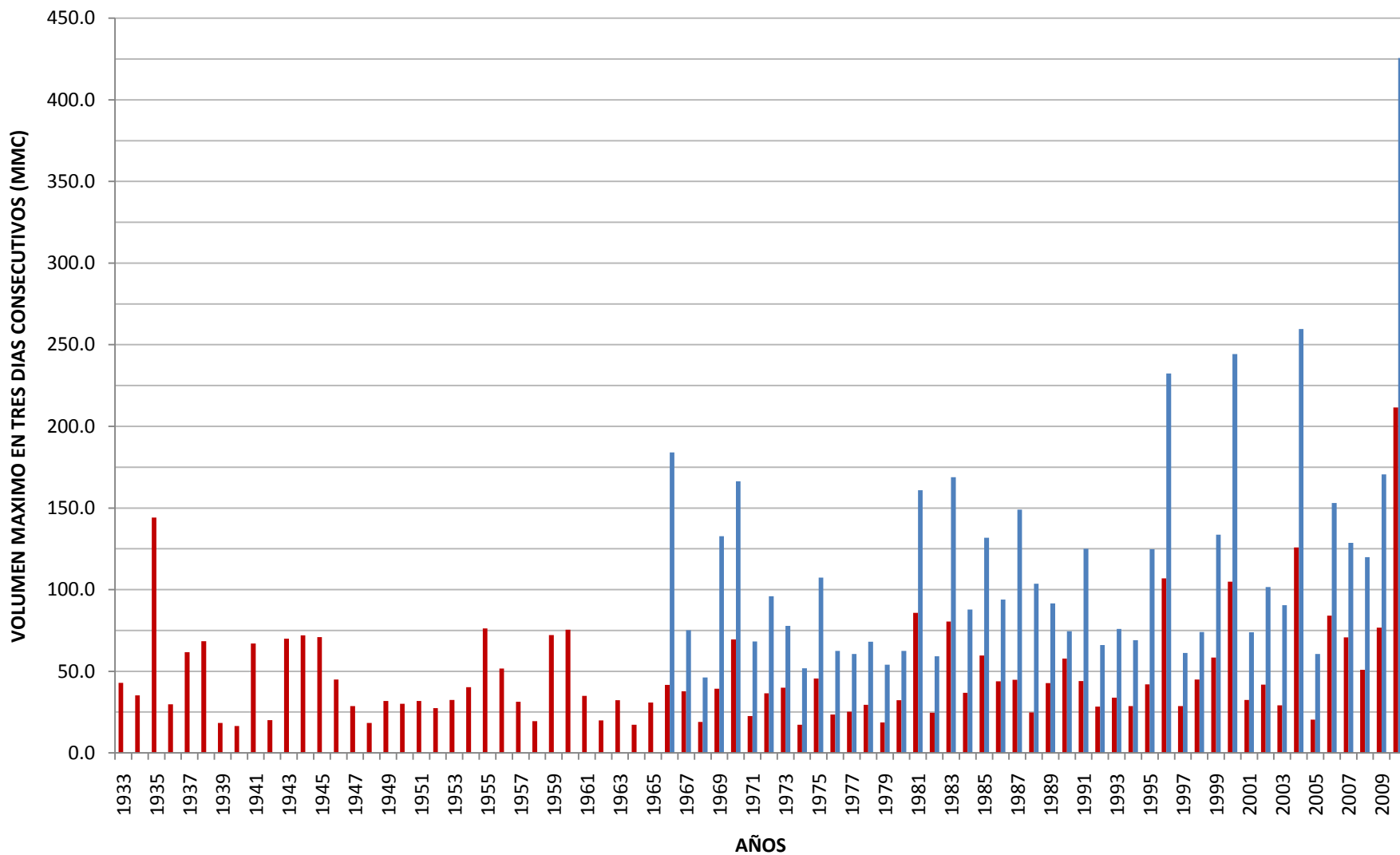


LA PURÍSIMA  
ANALISIS DE LOS CAUDALES OCURRIDOS  
LOS DÍAS 7, 8 Y 9 DE DIC DE 2010 EN  
LA CUENCA DEL CANAL

UNIDAD DE HIDROLOGÍA OPERATIVA



## Volúmenes máximo registrado en tres días consecutivos en la estación Chico en el río Chagres y en el lago Alhajuela (MMC)



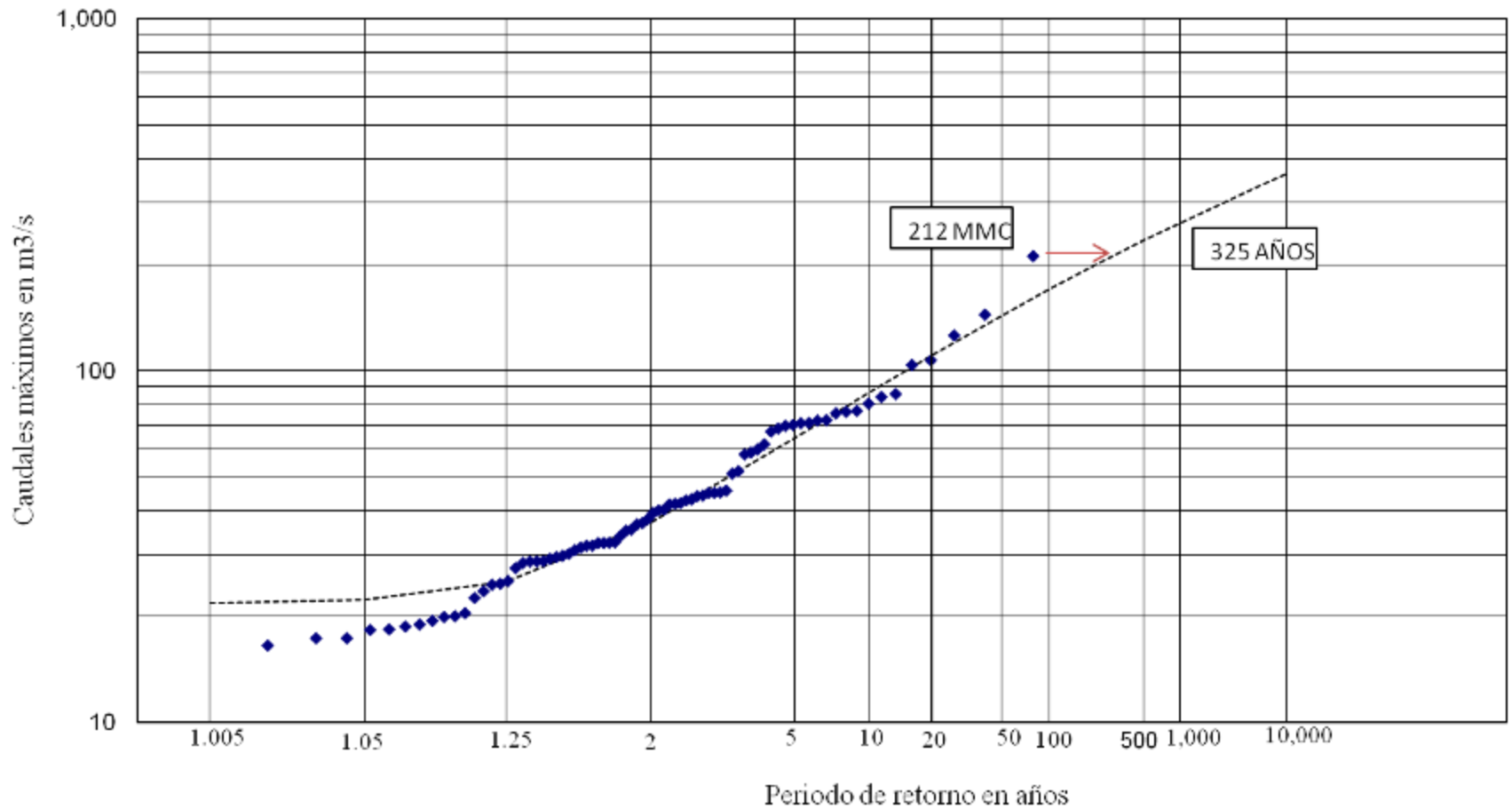
■ APORTES MAXIMOS ESTACION CHICO

■ aportes MAXIMOS LAGO ALHAJUELA

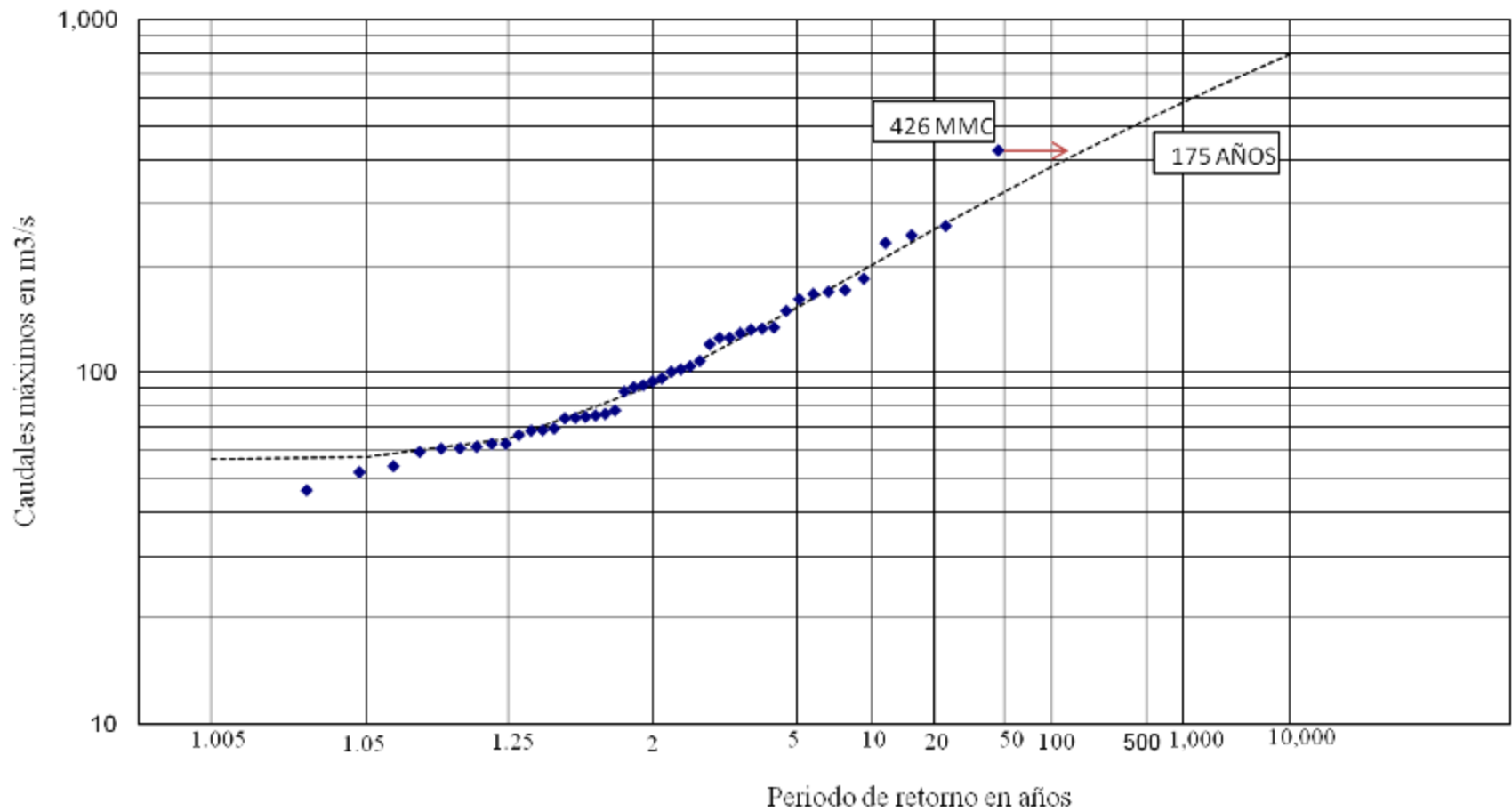




**ANÁLISIS DE FRECUENCIA LOG PEARSON TIPO III**  
VOLUMENES MÁXIMOS EN TRES DIAS CONSECUTIVOS (MMC)  
PERÍODO DE ANÁLISIS 1933 A 2010  
ESTACIÓN RÍO CHAGRES EN CHICO



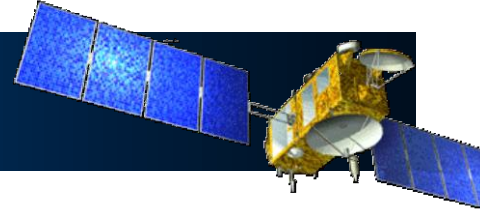
**ANÁLISIS DE FRECUENCIA LOG PEARSON TIPO III**  
**VOLUMENES MÁXIMOS EN TRES DIAS CONSECUTIVOS (MMC)**  
**PERÍODO DE ANÁLISIS 1966 A 2010**  
**APORTES AL LAGO ALHAJUELA**



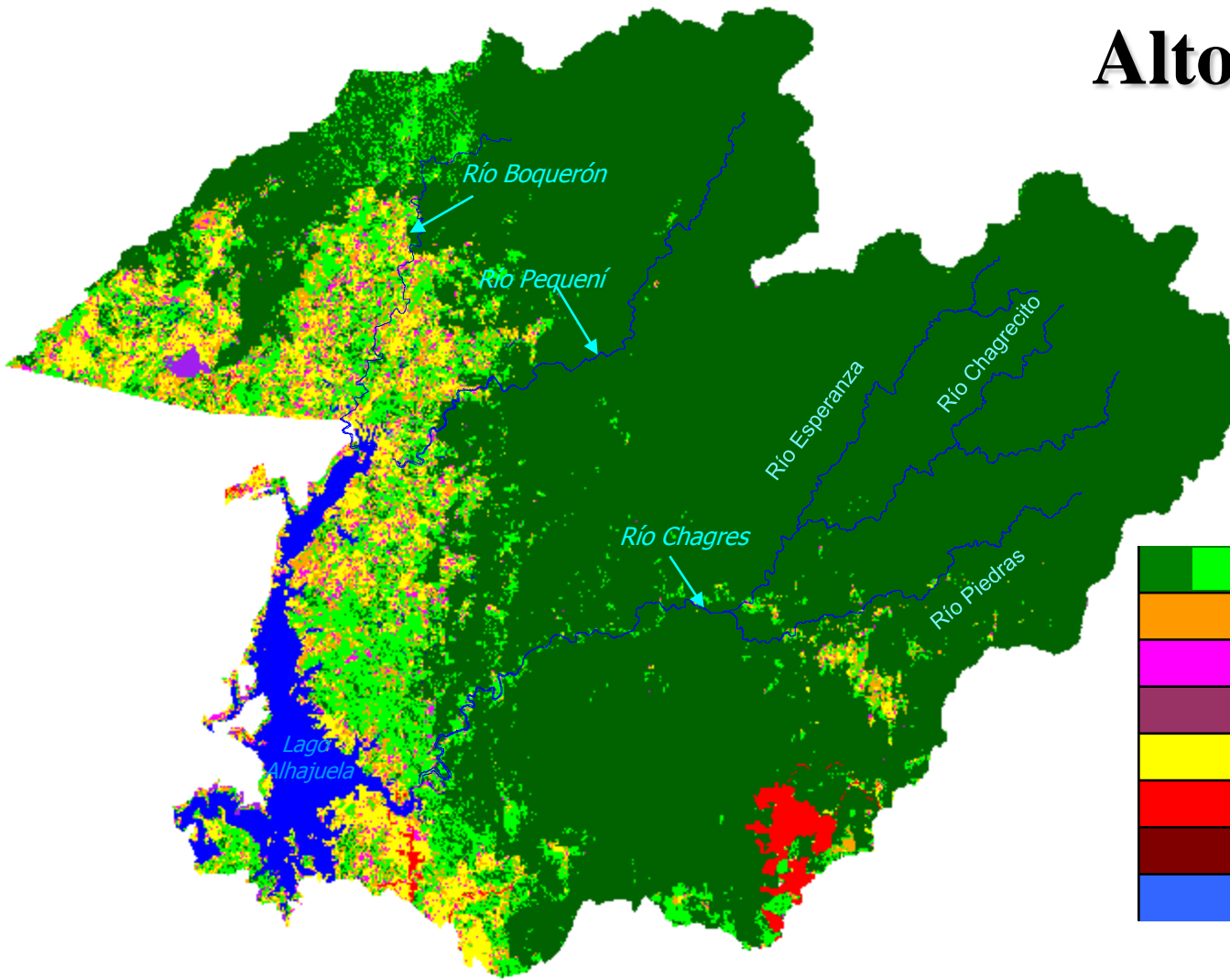
# Aportes de sedimentos y turbiedad en el embalse Alhajuela durante la tormenta “La Purísima”

7 – 9 diciembre de 2011



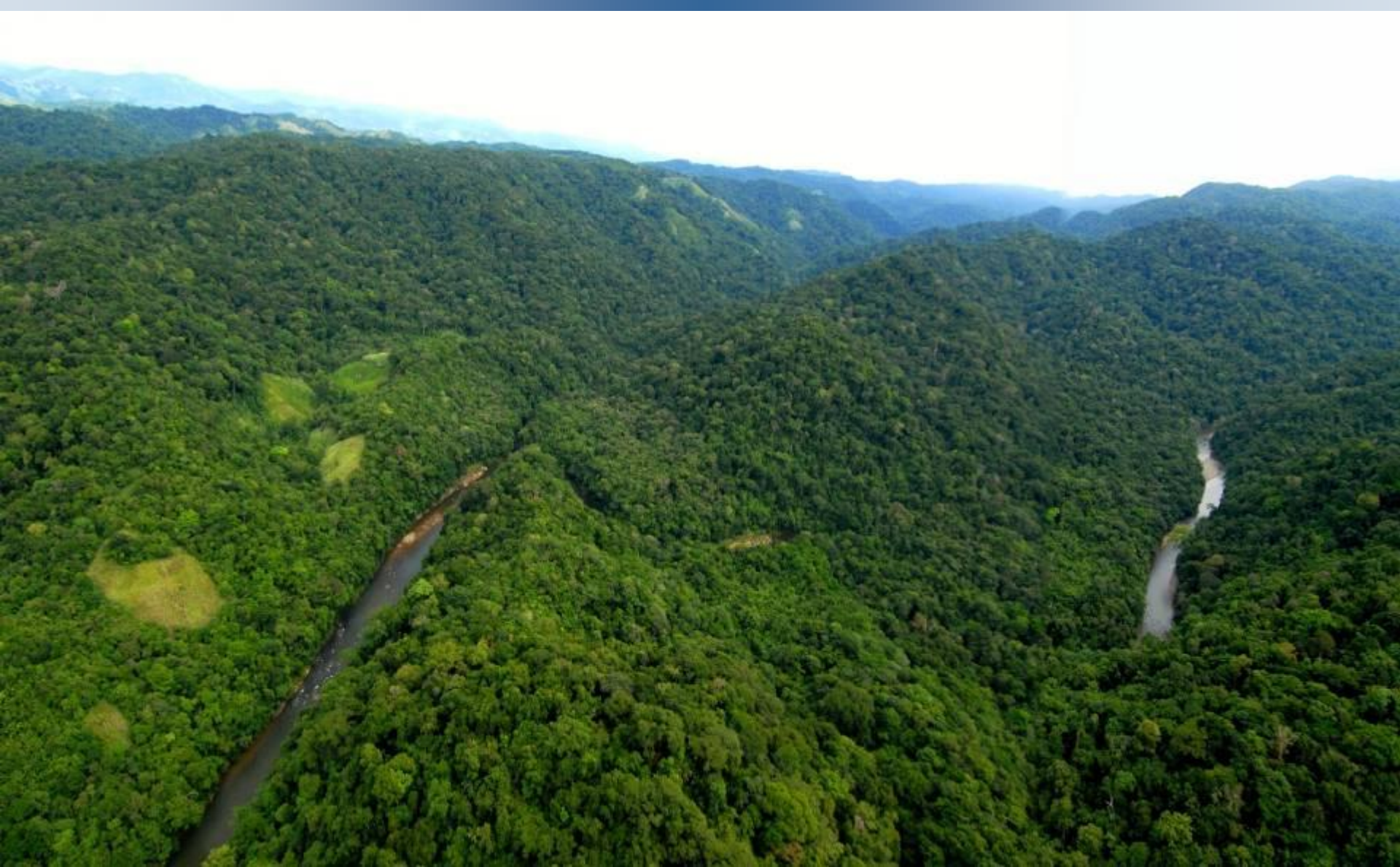


## Alto Chagres



	Bosques	84,384.3	84.3
	Matorrales	4,002.4	4.0
	Paja canalera	1,517.9	1.5
	Plantaciones	176.1	0.2
	Pastizales	5,337.8	5.3
	Areas pobladas	896.8	0.9
	Mineria	24.5	0.1
	Agua	3,752.5	3.7

# Reserva Forestal Aguas Arriba del Embalse de Alhajuela, (Alto Chagres)





# Presa Madden

17 de septiembre de 2007



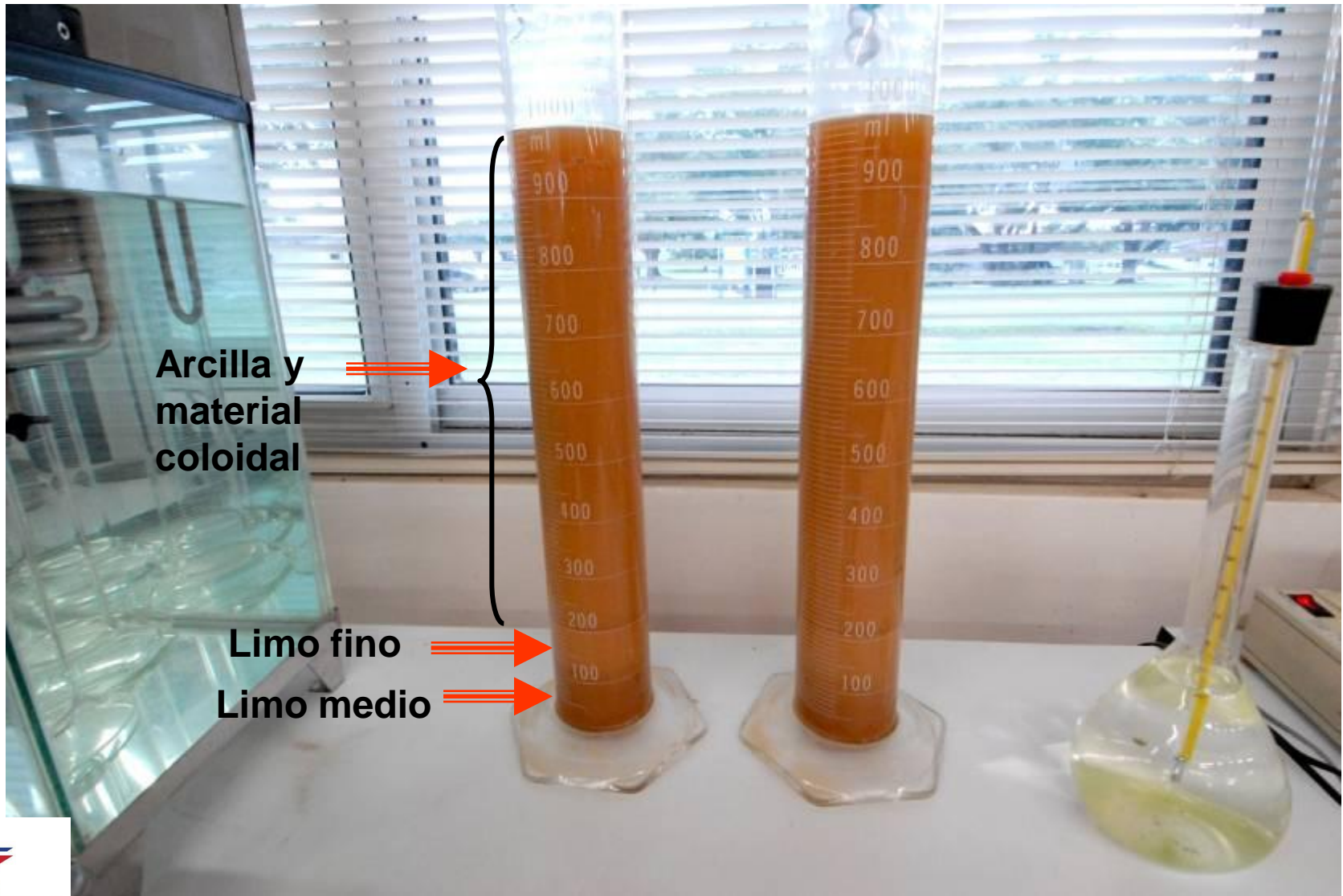
29 de diciembre de 2010



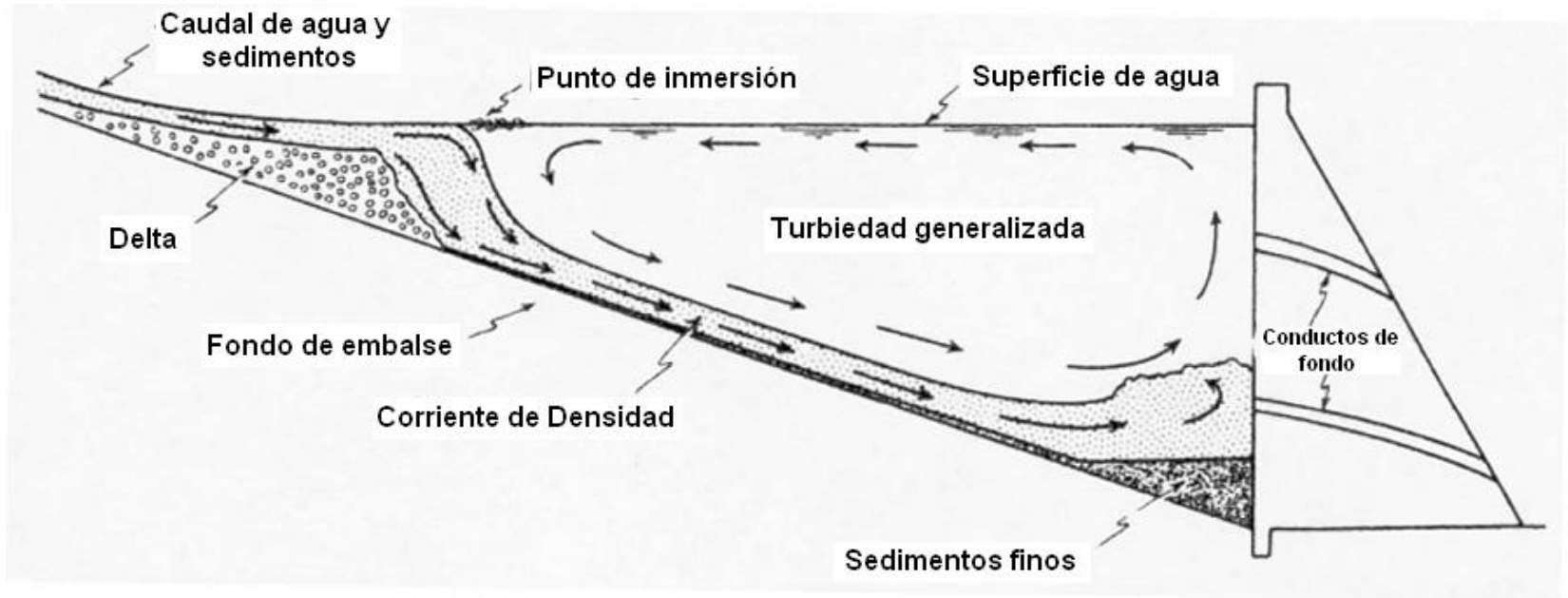
# Ensayo de Hidrómetro

## Laboratorio Geotecnia, ACP

### Duración de la prueba 24 hrs



# Esquema general de sedimentación en embalses





# Embalse Alhajuela

21 de enero de 2011

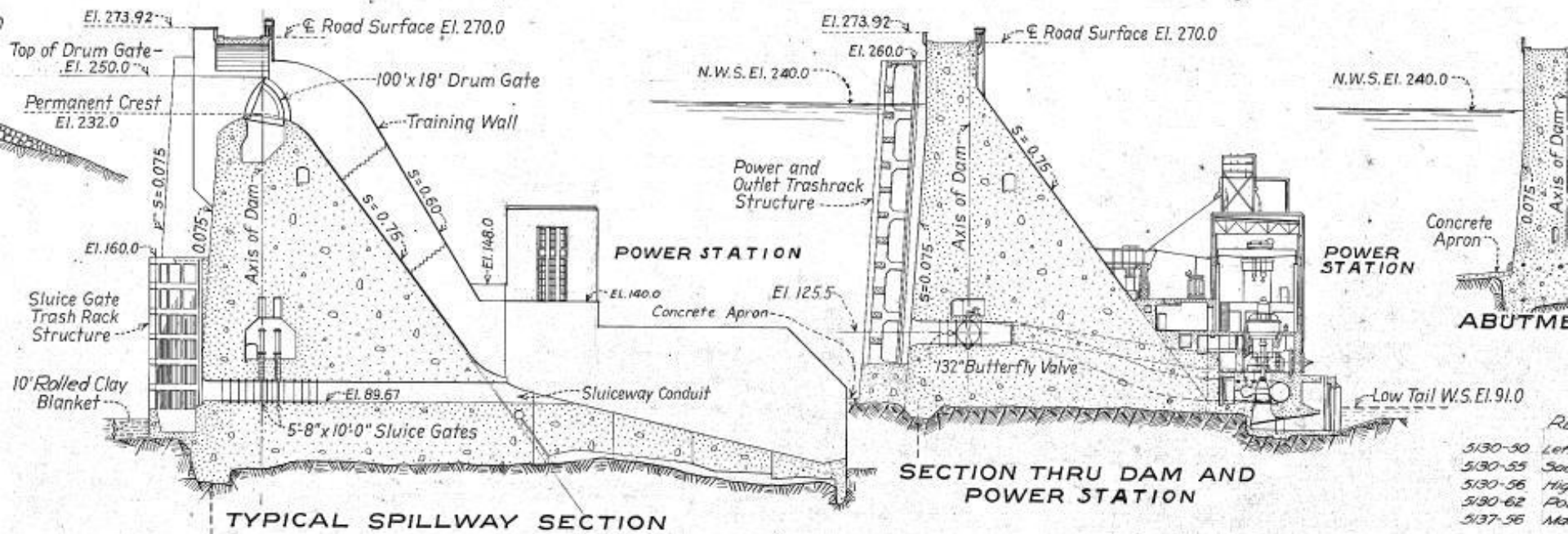


# Embalse Alhajuela

18 de febrero de 2011



# Plano original de la Presa Madden



NO.	REVISION	DATE	BY	CHECKED	APPROVED	NO.	REVISION
1	Revised Power Station & Top of Abutment Dam, etc. Added Roll Clay Blanks.	12-31-53	A.O.G.	12-31-53			
2	Lengthened spillway apron and training walls 30' raised left training wall, etc.	4/6/54	M.H.F.	J.R.D.	ESK		
3	Removed abutment false arches. Changed spillway apron.	8-23-54	M.H.F.	J.R.D.	ESK	(R)	LOCATION CHANGED ON ROAD SADDLE NO. 2





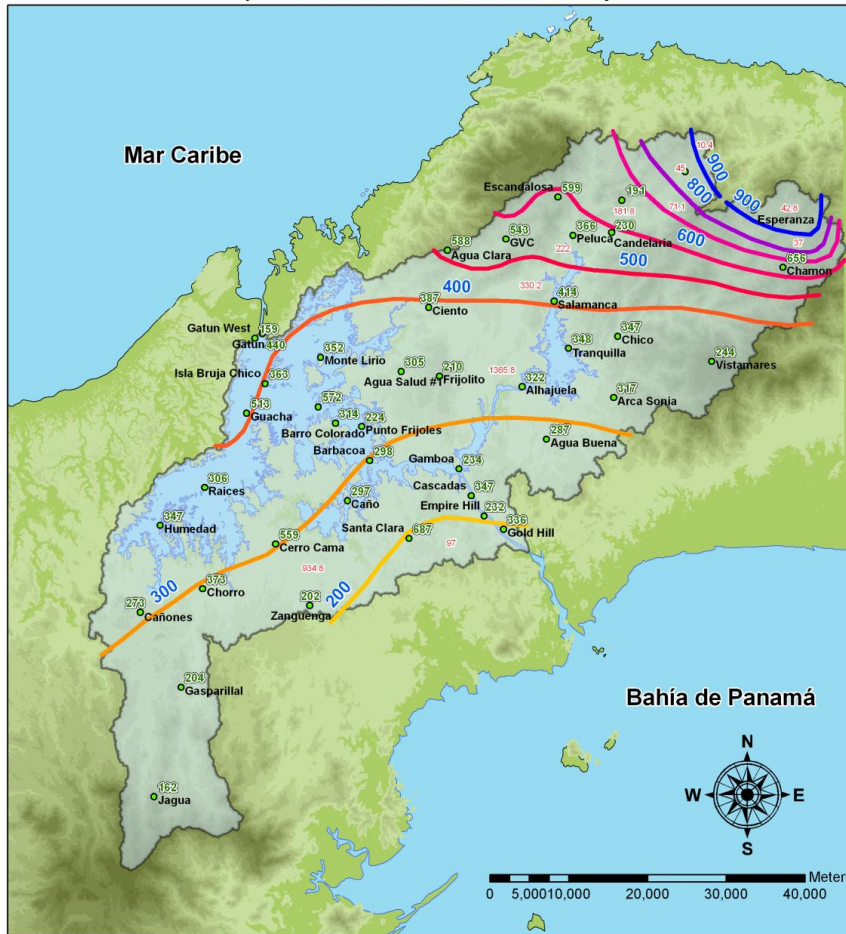
# Deslizamientos de Tierra en la Cuenca del Embalse Alhajuela, CHCP

Fotografía: 21 de enero de 2011



# Mapa de isoyetas de la tormenta La Purísima

Isoyetas de la tormenta La Purísima  
(7 - 9 de diciembre de 2010)



**Leyenda**

- Estaciones pluviográficas Nombre
- Rojo: Área (km<sup>2</sup>)
- Verde: Precipitación (mm)
- Isolineas (Intervalos 100 mm)



Departamento de Ambiente, Agua y Energía  
División de Agua  
Sección de Recursos Hídricos (EAAR)

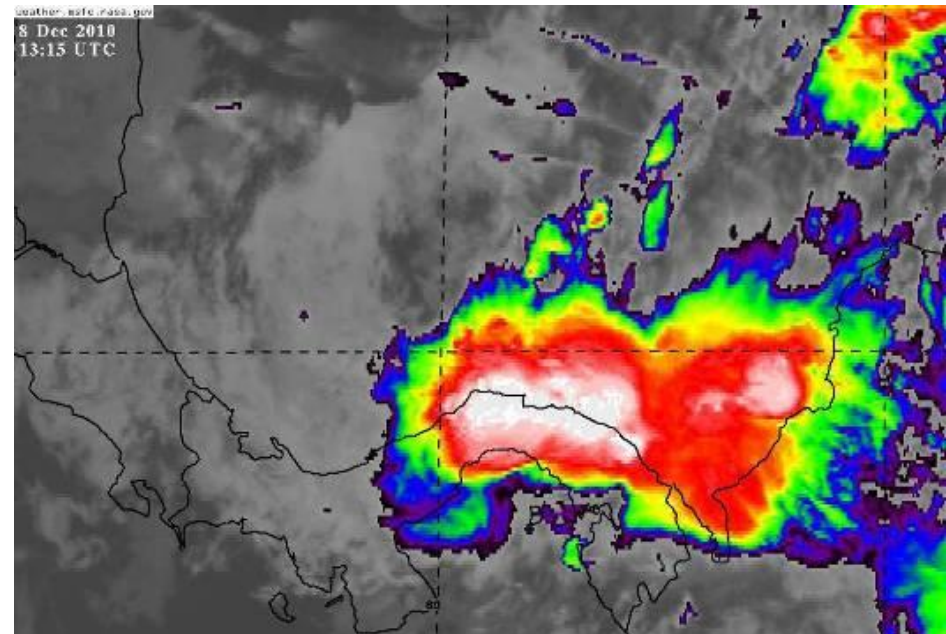


Precipitación media areal:

Subcuenca río Boqueron: 634mm

Subcuenca río Pequení: 776mm

Subcuenca río Chagres: 633mm



# Producción de sedimentos suspendidos (t/año/km<sup>2</sup>), 1998-2007.

