

# XXIVº Congreso Nacional del Agua 2013

San Juan, 14 al 18 de Octubre de 2013

## ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA FRESCA EN EL CHACO PARAGUAYO

Alejandro R. Ruberto<sup>(1)</sup>, Marcelo J. M. Gómez<sup>(1)</sup>, Pedro T. Tymkiw<sup>(2)</sup>, Jorge V. Pilar<sup>(1)</sup>,  
Fabio H. Galeano<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Grupo de Investigación del Departamento de Hidráulica, Fi-UNNE, <sup>(2)</sup> Docente de Ingeniería Civil, FI-UNNE, <sup>(3)</sup> Becario CyT-UNNE

Facultad de Ingeniería . Universidad Nacional del Nordeste.  
Av. Las Heras 727 – H3500COI – Resistencia – Chaco, Argentina. Telefax: +54 (362) 4420076  
Correo-e: aruberto@ing.unne.edu.ar - marcelogomez@ing.unne.edu.ar

### RESUMEN

El presente trabajo se realizó en la región del Chaco central paraguayo, caracterizado por sus altas temperaturas, vientos intensos y baja humedad relativa, que causan gran evapotranspiración (EVT), del orden de 1600mm, duplicando la precipitación media, que es 800mm anuales.

En esas latitudes, por falta de otras fuentes de provisión, la captación de agua para consumo es agua precipitada de lluvias, concentradas en pocos meses, y resulta de importancia la cuantificación precisa de volúmenes precipitados y el análisis de la variabilidad temporal y distribución espacial, las superficies consideradas como áreas de captación, el almacenamiento posible dentro de márgenes económicos razonables y la distribución final, acorde a la disponibilidad.

Se comparan dos alternativas de captación: i) área de captación con techos de viviendas y aljibes y ii) “cosecha” de agua de lluvia, consistente en sistema de captación, conducción y almacenamiento, desmontando superficies de suelos, nivelados y que conducen los excedentes superficiales a la toma, donde los impulsará a un reservorio para posterior tratamiento y distribución.

Se analizaron captación de agua de lluvia en cubiertas de techos y almacenamiento, tomando viviendas de tres estamentos sociales que componen la población del lugar.

Se estudió el escenario de consumo máximo, siendo analizados inicialmente 108,7ha de captación, correspondientes a una población de 42.400hab. Para la cosecha de agua se analizó una superficie de 500 hectáreas, para la misma población; luego fueron considerados diferentes rangos de dotaciones, que variaron de 80 a 160litros/hab/día.

Los días sin agua disponible antes de las obras para techos-aljibes de altos ingresos y latinos fue de 30 días de promedio anual abasteciendo dotación máxima de 96 l/hab/día y 65 l/hab/día respectivamente; para aborígenes de 12 días promedio anual con dotación máxima de 8 l/hab/día.

Es necesario invertir U\$S 93.869.106, en superficie de techos y aljibes, para alcanzar dotaciones de 80 a 160 l/hab/día; y para cosecha de agua se necesitan U\$S 42.852.887, para igual demanda.

Para cubrir la demanda mínima necesaria se propone incrementar las áreas de captación en ambos sistemas y sus correspondientes reservorios.

**Palabras clave:** cosecha de agua – regulación – chaco paraguayo.

## INTRODUCCIÓN

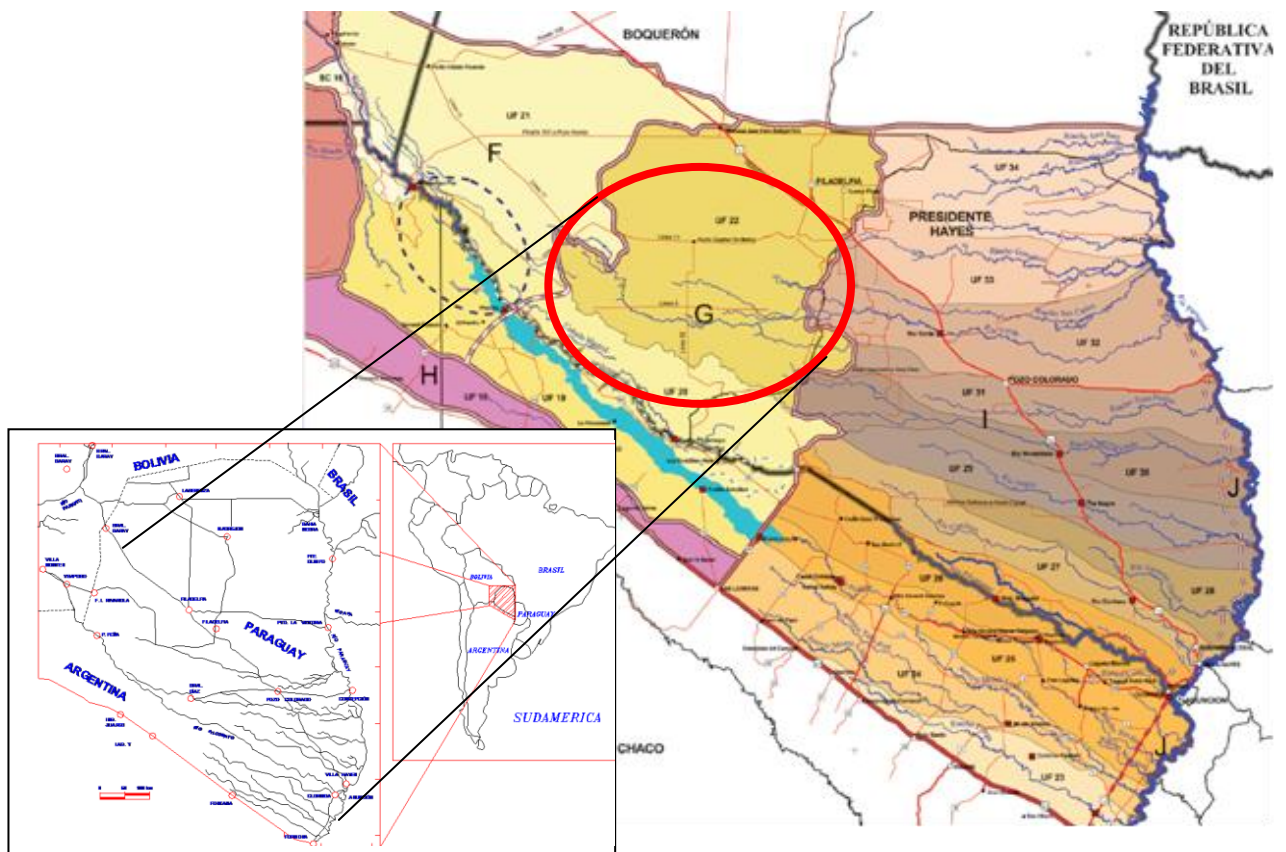
La escasez de agua para consumo humano en el Chaco Central Paraguayo ha sido y es uno de los problemas de mayor relevancia para el asentamiento y desarrollo de las actividades humanas.

En la zona en estudio se registran precipitaciones anuales de gran volumen, temporalmente concentradas y por su latitud se registran elevadas temperaturas y evapotranspiración lo que registra un balance hídrico negativo.

La República del Paraguay, con una superficie de 406.752km<sup>2</sup>, se encuentra ubicada en la parte central de Sudamérica. El río Paraguay divide el país en dos regiones claramente diferenciadas: el Gran Chaco o Región Occidental al oeste y la Región Oriental en el este. El Chaco Paraguayo abarca tres departamentos: Presidente Hayes, Alto Paraguay y Boquerón.

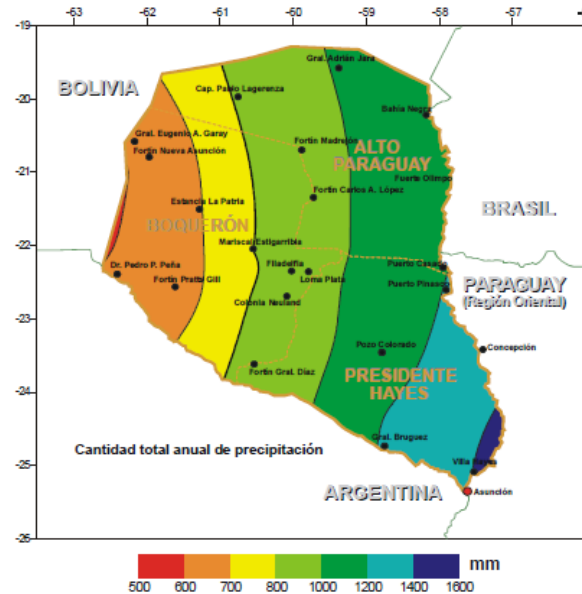
El Chaco Paraguayo como parte del Gran Chaco Sudamericano (ver figura n°1) se extiende entre las serranías del pedemonte oeste, el río Paraguay al este, al sur con Argentina y al norte con Bolivia. “Gran Chaco” es una unidad geográfica con características idénticas: morfología, geología, clima, vegetación y fauna. De baja densidad poblacional y planicies formadas por ríos andinos de baja pendiente de oeste a este, y como consecuencia de un balance hidrológico negativo entre la precipitación y la evapotranspiración, los drenajes superficiales son muy reducidos.

Los cursos fluviales de la zona poseen baja capacidad de conducción por su baja energía de relieve, configurando Sistemas Hidrológicos No Típicos (SHNT) (Fertonani y Prendes, 1984), típicos de la región chaqueña.



**Figura 1** - Ubicación continental y regional (fuentes: estudios Saltzgitter y Plan gestión integrada cuenca del río Pilcomayo)

El clima del Chaco Central Paraguayo se caracteriza por ser semihúmedo a semiárido con lluvias entre octubre y abril incluyendo el verano. En el Chaco suroriental se registran lluvias de 800 a 1.400 mm/año y condiciones subtropicales típicas; hacia el noroeste disminuyen las lluvias estacionales de 400 a 500 mm/año, imponiéndose un régimen subhúmedo a semiárido (figura n°2).



**Figura 2.** Precipitación media anual del Chaco paraguayo. (Fuente: Atlas Climático del Chaco paraguayo – Fundación para el desarrollo sustentable del Chaco)

En climas semiárido como éste, la evapotranspiración potencial excede en más del doble a la precipitación, fenómeno causado en gran medida por elevadas temperaturas (Harder, 2009).

Más de 80% del Chaco Paraguayo se caracteriza por la escasez de agua como consecuencia del balance hídrico negativo, agravada por irregular distribución de las lluvias durante el año.

La vegetación se ha adaptado a las precipitaciones promedio, pero con variaciones interanuales altas y precipitaciones de alta intensidad, dejando períodos completamente secos.

El clima es más seco hacia el oeste, lo cual ofrece condiciones difíciles para la población humana. La excepción es el Chaco Central, donde la situación social está dividida: colonias menonitas (Menno), con calidad de vida elevada, basada en una economía cooperativa fuerte y comunidades aborígenes sin actividades económicas notables, centros latino-paraguayos y otros.

La principal fuente de abastecimiento es el agua de lluvia acumulada en depresiones naturales, represas y a nivel de predio en aljibes. Estimativamente, dos terceras partes del consumo de agua proceden de fuentes superficiales y una tercera parte es subterránea.

La disponibilidad de agua potable en el Chaco Central muestra la vulnerabilidad del sistema de abastecimiento de agua, puesto que el mismo depende del volumen y frecuencia de lluvias y la capacidad de almacenamiento de las mismas, por parte de las comunidades (Monte Domeq, 2007).

La mayor parte del agua superficial aprovechada en el Chaco Central proviene de las lluvias, siendo común el uso del agua cruda sin tratamiento. En todo el Chaco Central, particularmente en comunidades aborígenes, la calidad de agua conlleva riesgos de salud donde son frecuentes las enfermedades de origen hídrico.

El abastecimiento de agua potable en el Chaco Central depende mayormente de la ocurrencia de lluvias y su almacenamiento en aljibes y reservorios, siendo que la disponibilidad de agua en reservorios es limitada por las pérdidas a causa de la evaporación e infiltración.

## **OBJETIVOS**

Realizar el análisis comparativo de dos alternativas de captación y almacenamiento de agua fresca para consumo humano de uso frecuente en la zona: la primera utilizando como área de captación los techos de las viviendas y aljibes como almacenadores y la segunda la “cosecha” de agua pluvial, consistente en la construcción de un sistema de captación, conducción y almacenamiento, que comienza con el acondicionamiento de la superficies del suelo, que conduce los excedentes superficiales hacia un reservorio para su posterior tratamiento y distribución.

## **MATERIALES**

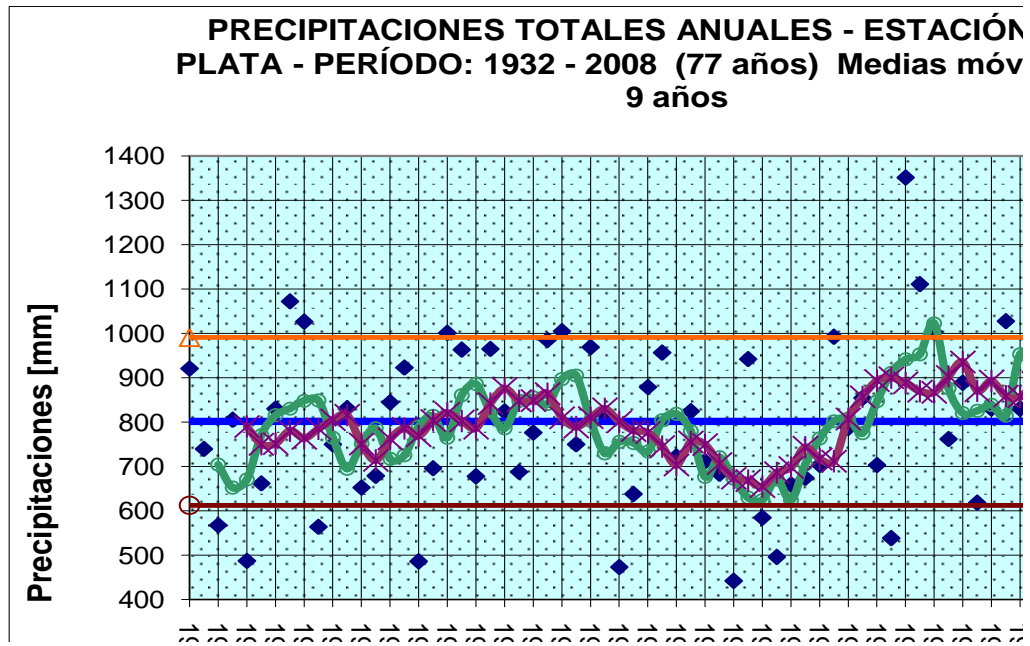
Para la captación de agua de lluvia por techos y su almacenamiento en aljibes, se tomaron viviendas individuales de tres estamentos sociales que componen la población del lugar según clasificación de organismos oficiales de Paraguay. Se presenta un análisis de lluvias locales para conocer la oferta de agua y su distribución en el tiempo.

### **Precipitaciones medias anuales**

El régimen pluviométrico de la región fue caracterizado con datos pluviométricos totales anuales de Loma Plata (22°23'3,88" S; 59°49'59,96" O) con un récord de setenta y siete años.

Se realizó un análisis comparativo entre totales anuales y medias móviles de cinco y nueve años. La elección de estas cifras respondió a dos criterios: 1- al realizar seguimiento de la media móvil central, se utilizan datos anteriores y posteriores para observar la tendencia de la media; y 2- elección de 5 y 9 años como promedios móviles, que al ser impares permiten pivotar en el año en cuestión, tomar valores simétricos antes y después, siendo intervalos adecuados para conocer la tendencia a mediano plazo. Dicho análisis es presentado en figura 3, observándose que desde 1996 a 2008 aparece un decaimiento que marca dominancia de períodos secos de la última década.

Otra singularidad aparece en valores interanuales de lluvia que presentan gran dispersión en la serie, caracterizada por el desvío estándar de casi 190mm:  $\pm 23,5\%$  respecto a la media y 13 valores (17%) encima de la media más el desvío estándar y 11 valores (14%) debajo de la media menos el desvío estándar; que conforman desigual distribución temporal del volumen precipitado. Dicha hipótesis es la base del análisis donde se vislumbra desigual distribución temporal – anual del recurso, más la ocurrencia de un período seco en los últimos dos lustros.



**Figura 3.** Medias móviles de totales de lluvia anuales de 5 y 9 años en Loma Plata (elaboración propia).

### Análisis de las precipitaciones máximas medias diarias

Para caracterizar el régimen pluviométrico de la región se trabajó con datos diarios, calculados como promedios diarios de tres estaciones: Loma Plata, Lolita, Paratodo y Laguna Capitán; para un período de registro de doce años: 1998 – 2009.

El peso, tomado como porcentaje de participación e influencia de cada estación, ha sido veinticinco por ciento para todas las estaciones, debido a la cercanía entre las cuatro y no encontrarse a distancias mayores a 30km entre sí; la serie de precipitaciones máximas diarias anuales ha sido:

**Tabla 1.** Precipitaciones máximas medias diarias anuales

Nº	Año	Pmax (mm)	continuación....	Nº	Año	Pmax (mm)
1	1998	144,8		7	2004	59,9
2	1999	117,5		8	2005	51,5
3	2000	109,3		9	2006	60,8
4	2001	71,5		10	2007	78,3
5	2002	52,7		11	2008	50,3
6	2003	72,8		12	2009	53,3

Dichos datos de ocurrencia anual, están en concordancia con lluvias intensas, no son valores elevados, siendo zona de lluvias de carácter convectivo. Las lluvias máximas medias diarias darían intensidades promedios bajas (6mm/h máxima), que indica montos no muy altos y sugiere que se deberá tener muy alta eficiencia en los sistemas de captación.

### Justificación de la adopción de valores estacionales

Se capturaron datos de doce años de estaciones pluviométricas y se clasificó en intervalos de orden, para conocer la distribución de montos de precipitación disponibles clasificados por rangos.

Se estudiaron histogramas de la serie de precipitaciones diarias del período 1998 – 2009, para 2, 5, 10 y 15 milímetros; siendo que se han producido 1.098 eventos pluviométricos en 4.383 días. Se optó por el más representativo que genere escurrimiento aprovechable de 15mm.

Existen 800 valores menores o iguales a 10mm y 900 menores o iguales a 15mm sobre 4.383 días de doce años analizados. Se clasificaron los eventos del período húmedo del año hidrológico regional (sep – ago), siendo el período húmedo octubre/ marzo y seco: abril/setiembre.

Se adoptó como lluvia mínima captable por techos la de 15mm; eventos menores a 15mm son descartables por: lavado de techos, no captación inmediata del agua por encontrarse lejos el operador, lluvia en horarios no convenientes para el operador. La base de este estudio radica que según el estudio de CES Consulting Engineers Salzgitter: “las pérdidas son de alrededor de 25% por limpieza del techo”, valor factible posible y aceptable.

Así, se obtuvieron la cantidad de eventos disponibles y aprovechables (mayores o iguales a 15mm), y su desagregación en períodos húmedos y secos y se observó que en el período seco que solo 10%, en promedio, son eventos mayores a 15mm.

Casi el 22% de los eventos, en promedio, son mayores o iguales a 15mm en el período húmedo, considerados como volúmenes aprovechables.

En tabla 2 se presenta la clasificación estacional (octubre-marzo) de lo precipitado, número de eventos: totales y mayores a 15mm; similar análisis se hizo para el período estacional seco, donde los eventos que superan 15mm son 11% en promedio, acorde al análisis 1998 – 2009.

**Tabla 2.** Precipitación estacional y clasificación de eventos

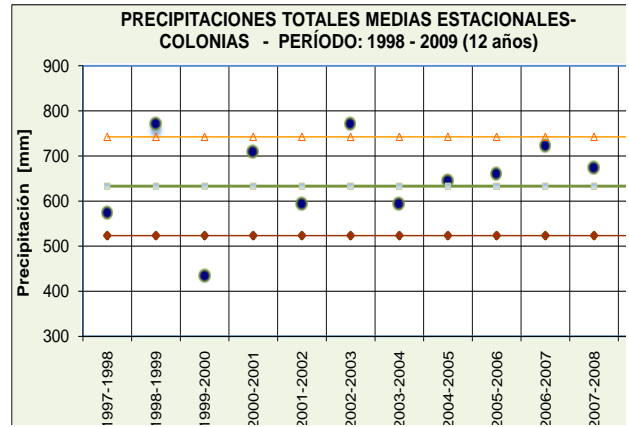
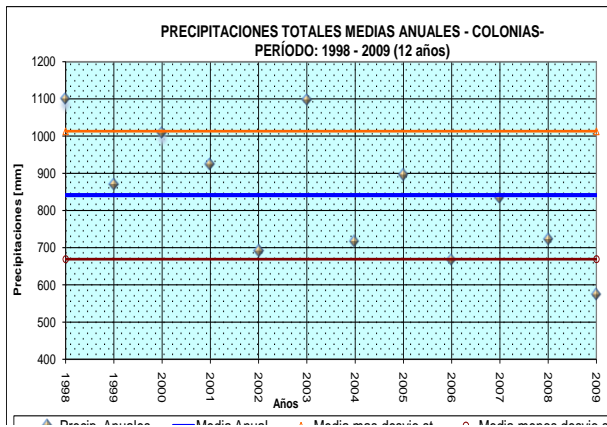
Estacional (oct-mar)	Total caído entre 1/oct - 31/mar	n° eventos entre 1/oct - 31/mar	n° eventos entre 1/oct - 31/mar > 15 mm	Porcentaje de eventos > 15mm entre 1/oct - 31/mar	n° eventos entre 1/abr - 30/sep	n° eventos > 15 mm entre 1/abr - 30/sep	Porcentaje de eventos > 15mm entre 1/abr - 30/sep
1998	574,7	37	10		42	3	
1998-1999	770,2	65	13	20,0%	33	2	6,1%
1999-2000	431,7	52	7	13,5%	29	6	20,7%
2000-2001	707,5	67	14	20,9%	36	4	11,1%
2001-2002	594,2	61	14	23,0%	37	4	10,8%
2002-2003	769,7	78	14	17,9%	22	3	13,6%
2003-2004	594,8	52	13	25,0%	35	1	2,9%
2004-2005	644,1	56	18	32,1%	31	2	6,5%
2005-2006	659,9	73	15	20,5%	23	3	13,0%
2006-2007	720,4	68	16	23,5%	15	4	26,7%
2007-2008	674,0	68	15	22,1%	18	1	5,6%
2008-2009	455,3	49	11	22,4%	27	3	11,1%
			<b>Promedio:</b>	<b>21,9%</b>		<b>Promedio:</b>	<b>11,6%</b>

La comparación de la lluvia total estacional versus la anual, estadísticas principales, frecuencia de ocurrencia y relación de lo precipitado en el período húmedo versus total anual (alrededor de 75%) y los respectivos desvíos estándar se presentan en la tabla 3:

**Tabla 3.** Comparación estacional - anual. Estadísticas principales

	Estacional (mm)			Frecuencia	Relación
	Diario (mm)	oct-mar	Anual (mm)		
<b>Promedio</b>	9,2	633	841	92	75,2%
<b>Desvío estándar</b>	13,6	109	172	10	
<b>Curtosis</b>	18,9	-0,2	-1,0	-1,5	
<b>Máximo</b>	144,8	770	1099	106	70,1%
<b>Mínimo</b>	0,03	432	574	76	75,2%
<b>Media más desvío st</b>	22,8	742,4	1013,1		
<b>Media menos desvío st</b>	-4,4	523,6	669,4		

En la figura 4 se observan lluvias promedios anuales (841mm) más/menos el desvío estándar (669 y 1013mm) y en la 5 se observan las lluvias estacionales (oct-mar), total anual promedio de 633mm, más/menos el desvío estándar: 742 y 523mm.



**Figuras 4 y 5.** Precipitaciones totales medias anuales y totales medias estacionales (1998 – 2009).

## METODOLOGÍA

Para valorar la disponibilidad del recurso se analizó la dotación a proveer, considerando el consumo humano actual estimado. Se realizó un estudio de regulación para los actores destinatarios y la evaluación económica comparativa de las dos situaciones propuestas: cubiertas de techos y aljibes de almacenamiento, versus cosecha de agua en campos de captación y reservorios.

El estudio de regulación se realizó aplicando la ecuación de balance de masa a lo largo del período analizado según la ecuación 1:

$$S_o + \sum_{t=1}^N q_t = N \cdot X + S_N \quad (1)$$

Donde:

$S_o$ : almacenamiento inicial,

$q_t$ : caudal que ingresa en cada intervalo de tiempo,

$N$ : número de intervalos,

$X$ : caudal módulo,

$S_N$ : variación de almacenamiento.

## **Dotación**

Para el estudio de regulación se debe conocer la demanda de agua a entregar a una población a partir del número de habitantes a servir y los correspondientes consumos promedios (en l/hab.día).

Estos valores ofrecerían una dotación de satisfacción mínima para consumo humano, adoptándose dotaciones para distintos grupos en que fue clasificada la población, según tabla 4.

**Tabla 4.** Dotaciones de consumo y población por grupo

Grupo	Dotación (l/hab.día)	Habitantes año 2012
Residencial altos ingresos	160	4.349
Residencial latinos	120	13.095
Residencial aborígenes	80	24.956
Total		42.400

Según estudios de CES, los consumos de agua de la población del Chaco Central Paraguayo son bajos, comparados con niveles nacionales e internacionales, indicio que la demanda residencial de agua es reprimida por deficiencias del servicio en cantidad, calidad y provisión. Se podría afirmar que el consumo residencial de agua no depende de las necesidades, sino de oferta y reservas de agua.

Comparar alternativas de captación requiere establecer una dotación ponderada para regular el sistema de cosecha de agua que considera la participación del grupo social respecto de los demás, dado que un único sistema de captación abastecerá a todos; la dotación aparente es 104 l/hab.día.

### **Justificación del estudio de regulación**

El análisis realizado corresponde a un escenario de demanda máxima, que responde a un análisis de paso de tiempo anual, con lo cual no era posible conocer la distribución del recurso en tiempo acorde a su regulación y uso, entonces fue considerado más apropiado paso de tiempo diario, y se conoció la evolución del comportamiento del consumo humano en menor tiempo.

Al no ser una fuente de abastecimiento de agua potable y permanente resulta adecuado éste análisis por dos motivos: 1- la oferta no es continua en tiempo, por lo que no habrá disponibilidad permanente y depende de la habilidad para captarla y almacenarla; y 2- con el paso del tiempo y con agua almacenada en aljibes la potabilización decrece con los consiguientes riesgos en la pérdida de su calidad para consumo humano.

Este paso menor de tiempo coincide con el consumo humano, lo cual tiene testeo diario del comportamiento de las reservas, almacenándolas en aljibes y reservorios en la cosecha de agua.

Dicho y justificado ello se simuló en forma independiente cada uno de los tres grupos según estratos de consumo.

#### **a) Captación por el sistema techos – aljibes**

En primer lugar ha sido realizado el estudio de regulación con la captación de agua en techos y el almacenamiento en aljibes.

### **Coefficientes adoptados para el cálculo**

Para considerar el volumen efectivamente captado se afectó a lo llovido por un coeficiente de escorrentía y pérdidas (por lavado, canaletas rotas y otros); siendo que para viviendas del primer y segundo grupo se trabajó con un valor de 0,60 y para aborígenes de 0,40.



Según el “tratado general del agua y su distribución”, la captación y el almacenamiento del agua potable, (Purschel, 1976), la cantidad de agua captable es igual a la superficie que capta por la lluvia por el coeficiente de escorrentía:  $\Psi = 1 - (\Psi_1 - \Psi_2)$ ; donde:  $\Psi_1$  involucra al coeficiente de evaporación (0,5 a 0,6 para clima caluroso) e  $\Psi_2$  es el coeficiente de filtración, igual a 0,05 para tejados y patios solados. Se estimó el coeficiente de escorrentía C o  $\Psi$  de 0,35 a 0,45.

Se ha simulado la situación actual, con superficie de captación de techos y capacidad de almacenamiento (aljibes), evaluando en estas condiciones la dotación máxima alcanzada y fallas en la regulación y luego la ampliación de dichas superficies, donde se alcanzó la dotación máxima.

A las superficies de captación se las consideró según techos de uso residencial de altos ingresos, residencial latinos y residencial aborígenes, con superficies de 300m<sup>2</sup>, 225m<sup>2</sup> y 50m<sup>2</sup>, respectivamente, en la situación actual, ampliando éstas a 500m<sup>2</sup>, 415m<sup>2</sup> y 500m<sup>2</sup>, respectivamente.

Para conocer la cantidad total media de viviendas y su almacenamiento, se consideró: para vivienda residencial de altos ingresos un promedio de 4,5 hab/vivienda; para los latinos promedio de 5 hab/vivienda y para los aborígenes promedio de 6 hab/vivienda.

El **primer grupo** estudiado son residencial altos ingresos mostrados en tabla5, en la 6 se muestran los latino y en la 7 a los aborígenes según:

**Tabla 5.** Resultados del estudio de regulación del grupo de altos ingresos.

	Sup. existente (m <sup>2</sup> )		Sup. ampliada (m <sup>2</sup> )	
	Unitario	Total	Unitario	Total
<b>Residencial altos ingresos (Menno)</b>	300	289.933,3	500	483.222,2
Dotación necesaria	<b>160</b>			
Dotación máxima alcanzada l/hab/día	96		160	
Almacenamiento (m <sup>3</sup> )	80		100	
Días dotación máxima alcanzada l/hab/día	4.008 / 4383		3.866 / 4383	
Días sin agua (sobre el total)	356 / 4383		493 / 4383	

**Tabla 6.** Resultados estudio de regulación del grupo latino

	Sup. existente (m <sup>2</sup> )		Sup. ampliada (m <sup>2</sup> )	
	Unitario	Total	Unitario	Total
<b>Latinos</b>	225	589.275,0	415	1.086.885,0
Dotación necesaria	<b>120</b>			
Dotación máxima alcanzada l/hab/día	65		120	
Almacenamiento (m <sup>3</sup> )	60		80	
Días dotación máxima alcanzada l/hab/día	4.008 / 4383		3.833 / 4383	
Días sin agua (sobre el total)	356 / 4383		525 / 4383	

**Tabla 7.** Resultados estudio de regulación del grupo aborígen

	Sup. existente (m <sup>2</sup> )		Sup. ampliada (m <sup>2</sup> )	
	Unitario	Total	Unitario	Total
<b>Aborígenes</b>	50	207.966,7	500	2.079.666,7
Dotación necesaria	<b>80</b>			
Dotación máxima alcanzada l/hab/día	<b>8</b>		80	
Almacenamiento (m <sup>3</sup> )	20		40	
Días dotación máxima alcanzada l/hab/día	4.233 / 4383		3.353 / 4383	
Días sin agua (sobre el total)	142 / 4383		994 / 4383	

Se destaca que son 4.383 días continuos y en todos los casos existen de 500 a 900 días totales sin provisión de agua potable.

#### b) Captación por el sistema cosecha de agua

En esta alternativa han sido considerados campos con tala rasa, nivelación y perfilado con pendiente hacia canales captadores hacia un punto de concentración donde se instala una estación de bombeo que eleva el líquido y la almacena en la represa o reservorio.

El área total de captación de agua de lluvia fue de 500ha y once represas para almacenamiento, valores los cuales proveen la dotación de 104 litros/hab/día en promedio.

El coeficiente de escorrentía ponderado en la captación fue de 0,45; siendo el volumen de cada represa de 200.000m<sup>3</sup>, de dimensiones: 250 metros de largo, 100m ancho y 8m de altura; también es posible observar que en el proceso de regulación se consideren los embalses vacíos o llenos al inicio, no altera significativamente la dotación, salvo algunos pocos días al inicio.

Con dicha capacidad de captación y almacenamiento será posible reducir el faltante total diario de agua a 153 días en doce años de análisis.

Para este sistema de captación de agua de lluvia será necesario disponer de instalaciones complementarias para tratamiento del agua, removiendo sólidos y turbiedad antes de entregarlo para consumo humano mediante la redes de distribución.

#### Análisis económico de las alternativas

Para las situaciones analizadas se han computado superficies de techos y volúmenes de aljibes adicionales a los del promedio la población, que en conjunto son los que se deberían disponer para satisfacer la dotación de agua propuesta para cada uno de los grupos.

Los cuadros resúmenes, con superficie de techos y volúmenes de aljibes son:

<b>A - Residencial altos ingresos</b>		
Población:	4.349 hab	
Números de flias:	966	
Habitantes por flias:	4,5	
Incremento de almacenamiento:		
966 x 2448 U\$S = 2.365.856,0		
Incremento superficie	Precio unitario	Total
M2	U\$S	U\$S
193.288,9	29,2	5.650.220,8
<b>Total A = 8.016.076,8</b>		

<b>B - Residencial latinos</b>		
Población:	13.095 hab	
Números de flias:	2.619	
Habitantes por flias:	5	
Incremento de almacenamiento:		
2.619 x 2448 U\$S = 6.411.312,0		
Incremento superficie	Precio unitario	Total
m2	U\$S	U\$S
497.610,0	29,2	14.546.135,5
<b>Total B = 20.957.447,5</b>		

<b>C - Residencial aborígenes</b>		
Población:	24.956 hab	
Números de flias:	4.159	
Habitantes por flias:	6	
Incremento de almacenamiento:		
4.159 x 2448 U\$S = 10.182.048,0		
Incremento superficie	Precio unitario	Total
m2	U\$S	U\$S

1.871.700,0	29,2	54.713.534,4
<b>Total C =</b>		<b>64.895.582,4</b>
<b>Total A + B + C</b>		<b>U\$S 93.869.106,7</b>

Se puede observar que serían necesarios montos de inversión importantes en ampliación de techos y aljibes para satisfacer la demanda.

Grupo	Ampliación superficies	Ampliación almacenamiento	Dotación (l/hab.día)	Días sin agua
Altos ingresos	300m <sup>2</sup> a 500m <sup>2</sup>	80m <sup>3</sup> a 100m <sup>3</sup>	96 a 160	356 a 493
Latinos	225m <sup>2</sup> a 415m <sup>2</sup>	60m <sup>3</sup> a 80m <sup>3</sup>	60 a 80	356 a 525
Aborígenes	50m <sup>2</sup> a 500m <sup>2</sup>	20m <sup>3</sup> a 40m <sup>3</sup>	8 a 80	142 a 994

El presupuesto asociado al sistema de captación para cosecha de agua y almacenamiento es:

Nº	CONCEPTO	UN.	CANT.	COSTO UNIT (Gs)	COSTO TOTAL (Gs)
<b>1</b>	<b>ADQUISICIÓN DE TERRENO</b>				
1a	Adquisición tierra para captación	ha	500	14.285.714,29	7.142.857.143
1b	Adquisición tierra para Reservorio	ha	110	14.285.714,29	1.571.428.571
	<b>Total Adquisición terreno</b>				<b>8.714.285.714</b>
<b>2</b>	<b>MOVIMIENTO DE SUELOS</b>				
2a	Excavación reservorios y tajamar pulmón	m3	1.687.400	26.000,00	43.872.400.000
2b	Terraplenes con mat de excavación	m3	1.349.920	40.000,00	53.996.800.000
2c	Terraplenes con suelo adicional	m3	337.480	75.000,00	25.311.000.000
2d	Construcción de la superficie de captación	ha	500	1.785.714,29	892.857.143
	<b>Total Movimiento de suelos</b>				<b>124.073.057.143</b>
<b>3</b>	<b>VARIOS</b>				
3a	Impermeabilización con polietileno	m2	5.095.820	3.571,43	18.199.355.663
3b	Limpieza de la parcela de captación de agua	m2	610	428.571,43	261.428.571
3c	Levantamiento planialtimétrico	ha	610	3.571,43	2.178.571
3d	Estaciones de bombeo completa, incluye sala, tableros y múltiple	Gl	1	1.795.719.980	1.795.719.980
	<b>Total Varios</b>				<b>20.258.682.786</b>
	<b>Sub Total COSTO COSTO Gs</b>				<b>153.046.025.643</b>
				Coeficiente de la empresa:	<b>1,40</b>
	<b>PRECIO Total x coeficiente de la empresa( en Gs):</b>				<b>214.264.435.900</b>
	<b>PRECIO Total x coeficiente de la empresa( en dolares):</b>				<b>42.852.887</b>

A las mismas habrá que agregarle las estaciones elevadoras e impulsiones, para abastecer centros de distribución y redes.

## RESULTADOS

Para satisfacer la demanda considerada con captación de techos se simuló la ampliación de la superficie disponible: residencial de altos ingresos de 300m<sup>2</sup> a 500m<sup>2</sup>, para residencial latinos: de 225m<sup>2</sup> a 415m<sup>2</sup> y para residencial aborigen de 50m<sup>2</sup> a 500m<sup>2</sup>. También es necesario aumentar el

almacenamiento en aljibes según: residencial de altos ingresos de 80m<sup>3</sup> a 100m<sup>3</sup>, residencial latinos: de 60m<sup>3</sup> a 80m<sup>3</sup> y residencial aborígen de 20m<sup>2</sup> a 40m<sup>3</sup>.

La cantidad de días sin agua disponible antes de las obras propuestas para techos-aljibes de residencial altos ingresos fue de 30 días en promedio anual y solo abastecía dotación máxima de 96 l/hab/día; para residencial latinos de 30 días de promedio anual y solo abastecía dotación máxima de 65 l/hab/día y para residencial aborígenes de 12 días de promedio anual abasteciendo dotación máxima de 8 l/hab/día.

Con la ampliación de la superficie de techos y volumen almacenamiento en aljibes, se logra satisfacer en 80 l/hab/día a residencial aborígenes, 120 l/hab/día a residencial latinos y 160 l/hab/día a residencial altos ingresos.

La inversión necesaria en la ampliación de la superficie de techos y aljibes, para satisfacer la dotación propuesta fue de U\$S 93.869.106,70; y para poner en funcionamiento la superficie de captación y almacenamiento de cosecha de agua, es necesario adquirir tierras, topar, perfilar el terreno, conducir y almacenar son necesarios U\$S 42.852.887, satisfaciendo igual demanda.

## CONCLUSIONES

La *ocurrencia zonal de lluvias* tiene variabilidad temporal muy marcada: estación húmeda en parte de la primavera, verano e inicio de otoño y marcadamente seca en invierno principalmente; y dicha ocurrencia dispar de los eventos condiciona el almacenamiento y distribución permanente porque requiere mayor capacidad de almacenaje para el período lluvioso (oneroso) y no logra compensar el faltante en la época seca, por lo menos a un costo viable y amortizable.

Del análisis hidrológico de *captación con techos y almacenamiento en aljibes* se observa que la situación actual provee insuficiente dotación de agua a mayor parte de la población; para lograr dotaciones de estándares internacionales, es necesario incrementar la superficie de áreas de captación y construir más aljibes; será necesario arreglar canaletas y caños de bajada para mayor eficiencia; la distribución temporal de las lluvias genera tiempos prolongados de permanencia del agua en aljibes, viéndose afectada su calidad, principalmente química y bacteriológica, con el paso del tiempo, que requiere mayor control y mantención, con los eventuales riesgos asociados.

Para la *cosecha de agua de lluvia en campos de captación*, la puesta en funcionamiento de cada hectárea conlleva elevados gastos de desmonte y nivelación, construcción de represas de almacenamiento, mantenimiento anual de áreas de captación y estaciones de bombeo.

También se deben controlar los tipos de suelos en la alternativa de cosecha de agua para que no alteren la calidad del agua captada (principalmente salinidad).

Desde el *punto de vista ambiental* no resulta la solución más adecuada impermeabilizar suelos, teniendo otras alternativas, además la permanencia de agua en estos reservorios atenta contra la calidad y principalmente por la tala rasa a la que son sometidos los suelos.

Los *consumos específicos* de agua de la población del Chaco Central son *bajos* comparados con niveles nacionales e internacionales, *indicio que la demanda residencial de agua es reprimida por las deficiencias del servicio en cantidad, calidad y continuidad*. Quiere decir que el *consumo residencial* de agua *no depende de las necesidades, sino de la oferta y disponibilidad de agua*.

## BIBLIOGRAFÍA

- Fundación para el desarrollo del Chaco.** (2005). "*Atlas climático Chaco paraguayo*". www.desdelchaco.org.py.
- Consulting Engineers Salzgitter. CES.** (2001). Estudio de Factibilidad Técnico – Económico del Sistema de Acueducto: Río Paraguay – Chaco Central.
- Fertonani, Prendes.** (1984). "*Anales del 14 Congreso Nacional del Agua*". Olavarría, Argentina. p.203 a 207.
- Harder, W .** (2009). "*Experiencia de la cosecha de agua de lluvia en el Chaco Central Paraguayo*". 2º Seminario de Pasturas del NEA y 1º Seminario de Pasturas del MERCOSUR. Formosa, Argentina.
- Monte Domecq R. , Baez J.** (2007). "*Informe final Plan de aguas para el Chaco*".
- Paulo Borba L. De Moraes.** (2010). "*Análisis de demanda efectiva de agua, de capacidad y de disposición al pago - Proyecto Acueducto río Paraguay - Loma Plata - Filadelfia – Neuland - Irala Fernández – Lolita. Informe preliminar de consultoría BID*", Asunción, Paraguay.
- Proyecto de gestión integrada y plan maestro de la cuenca del río Pilcomayo.** (2007). "*Línea base ambiental y socioeconómica de la cuenca del río Pilcomayo (LBAyS)*". Convenio de financiación ASR/B73100/99/136. Consultora Halcrow Serman y Asoc.
- Tymkiw, P.; Ruberto, A.** (2010). "*Estudio técnico de alternativas de abastecimiento de agua al Chaco Central - Proyecto Acueducto Río Paraguay - Loma Plata - Filadelfia – Neuland - Irala Fernández – Lolita. Informe final de consultoría BID*", Asunción, Paraguay.
- Purschel .** (1976). "*Tratado general del agua y su distribución*", la captación y el almacenamiento del agua potable", tomo 5, Ed. Urmo SA.