

**EVALUACION HIDROGEOLOGICA Y PROTECCION A LA
CONTAMINACION DEL AGUA SUBTERRANEA EN LA RESERVA DE LA
BIOSFERA DEL BOSQUE MBARACAYU (RBBMb)
LIMITE PARAGUAY - BRASIL**

¹Larroza, F. A.; ¹Fariña, S. ¹Baez, J. & ¹Cabral, N.

Resumen –El RBBMb comprende un área de la cuenca del río Jejuí Guazú de aproximadamente 2915 Km² donde ocurren los siguientes acuíferos granulares: *Independencia* (Pérmico), *Guaraní* (Triásico/Jurásico) y *Acaray* (*Cretácico-Terciario?*); y el acuífero fracturado *Alto Paraná* (Cretácico). El sentido de la dirección de flujo subterráneo regional hacia el oeste, siendo las aguas subterráneas freáticas bicarbonatadas calcicas-magnésicas y las profundas bicarbonatadas sódicas. Las formaciones geológicas involucradas en este estudio, están situadas en el escenario tectónico vinculado con la cuenca de Paraná. El área está afectada por fallas y/o fracturas, ocasionalmente ocupadas por diques de diabasa; al centro norte de la reserva se identificó el contacto entre el Pérmico y las areniscas mesozoicas (Formación Misiones) según una zona de “falla” con rumbo NW-SE. Para la realización de los mapas temáticos de vulnerabilidad, riesgo y protección de acuíferos, así como para recomendar medidas en las 2 (dos) áreas de protección identificadas como: a) *Primera prioridad* de las áreas urbanas rurales de vulnerabilidad alta y media; y b) *Segunda prioridad*, las cuales son áreas agrícola-ganadera y forestal con vulnerabilidad media y baja, se utilizó el método empírico GOD, apoyado por estudios de campo geológico-hidrogeológico y con recolección de muestras de agua para análisis físico-químicos.

Summary – The RBBMb of approx. 2,915 km² is located in the Jejuí Guazú river basin, where following granular aquifers occur: *Independencia* (Permian), *Guaraní* (Triassic/Jurassic) and *Acaray* (Cretaceous-Tertiary?); as well as the fractured aquifer *Alto Paraná* (Cretaceous). The groundwater flow direction is towards the west. The unconfined waters are of bicarbonate-calcium-magnesium type, while the confined waters belong to the bicarbonate-calcium-potassium group. The geological formations included in this study fit in the tectonic scenario linked to the genesis of the Parana basin. The area is affected by fissures and fractures partly filled by dolerite dikes. The contact between the Permian and the Mesozoic sands of the Misiones Formation was identified to the centre north of the reserve following a fractured zone of NW-SE direction. The GOD empirical

¹ Organización No Gubernamental Agua; Km 38 Ruta Transchaco Benjamín Aceval; +595 271 272935; larroza@telesurf.com.py - sandraf@telesurf.com.py - jaleo@telesurf.com.py - caan_9495@yahoo.com

method, together with field geological and hydrogeological investigations and groundwater sampling, was applied for the design of vulnerability, risk, and aquifer protection thematic maps as well as to make recommendations for 2 (two) protection areas identified as: a) *First priority* for urban and rural areas with medium to high vulnerability and b) *Second priority* for agricultural and forest-covered areas with low to medium vulnerability.

Palabras-Claves - Acuíferos del Paraguay; Biosfera del Mbaracayú; Protección de acuíferos

1 – INTRODUCCIÓN

En el marco del programa de Aguas de la *Fundación Moisés Bertoni*, se realizó el estudio hidrogeológico del área de la Reserva de la Biosfera del Bosque Mbaracayú (RBBMb). Esta área ecológicamente es única, debido a que se encuentra en una zona de transición entre los tipos de bosques “tropical y templado”; se encuentra sobre acuíferos productivos, perteneciente al Sistema del Acuífero Guaraní. La población es una compleja amalgama social en la que interviene la comunidad Indígena Aché, Indígenas Avá Guaraní, campesinos, grandes propietarios paraguayos y brasileros. El 80% de la población se dedica a actividades primarias tradicionales de subsistencia. Esta región sufre las consecuencias de un uso desordenado de los recursos naturales, y la expansión de las fronteras agropecuarias, lo que ha creado la necesidad de evaluar el recurso de agua subterránea, la vulnerabilidad natural de la misma y el grado de contaminación.

Se adopta el método empírico GOD, que fuera desarrollado por [3] FOSTER, 1987, para determinar la vulnerabilidad natural del acuífero, lo cual se acompaña con mapeo geológico de campo, censo de pozos y toma de muestra de agua subterránea para análisis físico-químico.

Para determinar las áreas prioritarias de protección, se recurre a una metodología ya aplicada en investigaciones anteriores pero en áreas de características hidrogeológicas y geológicas distintas, siendo una herramienta exitosa, [7] LARROZA & CENTURION, 1996; [12] VON HOYER & GODOY, 1996; [2] FARIÑA, 2001, lo que trata de ser simple y sistemático, conjugando los mapas de *ocupación territorial* (carga contaminante) y *mapa de vulnerabilidad*, para obtener el *mapa de riesgo* a la contaminación, a partir de esto utilizando criterio y comprensión científica de la situación se confecciona un “*mapa de protección del agua subterránea*” donde se zonifica las áreas prioritarias para su protección y las medidas que deben tomarse.

Es el fin de este trabajo proporcionar informaciones con miras a la consolidación del conocimiento científico y técnico que se requiere para implementar futuras acciones para una protección

sustentable de los acuíferos en dicha Reserva Natural y apoyar en el área de acción del componente Desarrollo Rural de La Cuenca Alta del Río Jejuí.

Son objetivos específicos, la identificación de los tipos de acuíferos existentes y sus características principales; conocer el grado de vulnerabilidad y el estado actual acuífero frente a la contaminación; realizar mapas temáticos (de vulnerabilidad, uso de la tierra, riesgo y protección a la contaminación); brindar directrices para plan de manejo mediante una serie de medidas, disposiciones y estrategias orientadas a prevenir la contaminación, eliminar sus consecuencias y conservar la calidad y asegurar su uso sustentable.

2 - TOPOGRAFÍA Y LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La topografía del lugar es bastante accidentada y la elevación más destacada es la Cordillera de Mbaracayú, siendo la cota mínima de 120 m y la cota máxima de 460 m. La forma predominante en el paisaje regional y local lo constituyen las colinas sedimentarias correspondiente a las serranías de Amambay –Mbaracayú y la cuesta basáltica (planalto de Alto Paraná). Son características las *lomadas o vertientes* (Figura 1). El área de estudio esta situada en el Departamento de Canindeyú de la Región Oriental de la Republica de Paraguay (Figura 2); comprendiendo el área de la cuenca del río Jejuí Guazú de aproximadamente 2915 Km² (291.491 hectáreas) y el área de la Reserva Natural de la Biosfera (RBBMb) de aproximadamente 652 Km² (65.480 hectáreas).

3 – CLIMA

El Paraguay tiene un clima húmedo mesotermal de gran variabilidad, con índices máximos de humedad en los departamentos de Alto Paraná, Itapúa y Canindeyú, todos ellos incluidos en la zona de estudio. La temperatura media anual de 21°C. La precipitación promedio es de 1.400 mm/año. Sus valores extremos son de 1.600 mm/año en la Cordillera del Amambay, decreciendo en dirección al río Paraguay (oeste). La evapotranspiración real en el área es menor que la precipitación, alcanzando valores promedio de 1.050 mm por año. Esto genera un excedente importante que se traduce en escurrimiento superficiales perennes, [1] DINAC, 1992.

4 – ASPECTO GEOLÓGICO

La reunión de los comentarios de la literatura publicada como inédita; la información del mapa geológico disponible [11] T.A.C. 1981); junto a la observación de campo; y las imágenes de satélite consultadas permitieron trazar el mapa geológico del área de la Reserva y la Cuenca del Río Jejuí (Figura 2).

Fueron reconocidas formaciones sedimentarias del Pérmico (Pi=Grupo Independencia) y un conjunto sedimentario (Ms = Formación Misiones) a volcánico (Mbv = Formación Alto Paraná) de edad Mesozoica. Este ultimo conjunto en parte pueden estar cubiertos (al NE) por sedimentos del Terciario (Ts = Formación Acaray). Todos ellos situados en un escenario tectónico vinculado con la Cuenca del Paraná. Fue colocada en la mira dos puntos de probable intrusión de rocas alcalinas = Mi (a los que se le atribuye una edad probable del Jurásico) que se habrían instalado en rocas tipo Pi y/o Ms.



Figura 1. Paisajes típicos del área, las serranías y las lomadas características.

Una pequeña isla de sedimentos no bien litificados en el área de Ñandurokai, ellos asociados con una franja de facturación NW-SE (ver mas adelante), a los que por ver que se habrían formado posteriormente a todas las unidades de Mesozoico (Ms, Mbv y Mi) se les asigna una edad probable comparable con Ts. Sin embargo su edad real podría estar entre la atribuida a Ts al Reciente (por ella estar en relación directa con la zona de fallas –aun latentes- de esta porción. 1) Porción Centro-Norte de la Reserva: se sitúa en un plateau muy elevado, con cotas de más 400 donde predominan los terrenos de basalto tolehíticos. En el S-SW, rumbo a la ciudad de Ygatimí, lomadas mas suaves (ocupados por rocas sedimentarias: areniscas finas a media en beige – rojo ladrillo a violáceas cuarzosas a algo arcósicas entre otros) se destacan en la topografía que se ven quebrantadas por profundos valles ocupados por arroyos y/o ríos. Los datos geológicos de campo levantados permiten reconocer aquí un contacto entre Pi y Ms (arenisca media gruesa rojiza; arenisca fina – media beige violácea clara; arenisca media – gruesa beige clara) que se da según una “zona de

falla” con rumbo NW-SE (Figura 3). Buenas exposiciones de basaltos (basaltos –tolehiticos-masivos gris oscuro, basalto gris oscuro, basalto porfirítico gris oscuro =Mbv) y su posición claramente por encima de los sedimentos del tipo Ms son reconocidos al E de la Reserva en las proximidades de Ybyrarobaná (Figura 3) (brevemente mas al NE de la comentada “Zona de falla”), como en los alrededores de la Col. Gral. Bernardino Caballero. Es fácil reconocer como los sedimentos Pi se muestran fuertemente fracturados, con un trozo situado mas al E que estaría bastante mas afectada por las falla/s y/o fracturas. Así en ocasiones dichos conductos son ocupados por diques de diabasa tolehítica; 2) Porción Centro-Sur de la Reserva: A diferencia de la anterior, esta zona se caracteriza por una monotonía estratigráfica donde no se observan estructuras de marcado contraste en el todo de su geología (Figura 2). Esta área de la Reserva y sus alrededores al sur muestran una predominancia de lomadas elevadas y continuas, con cotas de 200 ± 20 m, donde predominan los suelos areno arcillosos. Lomadas se ven quebrantadas por profundos valles ocupados por arroyos y/o ríos; predominio de sedimentos arenosos (areniscas medias) – fundamentalmente en la cotas elevadas (hasta mas de 300 m) zona al sur de la Reserva ya en algunos valles (cotas en torno de 160 a 170 m) se observa una marcada presencia de sedimentos muy finos, aquí también inter digitados con sedimentos arenosos.

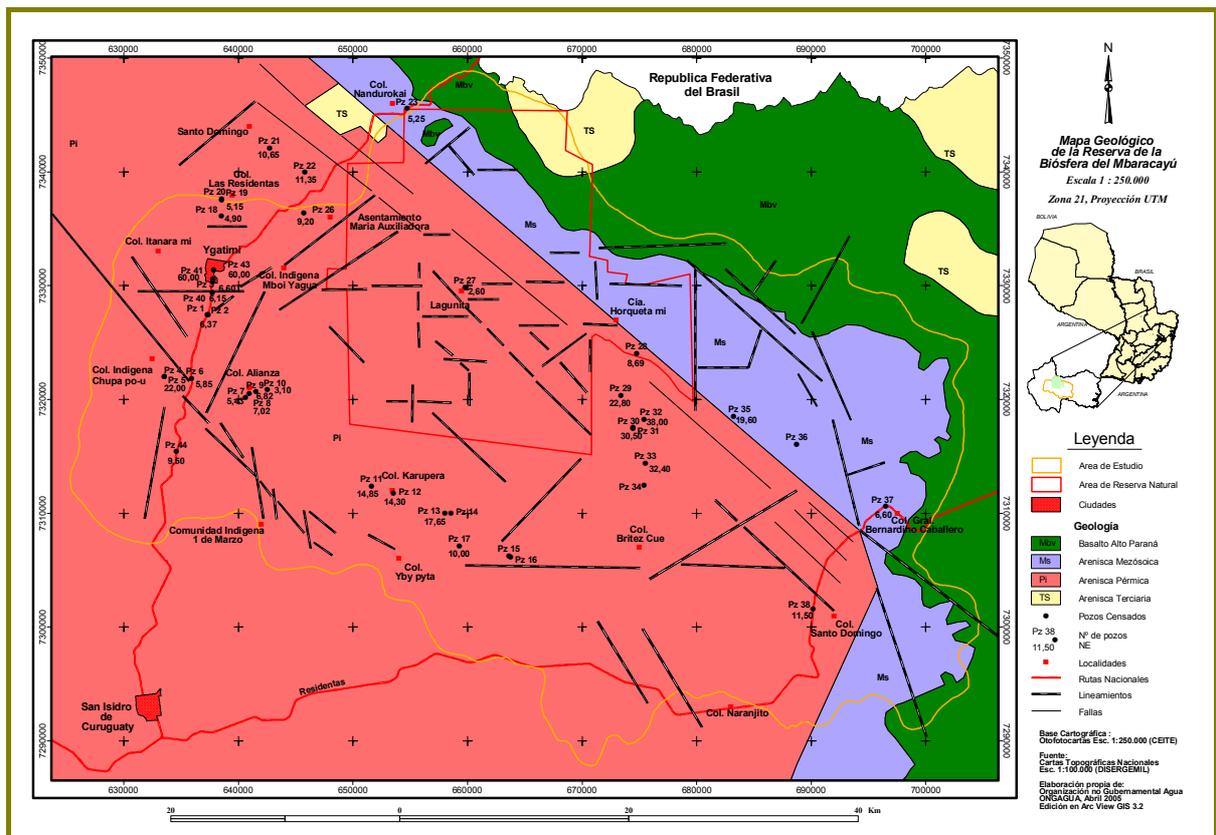


Figura 2. Mapa geológico de la Reserva de la Biosfera del Bosque Mbaracayú) - Este mapa es presentado en escala 1:250.000, También están los pozos de agua censados con datos de N° de Pozo y de nivel estático NE en metros. Leyenda del mapa geológico, Pi = Grupo Independencia

indiviso (Pérmico), Ms=Formación Misiones (Pérmico Superior a Triásico/Jurásico), Mbv=Formación Alto Paraná (Jurásico) (diques de rocas con esta composición son mostrados, Ts=Formación Acaray (Cretácico/Terciario?). Línea de trazos continuo =falla comprobada, línea de trazos discontinuos fallas/fracturas probables.



Figura 3. Contacto del basaltos (Mbv) con los sedimentos del tipo Ms al E de la Reserva en las proximidades de Ybyrarobaná

5 – CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS DEL ÁREA

Las interpretaciones se apoyaron en el mapa geológico (Figura 2), [5] Mapa hidrogeológico (1986), datos de perfiles de pozos, obtenidos de [9] SENASA, mapeo y censo de campo , que proporcionaron la identificación de cuatro acuíferos (Figura 4), los cuales son descritos en base a su porcentaje de ocurrencia en el área **1) *Acuífero Independencia (Pi)*** de edad Pérmica, pertenece a los acuíferos locales de extensión limitada, se compone de un conjunto de formaciones geológicas, predominantemente arenosas, de granulometría de fina gruesa, alternando con secuencias de areniscas y siltitas.

El Acuífero Independencia en el área de estudio abarca 11.387 Km² cubre el 66,6%, su comportamiento es de un acuífero libre a semiconfinado, esta compuesto por areniscas de granulometría media a fina, con interdigitaciones en partes con siltitas y lutitas, Los caudales medios están en el orden de 10 m³/h, el caudal específico medio es de 0.5 m³/h/m y los niveles de profundidad del agua subterránea de 2 a 38 m. Cabe resaltar que en el área e Colonia Chupa Po, el caudal extraído del pozo 4 (Figura 4) fue de 22 m³/h con niveles estático de 22 m y una depresión de 68 m [9] SENASA; **2) *Acuífero Guaraní*** pertenece a los acuíferos de gran extensión, con un área superior a los 1.000.000 Km², es un acuífero transfronterizo, compartido con Brasil, Uruguay y

Argentina, regionalmente contiene agua dulce y localmente agua salobre a salada. El *Acuífero Misiones*, actualmente también conocido como *Acuífero Guaraní* posee 26% en el área del RBBMb (siendo aflorante 18% y confinado 8,3 %), se presenta como acuífero libre en las áreas de afloramiento y confinado por debajo de los basaltos de la Formación Alto Paraná, esta constituido por depósitos arenosos de origen eólicos y arenosos con contenido de arcilla los de origen fluvial, en términos generales. El espesor del Acuífero Misiones es muy variable, con valor medio de 300 m., la permeabilidad oscila entre 0.2 a 4.0 m/día y la transmisibilidad de 40 a 500 m²/día, en las áreas aflorantes. En las áreas confinadas por los basaltos presenta una permeabilidad de 0.5 a 4.6 m/día y una transmisibilidad de 200 a 1.300 m²/día [8] LOPES, 1984; La profundidad del agua subterránea varía de 8 a 19 m, según datos que se pudo obtener. Cabe mencionar que el acuífero confinado se encuentra por debajo de los basaltos; **3) *Acuífero Alto Paraná (Kap)***, equivalente al Acuífero Serra Geral del Brasil, pertenece a acuíferos muy restringidos, cuya existencia está relacionada a las fallas, fisuras y fracturas en rocas masivas. Constituido por coladas de basaltos. *El acuífero Alto Paraná (basaltos)* corresponde al 8,3% del área RBBMb y se presenta como un acuífero fisurado (porosidad secundaria), representado por los basaltos de la Formación Alto Paraná, englobando también a las diabasas, que son intrusiones magmáticas que atraviesan varias secuencias geológicas. Suministra caudales medios de 18 m³/h y caudales específicos de 1,5 m³/h/m. La profundidad media de los pozos es de 100 m; **4) *Acuífero Acaray(Ka)*** de edad cretácica (Ka). Corresponde a depósitos de areniscas finas, se encuentran distribuidas irregularmente en el Paraguay oriental sobre la Formación Alto Paraná. *El acuífero Acaray* corresponde al 1 % del área RBBMb es un acuífero local de extensión limitada. Se comporta como un acuífero libre. Pozos realizados en Ype Jhu hasta 100 m de profundidad, brindaron caudales hasta 18 m³/h, siendo su nivel estático 22 a 25 m, el espesor de al arenisca es de 70 m.

5.1 Comportamiento del Flujo subterráneo

A pesar de no existir una densidad representativa de pozos que cubran toda el área y escasez de datos del acuífero Alto Paraná. Se puede decir que el sentido de la dirección de flujo principal subterráneo del acuífero freático a semiconfinado es hacia el oeste, con respecto a los flujos locales se puede observar que van preferencialmente también en sentido oeste (NNE-SSW; SSE-NNW) hacia el área de la Colonia Chupa Po-u, donde se encuentra el río Jejuí Guazú el cual capta los efluentes que nacen en la parte este de las Serranas del Mbaracayú (área de Horqueta-mi, Colonia Gral Bernardino Caballero). En cuanto al sentido de flujo subterráneo regional del acuífero

confinado parecería coincidir con el flujo regional de acuífero freático-semiconfinado el cual es hacia el oeste.

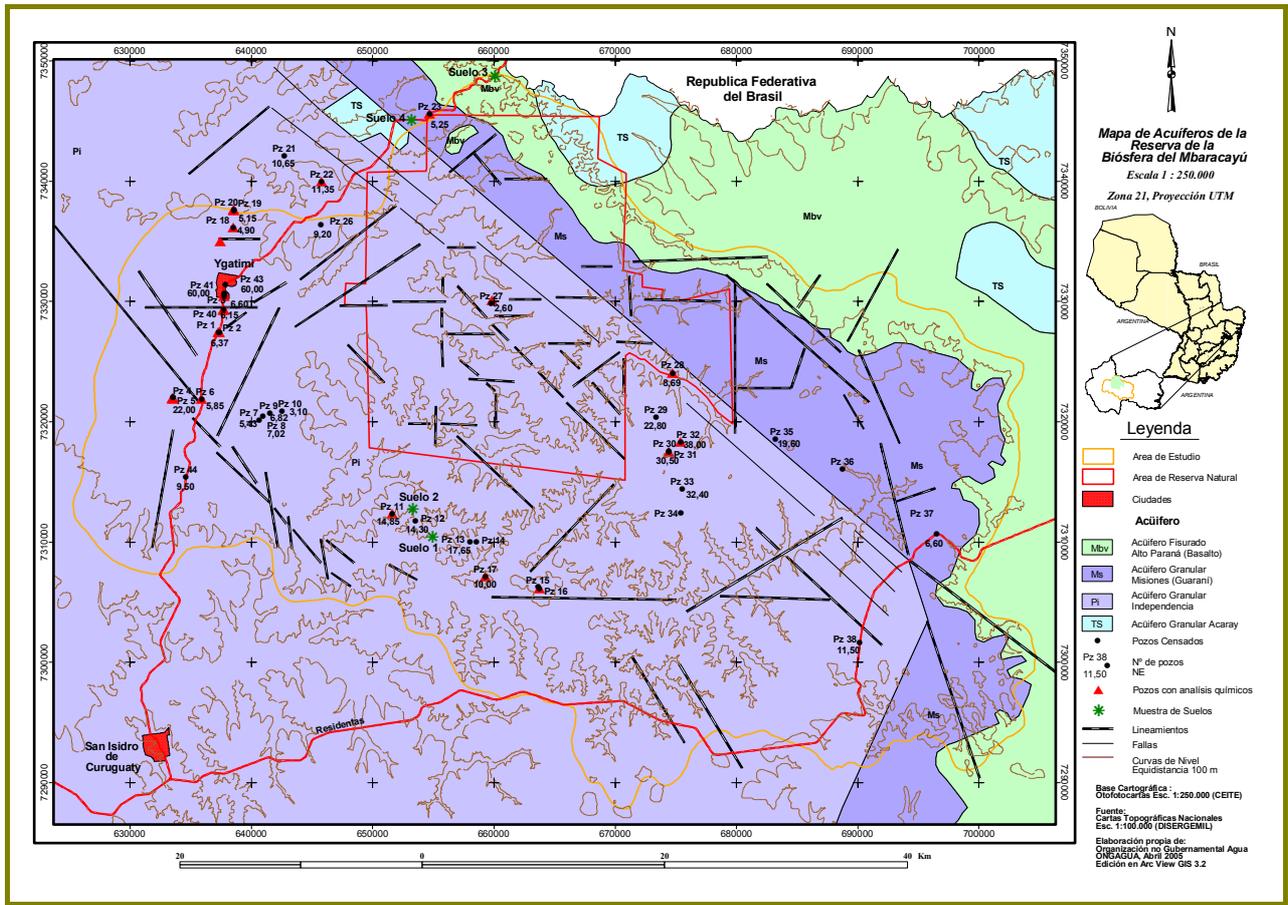


Figura 4. Mapa de acuíferos de la Reserva de la Biosfera del Bosque Mbaracayú, y están plotados los pozos censados en campo con dato de nivel estático en metro.

6. CARACTERÍSTICA QUÍMICA

La clasificación química del agua subterránea está basada en la nomenclatura del diagrama PIPER, en donde se aplica la clasificación de [6] LANGELIER & LUDWIG (1942).

6.1. Agua subterránea dulce

El agua subterránea dulce que tiene contenido de sal < 1.000 mg/L es en principio agua bicarbonatada cálcica en los acuíferos freáticos a semiconfinados -pozos someros (Figura 6-derecha) y en los pozos profundos localizados en el acuífero Independencia (Pérmico) donde existe un incremento de la salinidad, con un sustancial aumento de cloruro y sodio respectivamente, cuya clasificación es bicarbonatada sódica (Figura 6-izquierda). En el *DIAGRAMA PIPER* fueron cargados los resultados de los análisis de pozos ubicados sobre las areniscas pérmicas y mesozóicas

Figura 6. Diagrama de PIPER de las aguas subterráneas de acuíferos profundos (izquierda) y someros (derecha)

7. MEDIDAS PARA LA PROTECCION DEL AGUA SUBTERRANEA CONTRA LA CONTAMINACION EN RBBMb

La clave del éxito para la protección del agua subterránea en estas áreas, es mediante el conocimiento de la naturaleza potencial de purificación del substrato geológico y su sofisticada integración dentro de un esquema de planificación de desarrollo. Para ello se establecen zonas de protección y el manejo de sustancias contaminantes, dentro de estas zonas, se controlan mediante reglamentaciones específicas. La metodología utilizada es la de *cartografía de la vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación*, y el modelo *esquemático de Riesgo* (valora la carga contaminante), técnicas que permite cuantificar la valoración de la vulnerabilidad y de representarla por medio de mapas temáticos (de vulnerabilidad, uso de la tierra, riesgo y protección a la contaminación) los cuales pertenecen a una categoría especial de mapas que tienen un propósito ambiental. Se definen como mapas interpretativos de *protección del agua subterránea* adecuados para su utilización en la gestión, planificación, protección del recurso hídrico. Se adopta para este trabajo de investigación el método GOD, [3] FOSTER (1987); [4] FOSTER - HIRATA (1988), diseñado para áreas con menor cantidad de datos, ya que los datos relacionados con muchos factores que influyen en la vulnerabilidad de un acuífero a la polución no están generalmente disponibles ni son fácilmente estimables.

7.1. Índice de vulnerabilidad del acuífero libre y semi-confinado del área de la Biosfera de la Reserva del Mbaracayú

Fueron definidas las diferentes categorías o grados de vulnerabilidades del acuífero, basado en este método GOD. La escala de reconocimiento de campo y de publicación es de 1:250.000. Las diferentes categorías de vulnerabilidad fueron establecidas y zonificadas llevando en consideración los tres parámetros fundamentales (ocurrencia del agua subterránea, litología suprayacente y nivel del agua), en la Tabla 1 muestra los “índices de vulnerabilidad” obtenidos del esquema GOD, del acuífero freático (acuífero libre) y en la Tabla 2 los “índices de vulnerabilidad” del acuífero semi-confinado. Con estos parámetros determinados se obtuvieron los *índices de vulnerabilidad final*, definiendo-se el *grado de vulnerabilidad a la contaminación del acuífero* de la Reserva de la Biosfera del Bosque Mbaracayú Tabla 3. Dicha información permitió la realización del mapa de vulnerabilidad a la contaminación del acuífero (Figura 7).

Tabla 1 Índice de vulnerabilidad del acuífero libre del área de la Reserva de la Biosfera del Bosque Mbaracayú

Grado de Confinamiento		Litología del estrato sobreyacente del acuífero		Espesor no saturado		ÍNDICES
	Índice		Índice	Range	Índice	
Libre	1.0	Arenisca	0.7	5 - 10	0.8	0.56
Libre	1.0	Limolita	0.6	2 - 5	0.9	0.54
Libre	1.0	Limolita	0.6	5 - 10	0.8	0,48
Libre	1.0	Arenisca	0.7	10 - 20	0.7	0.49
Libre	1.0	Arenisca	0.7	20 - 50	0.6	0.42

Tabla 2. Índice de vulnerabilidad del acuífero semi-confinado del área de la Reserva de la Biosfera del Bosque Mbaracayú

Grado de Confinamiento		Litología del estrato sobreyacente del acuífero		Espesor no saturado		ÍNDICES
	Índice		Índice	Range	Índice	
Semi-confinado	0.4	Lutita	0.5	10 - 20	0.7	0.14
Semi-confinado	0.4	Lutita	0.5	20 - 50	0.6	0.12

Es de mencionar que en áreas de clima tropical, como lo es el área de la RBBMb, las unidades acuíferas a menudo están cubiertas por capas de material intemperizado que se saturan formando acuíferos discontinuos, actuando con características de acuíferos porosos, éste es el tratamiento que se usó para ciertos acuíferos para el mapeo de vulnerabilidad; es también importante destacar, que en el acuífero poroso se presentan fallas y fracturas, y que si no están rellenas por materiales con características arcillosas, estas tienen poca movilidad en el agua, lo que les confiere alta vulnerabilidad. Un material de apoyo para llegar a estas interpretaciones fue [10] IG-CETESB-DAEE (1987).

Tabla 3: Grado de Vulnerabilidad final del acuífero libre y semi-confinado de la Reserva del

Descripción	Índice de Vulnerabilidad	Grado de Vulnerabilidad
<p>Acuífero Misiones – Triásico/Jurásico</p> <p>Para áreas donde se encuentran el nivel freático del agua subterránea menor a 10 m, presentando facies mas arenosas, y en cotas topográficas alrededor de los 200 m, y en los valles</p>	0,56	VAB
<p>Acuífero Independencia – Pérmico</p> <p>Para áreas de cotas topográficas mas bajas y cerca de cursos de aguas, con nivel freático del agua subterránea menor o igual a 5 m; presentando facies de sedimentos muy finos, limos con intercalaciones de lodolitas.</p>	0,54	VAB
<p>Acuífero Independencia – Pérmico</p> <p>Para áreas de cotas topográficas hasta 170 m. + - 20 m, y de nivel freático del agua subterránea subterránea menor a 10 m, presentando facies de limonitas, o areniscas muy finas con lutitas</p>	0,48	VMA
<p>Acuífero Independencia – Pérmico</p> <p>Para áreas de cotas topográficas de 200 m +- 20 m, y de nivel freático del agua subterránea entre 10 - 20, presentando facies de areniscas con intercalaciones de lutitas</p>	0,49	VMA
<p>Acuífero Independencia – Pérmico</p> <p>Para áreas de cotas topográficas mayores a 200 m +- 20 m, y de nivel freático del agua subterránea entre 20 - 50, presentando facies de areniscas con intercalación de lutitas</p>	0,42	VMM

Bosque Mbaracayú

Referencia: VAB = vulnerabilidad alta baja; VMA = vulnerabilidad moderada alta; VMM = vulnerabilidad moderada media

Descripción	Índice de Vulnerabilidad	Grado de Vulnerabilidad
<p>Acuífero Independencia – Pérmico</p> <p>Para los acuíferos más profundos y que se encuentran semi confinados por niveles de lutitas o limonitas y con niveles piezométricos del agua subterránea hasta 20 m.</p>	0.14	VBB
<p>Acuífero Independencia – Pérmico</p> <p>Para los acuíferos más profundos y que se encuentran semi confinados por niveles de lutitas o limonitas y con niveles piezométricos del agua subterránea hasta 50 m.</p>	0.12	VBB

Tabla 4 . Grado de Vulnerabilidad final del acuífero semi-confinado de la Reserva de la Biosfera del Bosque Mbaracayú

Referencia: VBB = vulnerabilidad baja baja

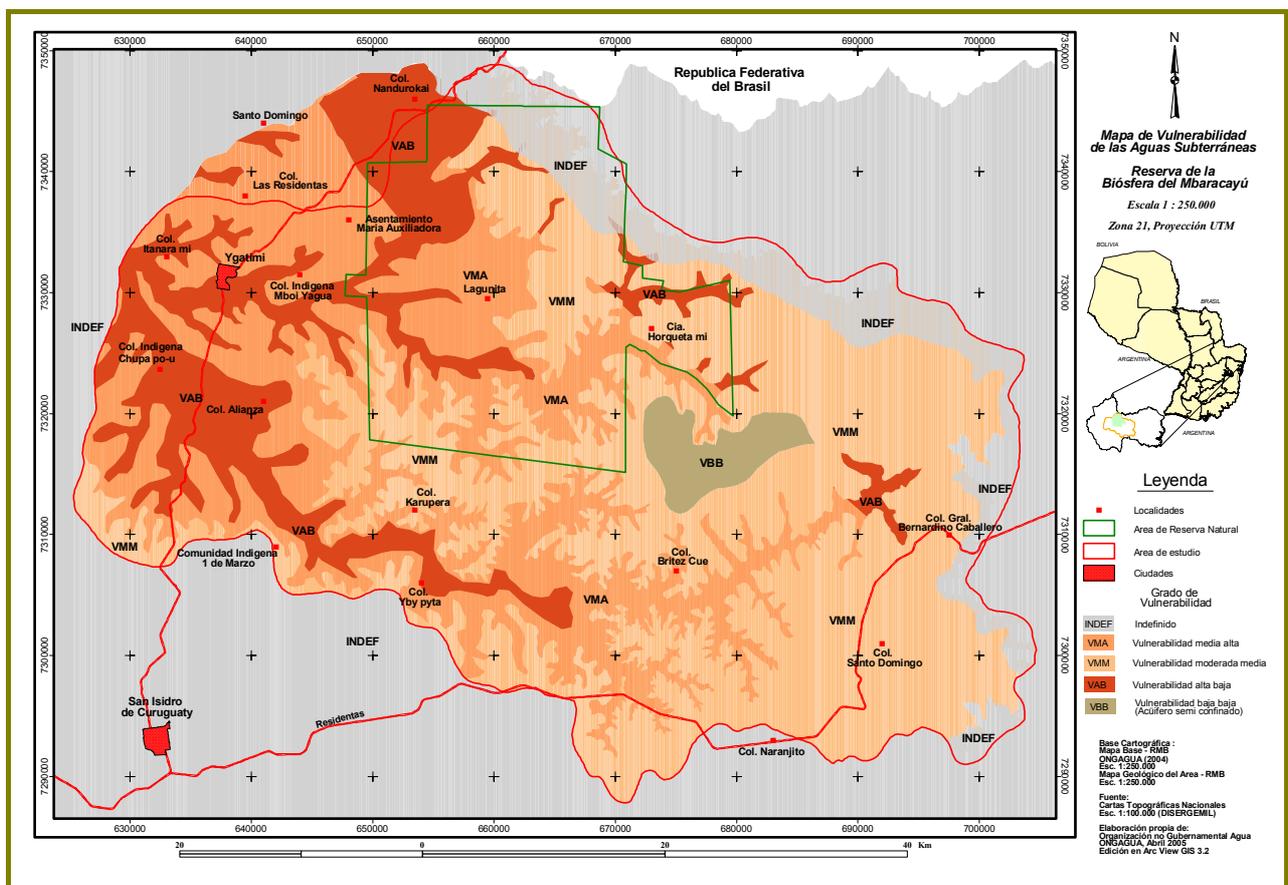


Figura 7. Mapa de vulnerabilidad del acuífero freático y semi-confinado de la Reserva del Bosque

7.2. Riesgo y protección del Agua subterránea

El concepto de riesgo a la contaminación está definido como la probabilidad que el agua subterránea de un acuífero sea contaminada por actividades humanas actuales, con una concentración de contaminantes mayores que los valores límites establecidos por la Organización Mundial de la Salud para la calidad del agua. La metodología usada es una adaptación del informe original propuesto por la [13] World Health Organization (WHO) y por la Pan American Health Organization (PAHO), el esquema conceptual de riesgo de contaminación del agua subterránea, va de muy bajo a extremo, dependiendo de la carga contaminante superficial. Considerando el esquema se tiene situaciones de alta vulnerabilidad natural del acuífero pero virtualmente sin riesgo de contaminación del agua subterránea, cuando la carga contaminante esta ausente o es baja, y viceversa. El riesgo extremo podría ocurrir cuando la carga contaminante es significativa y el acuífero es altamente vulnerable. Hay que tener en cuenta que la carga contaminante puede ser controlada o modificada, pero no así la vulnerabilidad del acuífero.

Aunque hay un gran número actividades humanas que generan cierta carga contaminante, a menudo se encuentra que solo algunas pocas son responsables por el máximo riesgo de contaminación de aguas subterráneas en un área dada. Una lista de actividades potencialmente generadora de carga contaminante al subsuelo y de actividades potencialmente generadoras de carga contaminante al subsuelo se puede obtener en [4] FOSTER & HIRATA, 1988.

Una clasificación de las *cargas potencialmente contaminantes por fuentes dispersas y multipuntuales* y la *clasificación de las cargas potencialmente contaminantes por fuentes puntuales* se puede recurrir a [4] FOSTER & HIRATA, 1988, para obtener la tabla de clasificación.

Finalmente, es importante señalar que los métodos de clasificación de cargas contaminantes y de determinación de peligro de contaminación no sustituyen a los estudios de detalle, necesarios para la definición del riesgo real que la contaminación representa a la población y al ambiente.

7.3. Ocupación del suelo

En la región de la RBBMb se pudo observar que la ocupación territorial predominante es la rural, con excepción de los pequeños centros urbanos/rurales, algunos de consideración, como Villa Ygatimí, Britez Cué, Yby Pytá. Siendo un área rural, es de esperar que el tipo de carga contaminante sea compuestos de nutrientes, compuestos microorgánicos u orgánicos, etc. En las áreas urbanas rurales, a más de las cargas contaminantes típico de área rural, también se tendrá las de urbanización e industrial, con las deficiencias de los sistemas de saneamiento, disposición de

residuos sólidos, desagües de efluentes y manipuleo de sustancias tóxicas.

De estas apreciaciones se pudo observar que la localidad de Villa Ygatimí , Britez Cué y Caaguazú, son áreas en donde se necesita hacer un estudio en detalle para caracterizar y localizar el tipo de carga contaminante y zonificar el área urbana rural según prioridades con medidas de protección.

En la Figura 8 se tiene el mapa de Ocupación y Distribución Territorial.

De la combinación de los mapas de Distribución y Ocupación Territorial (Uso de la Tierra) (Figura 8) y del mapa de Vulnerabilidad (Figura 7) se obtiene el *mapa de Riesgo de Contaminación del Agua Subterránea* (Figura 9), conociendo los lugares con posibles fuentes de contaminantes, tipo y grado fueron delimitadas tres áreas de riesgo que son: de “alta”, “moderada” y “baja”.

La determinación del riesgo de contaminación, se llevó a cabo en áreas que está sujetas a un desarrollo urbano rural, industrial y/o agrícola/ganadera.

Cabe mencionar que estas determinaciones son solamente evaluaciones preliminares, debido a la complejidad de los factores que afectan el transporte de los contaminantes en las aguas subterráneas, de la singularidad de cada situación de campo o área de evaluación, futuramente, ya con conocimiento de las áreas con mayores riesgos de contaminación una vez realizado este primer nivel de evaluación que es el “reconocimiento preliminar” basado en datos existentes y con datos y observaciones de campo y de aspecto mas cualitativo y a escala de trabajo de 1:250.000, sería recomendable tratar cada actividad contaminante en un ambiente hidrogeológico dado de manera individual y llevar a cabo investigaciones independientes para evaluar el riesgo de contaminación y a una escala de trabajo de nivel urbana/municipal 1:50.000.

Esta determinación sirve para reconocer los acuíferos más vulnerables y determinar las actividades causantes del riesgo de contaminación en éstas áreas. Servirá para llamar la atención sobre actividades y establecer prioridades para la investigación y el monitoreo de campo.

Es importante que este procedimiento sea considerado solo como el primer paso en la evaluación del riesgo de contaminación de las aguas subterráneas. Ellas pueden y deben ser utilizadas para asignar prioridades en programas de seguimientos con investigación y monitoreo de campo apropiado para las condiciones hidrogeológicas y la naturaleza de la carga contaminante al subsuelo.

6.3 - Estrategias de protección del acuífero

Los mapas de vulnerabilidad constituyen una base técnica de planeamiento para acciones de control y protección de los acuíferos, en la medida que permiten la identificación y representación cartográfica de las áreas potencialmente críticas.

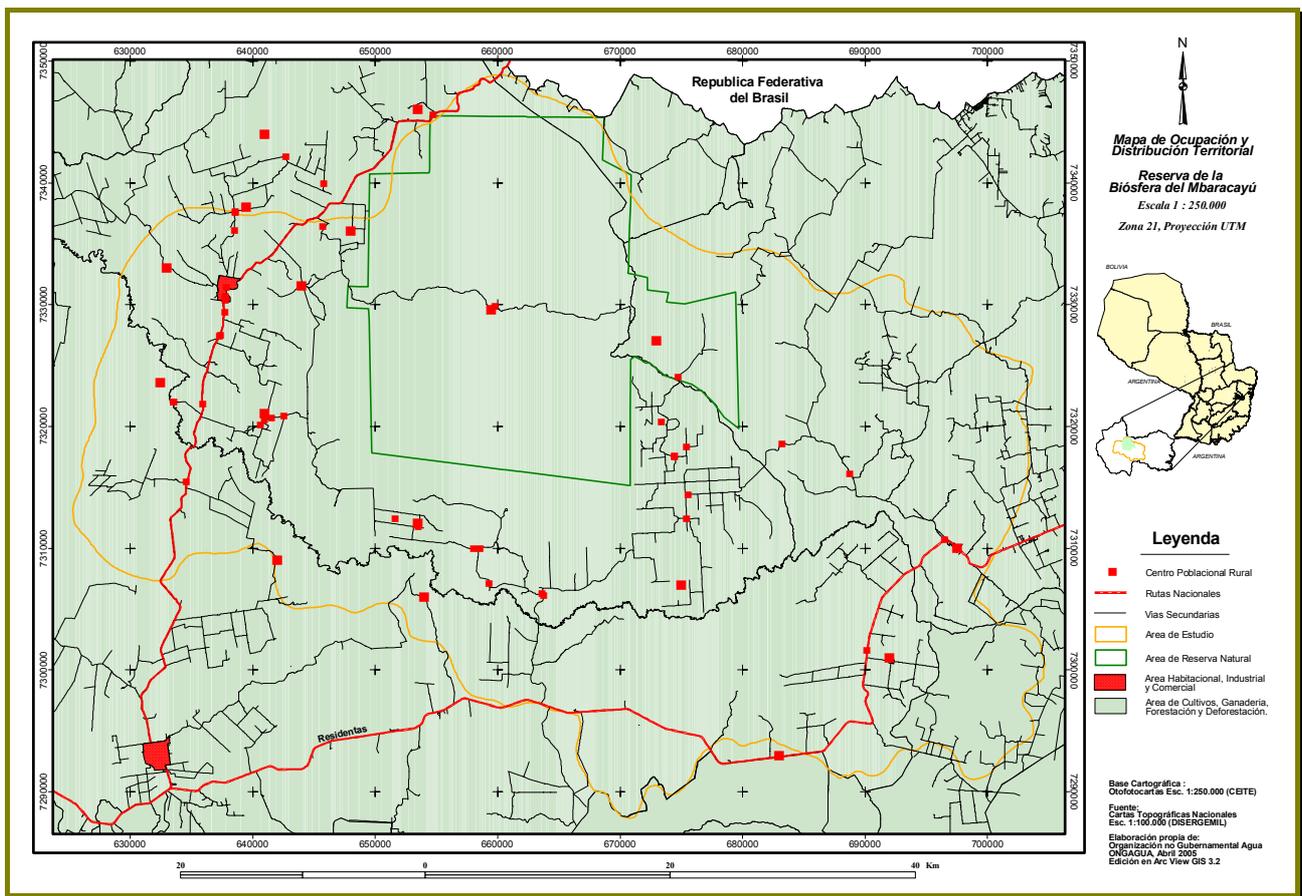


Figura 8. Mapa de Ocupación y Distribución territorial del área de la Biosfera del Bosque Mbaracayú

Los programas de prevención y control de la contaminación de acuíferos deben ejercer la protección general del acuífero, sobre todo en las áreas de recarga, con medidas de control de las actividades que puedan afectarlo seria y permanentemente y establecer perímetros especial de protección en torno a las baterías de pozos de abastecimiento doméstico.

El criterio para definir el manejo del uso de la tierra en relación con el agua subterránea difiere mucho de un lugar a otro, y sólo puede ser determinado con el conocimiento apropiado de las condiciones naturales, junto con los tipos de impactos medioambientales, humanos y con el conocimiento del sistema del agua subterránea del área afectado.

Fueron zonificadas dos áreas de protección del acuífero de: "primera" y "segunda", según las prioridades, en la Figura 10, se observa el *mapa de Protección del Acuífero* en el él área de la Reserva de la Biosfera del Bosque Mbaracayú

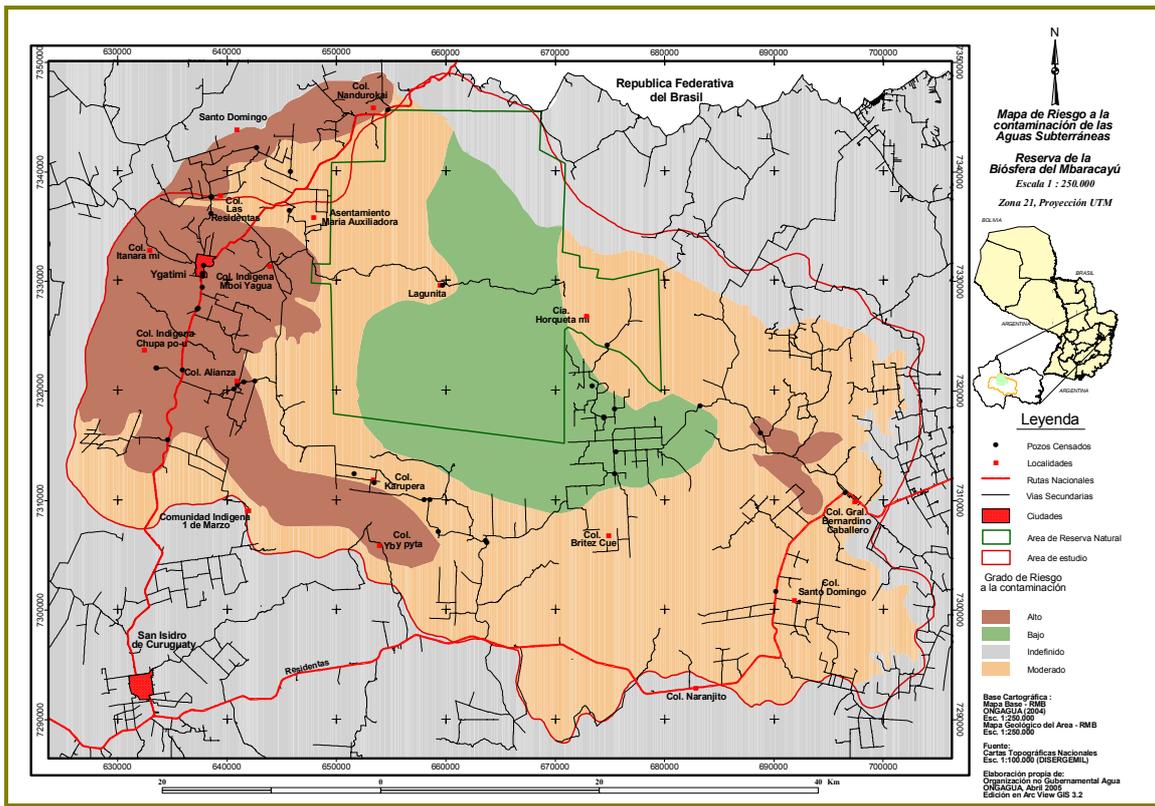


Figura 9. Mapa de Riesgo a la Contaminación del Agua Subterránea del área de Biosfera de la Reserva del Bosque Mbaracayú.

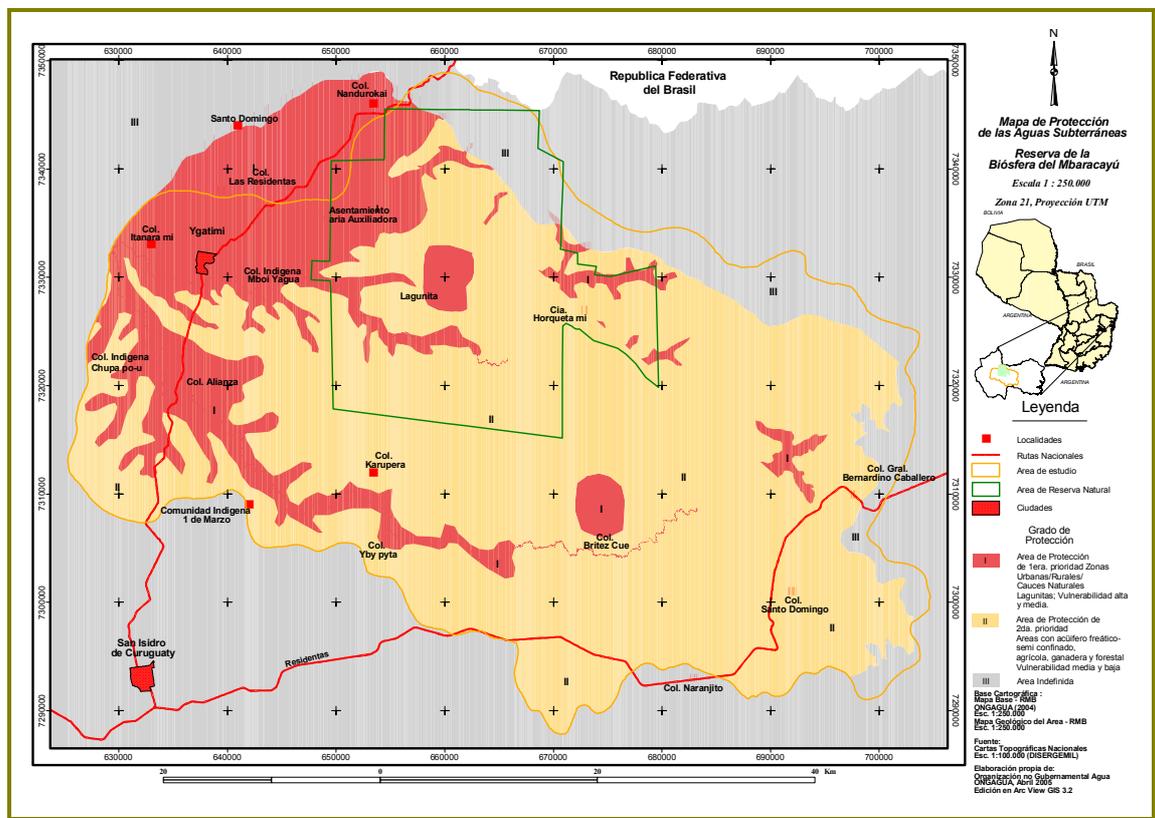


Figura 10. Mapa de Protección del Agua Subterránea en el área de la Reserva de la Biosfera del Bosque Mbaracayú

Tabla 5. Áreas de protección del acuífero con algunas medidas recomendadas y sugerencias para las diferentes zonificación

<p>Áreas de protección de primera prioridad: se refiere a aquellas áreas con agua dulce utilizadas para abastecimientos de casas, industrias, hospitales y otros; áreas donde el nivel freático se encuentra a menos de 10 m de la superficie de la tierra: áreas de facies arenosas y cursos de aguas superficiales naturales (lagunas, arroyos, ríos); áreas rurales urbanizadas/industriales; áreas rurales; áreas de recarga locales del acuífero freático; áreas de vulnerabilidad alta baja y media alta; corresponden al acuífero Misiones = acuífero Guarani y al acuífero Independencia.</p>
<p>Se deben establecer medidas y procedimientos para áreas urbanas rurales / industriales en el manejo de:</p> <p>a- Basuras y efluentes domésticos b-Basuras y efluentes industriales c - Áreas agrícolas</p> <p>-Los usos de pesticidas; usos descontrolados de fertilizantes; almacenamientos de pesticidas, son inaceptables, salvo algunos casos sujetos a investigación de manejo especial, con EIA (estudios de impacto ambiental) -Cultivos con poca necesidad de fertilizantes son aceptables</p>
<p>Áreas de protección de segunda prioridad: se refiere a aquellas áreas con acuíferos freáticos y cerca de cursos de aguas; presentando facies de sedimentos muy finos, limos con intercalaciones de de lutitas, presentando facies de limonitas, o areniscas muy finas; Acuífero Independencia – Pérmico; -son áreas de ocupación territorial preferentemente agrícola, ganadera y forestal; áreas con vulnerabilidad de acuífero media alta (VMA); media (VMM) y baja baja. Acuífero Independencia – Pérmico</p>
<p>1- Establecer un Plan de desarrollo urbano rural para Gestión de agua en las pequeñas localidades dentro del área, en el cual deben ser indicados los lugares para futuras disposición de efluentes líquidos y sólidos, es de mencionar que para cualquier localización de disposición necesitan contar con estudios de EIA (estudios del impacto ambiental)</p> <p>para ello se sugiere:</p> <ul style="list-style-type: none"> - programas de educación ambiental en instituciones educacionales y asociaciones; - instalación de carteles con mensajes de conservación de los recursos hídricos <p>2- Los desechos (basuras) no deben tener un impacto contaminante sobre el agua subterránea. Por razones de higiene y salud los lugares de depósitos de basuras y tratamientos de efluentes deben ser ubicados fuera del área urbana.</p> <p>3- Producción agrícola intensiva y moderna, con uso intenso de fertilizantes y plaguicidas, en suelos bien drenados, son aceptables con un buen diseño de manejo con (EIA).</p> <p>4- Uso intensivo de fertilizantes en cultivos de alto consumo, con un manejo adecuado es aceptable</p> <p>5- Cría intensiva del ganado, aceptable sujeto a diseño adecuado</p>
<p> </p>

8. CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS

-Fueron reconocidas formaciones sedimentarias del Pérmico (Pi=Grupo Independencia) y un conjunto sedimentario (Ms=Formación Misiones) a volcánico (Mbv=Formación Alto Paraná) de edad Mesozoica. Este ultimo conjunto en parte pueden estar cubiertos (al NE) por sedimentos del Terciario (Ts=Formación Acaray). Fue colocada en la mira dos puntos de probable intrusión de rocas alcalinas =Mi (a los que se le atribuye una edad probable del Jurásico) que se habrían instalado en rocas tipo Pi y/o Ms.

- Se identificaron 4 acuíferos: Acuífero Independencia, abarcando el 66% del área; Acuífero Guaraní, con el 26% en el área del RBBMb (siendo aflorante 18% y confinado 8,3 %), ; Acuífero Alto Paraná, con el 8,3% y Acuífero Acaray, con el 1%

- El sentido preferencial de la dirección del flujo regional es hacia el oeste, coincidiendo también con el flujo local.

- Químicamente las aguas subterráneas mas someras son bicarbonatadas cálcicas pasando a bicarbonatadas sódicas las profundas correspondiendo al acuífero Independencia.

- Análisis de agua presentan altos valores de nitrato (68 mg/L) y algunas muestras también amonio. Este tipo de contaminación es causado por las materias fecales introducidos al acuífero por letrinas y fosas sépticas. En muchos casos, los responsables por la contaminación son pozos defectuosamente construidos, que carecen de un adecuado sello sanitario en la superficie del terreno y en los pozos cavados, la falta de una tapa para no estar expuestos al ingreso de cualquier sustancia o animal (sapos, insectos, etc) que al perecer dejan un olor nauseabundo en las aguas. La cercanía de las letrinas de los pozos cavados contribuyen a la contaminación de las aguas subterráneas.

-Se observaron pozos abandonados, sin sellos (aislamiento). Un caso observado fue en el área de lagunita dentro de la reserva del parque, donde el pozo fue abandonado y se encuentra abierto, aparte de ello la construcción del baño-letrina se encuentra cerca, muestras de agua no fueron tomadas, pero se descarta la no potabilidad de sus aguas, esta ventana al acuífero debe ser sellada de inmediato

- Los grados de vulnerabilidad de los acuíferos freáticos fueron mapeados como de vulnerabilidad alta-baja (VAB) a media-media (VMM), y los acuíferos semi-confinados con vulnerabilidad baja-baja (VBB).

- Se zonificaron dos áreas de protección, según prioridades, siendo **Áreas de protección de primera prioridad**, aquellas áreas con agua dulce utilizadas para abastecimientos de casas, industrias, hospitales y otros; áreas donde el nivel freático se encuentra a menos de 10 m de la superficie de la tierra: áreas de facies arenosas y cursos de aguas superficiales naturales; áreas

rurales urbanizadas/industriales;; áreas de recarga del acuífero freático; áreas de vulnerabilidad alta baja y media alta (acuífero Guaraní e Independencia); de **segunda prioridad**: siendo aquellas áreas con acuíferos freáticos y cerca de cursos de aguas; presentando facies de sedimentos muy finos, limos con intercalaciones de lutitas, presentando facies de limonitas, o areniscas muy finas; Acuífero Independencia – Pérmico; - son áreas de ocupación territorial preferentemente agrícola, ganadera y forestal; áreas con vulnerabilidad de acuífero media alta (VMA); media (VMM) y baja-baja (Acuífero Independencia del pérmico).

-Las poblaciones urbanas y rurales/urbanas en el área de la RBBMb carecen de sistemas de alcantarillados. Las casas tienen pozos negros y fosas sépticas para desperdicios de cocina y baños sanitarios. Las basuras son depositadas en excavaciones y en ocasiones incineradas.

-*Se sugiere* que las instalaciones de puesto de abastecimiento de combustible para un lugar más alejado del sistema de producción de agua para consumo público y en caso de estar ya instalado hacer su traslado.

-En el caso de los pozos abandonados, recomienda-se su aislamiento (rellenando o cementando), para evitar la contaminación del acuífero.

-Es importante que los pozos negros sean substituidos por pozos sépticos dentro del área de protección de primera prioridad del acuífero freático,

-Es necesario implementar un sistema para proteger al agua subterránea, ya que es el recurso usado para el consumo humano, ganadero, agrícola e industrial, además de establecer un sistema de desagüe cloacal y de residuos líquidos y sólidos en la comunidad.

-Tener una legislación con respecto a la protección de los acuíferos y adecuarlos a las necesidades de cada región, y acompañar el cumplimiento de dichas disposiciones legales contando con recursos humanos y financieros para resolver la situación.

-Establecer programas regionales para prevenir y controlar la contaminación y para la busca de soluciones de los problemas existentes.

-Programar campañas de divulgación y capacitación, con el objetivo de prevenir, corregir o atenuar los problemas en otras áreas.

-Llevar a consideración que la construcción de los pozos, estos deben poseer un sello sanitario de modo a evitar la entrada de contaminantes, con la construcción de una plataforma de concreto alrededor de la cabeza o brocal de los pozos perforados y cavados, para impedir para impedir que por escurrimiento sean introducidos factores exógenos que puedan alterar la calidad del agua subterránea.

-Se recomienda realizar una investigación en detalle del área urbano rural de Villa Ygatimí, es una área con riesgo a la contaminación alto y con una vulnerabilidad de su acuífero también alta, sumado a la carga poblacional , por lo que amerita un estudio en detalle, es decir a escala local,

para determinar su grado y origen de contaminación, como así también zonificar áreas de protección dentro del centro urbano, para un ordenamiento territorial (habitacional, industrial, cultivo).

9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] DINAC, (1992) - Balance Hídrico Superficial del Paraguay – Memoria Descriptiva – Dirección de Meteorología e Hidrología, 78 p.
- [2] FARIÑA, S.L. (2001) Proteção da Água subterrânea Freática na Área Urbana Rural de Neu Halbstadt (Chaco-Paraguai). São Paulo, 87 p. Dissertação (Mestrado), Instituto de Geociências – Universidade São Paulo.
- [3] FOSTER, S. 1987. Fundamental concept in aquifer vulnerability pollution risk and protection strategy. Proc. Intl. Conf. “Vulnerability of soil and groundwater to pollution” (Nordwijk, The Netherlands, April 1987).
- [4] FOSTER, S.S.D. & HIRATA, R.C.A. (1988) Groundwater pollution risk evaluation: a methodology using available data, CEPI's - PAHO/WHO, Lima. 78 p.
- [5] GOBIERNO DEL PARAGUAY; NACIONES UNIDAS (1986) Mapa Hidrogeológico de Paraguay. PAR/83/005. Asunción (Escala 1:1.000.000).
- [6] LANGELIER, W.F. & LUDWIG, H.F. (1942) – Graphical methods for indicating the mineral character of natural water. J. Amer. Water Works Ass., Baltimore, Md.
- [7] LARROZA F.A.; CENTURIÓN, C.R.I. (1996) Resultados de las investigaciones hidrogeológicas e hidroquímicas realizadas en el área urbana de Loma Plata - Chaco Paraguayo y recomendaciones para la protección del agua subterránea. Filadelfia – Chaco (Py), DRH/BGR, p. 20. (Serie de informes Técnicos, n. 18).
- [8] LOPES M.F.C. (1984) Agua subterránea no estado de Sao Paulo-Sinteisi de las condiciones de ocurrencia. Anais 3º Congresso Brasileiro de Aguas Subterraneas. Fortaleza-Ceará. P.305-316.
- [9] SENASA. Datos de pozos. Archivos del Departamento de Recursos Hídricos. M.S.P. y B.S..
- [10] IG-CETESB-DAEE (1987) Mapeamento da vulnerabilidade e risco de polucao das aguas subterraneas no Estado de Sao Paulo. vol.1, 129 p., Sao Paulo, Brasil
- [11] T.A.C (1981) – Geology Map of Eastern Paraguay. 1:500.000 (Compilación por F. Wiens) 1 Mapa (inédito, Asunción).
- [12] VON HOYER, M. (1996) – Protección de Agua Subterránea a la Contaminación en Áreas Urbanas en el Chaco Paraguayo. Primer Congreso de Ingeniería Sanitaria y Ambiental – Asunción, Paraguay. 16 pág.
- [13] WOLD HEALTH ORGANISATION (1984) Guidelines for drinking water quality. vol. 1. Recommendation, New York – USA.