

DISPONIBILIDAD HÍDRICA DEL PARAGUAY



María del Carmen Álvarez Enciso

DISPONIBILIDAD HÍDRICA DEL PARAGUAY

DISPONIBILIDAD HÍDRICA DEL PARAGUAY	3
RECURSOS HÍDRICOS INTERNOS RENOVABLES	3
1. ANTECEDENTES	3
2. LOS RECURSOS HÍDRICOS EN EL PARAGUAY	4
2.1. CLIMA	4
2.2. LOS RECURSOS HÍDRICOS	4
2.3. SISTEMA DE HUMEDALES.....	5
2.4. LAGOS Y EMBALSES.....	5
2.5. AGUAS SUBTERRÁNEAS	6
2.6. OTRAS FUENTES DE AGUA NO CONVENCIONALES	7
2.7. PRINCIPALES USOS DEL AGUA.....	7
2.8. AMENAZAS.....	7
3. METODOLOGÍA	8
3.1. BALANCE HÍDRICO.....	8
3.2. CÁLCULO DE LA DISPONIBILIDAD PER CÁPITA	8
3.3. INDICADORES DE LA DISPONIBILIDAD	9
4. DISPONIBILIDAD HÍDRICA DEL PARAGUAY	10
4.1. RESULTADOS DEL ANÁLISIS	10
4.2. BALANCES HÍDRICOS POR REGIONES HIDROGRÁFICAS	10
4.2.1. <i>Balance Hídrico de la Línea Base</i>	11
4.2.2. <i>Disponibilidad Hídrica para los escenarios A2 y B2</i>	12
4.2.3. <i>Estudio de Referencia – Balance Hídrico de la UNESCO</i>	14
4.3. RECURSOS INTERNOS RENOVABLES PER CÁPITA SEGÚN LA FAO.....	14
4.4. OTROS VALORES DE LA DISPONIBILIDAD DEL AGUA PER CÁPITA	15
5. COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES	16

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. DISPONIBILIDAD DE AGUA DULCE PER CÁPITA.....	3
FIGURA 2. PARAGUAY EN LA CUENCA DEL PLATA.....	5
FIGURA 3. CUENCAS DEL PARAGUAY	5
FIGURA 4. SISTEMA ACUÍFERO GUARANÍ.....	6
FIGURA 5. ACUÍFEROS DEL PARAGUAY	6
FIGURA 6. REGIONES HIDROGRÁFICAS (ELABORACIÓN PROPIA).....	10
FIGURA 7. ESCORRENTÍA (RUN OFF) EN MILÍMETROS POR REGIÓN HIDROGRÁFICA.....	11
FIGURA 8. VARIACIÓN DEL A TEMPERATURA (°C)	12
FIGURA 9. VARIACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN (MM/AÑO).....	12
FIGURA 10. VARIACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN EN (MM /AÑO).....	13
FIGURA 11. VARIACIÓN DE LA ESCORRENTÍA EN (MM/AÑO)	13
FIGURA 12. VARIACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD PER CÁPITA (M3/HAB/AÑO)	13

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. INDICADORES DE DISPONIBILIDAD Y CLASIFICACIÓN.....	9
TABLA 2. BALANCE HÍDRICO POR REGIONES HIDROGRÁFICAS DE LA LÍNEA	11
TABLA 3. VOLUMEN DISPONIBLE DE AGUA POR REGIONES HIDROGRÁFICAS (DATOS UNESCO).....	14
TABLA 4. VARIACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD SEGÚN AQUASTAT - FAO	15
TABLA 5. CAUDALES MEDIOS ANUALES PARA OTRA ESTIMACIÓN	15

DISPONIBILIDAD HÍDRICA DEL PARAGUAY

RECURSOS HÍDRICOS INTERNOS RENOVABLES

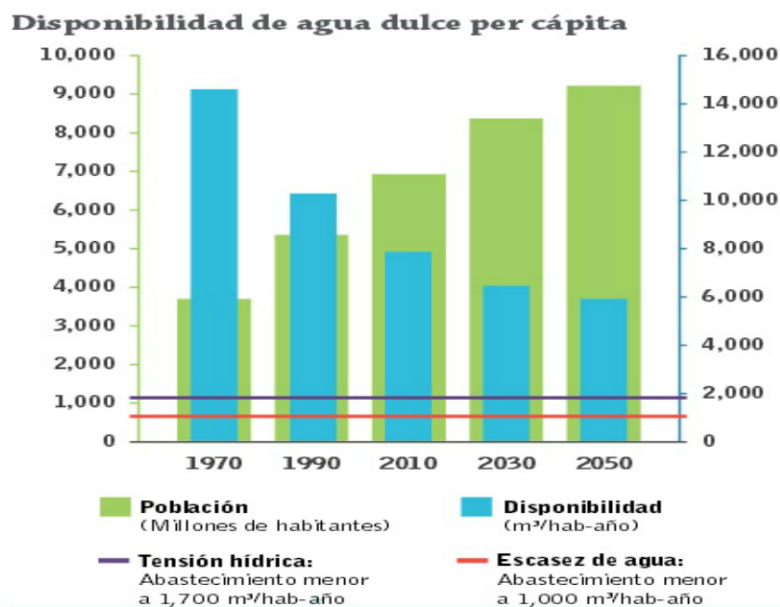
1. ANTECEDENTES

Durante muchos años, los estudios sobre la evaluación de los recursos hídricos en el mundo se han centrado en la cantidad de agua que escurre en los territorios relacionada con la cantidad de habitantes, definida ésta como la disponibilidad hídrica per cápita de un país. Estos estudios dan como resultado que los países con mayor disponibilidad hídrica sean Brasil, Canadá y Rusia, entre otros; resultados que reflejan la importancia de un territorio extenso comparativamente con la cantidad de población, finalmente si bien la densidad poblacional es importante, en la práctica no representa una disponibilidad *per se*.

Es así, como en el imaginario colectivo de muchos países, se tienen valores elevados, por encima del promedio mundial, como el caso de Paraguay; donde persiste la idea que el país tiene una disponibilidad que supera ampliamente la realidad.

Esta creencia quedó registrada por primera vez, según se tiene conocimiento, en el informe de DBEnvironnement, que habla de una disponibilidad de 67.300 m³/hab/año. Sin embargo, no se puede llegar a una comprobación del resultado, porque el informe no menciona la metodología, ni el periodo u origen de los datos. A ello se le suma que este estudio es de 1992, es decir han pasado más de 20 años y debe ajustarse al crecimiento poblacional.

En el informe de Inundaciones Urbanas de América del Sur, en el año 2003, el capítulo 7 de Paraguay, *Domecq et al* indican que “el país posee 18.000 m³ de recursos hídricos renovables per cápita”. Esta cifra es más real que la anterior y concuerda con otros datos, como se verá más adelante.



Fuente: Adaptado de Schiklomanov, I. A and J. C Rhodda (2003). *World Water Resources at the Beginning of the 21st Century*. Cambridge University Press, Cambridge.

Figura 1. Disponibilidad de agua dulce per cápita

Por lo tanto, como es valor relacionado con la población, la disponibilidad hídrica per cápita en el mundo tiene la tendencia a disminuir, como consecuencia natural del crecimiento demográfico.

Existen otros conceptos sobre la disponibilidad hídrica, algunos incluyen además del volumen de agua producido otros factores como la calidad del agua, incorporando el concepto de agua segura; también otros indicadores incluyen la variabilidad estacional y la infraestructura que permite tener acceso al recurso.

Por lo tanto, la disponibilidad hídrica per cápita es un término que debe ser acotado al tiempo y espacio, el primero hace referencia las variables climáticas y de población; mientras que el segundo es la cuenca hídrica que genera este recurso, con la superficie y la población.

2. LOS RECURSOS HÍDRICOS EN EL PARAGUAY

Paraguay cuenta con una buena cantidad de cauces hídricos superficiales, al igual que posee buenos reservorios de aguas subterráneas. La distribución de estas aguas está condicionada por la geomorfología de las dos principales regiones del país, sumado a las variables climáticas: donde la precipitación es el agua de aporte y la temperatura causa la evaporación y la evapotranspiración.

2.1. CLIMA

El clima del Paraguay es tropical a subtropical, con temperatura media anual de 22 °C y temperaturas diarias invernales de 1°C y veraniegas de 40°C La mayor parte de las precipitaciones del país son de tipo convectivo. La variación espacial de la precipitación media anual es muy fuerte. Las isohietas tienen sentido meridional y varían desde un mínimo de 400 mm en el noroeste del Chaco a más de 1700 mm en el este de la Región Oriental, cuatro veces más de un extremo del país al otro.

Las precipitaciones también tienen una gran variación estacional. Son mínimas en invierno, en los meses de julio y agosto y máximas en los meses que van de octubre a marzo; época en la cual suelen registrarse en forma de tormentas o chaparrones.

La evapotranspiración potencial es máxima en el Chaco o Región Occidental, debido a las altas temperaturas que se producen en esta región y como la precipitación es mínima, esto genera un constante déficit de humedad en el suelo; en cuanto al escurrimiento superficial, existen paleo cauces que se activan en época de lluvia (agua pluvial estacional).

En la Región Oriental la evapotranspiración potencial es menor y las precipitaciones satisfacen en gran medida la demanda de agua de la atmósfera durante gran parte del año. Esto genera excedentes importantes que se traducen en escurrimientos superficiales perennes. Sin embargo, debido a la deficiente distribución temporal de las precipitaciones, de 80 a 90 días de lluvia por año, debe considerarse la necesidad de riego durante ciertas etapas del ciclo vegetativo.

2.2. LOS RECURSOS HÍDRICOS

Paraguay pertenece en su totalidad a la gran cuenca del río de la Plata (Figura 2), compartida con Brasil, Argentina, Bolivia y Uruguay. La superficie del Paraguay representa el 13 % de la cuenca del Plata. El caudal medio de la cuenca está estimado en 23.000 m³/s; de los cuales se registra un promedio de 12.500 m³/s en el río Paraná, en la estación de la Central hidroeléctrica de Yacyretá; y el río Paraguay tiene un caudal promedio de 3.200 m³/s, medido en Asunción. Debido al gran caudal del río Paraná se han construido grandes represas, Itaipú y Yacyretá, en Paraguay con los países vecinos.



Figura 2. Paraguay en la cuenca del Plata

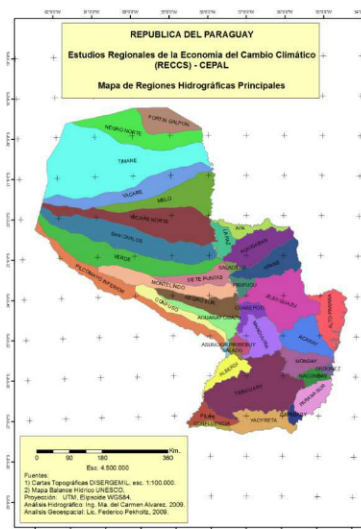


Figura 3. Cuencas del Paraguay

En la Figura 3, se muestran las 34 cuencas hidrográficas delimitadas en el país, según el estudio de Balance Hídrico de la UNESCO (1992), sin embargo en la región occidental, la división es con fines teóricos para hacer el balance, porque son abanicos aluviales, y los escurrimientos superficiales son estacionales, con paleocauces que se activan en los periodos de lluvia.

El **río Paraguay** es navegable desde 2300 km aguas arriba de la confluencia con el río Paraná, sus principales afluentes en territorio paraguayo son: el Apá, en el límite con Brasil, el Aquidabán, Ypané, Jejuí y Tebicuary que desembocan en la margen izquierda. El Pilcomayo llega formando un gran abanico aluvial (uno de los cinco abanicos del Chaco), alimentando otros afluentes de la margen derecha, procedentes de la región occidental, como el río Verde, Montelindo y Confuso. Al norte llegan las aguas del Timane, Agua Dulce y otros cauces menores.

Los principales afluentes del **río Paraná** son el Acaray, Monday, Piratí y Carapá, todos ellos con un importante potencial hidroeléctrico.

2.3. SISTEMA DE HUMEDALES

El sistema de humedales Paraguay-Paraná es una de las mayores reservas de agua dulce y biodiversidad del mundo, abarca territorios de Argentina, Brasil, Bolivia, Paraguay y Uruguay. A lo largo de 3400 km de los ríos Paraguay y Paraná medio e inferior. En Paraguay los principales humedales de este sistema son: parte del Pantanal, los esteros de Ñeembucu y del Lago Ypoá, además de otras zonas más pequeñas de humedales.

Este sistema de humedales, es el mayor corredor de humedales del mundo, va desde el Pantanal de Mato Grosso, hasta el río de la Plata. Cumple funciones como mitigar grandes inundaciones y sequías, recarga de acuíferos, provisión de alimentos, mantener áreas para la cria de peces, facilitar la agricultura y la ganadería y proveer agua dulce; con lo cual genera trabajo y renta.

2.4. LAGOS Y EMBALSES

La represa de Itaipú, sobre el río Paraná, compartida con Brasil, tiene un embalse con una capacidad de 29 km³, con una altura de presa de 70.3 m, con una potencia instalada de 14.000 MW y una producción promedio de 12,600 MW, es la mayor hidroeléctrica en funcionamiento en el mundo. Inunda una superficie de 135.000 ha.

La represa de Yacretá, sobre el río Paraná, compartida con Argentina, tiene una capacidad de

embalse de 21 km³, una altura de presa de 21.3 m, una potencia instalada de 3.200 MW, e inunda una superficie de 160,000 ha.

La represa de Acaray tiene 56 m de altura, con un reservorio de 0.056 Km³, está ubicada sobre el río Acaray, con una potencia instalada de 210 MW; cuenta con la represa de Yguazú, con un reservorio de 8.47 km³.

2.5. AGUAS SUBTERRÁNEAS

El Paraguay cuenta con tres acuíferos importantes de explotación de aguas subterráneas dentro de la Cuenca del Plata: el **Acuífero Patiño** en la zona central del país, el **Acuífero Misiones** componente del Gran Sistema Acuífero Guaraní compartido con los países de Brasil, Argentina y Uruguay, y el **Acuífero Yrenda** en el Chaco Central, componente del Gran Chaco Americano, compartido con los países de Bolivia y el Argentina, en este último país es denominado Acuífero Toba.



Figura 4. Sistema Acuífero Guaraní

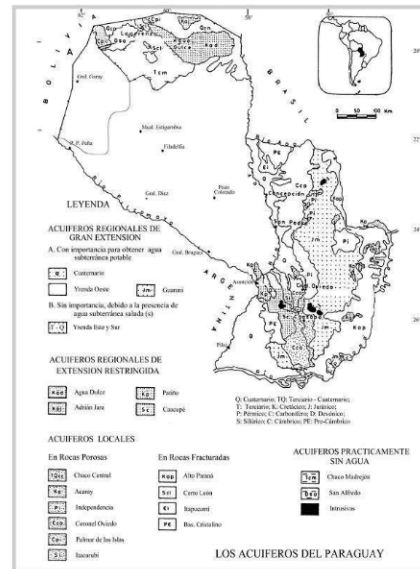


Figura 5. Acuíferos del Paraguay

La situación del acuífero Patiño es grave, por la rápida bajante del nivel debido a la sobreexplotación, según el Balance Hídrico Integrado de 2005, al Patiño ingresan 175.8 millones de m³ y se extraen 249 millones de m³.

En el caso del Acuífero Yrendá, se estima que el Pilcomayo contribuye con 860 millones de m³, y la recarga total se estima en 2.460 millones de m³ igual a 2.46 km³.

El Sistema Acuífero Guaraní (SAG) compartido con Brasil, Argentina y Uruguay, tiene un área total de 1,150,000 km², con 150,000 km² de recarga natural, arrojando un volumen promedio de 160 km³/año en total. Corresponde a Paraguay 67,000 km² del SAG, con 37.000 km² de recarga, y un volumen de 39 km³/año.

Por lo tanto, la recarga de agua subterránea, estimada para los tres grandes acuíferos es de 39 km³ (Guaraní o Misiones), 2.46 km³ de Yrenda y 0.175 km³ del Patiño, lo cual totaliza 41.64 km³ (sin otros acuíferos menores).

2.6. OTRAS FUENTES DE AGUA NO CONVENCIONALES

Entre las fuentes de agua no convencionales, se destaca el “Complejo experimental de producción sustentable de agua potable” Teniente Irala Fernández en el Chaco, a 450 km de Asunción, el cual no está funcionando plenamente, por diversos problemas de tipo técnico, ambiental y político. Este complejo prevé la utilización de desalinizadoras, pozos en paleo-cauces, pozos en acuíferos profundos a más de 100 m y cosecha de agua de lluvia con aljibes (Secretaría de Emergencia Nacional-SEN), con una capacidad de 10,000 litros/hora y actualmente produce tan solo 200,000 a 300,000 litros/semana.

En el Chaco Central, los colonos menonitas construyen tajamares para la cosecha de agua de lluvia y así disponer de agua durante la sequía. Otro fuente no convencional, lo realizan las azucareras, utilizan el agua de las lagunas de tratamiento de efluentes para riego de las plantaciones.

2.7. PRINCIPALES USOS DEL AGUA

Los principales usuarios del agua en el Paraguay son el consumo doméstico de la población, la ganadería, la agricultura con riego y la industria. Entre los usos no consuntivos se tienen las represas hidroeléctricas y la navegación que depende de los niveles del río.

Hay una prevalencia del suministro de agua potable por medio de agua subterránea, el 80 % del abastecimiento de comunidades en el interior del país es con agua subterránea. Esto genera una fuerte presión sobre los acuíferos, con el consecuente peligro de contaminación que estos pozos representan, (en ocasiones construidos por el mismo Estado, sin cumplir los requerimientos técnicos y legales). El caso más crítico es el acuífero Patiño, ubicado en la zona del departamento Central con la mayor densidad demográfica.

Por otro lado, los sistemas de riego han ido en aumento, para poder mitigar las sequías que han afectado fuertemente la economía nacional, principalmente en Misiones, Itapúa, Alto Paraná, San Pedro, Chaco Central y el Departamento Central con los pequeños horticultores. Se destaca el riego por inundación de los arrozales.

2.8. AMENAZAS

Entre las principales amenazas, a los recursos hídricos, se destacan la expansión de la frontera agrícola, con quema y desmonte, inicialmente con la soja y ahora se suma el arroz, la contaminación por agroquímicos, por efluentes, la erosión de los suelos, y el dragado para la navegabilidad de las hidrovías.

Como se desprende estas amenazas afectan la calidad de las aguas y en el caso de los acuíferos, como se mencionara, la sobre-explotación del Acuífero Patiño y la contaminación de los otros acuíferos.

La deforestación por su parte afecta la capacidad de regulación del ciclo hidrológico, así como depuración misma de las aguas, algunos de los servicios ecosistémicos de los bosques y la cobertura vegetal. Esto ocasiona eventos más intensos de inundaciones y sequías.

3. METODOLOGÍA

Para este estudio, el volumen de agua representa la disponibilidad hídrica superficial absoluta, el cual está dado por la escorrentía caída en un área determinada. La disponibilidad per cápita, es este volumen de agua, generalmente de una cuenca hidrográfica, dividida entre la cantidad de habitantes de dicha área; al tratarse de un valor relacionado con la población refleja en cierta medida la densidad poblacional.

3.1. BALANCE HÍDRICO

En el ciclo hidrológico existe el principio de conservación de masa, es decir un equilibrio entre las entradas, las salidas y las variaciones dentro del sistema considerado. Las relaciones para representar este equilibrio constituyen la formulación de los balances hidrológicos.

Para ello se debe definir el sistema al cual se aplica y el tiempo que se considera. El balance en término anual, está definido como la cantidad de precipitación que ingresa al sistema que se transforma en las variables de salida y las variaciones en las variables de almacenamiento.

$$P = ETR + RO \pm dS \pm dl \pm dG \pm n$$

Donde P es la precipitación media anual, ETR es la evapotranspiración real media anual, RO es el escurrimiento medio anual (Run Off), dS es la variación de almacenamiento del escurrimiento superficial, dl es la variación de almacenamiento del escurrimiento de infiltración o sub-superficial, dG es la variación de almacenamiento del escurrimiento subterráneo y n es un término residual de discrepancia, de error de medición o de estimación

Según se analizan las variaciones de almacenamiento que son positivos o negativos, se anulan al promediarse, especialmente para un periodo largo de tiempo. Adicionalmente, para periodos largos, se observa que el almacenamiento por intercepción, no interviene por ser de carácter transitorio. Por lo tanto, la ecuación se resume de la siguiente manera.

$$P = ETR + RO \pm n$$

Donde P es la precipitación media anual, ETR es la evapotranspiración real media anual y RO por sus siglas en inglés Run Off, es la escorrentía superficial, todos los valores en milímetros; n es el término de discrepancia o ajuste cuando se calibran los modelos con datos reales.

Como no existen registros de evaporación ni evapotranspiración, se aplica una fórmula empírica para la determinación de la misma. Tampoco se utilizan las fórmulas que consideran más variables, sino que se utiliza la fórmula de Turc, la cual depende solamente de la temperatura y precipitación.

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}} \quad \text{Donde: } L = 300 + 25\theta + 0,05\theta^3 \text{ y } \theta = \text{Temperatura}_{\text{media}_{\text{anual}}}_{\text{°C}}$$

Se debe considerar que es solo una aproximación con las imprecisiones señaladas, por las variaciones de almacenamiento que no son tenidas en cuenta, en el método simplificado, sin embargo es una primera aproximación o referencia y es el mismo método utilizado por la UNESCO en 1992, y el mismo estimado por CEPAL en 2009.

3.2. CÁLCULO DE LA DISPONIBILIDAD PER CÁPITA

En este método, como se indicó, con los valores de la temperatura y la precipitación se calcula la evapotranspiración y la diferencia de ésta última con las aguas que precipitan dan las aguas que escurren y constituyen las aguas superficiales.

Este valor de escurrentía (mm) multiplicado por el área sobre la cual se produce este escurrimiento permite tener el volumen de agua escurrido expresado en km³.

Al dividir este volumen entre la cantidad de habitantes, se obtiene la disponibilidad hídrica per cápita para el área de la cuenca.

La disponibilidad, en general, se puede expresar en términos de escurrentía superficial directa, es decir en unidades de mm/año, en términos de caudal de agua con unidades m³/s, en términos de volumen es decir hm³ o km³ al año, o en cuando se dice la disponibilidad hídrica per cápita se expresa como m³/hab/año.

3.3. INDICADORES DE LA DISPONIBILIDAD

A nivel mundial, se ha determinado los siguientes indicadores de estrés hídrico y escasez de agua. Un índice de vulnerabilidad basado únicamente en el consumo doméstico no refleja las necesidades totales de agua del ser humano, incluidas en los alimentos. En el caso del estrés hídrico, definido por Faulkeman, este valor incluye una necesidad promedio de agua de 3.000 a 5.000 litros/día, para los que resultan en los valores de 1.000 y 1.700 m³/hab/año, que definen la línea de escasez hídrica y de estrés hídrico.

Tabla 1. Indicadores de Disponibilidad y Clasificación

Disponibilidad per cápita (m ³ /hab/año)	Clasificación de la disponibilidad	Clasificación de la vulnerabilidad - Observación
> 1.700	Sin estrés hídrico	Sin vulnerabilidad en grandes extensiones o de manera anual, pero es posible a nivel local o estacional
1.001 - 1.700	Estrés hídrico	Se deben tener medidas de adaptación para aprovechar las aguas de lluvia y subterráneas
501-1.000	Escasez de agua	Vulnerable, deben intensificarse las medidas de ahorro y eficiencia
< 500	Escasez severa de agua	Muy vulnerable, se presentan problemas de abastecimiento imposibles de superar y se restringe el desarrollo económico

Nuevamente cuando usamos otros indicadores tienen en cuenta que la extracción no debe superar ciertos rangos, así que si hablamos de un sistema no vulnerable, el consumo debe ser menor al 10 % de la disponibilidad, o a la inversa, para no tener sistemas vulnerables, la disponibilidad debe ser 10 veces los requerimientos por habitantes, es decir debe ser superior a 17.000 m³/hab/año.

4. DISPONIBILIDAD HÍDRICA DEL PARAGUAY

Como se describió, el país está dividido por el río Paraguay en dos zonas bien definidas occidental y oriental. Sin embargo esta generalidad puede esconder inequidades, de la misma manera que si se presentan las 34 cuencas hidrográficas estudiadas, se puede perder la visión general.

Por ello, para este análisis se ha decidido dividir al país en cuatro grandes regiones hidrográficas: la región oriental tiene dos grandes cuencas: la del río Paraná y la del río Paraguay y en la región occidental se ha demarcado el abanico Pilcomayo y la zona norte que incluye los ríos Timane, Agua Dulce, Yacaré Norte y otros.

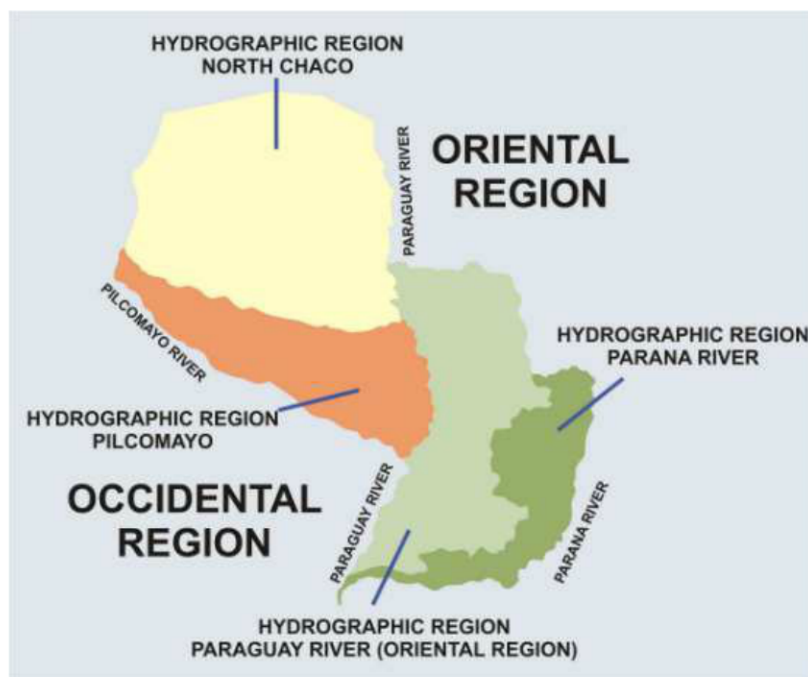


Figura 6. Regiones Hidrográficas (elaboración propia)

Se calculó la disponibilidad hídrica para un periodo de referencia de las variables climáticas de 1961 a 1990, denominado línea base, y para dos escenarios climáticos de modelos generales, a fin de analizar el impacto del cambio climático sobre la disponibilidad hídrica en el Paraguay.

4.1. RESULTADOS DEL ANÁLISIS

Se presenta el análisis para las 4 regiones hidrográficas señaladas anteriormente, a fin de visualizar el comportamiento de las variables, para la línea base y las tres décadas que la componen y para los Escenarios A2 y B2.

El balance hídrico superficial considera las entradas, pérdidas y salidas de un sistema, en este caso: la precipitación, evapotranspiración y escurrimiento

4.2. BALANCES HÍDRICOS POR REGIONES HIDROGRÁFICAS

Es muy importante recordar que los balances para las regiones hidrográficas de Chaco Norte, principalmente, y Abanico aluvial Pilcomayo, son indicativos, porque los valores mensuales muestran un gran déficit en los meses de invierno, que no se reflejan en el promedio anual. También es necesario resaltar una vez más la baja densidad poblacional en el Chaco por lo cual los valores de disponibilidad per cápita, tampoco indican el déficit hídrico de la región. Por ello, se deben utilizar otros indicadores.

4.2.1. Balance Hídrico de la Línea Base

Con la metodología descrita del balance hídrico y las variables climáticas de precipitación y temperatura para el periodo 1961-1990 se ha realizado el balance hídrico.

Tabla 2. Balance Hídrico por Regiones Hidrográficas de la Línea

Región Hidrográfica	Área (km ²)	Prec (mm)	Tem °C	ETR (mm)	RO (mm)	Relación Esc/Prec	Caudal m ³ /s	Población 2002	Disponibilidad m ³ /hab/año
Río Paraná	48,072	1,737	22	1,072	665	0.38	1,013	1,565,660	20,408
Río Paraguay	108,644	1,627	22	1,079	547	0.34	1,886	3,961,462	15,015
Chaco Norte	136,242	1,191	24	973	218	0.18	943	13,209	2,250,292
Abanico Pilcomayo	103,792	1,328	23	1,000	328	0.25	1,080	98,912	344,227
Total País	396,750	1,412	22.88	1,021	391	0.28	4,922	5,639,243	27,523

Fuente: elaboración propia (población 2002)

Se presenta la disponibilidad en términos de escurrimiento el cual es independiente de la superficie de cada región, así como de la población. Se observa como la región paranaense tiene el triple de escurrimiento comparado en el Chaco Norte y el doble del abanico Pilcomayo, siendo ligeramente superior a la cuenca oriental del río Paraguay.

La relación entre la escorrentía y la precipitación es menor en el Chaco Norte, debido a la alta evaporación, como consecuencia de mayores temperaturas.

Se analizó el periodo de 1961-1990, se compararon los datos con los resultados del estudio de la UNESCO y se discriminaron las tres décadas.

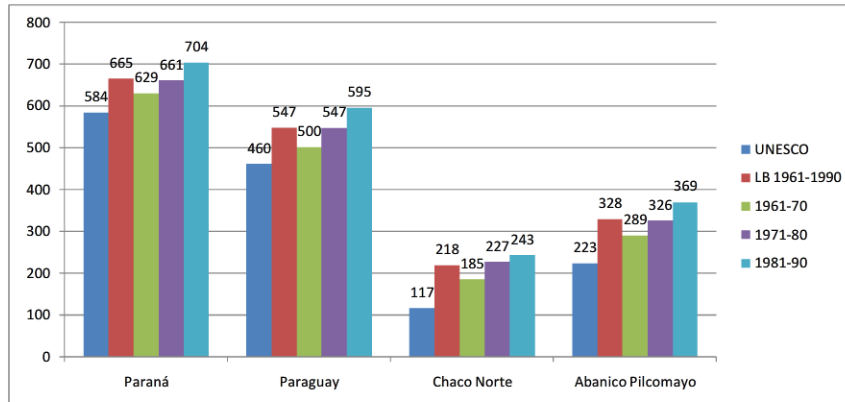


Figura 7. Escorrentía (Run Off) en milímetros por Región Hidrográfica

Fuente: elaboración propia

En el gráfico se observan los valores del escurrimiento expresado en mm/año, para cada región hidrográfica, la primera barra corresponde al estudio de la UNESCO, la siguiente es la línea Base o periodo 1961-1990 y las tres siguientes son cada una de las décadas. Se observa que el valor promedio de toda la línea de base de 1961 a 1990, es prácticamente el valor de la década de 1970, mientras que los valores de la UNESCO corresponden más a una década seca como la década de 1960.

4.2.2. Disponibilidad Hídrica para los escenarios A2 y B2

Se realizan los balances hídricos para los años definidos como años de corte correspondientes a los años 2020, 2030, 2050, 2070 y 2100, con la población esperada para dichos años.

El Escenario A2. Supone un mundo diferenciado en el que las identidades culturales regionales están bien diferenciadas con énfasis en los valores familiares y las tradiciones locales, alta tasa de crecimiento poblacional y diferente desarrollo económico, aunque alto en el promedio global.

El Escenario B2. Supone un mundo con énfasis en las soluciones locales a los problemas de sustentabilidad económica, social y ambiental. El mundo es heterogéneo con un cambio tecnológico no muy rápido y diverso pero con fuerte énfasis en las iniciativas comunitarias y en las innovaciones sociales para obtener soluciones preferentemente locales más que globales.

Comparación de la Disponibilidad para la Línea Base y los Escenarios A2 y B2

A continuación se presenta la variación de las variables climáticas y los balances para los dos escenarios A2 y B2 comparados con la Línea Base LB.

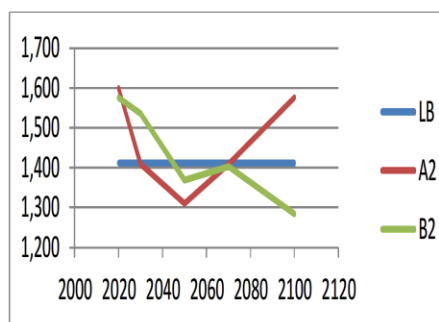
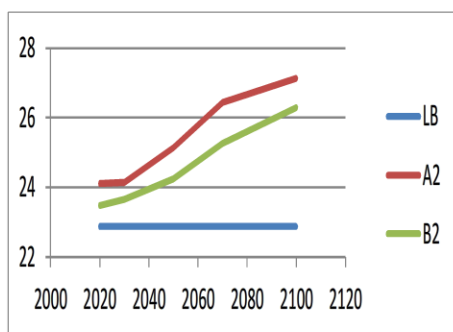


Figura 8. Variación de la Temperatura (°C)

Figura 9. Variación de la Precipitación (mm/año)

Fuente: elaboración propia

La variación de la temperatura en comparación con el promedio de temperatura de la línea base, la cual para el año 2100 aumenta 4.25 °C para el escenario A2 y 3,41 °C para el escenario B2.

La variación de la precipitación muestra que en el año 2050 está por debajo de la media y para el fin del siglo el escenario A2 estará muy por encima de la media, mientras que en el escenario B2, la precipitación sigue por debajo de la línea base.

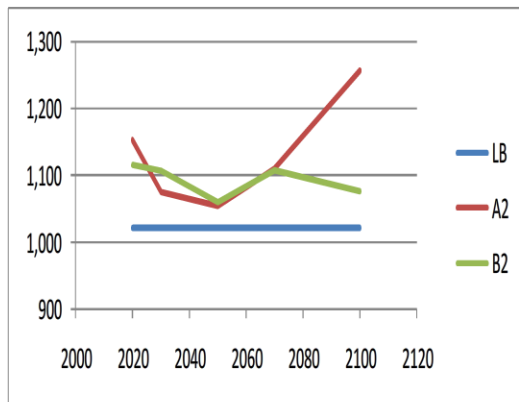


Figura 10. Variación de la Evapotranspiración en (mm/año)

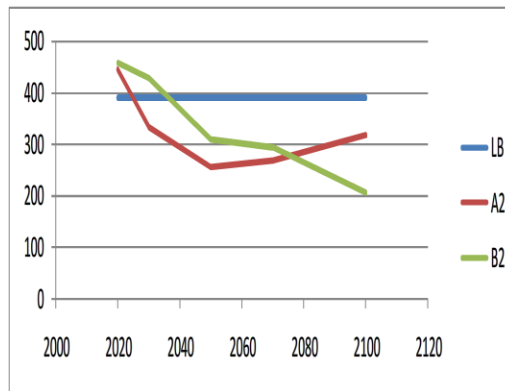


Figura 11. Variación de la escorrentía en (mm/año)

Fuente: elaboración propia

En el gráfico se observa que la evapotranspiración será mayor para los dos escenarios, como consecuencia principalmente del aumento de temperatura y se suma la disminución de la precipitación.

Por lo tanto, se observa que la escorrentía superficial será menor a partir de la década del 2020 para el escenario A2 y de 2030 para el escenario B2, y se mantiene por debajo de la línea base; con lo cual se debe esperar una disminución en la disponibilidad, comparado con el periodo de referencia.

Este mismo análisis se pudo observar en las subcuencas, pero no se incluye por lo extenso, se puede ver en los Anexos del Estudio de Economía para el Cambio Climático, informe sectorial de Recursos Hídricos, para la CEPAL.

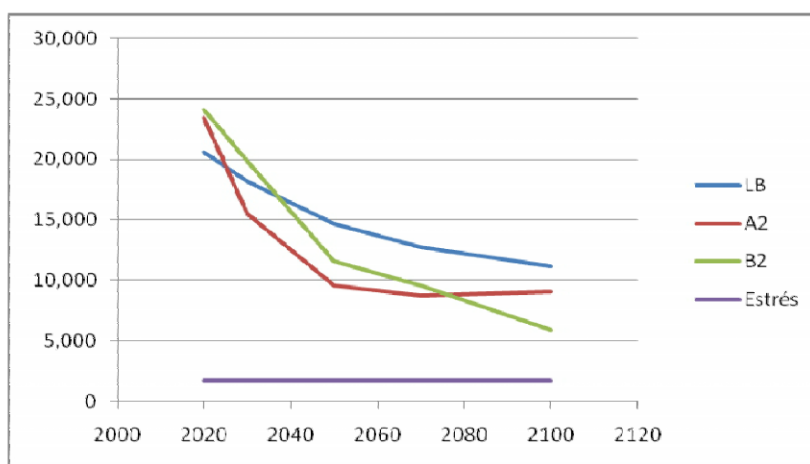


Figura 12. Variación de la disponibilidad per cápita (m3/hab/año)

En el gráfico de disponibilidad hídrica, se observa que para la línea base este valor va decreciendo por el aumento de la población, (se mantiene el escurrimiento o volumen calculado), mientras que para los otros escenarios la disponibilidad es menor, en el caso del escenario A2 es menor a partir de 2030, y en el A2 a partir de 2040, aproximadamente.

4.2.3. Estudio de Referencia – Balance Hídrico de la UNESCO

El estudio del Balance Hídrico realizado por la UNESCO, con apoyo de la DMH-DINAC en 1992, tomó como referencia el periodo 1968 a 1984. Con respecto a la delimitación espacial a nivel país se adoptó la escala 1:1.000.000, y a nivel regional se adoptaron cartas en escala 1:250.000; sobre esta cartografía se realizó la delimitación de cuencas.

Según los datos del balance hídrico de la UNESCO 1992, el valor del caudal territorial es del orden de 4.233 m³/s, no obstante como la superficie total del territorio nacional difiere de la superficie digitalizada, se realizaron los ajustes y se obtuvo un caudal del orden de 4.118 m³/s.

No se debe perder de vista que los datos para el Chaco Norte y para el abanico del Pilcomayo estos valores son referenciales por el comportamiento fluvio-geomorfológico de los cauces, la distribución temporal de la precipitación a lo largo del año y el alto valor de evapotranspiración de la zona.

Tabla 3. Volumen disponible de agua por regiones hidrográficas (datos UNESCO)

Región Hidrográfica	Área (km ²)	Área %	P media (mm)	ETR media (mm)	Run off media (mm)	Q medio (m ³ /s)	Vol (km ³)	Vol %
Litoral del río Paraná	49.000	13,5	1.709	1.061	649	1.008	32	25%
Oriental del río Paraguay	110.800	25,8	1.678	1.158	521	1.829	58	45%
Chaco Norte	154.952	38,1	911	779	132	651	21	16%
Abanico del río Pilcomayo	92.000	22,6	1.048	832	216	631	20	15%
Total	406.752					4.118	130	

Fuente. Elaboración propia con los datos de la UNESCO

De la tabla anterior se observa que el **escurrimiento** “Run off” (mm) es muy bajo en el Chaco Norte, y va aumentando a las otras regiones hidrográficas, el abanico del Pilcomayo tiene 60 % más de escurrimiento, la región oriental del río Paraguay tiene más del doble del abanico Pilcomayo y la mayor escurrimiento corresponde al litoral del Paraná, como era de esperarse.

En valores absolutos el mayor aporte en volumen corresponde a la región oriental del río Paraguay, porque la superficie es más grande, casi el doble, de la del río Paraná.

Se debe tener presente que estos son valores anuales y que existen meses con déficit hídrico, así como los otros problemas de calidad (aguas saladas y salobre en el Chaco, contaminadas en la región oriental), problemas de cobertura del servicio que hacen que aún siendo un país con una gran cantidad de agua, no está bien distribuida ni espacial ni temporalmente.

4.3. RECURSOS INTERNOS RENOVABLES PER CÁPITA SEGÚN LA FAO

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés, Food Agriculture Organization) tiene un sistema mundial de información sobre el agua y la agricultura, se presenta la variación de los recursos internos renovables, según la base de datos de Aquastat, desde 1992 a 2011.

Según el informe del país, la precipitación media es de 1130 mm/año, que representa un volumen de 459 km³/año, de los cuales se estiman como recursos hídricos internos renovables (RHIR) 94 km³/año, lo cual supone pérdidas por evaporación y evapotranspiración del orden del 80 %.

Mientras que estos estudios muestran que la precipitación media es superior, del orden de 1400 mm/año y la escurrimiento del 28 %, lo cual equivale a decir que las pérdidas por evaporación y evapotranspiración son menores, del orden del 74 %.

Tabla 4. Variación de la disponibilidad según AQUASTAT - FAO

Año	Población (hab)	Recursos Hídricos Internos Renovables per cápita m ³ /hab/año
1,992	4,465,000	21,053
1,997	5,015,000	18,744
2,002	5,565,000	16,891
2,007	6,119,000	15,362
2,012	6,683,000	14,066

Fuente: FAO-AQUASTAT

Como se ha explicado, la disminución de la disponibilidad per cápita es debida al incremento poblacional.

4.4. OTROS VALORES DE LA DISPONIBILIDAD DEL AGUA PER CÁPITA

Como se indica al inicio, en Paraguay se tiene la creencia que la disponibilidad hídrica es 67.300 m³/hab/año, como no está la metodología ni los datos, se puede explicar cómo aguas total incluyendo las aguas transfronterizas.

Si se considera que el Paraguay cuenta con varios ríos que bordean sus territorio, que son por lo tanto aguas compartidas, si se toman las promedio de las estaciones de Asunción y Yacyretá, no se debe incluir el caudal proveniente de las cuencas hidrográficas que llegan a esas estaciones, faltarían solamente las aguas del Tebicuary y otras subcuencas menores que drenan en el Paraguay y el Paraná, aguas abajo de las estaciones mencionadas.

Se toma el caudal medio del río Paraná y del río Paraguay para el mismo periodo del balance hídrico de la UNESCO, según los registros de la Asociación Nacional de Navegación y Puertos (ANNP) y la Entidad Binacional Yacyretá (EBY) y se completan los caudales de las otras subcuencas con la misma fuente.

Tabla 5. Caudales medios anuales para otra estimación

Río - Estación	Caudal (m ³ /s)	Caudal (m ³ /s) (a Paraguay)
Paraná (Yacyretá)	13.300	6.650
Paraguay (Asunción)	3.280	1.640
Otros cuencas entre las estaciones	594	594
Total	17.173	8.884

Fuente: datos de la ANNP, EBY y UNESCO

Como se trata de aguas compartidas se asume que el país tendría una disponibilidad del 50 % de las mismas. Por lo tanto, se cree que estimaron que el volumen correspondiente a Paraguay sería del orden de 280 km³.

Tomando este volumen de agua, dividido entre la población de 1992 de 4.123.550 habitantes, la disponibilidad para ese año estaría en el orden de 67.940 m³/hab/año; que sería aproximadamente la disponibilidad consignada en el estudio mencionado. Este valor se asemeja a los valores de AQUASTAT, para el ítem recursos hídricos renovables totales per cápita, que incluye las aguas superficiales que entran y salen contabilizando el caudal de ríos transfronterizos.

Por lo tanto, no se recomienda utilizar este valor como la disponibilidad hídrica del Paraguay, sino las aguas realmente precipitadas, o los recursos internos renovables.

5. COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES

La disponibilidad hídrica per cápita es un indicador que permite conocer la cantidad de recursos hídricos de una región o zona y compararlos con otros lugares y con las necesidades mínimas de estrés o escasez hídrica.

Cuando se habla de disponibilidad hídrica per cápita, se recomienda el uso de los recursos hídricos internos renovables y hacer referencia al año del análisis, para tener un valor de referencia. Caso contrario, se debe aclarar que se trata de recursos hídricos totales que incluyen aguas transfronterizas.

En este análisis se presentó la proyección de la disponibilidad hídrica per cápita, en la cual se ve la disminución esperada de la misma como consecuencia del incremento de la población. Al analizar los escenarios climáticos se observa la disminución esperada como consecuencia del cambio climático.

Este indicador, para permitir analizar la gestión de los recursos hídricos, debería ir acompañado de otra información, la infraestructura para tener acceso al agua, la calidad de la misma y las capacidades de las poblaciones como educación o cultura del agua, y otros aspectos.

Existen otros indicadores que reflejan mejor la situación de la gestión del agua, como por ejemplo el índice de pobreza hídrica

El Índice de Pobreza Hídrica (IPH). Este índice fue desarrollado en el año 2002 por el Centre for Ecology and Hydrology (CEH) en Wallingford, Reino Unido. Combina cinco componentes: recurso, acceso, capacidad, uso y ambiente, para expresar la disponibilidad y grado de escasez del agua, a partir de un análisis interdisciplinario.

Por otro lado, la falta de mediciones del consumo no permite tener una estimación del índice de escasez hídrica que es la relación entre el consumo y la disponibilidad hídrica. Ante esta situación, se puede utilizar la huella hídrica y el agua virtual como herramientas de gestión y desarrollo.

A nivel mundial, la población va en crecimiento en forma exponencial y este crecimiento significa una disminución en la disponibilidad de todos los recursos, en este caso, de los recursos hídricos per cápita. Estos valores sirven para identificar zonas críticas con menor disponibilidad que requieren mayor atención en cuanto a la gestión.

BIBLIOGRAFÍA

1. APRH. Asociación Paraguaya de Recursos Hídricos. 2004-2005. "Iniciativa para le Gestión Integrada de Recursos Hídricos". Lineamiento para la Política Nacional de Recursos Hídricos. "Documento en Construcción"(no se tuvo acceso al informe final)
2. Centro de Capacitación y Experiencias Agrarias de Mahón, Menorca. "El agua potable, principal nutriente de las vacas" Información Técnica. Boletín 46. Consell Insullar de Menorca, Departamento de Economía.
3. Consorcio KKC-JNS. "Estudio de Políticas y Manejo Ambiental de Aguas Subterráneas en el Área Metropolitana de Asunción - Acuífero Patiño". Cooperación Técnica ATN/JC - 8228- PR - SENASA - BID.
4. Crespo A. y Martínez O. "Informe Nacional sobre la gestión del Agua en el Paraguay". 2000.
5. DBEnvironment, "PTR1", Estudio del marco legal e institucional para el manejo de los recursos hídricos de Paraguay. Contrato BID ATN/FC-6006-PR.
6. Domecq et Al . "INUNDACIONES URBANAS NA AMERICA DO SUL" Carlos E.M. Tucci, Juan Carlos Bertoni (organizadores) - Porto Alegre: Asociacion Brasileira de Recursos Hidricos, 2003. ISBN: [85-88686-07-4](#). Cap. 7: Paraguay.
7. FIUNA- DINAC. MONTE DOMEQC, R; BÁEZ B., J. "Variación Espacial de los Excesos y Déficits Hídricos en el Paraguay"
8. FUNDAINGE. Julio 2004. "Visión de Recursos Hídricos en Paraguay". Programa marco para la gestión de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Plata, en relación con los efectos de la variabilidad y el cambio climático. CIC.
9. GRASSI, B.; MAX, P.A; ARMOA, J. 2005. Un análisis del comportamiento de la precipitación en el Paraguay. Informe final del proyecto. Campus de la UNA, San Lorenzo.
10. GRASSI, B; MAX, P. A.; ARMOA, J. 2004. Análisis de la tendencia de la temperatura del aire en el Paraguay. Informe final del proyecto. Ciudad Universitaria, San Lorenzo.
11. LARROZA, F.; FARIÑA, S.; PAREDES, J. L.. Nov. 2001."Consideraciones Preliminares del Acuífero Guaraní en el Paraguay Oriental". II Simposio Paraguayo de Geología y III Simposio de Aguas Subterráneas y Perforación de Pozos. Asunción, Paraguay.
12. OEA, BID, PNUD. 1977. Cuenca del Plata, Estudio para su Planificación y Desarrollo, Aprovechamiento Múltiple de la Cuenca del Río Pilcomayo.
13. PNCC, CHAMORRO, L. Dic. 2007. "Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático de Paraguay, Vulnerabilidad de los Recursos Hídricos" Asunción.
14. Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo. Usos y Gobernabilidad del Agua en Paraguay. 2006.
15. Programa Marco para la Gestión Sostenible de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Plata, en relación con los efectos de la variabilidad y el Cambio Climático" Visión de los Recursos Hídricos en Paraguay, FUNDAINGE. 2004.
16. Revista REV. ACAD. COLOMB. CIENC.: VOLUMEN XXXII, NÚMERO 123-JUNIO DE 2008. Domínguez Calle, E.A., H.G. Rivera, R. Vanegas Sarmiento, P. Moreno. "Relaciones Demanda-Oferta de agua y el índice de escasez como herramientas de evaluación del Recurso Hídrico Colombiano".
17. UNESCO, PHI Paraguay. 1992. DHM-DINAC - "Balance Hídrico Superficial del Paraguay", Memoria Descriptiva, Asunción.
18. Wilkinson, J. 1999. El abanico aluvial del río Pilcomayo. NASA. Houston, Dallas.
19. www.semarh.se.gov.br/modules/wfdownloads/visit.php?cid=1&lid=206
20. <http://www.erissan.gov.py/prestadoras.htm>
21. <http://www.dgeec.gov.py>
22. <http://www.foroagua.org.py>
23. <http://www.unesco.org.uy/phi/biblioteca/bitstream/123456789/289/1/Balance+Hidrico+Republica+Paraguay.pdf>
24. <http://suelooh.blogspot.es/1196729340/>
25. <http://www.ambiente.gov.ar/?idarticulo=6211>