



Caracterización de los Recursos Hídricos para la Gestión de la Protección de la Biósfera del Bosque del Bosque Mbaracayu (Departamento Canindeyú) y de la Reserva Natural de Tapytá (Departamento de Caazapá) Paraguay

Sandra Fariña, Fernando Larroza, Jaime Baéz Presser, Nestor Cabral, Margarita Pereira, Oscar Romero, Germán Mallen, Evangelista Avalos

sandra.dolsa@gmail.com; fernando.larroza@gmail.com; jaimoleonardobp@gmail.com; mmepereira@gmail.com; cabralnestor@gmail.com; oscar.romero.martinez@hotmail.com; german.mallen@gmx.de; evavalos57@gmail.com

ORGANIZACIÓN NO GUBERNAMENTAL AGUA (ONGAGUA) PROGRAMA PROCIENCIA – CONVOCATORIA 2013 - PROYECTO 14-INV-197

Tabla de contenido

RESUMEN	6
1. INTRODUCCIÓN	6
1.1. Justificativo.....	7
1.1. Antecedentes	8
1.2. Objetivos	8
1.3. Los resultados esperados:	8
1.4. Localización: La RNT	9
1.5. Topografía de la RNT	9
1.6. Aspectos climáticos RNT	10
1.7. Localización de la RBBM	10
1.8. Topografía de la RBM	11
1.9. Aspectos climáticos RBBM.....	11
1.10. Reseña Histórica de la Reserva Natural de Tapytá (RNT)	13
1.11. Reseña histórica de la Reserva de la Biósfera del Bosque Mbaracayu (RBBM)	13
1.12. Características físicas del área.....	15
1.12.1. Características del suelo	15
1.12.2. Características Geológicas e Hidrogeológicas	15
2. MATERIALES Y MÉTODO	16
3. RESULTADOS	22

3.1. Balance Hídrico estimado para las subcuencas de las áreas de estudio	22
3.1.1.1. <i>Según SEAM, 2014</i>	22
3.1.1.2. <i>Según ITAIPU, 2013</i>	23
3.1.1.3. <i>Verificación utilizando valores hidrometeorológicos registrados dentro de la región.</i>	23
3.1.2. Balance Hídrico estimado para la cuenca del rio Tebicuary de la Reserva Natural Tapytá	24
3.1.2.1. <i>Según SEAM, 2014</i>	25
3.1.2.2. <i>Según Curva de Regresión Lineal (Calculada para este proyecto)</i>	25
3.1.2.3. <i>Verificación utilizando valores hidrometeorológicos registrados dentro de la región</i>	25
3.2. Suelo	26
3.2.1. Suelos identificados en las áreas de estudio (Figura 9 y Figura 10), basado en : PRUT-López et el., (1995).	28
3.3. Geología.....	29
3.3.1. RNT - Posible cráter de Impacto Tapytá	32
3.3.2. En la Reserva Natural Mbaracayú	34
3.4. Modelo Conceptual Hidrogeológico de las áreas de las Reservas Naturales de Bosque Mbaracayu y Tapytá	36
3.4.1. Área de la Biósfera del Bosque del Mbaracayú	37
3.4.2. Área de la RNT	40
3.5. Características químicas	42
3.5.1. Análisis de los resultados físico químicos del agua.....	43
3.5.1.1. Reserva Natural de Tapyta - RNT	43
3.5.1.2. Reserva de la Biósfera del Bosque Mbaracayu - RBBM	46
3.5.2. δD y $\delta^{18}O$ Isotopos ambientales en aguas subterráneas y superficiales de Bosque Mbaracayu y Tapytá	51
3.5.3. Análisis biológico - Fitoplancton	55
3.5.3.1. Reserva Natural Tapytá.....	55
3.5.3.2. Reserva de la Biósfera del Bosque Mbaracayu.	56
3.5.4. Análisis de los resultados de pesticidas	57
3.5.4.1. Resultados de las determinaciones de Pesticida y Glifosato - RNT	58
3.5.4.2. Resultados de las determinaciones de Pesticida y Glifosato – Reserva del Bosque Mbaracayu	59

3.6. Protección de las aguas subterráneas vulnerabilidad de acuífero: métodos GOD y DRASTIC, Riesgo y Protección	59
3.6.1. Mapa de vulnerabilidad a la contaminación de acuífero – DRASTIC – GOD	60
3.6.1.1. Variables hidrogeológicas y fuentes adoptadas para DRASTIC y GOD	60
3.6.1.2. Resultados del modelo GOD y DRASTIC de la RNT	62
3.6.1.2.1. Mapas de Vulnerabilidad del acuífero a la contaminación – RNT -	64
3.6.1.3. Resultados del modelo GOD y DRASTIC de la RBBM	65
3.6.1.4. Mapas de Vulnerabilidad del acuífero a la contaminación – Reserva de la Biósfera del Bosque del Bosque Mbaracayu	66
3.6.2. Riesgo a la contaminación del Acuífero	68
3.7. Protección de los Recursos Hídricos Subterráneos y superficial – RNT y RBM.....	73
3.7.1. Zonificación de prioridades para la protección de los recursos hídricos	73
3.8. Propuesta del plan de monitoreo para las areas de estudios (RBBosque Mbaracayu y RNTapytá)	78
3.8.1. Los objetivos del plan de monitoreo son:.....	78
3.8.2. Red de monitoreo	78
3.8.3. Parámetros tentativos para aguas subterránea y superficial.....	78
3.8.3.1. <i>in situ</i> :	79
3.8.3.2. <i>En Laboratorio</i>	79
3.8.3.2.1. De rutina,.....	79
3.8.3.2.2. Determinaciones específicas en agua superficial.....	79
3.8.4. Procedimiento	82
4. DISCUSIONES	85
5. CONCLUSIONES	86
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91

Lista de Figuras

Figura 1. Mapa de ubicación de las áreas de estudio, cuencas y red hidrográfica. Los datos utilizados para la confección de los mapas se corresponden con las siguientes referencias: Hidrografía nacional: Dirección General de Estadística, Encuestas y Censos, 2002.	10
Figra 2 Esquema de las valoraciones de los parámetros de GOD	19
Figura 3. Izquierda: Esquema conceptual para la evaluación del riesgo a la contaminación del agua subterránea. Derecha: Matriz de riesgo para utilización mediante un SIG, (Fuente: SARO, 2001 apud Gadea, 2009).	21

Figura 4. Valores de Precipitación media mensual - Pedro Juan Caballero.....	24
Figura 5. Valores de Evapotranspiración Potencial media mensual – Pedro Juan Caballero.	24
Figura 6. Curva de regresión lineal que relaciona área de drenaje y caudal	25
Figura 7. Valores de precipitación media mensual San Juan Bautista media mensual en San Juan Bautista	26
Figura 8. Valores de evapotranspiración potencial San Juan Bautista media mensual en San Juan Bautista	26
Figura 9. Mapa Taxonomico de suelo del area de la RNT. Fuente: PRUT-López et el., (1995).	27
Figura 10. Mapa Taxonomico de suelos del area de la Reservava de la Biósfera del Bosque Mbaracayu. Fuente: : PRUT-López et el., (1995).....	28
Figura 11. Mapa geológico del área de la RNT,.....	30
Figura 12 Mapa geológico de la Reserva de la Biósfera de Bosque Mbaracayu (Fuente: ONGAgua, 2004).	30
Figura 13. Esquema de la Arquitectura /profundidad del basamento con base a gravimetría free-air junto al área de la Reserva.	33
Figura 14 Corte geológico de una secuencia estratigráfica simple de areniscas y lutitas, con aguas confinadas, no confinadas y colgadas. Corte geológico `puede traducirse para nuestra área considerando la secuencia estratigráfica de areniscas, y la capa semipermeable de areniscas/siltitas y lutitas/siltitas.	36
Figura 15 Modelo conceptual hidroestratigráfico del área de la Reserva de del Bosque Mbaracayu y sus alrededores	38
Figura 16. Mapa piezométrico del acuífero somero, basados en datos de pozos de hasta 32 metros de profundidad.	39
Figura 17. Mapa de profundidad del nivel del agua subterránea en el área de la Reserva del Bosque Mbaracayu y alrededores. Las flechas muestran las direcciones de flujos preferenciales.	39
Figura 18. Modelo conceptual hidro estratigráfico del área de la RNT y alrededores.	41
Figura 19. Mapa de profundidad del agua subterránea y direcciones principales del flujo subterráneo.....	42
Figura 20. Diagrama de Piper - Clasificación de las aguas superficiales (izquierda) y subterránea (derecha).....	43
Figura 21. Gráfico de valores de hierro y arsénico en agua superficial (izquierda) y de agua subterránea (derecha).....	44
Figura 22. Diagrama de Piper - Clasificación de las aguas superficiales y subterránea del área del Bosque Mbaracayu – Lo encerrado en líneas corresponden a aguas superficiales.	47
Figura 23. a. Línea meteórica global y local (GMWL, LMWL), la última basada en datos mensuales de los isotopos estables de precipitaciones en Asunción, 1961-67 (GNIP). b. $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$ de lluvias en Asunción, de 2008 a 2010, y su línea meteórica local prácticamente idéntica	

a la GMWL. Cuadrados rojos: Noviembre a Abril; Azul: Mayo a Octubre (HOUBEN et al. 2010).	51
Figura 24. $\delta^2\text{H}$ vs. $\delta^{18}\text{O}$ de aguas superficiales y subterráneas de Bosque Mbaracayu y Tapytá, comparado con el promedio ponderado ($\sum(\delta_i \cdot P_i) / \sum P_i$) de las precipitaciones de Asunción 1961-67 (GNIP). La línea de evaporación (EvL, azul) es generada en la laguna 13 MBA afectada por evaporación, partiendo de agua de composición isotópica inicial como encontrada en 12 MBA aproximadamente.	52
Figura 25. Divisiones encontradas en los puntos muestreados.	56
Figura 26. Mapa de vulnerabilidad de acuífero a la contaminación de la RNT– Método GOD.	63
Figura 27. Mapa de vulnerabilidad de acuífero a la contaminación de la RNT– Método DRASTIC No Pesticida.	64
Figura 28. Mapa de vulnerabilidad de acuífero a la contaminación de la RNT– Método DRASTIC para Pesticida.	64
Figura 29 .Porcentajes de distribución de la Vulnerabilidad del acuífero – Métodos: GOD y DRASTIC (Para Pesticida y No Pesticida)	65
Figura 30. Mapa de vulnerabilidad de acuífero a la contaminación de la Reserva del Bosque Mbaracayu – Método GOD	66
Figura 31. Mapa de vulnerabilidad de acuífero a la contaminación de la Reserva del Bosque Mbaracayu– Método DRASTIC No Pesticida.	67
Figura 32. Mapa de vulnerabilidad de acuífero a la contaminación de la Reserva del Bosque Mbaracayu – Con Pesticida.	67
Figura 33. Porcentajes de distribución de la Vulnerabilidad del acuífero – Métodos: GOD y DRASTIC (Para Pesticida y No Pesticida).	68
Figura 34. Mapa de Uso de Suelo del área de la RNT clasificado para en áreas de humedal, bosque, cultivo y espejo de agua, para aplicar a la Matriz de Riesgo (Figura 3).	69
Figura 35. Mapa de riesgo del área de la RNT, con base del mapa de Vulnerabilidad específica para pesticida (Figura 26) y mapa de Uso del Suelo (Figura 32).	70
Figura 36. Mapa de Uso de Suelo del área de la Reserva del Bosque Mbaracayu clasificado para en áreas de humedal, bosque, cultivo y espejo de agua, para aplicar a la Matriz de Riesgo (Figura 3).	71
Figura 37. Mapa de riesgo del área de la RNT, con base del mapa de Vulnerabilidad específica para pesticida (Figura 30) y mapa de Uso del Suelo (Figura 33).	72
Figura 38. Mapa de protección de los recursos hídricos - Vulnerabilidad DRASTIC – Ponderación Con Pesticid - RNT.	74
Figura 39. Mapa de protección de los recursos hídricos - Vulnerabilidad GOD- RNT.	74
Figura 40. Mapa de Protección de los recursos hídricos RBM - Vulnerabilidad DRASTIC - Ponderación Con Pesticida.	75
Figura 41. Mapa de Protección de los recursos hídricos RBM - Vulnerabilidad GOD - Reserva del Bosque Mbaracayu	75

Figura 42. Mapa de distribución de los puntos para monitoreo en el área de la RNT	83
Figura 43. Mapa de distribución de los puntos para monitoreo en el área de la RBM.	84

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1. Mapa topográfico, mostrando los límites de la RNT y parte del amortiguamiento, ubicándose en el límite entre los distritos de San Juan Nepomuceno y Tavaí.	12
Ilustración 2. Mapa de curvas topográficas, de 140 msnm las menores y 450 msnm las mayores.	12

Lista de Tablas

Tabla 1. Categoría de vulnerabilidad método GOD	18
Tabla 2. Parámetros valorados para el método DRASTIC	20
Tabla 3. Datos de resultados fisicoquímicos de las aguas subterráneas y superficiales del área de la RNT	45
Tabla 4. Datos de resultados fisicoquímicos de las aguas subterránea y superficial del área de la Reserva de la Biósfera del Bosque Mbaracayu	49
Tabla 5. Resultados de isótopos ambientales de Oxígeno y Deuterio de las áreas de la RNT y Bosque Mbaracayu.....	54
Tabla 6. Número de especies por División.	56
Tabla 7. Resultados de los pesticidas - área de la RNT	58
Tabla 8. Resultados de los pesticidas - área de la Reserva del Bosque Mbaracayu.....	59
Tabla 9. Descripción de los criterios aplicados para la selección de los datos y valores utilizados.....	61
Tabla 10. Guía alemana sobre el monitoreo de frecuencias en relación con las propiedades del acuífero	80
Tabla 11. Puntos y parámetros propuestos para la red de monitoreo en la Reserva del Bosque Mbaracayu	81
Tabla 12. Puntos y parámetros propuestos para la red de monitoreo en la Reserva del Bosque Mbaracayu	82

Lista de Cuadros

Cuadro 1. Parámetros valorados en el método GOD	18
Cuadro 2. Factor de ponderación del método DRASTIC	19
Cuadro 3. Especies químicas de plaguicidas y su respectiva aplicación	57
Cuadro 4. Definición Práctica de Clases de Vulnerabilidad a la Contaminación de Acuíferos.	61
Cuadro 5. Zonificaciones de áreas de protección: primera prioridad – segunda prioridad e insignificante (basado en el uso actual de la tierra, fechado en diciembre, 2016-enero, 2017).	76

Lista de Fotos

Foto 1. Relevamiento de datos de los pozos (someros y profundos) y cauces de agua con mediciones de pH, CE, OD, T, también ancho y profundidad.....	17
Foto 2. Geología del area de la RNT y area de influencia	31
Foto 3. Exposiciones de los sedimentos de la Formacion Pi (pérmico) y Formación Misiones (Triásico/Jurásico). La foto i es un zoom de la foto h.....	31
Foto 4. Fotografías del paisaje de los Basaltos Mbv. a- Norte de Nandurokai. Aquí la imagen fue tomada desde lo alto del plateau basaltico Mbv. El valle corresponde a los terrenos ocupados por sedimentos del tipo Ms. b-c-d-e Entre Ypejhu y Nandurokai. En d el martillo muestra una probable lente de areniscas rojizas, con estratificación cruzada de la Fm. Ms, entre derrames de los basaltos -interpretado como duna formada entre dos periodos distintos de efusión de las lavas.	35

Lista de Anexos

Anexo 1. MAPAS GENERADOS PARA EL ÁREA DE ESTUDIO DE LA RESERVA NATURAL DE TAPYTA - RNT	96
Anexo. 2. MAPAS GENERADOS PARA EL AREA DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA DEL BOSQUE MBARACAYU	111

RESUMEN

Se realizaron actividades previas, de recopilación de la información histórica y se generó nuevos datos con trabajos en campo y en laboratorio análisis de agua fisicoquímicos, pesticidas e isotópicos. Presentan tipo de agua dulce, bicarbonatadas cálcicas, sódica y levemente sulfatada y clorurada sódica y clorurada sódica basado en el Diagrama de Piper, indicando mezclas de aguas superficial con subterránea. En la reserva de Tapytá se encontraron concentraciones de arsénico de hasta 2.36 mg/L en arroyos y 0.2 mg/L en pozo somero. En la reserva del Mbaracayu las aguas se presentan de buena calidad para consumo humano. Para la protección de las aguas subterráneas se representa por medio de cartografía, se adopta el método GOD y DRASTIC". Tapytá presenta una vulnerabilidad baja del 88% y para pesticidas pasan a moderada baja y alta 28%, y en Mbaracayu 49,5% para la vulnerabilidad moderado bajo igual porcentaje para moderado alto, para pesticidas el moderado bajo pasa a moderado alto. Las intercalaciones de siltitas y sedimentos arcillosos influyen para la vulnerabilidad y la tasa de recarga va en proporción directa con el grado de vulnerabilidad. La reserva de Tapytá es área de descarga y la reserva de Mbaracayu recarga/descarga, la dirección del flujo subterráneo localmente convergen, influenciados por las estructuras geológicas. Uno de los mayores aportes de la revisión de la geología es el reconocimiento de "una posible estructura de impacto de gran diámetro, sujeto a estudios posteriores

1. INTRODUCCIÓN

El agua es recursos importante que amerita cuidado, y es un reto actualmente su sostenibilidad en cuanto a su cantidad a la gestión de su calidad; debido al incremento de actividades antrópicas sobre sus áreas de recarga y nacientes especialmente por prácticas

agrícolas donde su uso de agroquímicos. Estos resultados constituyen un aporte para la gestión ambiental y un punto de partida para investigaciones encaminadas a la protección de los recursos hídricos contra la contaminación por plaguicidas y demás sustancias de especial cuidado ambiental (Hiscock, H, 2005 apud. Vergara, et al. 2009), y soporte para los "programas del Plan de Manejo las Reservas naturales con indicadores para el plan de monitoreo, con énfasis en recursos hídricos y también a tomar decisiones basadas en el riesgo de contaminación de acuíferos, y protección del agua subterránea, donde se definen tratamiento prioritario con recomendaciones. Se emplea el método empírico GOD de Foster & Hirata (1988) y método DRASTIC de Aller et al., (1987) para la cartografía de vulnerabilidad de acuífero, apoyado por estudios de campo geológico-hidrogeológico y con recolección de muestras de agua para análisis químicos.

Este documento está estructurado de manera que en la primera parte se introduzca a la descripción de la zona de estudio, la cual, contempla el establecimiento de su ubicación geográfica y algunas características físicas del lugar, posteriormente se presentan los objetivos de la investigación, conjuntamente con la metodología empleada, para posteriormente hacer la descripción geológica, con descripción de campo; la interpretación hidrogeológica en la que se detallan y describen las unidades hidrogeológicas las formaciones geológicas presentes, un balance hídrico de las cuencas, llegando a realizar el análisis de la vulnerabilidad intrínseca y específica de los acuíferos identificados junto con su respectivo mapeo del riesgo a la contaminación, y para finalizar con zonificaciones de protección de los recursos hídricos y el diseño de monitoreo con las conclusiones y recomendaciones establecidas para el presente informe.

1.1. Justificativo

Las fuentes hídricas que constituyen las capas freáticas y las aguas de superficie no son inagotables, es decir, que la cantidad de agua que puede retirarse del medio ambiente no es ilimitada. Por tanto, es preciso administrar los recursos hídricos, indispensables para conservar la vida en la tierra de una manera realmente apropiada.

La escasez de documentación científica en el Paraguay relativa a estudios de recursos hídricos subterráneos en reservas naturales, parques nacionales y biosferas justifica lo expresado (Custodio y Llamas, 1976), donde la explicación se debe a la idiosincrasia de la percepción humana, ya que el hombre tiende a menospreciar la importancia de lo que no ve, como es el agua del subsuelo y de los sistemas acuíferos, de gran inercia, por lo que los efectos debidos a su perturbación se dejan sentir a menudo tardíamente

El resultado de las metodologías y conocimientos generados puede ser un aporte para los "programas y subprogramas" del Plan de Manejo 2015-2020 de la Reserva Natural de Tapytá y de la Biosfera del Mbaracayú 2016 - 2025, siendo responsable de la ejecución la Fundación Moisés Bertoni, aplicados en el Desarrollo de Plan de Monitoreo e Identificación de indicadores para el monitoreo y Diseño de un Plan de Monitoreo, con énfasis en recursos hídricos y también a tomar decisiones basadas en el riesgo de contaminación de acuíferos y aguas superficiales, por ejemplo: donde instalar un pozo comunitario, zoneamiento de uso y ocupación del suelo, instalación de una red de monitoreo de calidad de las aguas subterráneas y estaciones de mediciones de altura de los arroyos y ríos;

definición de las áreas que necesitan recibir un tratamiento prioritario en cuanto a su protección o a posibles investigaciones adicionales, protección de las nacientes, por mencionar algunas acciones posibles.

Por la importancia vital que ejercen la disponibilidad hídrica para la conservación de nuestras reservas como reservorios de bosques y como proveedores confiables de agua fresca para consumo humano, animal y riego.

Los datos de base que se obtendrán, y la definición de parámetros de monitoreos que se propondrán, serán de un valor científico valioso, para poder en el futuro realizar observaciones de la calidad, cantidad de parámetros ambientales, para aplaudir el manejo sustentable de las Reservas Naturales o como llamado de atención y poder re adecuar ciertas prácticas en pos del mejoramiento de dicha naturaleza.

1.1. Antecedentes

ONGagua, (2005), realizó un estudio de investigación en la Reserva de la Biosfera del Bosque Mbaracayu, para la Fundación Moisés Bertoni, abarcando el área de la cuenca del río Jejuí Guazú de aproximadamente 2.915 Km², dando como resultados áreas prioritarias para la protección de acuíferos, según su vulnerabilidad y de mapas temáticos de vulnerabilidad, riesgo y protección de acuíferos, así como medidas recomendadas 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.

Este método viene siendo utilizado en varios países, en el Paraguay existe experiencia en su realización y como una herramienta de gestión y ordenamiento territorial en los centros urbanos rurales del Chaco central y de la región Oriental, como de Godoy, von Hoyer, (1995); Larroza & Centurión, (1996); Larroza F. S, (2001); Rojas & Passig, (2001); Larroza, Fariña, Duarte, (1998); Laino, (2005); Gadea, (2009); Musálem et al., (2015).

1.2. Objetivos

- El objetivo general: es del proponer directrices o medidas para el plan de manejo de los recursos hídricos en ambas reservas;
- Los objetivos específicos son: - realizar estudios de línea base en detalle que incluye mapeo geológico/hidrogeológico y muestreo de aguas superficiales y subterráneas para análisis de calidad química; - elaborar mapas de vulnerabilidad y de riesgo del acuífero y de protección de los recursos hídricos - orientar la gestión para la protección de los Recursos Hídricos .

1.3. Los resultados esperados:

Basado en los estudios geológica e hidrogeológica -, entender el comportamiento de las aguas subterráneas en especial y su estado actual en calidad química según indicadores de

los compuestos nitrogenados, fosfatos, total de sólidos disueltos, arsénico, total de sólidos disueltos, de pesticidas y glifosato; y, tener mapas de vulnerabilidad, riesgo y protección de acuíferos, donde se tenga una orientación de las actividades que no causan riesgos y las potencialmente riesgosas para la contaminación de los acuíferos, y la elaboración de un plan de monitoreo a seguir posteriormente.

1.4. Localización: La RNT

La Reserva Natural de Tapyta (RNT) está situada en el Distrito de San Juan Nepomuceno y Tavai (Figura 1 e Ilustración 1), consta de dos cuerpos; uno de 4.461 has y otro de 275 has. en FMB, (2004, 2006 y 2014). La RNT se encuentra en el área de cabecera del río Tebicuary, río que a su vez luego desemboca en el río Paraguay. Los principales cursos de agua que la integran son el arroyo Jacuy al Norte, el arroyo Tayay que recorre la reserva de norte a sur para luego en confluencia con el arroyo Yuqueri al Sur Oeste, desembocar en el río Tebicuary (Figura 1).

1.5. Topografía de la RNT

El paisaje se caracteriza por la presencia de las "Lomadas", cuyo relieve es ondulado presentando superficies convexas disectadas por valles en forma de "V" erosionadas por el agua. La inclinación del terreno es suave a ondulado de 2% a 8% de pendiente, toda el área generalmente está cubierta por campo alto, campo bajo inundable o con problemas de drenaje del suelo y vegetación nativa intervenida por el hombre (FMB, 2014). Las cotas de las áreas planas y más bajas son de alrededor de 140 mnsnm, y áreas de mayor elevación 250 msnm ([Ilustración 1](#)).

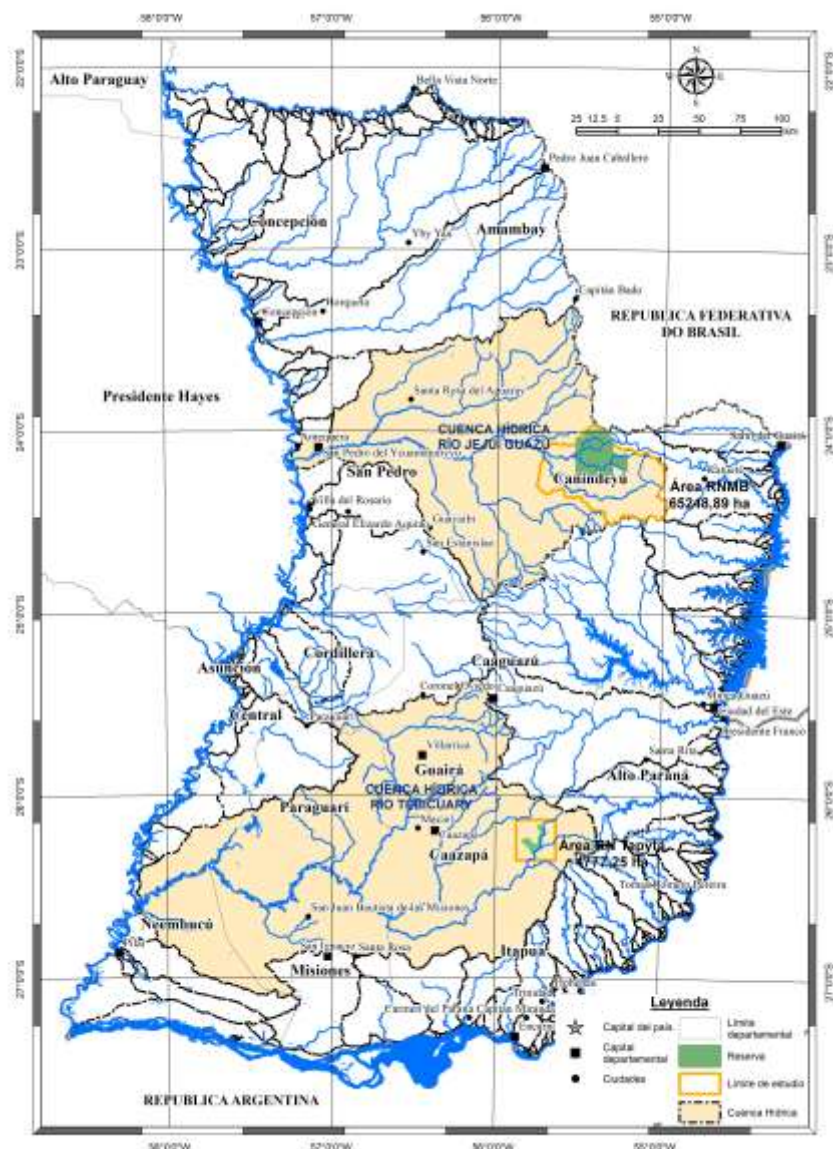


Figura 1. Mapa de ubicación de las áreas de estudio, cuencas y red hidrográfica. Los datos utilizados para la confección de los mapas se corresponden con las siguientes referencias: Hidrografía nacional: Dirección General de Estadística, Encuestas y Censos, 2002.

1.6. Aspectos climáticos RNT

El clima predominante es del tipo subtropical, con una temperatura media anual de 21 °C. (Ilustración 3). La temperatura máxima media en verano es de 32 °C y una mínima media próxima a 4 °C en invierno. Precipitación media anual entre 1.600 y 1.700 mm., siendo los meses más lluviosos los meses de octubre y abril, según la Dirección de Meteorología e Hidrografía de la Dirección Nacional de Aeronáutica Civil (DINAC). La evapotranspiración potencial media anual es de 1.100 mm.

1.7. Localización de la RBBM

La Reserva de la Biósfera del Bosque Mbaracayu (RBM) está situada en, en el la mayor parte se encuentra en el Distrito de Ygatimí, comprende parte de la cuenca del río Jejuí de 291.491 has y el área de la reserva natural de la biósfera de 65.480 has. (FMB, 1994, 2006 y 2015) La RBM se encuentra en el área de cabecera del río Jejuí Guazú, río que a su vez luego desemboca en el río Paraguay. Los principales cursos de agua que la integran son el Arroyo Guazú al Norte y en la parte sur se encuentran los arroyos Jejuí-mi y Guyra Kehja cuya confluencia dan origen al río Jejuí-Mi (Figura 1).

1.8. Topografía de la RBM

La topografía del lugar es bastante accidentada y la elevación más destacada es la Cordillera de Mbaracayú, siendo las zonas más planas y bajas de 140 msnm al y subiendo hacia el noreste donde ya se tienen las coladas basálticas con cotas de 445 msnm (Ilustración 2). Las pendientes van de 6% que son las menores y casi sin influencia para la escorrentía superficial y erosión de los suelos, y de 18% que ya son considerables, Aspectos climáticos de la RBM, ONGAgua, 2016.

(Burgos and Rodas 2001) menciona que, El clima de la región es típicamente continental, clasificado según Koeppen como Templado Lluvioso (Cfa), según el sistema de Holdridge como Zona de Vida de Bosque Templado Cálido Húmedo y según el sistema de Thornwaite como tipo climático.

1.9. Aspectos climáticos RBBM

La temperatura media oscila entre los 21 y 22° C., registrándose heladas entre los meses de junio y octubre. Existe una estacionalidad moderada y se nota tanto en las temperaturas como en las precipitaciones. Existen dos estaciones bien diferenciadas: una seca y fría, y otra húmeda y calurosa, registrándose grandes variaciones diarias de temperatura.

La precipitación media anual es de 1.800 mm,, registrándose la mayor cantidad de lluvias entre los meses de octubre y marzo. Las precipitaciones pueden variar año a año, alcanzándose en la reserva valores superiores a los 2.000 mm. e inferiores a los 1.600 mm. De éstos, alrededor de 600 mm circulan como escorrentía superficial, siendo el resto parte de la escorrentía su superficial y recarga de acuíferos. Se estima que la evapotranspiración potencial es de 1100-1200 mm anuale.

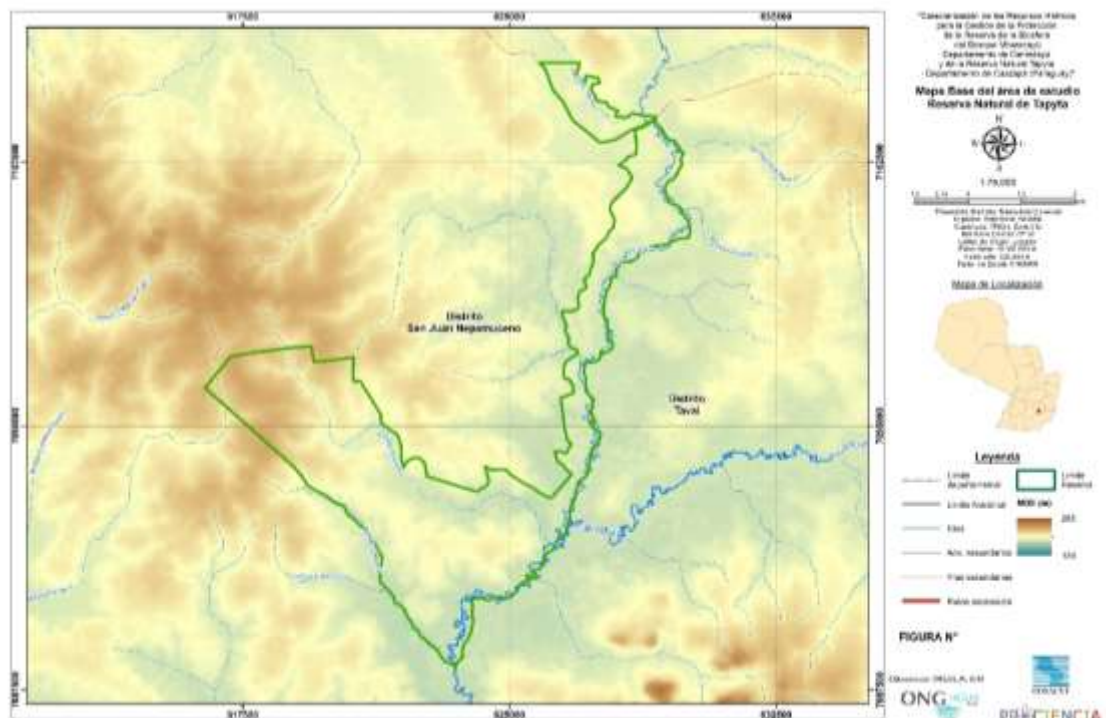


Ilustración 1. Mapa topográfico, mostrando los límites de la RNT y parte del amortiguamiento, ubicándose en el límite entre los distritos de San Juan Nepomuceno y Tavi..

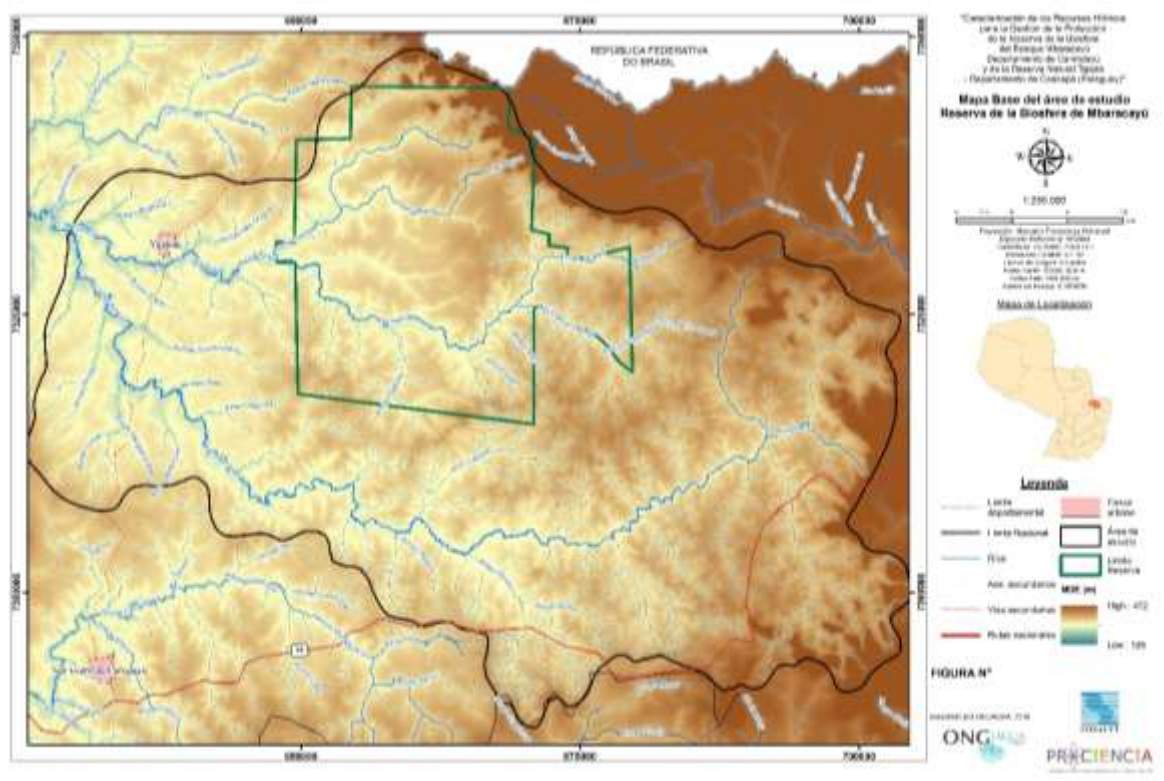


Ilustración 2. Mapa de curvas topográficas, de 140 msnm las menores y 450 msnm las mayores.

1.10. Reseña Histórica de la Reserva Natural de Tapyta (RNT)

Basado en el relato de FMB (2015), en 1996: la empresa Forestal Yguazú Sociedad de Responsabilidad Limitada (FYSRL), dentro de un plan de inversiones de la Shell Forestry inicia gestiones para la adquisición de una superficie de terreno para la implementación de un proyecto básicamente de reforestación y forestación.

1996: Forestal Yguazú solicita a la FMB la realización de los estudios técnicos necesarios para la implementación de una Reserva Natural en los ecosistemas naturales de la propiedad. Se realizan los trabajos de campo a mediados de diciembre de ese año, generándose la base técnica para la proposición de un área de conservación privada.

1997: Forestal Yguazú inicia acciones en la estancia Tapytá ubicada en el distrito de San Juan Nepomuceno, en el departamento de Caazapá, en una superficie de 12.311 ha, contemplando tres acciones principales; Forestación, Reserva Natural Privada y el mantenimiento de ecosistemas en estado natural.

1997: Forestal Yguazú S.R.L. encarga a la FMB la realización del Estudio de Evaluación del Impacto Ambiental (EIA) del Proyecto Tapytá.

1998: se presenta el EIA donde claramente se indica que la reserva privada, en etapa de consolidación, constituye, según la información científica y técnica, un sitio de importancia en relación con su significación biológica y su ubicación estratégica entre dos ASP, el PN Caaguazú (ahora PN Caazapá) y la Reserva de Recursos Manejados San Rafael (actualmente Área de Reserva para Parque Nacional).

1998: tras diferentes acciones con Forestal Yguazú se establecen los primeros límites de la Reserva. La FMB trabajó con la empresa para la puesta en funcionamiento del ASP incluyendo trabajos de investigación, protección y evaluaciones preliminares para un plan de uso turístico durante este periodo (1996-2000).

2003: Shell Forestry y Forestal Yguazú, concedieron en donación 4.736 ha en el departamento de Caazapá a la Fundación Moisés Bertoni, para su conservación a perpetuidad.

2004: en julio de este año se inician oficialmente los trabajos de administración y manejo de la reserva con fondos provenientes de FYSRL y la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID por sus siglas en inglés).

2005: parte de la propiedad conocida como Tapytá, fue reconocida como Reserva Natural Privada por Decreto N° 5.831 del 28 de junio.

1.11. Reseña histórica de la Reserva de la Biósfera del Bosque Mbaracayu (RBBM)

Las Reservas de Biosfera son "zonas de ecosistemas terrestres o costeros/ marinos, o una combinación de estos, reconocidas como tales en un plano internacional en el marco del Programa MAB de la UNESCO". Sirven para impulsar armónicamente la integración de las poblaciones y la naturaleza, a fin de promover un desarrollo sostenible mediante un

diálogo participativo, el intercambio de conocimiento, la reducción de la pobreza, la mejora del bienestar, el respeto a los valores culturales y la capacidad de adaptación de la sociedad ante los cambios (www.unesco.org.uy/mab/es/areas-de-trabajo/...naturales/.../reservas-de-biosfera.html).

Basado en el relato de la FMB, (2016), en el año 1986, los antropólogos de la Universidad de Emory, Atlanta (Georgia, Estados Unidos) realizaron estudios en el Dpto. Canindeyú, sobre las comunidades Aché establecidas en los alrededores de lo que hoy es la Reserva Natural del Bosque Mbaracayú. Los mismos tomaron conocimiento de que una importante superficie del territorio ancestral de los Aché, en buen estado de conservación, sería vendida a corto plazo por su propietario, la Corporación Financiera Internacional (CFI) rama ejecutiva del Banco Mundial, a compañías agrícolas o ganaderas para su transformación a actividades económicamente productivas, por lo que realizaron varias gestiones con el Gobierno y Organismos Internacionales buscando interesarles para su adquisición con fines de Conservación y transformarla en Áreas Silvestre Protegida. En agosto de 1987, profesionales del Centro de Datos para la Conservación (CDC) y del Museo Nacional de Historia Natural del Paraguay (MNHN), ambas dependencias del Ministerio de Agricultura y Ganadería, de la Universidad de Atlanta, organización The Nature Conservancy y de Missouri Botanical Garden completaron estudios de campo preliminares en la propiedad del CFI, la misma a la que denominaron Mbaracayú (en honor al nombre de la cordillera). En el citado estudio determinaron la importancia biológica del área y la necesidad de convertir la propiedad en un área silvestre protegida. El documento que se elaboró en esa oportunidad se denominó "Justificación Técnica para la incorporación de 60.000 hectáreas de tierra en el Departamento de Canindeyú, al Sistema de Áreas Manejadas del Paraguay" (Informe inédito).

Finalmente, estas negociaciones culminaron con la creación de la Reserva Natural del Bosque Mbaracayú. El 10 de enero de 1992, fecha en que la propiedad de la Reserva fue comprada de la CFI por TNC y FMB, en nombre de la Fundación Mbaracayú. A través de la firma de un convenio entre la Fundación Mbaracayú, propietaria de la Reserva y la Fundación Moisés Bertoni, ésta asumió la responsabilidad para la protección y el manejo de la Reserva.

En diciembre de 1992, la Fundación Mbaracayú, adquiere un inmueble conocido como Brítez cué que contiene ecosistemas de Cerrado, con una superficie de 4.264,45 hectáreas. Esta ampliación de 4.264,45 hectáreas empezó a recibir la denominación de "Aguara Ñú" a partir de la presentación del informe "Breve relación sobre la flora y la fauna de Aguara Ñú" presentado en junio de 1993 por R. Villalba, S. Ramírez y J. C. Almada.

En 1994, la Fundación Mbaracayú adquirió 1.223,4 hectáreas más de un ganadero de la zona, vecino con Aguara Ñú; la Reserva Mbaracayú llegó así a poseer 63.223,4 hectáreas. En agosto de 1996, el Instituto de Bienestar Rural transfirió a la Fundación Mbaracayú dos fracciones de terreno, una en Horqueta-mí con una superficie de 876 hectáreas y otra en las cercanías al puesto de Jejuí-mí con una superficie de 326 hectáreas.

En 1997 la FMB inició las gestiones para la denominación de la RNBM como Reserva de Biosfera, con la preparación y presentación del documento de justificación a la UNESCO, y el 10 de noviembre de 2000, la Organización Mundial para la Educación, la Ciencia y la

Cultura (UNESCO), Programa MAB sobre el Hombre y la Biosfera, Certificó que El Bosque Mbaracayú- Paraguay, forma parte integrante de la Red Mundial de Reservas de la Biósfera.

1.12. Características físicas del área

Descripciones basadas en García, E., et al. (2004), “las formaciones boscosas de la ecorregión, atendiendo a una de las múltiples clasificaciones que se han realizado en el país, se designan como bosques húmedo-templado - cálidos, que forman parte de un sistema de mayor jerarquía y especial importancia, que es el denominado Bosque Atlántico Interior (FMB, 1994) o Selva Paranaense (Cabrera & Willink, 1973), actualmente se denomina a la ecorregión Bosque Atlántico del Alto Paraná (BAAPA) (Di Bitetti, 2003)”.

1.12.1. Características del suelo

Burgos & Rodas (2001) apud Golin, (2014), mencionan en su trabajo “Suelos y Paisajes del Mbaracayú”, realizado en la Reserva del Mbaracayú, que los suelos procedentes de areniscas, pertenecen al orden Ultisol y tienen un paisaje de lomadas, sin rocosidad y con buen drenaje. Mientras que los demás suelos pertenecen a los órdenes Entisol, Anísol y Oxisol. Los Entisoles se observaron en suelos poco profundos, con drenaje excesivo y moderada rocosidad, en tanto que los Alfisoles se sitúan en las planicies de inundación de ríos y arroyos, con un drenaje pobre, sin rocas y con relieve plano. Los Oxisoles presentan un relieve plano, buen drenaje y sin rocas.

1.12.2. Características Geológicas e Hidrogeológicas

Basado en Anschutz, (1979, 1981) apud ONGAGUA, 2004, Larroza et al., (2005). En ambas áreas están presentes la Fm. Cabacúa (Pi-1), Paleozoico Pérmico, Gr. Independencia) con intercalaciones de areniscas, siltitas, lutitas y arcillas, conglomerado-pellets, pobre continuidad lateral de cuerpos de arena (facies fluvial - planicie de Inundación) Fm. Misiones (Ms, Mesozoico Triásico) arenisca eólica y en menor porcentaje fluvial instruidas en parte por diques básicos y sills (en área de los alrededores de la RNT; los basaltos están presentes dentro de los límites de la reserva del Bosque Mbaracayú con la Fm. Alto Paraná (Mbv, Mesozoico Cretácico) efusivas básicas intercaladas con areniscas y también la Fm. Acaray (Cretácico/Terciario) con arenisca friable y conglomerado, menor lutita – Sedimentos del cuaternario, de arenas y arcillas en las inmediaciones de los cauces, (Figura 11 y Figura 12)

Los acuíferos característicos de las áreas, descripción en PAR, (1986);. – Pertenecen al acuífero Independencia (Pi), locales y de extensión limitada. Su comportamiento es de un acuífero libre a semiconfinado, está compuesto por areniscas de granulometría media a fina, con interdigitaciones en partes con siltitas y lutitas, específico promedio es de 0.5 m³/h/m Acuífero Misiones (Ms) Tr/J, actualmente también conocido como Acuífero Guaraní se presenta como acuífero libre en las áreas de afloramiento y confinado por debajo de los basaltos de la Formación Alto Paraná, la permeabilidad oscila entre 0.2 a 4.0 m/día y la transmisividad de 40 a 500 m²/día, en las áreas aflorantes; Acuífero Alto Paraná (Kap), pertenece a acuíferos muy restringidos, cuya existencia está relacionada a las fallas, fisuras y fracturas en rocas masivas, constituido por coladas de basaltos. Caudales muy variables y caudal específico promedio 1,5 m³/h/m. Acuífero Acaray de edad cretácica (Ka). Corresponde a depósitos de areniscas finas, se encuentran distribuidas irregularmente en

el Paraguay oriental sobre la Formación Alto Paraná Pertenece a los acuíferos locales de extensión limitada. Se comporta como un acuífero libre, llegando a caudales hasta 18m³/h.

2. MATERIALES Y MÉTODO

Para cumplir con las finalidades del proyecto, se realizaron actividades previas, de recopilación de la información disponible, trabajos en campo realizadas al área de estudio, los análisis físico químicos, fitoplancton (agua superficial), de pesticidas y glifosato e isotópicos de las muestras de agua, la elaboración del informe que identifica la geología, el comportamiento y características y calidad química actuales de las aguas subterráneas y superficiales, y para la protección del agua subterránea, se aplicó el análisis de vulnerabilidad intrínseca y específica de acuíferos por el método DRASTIC, Aller et al. (1987), y GOD, Foster, Hirata, (1988), para la cartografía se adoptó los valores interpretativos según el código de color nacional de los Estados Unidos (para DRASTIC), y para GOD los colores convencionales (rojo, amarillo y verde). El mapa de riesgo a la contaminación del agua subterránea, se elaboró basado en la matriz de clasificación que permite determinar los rangos de riesgo de las diferentes unidades, confeccionada por el Proyecto SARO 2001, donde para esta investigación se adoptó en base a esa fuente la vulnerabilidad intrínseca y específica para pesticida.

Informaciones de Uso Actual de la Tierra, se obtuvo de: Imágenes satelitales descargadas del Instituto Nacional de Pesquisas Espaciales (INPE); e. Imágenes satelitales descargadas del portal USGS (<http://glovis.usgs.gov/>).

Los mapas fueron confeccionados utilizando el software • Software QGIS v 2.18.17 y sus complementos y las capas fueron generadas en formato ráster.

Para el balance hídrico, se utilizan datos SEAM, 2014 e ITAIPU, 2013, realizados mediante el Modelo Matemático para el Cálculo Hidrológico de Aportaciones y Crecidas "CHAC" (CEDEX, 2013) y la metodología de regionalización de variables hidrológicas para estimar caudales de referencia en el marco de proyectos anteriores en los cuales se ha estimado en forma aproximada valores de referencia de caudales para varias cuencas del país. Se genera la curva de regresión lineal para la ecuación de regionalización generada a partir de mediciones de la estación de Villa Florida comprendida entre 1974 y 2012 disponibilidad por la DMH-DINAC.

El criterio para definir el manejo del uso de la tierra en relación con el agua subterránea para su protección es determinado una vez que se obtiene 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, donde, fueron zonificadas áreas de protección del acuífero según las prioridades (primera, segunda, insignificante) con medidas propuestas de actividades para las diferentes zonificaciones.

Para la red de monitoreo en el tiempo de la calidad del agua, se propuso un plan de monitoreo ambiental con estaciones de monitoreo; parámetros y frecuencia – basados en resultados de diferentes tipos de uso de la tierra, vulnerabilidad del acuífero freático y dirección del flujo de agua subterránea y superficial, como sus valores químicos anómalos.

Los trabajos de campo (Foto1), consistieron en visita a las viviendas con pozos y a los cauces hídricos, realizando mediciones de pH, CE, OD, T y determinación de alcalinidad "in situ" con toma de muestras de agua para análisis químico en laboratorio de parámetros (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{3+} , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Cl, arsénico, nitrito, nitrato, y amonio, fitoplancton, pesticidas, glifosato, isótopos ambientales ^{18}O y Deuterio;

Como inicio de las actividades en relación a la Geología se realiza una inspección y toma de muestras de las unidades estratigráficas mapeadas por Anschütz (1981), con base a la literatura publicada e inédita de la Geología del Paraguay y datos de geofísica (gravimetría y magnetometría) se avanza en la comprensión y elaboración de comentarios sobre la Reserva Natural Tapytá más específicamente. Y áreas adyacentes.

De la recopilación de la información existente y de datos obtenidos en campo se realiza el análisis e interpretación de datos, que consiste en: - Estimar la cuantificación hídrica del área de estudio según la disponibilidad y acceso a los diferentes tipos de datos, a través de estudios de regionalización o de modelación hidrológica dentro de la región, la obtención de productos como, valores de referencia de caudales; existen estudios previos en el marco de proyectos anteriores en los cuales se ha estimado en forma aproximada valores de referencia de caudales, por ejemplo para el río Jejuí; y para la Cuenca del Río Tebicuary se cuenta con una estación hidrométrica en la localidad de Villa Florida a partir de la cual se utiliza la metodología de regionalización de variables hidrológicas para estimar caudales de referencia.



Foto 1. Relevamiento de datos de los pozos (someros y profundos) y cauces de agua con mediciones de pH, CE, OD, T, también ancho y profundidad.

- Construcción del modelo conceptual hidrogeológico, se define considerando: la construcción del mapa piezométrico, indicando las direcciones de flujo subterráneo; se analiza los resultados de los análisis fisicoquímicos de las aguas subterráneas y superficial, definiendo la clasificación química de las aguas, mediante diagramas (Piper) y gráficos, además de la interpretación de los datos de isótopos ambientales, donde se tiene apoyo

para definir el sistema de recarga de los acuíferos.- Evaluación de vulnerabilidad, una vez definido el modelo conceptual del acuífero se deberá aplicar los métodos DRASTIC (Aller, 1987, y GOD, Foster, Hirata, 1988) para hallar la vulnerabilidad intrínseca y específica (para pesticida) del acuífero. donde para el efecto se incorporaron todos los datos y resultados productos de trabajo de campo y de reinterpretación de datos existentes, utilizando los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Método GOD (Cuadro 1) fue desarrollado por Foster (1987) y es un método sencillo y sistemático, por lo que se usa cuando se cuenta con escasos datos, éstos no son fiables o no cubren la totalidad del territorio que se estudia. Por su estructura simple y pragmática, es el método utilizado en primer lugar para estimar el riesgo de contaminación de un acuífero, lo que sirve para establecer prioridades de actuación a la vista de los resultados. El método de asignación de puntuaciones a cada variable y los grados de valoración final se resumen en el esquema de la (Figura 2) , y los resultados del cálculo de la vulnerabilidad intrínseca que pueden variar $<0,1$ y $1,0$, obteniendo las categorías de vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación, se resumen en la (Tabla 1).

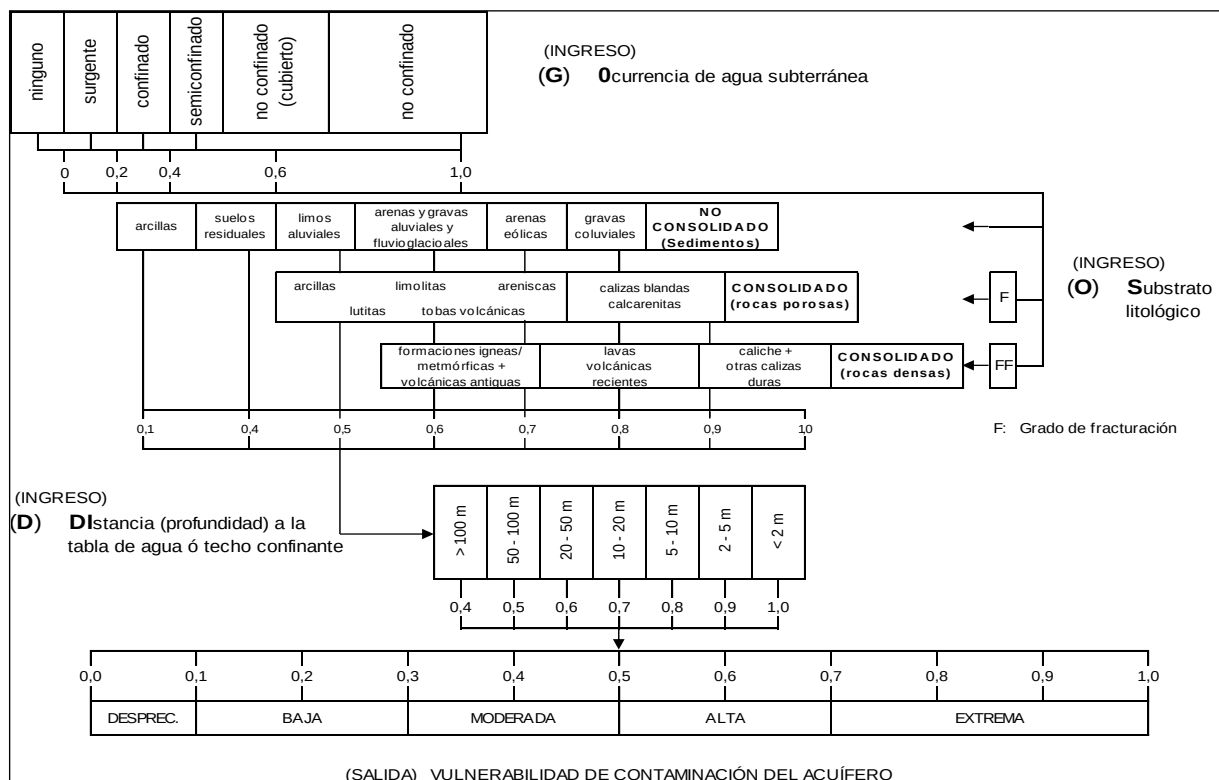
El método DRASTIC: es un modelo empírico desarrollado por Aller et al (1987) para la Environmental Protection Agency, EPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos). (Aller et al., 1987) clasifica y pondera parámetros intrínsecos, reflejo de las condiciones naturales del medio y es el más difundido para determinar la vulnerabilidad de acuíferos. DRASTIC valora los parámetros de la (Tabla 2).

Cuadro 1. Parámetros valorados en el método GOD

Siglas	Descripción
G	índice por condición de confinamiento del acuífero u ocurrencia del agua subterránea (Groundwater occurrence)
O	índice del substrato litológico en términos de grado de consolidación y características litológicas (Overall aquifer class).
D	índice por profundidad del nivel del agua o techo del acuífero confinado (Depth).

Tabla 1. Categoría de vulnerabilidad método GOD

Puntaje de Vulnerabilidad	
0.7 – 1.0	Muy alta/Extrema
0.5 – 0.7	Alta
0.3 – 0.5	Moderada
0.1 – 0.3	Baja
< 0.1	Muy baja/Despreciable



Figra 2 Esquema de las valoraciones de los parámetros de GOD

Además de la valoración, se pondera su influencia dentro de la evaluación de la vulnerabilidad mediante la asignación de unos pesos de 1 a 5, que variarán si el contaminante en cuestión es un pesticida, al ser este menos volátil y más persistente. Ambos índices se multiplican y se suman los siete según indica en la siguiente expresión (Cuadro 2).

El índice DRASTIC es calculado con estos factores de la siguiente forma $D_r \times D_w + R_r \times R_w + A_r \times A_w + S_r \times S_w + T_r \times T_w + I_r \times I_w + C_r \times C_w = \text{Contaminación Potencial}$.

La red de monitoreo de calidad de agua, agua durante y posteriormente del proyecto. Por lo anterior, su diseño debe procurar abarcar la totalidad del área de estudio, ser representativa y en lo posible accesible. Estará basados en resultados de diferentes tipos de uso de la tierra, vulnerabilidad del acuífero freático y dirección del flujo de agua subterránea y superficial, como sus valores químicos anómalos para los estudios de línea base se empleará para monitorear los cambios en la calidad del agua.

Cuadro 2. Factor de ponderación del método DRASTIC

Factor De Ponderación DRASTIC							
Tipo contaminante	Variable						
	D _w	R _w	A _w	S _w	T _w	I _w	C _w
No Pesticida	5	4	3	2	1	5	3
Pesticida	5	4	3	5	3	4	2

Tabla 2. Parámetros valorados para el método DRASTIC

Siglas		Descripción
D	depth	Profundidad del agua subterránea: Este parámetro considera la profundidad del nivel piezométrico en el caso de un acuífero libre o del techo del acuífero para uno confinado.
R	recharge	Recarga neta: En esta variable se considera la recarga anual, indica la cantidad de agua por unidad de área que ingresa al acuífero por percolación.
A	aquifer	Litología del acuífero: Este parámetro evalúa la litología del acuífero. El tipo de material que compone el acuífero afecta directamente al flujo dentro del mismo.
S	soil.	Tipo de suelo: Este parámetro determina la cantidad de agua que percolará y que llegará al acuífero (Fallas, 2002 apud Gadea, 2009), donde la textura, determina la capacidad de infiltración y conductividad hidráulica del mismo.
T	topography.	Pendiente del terreno: La topografía es representada en el modelo por la gradiente del terreno (pendiente)
I	impact.	Naturaleza de la zona no saturada: La zona no saturada corresponde a aquella porción del suelo que se encuentra por encima del nivel freático (o nivel estático del acuífero). La textura de dicha porción de suelo determina la velocidad con que el agua se mueve a través del perfil del suelo
C	hydraulic conductivity.	Conductividad hidráulica del acuífero. (se puede considerar como la permeabilidad) La conductividad hidráulica indica la velocidad con que el agua se mueve en la zona saturada.:

El concepto de riesgo a la contaminación de acuífero, 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 clásica es una adaptación del informe original propuesto por la World Health Organization (WHO) y por la Pan American Health Organization (PAHO), (modificado, Foster & Hirata, 1991 apud Larroza, 2001). Para esta investigación se adopta una matriz de clasificación (Figura 3) que permite determinar los rangos de riesgo de las diferentes unidades, tomando en consideración el tipo de uso actual del terreno, y la vulnerabilidad de los acuíferos según GOD y DRASTIC (con ponderaciones para pesticidas y no pesticidas) metodología desarrollada en el Proyecto SARO, 2001.

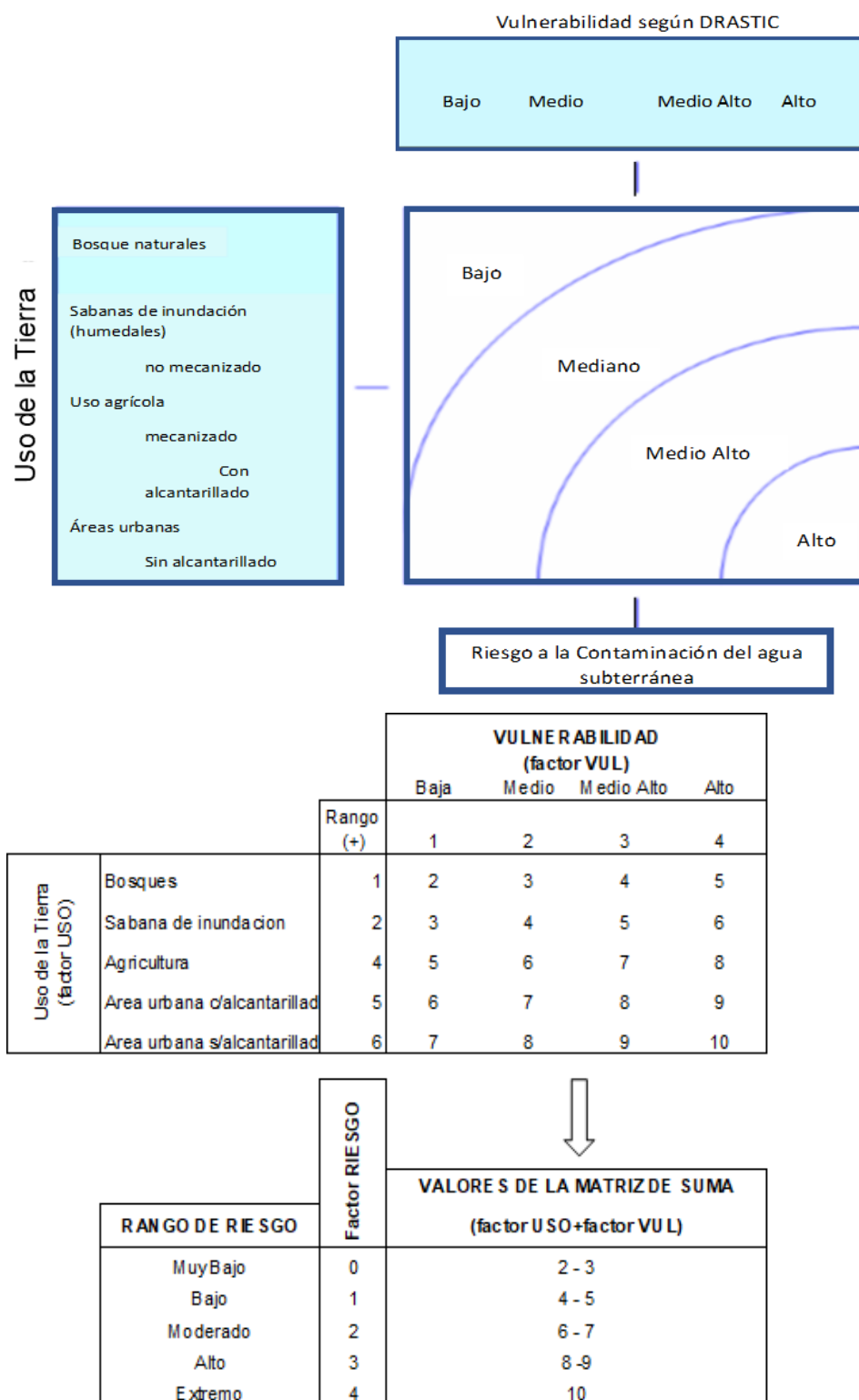


Figura 3. Izquierda: Esquema conceptual para la evaluación del riesgo a la contaminación del agua subterránea. Derecha: Matriz de riesgo para utilización mediante un SIG, (Fuente: SARO, 2001 apud Gadea, 2009).

3. RESULTADOS

3.1. Balance Hídrico estimado para las subcuencas de las áreas de estudio

Según Collischonn & Dornelles, (2013); el balance entre entradas y salidas de agua en una cuenca hidrográfica es denominado balance hídrico. La principal entrada de agua de una cuenca es la precipitación. La salida de agua de la cuenca puede ocurrir por evapotranspiración y por escurrimiento superficial. Esas variables pueden ser medidas con diferentes grados de precisión. El balance hídrico de una cuenca exige que sea satisfecha la ecuación:

$$dV/dt = P - EVT - Q \dots\dots\dots Ec 1$$

O en intervalo de tiempo finito:

$$\Delta V / \Delta t = P - EVT - Q \dots\dots\dots Ec2$$

Donde ΔV es la variación del volumen de agua almacenado en la cuenca (m^3); Δt es el intervalo de tiempo considerado (s); P es la precipitación (m^3/s); Q es el escurrimiento (m^3/s) y EVT es la evapotranspiración (m^3/s).

En intervalos de tiempo largos, típicamente de varios años, la variación del almacenamiento puede ser despreciada en la mayor parte de las cuencas y la ecuación puede ser reescrita en unidades de $mm/año$ dividiendo los volúmenes por el área de la cuenca. La ecuación de balance hídrico para periodos largos es la ecuación siguiente

$$Q = P - EVT \dots\dots\dots Ec3$$

Donde P es la precipitación en $mm/año$, EVT es la evapotranspiración en $mm/año$ y Q es el escurrimiento superficial en $mm/año$.

Balance Hídrico estimado para la cuenca del río Jejuí de la Reserva Natural del Mbaracayú
- SEAM, 2014. (Programa Marco Cuenca del Plata)

Dicho estudio consiste en un balance vertical para la región oriental del país obtenido mediante el Modelo Matemático para el Cálculo Hidrológico de Aportaciones y Crecidas "CHAC" (Cálculo Hidrometeorológico de Aportaciones y Crecidas) (CEDEX, 2013).

- ITAIPU, 2013. (Proyecto "Inventario de los Recursos Hidroenergéticos de las cuencas hidrográficas de los ríos afluentes del Paraná y Paraguay en la Región Oriental del Paraguay (RHPY)", se ha realizado un estudio de la disponibilidad hídrica mediante datos observados de precipitaciones y caudales para toda la región oriental.

Dicho estudio ha conseguido, mediante la utilización de metodologías mixtas que integran simulaciones lluvia - caudal y métodos simples de regionalización con base en similitudes entre cuencas, la obtención de ecuaciones de regionalización con base en el área de drenaje que estiman el caudal medio anual y el caudal con 95% de permanencia en el tiempo para la cuenca del río Jejuí.

3.1.1.1. Según SEAM, 2014

El caudal específico para la cuenca del río Jejuí es: $q_{esp} = 13,5 \text{ lts/s} \cdot \text{Km}^2$

Equivalente a un caudal medio anual, para la cuenca del arroyo Guazú de:

$$Q_{med} = 13,5 \text{ lts/s} \cdot \text{Km}^2 \cdot 304,45 \text{ Km}^2 = 4110 \text{ lts/s} = 4,11 \text{ m}^3/\text{s} = 425 \text{ mm}$$

y un caudal medio anual para la cuenca del río Jejuí-mí de:

$$Q_{med} = 13,5 \text{ lts/s} \cdot \text{Km}^2 \cdot 624,6 \text{ Km}^2 = 8432,1 \text{ lts/s} = 8,43 \text{ m}^3/\text{s} = 425 \text{ mm}$$

3.1.1.2. Según ITAIPU, 2013

La ecuación que regionaliza el caudal medio en la cuenca del río Jejuí es :

$$q_{med} = 0.016^{*A^{0,9487}}$$

A través de la ecuación de regionalización es posible obtener el caudal medio anual de cualquier sub-cuenca con datos de área.

Luego, el caudal medio anual para la cuenca del arroyo Guazú es de:

$$Q_{med} = 3.38 \text{ m}^3/\text{s}$$

Y el caudal medio anual para la cuenca del río Jejuí-mí es de:

$$Q_{med} = 6.68 \text{ m}^3/\text{s}$$

3.1.1.3. Verificación utilizando valores hidrometeorológicos registrados dentro de la región.

De los datos hidrometeorológicos que se han encontrado disponibles se ha procedido a la selección de aquel cuyo local de monitoreo se encuentra en una región lo más cercana posible, con características de suelo, vegetación y altitud similar a las de la región de estudio.

Es así como para la región de la reserva del Mbaracayú se ha seleccionado a la estación de monitoreo de la ciudad de Pedro Juan Caballero, perteneciente a la Dirección de Meteorología e Hidrología de la Dirección de Aeronáutica Civil (DMH-DINAC). Cuyos datos mensuales de evapotranspiración y precipitación se presentan en la (Figura 4 y Figura 5).

Considerando los valores medios anuales de Precipitación y Evapotranspiración podemos estimar el balance hídrico en la ecuación 3:

$$(Q = P - EVT \dots \dots \dots Ec3) .$$

$$Q_{med} = P - EVT = 1654 - 1222 = 432 \text{ mm}$$

Valor que se aproxima bastante a los obtenidos en las bibliografías consultadas, significando que los caudales obtenidos mediante dicha bibliografía pueden ser considerados coherentes dentro de las limitaciones existentes en cuanto a la calidad y cantidad de datos para la región.

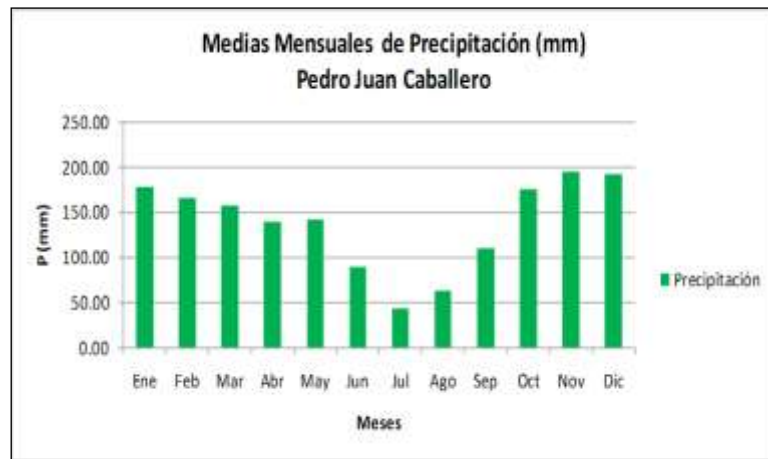


Figura 4. Valores de Precipitación media mensual - Pedro Juan Caballero

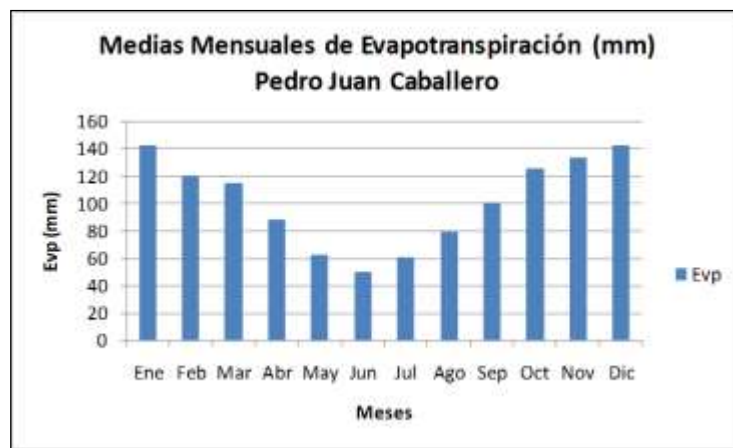


Figura 5. Valores de Evapotranspiración Potencial media mensual – Pedro Juan Caballero.

3.1.2. Balance Hídrico estimado para la cuenca del río Tebicuary de la Reserva Natural Tapytá

Teniendo disponibles la serie de caudales en Villa Florida es posible obtener una ecuación de regionalización del caudal medio anual a partir de la cual puedan ser obtenidos los valores de caudales medios en otros puntos de la cuenca, inclusive para puntos localizados dentro de la reserva natural Tapytá.

La serie comprendida entre los años 1974 y 2012 disponibilizada por la DMH-DINAC, devuelve un caudal medio de valor 348m³/s para un área de drenaje de 20.780 km² hasta el local de Villa Florida. Con estos datos es posible ajustar la regresión lineal cuyo gráfico y ecuación se observan en la (Figura 6), se utiliza la curva lineal para calcular los caudales en los puntos de interés dentro de la reserva natural Tapytá.

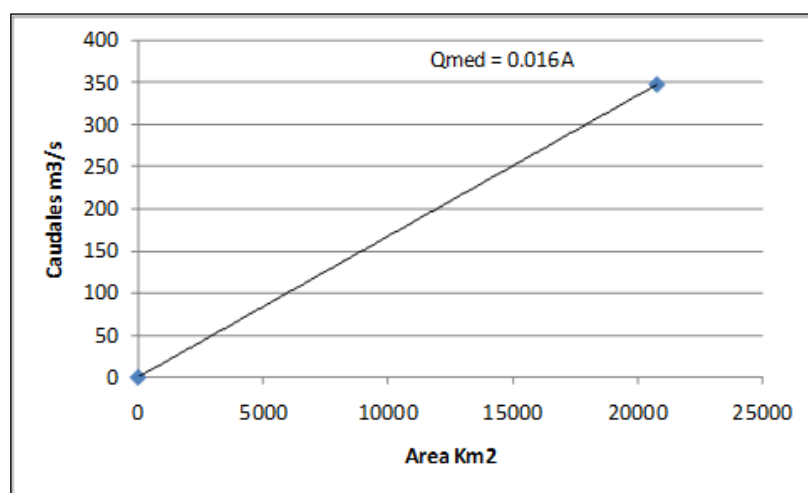


Figura 6. Curva de regresión lineal que relaciona área de drenaje y caudal

3.1.2.1. Según SEAM, 2014

El caudal específico para la cuenca del río Tebicuary es: $q_{esp} = 15,4 \text{ lts/s. Km}^2$

Equivalente a un caudal medio anual para la cuenca del arroyo Tayay de:

$Q_{med} = 15,4 \text{ lts/s. Km}^2 \cdot 273,71 \text{ Km}^2 = 4215 \text{ lts/s} = 4,21 \text{ m}^3/\text{s} = 485 \text{ mm}$

Un caudal medio anual para la cuenca del arroyo Yuqueri de:

$Q_{med} = 15,4 \text{ lts/s. Km}^2 \cdot 28,38 \text{ Km}^2 = 437,05 \text{ lts/s} = 0,43 \text{ m}^3/\text{s} = 485 \text{ mm}$

Y un caudal medio anual para la cuenca de cabecera del río Tebicuary de:

$Q_{med} = 15,4 \text{ lts/s. Km}^2 \cdot 627,10 \text{ Km}^2 = 9657,34 \text{ lts/s} = 9,657 \text{ m}^3/\text{s} = 485 \text{ mm}$

3.1.2.2. Según Curva de Regresión Lineal (Calculada para este proyecto)

La ecuación que regionaliza el caudal medio en la cuenca del río Tebicuary es :

$q_{med} = 0.016 \cdot A$

Luego el caudal medio anual para la cuenca del arroyo Tayay es de:

$Q_{med} = 4,37 \text{ m}^3/\text{s}$

El caudal medio anual para la cuenca del arroyo Yuquerí es de:

$Q_{med} = 0,45 \text{ m}^3/\text{s}$

Y un caudal medio anual para la cuenca de cabecera del río Tebicuary de:

$Q_{med} = 10,03 \text{ m}^3/\text{s}$

3.1.2.3. Verificación utilizando valores hidrometeorológicos registrados dentro de la región

De los datos hidrometeorológicos que se han encontrado disponibles se ha procedido a la selección de aquel cuyo local de monitoreo se encuentra en una región lo más cercana posible, con características de suelo, vegetación y altitud

similar a las de la región de estudio. Para la región de la RNT se ha seleccionado a la estación de monitoreo de la ciudad de San Juan Bautista de las Misiones, perteneciente a la Dirección de Meteorología e Hidrología de la Dirección de Aeronáutica Civil (DMH-DINAC). datos mensuales de evapotranspiración y precipitación se presentan en (Figura 7 y Figura 8).

Considerando los valores medios anuales de Precipitación y Evapotranspiración podemos estimar el balance hídrico en la ecuación 3

($Q = P - EVT$ Ec3).

$Q_{med} = P - EVT = 1699 - 1187 = 512 \text{ mm}$

Valor que se aproxima bastante a los obtenidos en las bibliografías consultadas, significando que los caudales obtenidos mediante la bibliografía pueden ser considerados coherentes dentro de las limitaciones existentes en cuanto a la calidad y cantidad de datos para la región..

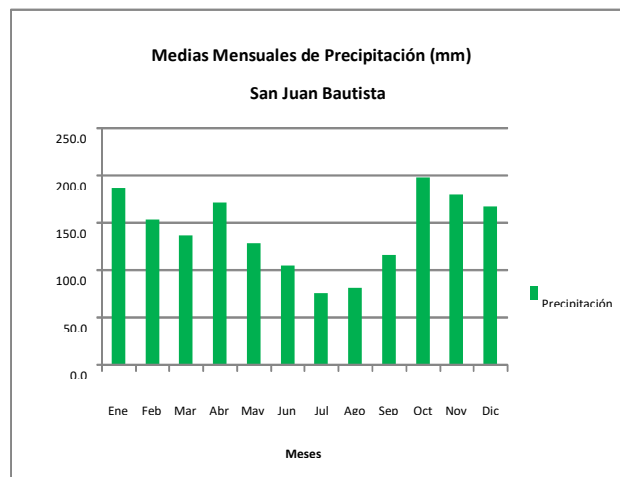


Figura 7. Valores de precipitación media mensual San Juan Bautista media mensual en San Juan Bautista

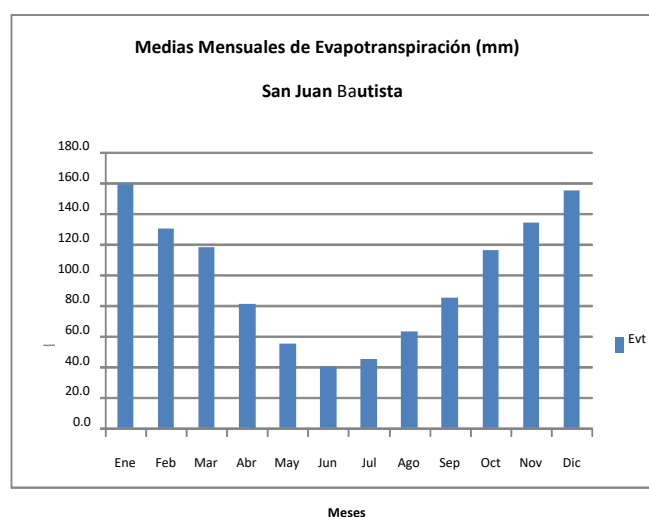


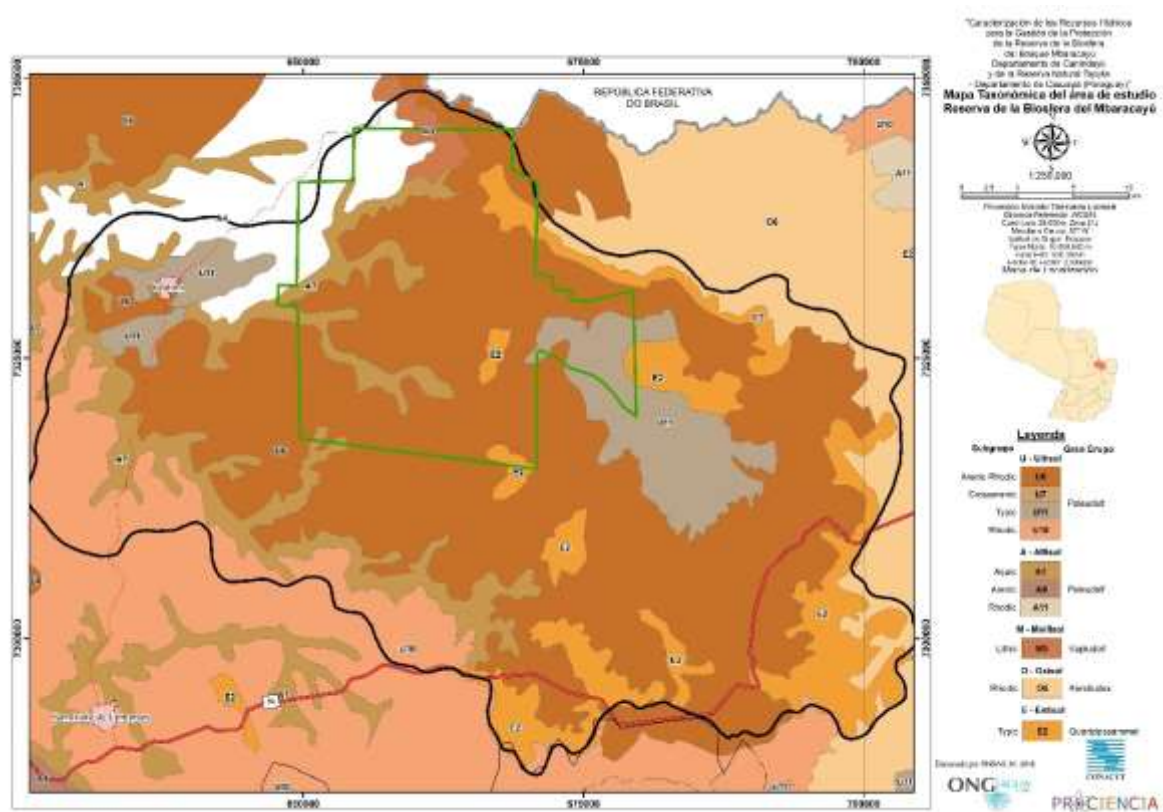
Figura 8. Valores de evapotranspiración potencial San Juan Bautista media mensual en San Juan Bautista

3.2. Suelo

El objetivo principal, de este componente, fue caracterizar los suelos del área de la RNT y Bosque Mbaracayu y su áreas de influencia para aplicar el Índice DRASTIC y elaborar el mapa de Vulnerabilidad a la contaminación de acuífero.

La metodología aplicada fue basada en el mapa de reconocimientos de suelos de la Región Oriental del Paraguay, del trabajo de López et al. (1995) y del mapa geológico del Paraguay (Proyecto PAR 86) y de la Anschutz, (1981).

La taxonomía se relaciona Orden-Sub grupo-Gran grupo con la textura. Se construyó el mapa de las características de la Cubierta edáfica bajo la superficie del terreno. Este mapa no representa valor numérico, lo que se realizó es valorar el tipo de suelo, mediante la aplicación del SIG. Con ello se obtiene el mapa de valoración de la Cubierta edáfica bajo la superficie del terreno



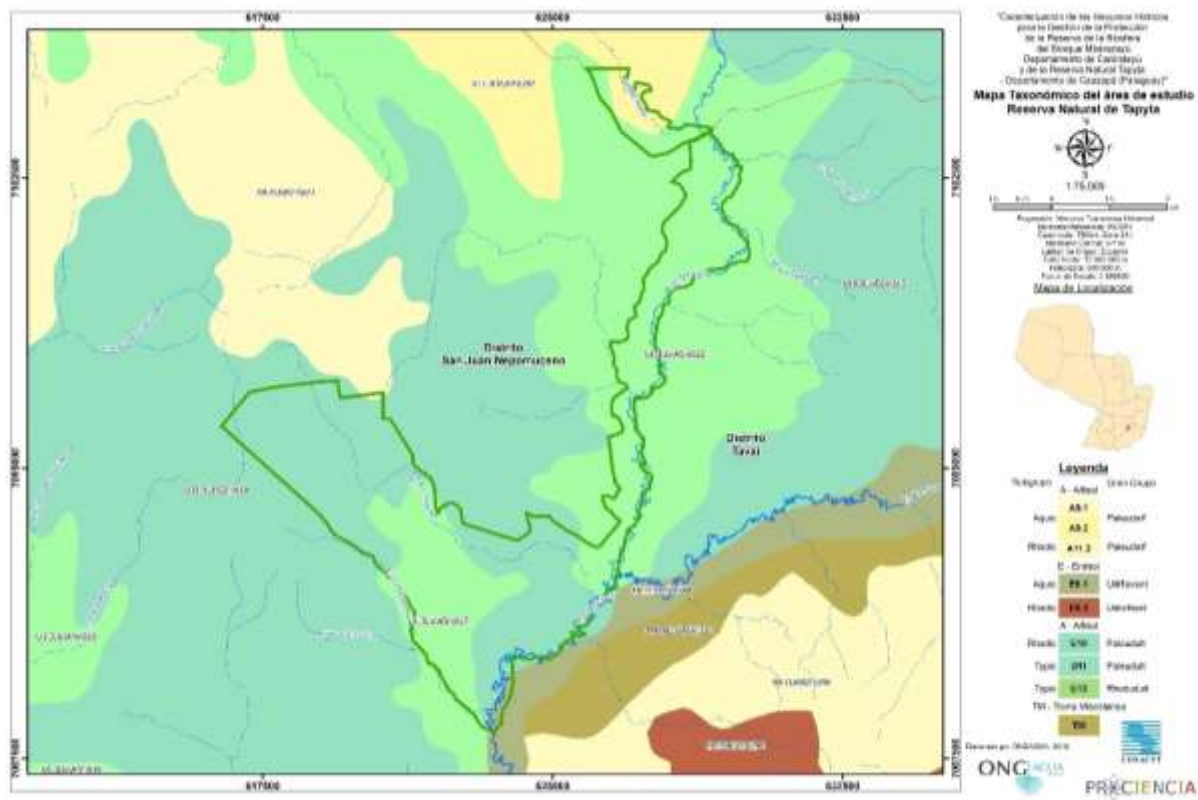


Figura 10. Mapa Taxonómico de suelos del área de la Reserva de la Biósfera del Bosque Mbaracayu. Fuente: : PRUT-López et al., (1995).

3.2.1. Suelos identificados en las áreas de estudio (Figura 9 y Figura 10), basado en : PRUT-López et al., (1995).

Ultisoles (U): suelos desarrollados en lomadas cuyo material de origen es la arenisca, además pueden ser observados en otras posiciones topográficas ya sean planas e inclinadas. Por lo general poseen buen drenaje superficial, son suelos profundos y con ausencia de rocosidad. Presentan una textura francosa gruesa.

Alfisoles (A): suelos que ocupan las lomadas, de forma predominantemente convexa-cóncava, cuyo material de origen es la de arenisca. Por lo general son profundos y poseen un buen drenaje. Presentan una fertilidad aparente media a baja con un pH ligeramente ácido. La textura por lo general varía de franco arenoso a arcilloso fina.

Entisoles (E): suelos que se desarrollan sobre lomadas, de forma convexa, a modo de largas lanchas, cuyo material de origen es la arenisca. Pueden aparecer en el paisaje local en relieves planos (cima o valles poco inundables) a inclinados (vertientes). Presentan una media a alta profundidad con drenaje bueno a excesivo y con pedregosidad moderada. Son suelos de excesiva permeabilidad, muy susceptibles a la erosión. Pueden ser originados de otros materiales (rocas) como: materiales sedimentarios, areniscas, basalto y granito, se encuentran estos en relieve plano a fuertemente ondulado, en paisajes de valles y llanuras, lomadas y serranías.

Mollisoles (M): son suelos minerales, de colores oscuros, ricos en bases, que se han desarrollado a partir de sedimentos donde predominan los cationes bivalentes,

principalmente el calcio, y que gradualmente se han ido enriqueciendo de materia orgánica, lo que se verifica mas notoriamente en la camada superior del suelo. Estos suelos se han reconocido en ambientes de serranías y de lomadas con pendientes acentuadas. Son suelos rasos que se presentan cubriendo el manto rocoso. Cuando el material de origen es la arenisca, la textura del suelo es francosa gruesa (M3.2), con estructura débil y muy susceptible a la erosión por la pendiente y la alta permeabilidad.

Oxisol (O): se caracterizan por tener un horizonte óxico, con predominancia de arcillas de óxidos hidratados de hierro (Fe) y de aluminio (Al) y la caolinita, los cuales le confieren su color rojizo característico. Presentan una textura superficial eminentemente arcillosa y con bajo contenido de minerales intemperizables, tales como mica, feldespatos, minerales ferro magnesianos, apatitas, etc., y ausencia de estructuras rocosas. Presentan una fertilidad media a baja, por ende escasa disponibilidad de nutrientes para el uso agropecuario. Son ácidos y presentan un alto contenido en aluminio intercambiable. La materia orgánica es bajo (<1,2 %) y el de fósforo es de 2 ppm.

Tierras Miscelaneas (TM): suelos caracterizados en el PRUT-1995 como de difícil observación, muestreo e identificación por la dificultad de acceso, debido fundamentalmente a que las áreas donde se distribuyen permanecen o han permanecido anegados o inundados durante el período de levantamiento de campo. En esta clase, se incorporaron las tierras del sector de llanuras o valles que se encuentran en un nivel topográfico más bajo, colector del escurrimiento superficial del agua. Generalmente, están cubiertas de vegetación de pastos y tienen similares limitaciones para su uso y manejo, como el drenaje deficiente y la exposición a constantes y permanentes inundaciones, por lo que se han mapeado como Tierras Misceláneas (TM).

3.3. Geología

En la (Figura 11) se observa que la RNT se sitúa sobre la Fm. Cabacúa y al ESE sobre siluetas irregulares de sedimentos del Cuaternario-Reciente -ellos asociados al río Tebicuary. En la (Figura 12) se puede observar que la RBBM se sitúa por encima de la asignada (Anschutz, 1981) como Fm. Cabacúa (Pi) y al ESE sobre siluetas irregulares de sedimentos del Cuaternario-Reciente -ellos asociados al río Jejuí-Guazú. Dentro de la actividad de campo se colectaron muestras de roca y se realizó inspección de minerales indicadores (minerales pesados) para mineralizaciones ya sea metálica y/o no metálicas, específicamente en la RNT y alrededores, se describieron e ilustran: las muestras de roca; y exámenes microscópicos. A modo de ejemplos se muestran algunas fotografías de lo ya mencionando en el área de Tapytá (Foto 2), y (Foto 3) (área Bosque Mbaracayu)

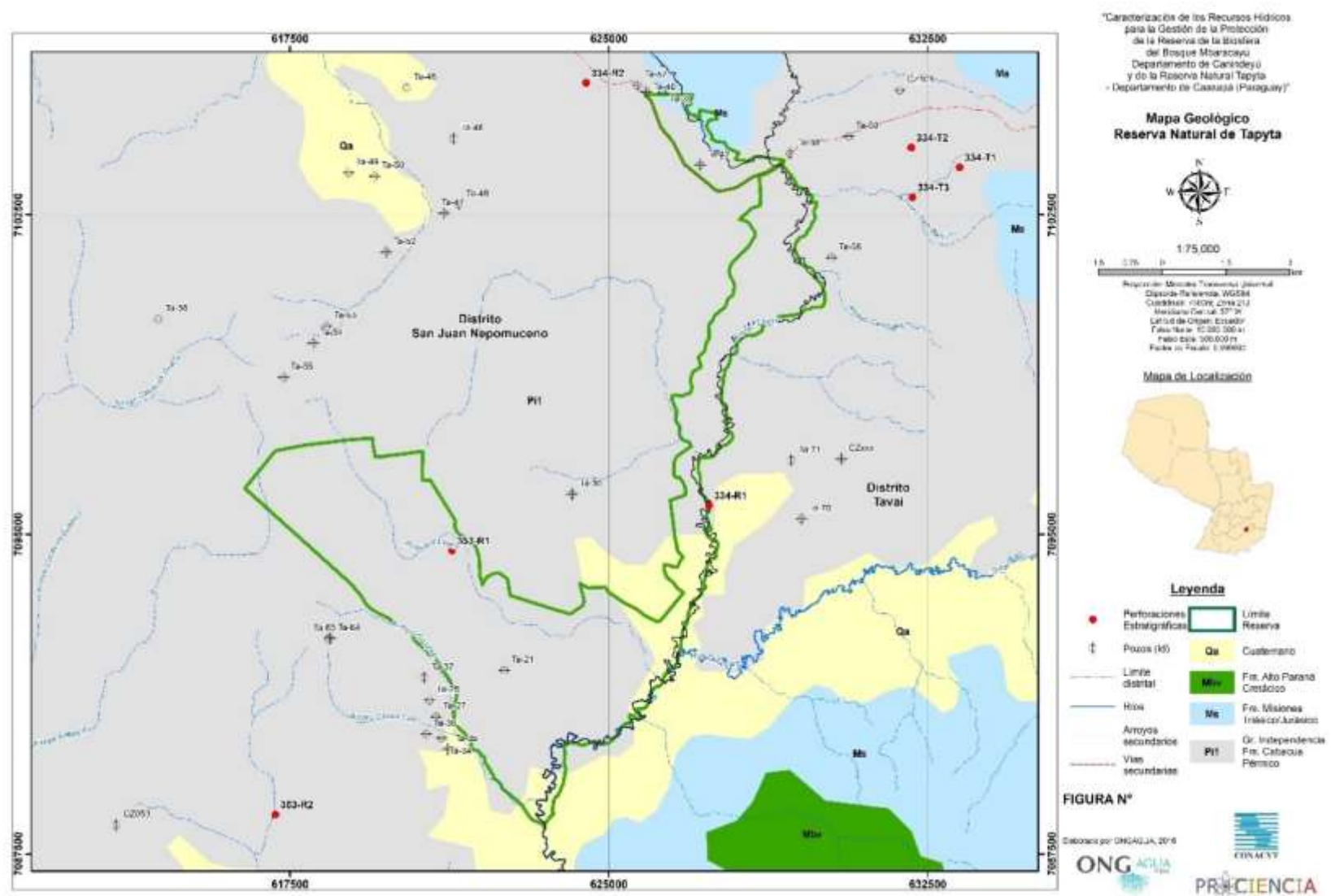


Figura 11. Mapa geológico del área de la RNT,

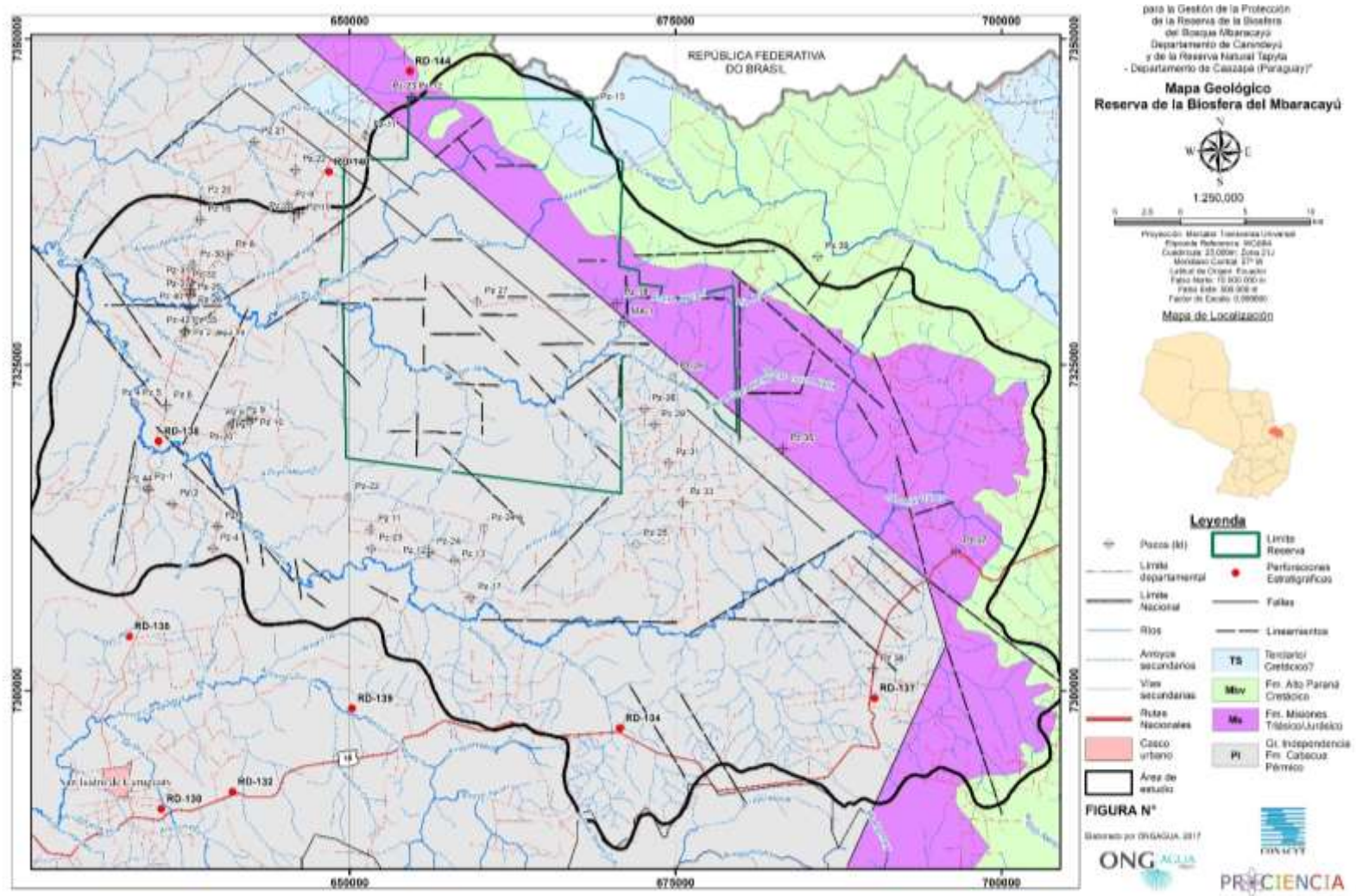


Figura 12 Mapa geológico de la Reserva de la Biósfera de Bosque Mbaracayú (Fuente: ONGAgua, 2004).

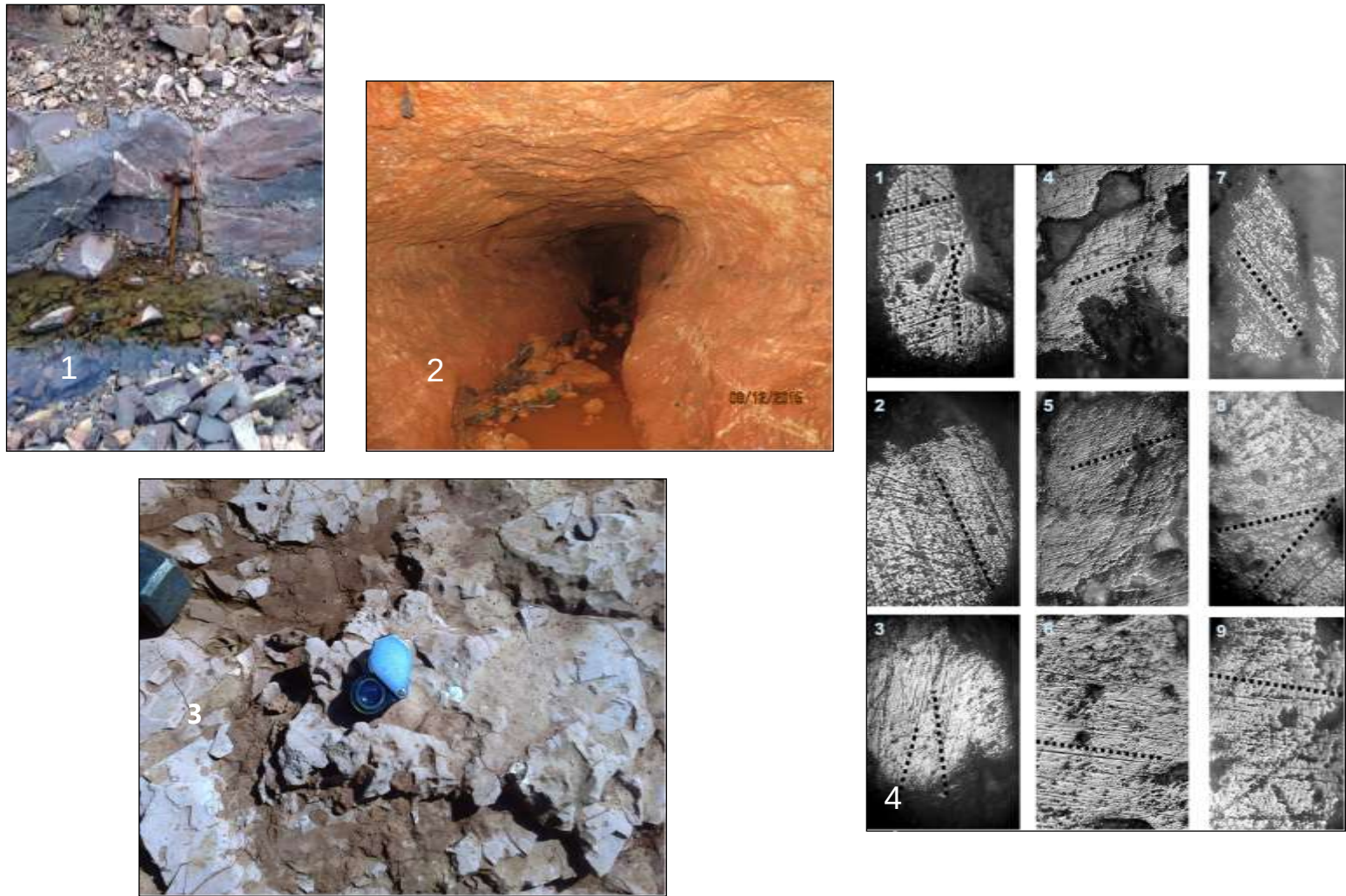


Foto 2. Geología del area de la RNT y area de influencia .

- 1- Foto-ONGA-04. Exposición de diabasa gris-oscuro en frente de cantera. Junto al martillo se pueden observar filones a vetillas de color blanco -cuarzo hidrotermal relleno porciones del material que habrían sido brechadas/fracturadas
- 2- Foto-ONGA-200. Sedimento algo litificado con aspecto de brecha (con clastos de mm. a cm.) es visto en la entrada de la gruta. La foto muestra que el material presenta un arreglo caótico (brecha litica de impacto) y se encuentra con exceso de agua
- 3- Foto-ONGA-301. Exposición de arenisca fina con mica -arcillosa de color rojo-vino que por una diferencia de distribución de minerales en su composición (se interpreta) muestran una mini estructura cavernosa
- 4- Micro-fotografía I. PFs y PDFs en una sección pulida observada al microscopio calco-petrográfico y fotografiadas desde una cámara digital no profesional. 1-3: ONGA-201 4-6: ONGA-502A 7-9: ONGA-01.



Foto 3. Exposiciones de los sedimentos de la Formacion Pi (pérmico) y Formación Misiones (Triásico/Jurásico). La foto i es un zoom de la foto h.

3.3.1. RNT - Posible cráter de Impacto Tapytá

Uno de los mayores aportes de la revisión de la geología junto a la Reserva Natural Tapytá es el reconocimiento de una estructura de impacto de gran diámetro (Detalles en el Componente: Geología, se tiene en el Informe Completo del Proyecto).

Según French, (1998) el término general "cráter de impacto" es utilizado para designar una depresión de impacto formado a hiper-velocidad, la estructura formada por un proyectil cósmico que es lo suficientemente grande y lo suficientemente coherente para penetrar en la atmósfera terrestre con poca o ninguna desaceleración y para golpear la tierra en prácticamente su velocidad cósmica original (> 11 km/s, ver Taylor, (1982). Potter y Kring (en http://www.lpi.usra.edu/exploration/training/resources/impact_cratering/ accesado en 04/2015) afirman que cráteres en superficies planetarias sólidas se dividen en tres grupos en función de su morfología, que varían en función del diámetro: cráteres simples, cráteres complejos, y cuencas de impacto.

De acuerdo a lo encontrado en la página de Ludovic Ferreire -la confirmación de una nueva estructura de impacto de meteoritos necesita ser apoyada por la presencia de indicadores metamorfismo de choque, ya sea megascópica (por ejemplo, conos astillados) o microscópica (por ejemplo, la deformación planar en minerales), o por la presencia de polimorfos de alta presión (por ejemplo, coesita y stishovita) y/o elementos siderófilos (por ejemplo, iridio) o por anomalías isotópicas (por ejemplo, en osmio) en entornos geológicos específicos (<http://www.meteorimpactonearth.com/impactmeta.html> Acceso en el segundo trimestre del 2015). La deformación planar (PFs y PDFs, P/ej. French (1998) y referencias) en los granos de cuarzo, que se desarrollan entre el rango de presión 5-10 GPa a aproximadamente 35 GPa, es uno de los mejores criterios para la identificación de nuevas estructuras de impacto (Osinski y Pierazzo, 2013 y referencias). Las PDFs en el cuarzo son uno de los más convincentes indicadores de choque, existiendo un buen conjunto de estudios y análisis. La (Foto 2). muestra un grano de cuarzo que exhibe marcadamente PDFs -examinado petrográficamente en la diamigrita; en esta misma figura se muestra también PDFs identificados en granos de cuarzo de la arenisca expuesta en el cerrito junto a la Reserva Natural Tapytá. Caazapá) Paraguay", se dan micro-fotografías de PDFs en 3 rocas distintas, (Foto 2, nro 4).

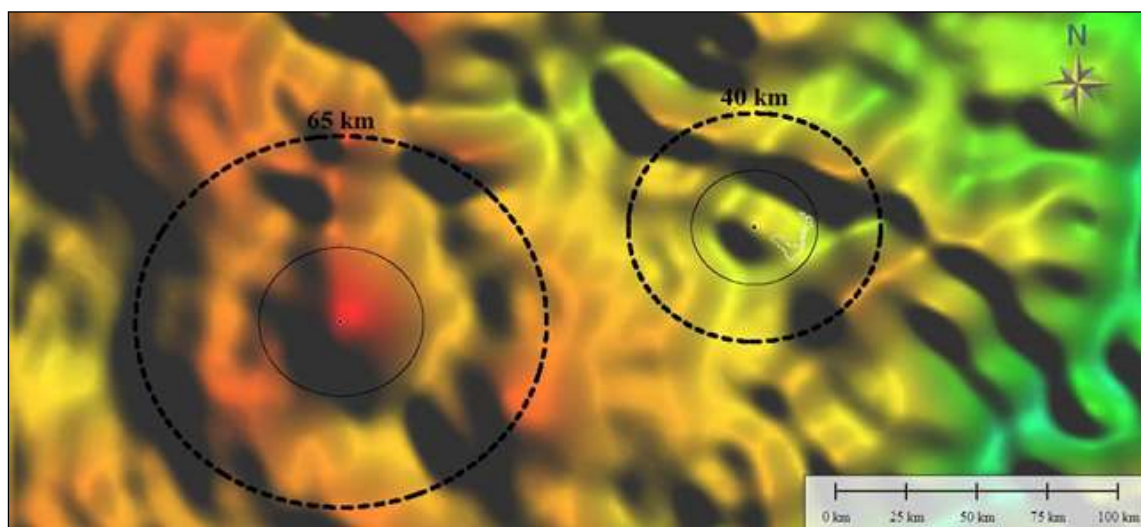


Figura 13. Esquema de la Arquitectura /profundidad del basamento con base a gravimetría free-air junto al área de la Reserva.

Natural Tapytá y alrededores permitieron pinzar dos grandes anomalías circulares concéntricas del tipo cresta/valle/pico-central como típico de cráteres de impacto complejo y de pico central (consultar Osinski y Pierazzo, 2013 y referencias): 650 Km de radio centrado en zona de Villa Florida (Misiones) y de 40 Km de radio centrado junto a la Reserva Natural Tapytá.

El hecho de tratarse de rocas colectadas en bien separados puntos y al mismo tiempo pertenecer a condiciones distintas de origen geológico permiten dar más peso a la indicación que el área sufrió metamorfismo de choque; i.e. que el posible cráter de impacto Tapytá, en base a las informaciones comentadas (geofísicas y petrográficas) podría tratarse de cráter de impacto. La Fm. Cabacué pertenecería a un conjunto de litologías (diversas variedades de brechas de impacto y tipos de areniscas) de formación, origen y distribución espacial (cuenca dentro de un gran cráter de impacto y potencialmente además formaciones similares en las afueras del cráter que representen ejectos de sedimentos producto del impacto) con un rango de edad individual (probablemente del Jurásico Inferior/Medio). Su inserción dentro de la columna estratigráfica de la Geología del Paraguay debería ser reconsiderada y reevaluada.

Consideraciones sobre el potencial económico junto a la Reserva Natural Tapytá

La Reserva Natural Tapytá al encontrarse dentro de un "posible cráter de impacto" (Figura 13), abre para si y su entorno un fuerte potencial atractivo económico vinculado con recursos minerales, hidrocarburos y agua mineralizada como puede sustraerse de los compendios encontrados en Osinski y Pierazzo (2013) y otras referencias. Se podría apuntar a estudios posteriores para confirmación del posible cráter de impacto" con intención de aportar información de minerales formados por metamorfismo de impacto, con rocas (petrográficamente preparadas: cortadas y pulidas y/o secciones delgadas) estudiados al microscopio petrográfico, y apuntar a identificar sitios para potenciales mineralizaciones.

3.3.2. En la Reserva Natural Mbaracayú

En la (Figura 12) puede observarse la marcada presencia de sedimentos del tipo Pi, los que aparentemente están cubiertos por Ms (areniscas de la Formación Misiones) según los criterios de Anschutz (1981). Los que por su vez están capeados por los basaltos de la Formación Alto Paraná (Mbv), que también aparece, al N y el NE de la misma figura. Se nota aunque sobre estos basaltos aparecen como islas los sedimentos Ts. Facturación al NW de Curuguaty, junto a la Reserva (de lado de Ygatimi). Se puede observar un importante sets de fracturas y/o fallas con rumbo NW-SE y de extensión de muchos kilómetros. Otras también, pero en menor importancia representativa, con rumbos NE, E-W y N-S. (base Imagen Lansad 7, 2000). La porción al norte de la Reserva y sus alrededores muestran un plateau muy elevado, con cotas de más 400 (Figura 12) donde predominan los terrenos basálticos. Al sur-SW, rumbo a la ciudad de Ygatimi, lomadas mas suaves se destacan en la topografía que se ven quebrantadas por profundos valles ocupados por arroyos y/o ríos. En la (Foto 4) se observa el paisaje del área y un contacto estratigráfico de los basaltos sobrepuesto a las areniscas.

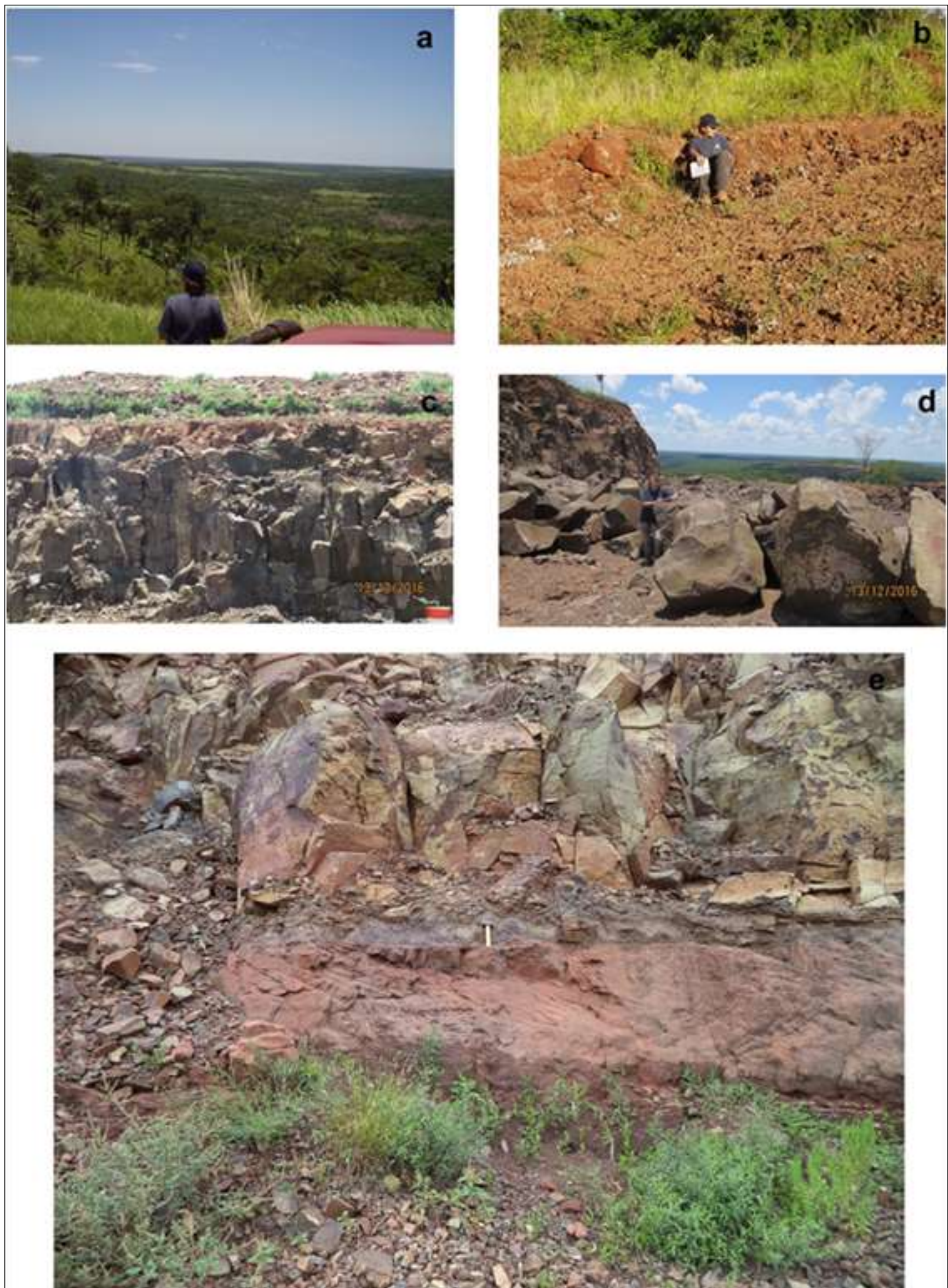
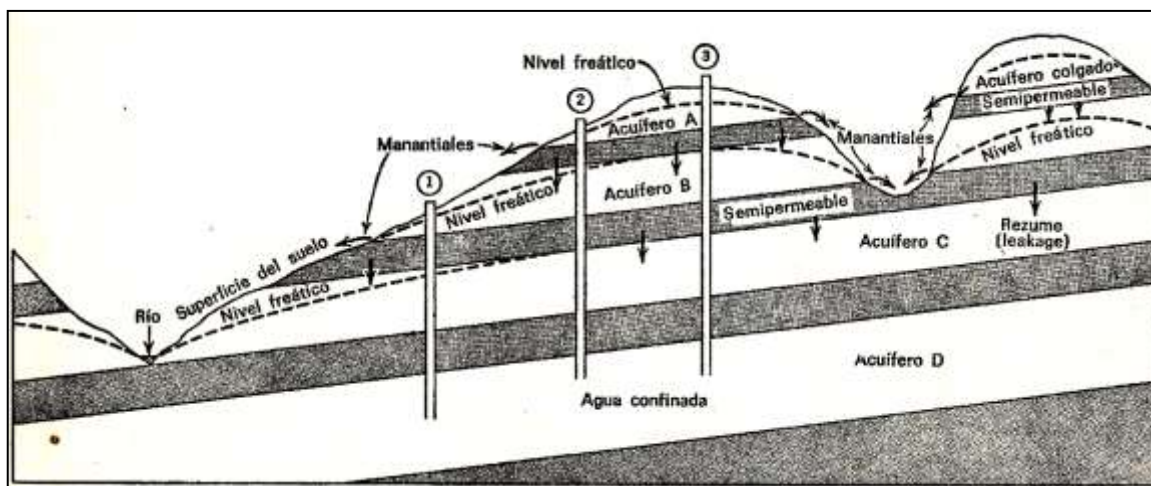


Foto 4. Fotografías del paisaje de los Basaltos Mbv. a- Norte de Nandurokai. Aquí la imagen fue tomada desde lo alto del plateau basáltico Mbv. El valle corresponde a los terrenos ocupados por sedimentos del tipo Ms. b-c-d-e Entre Ypejhu y Nandurokai. En d el martillo muestra una probable lente de areniscas rojizas, con estratificación cruzada de la Fm. Ms, entre derrames de los basaltos -interpretado como duna formada entre dos periodos distintos de efusión de las lavas.

3.4. Modelo Conceptual Hidrogeológico de las áreas de las Reservas Naturales de Bosque Mbaracayu y Tapytá

Ambas Reservas su mayor área están compuesto por estratos sedimentarios del paleozoico superior (sedimentos pérmicos que son esencialmente siliciclásticos, de distintas características, compuestos por importantes paquetes de pelitas, argilitas, limolitas y areniscas, del Grupo Independencia, y específicamente la parte superior del acuífero corresponde a la Formación Cabacúa (Anschutz, 1982) y en menor área por estratos arenosos del mesozoicos (areniscas de la Formación Misiones y Formación Acaray) y por acuífero fracturados de las coladas de basalto de la Formación Alto Paraná, que se encuentran por encima de los sedimentos del mesozoico y de los sedimentos permicos, específicamente en la zona de la Reserva del Bosque Mbaracayu (Foto 4). Los acuíferos más someros de poca profundidad tienen su recarga local provenientes de las lluvias como también por acuíferos más profundos debido a la conexión que existen entre ellos, ya que no se tiene una capa totalmente impermeable, lo que le confiere a los acuíferos más profundos como "acuíferos semiconfinados".

La siguiente (Figura 14) representa un modelo esquemático de cómo se encontrarían los acuíferos que atraviesan los pozos en las áreas de estudio, encontrando niveles muy variados de acuíferos, eso se debe a que los estratos acuíferos y acuitardos característicos no tienen continuidad lateral y los espesores son variables variable, lo que hace que se tenga otra fase litológica y acuitardos (que son formación geológica capaz de contener agua y transmitirla lentamente, como limos arenosos, arenas arcillosas, en nuestro caso siltitas y lutitas intercaladas, limolitas), y una capa impermeable que puede contener agua pero no transmitirlo, como las arcillas, en nuestro caso sería potentes estratos de lutitas.



. Fuente: Davis & De Wiest, 1971

Figura 14 Corte geológico de una secuencia estratigráfica simple de areniscas y lutitas, con aguas confinadas, no confinadas y colgadas. Corte geológico puede traducirse para nuestra área considerando la secuencia estratigráfica de areniscas, y la capa semipermeable de areniscas/siltitas y lutitas/siltitas.

3.4.1. Área de la Biósfera del Bosque del Mbaracayú

Las aguas subterráneas tienen una dirección del NE dirigidas hacia las áreas más bajas, y hay una divisoria de direcciones de flujo subterráneo en la parte SW del área, donde al parecer los lineamientos estructurales NW-SE serían las causales.

Se tienen flujos subterráneos que vienen del NE y otros flujos subterráneos que vienen del SW. La Reserva Bosque Mbaracayu son áreas de descarga del flujo regional, y áreas de recarga local. De acuerdo con las configuraciones de las isolíneas realizadas (Figura 16) se observan que en áreas donde se localizan las poblaciones se tienen mayores concentraciones de pozos tanto profundos como someros, y por eso también mayor cantidad de datos concentrados en áreas, los flujos subterráneos tienen un comportamiento regional y local, influenciados por las estructuras geológicas.

La dirección del flujo subterráneo tiene direcciones preferenciales de NE-SE; con una dirección con direcciones locales que convergen, influenciados por las estructuras geológicas, especialmente en el área de Guyra Keha y zona de Ygatimi, también áreas, se puede observar en la (Figura 15 y Figura 16), áreas donde los flujos divergen hacia los cuerpos de agua superficial, se observa que las direcciones de los flujos subterráneos se dirigen hacia los bajos estructurales donde se encuentran los cauces principales de los ríos.

Las profundidades de los niveles del agua subterráneas (Figura 17) dentro de los límites de la Reserva según los pozos someros medidos se encuentran entre 3 y 6 m. Los niveles del agua subterránea menos profundas se encuentran hacia el oeste de la Reserva, y los más profundos hacia la parte SE de la misma (zona de Brítez Cue y Guyra Keha).

Son acuíferos de caudal insignificantes a considerables (1 l/seg a 10 l/seg según Mijailov, 1989)

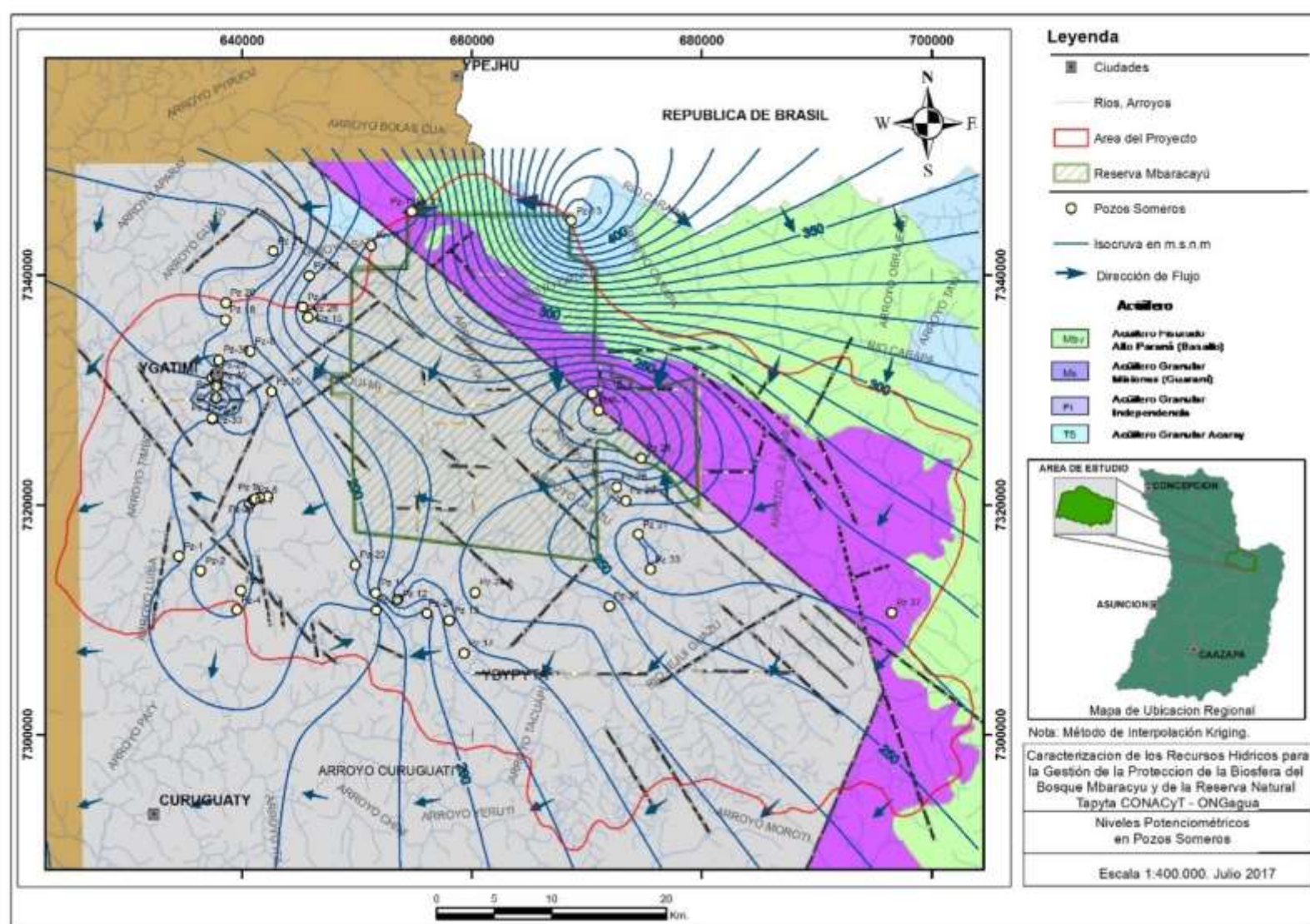


Figura 16. Mapa piezométrico del acuífero somero, basados en datos de pozos de hasta 32 metros de profundidad.

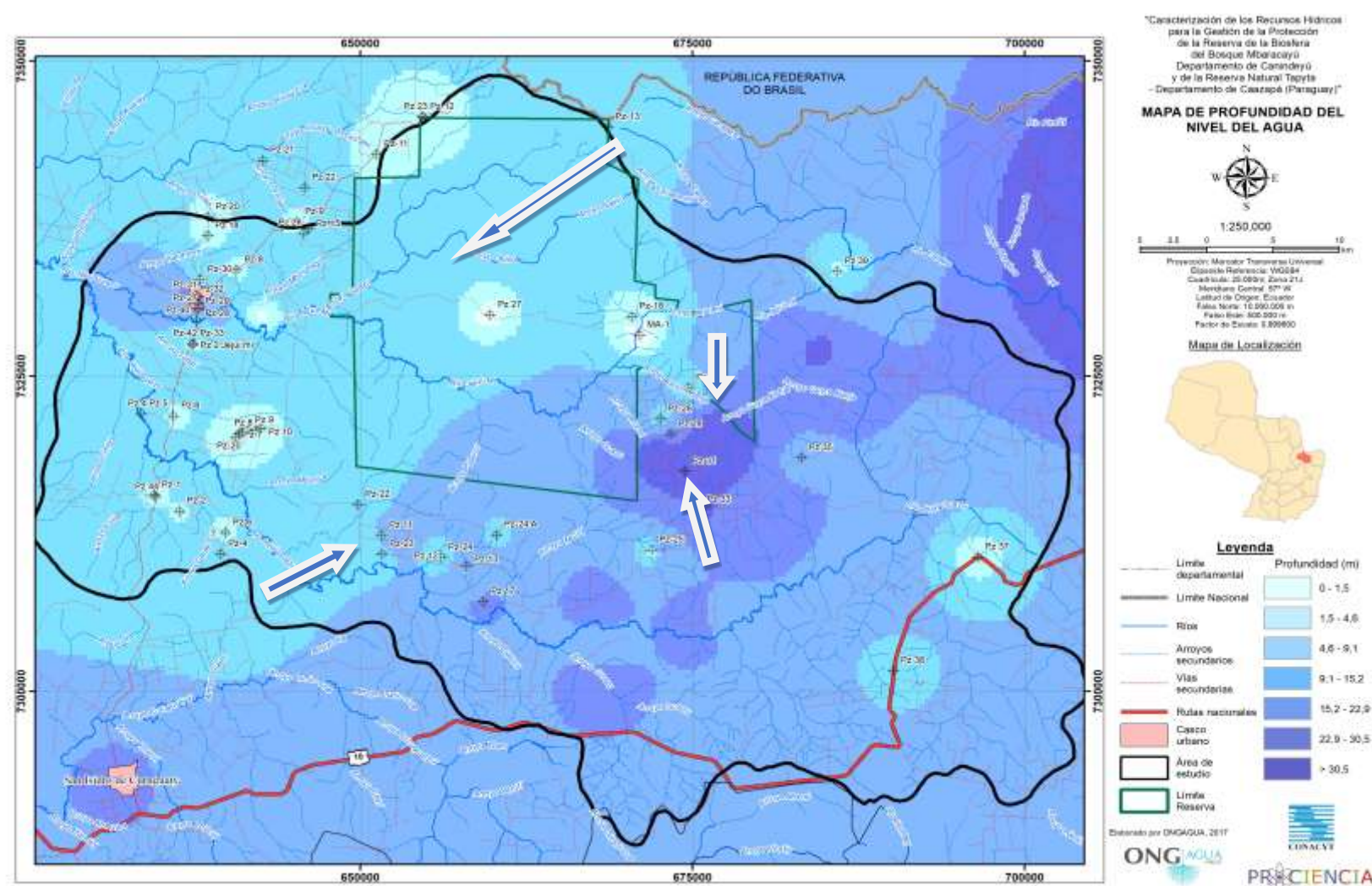


Figura 17. Mapa de profundidad del nivel del agua subterránea en el área de la Reserva del Bosque Mbaracayú y alrededores. Las flechas muestran las direcciones de flujos preferenciales.

3.4.2. Área de la RNT

Las cotas más elevadas se presentan hacia el oeste de la RNT, encontrándose área de manantial, y teniendo su tránsito y descarga del agua subterránea hacia los arroyos y río, específicamente al arroyo Tayay, y río Tebicuary, que es el receptor de varios arroyos pequeños que nacen en la zona de Cerrito/Mandua y otros en la zona de Cierva Cuá, donde son áreas de recarga que tienen su drenaje por infiltración y escorrentía, excepto en zonas arenosas donde el drenaje sería por infiltración directa. La Reserva es área de descarga del flujo regional y recarga de acuíferos freáticos.

La dirección del flujo subterráneo (Figura 18 y Figura 19) tiene direcciones preferenciales de NW-SE; E y S-E, teniendo sus niveles más elevados en la zona de Mandura/Cerrito al oeste de la RNT, coincidiendo con la topografía más elevada del área, en este área también se tienen las nacientes de varios arroyos donde el arroyo Yuqueri es uno de ellos que desemboca en el arroyo Tayay que hace límite de la reserva al este.

En la parte suroeste de la Reserva se observa una ligera bifurcación de la dirección del flujo subterráneo, siendo el área donde nacen los arroyos entre ellos el arroyo Ciervo Cuá.

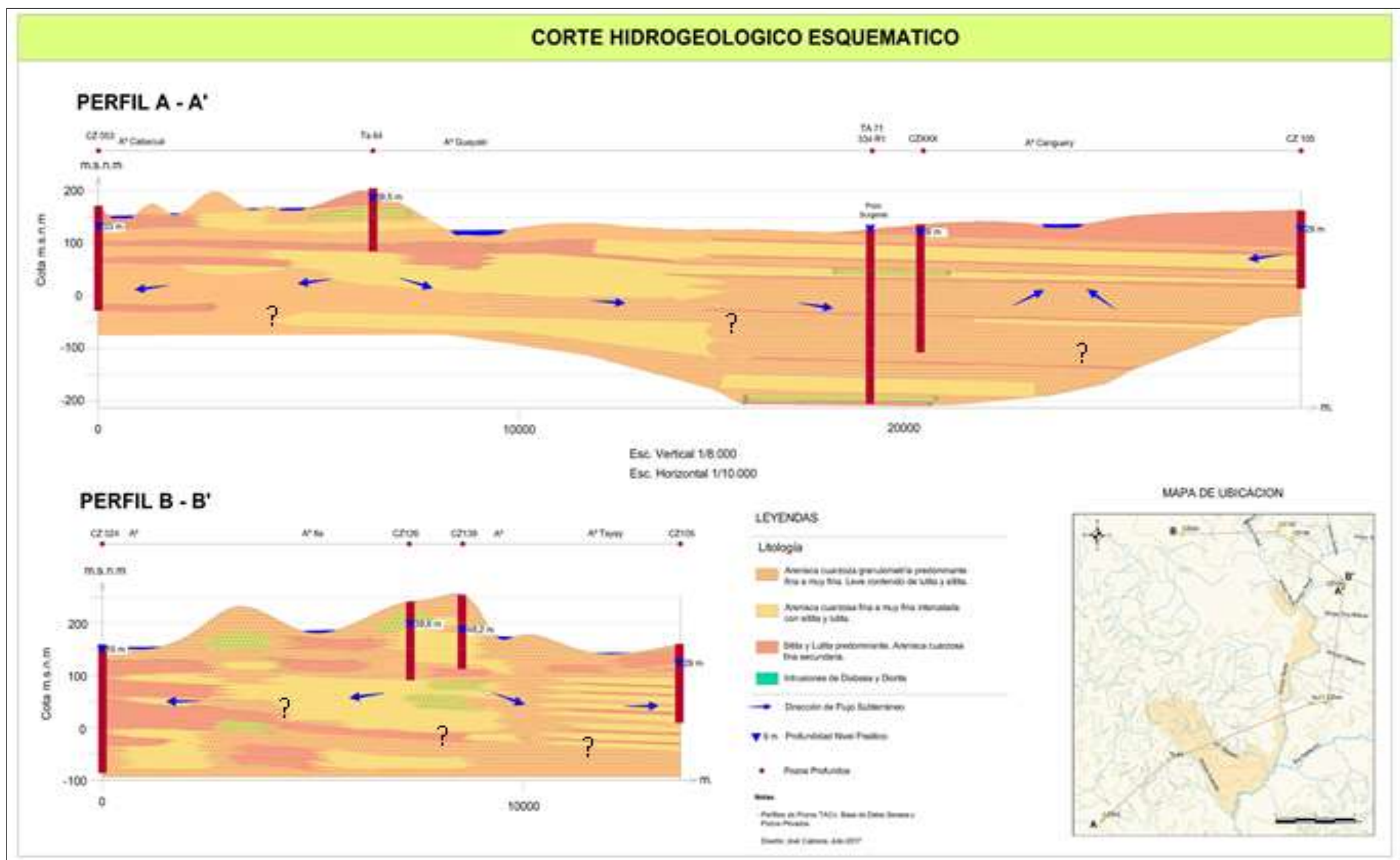


Figura 18. Modelo conceptual hidro estratigráfico del área de la RNT y alrededores.

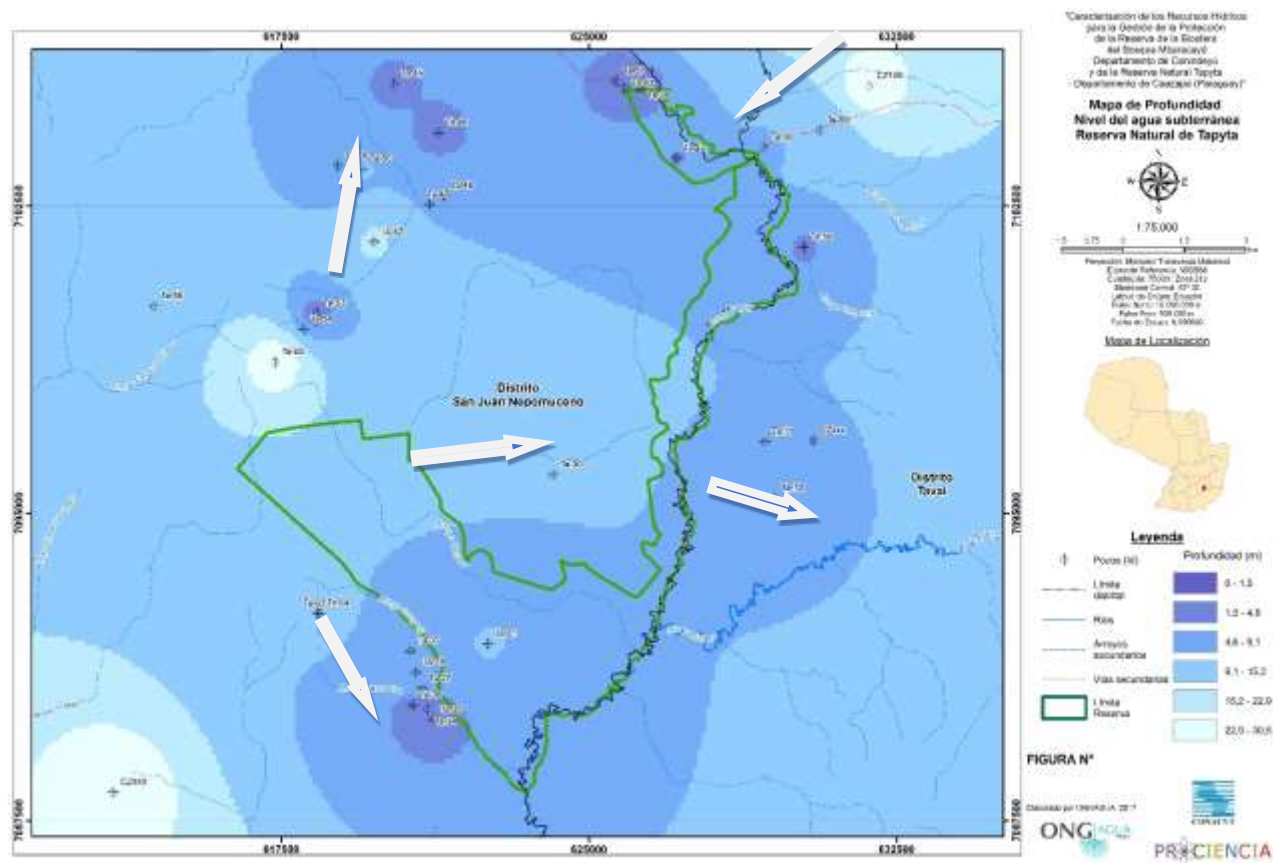


Figura 19. Mapa de profundidad del agua subterránea y direcciones principales del flujo subterráneo

3.5. Características químicas

Los patrones climáticos tienden a producir comunidades de plantas y tipos de suelo característicos, y la composición química del agua de las corrientes que drenan dichas áreas podría considerarse un producto del equilibrio. La geología tiene un efecto directo en la composición química del agua que pasa sobre y a través de la roca, por su contenido mineralógico (Hem, 1985).

Las investigaciones de hidroquímica fueron realizadas para contar con datos de base de la calidad de los recursos hídricos que afectan a la Reserva, detectando posible polución o contaminación y determinar los sitios de monitoreo y medidas para su protección.

Para interpretar los resultados la calidad de las aguas (subterránea y superficial) para consumo humano, se basa en la publicación de "Guías para la calidad del agua potable, tercera edición. Volumen 1: Recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (2008). Para la clasificación hidroquímica de las aguas se determinaron en laboratorio los siguientes parámetros necesarios para la clasificación

Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, SO₄⁼, HCO₃⁻, Cl⁻. Otras muestras solo fueron determinados arsénico, nitrito, nitrato, y amonio (Tabla 3 y Tabla 4).

La clasificación química de las aguas superficiales y subterráneas fue realizada utilizando el DIAGRAMA PIPER de (Langelier & Ludwig, 1942) apud von Hoyer, 1993) (Figura 20 y Figura 21).

Como indicadores principales de contaminación se definió el total de solidos disueltos, nitrito, nitrato, amonio, fosfato y arsénico (inorgánicos), y fitoplancton (biológico).

3.5.1. Análisis de los resultados físico químicos del agua

3.5.1.1. Reserva Natural de Tapyta - RNT

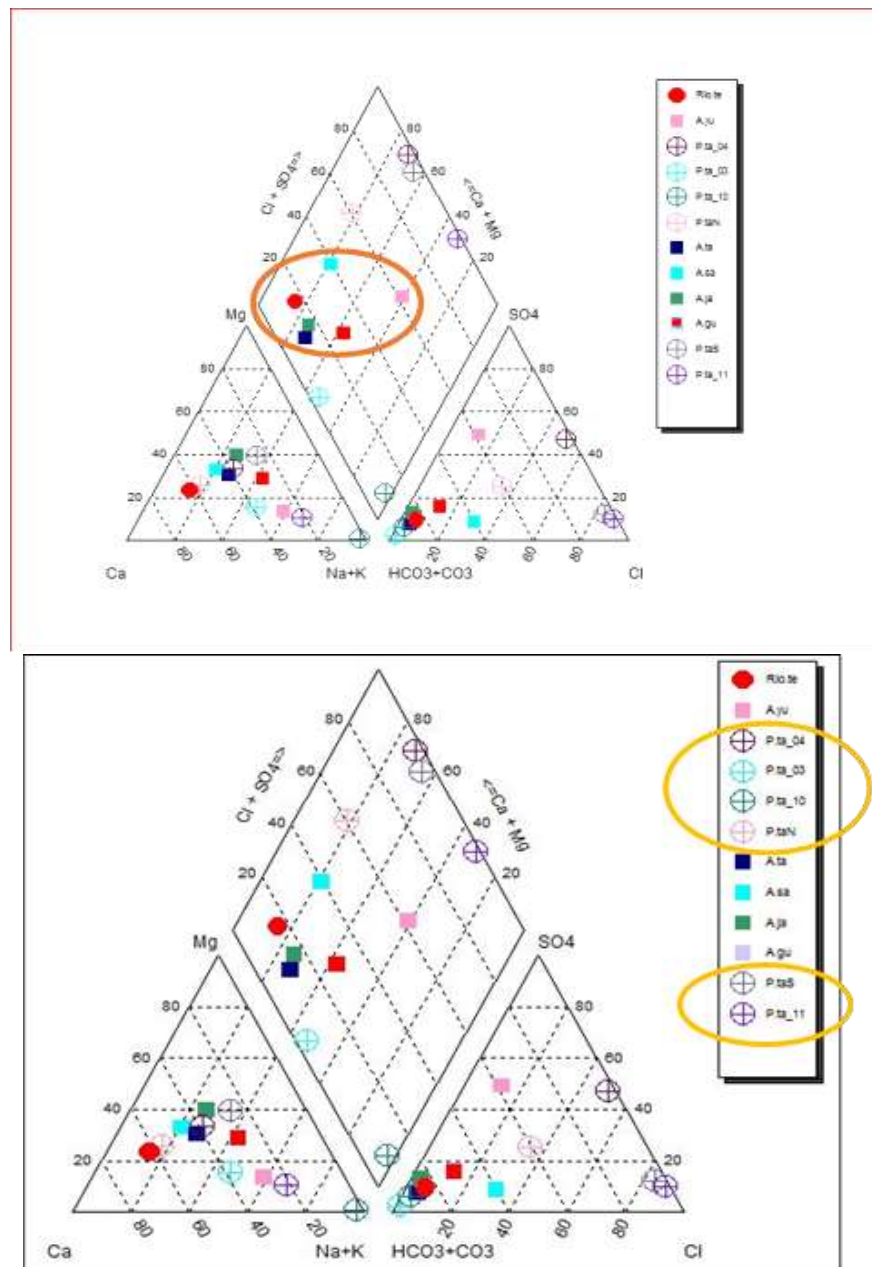


Figura 20. Diagrama de Piper - Clasificación de las aguas superficiales (izquierda) y subterránea (derecha).

Las concentraciones de sales las aguas de los arroyos y río analizados, son menores a 40.5 mg/L (Tabla 3), siendo del tipo de agua dulce, según David & De Weist (1967), y son aguas bicarbonatadas, cálcicas, bicarbonatadas sódica y levemente sulfatada sódica basado en el DIAGRAMA DE PIPER, (Figura 20) Los arroyos Guayaki y Yuquerí presentan aguas sódica y sulfatada, podría interpretarse como que tienen aporte de aguas subterráneas, y son aguas mezclas, mientras que las otras aguas son bicarbonatadas cálcicas magnésicas (aguas de lluvia). Con respecto a la clasificación química de los tipos de agua subterránea se identificaron dos familias químicas, es decir las bicarbonatadas sódicas y las bicarbonatadas cálcicas.

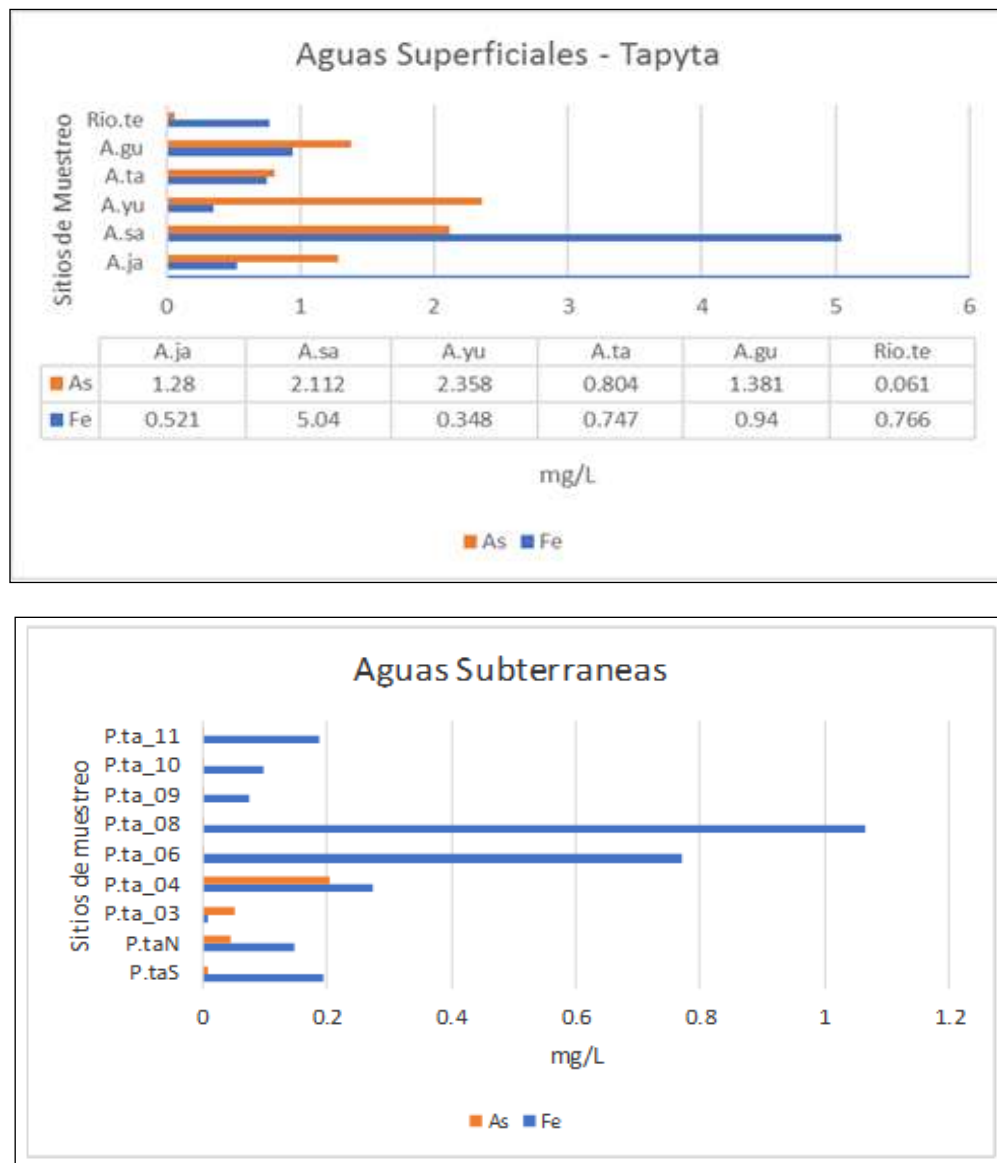


Figura 21. Gráfico de valores de hierro y arsénico en agua superficial (izquierda) y de agua subterránea (derecha).

Tabla 3. Datos de resultados fisicoquímicos de las aguas subterráneas y superficiales del área de la RNT

Laboratorio de Calidad de Agua - Facultad de Ciencias Exacts y Naturales de la Universidad Nacional de Asuncion																																									
Nº de Origen	ID	Botella	Fecha	Localizacion / Propietario	UTM-X	UTM-Y	Cota	NE	Prof	T	pH campo	pH lab	Dureza total	C.E campo	C.E lab	Solidos Suspen	TSD	Turb.	OD Lab	OD campo	DQO	Alcal.total	HCO ₃ ⁻ Bicarbon.	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	S	PO ₄ ³⁻	Ca	Mg	Na	K	Fe	Mn	As				
Unidad					m	m	msnm	m	m	°C	UpH	UpH	mg CaCO ₃ /l	µS/cm		mg /L	mg /L	UNT	mgO ₂ /L	mgO ₂ /L	mgO ₂ /L	mg/l	mg /L	mg /L	mg /L	mg /L	mg /L	mg NH ₃ /L	mg /L	mg P/l	mg /L	mg /L	mg /L	mg /L	mg /L	mg /L	mg /L				
Normas Paraguayas NP2400180															4 - 9		400	1250			600	5.00	≥ 5			250		250	250	10	0.1	0.05	0.1		200	50	200		0.3	0.4	0.05
Resolucion Nro. 222/02SEAM-Paraguay																																		0.15							0.01
P.taS	Ta-21	P-01	21-jul.-16	Adm. Sur de la RN Tapyta (casa adm)	622542	7091809	181	9.6	11.8	20	5.31	5.14	5	24.9	26.9	8.4	15.1		6.9	4.04		3.5	0.19	0.5	2.5	0.319	0.011	0.003	0.001	0.01	0.8	0.73	0.77	0.74	0.193	0.005	0.008				
P.taN	Ta-42	P-11	23-jul.-16	Adm. Norte de la RN Tapyta	627144	7103669	158	4.45	9.6	18	5.4	5.76	19	43.9	29.5	3,3,4	25.9	3.69	7.7	4.43		13	2.73	1.38	1.4	6.75	0.028	0.004	0.001	0.01	5.21	1.46	1.58	0.59	0.149	0.005	0.046				
P.ta_02	Ta-34		23-jul.-16	Cirvo cua - Silvio Gonzalez	621071	7090221	135	2.13	6.3	20.4	6.69	6.81		206	257	28.3	176		7.4	5		45	31.95	7.4	13.1	0.28	0.1	0.009	0.001	0.08			24.69	12.15	0.075	0.005	0.001				
P.ta_03	Ta-32	P-07	23-jul.-16	Entrada Maderas Pomera	627152	7101626				15.1	6.98	7.13	28	206	247.8	0	168		8.1	6.36		51	42.33	0.75	0.4	1.42	0.011	0.005	0.001	0.09	8	1.95	9.31	3.5	0.01	0.005	0.053				
P.ta_04	Ta-28	P-9	21-jul.-16	Casa Getrudis	620782	7091110	150	6.4	8.8	17.4	5.79	5.39	12.35	29.5	35.2	7.2	19.7	4.38	6.4	6.56		6.5	0.062	1.27	1	7.17	0.014	0.004	0.001	0.03	2.66	1.38	1.61	1.02	0.275	0.005	0.205				
A.ja	Ta-41	P-10	23-jul.-16	Arroyo Jacui-Sendero 010	627457	7104140	159			15.4	7	6.94	24.7	62.3	73.6	2.8	40.5	6.28	8.8	9.87	8.76	24.5	18.62	2.33	0.4	1.28	0.039	0.04	0.001	0.03	4.56	3.23	2.81	2.03	0.521		1.28				
A.sa	Ta-17	P.09	22-jul.-16	Arroyo Sarã	626251	7098579	138			12.3	6.38	6.34	11.4	11.98	22.33	182.3	12	214	8.9	11.96	175.72	6	2.64	0.3	0.8	1.88	0.276	0.07	0.001	0.15	2.66	1.15	1	0.7	5.04		2.112				
A.yu	Ta-19	P-06	22-jul.-16	Arroyo Yuqueri	623542	7092630	139			9.6	6.47	6.43	3	14.28	18.8	2.1	10.8	3.64	9.2	15.83	11.34	4	2	2.07	0.4	0.018	0.017	0.004	0.001	0.03	0.8	0.24	1.15	1.4	0.348		2.358				
A.ta1	Ta-29	P-05	22-jul.-16	Arroyo Tajay-Puente Kyha	628826	7103582	152			10.8	6.86	7.04	24	32.2	69.3	9.2	37.2	15.90	9	12.31	8.25	23	18.4	1.18	0.6	1.56	0.043	0.014	0.001	0.04	5.61	2.43	3.27	1.64	0.747		0.804				
A.gu	Ta-24	P-03 y P-8	22-jul.-16	Arroyo Guayaki	621367	7090607	135			13.2	6.78	6.75	10	37.3	42.2	3.4	23.2	9	8.7	12.05	8.25	13	9.23	1.61	1	0.407	0.029	0.028	0.001	0.03	2	1.22	2.17	2.09	0.94		1.381				
Rio.te	Ta-23	P-02	21-jul.-16	Rio Tebicuary	625794	7091118	183			11.4	7.31	6.9	22	54.8	61.3	3.6	32.4	7.29	9.1	14.96	8.25	20.5	15.58	1.38	0.7	1.07	0.024	0.24	0.001	0.03	6.41	1.46	1.1	1.14	0.766		0.061				
P.ta_11	Ta-45	P-1	24-nov.-16	Camino a 8 de Diciembre- Nelida Riveros	620246	7105488	174	3.25	8.2	23.4	5.25	5.6	8.64	94.3	85.1		53.3			3.61		2.02	0.3	1.67	11	12.93	0.032	0.009			2.3	0.7	5.01	5.94	0.189		0.001				
P.ta_05	Ta-55	P-4	24-nov.-16	Manduará/Cerrito	617347	7098687	278	28.7	31.2	27	4.58	4.75		59.5	54.8					4.8																	0.001				
P.ta_06	Ta-57	P-5	25-nov.-16	Corazon de Maria- Adelio Benitez	625671	7105539	159	0.74	4.22	23	5.7	5.52		18.27	19.7					3.95						2.29	0.046	0.008							0.769		0.001				
P.ta_07	Ta-58	P-6	25-nov.-16	Toro Blanco 1 - Elida Espinola	630237	7101495	159	4.16	11.1	22.4	5.6	5.69		37.3	35.8					4.88						6.53	0.028	0.019									0.001				
A.ta2	Ta-60	P-7	25-nov.-16	Arroyo Tayay - Puente camino principal	629043	7103687	149			23.3	6.64	7.08		72.4	64.5					5.67																	0.256				
P.ta_08	Ta-64	P-10	25-nov.-16	Pozo Profundo de la Junta de ciervo Cua	618450	70925559	216	9.5	120	22.7	7.42	7.64		97.1	343		201			5.4		170	160.45	0.3	3.1	2.37	0.024	0.007							1.066		0.001				
P.ta_09	Ta-69	P-15	26-nov.-16	Pozo calzado Ciervo Cua Silvio Gonzales Acuña	621071	7090221	135	2,1			6.69	6.79		206	305					2.83																	0.05				
P.ta_10	Ta-71	P-16	26-nov.-06	Pozo surgente Toro Blanco	629315	7096734	150	0	320	28.3	9.25	9.14		246	528		284			2.32		236.85	220.86	11.76	4.3						1.92	0.23	102.71	0.43	0.099		0.001				
Metodo Estándar - Métodos Normalizados para el análisis de aguas portables y residuales, edicion Nº 17 (APHA-AWWA-WPCF).																																									
2.358	valor para ARSENICO que pasa el máximo permitido según Resolucion Nro. 222/02SEAM- Paraguay para Agua Potable																																								
175.72	valor que pasa el máximo permitido según Resolucion Nro. 222/02SEAM- Paraguay, para efluentes																																								
P.ta_10	se ha determinado la dureza en laboratorio, pero se omite debido a falta de confirmacion de la determinacion.																																								

Los que merecen atención son Hierro y Arsénico (Fe y As Totales), donde en la mayoría de las muestras los contenidos de Fe y As están por encima de las normas Resolución Nro. 222/02SEAM- Paraguay (0.01 mg/L) y NP2400180 (0.05 ng/L) en el caso del arsénico y 0.3 mg/L para el Fe (Figura 21).

Debido a que pequeñas cantidades de arsénico pueden ser tóxicas para los seres humanos, se considera una impureza indeseable en los suministros de agua y un límite de concentración superior de 50 µg/L se dio en los estándares de agua potable de 1976 (U.S.EPA, 1976b).

El arsénico se ha utilizado como componente de los plaguicidas y, por lo tanto, puede entrar en los arroyos o aguas subterráneas mediante la eliminación de desechos o el drenaje agrícola (Hem, 1985).

Se puede esperar que las toxicidades de las diversas formas de arsénico sean diferentes, pero los procedimientos analíticos de uso común informan sólo la cantidad total presente, como As.

Las aguas superficiales y subterráneas movilizan en solución pequeñas cantidades de hierro; no obstante, una movilización considerablemente mayor suelo tener lugar a través de la erosión y el transporte de partículas sólidas arrastradas por las aguas superficiales.

Es muy raro encontrar este elemento en las aguas superficiales o subterráneas, al menos teniendo un origen natural. Cuando existe es consecuencia de una polución industrial o explotación minera. También puede tener un origen agrícola, como consecuencia del tratamiento que se hace en el campo con pesticidas (Catalán, 1969).

En estos momentos, el límite recomendado para la concentración de arsénico en el agua potable es de 0.01 mg/L, y para riego de 0.1 mg/L.

Los valores en pozos profundos están por debajo de los límites excepto el pozo en Pomera (Pta_03) que posee 0.053 mg/L (Tabla 3). Los pozos someros en Administración Norte de la FMB 0.046 y de la familia de Gertrudis (Pta.04) con contenido de 2.05 mg/L (Figura 21).

Los efectos, que pueden tardar años en manifestarse (según el grado de exposición), incluyen lesiones en la piel, neuropatía periférica, diabetes, enfermedades cardiovasculares y cáncer (OMS, 2016) <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs372/es> Arsénico nota descriptiva.

3.5.1.2. Reserva de la Biósfera del Bosque Mbaracayu - RBBM

Las concentraciones de sales las aguas de los arroyos y río analizados, son menores a 13 mg/L (Tabla 4), siendo del tipo de agua dulce, según David & De Weist (1979), y son aguas bicarbonatadas, cálcicas, basado en el DIAGRAMA DE PIPER, y (Figura 22).

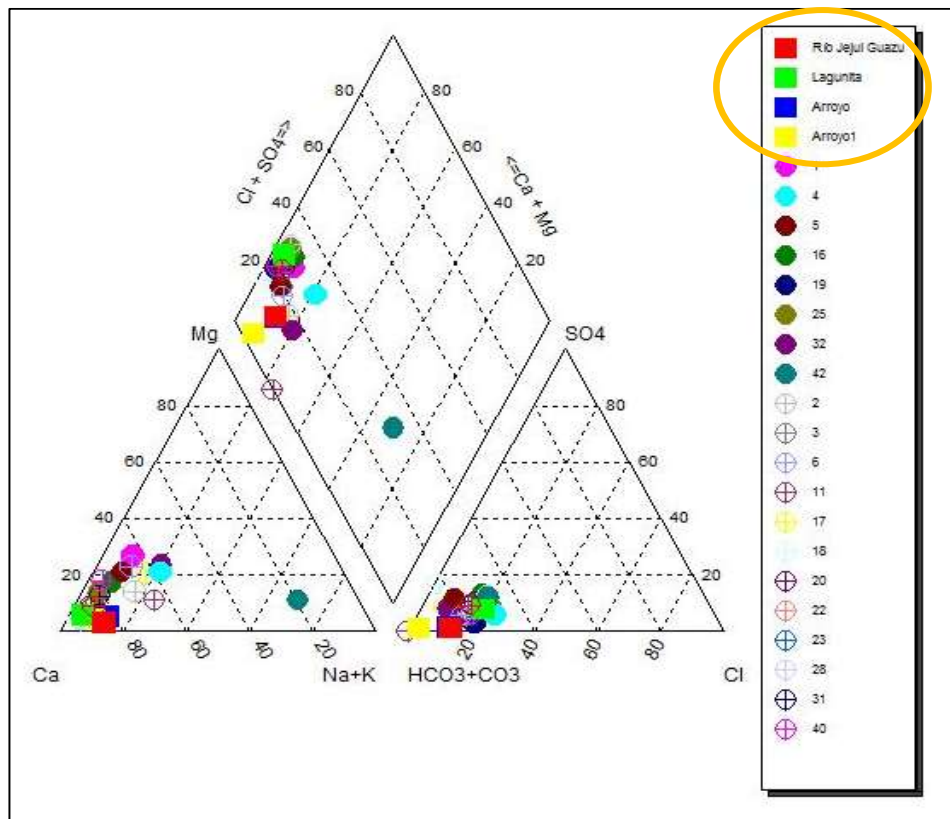


Figura 22. Diagrama de Piper - Clasificación de las aguas superficiales y subterránea del área del Bosque Mbaracayu – Lo encerrado en líneas corresponden a aguas superficiales.

En términos generales existe una incipiente contaminación puntual por nitrato en Villa Ygatimi por la carga contaminante local, por lixiviación de fertilizantes orgánicos o por filtración de pozo ciego, lo llamativo es que los niveles del agua subterránea de los pozos que presentan concentraciones mayores a 10 mg/L, están entre 7 y 10 metros de profundidad (Tabla 4).

El uso de esta agua para beber no debe permitirse, porque es sabido que concentraciones superiores a 45-50 mg/L pueden causar metahemoglobinemia en niños y mujeres embarazadas, más conocida por el nombre de "enfermedad de los niños azules".

El boro se encuentra de forma natural en aguas subterráneas, pero su presencia en aguas superficiales con frecuencia es consecuencia del vertido en aguas superficiales de efluentes de aguas residuales tratadas (a las que accede por su utilización en ciertos detergentes), WOH, (2008).

En las Guías de 1993 se estableció un valor de referencia basado en efectos sobre la salud de 0,3 mg/l para el boro, y se señaló que la eliminación del boro mediante el tratamiento del agua de consumo parece ser deficiente. Este valor de referencia se aumentó a 0,5 mg/l en el apéndice a las Guías publicado en 1998 y se designó como provisional porque, con la tecnología de tratamiento disponible, será difícil alcanzarlo en zonas con concentraciones naturales de boro altas.

Las aguas subterráneas de los acuíferos freáticos y semiconfinados se presentan del tipo bicarbonatadas cálcicas, (Figura 22,)siendo aguas de recarga, y la bicarbonatada sódica corresponden a acuíferos más profundos, donde el flujo subterráneo es más lento y las aguas tienen mayor tiempo de permanencia, que permite mayor disolución de los minerales de la roca que lo contiene .

No se detectó presencia de arsénico en las aguas subterráneas y superficial del área de estudio de la reserva del Bosque Mbaracayu (Tabla 4).

Tabla 4. Datos de resultados fisicoquímicos de las aguas subterránea y superficial del área de la Reserva de la Biósfera del Bosque Mbaracayú

Resultado de los ensayos químicos de las muestras de agua subterránea y superficial del area de la Reserva de la Biósfera del Mbaracayú - (Año 2004 y 2016)																																	
Laboratorio del Centro Multidisciplinario de Investigaciones Tecnológicas - CEMIT dependiente de la Universidad Nacional de Asunción. UNA																																	
Nº de Origen	ID	Fecha	Localizacion / Propietario	UTM-X	UTM-Y	Cota	NE	Prof.	T	pH campo	pH lab	Dureza total	C.E campo	Solidos Suspen	TSD	Turb.	OD campo	Alcal. total	HCO ₃ ⁻ Bicar b	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	PO ₄ ³⁻	Ca	Mg	Na	K	B	Fe	Mn	As
Unidad				m	m	msnm	m	m	°C	UpH	UpH	mg CaCO ₃ /l	µS/cm	mg /L	mg /L	UNT	mgO ₂ /L	mg/l	mg /L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg NH ₄ ⁺ /L	mg P/l	mg /L	mg /L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Normas Paraguayas NP2400180										4 - 9		400	1250		600	5.00		250		250	250	10	0.1	0.05		200	50	200		0.3	0.3	0.4	0.05
Resolucion Nro. 222/02SEAM-Paraguay																										0.15							
Pz 1	Pz 1	30/11/2004		637289	7327423	185				6.62	5.1	4.16	458.50	8.4	279.89			3.5	190	20.1	29.9	0.73	0.07	0.09		58.5	15	9.98	0.66	2.02	0.09	0.08	
Pz 2	Pz 2	30/11/2004		637404	7327469	184	6	13		5.22	5.8	0.61	62.28	3,3,4	38.35	3.69		13	29.85	1.43	3.11	0.92	0.02	0.05		10.1	1.2	2.65	0.2	0.1	0.07	0.06	
Pz 3	Pz 3	30/11/2004		637739	7329357	132	7	13		6.11	6.8	4.01	462.67	28.3	288.02			45	160	8.87	18.7	62.28	0.07	1.08		61.8	11	8.98	0.44	2.46	0.1	0.08	
Arr0	Arr0	01/12/2004	Arroyo Jejui-mi	637749	7329251	153				5.69	7.1	0.11	32.87	0	9.57			51	7.98	0.09	0.67	0.00	0.00	0.01		2.12	0.1	0.33	0.08	0.1	0.00	0.00	
Pz 4	Pz 4	01/12/2004		633556	7321987	130				7.98	5.4	5.12	677.86	7.2	326.17	4.38		6.5	268.9	17.5	55.8	1.1	0.07	1.08		75.2	16	22.45	15.5	0.8	0.1	0.08	
Pz 5	Pz 5	01/12/2004		633300	7321987	130	15			8.03	6.9	3.08	366.00	2.8	205.2	6.28		24.5	144.3	16.7	9.97	1.11	0.04	0.08		47.5	8.6	6.77	0.38	2.87	0.08	0.09	
RioJG	RioJG	01/12/2004	Rio Jejui Guaz	633560	7321831	150				6.66	6.3	0.18	36.64	182.3	12.99	214		6	9.94	0.09	0.89	0.00	0.00	0.02		3.39	0.1	0.53	0.07	0.1	0.00	0.00	
Pz 6	Pz 6	01/12/2004		635950	7321833	168	6			5.09	6.4	0.36	41.23	2.1	23.88	3.64		4	18.86	1.02	1.97	0.00	0.00	0.04		5.33	1.1	0.98	0.08	0.1	0.00	0.00	
Pz 11	Pz 11	01/12/2004		651624	7312350	218	15	16		5.1	7	0.06	11.42	9.2	4.83	15.90		23	4.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01		0.97	0.1	0.3	0.2	0.1	0.00	0.00	
Pz 16	Pz 16	01/12/2004		663780	7306110	224				7.39	6.8	2.76	244.67	3.4	170.99	9		13	112.8	16.9	16	1.14	0.05	0.08		44.9	6.2	5.11	0.39	2	0.07	0.08	
Pz 17	Pz 17	01/12/2004		659292	7307102	226	10	11		5.1	6.9	0.39	48.12	3.6	19.26	7.29		20.5	22.82	1.92	1.23	0.00	0.00	0.02		5.94	1.2	1.17	1.11	0.1	0.00	0.00	
Arr1	Arr1	02/12/2004	Arroyo Itanara-	637460	7334960	161				5.34	5.6	0.11	18.18		6.91			2.02	6.54	0.05	0.12	0.00	0.00	0.01		2.02	0.1	0.21	0.03	0.1	0.00	0.00	
Pz 18	Pz 18	02/12/2004		638540	7336113	174	5	6		5.34	4.8	0.15	15.76		9.68				7.11	1.11	0.09	0.00	0.00	0.00		2.76	0.1	0.11	0.01	0.1	0.00	0.00	
Pz 19	Pz 19	02/12/2004		638576	7337491	194				4.99	5.5	0.15	16.67		8.76				7.08	0.2	1.05	0.00	0.00	0.00		2.83	0.1	0.14	0.02	0	0.00	0.00	
Pz 20	Pz 20	02/12/2004		638568	7337588	195	5	8		4.89	5.7	0.16	25.22		11.16				8.78	0.98	1.16	0.00	0.00	0.00		2.98	0.2	0.18	0.03	0.2	0.00	0.00	
Pz 22	Pz 22	02/12/2004		645828	7339945	234	11	13		4.93	7.1	0.19	21.70		11.87				9.92	0.94	1.17	0.00	0.00	0.00		3.37	0.2	0.28	0.01	0.1	0.00	0.00	
Pz 23	Pz 23	02/12/2004		654727	7345553	232	5	6		4.96	7.6	0.15	18.35		10.13			170	8.52	0.76	0.94	0.00	0.00	0.00		2.72	0.2	0.23	0.01	0.1	0.00	0.00	
Pz 25	Pz 25	03/12/2004		658520	7357199	425	25	130		5.29	6.8	0.2	23.83		12.84				9.74	0.88	1.89	0.00	0.00	0.00		3.48	0.4	0.26	0.01	0.1	0.00	0.00	
Lagunita	Lagunita	03/12/2004	Lagunita	659884	733049	213				5.66		0.06	9.27		4.75			237	4.08	0.33	0.66	0.00	0.00	0.00		1.04	0	0.05	0.01	0.1	0.00	0.00	
Pz 28	Pz 28	03/12/2004		674735	7324060	206	9	10		4.85		0.1	14.43		6.98				5.48	0.79	0.88	0.00	0.00	0.00		1.86	0.1	0.09	0.02	0.1	0.00	0.00	
Pz 31	Pz 31	03/12/2004		674463	7317443	294	31	34		5.18		0.2	22.74		12.05				10.39	0.99	1.27	0.00	0.00	0.00		3.43	0.3	0.29	0.02	0.1	0.00	0.00	
Pz 32	Pz 32	03/12/2004		675410	7318292	272				5.73		0.5	58.00		32.58				28.89	2.18	1.79	0.1	0.06	0.05		7.08	1.8	1.93	1.67	0.1	0.1	0.07	
Pz 40	Pz 40	04/12/2004		637775	7330357	169	6	30		4.89		0.19	24.56		12.35				10.45	0.64	1.43	0.00	0.00	0.02		3.09	0.4	0.18	0.02	0.1	0.00	0.00	
Pz 42	Pz 42	04/12/2004		637778	7330615	172	60			7.99		2.37	738.86		476.45				313.3	42.7	53.3	0.8	0.09	0.07		30.2	10	122.5	3.45	5.5	0.06	0.07	

Continuación de la Tabla 4.

Continuacion.....Resultado de los ensayos químicos de las muestras de agua subterránea y superficial del area de la Reserva de la Biósfera del Mbaracayú - (Año 2004 y 201																												
Laboratorio del Centro Multidisciplinario de Investigaciones Tecnológicas - CEMIT dependiente de la Universidad Nacional de Asunción. UNA																												
Nº de Origen	ID	Fecha	Localizacion / Propietario	UTM-X	UTM-Y	Cota	NE	Prof.	T	pH campo	pH lab	Dureza total	C.E campo	Solidos Suspen	TSD	Turb.	OD campo	Alcal. total	HCO ₃ ⁻ Bicarb	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	PO ₄ ³⁻	Ca	Mg	
Pz-1	MBP1	12/12/2016	Paso Real-AvaGuarani-Hector Cue	634492	7315556	195	8	8	26.3	5.23			43.10		3		3.17			20.7	3.03	0.42				0.01	1.76	0.3
Pz-3	MBP3	12/12/2016	Escuela Indigena	639908	7312555	198			26.00	6.34			111.30									2.52						
Pz-4	MBP4	12/12/2016	Barreto	639515	7310882	206	11	16	25.00	5.9			26.10				5.03					1.11						
Pz-7	MBP7	12/12/2016	Chupa Po'u	634556	7321901	174	15	92	24.2	8.76			372.00				3.80					0.453						
Pz-8	MBP8	12/12/2016	Casa camino a Reserva	640692	7333402	203	5	6	23.4	5.73			17.95				3.15					0.352						
Pz-9	MBP9	12/12/2016	Alfredo Alegre Martinez	645267	7337223	243	7	13	26.00	4.81			33.60				2.25					2.16						
Pz-12	MBP12	12/12/2016	Reserva Nandurokai	654714	7345553	239	4	4	24.3	5.01			24.90				3.89					3.31						
Pz-13	MBP13	13/02/2016	Pozo Calzado Karapa	668663	7344731	452	9	12	25.6	5.49			67.20				3.80					17.9						
Pz-14	MBP14	13/02/2016	Oficina Carapa-Pozo entubado	668682	7345283	447	14	59	23.9	4.77			15.51		3		5.39			<2.00	1.25	1.20				0.01	0.80	<0.80
Ar-0	MBA0	13/02/2016	Entre Mojon 19 y 20	664007	7329869	223			21.30	6.69			19.90		41		8.65			<2.00	1.44	0.98				0.01	1.76	<0.80
Pz-18	MBP18	13/02/2016	Puesto Aguarañu	670470	7329705	205	5	7	24.00	5.17			13.86				3.02					0.101						
AR-1	MBA1 (Arroyo Mayo)	13/02/2016	Arroyo Mayor	670870	7328502	186			25.00	6.91			44.50				5.57											
MA-1	MBM1 (manantial)	13/02/2016	Manantial-Reserva	671053	7328243	191	0	0	23.00	5			9.00		26		2.50			11.70	2.11	4.62				0.422	0.40	0.34
Pz-19	MBP19	13/02/2016	Adm. Jejui Centro Biologico	649387	7330322	176			26.60	5.8			57.40		75		4.30			<2.00	3.36	5.58				0.063	3.44	0.1
Pz-20	MBPR20	15/12/2016	Alianza - Nancy Cardenas	641117	7320543	188	9	10	22.70	5.5			28.40		31		4.21			2.00	4.23	1.18				0.01	2.32	0.29
AR-3	MBA3	15/12/2016	Arroyo Grande	644573	7315354	182			23.60	6.28			19.41		26		7.63			4.73	1.11	0.41				0.01	0.88	0.2
Pz-26	MBP26	15/12/2016	San Jose Obrero	672603	7321589	270	8	8		5.01			50.60		50		2.03			3.44	2.02	4.62				0.01	2.72	0.5
Pz-27	MBP27	16/12/2016	Oficina FMB-Ygatimi	637772	7330344	175	6	30	24.80	5.16			54.50				3.44					14.50						
Pz-29	MBP29	16/12/2016	Ygatimi Centro	637778	7331311	187	7	10	24.9	6.14			206.00				7.60					31.40						
AR-4	MBA4 (Ao Itarara)	16/12/2016	Arroyo Itarara	637561	7334975	159			22.1	6.81			25.30				8.53					1.04						
AR-5	MBA5 (Ao Jejui-mi)	16/12/2016	Arroyo Jejui-mi	637698	7329250	134			27.00	6.63			42.90				4.74											
LA-1	MBL1	16/12/2016	Ygatimi .Laguna-Mirador	637549	7331150	186				6.5			89.80		52		3.03			<2.00	10.8					0.055	3.77	1.02
Metodo Estándar - MétodosNormalizados para el análisis de aguas portables y residuales, edicion Nº 17 (APHA-AWWA-WPCF).																												
MA-1	33.7	Firmar con un nuevo analisis																										

3.5.2. δD y $\delta^{18}O$ Isótopos ambientales en aguas subterráneas y superficiales de Bosque Mbaracayu y Tapytá

Los isótopos estables del hidrógeno y del oxígeno en el ciclo hidrológico. Las variaciones de las razones isotópicas D/H y $^{18}O/^{16}O$ de muestras de agua se expresan en forma de desviación por mil (‰) con respecto a las razones isotópicas del agua oceánica media, que constituye el patrón de referencia SMOW (Standard Mean Ocean Water). El principal valor de los datos relativos a los isótopos estables de un sistema hidrológico estriba en que permiten determinar el área de recarga del sistema, siempre que se conozcan en general las variaciones isotópicas de las precipitaciones y de las aguas superficiales (Figura 23). Pozos de las áreas de estudio con datos de isótopos ambientales de Oxígeno y Deuterio (Tabla 5).

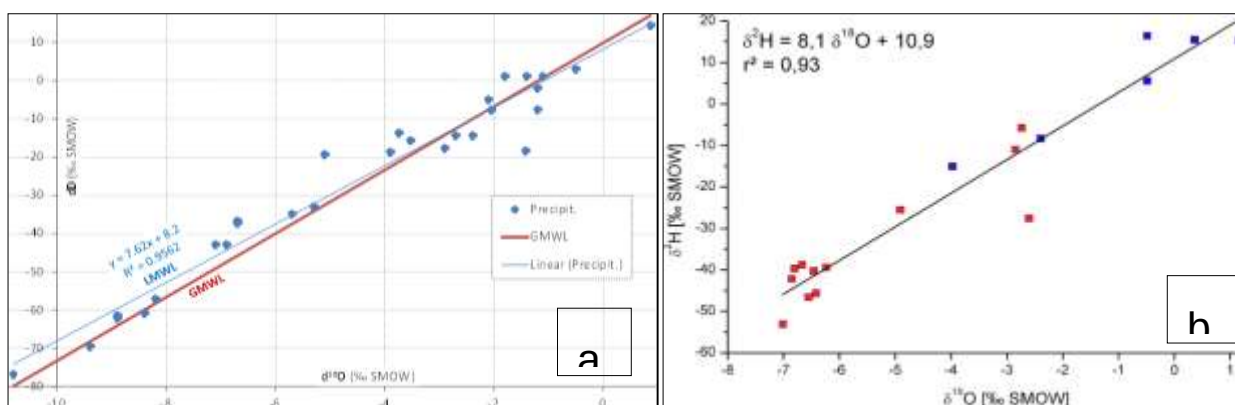


Figura 23. a. Línea meteórica global y local (GMWL, LMWL), la última basada en datos mensuales de los isótopos estables de precipitaciones en Asunción, 1961-67 (GNIP). b. $\delta^{18}O$ y δ^2H de lluvias en Asunción, de 2008 a 2010, y su línea meteórica local prácticamente idéntica a la GMWL. Cuadrados rojos: Noviembre a Abril; Azul: Mayo a Octubre (HOUBEN et al. 2010).

Las aguas subterráneas son mayormente recargadas durante la época húmeda entre noviembre y abril, cuando las lluvias son isotópicamente más ligeras, debido al efecto de masa que es mucho mayor que el efecto de temperatura de ciclo anual inverso.

Debido al clima húmedo en el Este de Paraguay, las aguas meteóricas que recargan el agua subterránea no son significativamente afectadas por evaporación antes de la infiltración de las precipitaciones en el suelo, contrario a lo que ocurre en regiones áridas, y por tanto deben reflejar la signatura isotópica del promedio ponderado de las precipitaciones sin mayor alteración (Ecuación 1).

$$\frac{\sum_{i=1}^n \delta_i \cdot P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \delta_{IWAvg}$$

Ecuación 1 Promedio ponderado de las precipitaciones

Los isótopos (^2H , ^{18}O) en las aguas subterráneas y superficiales de Bosque Mbaracayu y Tapytá, se alinean encima de la GMWL con mayor exceso de deuterio (14 ± 3), a pesar de que las precipitaciones de Asunción están alineadas a lo largo de la GMWL (Figura 24, y Figura 23, a y b).

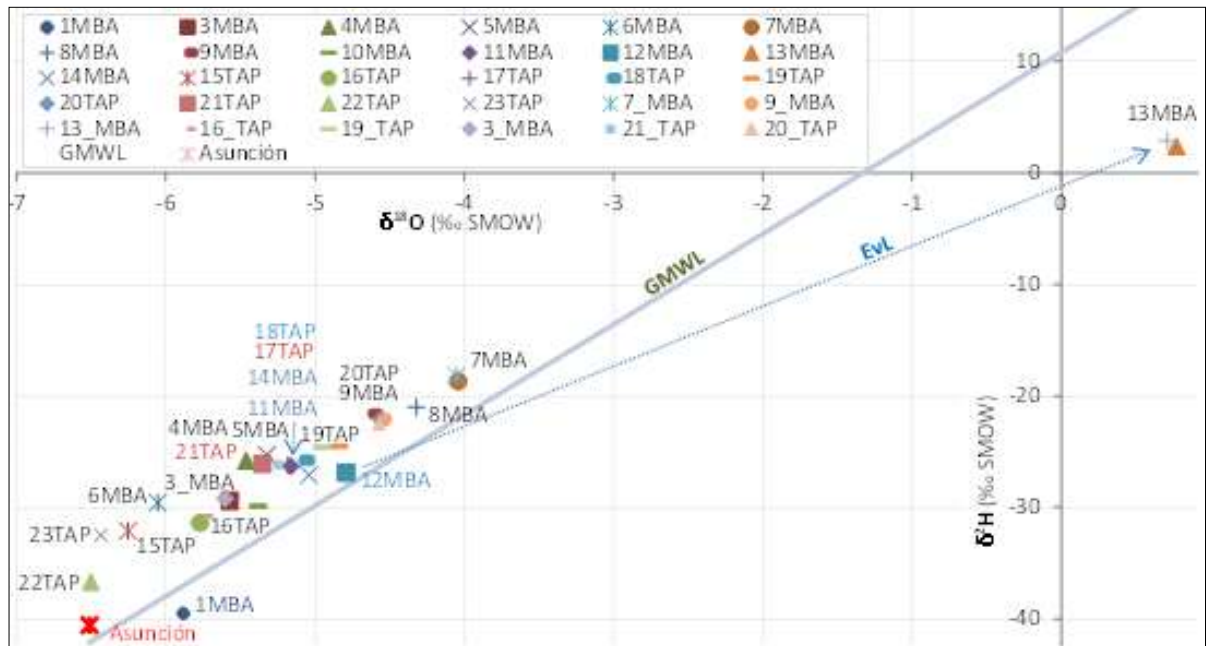


Figura 24. $\delta^2\text{H}$ vs. $\delta^{18}\text{O}$ de aguas superficiales y subterráneas de Bosque Mbaracayu y Tapytá, comparado con el promedio ponderado ($\sum(\delta_i \cdot P_i) / \sum P_i$) de las precipitaciones de Asunción 1961-67 (GNIP). La línea de evaporación (EvL, azul) es generada en la laguna 13 MBA afectada por evaporación, partiendo de agua de composición isotópica inicial como encontrada en 12 MBA aproximadamente.

El exceso mayor de ^2H comparado con Asunción se debe a clima más (sub-)tropical-húmedo en el Oriente de Paraguay con más re-evaporación de las precipitaciones y mezcla del vapor atmosférico local con el vapor inicial atlántico antes de precipitarse nuevamente. Este efecto se observa con mayor intensidad en la cuenca amazónica, donde el exceso de ^2H sube a valores entre 15 y 20 (Clark & Fritz 1997). El código 3 MBA es un pozo de 60 m en arenisca cretácica (acuífero libre), pero la baja mineralización ($16 \mu\text{S}/\text{cm}$), $5.4 \text{ mg O}_2/\text{L}$ y $1.2 \text{ mg NO}_3^-/\text{L}$ indican agua subterránea de acuífero libre, y su signature isotópica encaja entre la de los otros pozos someros (Tabla 5).

El código 1 MBA es un pozo de más de 150 m de profundidad en areniscas pérmicas, cuyo Eh de -103 mV , frente a valores entre -10 y 129 mV en los otros pozos de Bosque Mbaracayu, y una relativamente mayor mineralización ($372 \mu\text{S}/\text{cm}$) comparado con solo 9 a $90 \mu\text{S}/\text{cm}$ en los otros pozos, indica a agua subterránea profunda anóxica que se mezcla con agua subterránea somera y entra en contacto con oxígeno atmosférico, por lo cual contiene $3.8 \text{ mg O}_2/\text{L}$ y $0.5 \text{ mg NO}_3^-/\text{L}$.

El empobrecimiento de $2H$ en 1 MBA, comparado con las otras muestras, refleja probablemente variaciones climáticas en siglos pasados en la zona de recarga de misma altitud. No se trata de agua subterránea milenaria que sería más mineralizada. Lo mismo vale para las aguas subterráneas profundas isotópicamente un poco más ligeras, mezcladas con aguas someras, de 22 TAP y 23 TAP (528 y 343 $\mu S/cm$). 22 TPA es un pozo surgente de más de 300 m en areniscas pérmicas, 23 TPA un pozo profundo de 150 m, muestreado directamente del pozo (Tabla 5). Otra posible interpretación de 1 MBA, 22 TAP y 23 TAP es que puede haber un menor porcentaje ($< 20\%$) de agua subterránea del Pleistoceno que puede causar el ligero empobrecimiento de $2H$ y $18O$, y una predominancia de agua somera muy poco mineralizada. La signature $\delta^{18}O$ y δ^2H de aguas subterráneas del Pleistoceno es habitualmente 1.5 a 2 ‰ y 12 a 16 ‰ más ligera que la del Holoceno.

Las mínimas variaciones topográficas en la zona de recarga impiden que haya significantes variaciones de la signature del agua por efecto de altitud, y por tanto es la signature de las aguas subterráneas relativamente homogénea, y no se observa diferencias sistemáticas entre Bosque Mbaracayu y Tapytá.

La lagunita 13MBA, ubicada en el centro Ygatimi, presenta el característico enriquecimiento de $2H$ y $18O$ debajo de la GMWL por evaporación. Desde el punto de partida 12MBA con supuesta composición isotópica inicial se genera una "líneas de evaporación" (EvL) con una pendiente de 5.3 (Figura 24), que refleja una evaporación a una humedad relativa promedio de 75-80 % (Clark & Fritz, 1997, p. 43), coincidente con el promedio anual de 77 % reportado en la página web de la Ciudad del Este, (https://es.wikipedia.org/wiki/Ciudad_del_Este#Clima).

Tabla 5. Resultados de isotopos ambientales de Oxigeno y Deuterio de las áreas de la RNT y Bosque Mbaracayu

Pozos del area de la Reserva del Mbaracayu y de la Reserva de Tapyta con datos de isotopos ambientales de Oxígeno y Deuterio. determinados en el Laboratorio de la FUNDACION INNOVAT LA PLATA, ARGENTINA															
Nro. Original	ID Censo	ID para ISOTOPOS	Fecha de muestreo	Departamento	Procedencia	Propietario	UTM X	UTM Y	Cota	C.E (uS/cm)	pH	Temp.	δ2H in ‰	δ18O in ‰	"d"
PZ-7		1-MBA	dic.-16	Kanindeyu	Pozo profundo	Junta SENASA - Dionisio Hechepli	634556	7321901	174	372	8.76	24.20	-39.5	-5.88	7.54
PZ-14		3-MBA	dic.-16	Kanindeyu	Pozo profundo	FMB ADMIN, JEJUI CARAPA	668682	7345283	447	15.51	4.77	23.90	-29.4	-5.57	15.16
AR-1		4-MBA	dic.-16	Kanindeyu	Arroyo	Arroyo puente mayor-Afloramiento Camino	670870	7328502	191	44.5	6.91	25	-25.8	-5.46	17.88
MA-1		5-MBA	dic.-16	Kanindeyu	Manantial	Manantial sobre el camino (Afloramiento Arenizca)	671053	7328243	191	9	5.00	23.00	-25.3	-5.32	17.26
PZ-19		6-MBA	dic.-16	Kanindeyu	Pozo profundo	ADM- FMB JEJUI- CENTRO BIOLOGICO	649387	7330322	176	57.4	5.80	26.60	-29.6	-6.05	18.8
PZ-20		7-MBA	dic.-16	Kanindeyu	Pozo somero	Nancy Cardenas-Alianza	641117	7320543	188	28.4	5.5	22.7	-18.7	-4.04	13.62
AR-3		8-MBA	dic.-16	Kanindeyu	Arroyo	Arroyo GRANDE Area de Falla	664567	7315303	175	19.4	6.28	23.60	-21	-4.32	13.56
PZ-26		9-MBA	dic.-16	Kanindeyu	Pozo somero	Maria Liliana Villagra	672603	7321589	260	50.6	5.01	22.00	-21.6	-4.62	15.36
PZ-27		10-MBA	dic.-16	Kanindeyu	Pozo somero	FMB-ADM JEJUI	637772	7330344	170	31.1	8.64	22.00	-29.9	-5.38	13.14
PZ-29		11-MBA	dic.-16	Kanindeyu	Pozo somero	Luis Cabañas (Ocupante-Comedor proximo a venderse)	637778	7331311	187	206	6.14	24.90	-26.3	-5.16	14.98
AR-4		12-MBA	dic.-16	Kanindeyu	Arroyo	Arroyo Itararà	637561	7334975	159	25.3	6.81	22.10	-26.9	-4.79	11.42
LA-1		13-MBA	dic.-16	Kanindeyu	Laguna	Laguna mirador	637549	7331150	186	89.8	6.50		2.4	0.77	-3.76
AR-5		14-MBA	dic.-16	Kanindeyu	Rio Jejui Guazu	Nacional	637698	7329250	134	42.9	6.63	27.00	-27.1	-5.04	13.22
P.taS	Ta-21	15-TAP	jul.-16	Caazapa	Pozo somero	Adm. Sur de la RN Tapyta (casa adm(	622542	7091809	181	24.90	5.31	20.00	-32.1	-6.25	17.9
P.taN	Ta-42	16-TAP	jul.-16	Caazapa	Pozo somero	Adm. Norte de la RN Tapyta	627144	7103669	158	43.90	5.40	18.2	-31.4	-5.77	14.76
P.ta_04	Ta-28	17-TAP	jul.-16	Caazapa	Pozo somero	Casa Getrudis	620782	7091110	150	29.50	5.79	17.40	-26.2	-5.18	15.24
Aja	Ta-41	18-TAP	jul.-16	Caazapa	Arroyo	Arroyo Jacui-Sendero 010	627457	7104140	159	62.30	7.00	15.40	-25.8	-5.08	14.84
A.ta1	Ta-29	19-TAP	jul.-16	Caazapa	Arroyo	Arroyo Tajay-Puente Kyha	628826	7103582	152	32.20	6.86	10.80	-24.5	-4.84	14.22
P.ta_11	Ta-45	20-TAP	nov.-16	Caazapa	Pozo somero	Camino a 8 de Diciembre- Nelida Riveros	620246	7105488	174	94.30	5.25	23.40	-22.1	-4.56	14.38
Rio.te	Ta-23	21-TAP	jul.-16	Caazapa	Rio Tebicuary	Nacional	625794	7091181	128	54.80	7.31	11.90	-26.1	-5.35	16.7
P.ta_10	Ta-71	22-TAP	nov.-16	Caazapa	Pozo artesiano	Pozo surgente Toro Blanco	629315	7096734	150	528.00	9.25	28.30	-36.7	-6.5	15.3
P.ta_08	Ta-64	23-TPA	jul.-16	Caazapa	Pozo profundo	Junta de Ciervo Kua	625671	7105539		343.00	7.64		-32.5	-6.43	18.94

3.5.3. Análisis biológico - Fitoplancton

En las aguas existen organismos indicadores que permiten establecer los grados de contaminación. El examen biológico de las aguas, que se basa en el conocimiento de estos organismos indicadores, conduce a un resultado, que es fiable y abarca una gran variedad de factores que se complementan con los análisis químicos.

Muchos seres vivos pueden desarrollarse en calidad aguas de muy diversa, pero otros están estrechamente ligados a unas condiciones ambientales específicas; sólo estos últimos son apropiados como organismos bioindicadores. En los saprobios, un gran número de factores desempeñan un papel importante en su relación con un determinado grado de contaminación: estos factores son el alimento, el oxígeno, sustancias de putrefacción y toxinas.

Se emplean un sistema de cuatro niveles, para clasificar las aguas saprobias (Streble, H. y Krauter, R., 1987).

Clasificación de ambientes saprobios

Clase I, zona oligosaprobia, rica en oxígeno y carece casi por completo de sustancia orgánica muerta. Podemos encontrar aguas de estas características en los arroyos cerca de la fuente, en los riachuelos de montaña. Originariamente, todos los lagos profundos son oligosaprobios

Clase II, zona β -mesosaprobia, hay poca cantidad de bacteria, el agua es rica en oxígeno, son ricas en diatomeas, dinoflagelados, rotíferos, microcrustáceos, algas verdes, y las orillas muestran una abundante vegetación herbácea. Los organismos indicadores de esta zona son sensibles a las sustancias de putrefacción.

Clase III, zona α -mesosaprobia. El agua contiene abundante oxígeno, pero el consumo de oxígeno es también muy elevado a causa de la actividad de las bacterias. Los animales y plantas superiores son aún poco frecuentes, y en el agua viven numerosas diatomeas, algas verdes, flagelados y ciliados.

Clase IV, zona polisaprobia, el agua tiene muy poco o ningún oxígeno, despiden mal olor putrefacto con cantidades masivas de bacterias, pero pocos seres vivos de otras especies.

3.5.3.1. Reserva Natural Tapytá

Puntos de muestreos Los siguientes seis (6) puntos de muestreos son los lugares de los cuales se ha realizado la toma de muestras correspondientes, los cuales se pueden observar en el Mapa de Muestreo del Anexo: 1) Arroyo Guayaki 03, 2) Arroyo Jacuí-Sendero 010, 3) Arroyo Sará Puente 09, 4) Arroyo Yuyeri 06 Puente, 5) Río Tebicuary 02 y 6) Arroyo Taya'y 03 Puente Kyha.

El Total de especies listadas en los puntos de muestreo es de 180, dentro de este listado se encuentra 76 especies no identificadas (sólo se ha llegado hasta el género e identificado 104 especies (género y especie). Las 104 especies identificadas se encuentran distribuidas como se muestra en la (Figura 25). De las 104 especies encontradas, 29 se encuentran repetidas; haciendo un total de 75 especies diferentes encontradas en los seis (6) puntos de muestreo.

Para el análisis se consideró únicamente las especies con género y especie. La (Figura 25), muestran las frecuencias totales de las divisiones encontradas en los puntos muestreados. Se observa en ambos conjuntos de información la división de Bacillariophyta (total de 74 especies) es la de más abundancia.

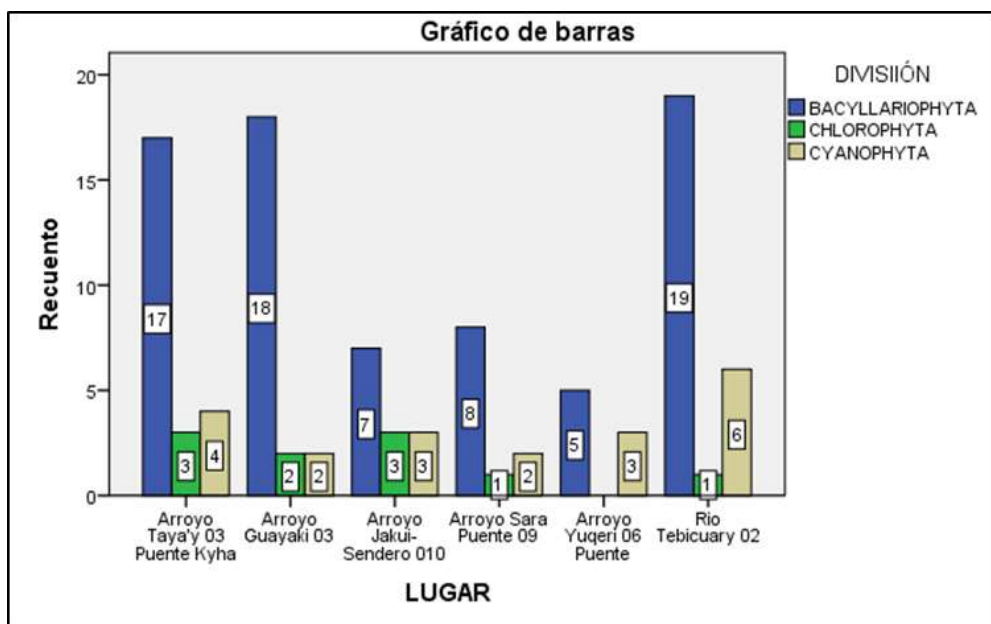


Figura 25. Divisiones encontradas en los puntos muestreados.

3.5.3.2. Reserva de la Biósfera del Bosque Mbaracayu.

En total se han identificados doce (12) fitopláctones hasta géneros y dos (2) hasta las especies. Debido a las repeticiones de ciertas especies en los lugares muestreados; el total de Especímenes encontrados fue veintisiete (27).

En la (Tabla 6) se enumeran las cantidades de especímenes por división. En la misma se puede observar que la Bacillariophyta es la que hay en mayor porcentaje, 51.9%.

Tabla 6. Numero de especies por División.

División		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Bacillariophyta	14	51,9	51,9	51,9
	Chlorophyta	6	22,2	22,2	74,1
	Euglenophyta	7	25,9	25,9	100,0
	Total	27	100,0	100,0	

- Varias de las especies pertenecen a aguas oligosapróbicas, α -mesosapróbicas y β -mesosapróbicas.

Por tanto, podemos decir que las muestras de aguas extraídas pertenecen a aguas relativamente limpias. Para la determinación más acertada del tipo de agua de los lugares muestreados, sería recomendable que se realizarán las determinaciones de la fauna zooplanctónica, además de los organismos macrofitofitos, y otras especies tanto vegetal y animal que se encuentra en dichos lugares. Estos estudios darían una descripción más acertada de los tipos de agua de los sitios muestreados.

3.5.4. Análisis de los resultados de pesticidas

Plaguicidas, son productos sintéticos o naturales, tóxicos destinados a establecer un control químico de los parásitos (plagas), tanto animales como vegetales y fúngicos. Bajo el nombre de plaguicidas se agrupan especies químicas y naturaleza muy diferente, en el (Cuadro 3) siguiente se agrupan con su respectiva aplicación (Moreno, L. M., 1998),

Cuadro 3. Especies químicas de plaguicidas y su respectiva aplicación

Clasificación según grandes grupos	Clasificación según Uso
Peritroides	Insecticidas
Organoclorados	Acaricidas
Organofosforados	Molusquicidas
Carbamatos	Alguicidas
Organomercuriales	Fungicidas
Ácidos orgánicos	Herbicidas
Derivados del fenol	Nematicidas
Derivados de la urea	Repelentes
Derivados de la amida	Fitoreguladores
Bifenilos policlorados	Fumigantes
Otros	Otros

Los cursos de agua superficiales son generalmente más vulnerables a la contaminación que las aguas subterráneas debido al transporte por tierra en forma directa y relativamente rápida de

los plaguicidas que se produce con el escurrimiento superficial. Por el contrario, el agua subterránea en la mayoría de las zonas es menos vulnerable, ya que el agua se infiltra en la superficie del suelo y se mueve lentamente (dependiendo de la litología del sustrato) a través de la zona no saturada y del acuífero antes de llegar a los pozos de extracción (<https://www.researchgate.net/publication/305281849>).

En la (Tabla 7 y Tabla 8) se tienen los resultados de laboratorio, donde no se detectó presencia de los “principios activos” determinados tanto en aguas superficiales como subterráneas.

3.5.4.1. Resultados de las determinaciones de Pesticida y Glifosato - RNT

Tabla 7. Resultados de los pesticidas - área de la RNT

Laboratorio de Residuos de Plaguicidas y Micotoxinas - SENA - Ministerio de Agricultura y Ganadería									
Metodo : PRO-LRPM-103 ver 01									
Puntos de muestreo	LMR (mg/kg)	P-14-A.ta1-Ta.29 Resultado (mg/kg)	P-6-Pta.07-Ta.58 Resultado (mg/kg)	P-9-Gertrudis-Ta.62 Resultado (mg/kg)	P-11-A.yu-Ta.65 Resultado (mg/kg)	P-12-Pta.N-Ta.42 Resultado (mg/kg)	P-13-A.ja-Ta.41 Resultado (mg/kg)	CLASIFICACIÓN QUÍMICA	Tipo de Plaguicida
Acefato	0,01 EU	ND	ND	ND	ND	ND	ND	Organofosforado	
Azoxystrobin	0,01 EU	ND	ND	ND	ND	ND	ND	(E)-2-[2-[6-(2-cianofenoxi)pirimidin-4-ilo]fenil]-3-metoxiacrilato de metilo	Funguicida
Carbendazim	0,01 EU	ND	ND	ND	ND	ND	ND		Funguicida
Carbaryl	0,01 EU	ND	ND	ND	ND	ND	ND		Insecticida
Cletodín	0,01 EU	ND	ND	ND	ND	ND	ND		Herbicida
Clotianidín	0,01 EU	ND	ND	ND	ND	ND	ND		herbicida, insecticid
Carbofuran	0,01 EU	ND	ND	ND	ND	ND	ND		insecticida, nematocida.
Fipronil	0,01 EU	ND	ND	ND	ND	ND	ND		insecticida (termitas-minadores)
Fenoxsapro	0,01 EU	ND	ND	ND	ND	ND	ND		herbicida
Imidaclopril	0,01 EU	ND	ND	ND	ND	ND	ND		herbicida
Imazetapyr	0,01 EU	ND	ND	ND	ND	ND	ND		herbicida
Lufenuron	0,01 EU	ND	ND	ND	ND	ND	ND		insecticida: acelerador de la muda
Metoxyfeno	0,01 EU	ND	ND	ND	ND	ND	ND		herbicida
Quisalofo	0,01 EU	ND	ND	ND	ND	ND	ND		herbicida
Tebuconazol	0,01 EU	ND	ND	ND	ND	ND	ND		funguicida
Metomil	0,01 EU	ND	ND	ND	ND	ND	ND		insecticida, acaricida
Carboxin	0,01 EU	ND	ND	ND	ND	ND	ND		funguicida
Carbosulfan	0,01 EU	ND	ND	ND	ND	ND	ND		insecticida-acaricida
Glifosato	0,7 EPA	ND	ND	ND	ND	ND	ND		herbicida

<http://www.plaguicidasdecentroamerica.una.ac.cr/index.php/base-de-datos-menu/445-permetrina>

3.5.4.2. Resultados de las determinaciones de Pesticida y Glifosato – Reserva del Bosque Mbaracayu

Tabla 8. Resultados de los pesticidas - área de la Reserva del Bosque Mbaracayu

Laboratorio de Residuos de Plaguicidas y Micotoxinas - SENAVE - Ministerio de Agricultura y Ganadería							
Metodo : PRO-LRPM-103 ver 01							
Puntos de muestreo		P-15A (Pz- 20)	P-18 (Ar-3)	P-20 (Pz-29)	P-23 (AR-5)		
Principios ac	LMR (mg/kg)	Resultado (mg/kg)	Resultado (mg/kg)	Resultado (mg/kg)	Resultado (mg/kg)	CLASIFICACIÓN QUÍMICA	Tipo de Plaguicida
Acefato	0,01 EU	ND	ND	ND	ND	Organofosforado	
Azoxystrobin	0,01 EU	ND	ND	ND	ND	(E)-2-{2-[6-(2-cianofenoxi)pirimidin-4-iloxi]fenil}-3-metoxiacrilato de metilo	Funguicida
Carbendazim	0,01 EU	ND	ND	ND	ND		Funguicida
Carbaryl	0,01 EU	ND	ND	ND	ND		Insecticida
Cletodin	0,01 EU	ND	ND	ND	ND		Herbicida
Clotianidín	0,01 EU	ND	ND	ND	ND		herbicida, insecticid
Carbofuran	0,01 EU	ND	ND	ND	ND		insecticida, nematocida.
Fipronil	0,01 EU	ND	ND	ND	ND		insecticida (termitas-minadores)
Fenoxsapro	0,01 EU	ND	ND	ND	ND		herbicida
Imidaclopril	0,01 EU	ND	ND	ND	ND		herbicida
Imazetapyr	0,01 EU	ND	ND	ND	ND		herbicida
Lufenuron	0,01 EU	ND	ND	ND	ND		insecticida: acelerador de la muda
Metoxyfeno	0,01 EU	ND	ND	ND	ND		herbicida
Quisalofofop	0,01 EU	ND	ND	ND	ND		herbicida
Tebuconazol	0,01 EU	ND	ND	ND	ND		funguicida
Metomil	0,01 EU	ND	ND	ND	ND		insecticida, acaricida
Carboxin	0,01 EU	ND	ND	ND	ND		funguicida
Carbosulfan	0,01 EU	ND	ND	ND	ND		insecticida-acaricida
Glifosato	0,7 EPA	ND	ND	ND	ND		herbicida

<http://www.plaguicidasdecentroamerica.una.ac.cr/index.php/base-de-datos-menu/445-permetrina>

3.6. Protección de las aguas subterráneas vulnerabilidad de acuífero: métodos GOD y DRASTIC, Riesgo y Protección

Para proteger los acuíferos contra la contaminación es necesario restringir las prácticas actuales y futuras del uso del territorio, descarga de efluentes y vertido de residuos. Ello, sin embargo, normalmente no es aceptable desde el punto de vista socioeconómico y por lo general resulta necesario definir estrategias y/o medidas de protección de aguas subterráneas que garanticen un equilibrio entre los diversos intereses en juego.

Lo ideal es establecer zonas (basados en la vulnerabilidad del acuífero y las cargas contaminantes por el uso del suelo del momento), con medidas propuestas, indicando que actividades son posibles y donde con un riesgo aceptable para el agua subterránea (Foster et al. apud Banco mundial, 2003).

El término "vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas" fue introducido a finales de la década de los años sesenta por el hidrogeólogo francés (Margat, 1968) el concepto se basa en la tesis de que el medio geológico y la cubierta edafológica proporcionan un cierto

grado de protección a las aguas subterráneas frente a contaminantes de origen tanto natural, como derivados de actividades humana, y se corresponde a las características propias de un acuífero (propiedad intrínseca del medio) que determinan la sensibilidad del mismo, a ser afectado negativamente por contaminación derivada de actividades antrópicas o fenómenos naturales (Foster, 1987).

Para llegar a la protección de las aguas subterráneas se elaboraron cartografías 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 que tienen un propósito ambiental. Se adopta para este trabajo de investigación el método GOD (Foster, 1987); Foster & Hirata (1988) diseñado para áreas con menor cantidad de datos y el Método DRASTIC (Aller et al. (1981), donde los datos se extrapolaron utilizando GIS.

Los ráster se reclasifican y se colocan los rangos asignados según los criterios y datos que se muestra en la (Tabla 9).

3.6.1. Mapa de vulnerabilidad a la contaminación de acuífero – DRASTIC – GOD

Para realizar el análisis de Vulnerabilidad de acuífero, se incorporaron todos los datos y resultados productos del trabajo de campo y de reinterpretación de datos existentes, utilizando el Sistemas de Información Geográfica (SIG), que son una alternativa en la gestión de datos de distintas fuentes, y sirven de soportes, ya que permiten integrar fácilmente imágenes, bases de datos relacionales y aplicaciones de software, permitiendo presentar los resultados en forma de mapas temáticos (Díaz, et al., 2009). En el (Cuadro 4) se definen los grados e Vulnerabilidaa a la Contaminacion de Acuíferos.

3.6.1.1. Variables hidrogeológicas y fuentes adoptadas para DRASTIC y GOD

Este método considera las variables hidrogeológicas de: profundidad del acuífero, tasa de la recarga, material litológico del acuífero, tipo de suelo, topografía, impacto de la zona vadosa y conductividad hidráulica, en la (Tabla 9) se definen los mismos.

Cuadro 4. Definición Práctica de Clases de Vulnerabilidad a la Contaminación de Acuíferos.

Clase de Vulnerabilidad	Definición Correspondiente
Extrema	Vulnerable a la mayoría de los contaminantes con impacto rápido en muchos escenarios de contaminación
Alta	Vulnerable a muchos contaminantes (excepto a los que son fuertemente absorbidos o fácilmente transformados) en muchos escenarios de contaminación.
Moderada	Vulnerable a algunos contaminantes sólo cuando son continuamente descargados o lixiviados
Baja	Sólo vulnerable a contaminantes conservativos cuando son descargados o lixiviados en forma amplia y continua durante largos períodos de tiempo
Despreciable	Presencia de capas confinantes en las que el flujo vertical (percolación) es insignificante

Tabla 9. Descripción de los criterios aplicados para la selección de los datos y valores utilizados

Variables hidrogeológicas	Criterios aplicados para la selección de los datos utilizados para los modelos de vulnerabilidad	Valores y elemento o características definidas
(D) Profundidad del nivel del agua subterránea	Corresponde a las profundidades de los niveles estáticos de los acuíferos someros que fueran medidos "in situ" Los datos se extrapolaron utilizando ArcGIS. Los valores fueron traducidos a los Índices DRASTIC y GOD.	En el área de Tapytá los rangos de los niveles encontrados fueron de 0 a 28.70 m profundidad. En el área del Bosque Mbaracayu, los niveles varían de 0 a 31,20 m.
(R) Tasa de Recarga	Los valores de la recarga de las unidades hidrogeológicas fueron tomadas de SAYPY (2007) y son las siguientes: Pérmico (4 mm/a); guaraní superficial (146 mm/a); Basalto fracturado (73 mm/a); Cretácico (26 mm/a) y Cuaternario (77 mm/d).	Las recargas están en el orden de 4 mm/a (acuífero confinado del pérmico) a 146 mm/año(acuífero Guaraní confinado a aflorante).
(A) Tipo de Acuífero - Material litológico del acuífero.	La información litológica y perfiles tipo es tomada de "The Anschutz Corporation" (1981).	Las litologías presentes son de areniscas – areniscas siltíticas – arenas y rocas ígneas (basaltos).

(S) Tipo de suelo	Se refiere a las características del tipo de suelo superficial, obtenida a partir del mapa de reconocimiento de suelos (MAG, 1995). Se construyó el mapa de valoración de la Cubierta edáfica bajo la superficie del terreno.	Los suelos encontrados en las áreas de estudio fueron: <i>Lithic Udorthent</i> y <i>Lithic Hapludoll</i> ; <i>Rhodic Paleudult</i> y <i>Rhodic Rhodudult</i> y <i>Grossarenic Paleudult</i> y <i>Kandiudalf de textura fina arcillosa</i> - <i>Typic Rhodudult</i> - <i>Typic Albaquult</i> , de textura areno-margosa ; <i>Arenic Paleudult</i> – <i>Aquic Udifluent</i> , y <i>Typic Quartzipsamment de textura arenosa</i>
(T) Topografía (pendiente topográfica)	Se obtuvo a partir de un Modelo Digital de Elevación, se la aplica la función Slope , el producto en porcentaje, posteriormente se reclasifica dicho raster y se colocan los rangos asignados según valoración DRASTIC	Las pendientes varían en la zona de Tapytá de 1% a 10%, En la zona de la RBM, varían de 1% a 30%.
(I) Impacto de la zona vadosa	La información litológica y perfiles tipo es tomada de “ <i>The Anschutz Corporation</i> ” (1983 y Paraguay (1986). Mayormente este compuesto areniscas siltíticas y en ocasiones láminas de areniscas lutíticas. Estas características litológicas definen a los acuíferos como libres y localmente semi confinados.	Fracciones predominantes de – alternancias de areniscas y siltitas y/o arcillas, y arenas con contenidos de arcillas, y areniscas algo arcillosas.
(C) Conductividad hidráulica del acuífero	La información litológica y perfiles tipo es tomada de “ <i>The Anschutz Corporation</i> ” (1983). Las conductividades hidráulicas de las unidades hidrogeológicas utilizadas fueron obtenidas del Proyecto SAGPY (2007) y son las siguientes: Pérmico (0.2 m/d); Guaraní superficial (3 m/d); Basalto fracturado (2 m/d); Cretácico (2 m/d) y Cuaternario (8 m/d).	Las conductividades hidráulicas están en un rango de (0.2 m/d) a (8 m/d), corresponden a los acuíferos permo-triasico – cretácico y cuaternario.

3.6.1.2. Resultados del modelo GOD y DRASTIC de la RNT

La (Figura 26) muestran un 92% los límites del área de la reserva tiene vulnerabilidad baja y solamente un 7% una alta vulnerabilidad Alta (Figura 29). La vulnerabilidad alta se presenta donde la profundidad al agua subterránea es mínima y están presentes una Formación geológica del cuaternario, con sedimentos arenosos y arcillosos.

En categorías de vulnerabilidad en DRASTIC, se tiene que de una vulnerabilidad baja de un 88% el área de la reserva cambiando las ponderaciones para (vulnerabilidades específicas para pesticidas) pasa a 0.8% (Figura 27) y de un 8,8 % de una vulnerabilidad moderada, pasa a un 91% con ponderaciones para pesticidas (Figura 28), en la (Figura 29) grafican para una mejor comparación. Influye mucho la tasa de recarga, conductividad hidráulica y la Formación geológica porosa.

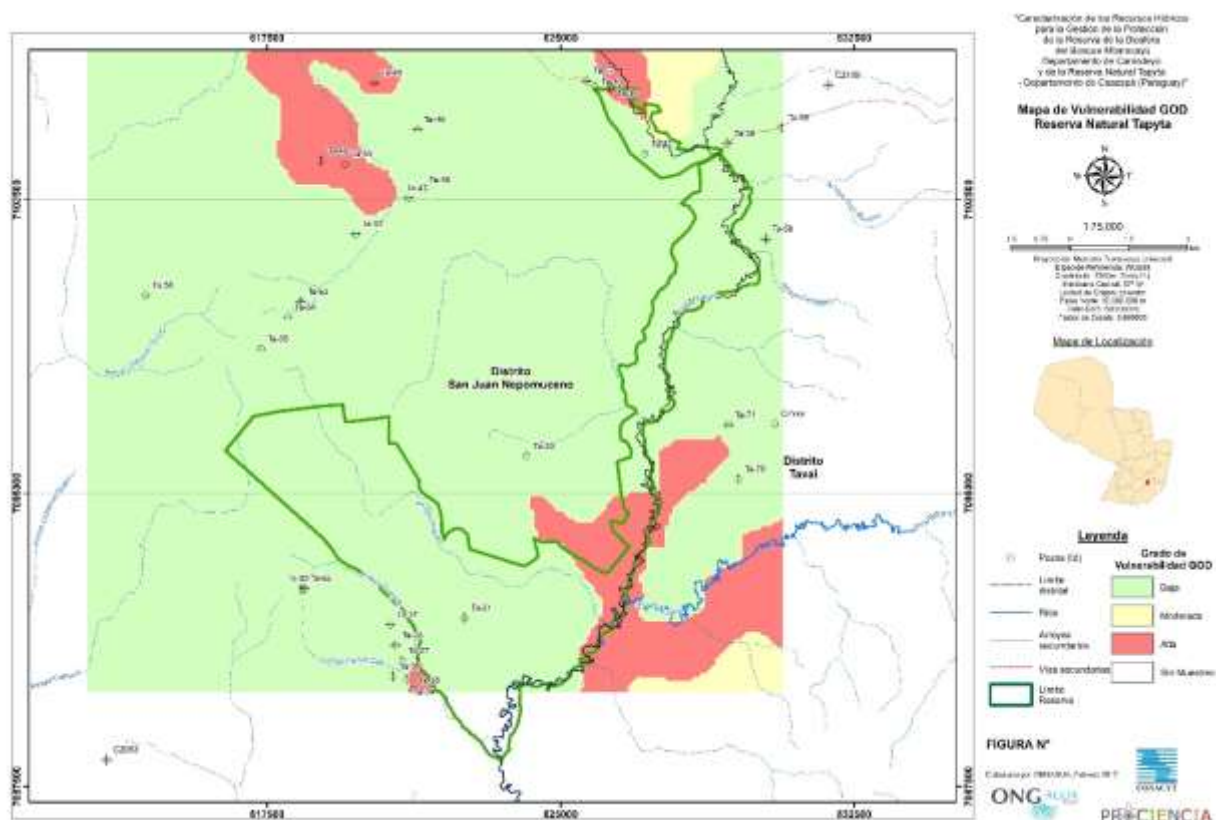


Figura 26. Mapa de vulnerabilidad de acuífero a la contaminación de la RNT– Método GOD.

3.6.1.2.1. Mapas de Vulnerabilidad del acuífero a la contaminación – RNT -

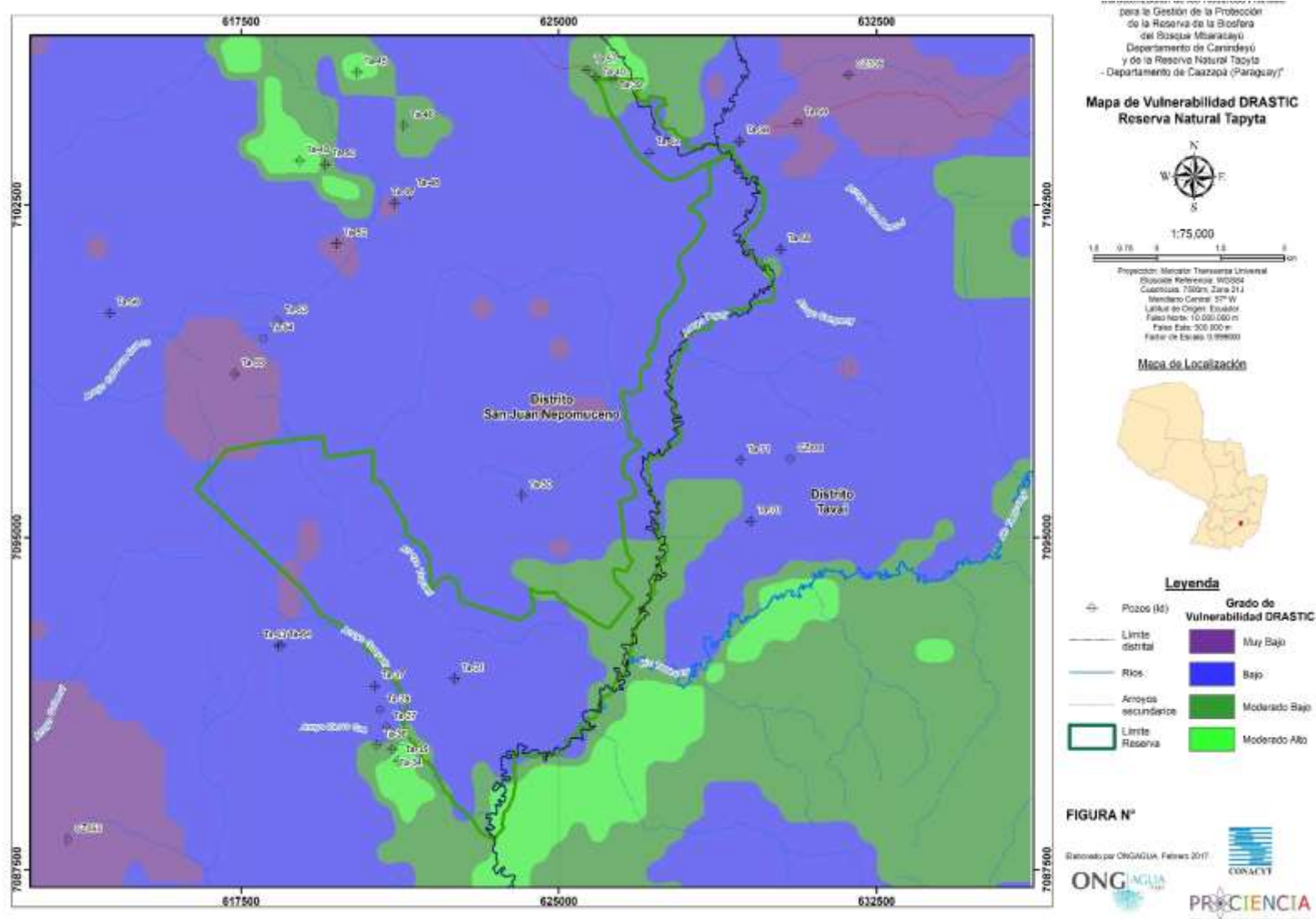


Figura 27. Mapa de vulnerabilidad de acuífero a la contaminación de la RNT– Método DRASTIC No Pesticida.

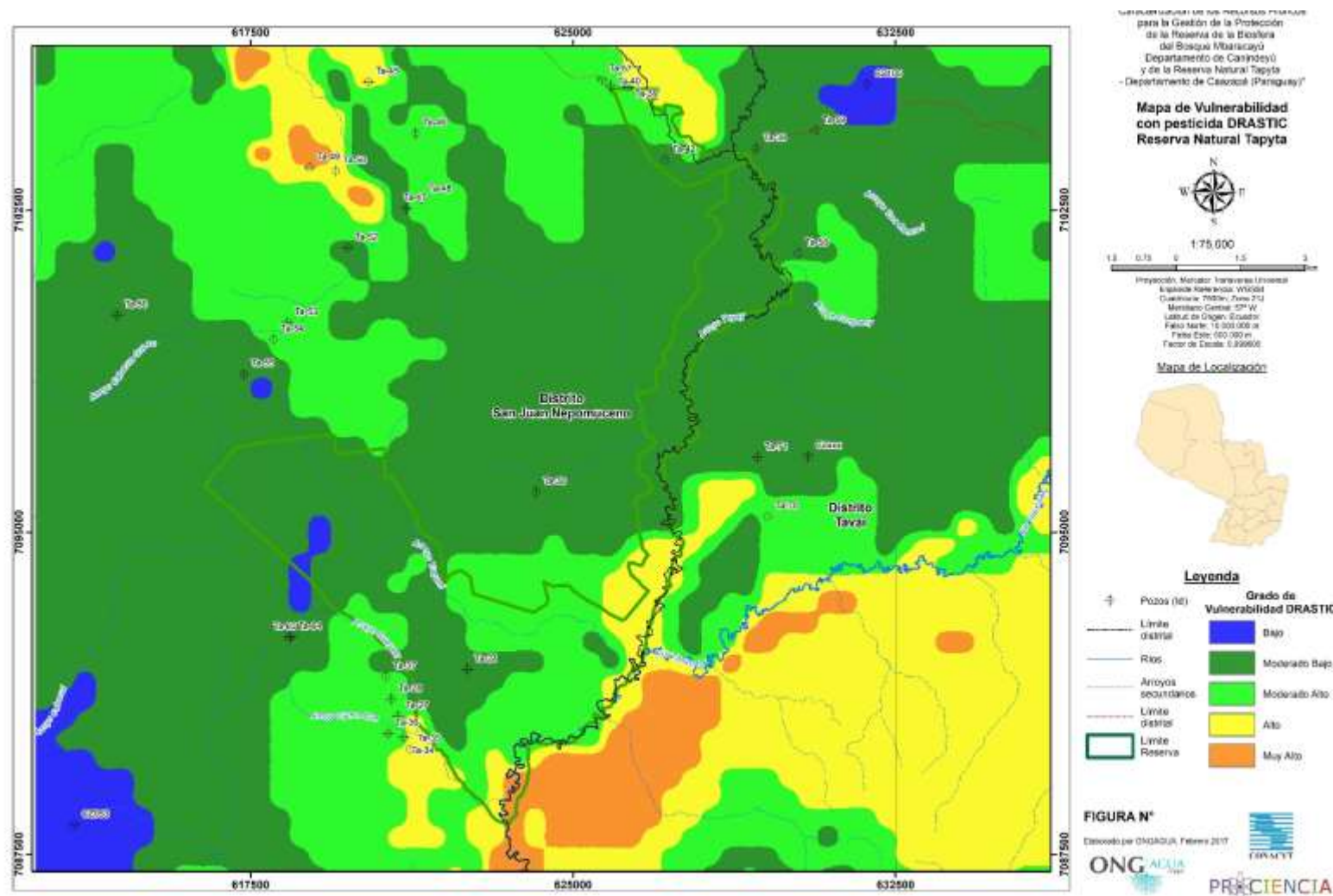


Figura 28. Mapa de vulnerabilidad de acuífero a la contaminación de la RNT– Método DRASTIC para Pesticida

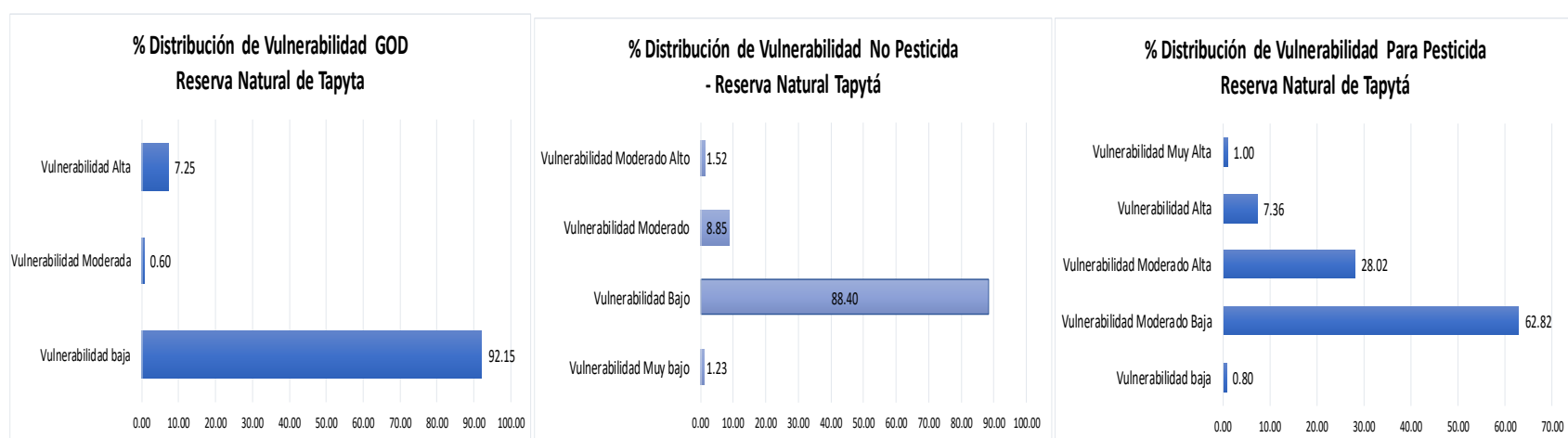


Figura 29 .Porcentajes de distribución de la Vulnerabilidad del acuífero – Métodos: GOD y DRASCTIC (Para Pesticida y No Pesticida)

3.6.1.3. Resultados del modelo GOD y DRASTIC de la RBBM

La (Figura 30) muestran un 92% del área de la reserva tiene vulnerabilidad baja y solamente un 7% una alta vulnerabilidad Alta (Figura 33).

La vulnerabilidad alta se presenta donde la profundidad al agua subterránea es mínima y están presentes una Formación geológica del cuaternario, con sedimentos arenosos y arcillosos.

En categorías de vulnerabilidad en DRASTIC, se tiene que de una vulnerabilidad moderado bajo de un 49,6% del área de la reserva (Figura 31) cambiando las ponderaciones para (vulnerabilidades específicas para pesticidas) pasa a una vulnerabilidad moderado alto de 69% (Figura 32) y de un 0,8 % de una vulnerabilidad alto, pasa a un 6% con ponderaciones para pesticidas. Influye mucho la tasa de recarga, conductividad hidráulica y la Formación geológica porosa

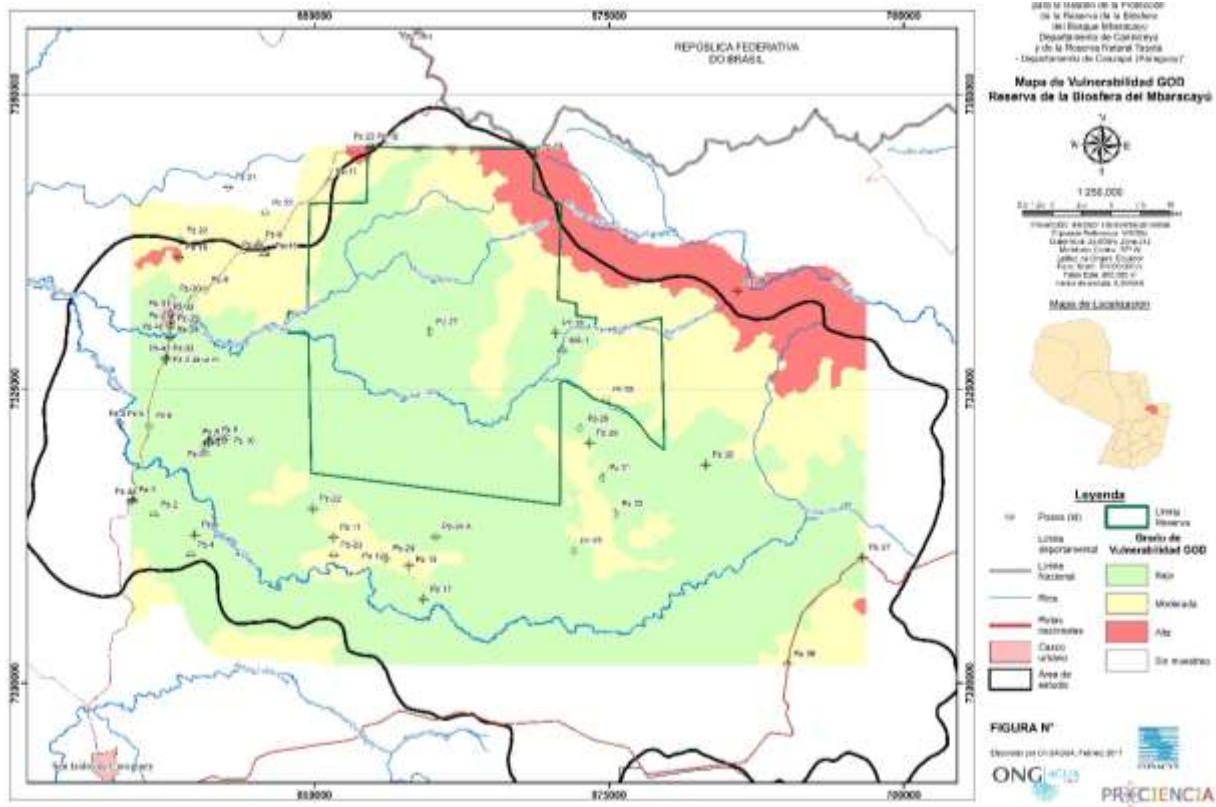


Figura 30. Mapa de vulnerabilidad de acuífero a la contaminación de la Reserva del Bosque Mbaracayu – Método GOD

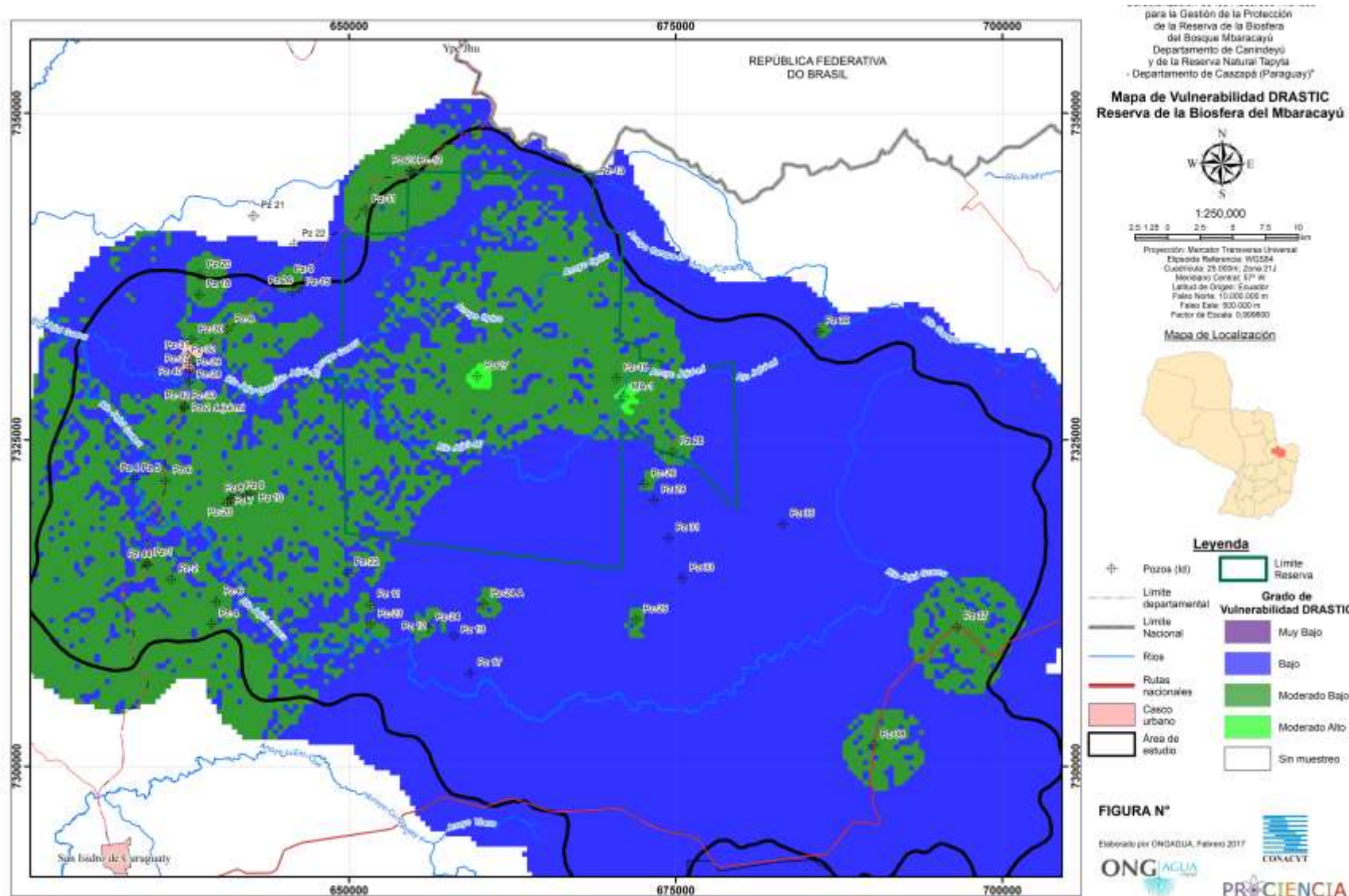


Figura 31. Mapa de vulnerabilidad de acuífero a la contaminación de la Reserva del Bosque Mbaracayú– Método DRASTIC No Pesticida

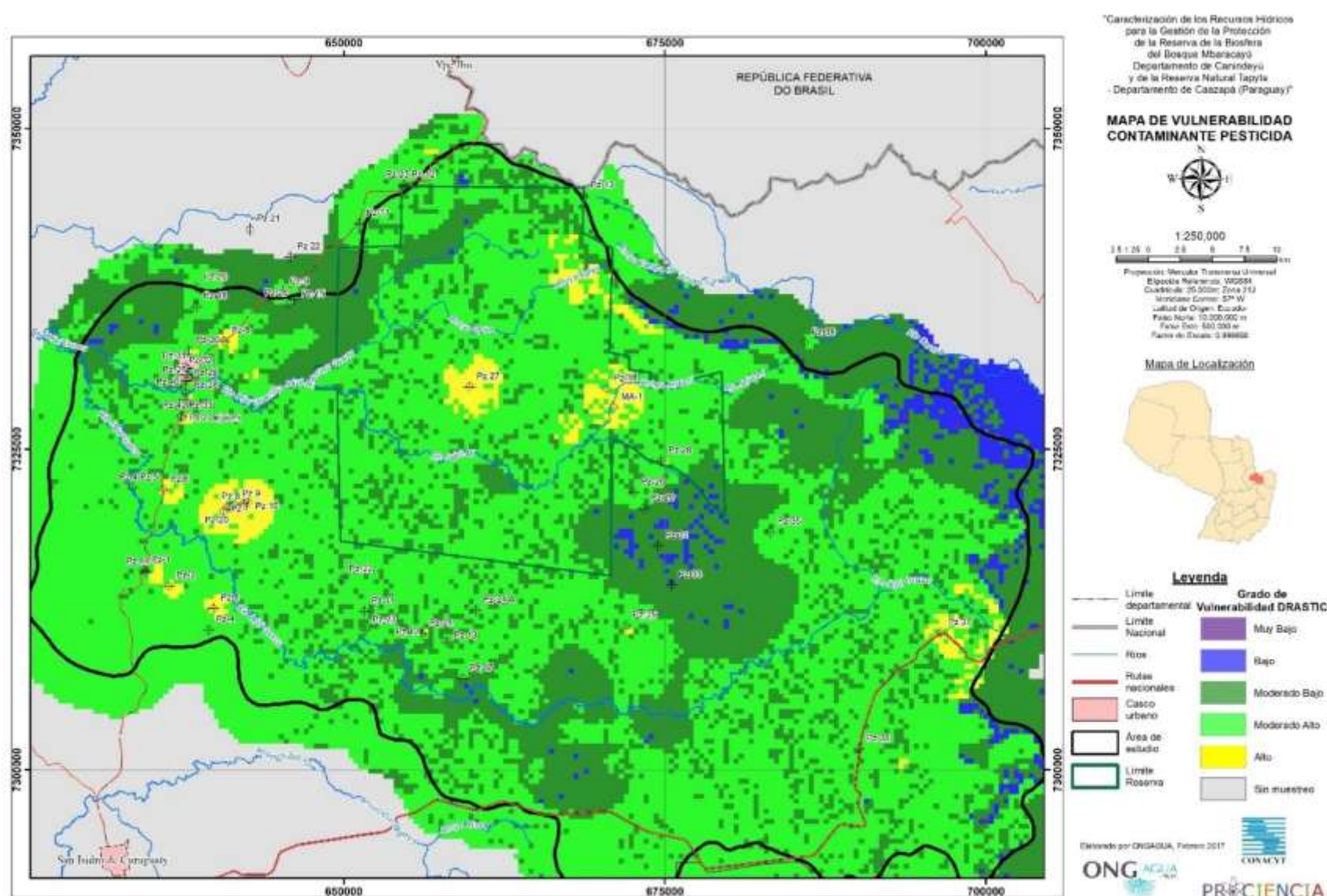


Figura 32. Mapa de vulnerabilidad de acuífero a la contaminación de la Reserva del Bosque Mbaracayú – Con Pesticida.

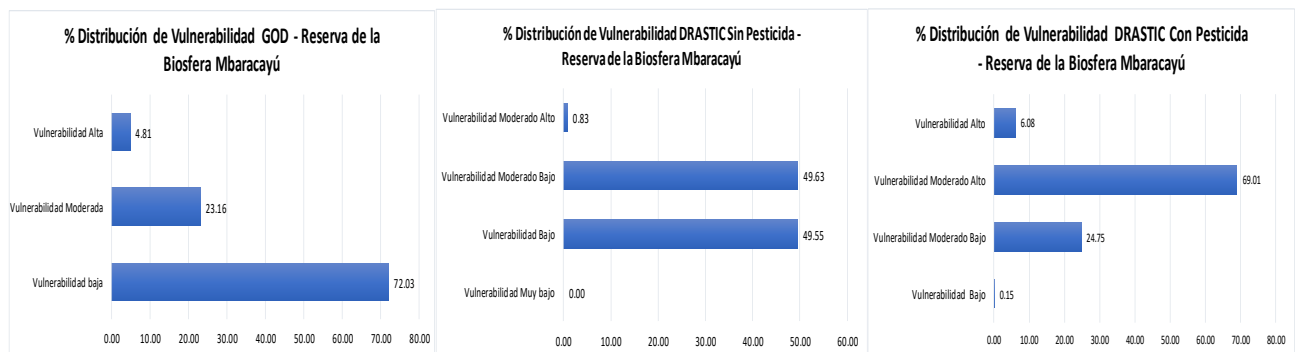


Figura 33. Porcentajes de distribución de la Vulnerabilidad del acuífero – Métodos: GOD y DRASCTIC (Para Pesticida y No Pesticida).

3.6.2. Riesgo a la contaminación del Acuífero

Para esta investigación se adoptó una matriz de clasificación que permite determinar los rangos de riesgo de las diferentes unidades, tomando en consideración el tipo de uso del suelo (Figura 34) para el área de la RNT y (Figura 36) para la Reserva del Bosque Mbaracayu, y la vulnerabilidad de los acuíferos según GOD y DRASTIC (con ponderaciones para pesticidas y no pesticidas correspondientes a las Figuras 26, 27 y 28 para la RNT, y Figuras 30, 31 y 32 para el área de la Reserva del Bosque Mbaracayu). Se aplica el Esquema conceptual para la evaluación del riesgo a la contaminación del agua subterránea. (SARO, 2001); y Matriz de riesgo para utilización mediante un SIG (Figura 3).

Para el mapa de uso del suelo del área de Tapytá (Figura 34) se utilizó la imagen Landsat 8, toma del 27 de febrero de 2016, órbita 221078, y para el mapa de suelo del área del Bosque Mbaracayu (Figura 36), la toma fue del 06 de diciembre de 2016 y 09 de enero de 2017, las órbitas fueron 224077 y 255077. El procedimiento fue basado en la clasificación supervisada empleando firmas espectrales (mínimo 10 para cada uno) mediante el empleo de software GIS.

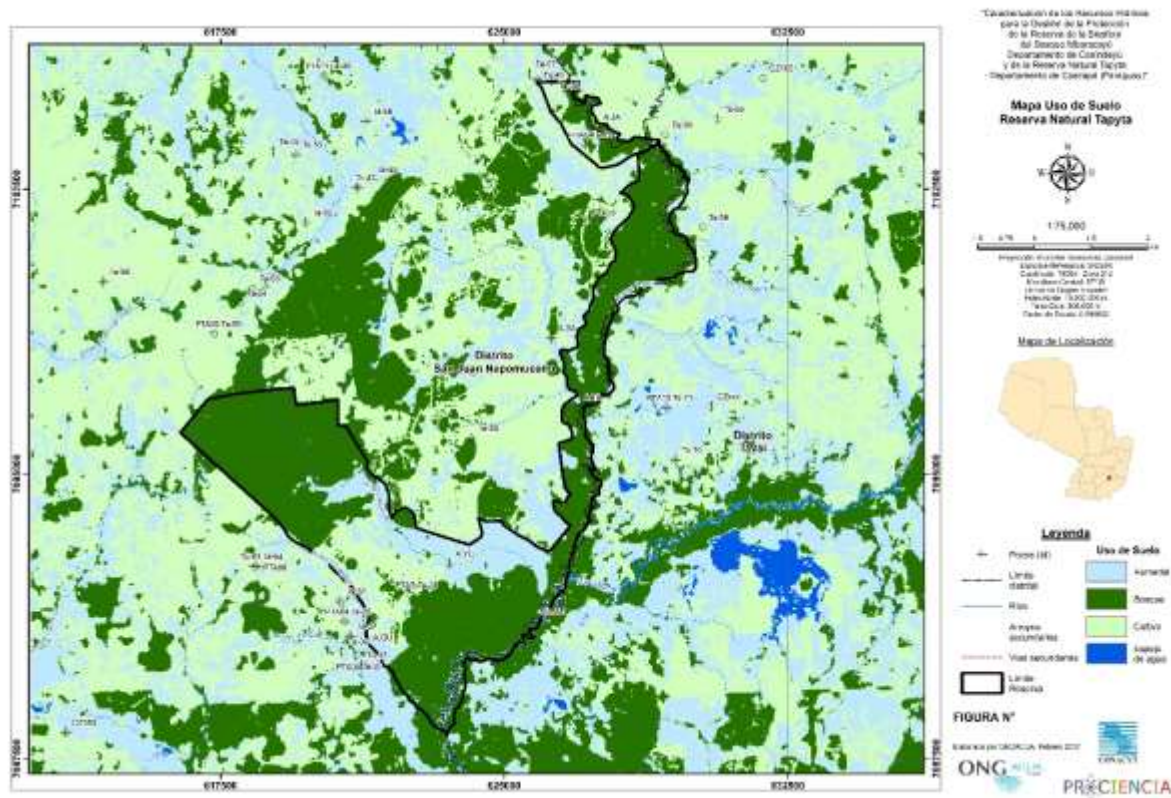


Figura 34. Mapa de Uso de Suelo del área de la RNT clasificado para en áreas de humedal, bosque, cultivo y espejo de agua, para aplicar a la Matriz de Riesgo (Figura 3).

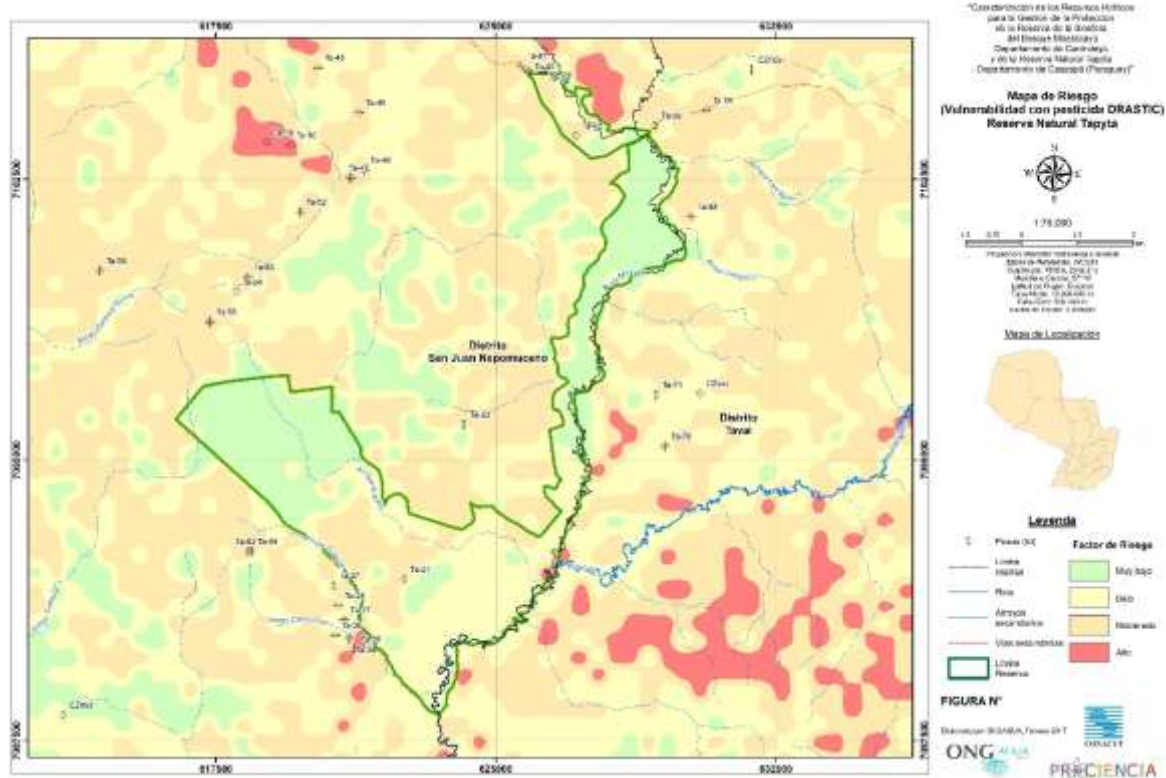


Figura 35. Mapa de riesgo del área de la RNT, con base del mapa de Vulnerabilidad específica para pesticida (Figura 26) y mapa de Uso del Suelo (Figura 32).

Se presenta mapa de riesgo con vulnerabilidad específica para pesticidas (Figura 35) para la RNT y (Figura 37) para la Reserva del Bosque Mbaracayu, los cuales se aplicaran como base para el mapa de Protección de recursos hídricos.

Se observa que el riesgo a la contaminación del acuífero es bajo en áreas de bosques

En la zona de estudio de la RNT, se determinaron las siguientes clasificaciones de riesgo a la contaminación (Figura 35)

Riesgo de contaminación Alto. Las áreas de riesgo alto son el resultado de la vulnerabilidad alta y muy alta, combinada con un uso del suelo. Las zonas con riesgo de contaminación alta se encuentran en zonas de cultivos y zonas bajas húmedas, clasificadas como humedales para la matriz de riesgo. Se encuentran en las áreas circundantes al límite de la Reserva.

Riesgo de contaminación Moderada. Las áreas de riesgo medio son el resultado de la vulnerabilidad moderada alta y moderad baja, combinada con uso del suelo. Las zonas con riesgo de contaminación moderada, abarcan áreas de cultivos principalmente y y áreas húmedas clasificadas como humedales y algunos espejos de agua, dentro de la Reserva y las áreas circundantes.

Riesgo de contaminación Bajo. Las áreas de riesgo bajo son el resultado de la vulnerabilidad moderada baja y baja, combinada con uso del suelo. Las zonas con riesgo de contaminación bajo son áreas bajas clasificadas como humedales.

Riesgo de contaminación Muy bajo. Las áreas de riesgo bajo son el resultado de la vulnerabilidad moderada baja y baja, combinada con uso del suelo. Las zonas con riesgo de contaminación bajo son áreas de bosques naturales.

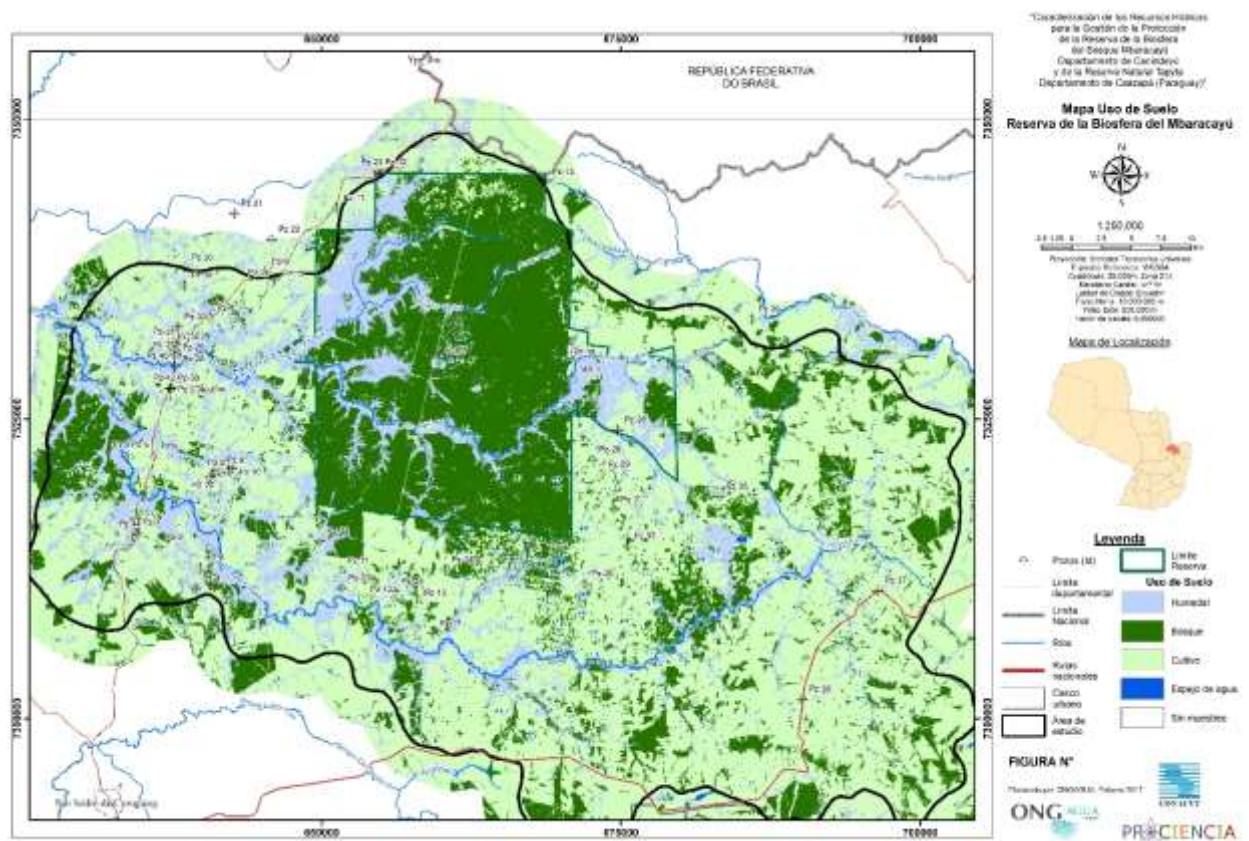


Figura 36. Mapa de Uso de Suelo del área de la Reserva del Bosque Mbaracayu clasificado para en áreas de humedal, bosque, cultivo y espejo de agua, para aplicar a la Matriz de Riesgo (Figura 3).

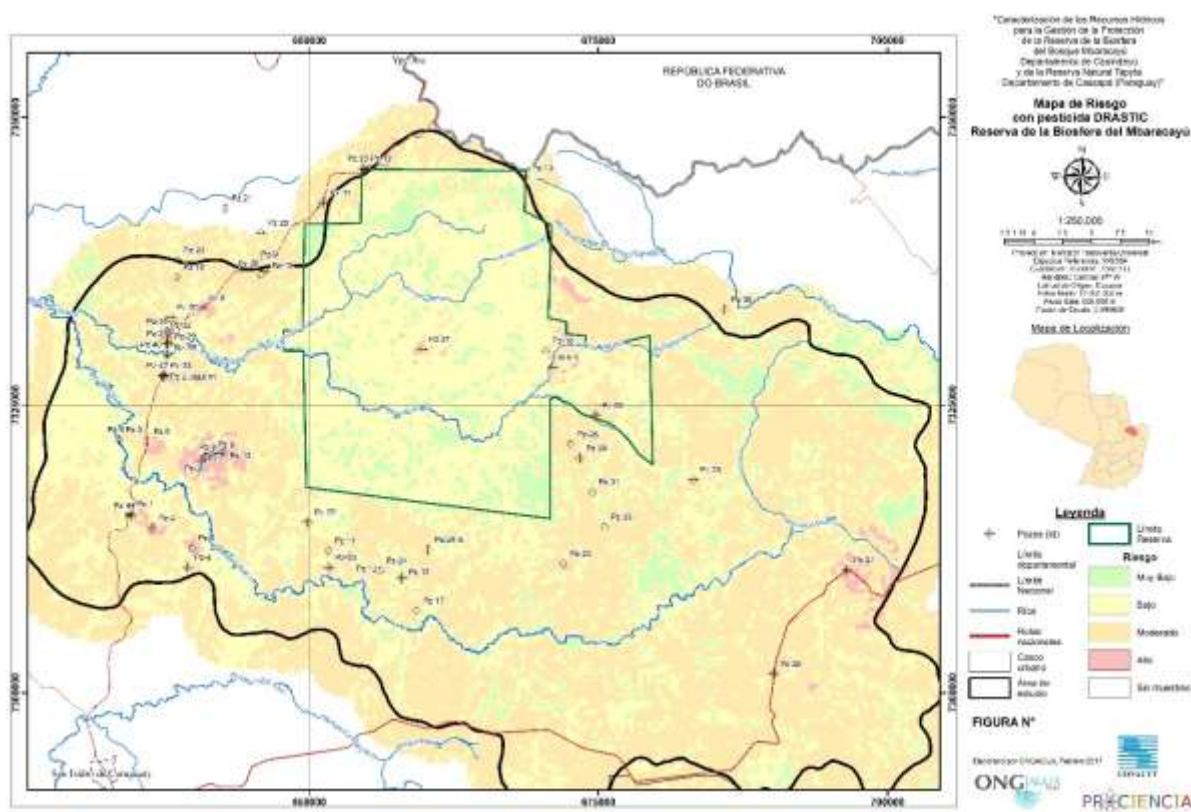


Figura 37. Mapa de riesgo del área de la RNT, con base del mapa de Vulnerabilidad específica para pesticida (Figura 30) y mapa de Uso del Suelo (Figura 33).

En la zona de estudio se determinaron las siguientes clasificaciones de riesgo a la contaminación (Figura 37)

Riesgo de contaminación Alto. Las áreas de riesgo alto son el resultado de la vulnerabilidad alta, combinada con un uso del suelo. Las zonas con riesgo de contaminación alta se encuentran en zonas de cultivos y zonas bajas húmedas, clasificadas como humedales para la matriz de riesgo. Se encuentran dentro y áreas de amortiguamiento de la Reserva.

Riesgo de contaminación Moderada. Las áreas de riesgo medio son el resultado de la vulnerabilidad moderada alta y moderada baja, combinada con uso del suelo. Las zonas con riesgo de contaminación moderada, abarcan áreas de cultivos principalmente y y áreas húmedas clasificadas como espejos de agua dentro de la Reserva y las áreas circundantes-

Riesgo de contaminación Bajo. Las áreas de riesgo bajo son el resultado de la vulnerabilidad moderada alta y moderada baja, combinada con uso del suelo. Las zonas con riesgo de contaminación bajo son áreas con bosques naturales..

Riesgo de contaminación Muy bajo. Las áreas de riesgo bajo son el resultado de la vulnerabilidad moderada baja y baja, combinada con uso del suelo. Las zonas con riesgo de contaminación bajo son áreas húmedas clasificadas como humedales para la matriz de riesgo

.Observando los mapas de Riesgo (Figura 35 y Figura 37) se muestra que las áreas con vegetación boscosa son las que presentan los riesgos más bajos a bajos a la contaminación de acuíferos, y los mayores riesgos son en áreas de cultivos y humedales donde la vulnerabilidad es alta.

3.7. Protección de los Recursos Hídricos Subterráneos y superficial – RNT y RBM

Se establecen zonas de prioridades para la protección del agua subterránea y superficial basado en la “vulnerabilidad de acuífero” y el “riesgo a la contaminación” el cual consideró el uso actual de la tierra para definirse el riesgo. Se indican y proponen acciones a tener en cuenta y que actividades son posibles con un riesgo aceptable para el agua subterránea. (Foster et al. apud Larroza, 2001). (Figura 38, 39, 40 y 41) corresponden a los Mapas de Protección de los recursos hídricos, donde todos los cauces hídricos tienen el grado de Protección de primera prioridad, se presentan dos mapas comparativos, uno con base del mapa de vulnerabilidad específica para pesticida (DRASTIC), y el otro con base del mapa de vulnerabilidad (GOD).

Para este estudio no se habla de protección de fuentes de abastecimiento, ya que para ello se debe tener datos más precisos con estudios en detalle, donde ya se tendría que contar con delimitación de áreas de protección de pozos y fuentes puntuales de abastecimientos

3.7.1. Zonificación de prioridades para la protección de los recursos hídricos

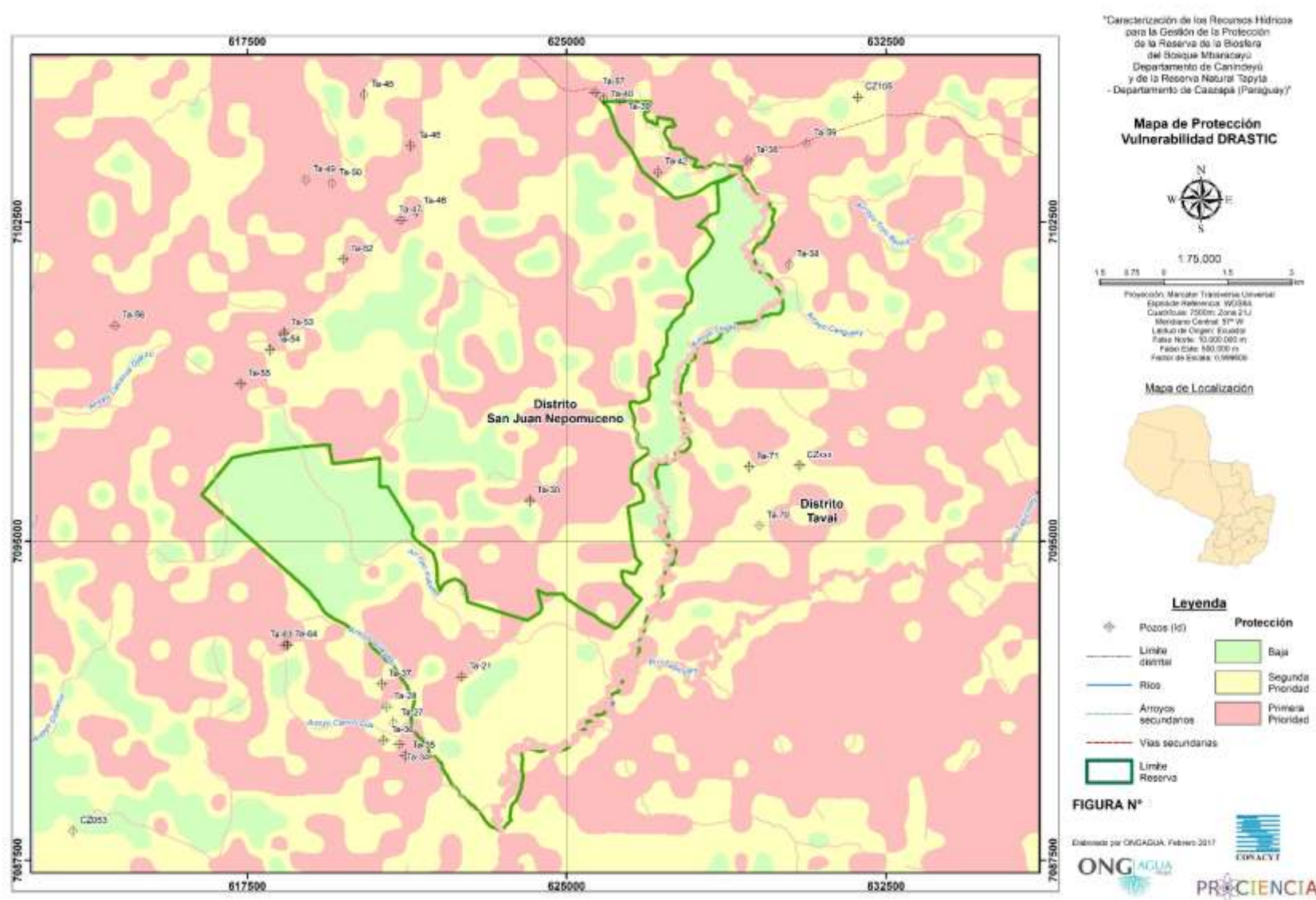
La zonificación del terreno para la protección de aguas subterráneas juega también un papel clave en la fijación de prioridades para el monitoreo de la calidad del agua subterránea, la auditoría ambiental de las instalaciones industriales, las recomendaciones que puedan hacerse a la agricultura para contribuir al control de la contaminación y la educación pública en general.

Todas estas actividades son componentes esenciales de una estrategia global para la protección de la calidad del agua subterránea.

Las zonificaciones están basados en la clasificación del uso actual del suelo (Figura 34 y Figura 36) de la RNT y la RBM respectivamente, que dio base para la elaboración del mapa de Riesgo, éstos elementos combinados con el mapa de vulnerabilidad del acuífero a la contaminación con pesticidas, es lo que determina las áreas prioritarias de ser atendidas, y se tiene las descripciones en el (Cuadro 5). Con estas medidas sugeridas lo que se pretende es la conservación y mantenimiento de los recursos de suelo y agua.

Se debe tener presente, que tanto el mapa de Riesgo como de Protección, es dinámico, porque, en el momento que vaya cambiando el “uso de suelo” también cambia la carga contaminante, por lo que el mapa de riesgo va a variar, según sea positivo o negativo para el acuífero, y los grados de zonificación de áreas de Protección pasarían a otro nivel o grado.

La literatura hidrológica indica que el bosque mantiene y favorece los procesos de infiltración, percolación y flujo subsuperficial en las cuencas hidrográficas, pero no puede modificar la porosidad de la roca madre ni su capacidad para formar acuíferos (Calder 2003 apud Nisbet, T., 2005), por eso decimos, que, lo que sí se puede controlar y/o modificar son las actividades antropogénicas.



.Figura 38. Mapa de protección de los recursos hídricos - Vulnerabilidad DRASTIC – Ponderación Con Pesticid - RNT.

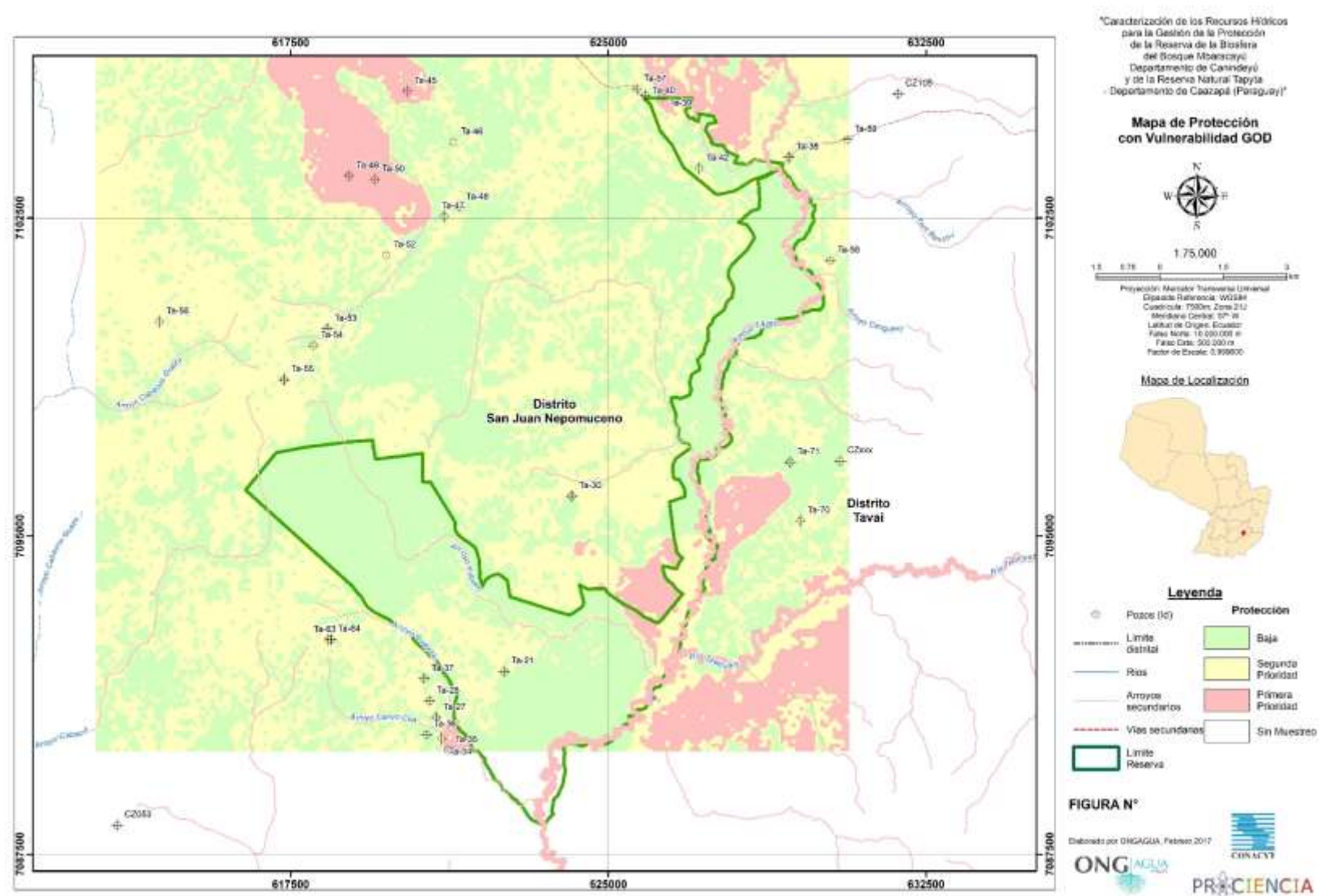


Figura 39. Mapa de protección de los recursos hídricos - Vulnerabilidad GOD- RNT.

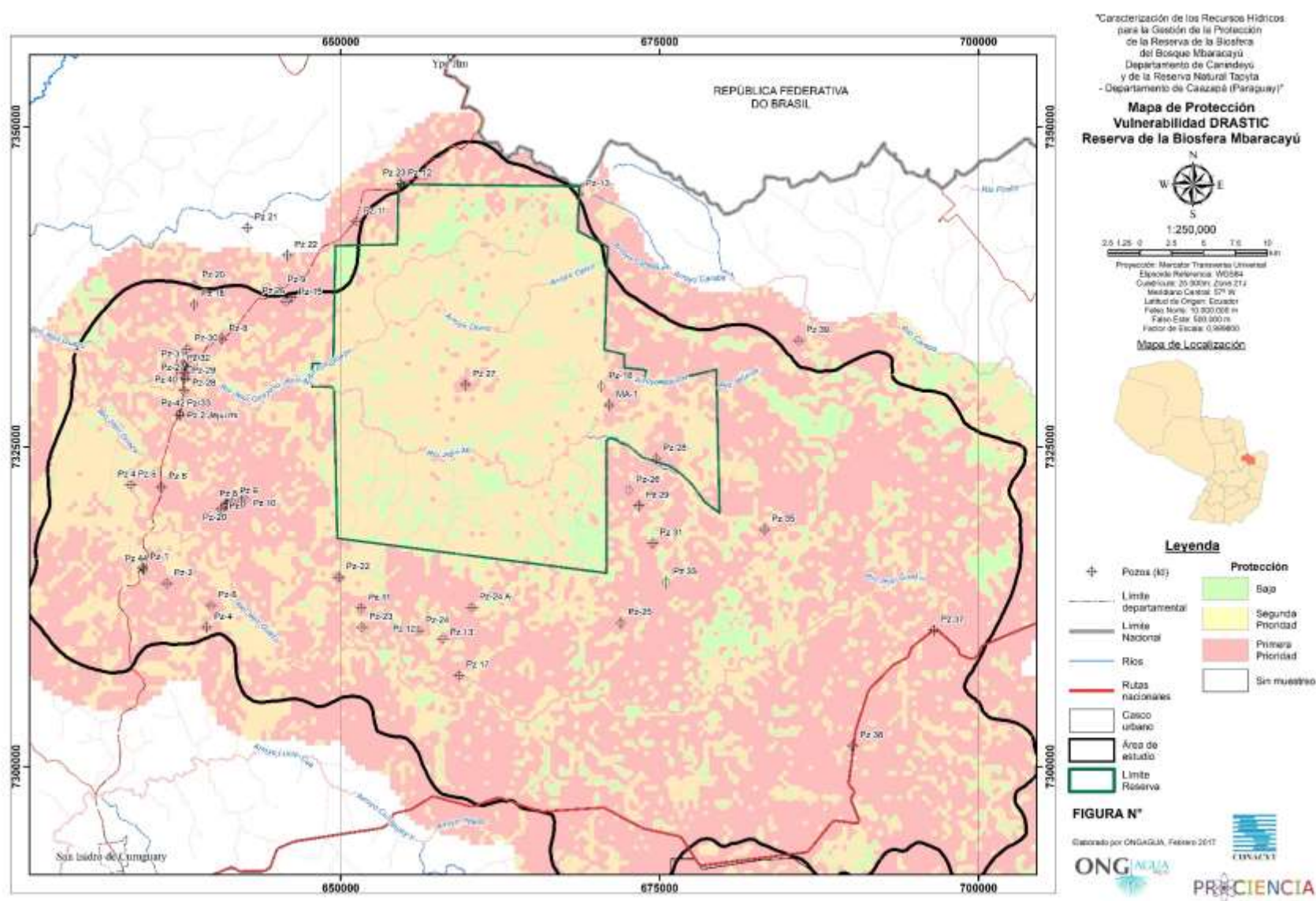


Figura 40. Mapa de Protección de los recursos hídricos RBM - Vulnerabilidad DRASTIC - Ponderación Con Pesticida.

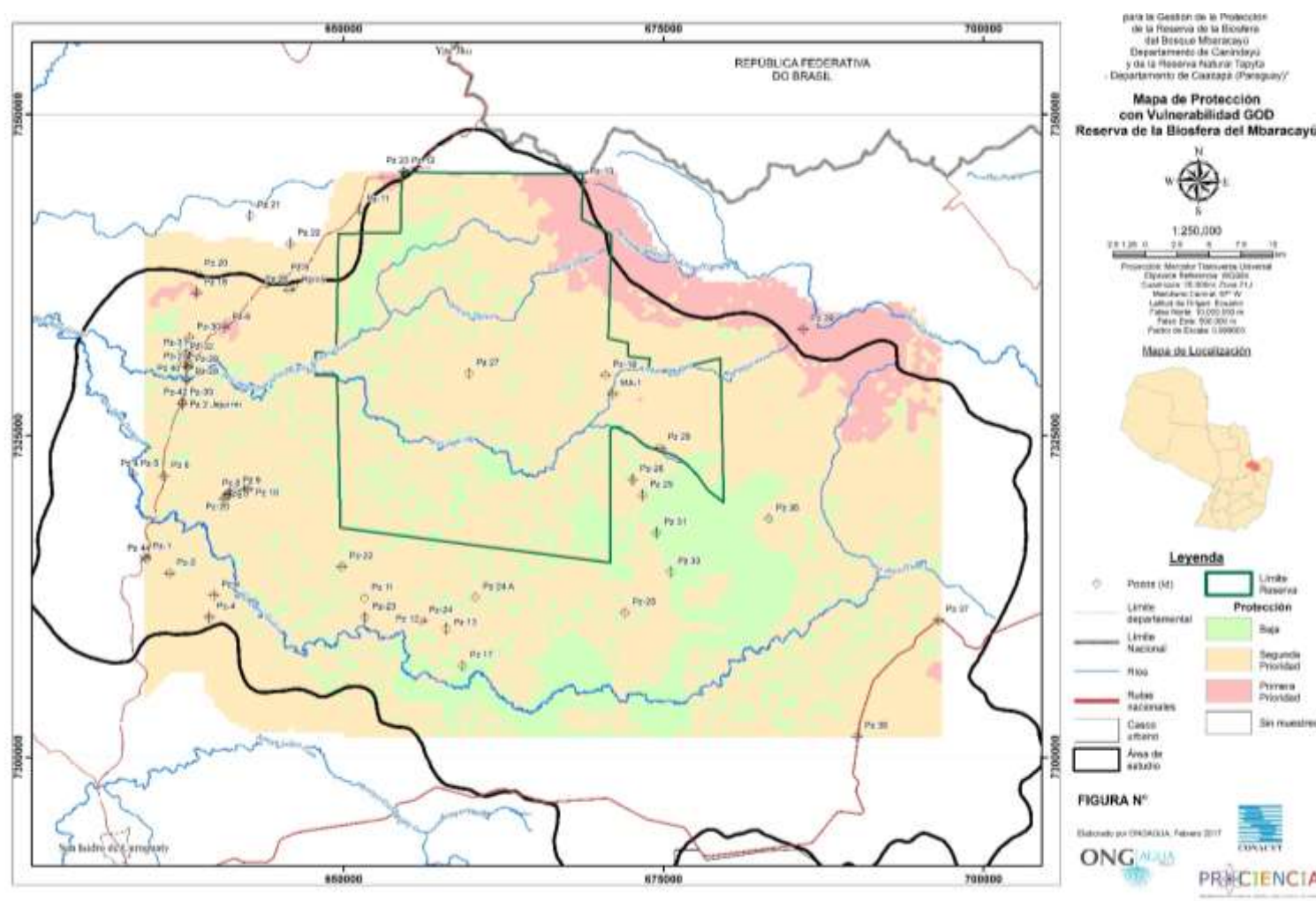


Figura 41. Mapa de Protección de los recursos hídricos RBM - Vulnerabilidad GOD - Reserva del Bosque Mbaracayú .

Cuadro 5. Zonificaciones de áreas de protección: primera prioridad – segunda prioridad e insignificante (basado en el uso actual de la tierra, fechado en diciembre, 2016-enero, 2017).

Zonificación de protección de <u>primera prioridad</u> para las aguas subterráneas Reserva Natural de Tapytá (RNT) y la Reserva de la Biósfera del Bosque Mbaracayu (RBBM)	
- Estas áreas presentan una alta vulnerabilidad a las actividades agrícolas, que son las actividades principales en las áreas de influencia de las Reservas Naturales, zona presentando un elevado riesgo de contaminación por pesticidas. - Corresponden a áreas de riesgo alto y moderado, y son: – áreas de nacientes, cabeceras de ríos, las <i>áreas de riberas de arroyos, ríos, cauces intermitentes</i>, – las áreas urbana-rural donde la población se abastece aun de los pozos cavados a mano con niveles de agua no mayor a 6 metros, aunque ya están conectados a una red de abastecimiento de pozos perforados profundos. - Las áreas de recarga locales del acuífero freático; áreas de vulnerabilidad alta baja y media alta; son más sensibles en los acuíferos freáticos con cobertura de suelos más arenosos, sin ser la regla, debido a que la geología de las áreas no tiene continuidades (lateral y vertical). - Son más vulnerables preferentemente las áreas de cultivos y áreas húmedas.	
Medidas y/o Acciones que aplicar para estas áreas	- Realizar un Inventario detallado del uso de pesticidas y fertilizantes, de uso potencial para las plantaciones forestales y conservación de la madera y otras plantaciones agrícolas - Realizar una revisión amplia de los plaguicidas de uso actual y; - Se debe otorgar alta prioridad al monitoreo de la calidad del agua para sus medidas correctivas, en caso de que los valores pasen los límites permitidos para consumo humano y de la biota acuática; - No deforestar las cabeceras de los ríos, y riberas de cauces, que controlan la erosión y colmatación de los cauces, a más de filtro de contaminantes; - En cuanto a las prioridades de Uso del Agua, adecuarse a la Ley N° 3.239 De los recursos hídricos del Paraguay, Capítulo VI Derechos de uso y aprovechamiento de los recursos hídricos, que en el en el Artículo. 18 dice: “Será prioritario el uso y aprovechamiento de los recursos hídricos superficiales y subterráneos para consumo humano y los demás usos y aprovechamiento seguirán el siguiente orden de prioridad: a) Satisfacción de las necesidades de los ecosistemas acuáticos; b) Uso social en el ambiente del hogar: c) Uso y aprovechamiento para actividades agropecuarias, incluida la acuicultura; - Adecuarse a las mejores prácticas de manejo para proteger los cauces hídricos circundantes, apoyados en la Ley de INFONA No 4.241/2010 “De Restablecimiento de Bosques Protectores de Cauces Hídricos dentro del Territorio Nacional”. según el caso, pudiendo ser de conservación o restauración – Dejando la cobertura de los cauces según el ancho de los mismo, variando de 15 m a 60 metros aproximados para nuestra área de estudio, según INFONA, y 100 metros, según Ley de Recursos Hídricos. - Los almacenamiento y limpieza de productos pesticidas en estas áreas, adecuarse estrictamente a las normas ambientales de disposición. Ley N° 3.956 Gestión integral de los residuos sólidos en la república del Paraguay, Capítulo V De la disposición inicial, donde el Artículo 17.- Disposición inicial. La generación de los residuos sólidos implica obligaciones en el generador; por tanto, deberá realizar el almacenamiento previo en recipientes adecuados a su volumen, manejo y características particulares, con el fin de evitar su dispersión. Toda edificación que requiera un sitio de almacenamiento temporal de residuos sólidos deberá cumplir, como mínimo, con las especificaciones descriptas en dicho artículo. - Generar metodologías de cooperación entre la comunidad, las organizaciones privadas y públicas, que permitan integrar datos e información y así poder tomar acciones según el caso, lo que contribuirá a mantener el recurso agua saludable, por ejemplo, fomentando la creación de Consejo de Agua, donde la SEAM en su Resolución 170 /06 “reglamenta la conformación de los Consejos de Aguas por Cuencas Hidrográficas, siendo responsable la Dirección General de Protección y Conservación de los Recursos Hídricos (DGPCRH), Comités de
Estudios inmediatos de investigación	- Tomar muestras de suelo de las áreas cercanas donde se han detectados concentraciones de arsénico y determinar su origen, si es natural (proveniente de la Formación geológica) o por algún tipo de uso de químicos, en el caso de la RNT, específicamente. - Estudios de la movilidad de los plaguicidas como para alcanzar las aguas subterráneas y superficiales. - Evaluación caso por caso de la peligrosidad del potencial contaminante - Estudios locales de permeabilidades de los suelos - Balance hídrico de suelo (áreas de bosques naturales y los cultivados y/o forestados-reforestados) - Determinación del perímetro de protección de los pozos de abastecimiento para consumo humano - Instalar las reglas métricas en los arroyos que atraviesan las Reservas Naturales e implementar el método y frecuencia de lectura en cooperación con los actores involucrados, para tener registros de niveles para futuros estudios, como de caudal ecológico.
Zonificación de protección de <u>segunda prioridad</u> para las aguas subterráneas y cauces hídricos RNT y la Reserva de la Biósfera del Bosque Mbaracayu	
- Estas áreas presentan una moderada a baja vulnerabilidad a las actividades agrícolas, siendo su mayor actividad de la zona presentando un moderado riesgo de contaminación por agroquímicos; - Corresponden a áreas de riesgo y vulnerabilidad moderado – áreas donde aún se encuentran los bosques nativos; - Las áreas cultivadas son las más vulnerables en relación con áreas de bosques naturales;	
Acciones inmediatas que aplicar	- Inventario detallado del uso de pesticidas y fertilizantes; - Para el cambio de uso de la tierra, realizar estudio de impacto ambiental - Estrategias de monitoreos de los recursos hídricos y medidas de control; - El mayor control en estas áreas es en cuanto al manejo del suelo, donde la escorrentía será un factor que podría verse afectada debido al cambio de uso del suelo, sobre todo por alteración de un bosque húmedo, empobreciendo el suelo y probablemente aumentaría la escorrentía; pero, sería positivo, reforestación en suelos empobrecidos.
Zonificación de protección de <u>baja prioridad</u> para las aguas subterráneas RNT y la Reserva de la Biósfera del Bosque Mbaracayu	
Sólo vulnerable a contaminantes conservativos cuando son descargados o lixiviados en forma amplia y continua durante largos períodos de tiempo	
Estas áreas presentan una baja vulnerabilidad a la contaminación, - Corresponden a áreas de riesgo y vulnerabilidad bajo– áreas donde aún se encuentran los bosques nativos, que le confiere de por sí una protección mayor a los acuíferos y cauces hídricos. <i>Tener en cuenta que con el cambio de uso del suelo, ésta condición pasará al grado de “segunda prioridad”.</i> <i>Desde el punto de vista de zonificación ambiental, éstas área se deben PRESERVAR, sobre todo lo que se encuentran dentro de los límites de las Reservas Naturales y un bafer de 50 m. mínimo (Acosta U., H. H, 2007).</i> - Para cualquier actividad, siempre se debe respetar el Plan de Manejo del las Reservas Naturales, la Ley de Recursos Hídricos Ley 3239/2007 y de INFONA LEY No 4241/2010 “De Restablecimiento de Bosques Protectores de Cauces Hídricos dentro del Territorio Nacional”. según el caso, pudiendo ser de conservación o restauración.	

3.8. Propuesta del plan de monitoreo para las áreas de estudios (RBBosque Mbaracayu y RNTapytá)

3.8.1. Los objetivos del plan de monitoreo son:

- Determinar cambios en la calidad y cantidad de los recursos hídricos superficial y subterráneo en función del tiempo.
- Alertar sobre los impactos generados por las presiones antrópicas sobre los cauces hídricos y acuíferos
- Proporcionar información necesaria para la gestión del agua en la implementación del plan de manejo de recursos hídricos de las Reservas Naturales.

Se tienen los tres tipos de monitoreo (DIRECTIVE (2000/60/EC, European Communities, 2003). la cual el monitoreo de vigilancia y específico, responden a nuestros objetivos.

- Monitoreo de vigilancia. Su función es proporcionar información representativa del estado general de las aguas subterráneas con el objetivo de comprobar los impactos generados por las presiones existentes y evaluar los cambios a largo plazo de las condiciones naturales;
- Monitoreo de tendencia (monitoreo operativo): Tiene como objetivo el seguimiento de la evolución de las aguas subterráneas, generalmente en aquellas zonas con más presiones o más vulnerables. Es un control más dirigido al seguimiento de problemas detectados en el medio;
- Monitoreo específico: Aplica para casos particulares (evaluación de la contaminación, salinidad) y para estudios específicos (identificación de contaminantes desconocidos, accidentes eventuales, fenómenos naturales imprevistos, etc.).

3.8.2. Red de monitoreo

Basándonos en la publicación de la ACWI, 2009, se puede definir una red de monitoreo como la red que cumple los siguientes objetivos clave:

- Almacenar mediciones temporales y espaciales de niveles y calidad del agua subterránea y sus cambios relacionados con la actividad humana;
- Analizar las respuestas de dichas mediciones a las variaciones del clima; y
- Predecir los efectos en la disponibilidad del recurso y los cambios en la calidad del agua para las actividades humanas o ecosistemas.

Se resalta que para la propuesta de este trabajo, la red de monitoreo se basa en la red ya existente que en principio el diseño y está basado en la disponibilidad de pozos y accesibilidad a los mismos, observaciones y antecedentes que puedan indicar la presencia a algún parámetro indicador de contaminación de los recursos hídricos y a experiencia y juicio de los profesionales encargados del estudio. En la ([Tabla 11](#)) se tiene los puntos propuestos para la red de monitoreo para la RNT y ([Tabla 12](#)) para la Reserva del Bosque Mbaracayu, se menciona que estas propuestas pueden ser modificadas según la implementación del monitoreo.

3.8.3. Parámetros tentativos para aguas subterránea y superficial

Basado en el uso de la tierra de las áreas y de resultados de base, se proponen los siguientes parámetros para el monitoreamiento, y también para la frecuencia se tuvo en cuenta la “Guía alemana sobre el monitoreo de frecuencias en relación con las propiedades del acuífero” (DIRECTIVE (2000/60/EC, European Communities, 2003), ([Tabla 10](#)).

3.8.3.1. *in situ:*

– pH – CE – °C – O₂ disuelto , medidos con equipos específicos, como conductímetro, pHímetro, y oxímetro.

3.8.3.2. *En Laboratorio*

3.8.3.2.1. De rutina,

en agua superficial, que ya pueden indicar cambios físicos, químicos y biológicos: Conductividad, CE, DQO, Turbidez, Sólidos en suspensión, Cloruros, bicarbonatos, amonio, nitrito, nitrato, fosfatos, arsénico, y para agua subterránea, los mismos parámetros excepto DQO.

3.8.3.2.2. Determinaciones específicas en agua superficial

Clorofila, es un parámetro que puede indicar la calidad del agua en cuanto a la concentración de fitoplancton (algas microscópicas), esto aporta informaciones sobre la cantidad de biomasa presente en el medio acuático analizado;

Fitoplancton, para continuar con la clasificación y ver si sería un parámetro válido para continuar con esta determinación en el futuro como indicador biológico de las aguas superficiales;

Determinaciones de Pesticidas

Una vez que se tenga la lista de los principios activos (pesticidas/herbicidas), programar en época húmeda y seca. (durante dos años);

Glifosato

Tabla 10. Guía alemana sobre el monitoreo de frecuencias en relación con las propiedades del acuífero

		Frecuencias				
Escenarios	Semestral	trimestral	Mitad de año	Anual	Cada dos años	Cada cinco años
aguas subterráneas poco profundas (profundidad hasta el nivel ≤ 3 m), acuífero poroso no confinado	x	X	X	x		
profundidad del agua subterránea (profundidad hasta el nivel ≥ 10 m), acuífero poroso no confinado				x	X	X
aguas subterráneas poco profundas (profundidad hasta el nivel ≤ 3 m), acuífero fracturado no confinado	x	X	X	x		
aguas subterráneas profundas (profundidad hasta el nivel ≥ 10 m), acuífero fracturado no confinado		x	X	X		
aguas subterráneas confinadas (con una cubierta más o menos impermeable con un grosor < 2 m)			X	X	x	
aguas subterráneas confinadas (con una cubierta más o menos impermeable con un espesor > 2 m)			x	X	X	
alta tasa de recarga		x	X	X		

Las X son las recomendadas y las x según se presente las necesidades específicas, los rellenados son las frecuencias seleccionadas para esta propuesta. Fuente: COMMON IMPLEMENTATION STRATEGY FOR THE WATER FRAMEWORK DIRECTIVE (2000/60/EC), Guidance Document No 7 Monitoring under the Water Framework Directive, (European Communities, 2003).

Tabla 11. Puntos y parámetros propuestos para la red de monitoreo en la Reserva del Bosque Mbaracayu

Puntos propuestos para la red de monitoreo de pozos y agua superficial en el area de la Reserva Natural de Tapyta - Parametros y Frecuencia								
			Frecuencia	trimestral	Semestral		Anual	
ID	UTM (X)	UTM (Y)	Descripcion	in situ	Rutina	Arsénico	Glifosato	Pesticidas
Ta-21	622542	7091809.0	Pozo calzado	x	x	x	x	Una vez realizado el inventario de Pesticidas utilizadas en la zona
Ta-28	620782	7091110	Pozo calzado	x		x	x	
Ta-30	624137	7095941	Naciente-Gruta de arenisca	x	x			
Ta-34	621071	7090221	Pozo calzado	x	x			
Ta-35	621212	7089955	Pozo calzado	x	x			
Ta-38	629263	7103934	Pozo calzado	x				
Ta-39	626267	7105370	Pozo calzado	x	x	x		
Ta-42	627144	7103669	Pozo calzado	x	x	x	x	
Ta-47	621119	7102537.8	Naciente en un bajo	x			x	
Ta-49	618879	7103490	Pozo calzado	x				
Ta-55	617347	7098687	Pozo calzado	x		x		
Ta-57	625670	7105539	Pozo calzado	x				
Ta-58	630237	7101495	Pozo calzado	x	x			
Ta-59	630640	7104343	Pozo calzado	x				
Ta-63	618386	7092552	Pozo calzado	x				
Ta-70	629531	7095363	Pozo calzado	x				
Ta-71	629291	7096740	Pozo surgente	x				
Ta-41	627457	7104140	Arroyo Jacui-Sendero 010	x	x	x	x	
Ta-17	626251	7098579	Arroyo Sara	x	x	x	x	
Ta-19	623542	7092630	Arroyo Yuqueri	x	x	x	x	
Ta-29	626955	7096755	Arroyo Tajay-Puente Kyha	x	x	x	x	
Ta-24	621367	7090607	Arroyo Guayaki	x	x	x	x	
Ta-23	625794	7091118	Rio Tebicuary	x	x	x	x	
Ta-60	629043	7103687	Arroyo Tayay - Puente camino principal	x				
Ta-40	625870	7105389	Pozo calzado	x	x			

Tabla 12. Puntos y parámetros propuestos para la red de monitoreo en la Reserva del Bosque Mbaracayu

			Frecuencia	Trimestral	Semestral		Anual	
ID	UTM (X)	UTM (Y)	Descripcion	in situ	Rutina	Arsénico	Glifosato	Pesticida
Pz-9	645267	7337223	Pozo	x			x	
Pz-11	651235	7342585	Pozo	x				
Pz-1	634492	7315556	Pozo	x	x		x	Una vez realizado el inventario de principios activos utilizados en la zona
Pz-12	654714	7345553	Pozo	x	x	x	x	
Pz-13	668663	7344731	Pozo	x	x	x	x	
Ar-0	664007	7329869	Arroyo	x	x	x	x	
Pz-18	670470	7329705	Pozo	x	x	x	x	
AR-1	670870	7328502	Arroyo	x	x	x	x	
MA-1	671053	7328243	Manantial	x	x	x	x	
AR-3	644567	7315303	Arroyo	x	x	x	x	
AR-5	637698	7329250	Arroyo	x	x	x	x	
Pz-27	637772	7330344	Pozo	x	x	x	x	
Pz-22	649868	7314797	Pozo	x				
Pz-23	651671	7310868	Pozo	x				
Pz-24	656091	7310592	Pozo	x	x			
Pz-25	671973	7311215	Pozo	x	x			
Pz-26	672603	7321589	Pozo	x	x	x		
Pz-28	637800	7330798	Pozo	x	x	x		
AR-4	637561	7334975	Arroyo	x	x	x		
LA-1	637549	7331150	Laguna	x	x	x		

3.8.4. Procedimiento

Los datos de los monitoreos deben evaluarse atendiendo los resultados de la línea base obtenida y las normas de calidad de agua según la resolución 222/02 de la SEAM y/o de Norma Paraguaya de Agua Potable NP 24 001 80, según se obtengan indicadores de cambios bruscos en la calidad del agua, se debe buscar su origen y modificar ciertas prácticas y/o remediar y, además es posible modificar el plan de monitoreo. En la (Tabla 10) se presenta una guía a considerar en lo referente a la frecuencia del monitoreo, según las propiedades de los acuíferos involucrados. Siempre llevar un monitoreo por años impares, mínimo 3 años, evaluarlos y replantearlos.

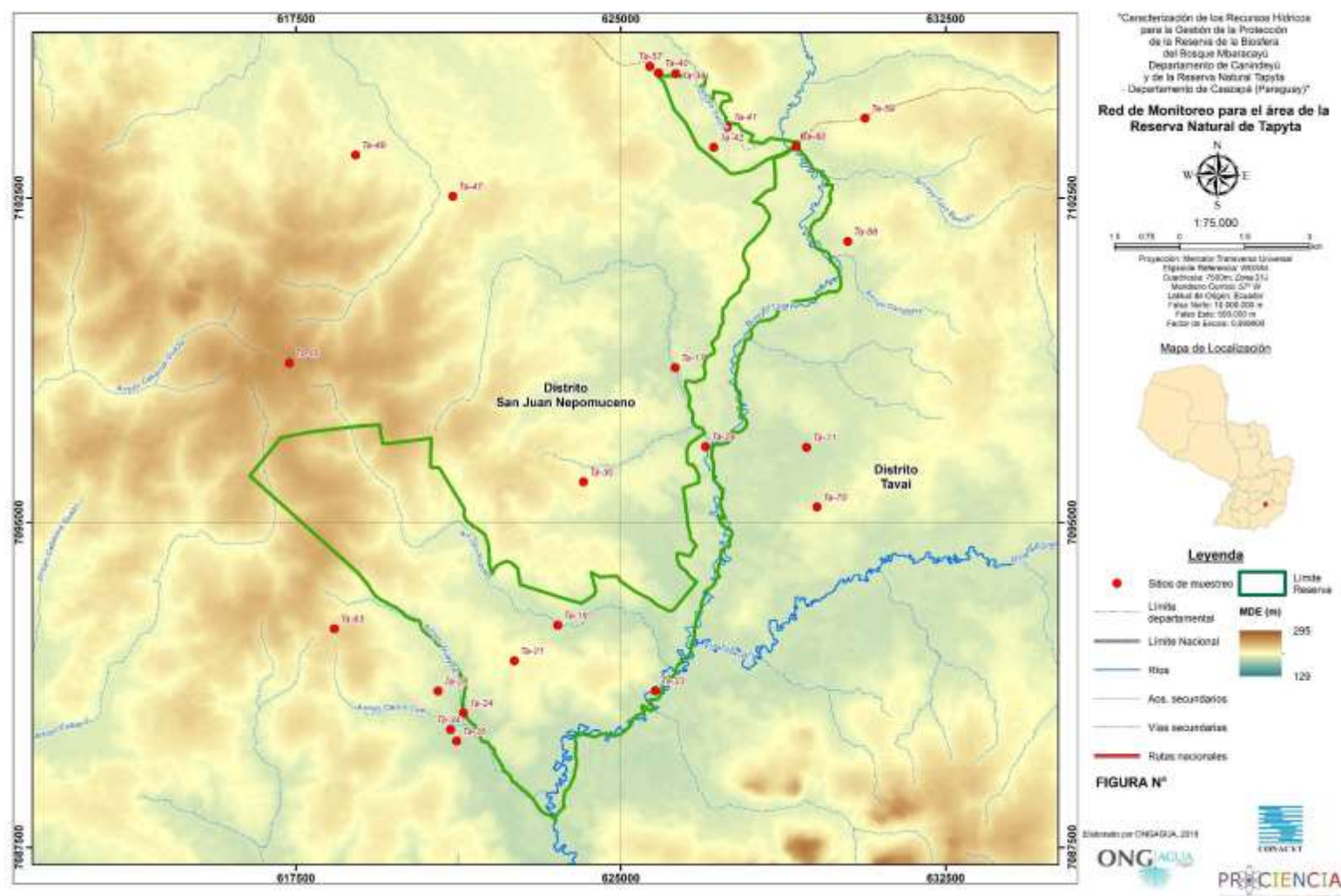


Figura 42. Mapa de distribución de los puntos para monitoreo en el área de la RNT

Este proyecto es financiado por el CONACYT a través del Programa PROCIENCIA con recursos del Fondo para la Excelencia e investigación – FEEI del FONACIDE”

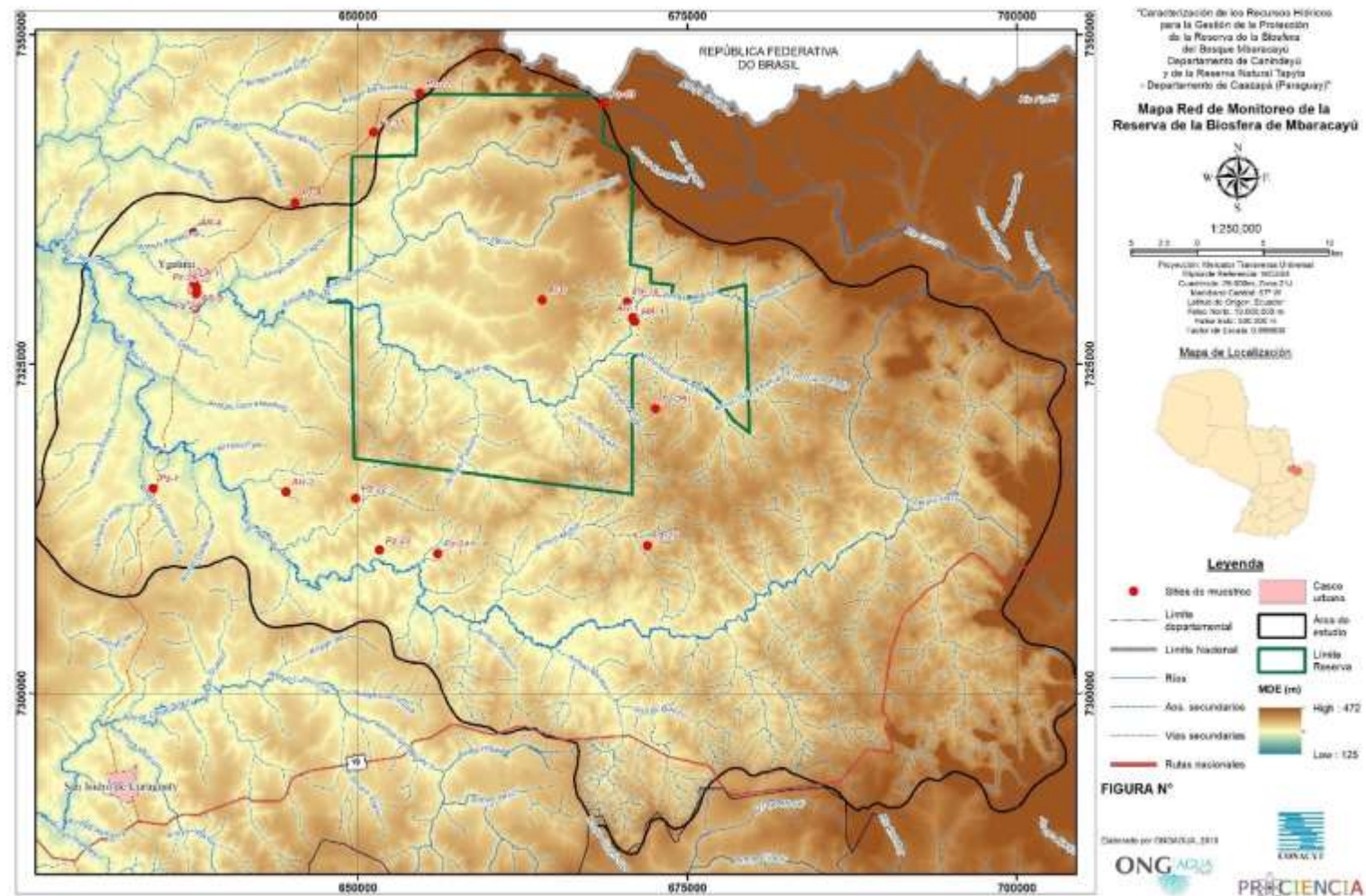


Figura 43. Mapa de distribución de los puntos para monitoreo en el área de la RBM.

Este proyecto es financiado por el CONACYT a través del Programa PROCIENCIA con recursos del Fondo para la Excelencia e investigación – FEEI del FONACIDE”

4. DISCUSIONES

- Un tema relevante que se debe profundizar, es respecto la geología del área de Tapytá, referente al fenómeno de impacto que se ha identificado y posiblemente ha ocurrido posterior a Formaciones San Miguel – Tapytá (Pérmico). Según lo analizado en la presente investigación, donde La Formación Cabacué ocuparía la posición de sedimentos de relleno de la depresión en el cráter. De acuerdo a lo encontrado en la página de Ludovic Ferreire – menciona la confirmación de una nueva estructura de impacto de meteoritos necesita ser apoyada por la presencia de indicadores metamorfismo de choque, ya sea megascópica (por ejemplo, conos astillados) o microscópica (por ejemplo, la deformación planar en minerales), o por la presencia de polimorfos de alta presión (por ejemplo, coesita y stishovita) y/o elementos siderófilos (por ejemplo, iridio) o por anomalías isotópicas (por ejemplo, en osmio) en entornos geológicos específicos (<http://www.meteorimpactonearth.com/impactmeta.html>), P/ej. French (1998), menciona también que la deformación planar (PFs y PDFs en los granos de cuarzo, son unos de los mejores criterios para la identificación de nuevas estructuras de impacto (Osinski y Pierazzo, 2013 y referencias). Las PDFs en el cuarzo son uno de los más convincentes indicadores de choque, (http://estructuras-de-impacto.impact-structures.com/?page_id=1403.
- Referente al Balance Hídrico, si bien se obtuvieron los valores importantes de caudales específicos de las subcuencas y el caudal medio de permanencia de las subcuencas por ecuaciones de regionalización que fueron comparados con los datos obtenidos de las estaciones meteorológicas existentes, queda en vista la necesidad de hacer un balance hídrico integral. Se muestra necesario aumentar el número de estaciones de monitoreo de caudal y de lluvia para poder estudiar en detalle la variación estacional, así como los diferentes puntos de las curvas de permanencia y así caracterizar los extremos tanto de sequía como de periodos lluviosos dentro de las cuencas de estudio. La organización mundial de meteorología en (WMO, 1994), recomienda para regiones onduladas, una densidad de 1 pluviómetro por cada 575 km². La DMH - DINAC, ha instalado recientemente varias estaciones automáticas de medición de variables hidrometeorológicas que para el presente estudio no han sido consideradas por la escasa cantidad de datos que actualmente no llegan a completar ni siquiera un año hidrológico. Por tanto, se recomienda repetir y verificar los valores estimados una vez que la cantidad de datos más actuales sea representativa.
- Respecto a los acuíferos, son muy escasos los datos sobre todo de los acuíferos freáticos, donde faltan las descripciones litológicas en detalle de los pozos, de modo a conocer con más precisión los niveles y la base, porque por las características geológicas, son éstos los más susceptibles a los cambios de uso del suelo. Para los análisis de vulnerabilidad, se toman los parámetros como si fueran homogéneos, en no lo son, no tienen continuidad, tanto lateral como en profundidad. Sería bien, realizar perforaciones de exploración y ensachos de acuíferos, para determinar si tienen comportamiento de acuífero libres, semiconfinados o confinados, donde a partir de estos estudios, ya se tiene un conocimiento donde focalizar y profundizar los estudios posteriores. El

beneficio sería que futuramente se podría realizar un modelo matemático, teniendo también el balance integrado del acuífero.

- Vulnerabilidad de acuífero: Una revisión pendiente sería la valoración dada al parámetro I (Impacto de la zona vadosa) y A (la litología del acuífero), que se tomaron el valor típico promedio, lo que queda para discusión es si tomando valores más trabajados se obtendría otros resultados.
- Las áreas de protección, son con el ánimo de priorizar las acciones y medidas más inmediatas, y sobre todo que se deberían considerar antes de avanzar con el cambio de uso de suelo de la actualidad, conociendo ya los grados de vulnerabilidad del acuífero y las áreas de riesgos potenciales según la carga contaminante del momento. Lo discutible son las áreas donde actualmente existen aun bosque nativo, que en la zonificación de protección de los recursos hídricos tienen un grado de "protección bajo", esto es visto desde el punto de vista del riesgo bajo que presentan para la contaminación de acuífero, debido justamente a la protección que ejercen estos bosques, ahora, es un poco contradictorio, porque, debido a la importancia que se ha demostrado con los diferentes cruces de mapas, donde muestra que la vegetación del bosque nativo ejerce una gran protección a los acuíferos, entonces, éstos deberían ser las áreas de "protección extrema", es decir preservarlo. Pero, como resultado de nuestros métodos empleados, categorizamos de protección baja, al uso de suelo actual, donde una vez que cambie el uso del suelo, se debe actualizar el mapa de riesgo a la contaminación del acuífero y en consecuencia también el mapa de protección.

5. CONCLUSIONES

- La geología local en ambas Reservas Naturales, esta representada en su mayor parte por sedimentos pérmicos que son esencialmente siliciclásticos, de facies fluvial/planicie de Inundación, bordeados por areniscas del mesozoicas de origen eólico principalmente, sobreponiéndose a esto se tienen los de origen volcánico específicamente en los límites E de la Reserva del Bosque Mbaracayu.

Se reconoce una estructura por impacto que habría ocurrido posteriormente a Formaciones San Miguel - Tapytá. La Formación Cabacúa ocuparía la posición de sedimentos de relleno de la depresión en el cráter al cráter Tapytá. Formación Cabacúa (Anschutz, 1981) del Grupo Independencia.

- Las principales unidades hidrogeológicas identificadas en la zona de estudio y en las áreas circundantes son: a) Acuífero Granular (Poroso) de extensión limitada y regional, de mediana producción y alta producción respectivamente (≤ 10 l/seg y ≥ 10 l/seg, Mijailov, 1985); y, en menor área, específicamente en la Reserva del Mbaracayu b) Acuífero volcánico fisurado de gran extensión.
 - o El modelo hidrogeológico conceptual establece la presencia de un sistema acuífero, donde los pozos de las áreas de estudio encuentran niveles muy variados de acuíferos, eso se debe a que los estratos acuíferos y acuitardos

característicos no tienen continuidad lateral y los espesores son variables, lo que hace que se tengan diferentes facies litológicas. No fue posible definir con certeza el espesor del acuífero freático y su extensión.

- El sistema de flujo de aguas subterráneas del área (RNT) tiene orientaciones W-E y NW – SE, y en la parte norte del área Noreste – Sureste. La zona de recarga se tiene en las topografías más elevadas al oeste de la Reserva y cuyas aguas escurren hacia el E y SE, acompañando la topografía la zona, donde nacen radialmente los cursos de agua, parte de ese flujo tiene su descarga hacia los cauces de los arroyos, ya que mantienen un caudal de base en época de seca.
- El sistema de flujo de aguas subterráneas del área de la (RBBM) tiene una dirección que viene del NE dirigidas hacia las áreas más bajas, (hacia el oeste y suroeste principalmente) y existe una divisoria de direcciones de flujo subterráneo en la parte SW del área, donde al parecer los lineamientos estructurales NW-SE serían la causa. La zona de recarga manifiesta su ocurrencia en las topografías más elevadas hacia el Noreste y Este de la Reserva, las áreas de recargas locales están presentes en elevaciones y depresiones y existe condicionamiento de dirección de flujo local por altos y bajos topográficos, correspondiendo a estructuras geológicas. Se evidencian surgencias de agua subterránea dentro de la Reserva.
- Del inventario de los pozos, se puede establecer que el caudal de extracción del pozo cercano al área de estudio oscila entre 2 y 18 m³/h, y que el nivel estático fluctúa entre los 13 y 60 m de profundidad. Los valores de caudal específico de los acuíferos profundos varían de 0.05 a 0,72 m³/h/m y el rango de transmisividad de 1 a 23 m²/día, lo cual demuestra la heterogeneidad granulométrica del acuífero y la importancia de la porosidad secundaria para la producción de agua subterránea.
- Del análisis hidrológico se obtiene que a través de la ecuación de regionalización es posible obtener el caudal medio anual de cualquier subcuenca con datos de área. Para la cuenca del río Tebicuary, fue calculada para este proyecto, y es: $q_{med}=0.016*A$; y según literatura recopilada, de la cuenca del río Jejuí, la ecuación que regionaliza el caudal medio es $q_{med}=0.016*A^{0,9487}$; Pese a limitaciones en cuanto a calidad, cantidad y disponibilidad de datos observados, se han obtenido valores de referencia de caudales que representan al balance hídrico de las áreas de la RNT y RBBM. Los cálculos realizados con los pocos datos meteorológicos disponibles se muestran coherentes cuando comparados con estudios previos realizados regionalmente. De los datos disponibles se tiene un balance hídrico para la cuenca del río Jejuí de 432 mm, y para la cuenca del río Tebicuary de 512 mm.
- Del análisis hidroquímico, para el área de la RNT, se consideraron los parámetros Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, SO₄⁼, HCO₃⁻, y Cl para la clasificación química. Como indicador principal de contaminación se valoró: total de sólidos disueltos. el nitrito, nitrato, amonio. fosfato y arsénico. Las aguas son dulce y bicarbonatadas cálcicas, bicarbonatadas sódica y levemente sulfatada sódica basado en el Diagrama de Piper.

- Los arroyos Guayaki y Yuquerí, presentan aguas sódica y sulfatada, que puede interpretarse como que tienen aporte de aguas subterráneas, y son aguas mezclas, mientras que las otras aguas son bicarbonatadas cálcicas magnésicas (aguas de lluvia).
- El Hierro y Arsénico (Fe y As Totales), en todas las aguas superficiales analizadas se encontraron en el límite y por encima de los valores máximos permitidos por las normas Resolución Nro. 222/02 SEAM- Paraguay (0.01 mg/L) y NP2400180 (0.05 ng/L) en el caso del arsénico y 0.3 mg/L para el Fe. La FAO, establece una concentración de 0.1 mg/l de Arsénico en aguas destinadas al riego, como limite orientativo
- Las concentraciones de arsénico están en un rango que van de 0,06 mg/L (río Tebicuary), siendo el máximo encontrado de 2,354 mg/L (arroyo Yuquerí), y de hierro en un rango de 0.348 mg/L (arroyo Yuquerí) con un máximo de 5,04 mg/L (arroyo Sarã). El arsénico es utilizado como un componente de los plaguicidas y, por tanto, puede entrar en los arroyos o aguas subterráneas mediante la eliminación de desechos o el drenaje agrícola.
- El Fosfato por tratarse de un indicador para la contaminación y con base a los resultados de los análisis de agua podemos decir que los valores fluctúan entre 0.04 y 0.15 mg/L (Arroyo Sarã (A.sa), lo que se traduce en que los cursos de agua muestreados excepto el arroyo Sarã que está en el límite de máximo permitido de la norma de potabilidad, los demás no se ven afectados por sustancias contaminantes
- Los cauces de arroyos que nacen y atraviesan las áreas de amortiguamiento y descargan en el arroyo Tayay (límite de la RNT lado Este) y a su vez al río Tebicuary, son vulnerables al cambio de uso del suelo, demostrado con los análisis químicos de los parámetros indicadores de contaminación. Considerando que se toma como parámetro los valores de calidad de agua para consumo humano. Se destaca los valores de referencia de calidad de agua fueron para consumo humano. Todas las aguas superficiales muestran buena cantidad de oxígeno disuelto (OD), mayor a 5 mg/L beneficioso para la fauna acuática.
- Las aguas subterráneas de los pozos de abastecimiento en áreas rurales urbanas presentan incipiente polución (doméstica), constatado por la presencia de nitrato, específicamente en los pozos que el nivel de agua estan cercano a la superficie.
- Se detectaron valores de 0,5 mg/L en un pozo profundo (Pta_03), y de 0,2 mg/l en un pozo de poca profundidad (Pta_04) de 6 m de nivel estático.
- Las determinaciones de pesticidas y glifosato, todas dieron negativos.
- Del análisis hidroquímica de la RBBM demostró que las aguas subterráneas que son dulces bicarbonatada cálcica de baja salinidad pertenecen al área de recarga, y que existe un incremento de salinidad en los pozos profundos del acuífero con aumento de

concentración del cloruro y sodio respectivamente, siendo aguas bicarbonatadas sódicas.

- Las aguas bicarbonatadas sódicas, en general no son recomendables para riego salvo que tenga muy baja salinidad, debido a la fijación de Na es el predominante en el suelo y creación de un medio alcalino.
- En términos generales existe una incipiente contaminación puntual por nitrato en Villa Ygatimi, los pozos que presentan concentraciones mayores a 10 mg/L, están entre 6 y 9 m de nivel estático, y los valores son de 14,5 mg/L, 17,9 mg/L y 31,4 mg/L.
- Las aguas subterráneas de los acuíferos freáticos y semiconfinados se presentan del tipo bicarbonatadas cálcicas, siendo aguas de recarga, y la bicarbonatada sódica corresponden a acuíferos más profundos, donde el flujo subterráneo es más lento y las aguas tienen mayor tiempo de permanencia, que permite mayor disolución de los minerales de la roca que lo contiene.
- No se detectó presencia de arsénico en las aguas analizadas, y tampoco pesticidas y glifosato
- Los análisis biológicos de Fitoplancton, se obtuvo como resultado en las aguas superficiales del área de la RNT y alrededores, las clasificaciones de algunas familias, donde se observaron que división de Bacillariophyta (total de 74 especies) es la más abundante, luego se tiene la Cyanophyta y Chlorophyta. En las aguas superficiales del área de la RBBM, se clasificaron las Chlorophyta, Bacillariophyta y, Euglenophyta.
- De las determinaciones isotópicas, se tiene que, el empobrecimiento de 2H (deuterio) en un acuífero semiconfinado a confinado (pozo 1 MBA) en el área la RBBM, y comparado con las otras muestras, refleja probablemente variaciones climáticas en siglos pasados en la zona de recarga de misma altitud. Las mínimas variaciones topográficas en la zona de recarga impiden que haya significantes variaciones de la signatura del agua por efecto de altitud, y por tanto es la signatura de las aguas subterráneas relativamente homogénea, y no se observa diferencias sistemáticas entre las aguas de las áreas de la RNT y la RBBM. En resumen, lo que demostró, es que las aguas subterráneas profundas, tienen aporte de recargas de acuíferos superiores. No se puede asegurar, que las muestras de los acuíferos profundos sean representativas, debido al diseño de los pozos, que captan agua de diferentes niveles de acuíferos
- Analizando las vulnerabilidades intrínsecas de las áreas con el método GOD, se observaron que los niveles del agua subterránea y la formación geológica son determinantes para la alta vulnerabilidad del acuífero; y para el método DRASTIC, lo que mayor incidencia tuvo en la vulnerabilidad alta fueron la profundidad del agua subterránea, la cubierta edáfica y la tasa de recarga de los acuíferos.
 - Los índices de vulnerabilidad de acuífero a la contaminación encontrados sirven como herramientas de gestión de los recursos hídricos y en la definición de áreas para grados de protección.
 - La carga contaminante del área es la generada por la actividad agrícola y en menor escala ganadera y urbana, ésta última porque las poblaciones son pequeñas. Tipos de contaminantes generados: nitratos; amonio; pesticidas; organismos fecales, principalmente.

- Esta investigación empleó una matriz de riesgo y mediante un SIG se clasificaron las diferentes escalas de riesgos, tomando en consideración la clasificación actual del “uso del suelo” y la vulnerabilidad de los acuíferos según GOD y DRASTIC (con ponderaciones para pesticidas y no pesticidas).
- Se observa que el riesgo a la contaminación del acuífero es bajo en áreas de bosques nativos
- ..
- Las zonificaciones de protección de los recursos hídricos, están basados en el mapa de riesgo y el mapa de vulnerabilidad del acuífero a la contaminación, que es lo que determina las áreas prioritarias de ser atendidas. Con estas medidas sugeridas lo que se pretende es la conservación y mantenimiento de los recursos de suelo y agua.
 - . Los grados de zonificaciones de protección para las aguas subterráneas y cauces hídricos RNT y la RBBM, son: áreas de “primera prioridad, segunda y baja”, que presentan una vulnerabilidad a las actividades agrícolas, en las áreas de influencia de las Reservas Naturales, zona presentando un elevado riesgo de contaminación por pesticidas, abarcan todos los cauces hídricos y sus riberas, y, áreas de cultivos, áreas húmedas y cabeceras de ríos, éstos fueron considerados en esta clasificación.
 - Se proponen algunas medidas y acciones a tomar para esta zonificación de “primera prioridad”, como ser: Inventario detallado del uso de pesticidas y fertilizantes; No hacer cambio de uso de la tierra, como drenar los esteros para convertirlos en áreas forestales, antes de tener un inventario ambiental; no deforestar las cabeceras de los ríos, que controlan la erosión y colmatación de los cauces; se debe otorgar alta prioridad al monitoreo de la calidad del agua para sus medidas correctivas, en caso de que los valores pasen los límites permitidos para consumo humano y de la biota acuática; adoptar o adecuarse a las mejores prácticas de manejo para proteger los cauces hídricos circundantes, apoyados en la Ley de Recursos Hídricos Ley 3.239/2007 y de INFONA LEY No 4.241/2010 "De Restablecimiento de Bosques Protectores de Cauces Hídricos dentro del Territorio Nacional". según el caso, pudiendo ser de conservación o restauración. También se sugieren Estudios inmediatos de investigación, cómo: Tomar muestras de suelo de las áreas cercanas donde se han detectados concentraciones de arsénico y determinar su origen; estudios de la movilidad de los plaguicidas ; estudios locales de permeabilidades de los suelos; balance hídrico de suelo (áreas de bosques naturales y los cultivados y/o forestados-reforestados; determinación del perímetro de protección de los pozos de abastecimiento para consumo humano
- La base de las directrices/medidas propuestas en este trabajo, es el reconocimiento de que los bosques y las operaciones forestales pueden tener un marcado efecto tanto en la cantidad como en la calidad del agua que se existe en las áreas de bosques.
 - Una buena gestión forestal puede ayudar a conservar los recursos hídricos, diluir la contaminación del agua y mejorar los hábitats acuáticos y ribereños. Por el contrario, la pobre planificación y la gestión pueden exacerbar la escasez de agua, contribuir a las inundaciones locales, conducir a una mayor acidificación e incrementar la erosión del suelo y las corrientes, la turbidez, la sedimentación y la contaminación. Estos pueden dañar la vida silvestre y la pesca, y aumentar los costos del tratamiento para el agua potable.

- Se establece una red de monitoreo basado en la disponibilidad de pozos y accesibilidad a los mismos, observaciones y antecedentes que puedan indicar la presencia de algún parámetro indicador de contaminación de los recursos hídricos y a experiencia y juicio de los profesionales encargados del estudio.
 - Monitoreos in situ: – pH – CE – °C – O₂ disuelto, medidos con equipos específicos, como conductímetro, pHímetro, y oxímetro.
 - En Laboratorio, de rutina, en agua superficial, que ya pueden indicar cambios físicos, químicos y biológicos: Conductividad, CE, DQO, Turbidez, Sólidos en suspensión, Cloruros, bicarbonatos, amonio, nitrito, nitrato, fosfatos, arsénico, y para agua subterránea, los mismos parámetros excepto DQO. Determinaciones específicas en agua superficial: clorofila, o, fitoplancton, para continuar con la clasificación y ver si sería un parámetro válido y poder utilizarlo como indicador biológico de calidad de aguas superficiales; y determinaciones de pesticidas/herbicidas, y glifosato) una vez que se tenga la lista de los principios activos utilizados en las áreas.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOSTA U., H. H., 2007. Plan de Manejo de la Reserva Forestal Protectora El Popal y su Área de Influencia (Extendido a la Cuenca de la Quebrada de Pensilvania). Corporación Regional Autónoma de Caldas y Municipio de Pensilvania – Convenio Administrativo 025/2007

ADVISORY COMMITTEE ON WATER INFORMATION – ACWI. 2009. A National Framework for Ground-Water Monitoring in the United States, Advisory Committee on Water Information, USA.

ALLER, L., T. BENNETT, J. H. LEHR and R. J. PETTY. 1987. Drastic: A Standardized System for Evaluation of Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeological Settings. – U.S. Environmental Protection Agency, Oklahoma

BANCO MUNDIAL. 2003. Parte B: Guía Técnica –Propuestas Metodológicas para la Protección del Agua Subterránea. <http://siteresources.worldbank.org/INTWRD/Resources/336486-1175813625542/B1.pdf>.

BURGOS, S. M. & RODAS, O.; 2001. Suelos y Paisajes del Mbaracayú. Fundación Moisés Bertoni – Universidad Nacional de Pilar. Asunción. Paraguay. 48 p.

CATALÁN, L. (1981). Química del agua. Madrid: Fuenlabrada.

CEDEX. 1993. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. "Curso sobre Contaminación de Suelos y Agua Subterránea". Madrid

CEDEX. 2013. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. Modelo Matemático para el Cálculo Hidrológico de Aportaciones y Crecidas "CHAC". Madrid..

CLARK, I. D. & P. FRITZ, 1997: Environmental Isotopes in Hydrogeology. – 328 p.; Boca Raton/ Florida (CRC Press LLC).

- COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. 2013. Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais. Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH),. Porto Alegre. 336p. ISBN: 978-85-8868-634-2.
- COMMON IMPLEMENTATION STRATEGY FOR THE WATER FRAMEWORK DIRECTIVE (2000/60/EC), Guidance Document No 7 Monitoring under the Water Framework Directive, (European Communities, 2003).
- CUSTODIO, E.; LLAMAS, M.R. 1996. Hidrología Subterránea. 2 Tomos. 2 ed. Omega S.A., Barcelona – España. 2350 p.
- DAVIDSON, J. (1985). Setting aside the idea that eucalypts are always bad. Documento de Trabajo No. 10, mayo de 1998. Proyecto FAO/PNUD/BGD/79/017, "Assistance to the Forestry Sector". FAO, Dhaka (Bangladesh). (En inglés). <http://www.fao.org/docrep/005/y7605s/y7605s03.htm#fn6>
- DAVIS, S. N.; DE WIEST, R. 1967. Hydrogeology. John Wiley and Sons, Inc. New York. 463 p.
- DÍAZ, E. L. ROMERO E. C, BOSCHETTI N. G. y DUARTE O. C., 2009. Vulnerabilidad del agua subterránea en la cuenca del Arroyo Feliciano. Entre Ríos. Argentina. Boletín Geológico y Minero, 120 (4): 533542 ISSN: 0366-0176
- DIRECCIÓN GENERAL DE ESTADÍSTICA, ENCUESTAS Y CENSOS, 2002. Hidrografía nacional.
- 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 PAR/83/005. Asunción (Escala 1:1.000.000).
- LUDOVIC FERREIRE. (<http://www.meteorimpactonearth.com/impactmeta.html>).
- FOSTER, S.S.D. & HIRATA, R.C.A. 1988. Groundwater pollution risk evaluation: a methodology using available data, CEPIS - PAHO/WHO, Lima. 78 p.,OMS- OPS-HPE / UK ODA British Geological Survey., Lima. 77 p.
- FRENCH B. M. 1998. Traces of Catastrophe: A Handbook of Shock-Metamorphic Effects. Terrestrial Meteorite Impact Structures. LPI Contribution No. 954, Lunar and Planetary Institute, Houston. 120 pp.
- FUNDACION MOISES BERTONI. 2004. Justificativa Técnica Reserva Natural Privada Tapytá. Propiedad de la Fundación Moises Bertoni, octubre, 2004. <http://www.conservacionprivadapy.org/documentos/JT%20Tapytá.pdf>.
- FUNDACION MOISES BERTONI. 2006 . Reserva Natural Privada Tapytá - Plan de Manejo 2006-2010. <http://www.mbertoni.org.py/v1/wp-content/uploads/plan-de-manejo/Plan-de-manejo-Tapytá-completo.pdf>.
- FUNDACION MOISES BERTONI. 2014, Reserva Natural Privada Tapytá – Plan de Manejo 2015-2020. <http://www.fondodeconservaciondebosques.org.py/documentos/interes.php?link8=active8>.
- GADEA, A. Ma., 2009. Riesgo a la Contaminación del Acuífero Patiño en el Campus Universitario-UNA. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Asunción, sept., 2009

- GARCÍA, E., RODRÍGUEZ, L., BARTRINA, L., VELAZQUEZ, M. Y FERNÁNDEZ, F. 2004. Reserva Natural Privada Tapytá: Justificativa Técnica. Fundación Moisés Bertoni. <http://www.conservacionprivadapy.org/documentos/JT%20Tapytá.pdf>
- GNIP (Global Network of Isotopes in Precipitation), constantly updated.
<http://www-naweb.iaea.org/napc/ih/documents/userupdate/description/Devgnip1.html>
http://www-naweb.iaea.org/napc/ih/IHS_resources_gnip.html
- GOBIERNO DEL PARAGUAY; NACIONES UNIDAS. 1986. Mapa hidrogeológico de Paraguay. PAR/83/005. Asunción (Escala 1:1.000.000). Texto explicativo 80 p.
- GOBIERNO DEL PARAGUAY; NACIONES UNIDAS (1986) Mapa geológico de Paraguay..
- GOLIN, K.A., 2014. Caracterización de los Suelos del Departamento de Canindeyú, Paraguay. Trabajo de grado presentado a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo, nov., 2014, 28 p.
- HEM, J. 1985. Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water. Third Edition. United States Geological Survey Water-Supply Paper 2254. Washington D.C., USA.
- HOUBEN, G. ET AL., (2010): Investigación del Acuífero Patiño, Distrito de Benjamín Aceval, Dep. Presidente Hayes, 213 p., Asunción, Paraguay
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIALES (INPE); e. Imágenes satelitales descargadas del portal USGS (<http://glovis.usgs.gov/>).
- ITAIPI. 2013. Informe: "Recopilación Datos Hidrometeorológicos" dentro del Proyecto. "Inventario de los Recursos Hidroenergéticos de las cuencas hidrográficas de los ríos afluentes del Paraná y Paraguay en la Región Oriental del Paraguay (RHPY)".
- INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA Y NORMALIZACIÓN – INTN: Normas Paraguaya de Agua Potable NP 2400180/11.
- LARROZA F.A., FARIÑA S., BAEZ J., CABRAL N. 2005. Evaluación Hidrogeológica y Protección a la Contaminación del Agua Subterránea en la Reserva de la Biosfera del Bosque del Bosque Mbaracayu (RBBMB) límite Paraguay-Brasil. XIV Encontro Nacional de Perfuradores de Poços e do II Simposio de Hidrogeología do Sudeste. Ribeirão Preto – SP, 04 a 07 de outubro de 2005.
- LÓPEZ GOROSTIAGA, O. et al.; 1995. Estudio de Reconocimiento de Suelos, Capacidad de Uso de la Tierra y Propuesta de Ordenamiento Territorial Preliminar de la Región Oriental del Paraguay. Gobierno del Paraguay MAG-SEAM-BM. Proyecto de Racionalización del Uso de la Tierra (Préstamo N 3445-PA)
- MARGAT, J., (1968). Vulnérabilité des nappes d'eau souterraine - la pollution (Ground water vulnerability to contamination). Bases de la cartographie, (Doc.) BRGM, 68 SGL 198 HYD, Orléans, France.
- MIJAILOV, L. (1985) Hidrogeologia. Editorial Mir. Moscú, Rusia. 285 p.

- MUSÁLEM, K. (2010). Assessing Integrated Watershed Management and Spatial Groundwater Vulnerability in Priority Watersheds of the Yacyreta Dam in Paraguay (177 pp.). Ph. D. Thesis. Turrialba (Costa Rica) y y Bangor (USA): University of Wales (Bangor University): Tropical Agricultural Research and Higher Education Center CATIE.
- MUSÁLEM, K., MCDONALD, M., JIMÉNEZ, F. & LAINO, R. (2015). Groundwater Vulnerability Mapping in Two Watersheds Affected by Yacyreta Dam in Paraguay - ISSN 0187-8336.
- NISBET, TOM. 2005. Forestry Commission. Water Use By Trees . Informative note by 8 p. . ISSN 1460-3802 ISBN 0-85538-654-1. <http://www.northlandnemo.org/images/Water%20Use%20by%20Trees.pdf> Tecnología y Ciencias del Agua, vol. VI, núm. 6, noviembre-diciembre de 2015, pp. 49-61.
- WORLD HEALTH ORGANISATION (2008). Guidelines for Drinking-water Quality THIRD EDITION INCORPORATING THE FIRST AND SECOND ADDENDA Volume 1 Recommendations, Geneva, Switzerland. http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/204411/1/9789241547611_eng.pdf.
- OMS, (2016). <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs372>.
- ONGAGUA. 2004. Evaluacion Hidrogeológica y Determinacion de la Vulnerabilidad a la Contaminacion del Agua Subterranea en la Reserva de la Biósfera del Bosque del Bosque Mbaracayu. Trabajo de Consultoria. Fundacion Moises Bertoni. Inédito.
- OSINSKI, G. R. & PIERAZZO, E. 2013. Impact Cratering Processes and Products. John Wiley y Sons, Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, PO19 8SQ, UK. 360 pg.
- POTTER Y KRING (en http://www.lpi.usra.edu/exploration/training/resources/impact_cratering).
- SÁNCHEZ, J (2012). Evolución Geoquímica de las Aguas Subterráneas. Departamento de Geología, Univ. Salamanca, España. http://hidrologia.usal.es/temas/Evolucion_geoquimica.pdf.
- SÁNCHEZ, J. A., ÁLVAREZ, T., PACHECO, J. G., CARRILLO, L., & GONZÁLEZ, R. A. (2016). Calidad del agua subterránea: acuífero sur de Quintana Roo, México. Tecnología y ciencias del agua, 7(4), 75-96.
- SEAM.. 2014. Elaboración del Balance Hídrico Superficial de la Cuenca Del Plata (Territorio Paraguay) Aplicando la Metodología Acordada por los Cinco Países. Programa para la Gestión Sostenible de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Plata en relación con los efectos de la variabilidad y el cambio Oclimático - Componente II.
- SEAM.. 2002. Resolucion N° 222/02 . "Establece el Padrón de Calidad de Agua en todo el Territorio Paraguay.
- SISTEMA AMBIENTAL DE LA REGION ORIENTAL DEL PARAGUAY (SARO), 2001. Informe Técnico Final. Autores: Barboza, F., Cardozo, J ., Carlini, A., Farías, F. Hillner, U., Hoffmann, R., Kbnig, W., Kruck, W., Medina Netto, A., Mereles, F. ,Pasig, R., Rojas, C.

Secretaría del Ambiente (SEAM) - Dirección General de Gestión Ambiental -
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR).

STREBLE, H. Y KRAUTER, R., 1987. Atlas de los Microorganismos de las Aguas Dulce: La Vida en una Gota de Agua. Editorial Omega. Año de publicación: 1987, España. ISBN: 84-282-0800-X.

TAYLOR, S. R. 1982. Planetary Science: A Lunar Perspective. Lunar and Planetary Institute. 508 pag. Recursos Naturales y Ambiente/no.55: 64-73.

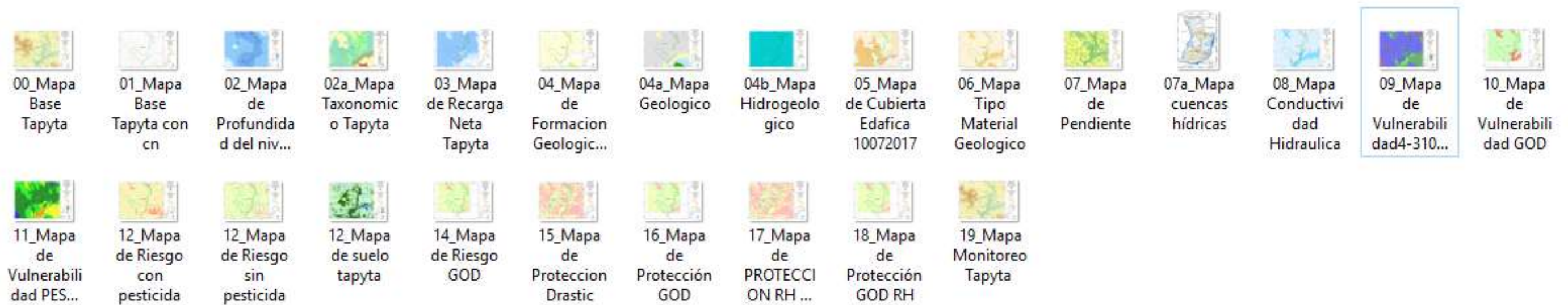
THE ANSCHUTZ CORPORATION, 1979, Geological map of eastern Paraguay 1:500000 – TAC int. Rep., Archivo DRM – MOPC. Asunción. Compilación, F. Wiens - 1 mapa (inédito), Asunción.

VERGARA F., V, GUTIÉRREZ R., G., FLÓREZ R., H. 2009. Evaluación de la vulnerabilidad del acuífero Morroa a contaminación por plaguicidas aplicando la metodología DRASTIC. Ingeniería y Desarrollo: Número 26 (Colombia).Julio-diciembre, 2009 - ISSN: 0122-3461.

WESTBROEK, H-H. & STEWART, R.S. 1996. The formation, morphology, and economic potential of meteorite impact craters. CREWES Research Report — Volume 8, 34-1 - 34-26.WEB: (<http://www.meteorimpactonearth.com/impactmeta.html>)

WORLD HEALTH ORGANISATION (2008). Guidelines for Drinking-water Quality THIRD EDITION INCORPORATING THE FIRST AND SECOND ADDENDA Volume 1 Recommendations, Geneva, Switzerland. <http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/204411/1/9789241547611eng.pdf>.

Anexo 1. MAPAS GENERADOS PARA EL ÁREA DE ESTUDIO DE LA RESERVA NATURAL DE TAPYTA - RNT



"Caracterización de los Recursos Hídricos para la Gestión de la Protección de la Reserva de la Biosfera del Bosque Mbaracayú Departamento de Canindeyú y de la Reserva Natural Tapyta - Departamento de Caazapá (Paraguay)"

**Mapa tipo Material Geológico
Zona No Saturada
Reserva Natural Tapyta**



1:75,000
1.5 0.75 0 1.5 3 km

Proyección: Mercator Transversa Universal
Elipsoide Referencia: WGS84
Cuadrícula: 7500m; Zona 21J
Meridiano Central: 57° W
Latitud de Origen: Ecuador
Falso Norte: 10.000.000 m
Falso Este: 500.000 m
Factor de Escala: 0.999600

Mapa de Localización

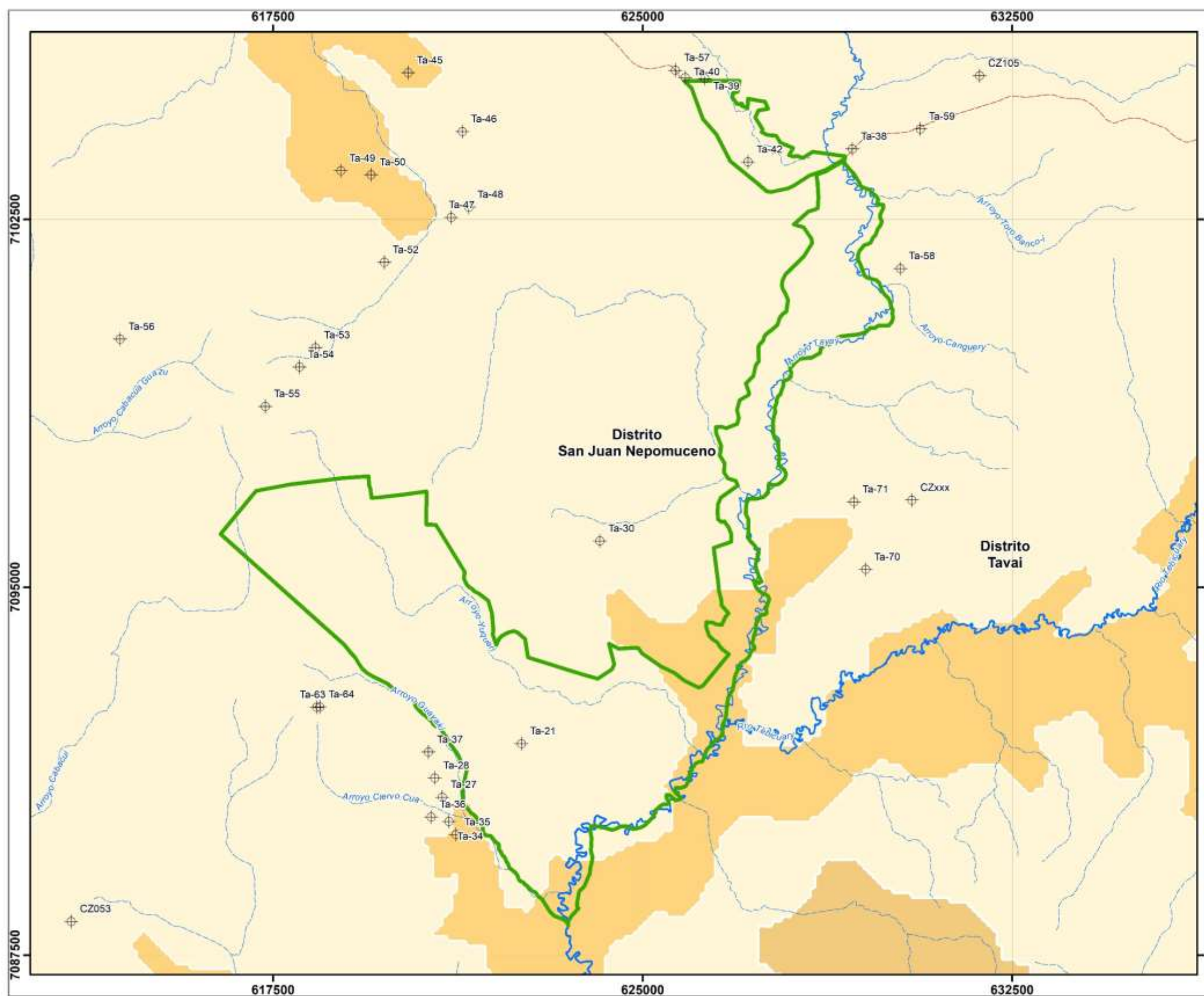


Leyenda

- | | | |
|-----|---------------------|---|
| ⊕ | Pozos (Id) | Naturaleza Zona No Saturada |
| --- | Límite distrital | Cieno - arcilla |
| --- | Ríos | Secuencias de areniscas calizas y lutitas |
| --- | Arroyos secundarios | Grava y Arena |
| --- | Vías secundarias | |
| | Límite Reserva | |

FIGURA N°

Elaborado por ONGAGUA, 2016



"Caracterización de los Recursos Hídricos
para la Gestión de la Protección
de la Reserva de la Biosfera
del Bosque Mbaracayú
Departamento de Canindeyú
y de la Reserva Natural Tapyta
- Departamento de Caazapá (Paraguay)"

Mapa de pendiente Reserva Natural Tapyta



1:75,000
1.5 0.75 0 1.5 3 km

Proyección: Mercator Transversa Universal
Elipsoide Referencia: WGS84
Cuadrícula: 7500m, Zona 21J
Meridiano Central: 57° W
Latitud de Origen: Ecuador
Falso Norte: 10,000,000 m
Falso Este: 500,000 m
Factor de Escala: 0,999600

Mapa de Localización

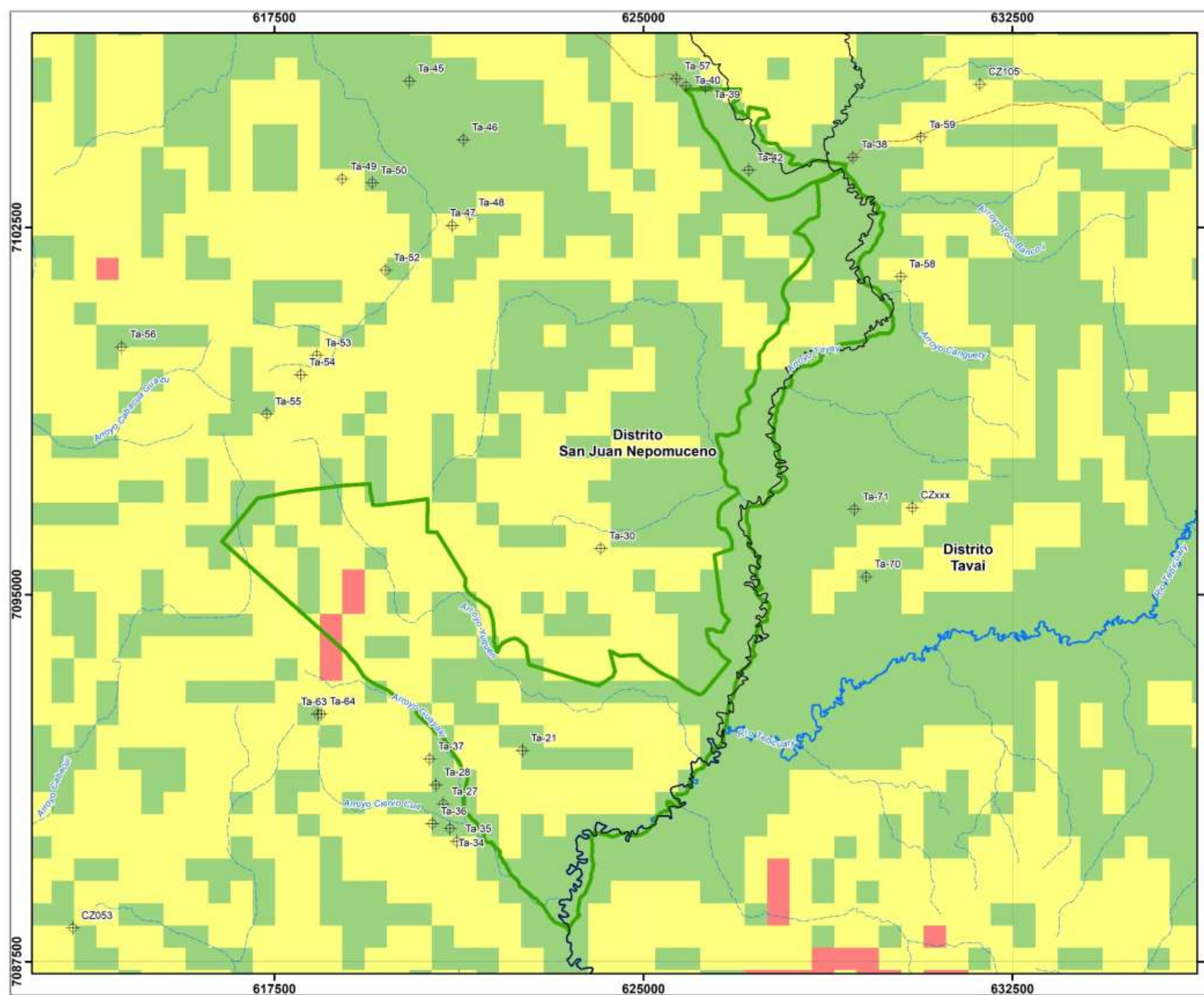


Leyenda

	Pendientes (%)
Pozos (Id)	0 - 2
Límite distrital	2 - 6
Ríos	6 - 12
Arroyos secundarios	
Vías secundarias	
Límite Reserva	

FIGURA N°

Elaborado por ONGAGUA, 2016



"Caracterización de los Recursos Hídricos
para la Gestión de la Protección
de la Reserva de la Biosfera
del Bosque Mbaracayú
Departamento de Canindeyú
y de la Reserva Natural Tapyta
- Departamento de Caazapá (Paraguay)"

Mapa de Conductividad Hidráulica Reserva Natural de Tapyta



1:75,000
1.5 0.75 0 1.5 3 km

Proyección: Mercator Transversa Universal
Elipsoide Referencia: WGS84
Cuadrícula: 7500m, Zona 21J
Meridiano Central: 57° W
Latitud de Origen: Ecuador
Falso Norte: 10.000.000 m
Falso Este: 500.000 m
Factor de Escala: 0,999600

Mapa de Localización



Leyenda

+	Pozos (Id)	Conductividad Hidráulica (m/día)
---	Límite distrital	0,04 - 4,08
—	Ríos	4,08 - 12,22
---	Arroyos secundarios	
---	Vías secundarias	
▭	Límite Reserva	

FIGURA N°

Elaborado por ONGAGUA, 2016



"Caracterización de los Recursos Hídricos
para la Gestión de la Protección
de la Reserva de la Biosfera
del Bosque Mbaracayú
Departamento de Canindeyú
y de la Reserva Natural Tapyta
- Departamento de Caazapá (Paraguay)"

Mapa de Vulnerabilidad DRASTIC Reserva Natural Tapyta



1:75,000
1.5 0.75 0 1.5 3 km

Proyección: Mercator Transversa Universal
Elipsoide Referencia: WGS84
Cuadrícula: 7500m; Zona 21J
Meridiano Central: 57° W
Latitud de Origen: Ecuador
Falso Norte: 10,000,000 m
Falso Este: 500,000 m
Factor de Escala: 0.999600

Mapa de Localización

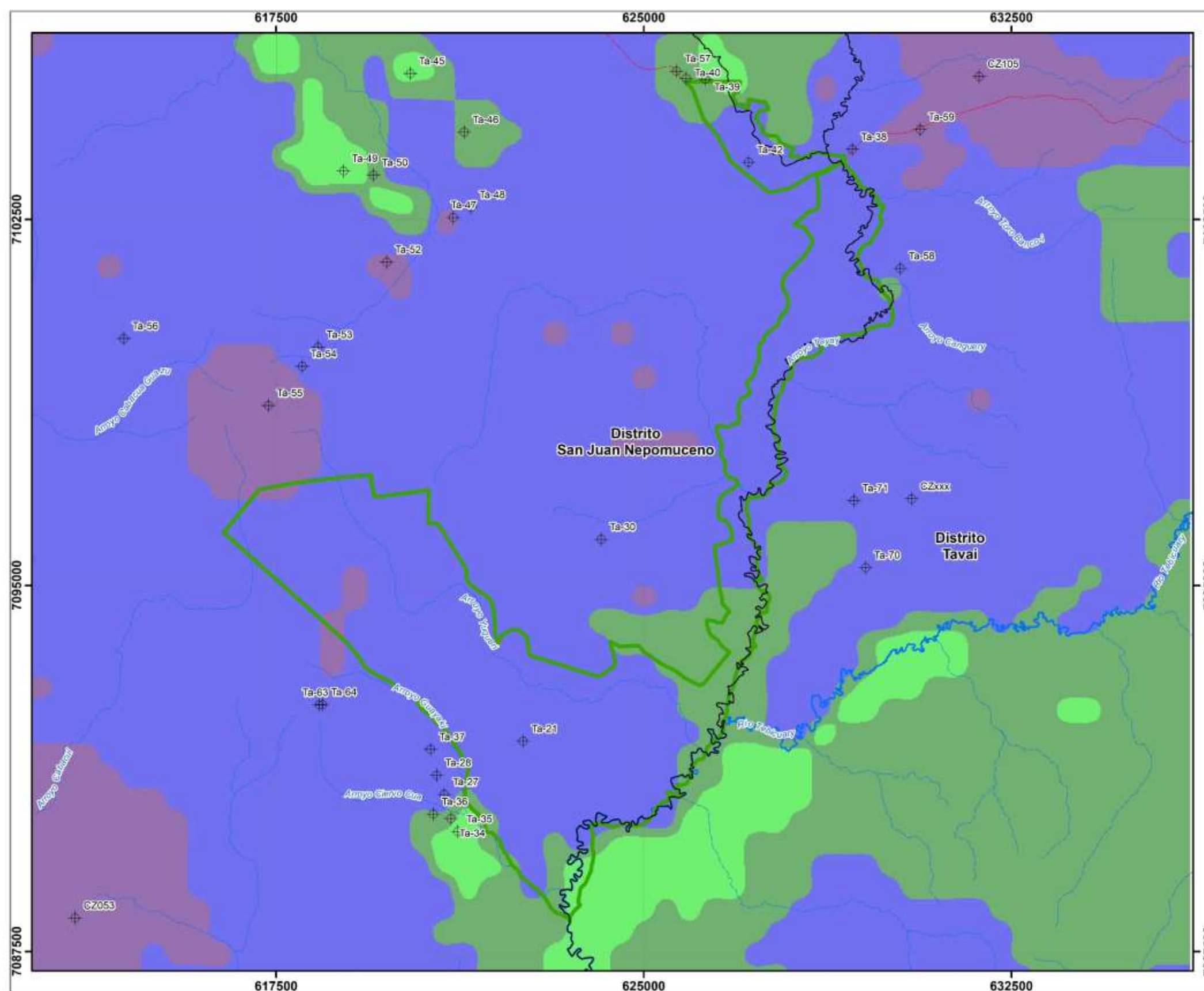


Leyenda

	Grado de Vulnerabilidad DRASTIC
⊕ Pozos (Id)	
--- Límite distrital	Muy Bajo
— Ríos	Bajo
--- Arroyos secundarios	Moderado Bajo
▭ Límite Reserva	Moderado Alto

FIGURA N°

Elaborado por ONGAGUA, Febrero 2017



"Caracterización de los Recursos Hídricos
para la Gestión de la Protección
de la Reserva de la Biosfera
del Bosque Mbaracayú
Departamento de Canindeyú
y de la Reserva Natural Tapyta
- Departamento de Caazapa (Paraguay)"

Mapa de Vulnerabilidad GOD Reserva Natural Tapyta



1:75,000
1.5 0.75 0 1.5 3 km

Proyección: Mercator Transversa Universal
Elipsoide Referencia: WGS84
Cuadrícula: 7500m; Zona 21J
Meridiano Central: 57° W
Latitud de Origen: Ecuador
Falso Norte: 10,000,000 m
Falso Este: 500,000 m
Factor de Escala: 0.999600

Mapa de Localización

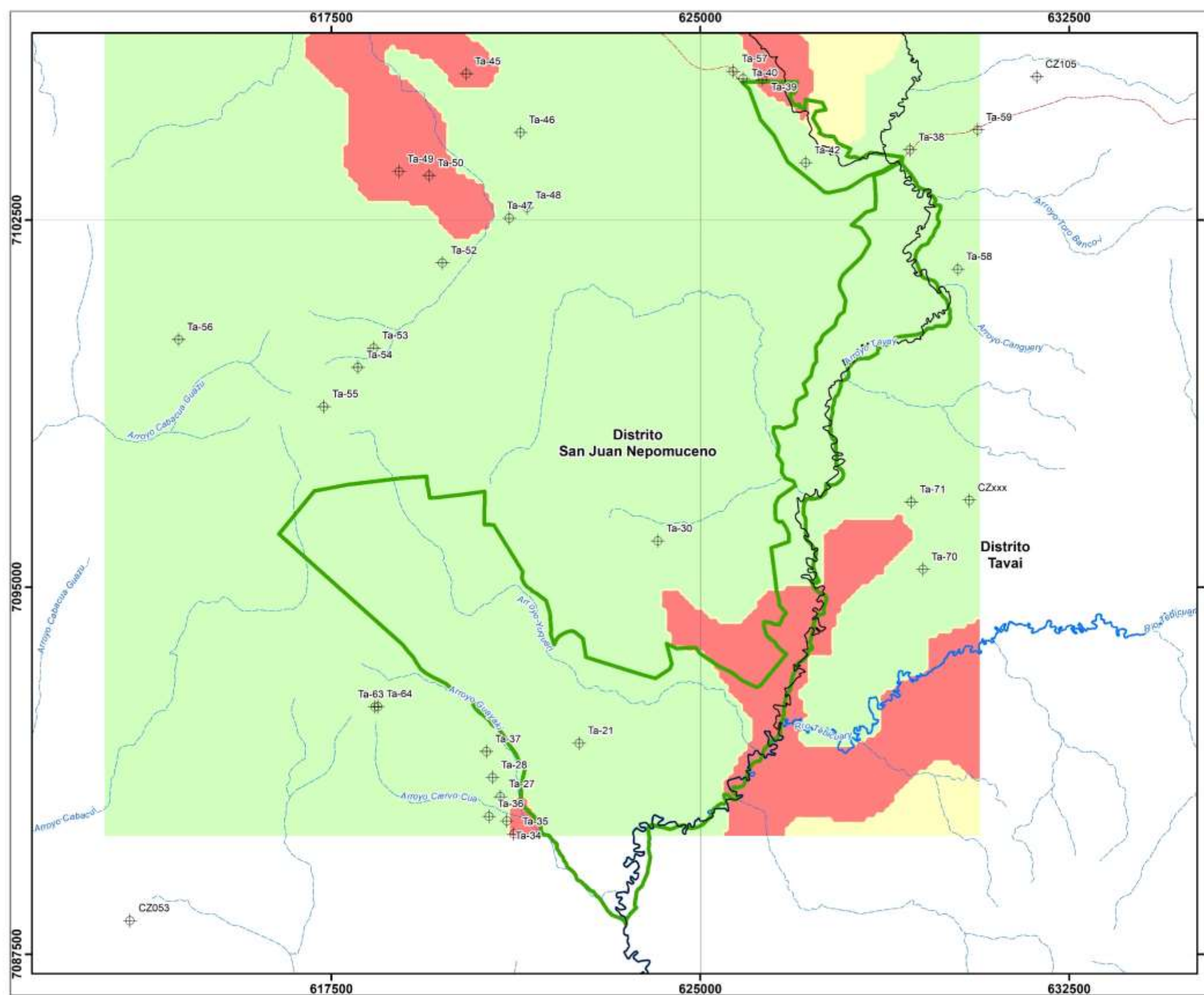


Leyenda

+	Pozos (Id)
---	Límite distrital
—	Ríos
---	Arroyos secundarios
---	Vías secundarias
□	Límite Reserva
■	Grado de Vulnerabilidad GOD
■	Baja
■	Moderada
■	Alta
□	Sin Muestreo

FIGURA N°

Elaborado por ONGAGUA, Febrero 2017



"Caracterización de los Recursos Hídricos
para la Gestión de la Protección
de la Reserva de la Biosfera
del Bosque Mbaracayú
Departamento de Canindeyú
y de la Reserva Natural Tapyta
- Departamento de Caazapá (Paraguay)"

Mapa de Vulnerabilidad con pesticida DRASTIC Reserva Natural Tapyta



1:75,000

1.5 0.75 0 1.5 3 km

Proyección: Mercator Transversa Universal
Elipsoide Referencia: WGS84
Cuadrícula: 7500m; Zona 21J
Meridiano Central: 57° W
Latitud de Origen: Ecuador
Falso Norte: 10.000.000 m
Falso Este: 500.000 m
Factor de Escala: 0.999600

Mapa de Localización



Legenda

	Grado de Vulnerabilidad DRASTIC
⊕ Pozos (Id)	
--- Límite distrital	 Bajo
— Ríos	 Moderado Bajo
--- Arroyos secundarios	 Moderado Alto
--- Límite distrital	 Alto
--- Límite Reserva	 Muy Alto

FIGURA N°

Elaborado por ONGAGUA, Febrero 2017



"Caracterización de los Recursos Hídricos
para la Gestión de la Protección
de la Reserva de la Biosfera
del Bosque Mbaracayú
Departamento de Canindeyú
y de la Reserva Natural Tapyta
- Departamento de Caazapá (Paraguay)"

Mapa de Riesgo (Vulnerabilidad con pesticida DRASTIC) Reserva Natural Tapyta



1:75,000
1.5 0.75 0 1.5 3 km

Proyección: Mercator Transversa Universal
Elipsoide Referencia: WGS84
Cuadrícula: 7500m; Zona 21J
Meridiano Central: 57° W
Latitud de Origen: Ecuador
Falso Norte: 10.000.000 m
Falso Este: 500.000 m
Factor de Escala: 0,999600

Mapa de Localización

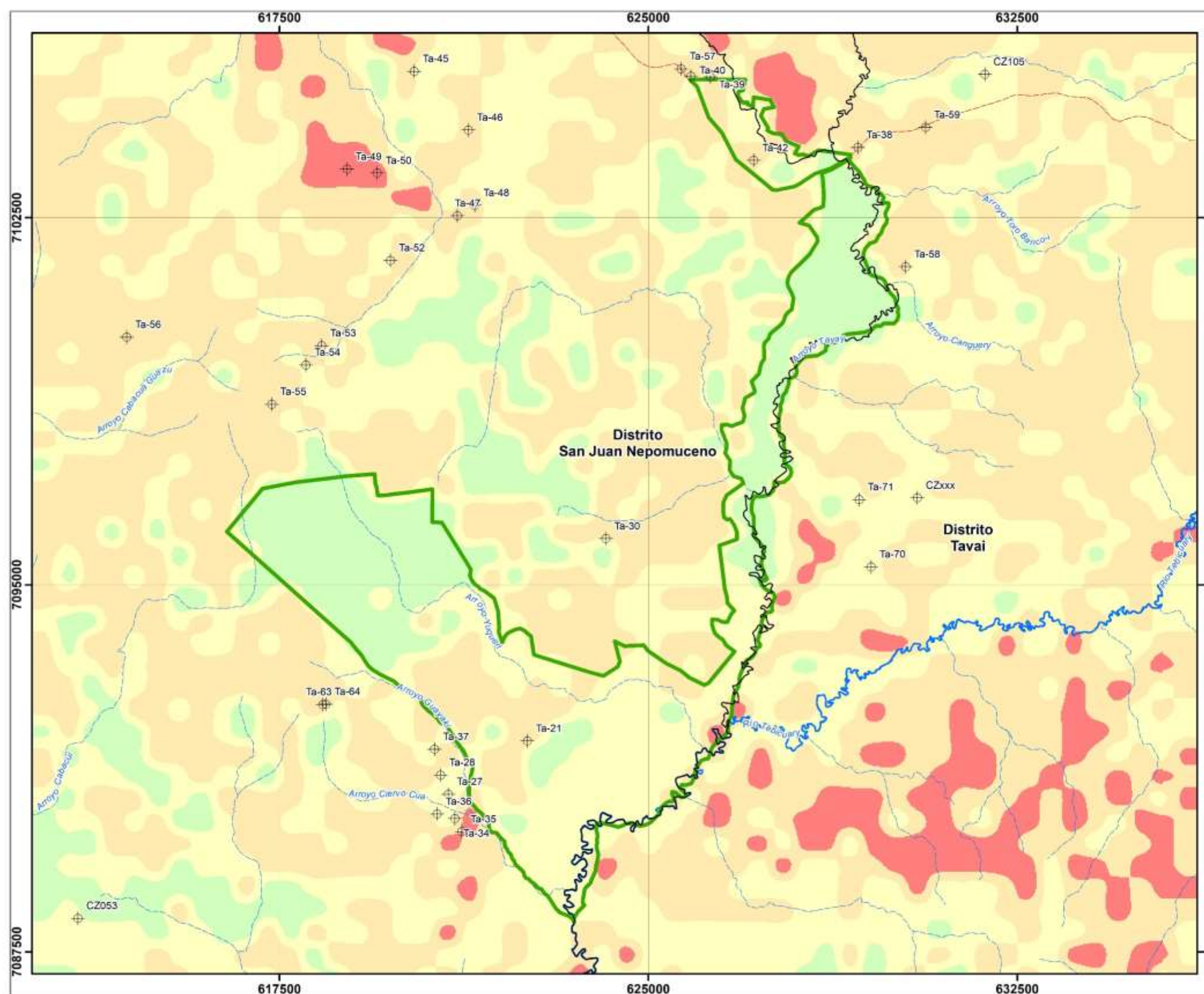


Leyenda

	Pozos (Id)	Factor de Riesgo
— — — — —	Límite distrital	Muy bajo
— — — — —	Ríos	Bajo
— — — — —	Arroyos secundarios	Moderado
— — — — —	Vías secundarias	Alto
— — — — —	Límite Reserva	

FIGURA N°

Elaborado por ONGAGUA, Febrero 2017



"Caracterización de los Recursos Hídricos
para la Gestión de la Protección
de la Reserva de la Biosfera
del Bosque Mbaracayú
Departamento de Canindeyú
y de la Reserva Natural Tapyta
- Departamento de Caazapá (Paraguay)"

Mapa de Riesgo (Vulnerabilidad sin pesticida DRASTIC) Reserva Natural Tapyta



1:75,000
1.5 0.75 0 1.5 3 km

Proyección: Mercator Transversa Universal
Elipsoide Referencia: WGS84
Cuadrícula: 7500m; Zona 21J
Meridiano Central: 57° W
Latitud de Origen: Ecuador
Falso Norte: 10.000.000 m
Falso Este: 500.000 m
Factor de Escala: 0.999600

Mapa de Localización



Leyenda

	Pozos (Id)	Factor de Riesgo
---	Límite distrital	Muy bajo
—	Ríos	Bajo
---	Arroyos secundarios	Moderado
---	Vías secundarias	
□	Límite Reserva	

FIGURA N°

Elaborado por ONGAGUA, Febrero 2017



"Caracterización de los Recursos Hídricos
para la Gestión de la Protección
de la Reserva de la Biosfera
del Bosque Mbaracayú
Departamento de Canindeyú
y de la Reserva Natural Tapyta
- Departamento de Caazapá (Paraguay)"

Mapa Uso de Suelo Reserva Natural Tapyta



1:75,000
1.5 0.75 0 1.5 3 km

Proyección: Mercator Transversa Universal
Elipsoide Referencia: WGS84
Cuadrícula: 7500m; Zona 21J
Meridiano Central: 57° W
Latitud de Origen: Ecuador
Falso Norte: 10,000,000 m
Falso Este: 500,000 m
Factor de Escala: 0,999600

Mapa de Localización

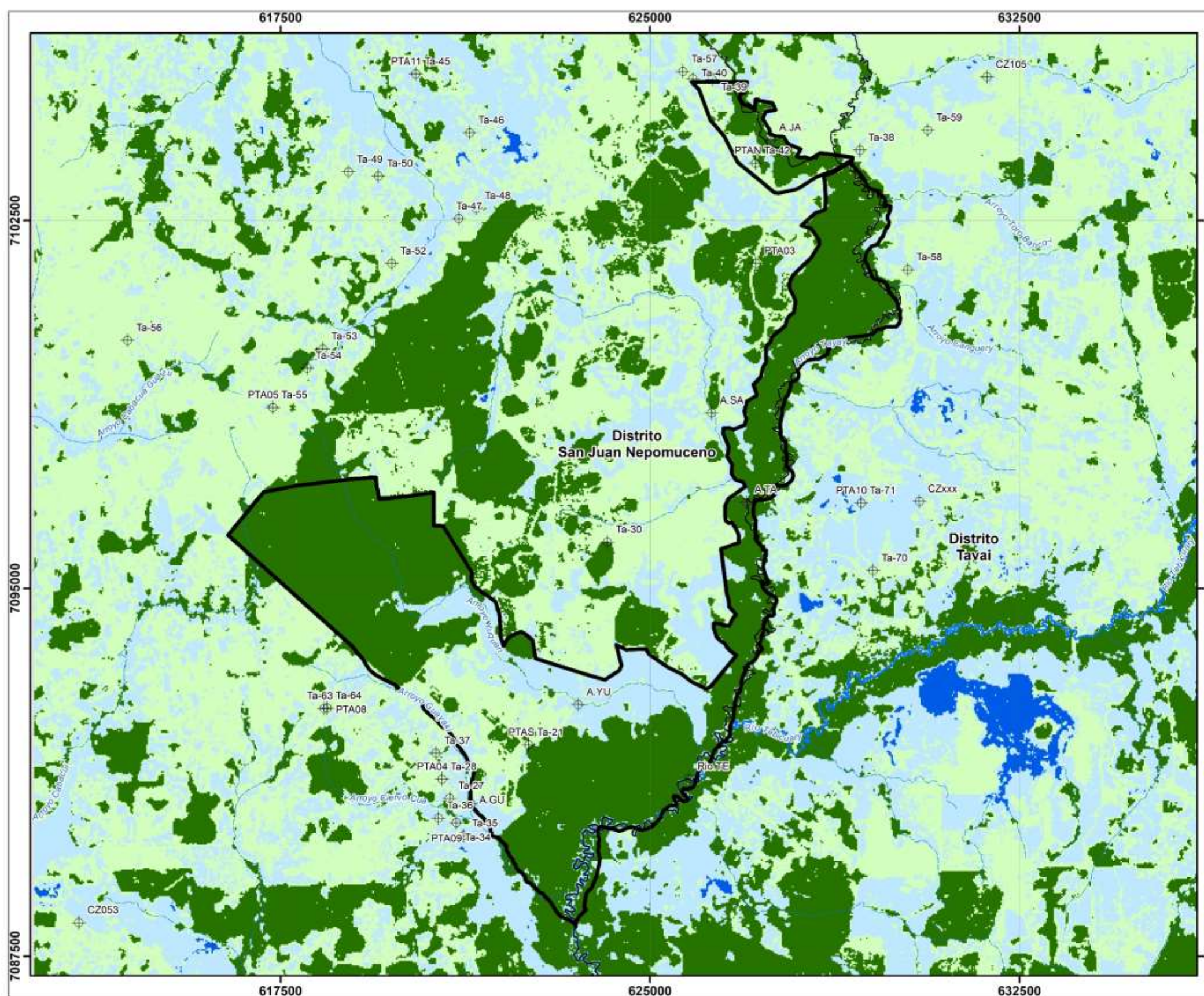


Leyenda

+	Pozos (Id)		Uso de Suelo
---	Límite distrital		Humedal
—	Ríos		Bosque
---	Arroyos secundarios		Cultivo
---	Vías secundarias		Espejo de agua
□	Límite Reserva		

FIGURA N°

Elaborado por ONGAGUA, Febrero 2017

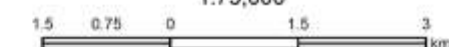


"Caracterización de los Recursos Hídricos
para la Gestión de la Protección
de la Reserva de la Biosfera
del Bosque Mbaracayú
Departamento de Canindeyú
y de la Reserva Natural Tapyta
- Departamento de Caazapá (Paraguay)"

Mapa de Riesgo Vulnerabilidad GOD Reserva Natural Tapyta



1:75,000



Proyección: Mercator Transversa Universal
Elipsoide Referencia: WGS84
Cuadrícula: 7500m, Zona 21J
Meridiano Central: 57° W
Latitud de Origen: Ecuador
Falso Norte: 10.000.000 m
Falso Este: 500.000 m
Factor de Escala: 0,999600

Mapa de Localización

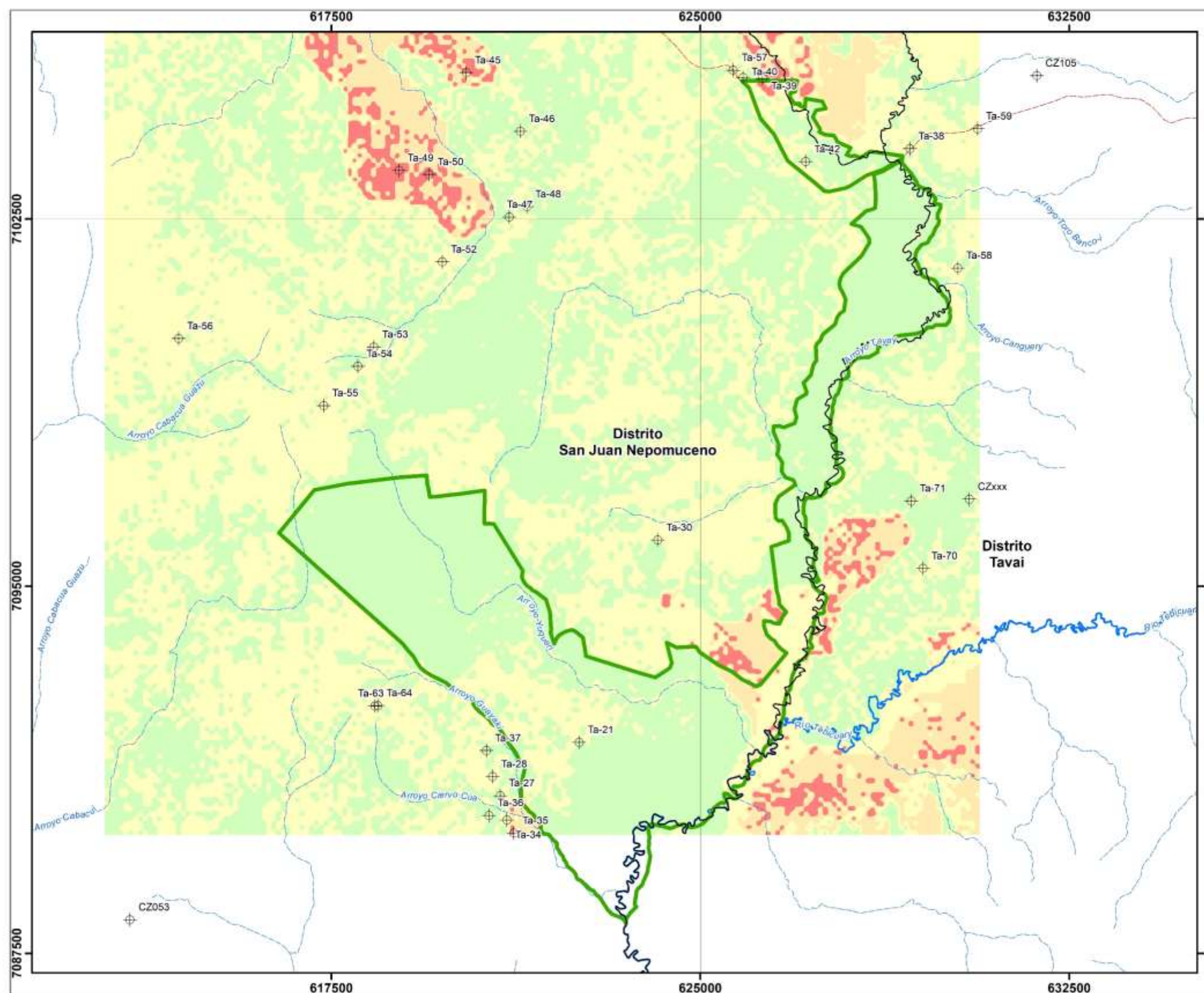


Leyenda

+	Pozos (Id)		Factor Riesgo
---	Límite distrital		Muy bajo
—	Ríos		Bajo
---	Arroyos secundarios		Moderado
---	Vías secundarias		Alto
□	Límite Reserva		Sin Muestreo

FIGURA N°

Elaborado por ONGAGUA, Febrero 2017



"Caracterización de los Recursos Hídricos para la Gestión de la Protección de la Reserva de la Biosfera del Bosque Mbaracayú Departamento de Canindeyú y de la Reserva Natural Tapyta - Departamento de Caazapá (Paraguay)"

Mapa de Protección según Vulnerabilidad DRASTIC Reserva Natural Tapyta



1:75,000
1.5 0.75 0 1.5 3 km

Proyección: Mercator Transversa Universal
Elipsoide Referencia: WGS84
Cuadrícula: 7500m; Zona 21J
Meridiano Central: 57° W
Latitud de Origen: Ecuador
Falso Norte: 10.000.000 m
Falso Este: 500.000 m
Factor de Escala: 0.999600

Mapa de Localización



Leyenda

	Pozos (Id)	Protección
	Límite distrital	Baja
	Ríos	Segunda Prioridad
	Arroyos secundarios	Primera Prioridad
	Vías secundarias	
	Límite Reserva	

FIGURA N°

Elaborado por ONGAGUA, Febrero 2017



"Caracterización de los Recursos Hídricos para la Gestión de la Protección de la Reserva de la Biosfera del Bosque Mbaracayú Departamento de Canindeyú y de la Reserva Natural Tapyta - Departamento de Caazapá (Paraguay)"

Mapa de Protección con Vulnerabilidad GOD Reserva Natural Tapyta



1:75,000
1.5 0.75 0 1.5 3 km

Proyección: Mercator Transversa Universal
Elipsoide Referencia: WGS84
Cuadrícula: 7500m; Zona 21J
Meridiano Central: 57° W
Latitud de Origen: Ecuador
Falso Norte: 10.000.000 m
Falso Este: 500.000 m
Factor de Escala: 0.999600

Mapa de Localización

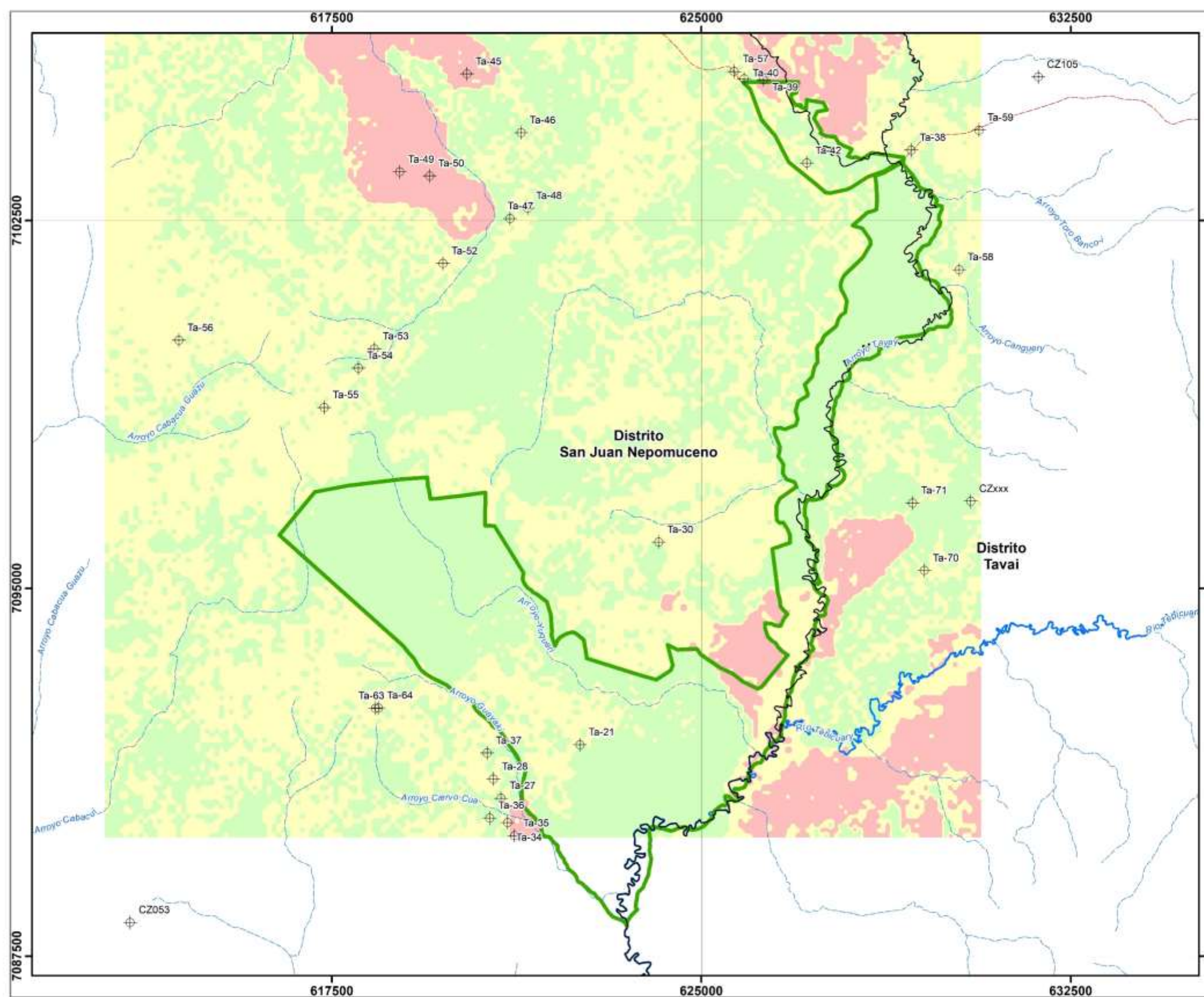


Leyenda

	Pozos (Id)	Protección
⊕		Baja
---	Límite distrital	Segunda Prioridad
—	Ríos	Primera Prioridad
---	Arroyos secundarios	Sin Muestreo
---	Vías secundarias	
▭	Límite Reserva	

FIGURA N°

Elaborado por ONGAGUA, Febrero 2017



*Caracterización de los Recursos Hídricos
para la Gestión de la Protección
de la Reserva de la Biosfera
del Bosque Mbaracayú
Departamento de Canindeyú
y de la Reserva Natural Tapyta
- Departamento de Caazapá (Paraguay)*

Mapa de Protección Vulnerabilidad DRASTIC



1:75,000
1.5 0.75 0 1.5 3 km

Proyección: Mercator Transversa Universal
Elipsoide Referencia: WGS84
Cuadrícula: 7500m; Zona 21J
Meridiano Central: 57° W
Latitud de Origen: Ecuador
Falso Norte: 10.000.000 m
Falso Este: 500.000 m
Factor de Escala: 0.999600

Mapa de Localización

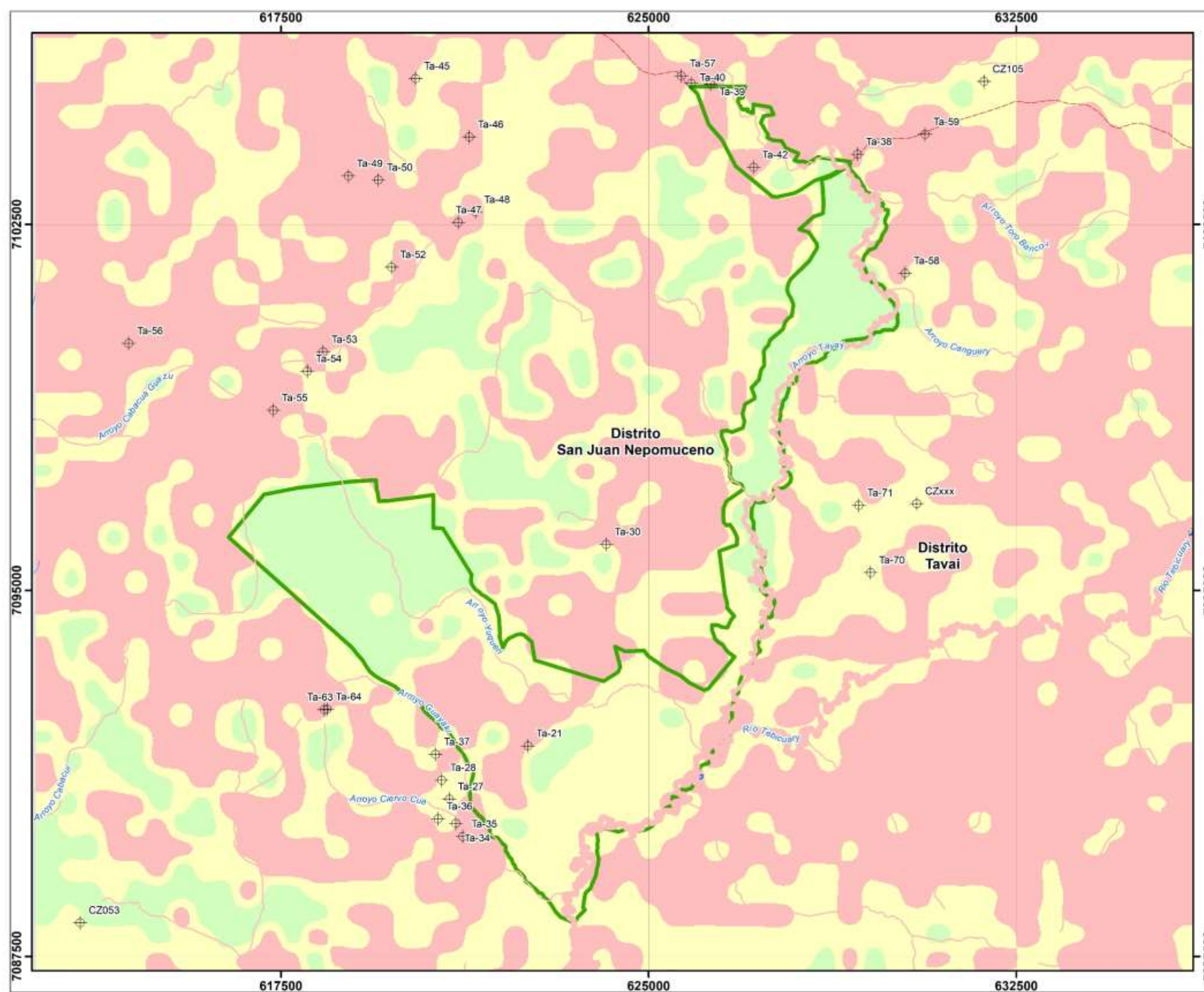


Leyenda

	Pozos (Id)	Protección
+		Baja
---	Límite distrital	Segunda Prioridad
—	Ríos	Primera Prioridad
---	Arroyos secundarios	
---	Vías secundarias	
□	Límite Reserva	

FIGURA N°

Elaborado por ONGAGUA, Febrero 2017



"Caracterización de los Recursos Hídricos para la Gestión de la Protección de la Reserva de la Biosfera del Bosque Mbaracayú Departamento de Canindeyú y de la Reserva Natural Tapyta - Departamento de Caazapá (Paraguay)"

Mapa de Protección con Vulnerabilidad GOD



1:75,000
1.5 0.75 0 1.5 3 km

Proyección: Mercator Transversa Universal
Elipsoide Referencia: WGS84
Cuadrícula: 7500m, Zona 21J
Meridiano Central: 57° W
Latitud de Origen: Ecuador
Falso Norte: 10.000.000 m
Falso Este: 500.000 m
Factor de Escala: 0,999800

Mapa de Localización



Leyenda

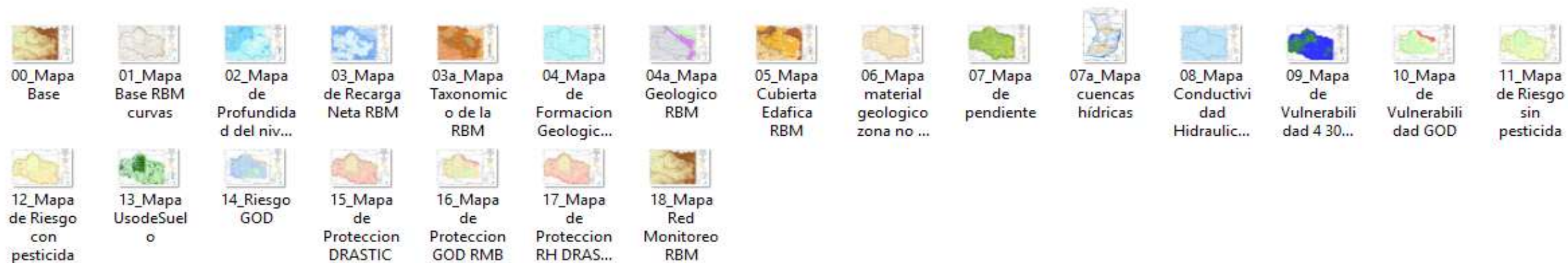
	Protección
⊕ Pozos (Id)	
----- Límite distrital	 Baja
— Ríos	 Segunda Prioridad
--- Arroyos secundarios	 Primera Prioridad
--- Vías secundarias	 Sin Muestreo
 Límite Reserva	

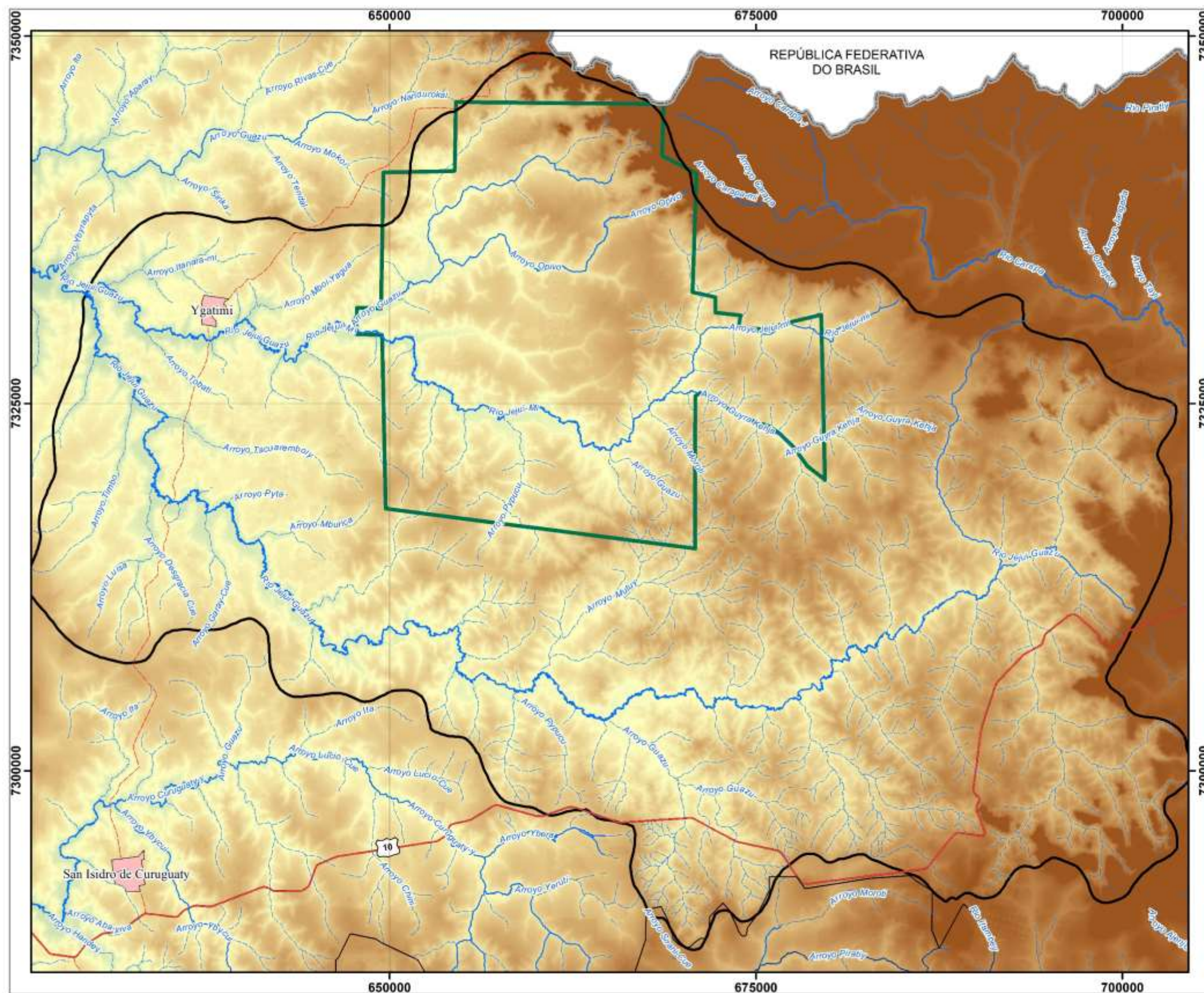
FIGURA N°

Elaborado por ONGAGUA, Febrero 2017



Anexo. 2. MAPAS GENERADOS PARA EL AREA DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA DEL BOSQUE MBARACAYU





"Caracterización de los Recursos Hídricos para la Gestión de la Protección de la Reserva de la Biosfera del Bosque Mbaracayú
Departamento de Canindeyú y de la Reserva Natural Tapyta - Departamento de Caazapá (Paraguay)"

Mapa Base del área de estudio Reserva de la Biosfera de Mbaracayú



1:250,000

5 2.5 0 5 10
km

Proyección: Mercator Transversa Universal
Elipsoide Referencia: WGS84
Cuadrícula: 25.000m, Zona 21J
Meridiano Central: 57° W
Latitud de Origen: Ecuador
Falso Norte: 10.000.000 m
Falso Este: 500.000 m
Factor de Escala: 0,999600

Mapa de Localización



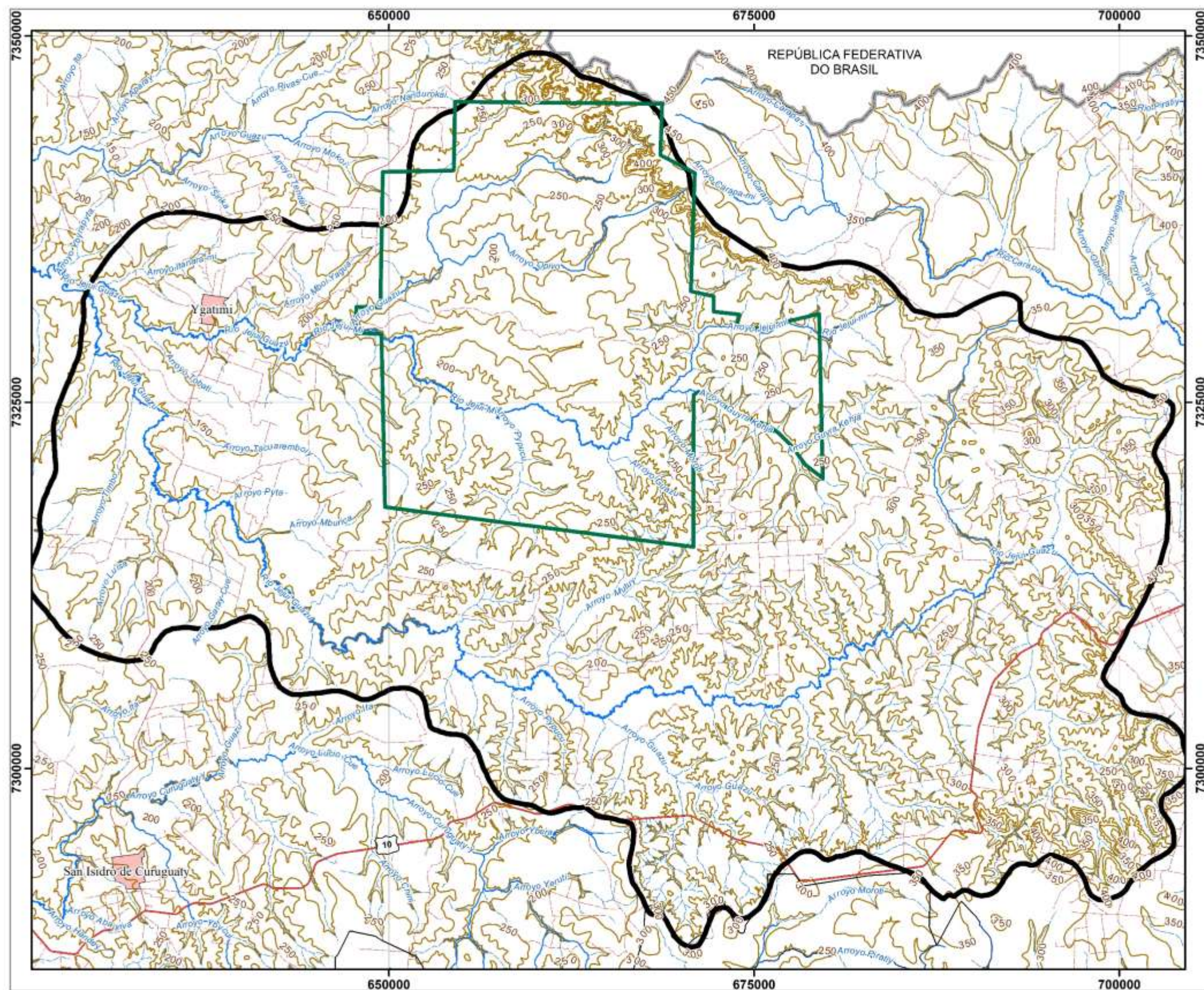
Leyenda

— Límite departamental	Casco urbano
— Límite Nacional	Área de estudio
— Ríos	Límite Reserva
— Aos. secundarios	MDE (m)
— Vías secundarias	High : 472
— Rutas nacionales	Low : 125

FIGURA N°

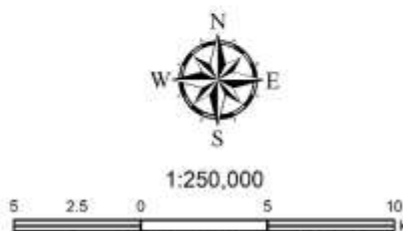
Elaborado por ONGAGUA, 2016





"Caracterización de los Recursos Hídricos para la Gestión de la Protección de la Reserva de la Biosfera del Bosque Mbaracayú Departamento de Canindeyú y de la Reserva Natural Tapyta - Departamento de Caazapá (Paraguay)"

Mapa Base del área de estudio Reserva de la Biosfera del Mbaracayú



Proyección: Mercator Transversa Universal
Elipsoide Referencia: WGS84
Cuadrícula: 25.000m; Zona 21J
Meridiano Central: 57° W
Latitud de Origen: Ecuador
Falso Norte: 10.000.000 m
Falso Este: 500.000 m
Factor de Escala: 0,999800

Mapa de Localización



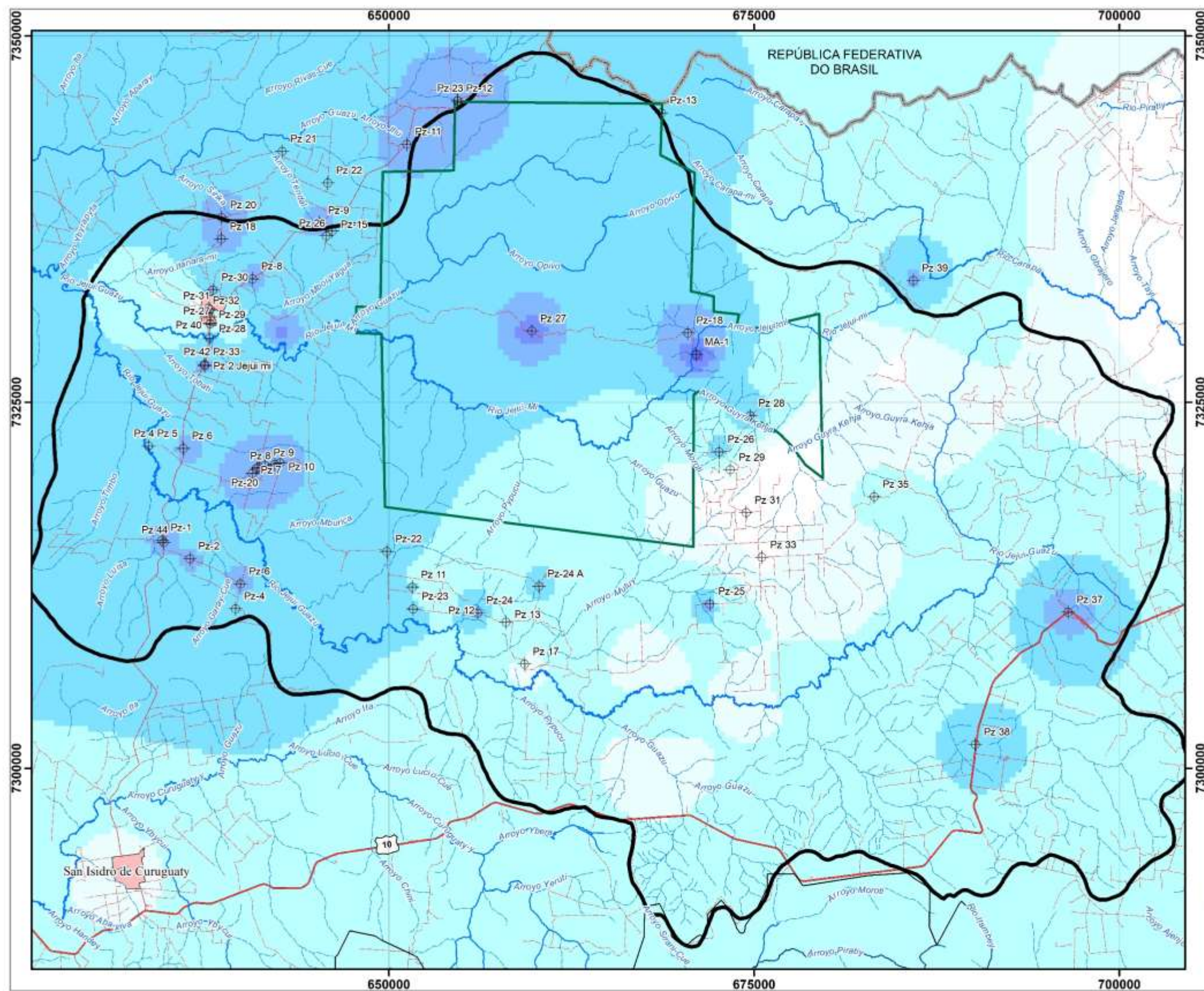
Legenda

- | | |
|--|--|
| ----- Límite departamental | Casco urbano |
| ----- Límite Nacional | Área de estudio |
| ----- Ríos | Límite Reserva |
| ----- Arroyos secundarios | |
| ----- Vías secundarias | |
| ----- Rutas nacionales | |
| ----- Curvas de Nivel Equidistancia 50 m | |

FIGURA N°

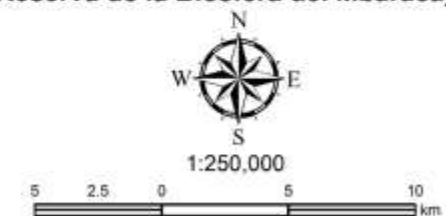
Elaborado por ONGAGUA, 2016





*Caracterización de los Recursos Hídricos para la Gestión de la Protección de la Reserva de la Biosfera del Bosque Mbaracayú
Departamento de Canindeyú y de la Reserva Natural Tapyta - Departamento de Caazapá (Paraguay)*

Mapa de Profundidad
Nivel de agua subterránea
Reserva de la Biosfera del Mbaracayú



Mapa de Localización



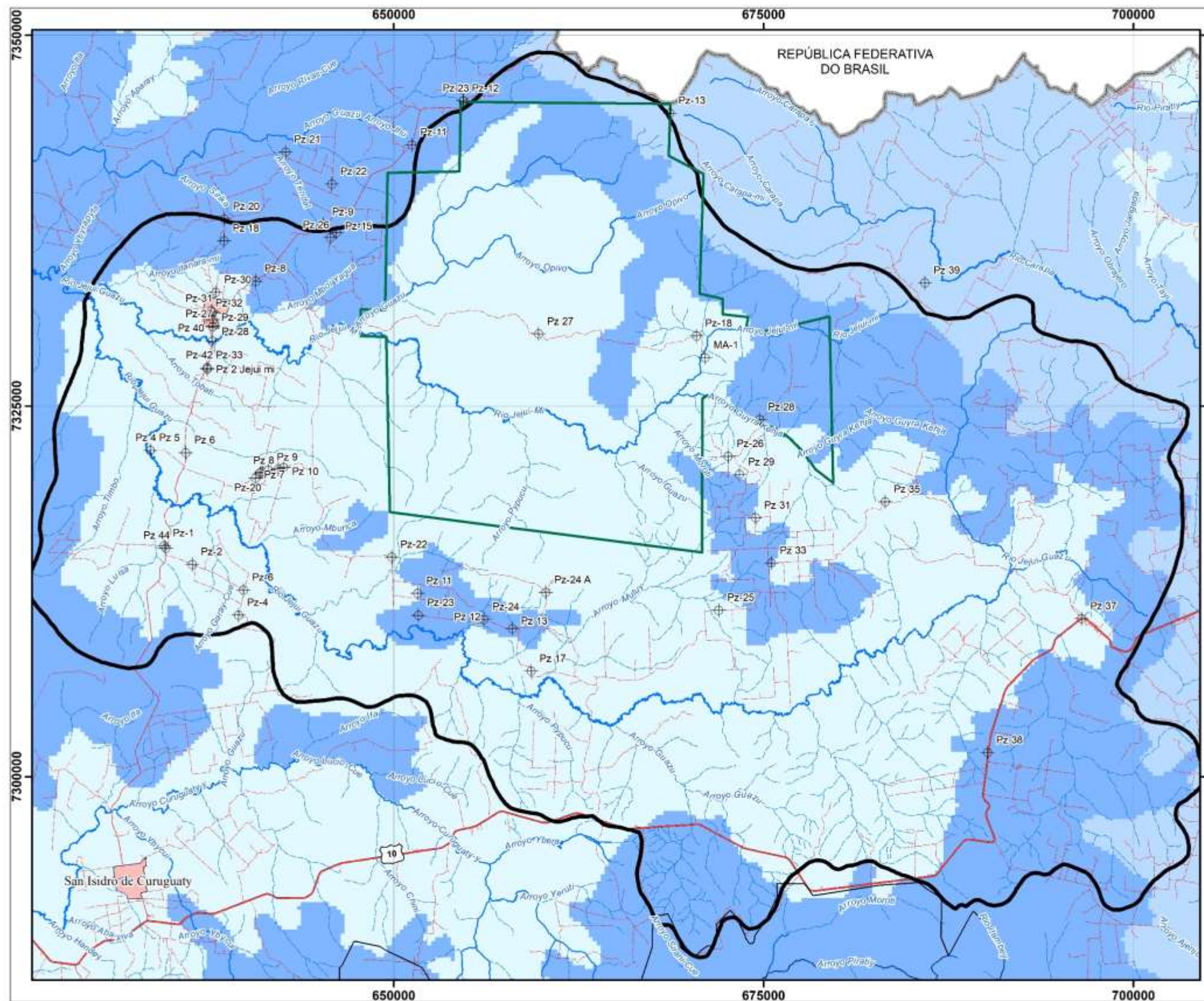
Legenda

	Pozos (Id)		Límite Reserva
	Límite departamental		
	Límite Nacional		
	Ríos		
	Arroyos secundarios		
	Vías secundarias		
	Rutas nacionales		
	Casco urbano		
	Área de estudio		
			Profundidad (m)
			0 - 1,5
			1,5 - 4,6
			4,6 - 9,1
			9,1 - 15,2
			15,2 - 22,9
			22,9 - 30,5
			> 30,5

FIGURA N°

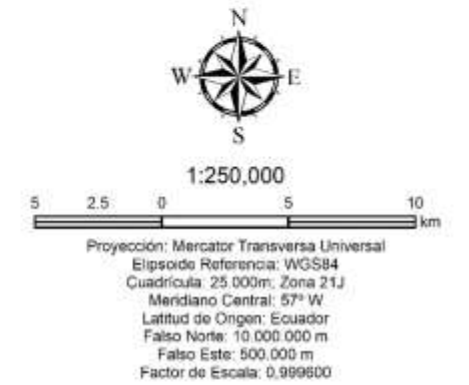
Elaborado por ONGAGUA, 2017





*Caracterización de los Recursos Hídricos para la Gestión de la Protección de la Reserva de la Biosfera del Bosque Mbaracayú
Departamento de Canindeyú y de la Reserva Natural Tapyta
- Departamento de Caazapá (Paraguay)*

Mapa de Recarga Neta
Reserva de la Biosfera del Mbaracayú



Mapa de Localización



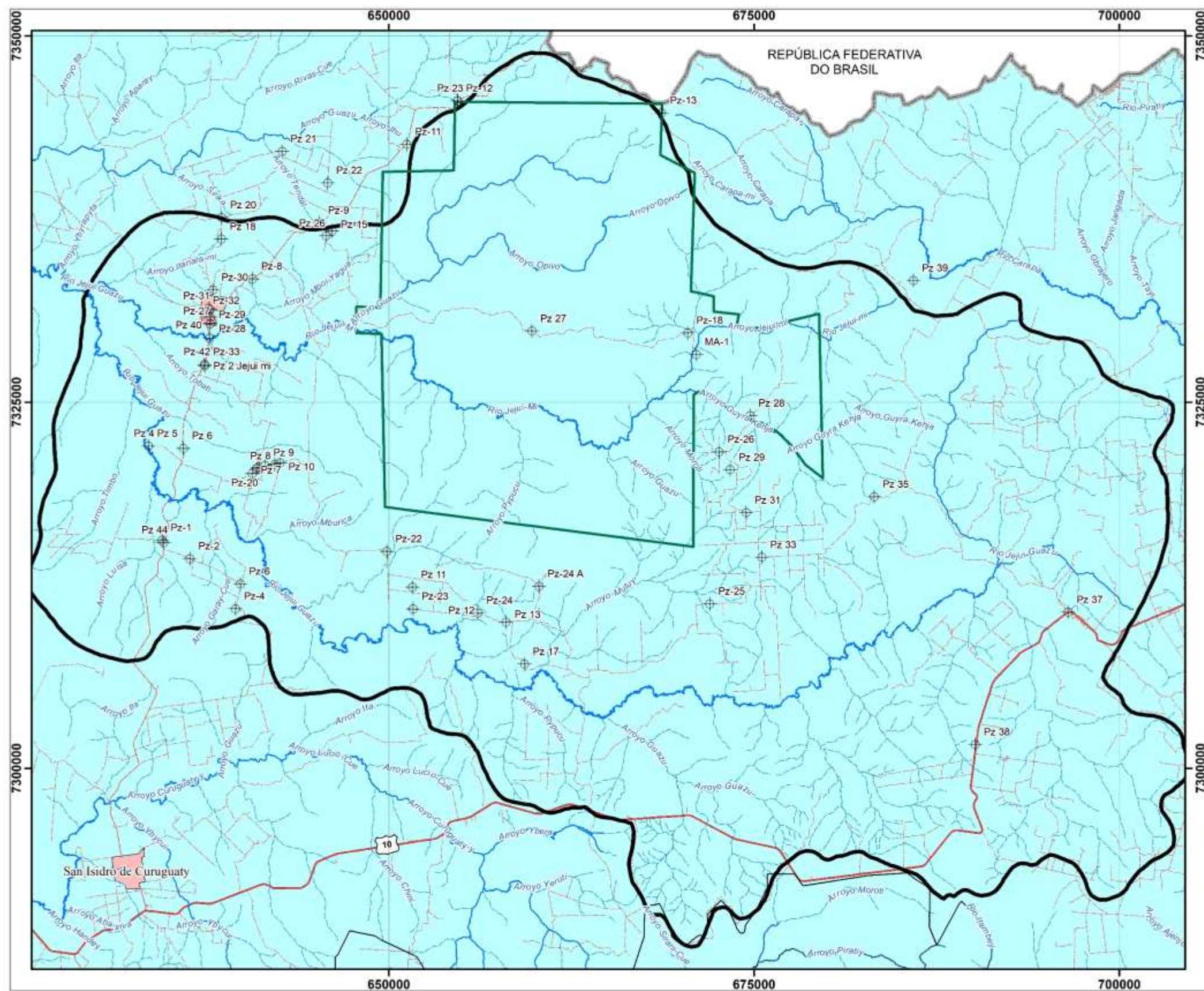
Legenda

	Pozos (Id)		Casco urbano
	Límite departamental		Área de estudio
	Límite Nacional		Límite Reserva
	Ríos		
	Arroyos secundarios		
	Vías secundarias		
	Rutas nacionales		
Recarga (mm)			
	0 - 50		
	50 - 103		
	103 - 178		

FIGURA N°

Elaborado por ONGAGUA, 2016





*Caracterización de los Recursos Hídricos para la Gestión de la Protección de la Reserva de la Biosfera del Bosque Mbaracayú
Departamento de Canindeyú y de la Reserva Natural Tapyta
- Departamento de Caazapá (Paraguay)*

Mapa de Formación Geológica que constituye el acuífero Reserva de la Biosfera del Mbaracayú



Mapa de Localización



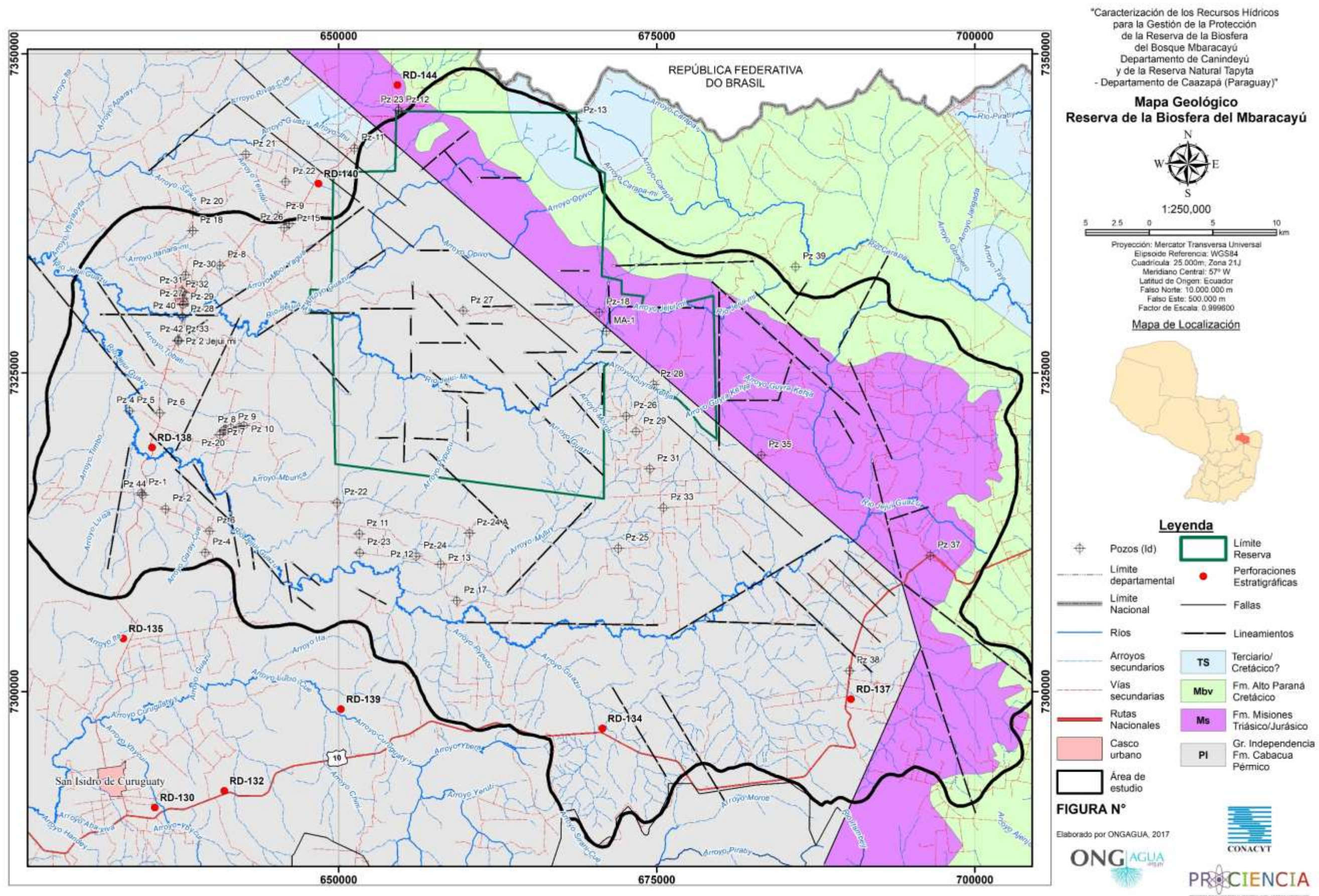
Legenda

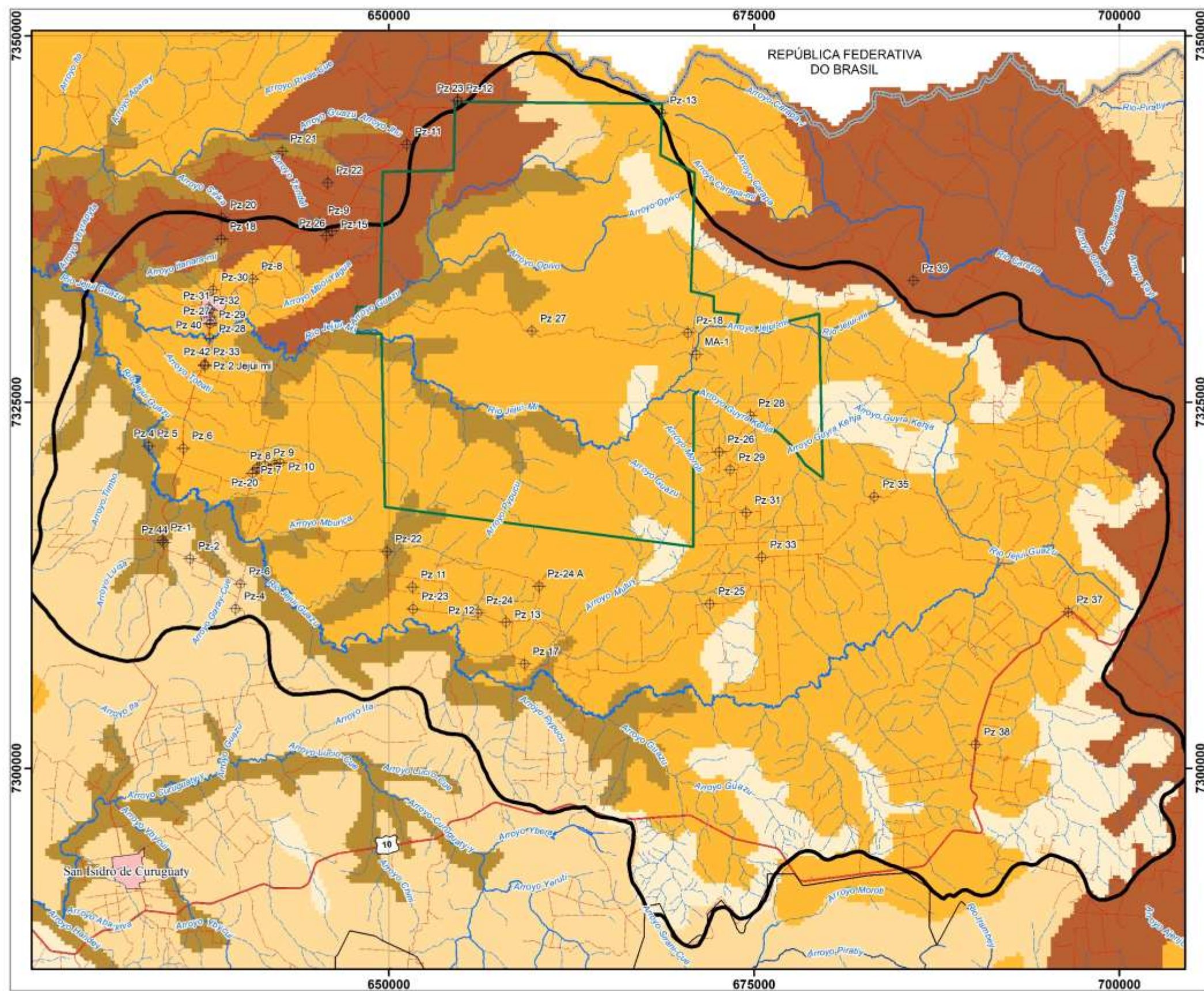
- Pozos (Id)
- Límite departamental
- Límite Nacional
- Ríos
- Arroyos secundarios
- Vías secundarias
- Rutas nacionales
- Casco urbano
- Área de estudio
- Límite Reserva
- Litología del Acuífero**
- Arenisca-secuencia de arenisca, siltita, arcilla y lutita

FIGURA N°

Elaborado por ONGAGUA, 2016

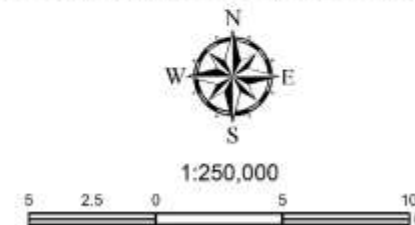






*Caracterización de los Recursos Hídricos para la Gestión de la Protección de la Reserva de la Biosfera del Bosque Mbaracayú
Departamento de Canindeyú y de la Reserva Natural Tapyta
- Departamento de Caazapá (Paraguay)*

Mapa de Cubierta Edáfica Reserva de la Biosfera del Mbaracayú



Proyección: Mercator Transversa Universal
Elipsoide Referencia: WGS84
Cuadrícula: 25.000m; Zona 21J
Meridiano Central: 57° W
Latitud de Origen: Ecuador
Falso Norte: 10.000.000 m
Falso Este: 500.000 m
Factor de Escala: 0,999800

Mapa de Localización



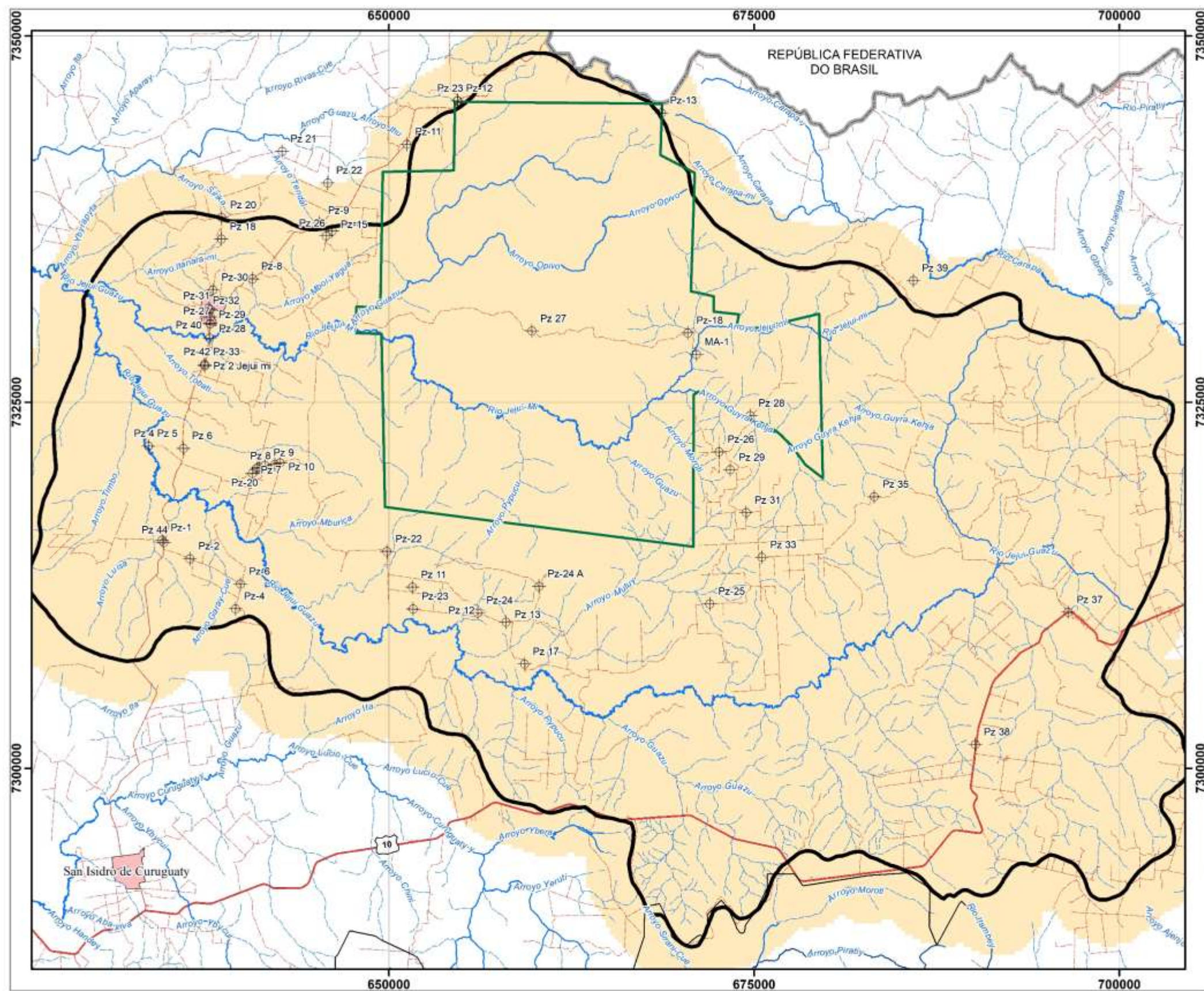
Leyenda

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> Pozos (Id) Límite departamental Límite Nacional Ríos Arroyos secundarios Vías secundarias Rutas nacionales Casco urbano | <ul style="list-style-type: none"> Área de estudio Límite Reserva |
|--|---|
- Tipo de Suelo**
- | | |
|--|---------------------------------|
| | Arcilla margosa |
| | Marga |
| | Arenisca margosa |
| | Agregado arcilloso o compactado |
| | Arena |

FIGURA N°

Elaborado por ONGAGUA, 2016





*Caracterización de los Recursos Hídricos para la Gestión de la Protección de la Reserva de la Biosfera del Bosque Mbaracayú
Departamento de Canindeyú y de la Reserva Natural Tapyta - Departamento de Caazapá (Paraguay)*

Mapa Tipo Material Geológico
Zona No Saturada
Reserva de la Biosfera del Mbaracayú



Proyección: Mercator Transversa Universal
Elipsoide Referencia: WGS84
Cuadrícula: 25.000m; Zona 21J
Meridiano Central: 57° W
Latitud de Origen: Ecuador
Falso Norte: 10.000.000 m
Falso Este: 500.000 m
Factor de Escala: 0.999600

Mapa de Localización



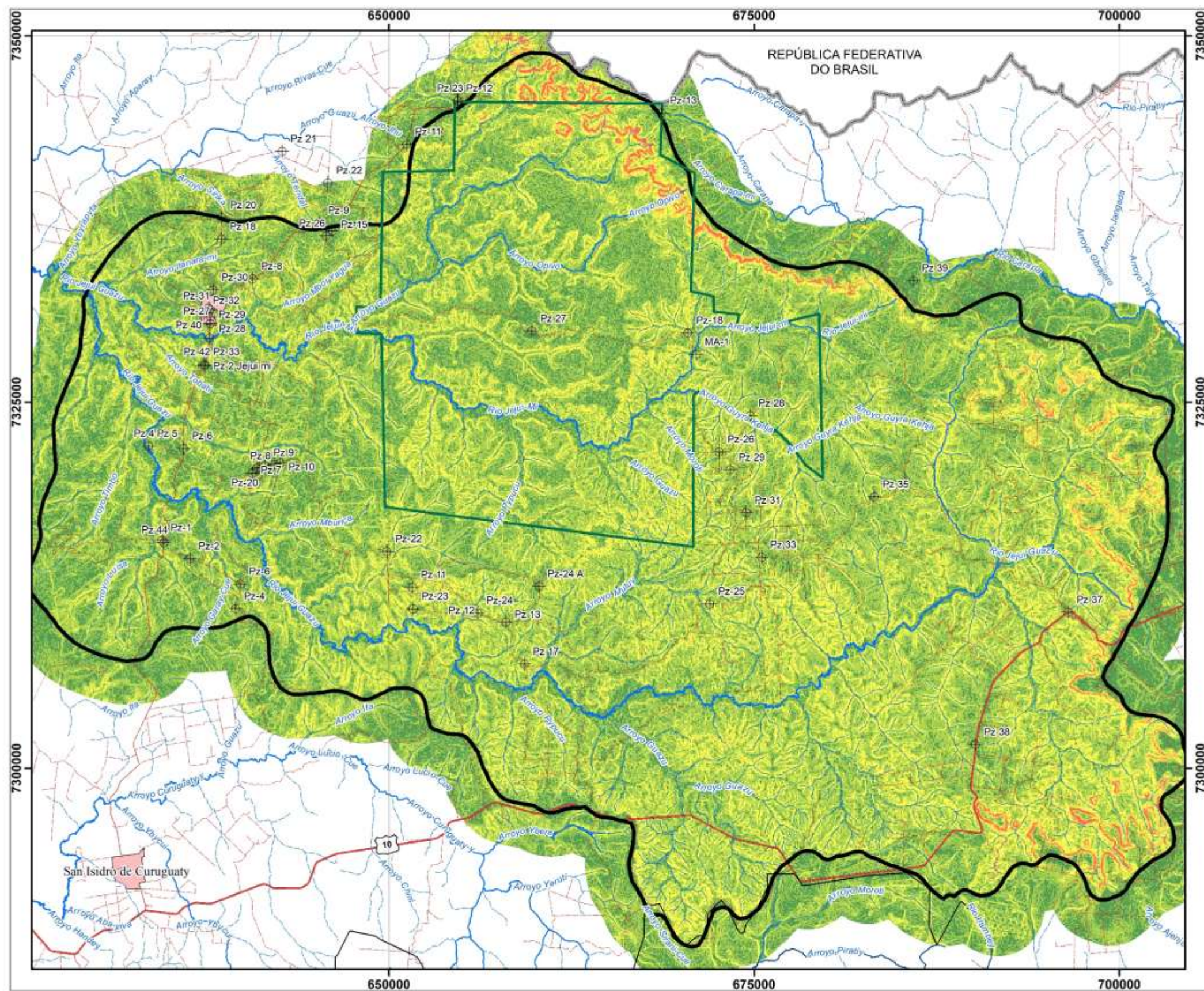
Legenda

- | | | | |
|--|----------------------|--|---|
| | Pozos (Id) | | Casco urbano |
| | Límite departamental | | Área de estudio |
| | Límite Nacional | | Límite Reserva |
| | Ríos | | Naturaleza de la zona no saturada |
| | Arroyos secundarios | | Secuencias de areniscas, siltita y lutita |
| | Vías secundarias | | |
| | Rutas nacionales | | |

FIGURA N°

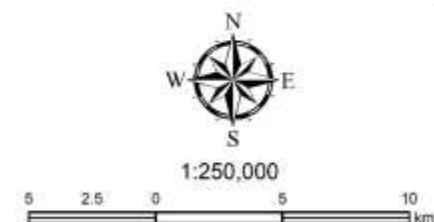
Elaborado por ONGAGUA, 2016





*Caracterización de los Recursos Hídricos para la Gestión de la Protección de la Reserva de la Biosfera del Bosque Mbaracayú
Departamento de Canindeyú y de la Reserva Natural Tapyta - Departamento de Caazapá (Paraguay)*

Mapa de pendiente
Reserva de la Biosfera del Mbaracayú



Proyección: Mercator Transversa Universal
Elipsoide Referencia: WGS84
Cuadrícula: 25.000m; Zona 21J
Meridiano Central: 57° W
Latitud de Origen: Ecuador
Falso Norte: 10.000.000 m
Falso Este: 500.000 m
Factor de Escala: 0.999800

Mapa de Localización



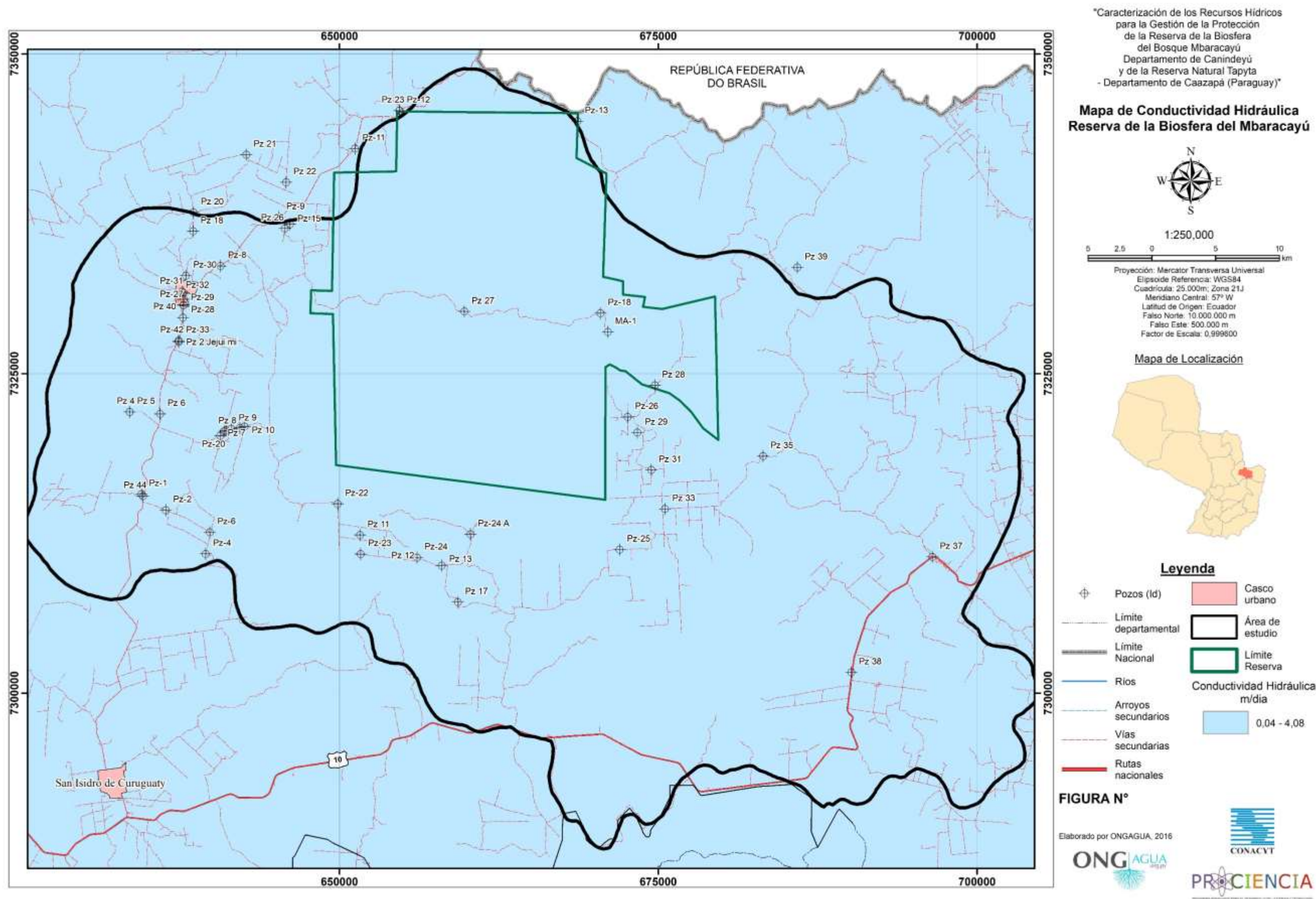
Legenda

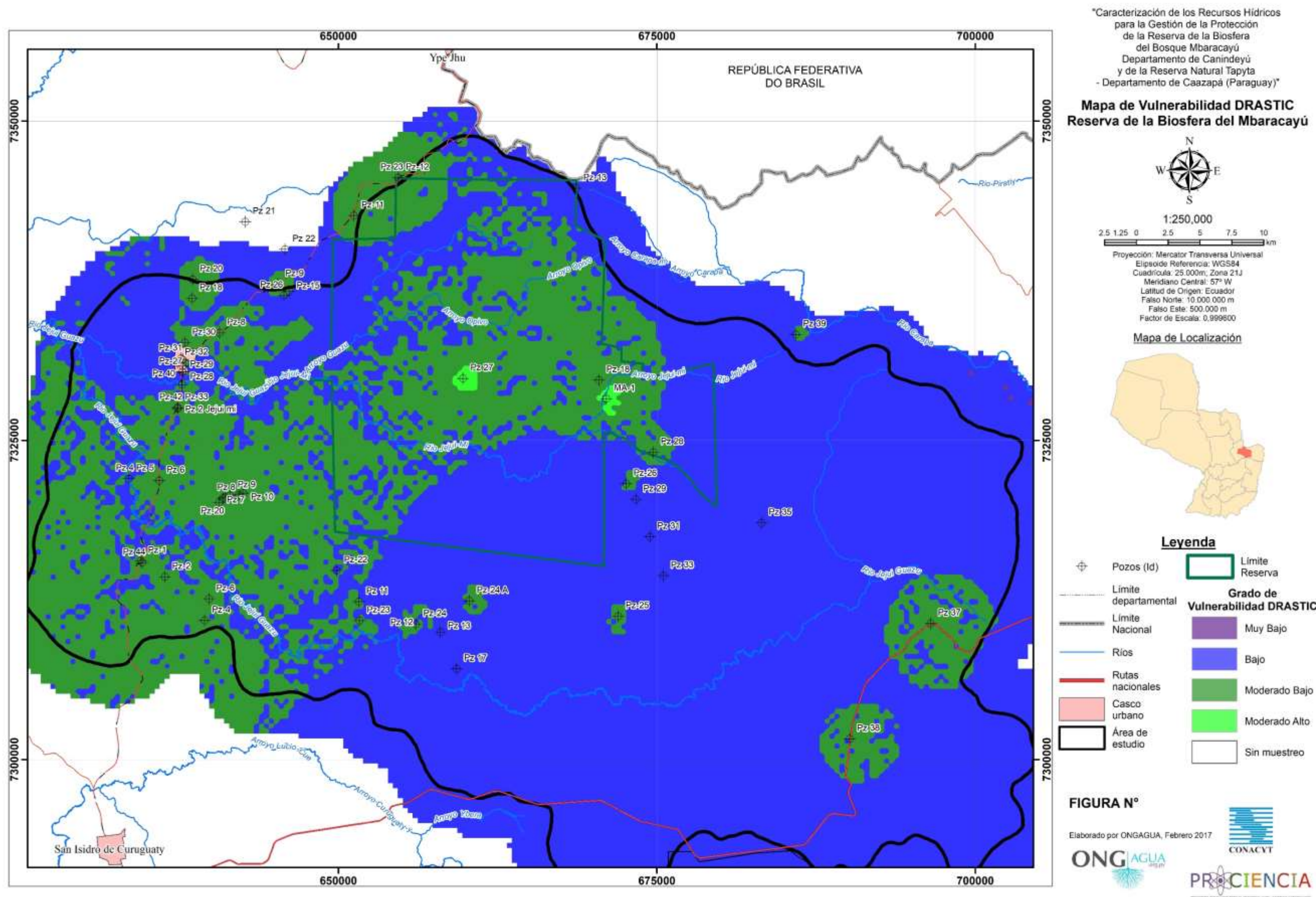
- | | | | |
|--|----------------------|----------------------|-----------------|
| | Pozos (Id) | | Casco urbano |
| | Limite departamental | | Área de estudio |
| | Limite Nacional | | Limite Reserva |
| | Rios | Pendiente (%) | |
| | Arroyos secundarios | | 0 - 2 |
| | Vías secundarias | | 2 - 6 |
| | Rutas nacionales | | 6 - 12 |
| | | | 12 - 18 |
| | | | > 18 |

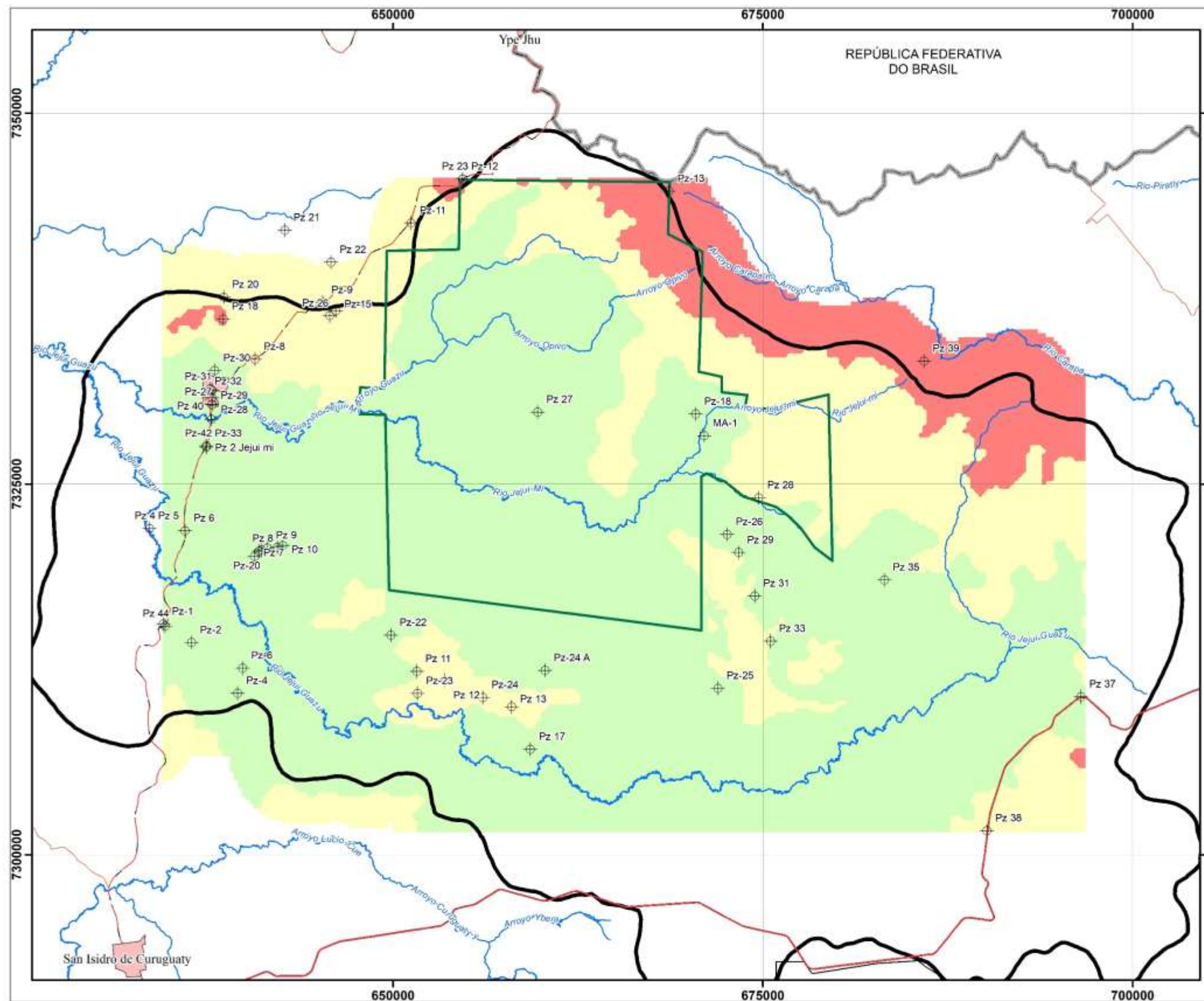
FIGURA N°

Elaborado por ONGAGUA, 2016



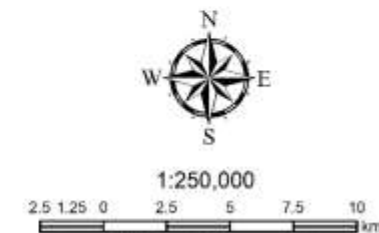






*Caracterización de los Recursos Hídricos
para la Gestión de la Protección
de la Reserva de la Biosfera
del Bosque Mbaracayú
Departamento de Canindeyú
y de la Reserva Natural Tapyta
- Departamento de Caazapá (Paraguay)*

Mapa de Vulnerabilidad GOD Reserva de la Biosfera del Mbaracayú



Proyección: Mercator Transversa Universal
Elipsoide Referencia: WGS84
Cuadrícula: 25.000m; Zona 21J
Meridiano Central: 57° W
Latitud de Origen: Ecuador
Falso Norte: 10.000.000 m
Falso Este: 500.000 m
Factor de Escala: 0.999600

Mapa de Localización



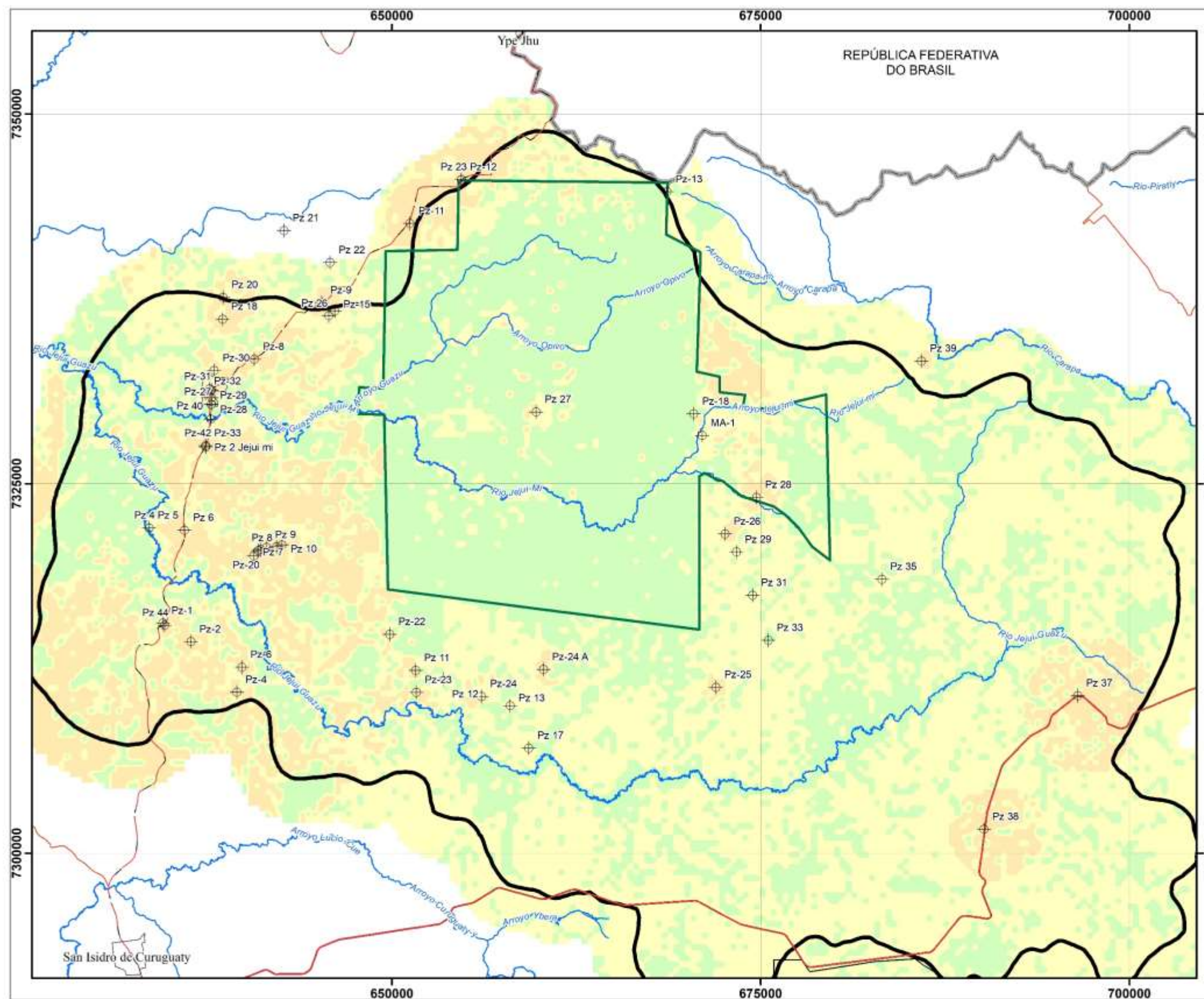
Legenda

- | | |
|------------------------|------------------------------------|
| ⊕ Pozos (Id) | ▭ Límite Reserva |
| — Límite departamental | Grado de Vulnerabilidad GOD |
| — Límite Nacional | ▭ Baja |
| — Ríos | ▭ Moderada |
| — Rutas nacionales | ▭ Alta |
| ▭ Casco urbano | ▭ Sin muestreo |
| ▭ Área de estudio | |

FIGURA N°

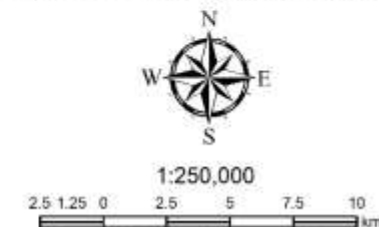
Elaborado por ONGAGUA, Febrero 2017





*Caracterización de los Recursos Hídricos para la Gestión de la Protección de la Reserva de la Biosfera del Bosque Mbaracayú
Departamento de Canindeyú y de la Reserva Natural Tapyta
- Departamento de Caazapá (Paraguay)*

Mapa de Riesgo sin pesticida DRASTIC **Reserva de la Biosfera del Mbaracayú**



Proyección: Mercator Transversa Universal
Elipsoide Referencia: WGS84
Cuadrícula: 25.000m; Zona 21J
Meridiano Central: 57° W
Latitud de Origen: Ecuador
Falso Norte: 10.000.000 m
Falso Este: 500.000 m
Factor de Escala: 0.999600

Mapa de Localización



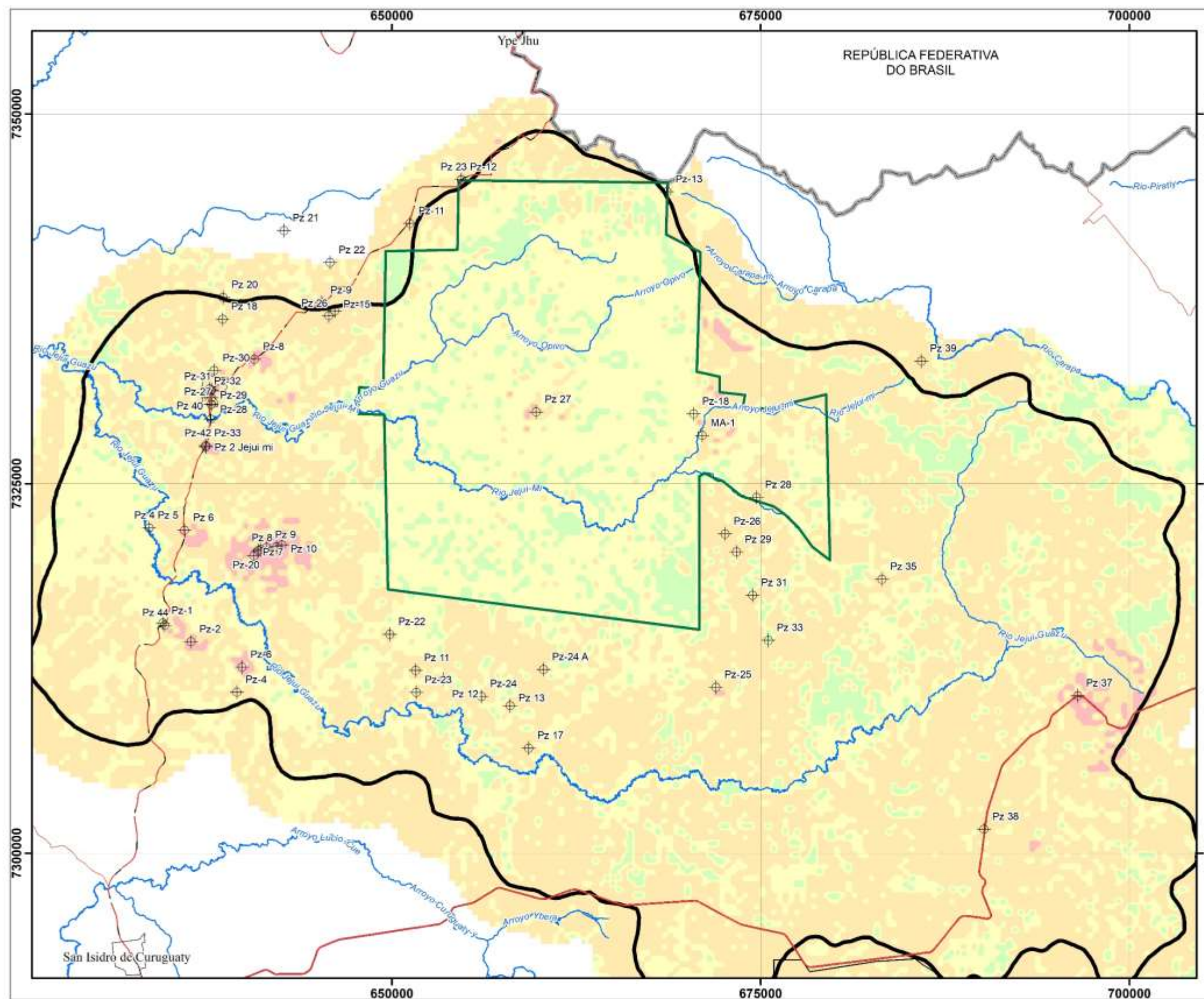
Legenda

- Pozos (Id)
- Limite departamental
- Limite Nacional
- Ríos
- Rutas nacionales
- Casco urbano
- Área de estudio
- Limite Reserva
- Riesgo**
 - Muy Bajo
 - Bajo
 - Moderado
 - Sin muestreo

FIGURA N°

Elaborado por ONGAGUA, Febrero 2017



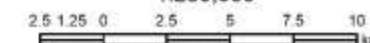


*Caracterización de los Recursos Hídricos para la Gestión de la Protección de la Reserva de la Biosfera del Bosque Mbaracayú
Departamento de Canindeyú y de la Reserva Natural Tapyta
- Departamento de Caazapá (Paraguay)*

Mapa de Riesgo con pesticida DRASTIC **Reserva de la Biosfera del Mbaracayú**



1:250,000



Proyección: Mercator Transversa Universal
Elipsoide Referencia: WGS84
Cuadrícula: 25.000m; Zona 21J
Meridiano Central: 57° W
Latitud de Origen: Ecuador
Falso Norte: 10.000.000 m
Falso Este: 500.000 m
Factor de Escala: 0.999600

Mapa de Localización



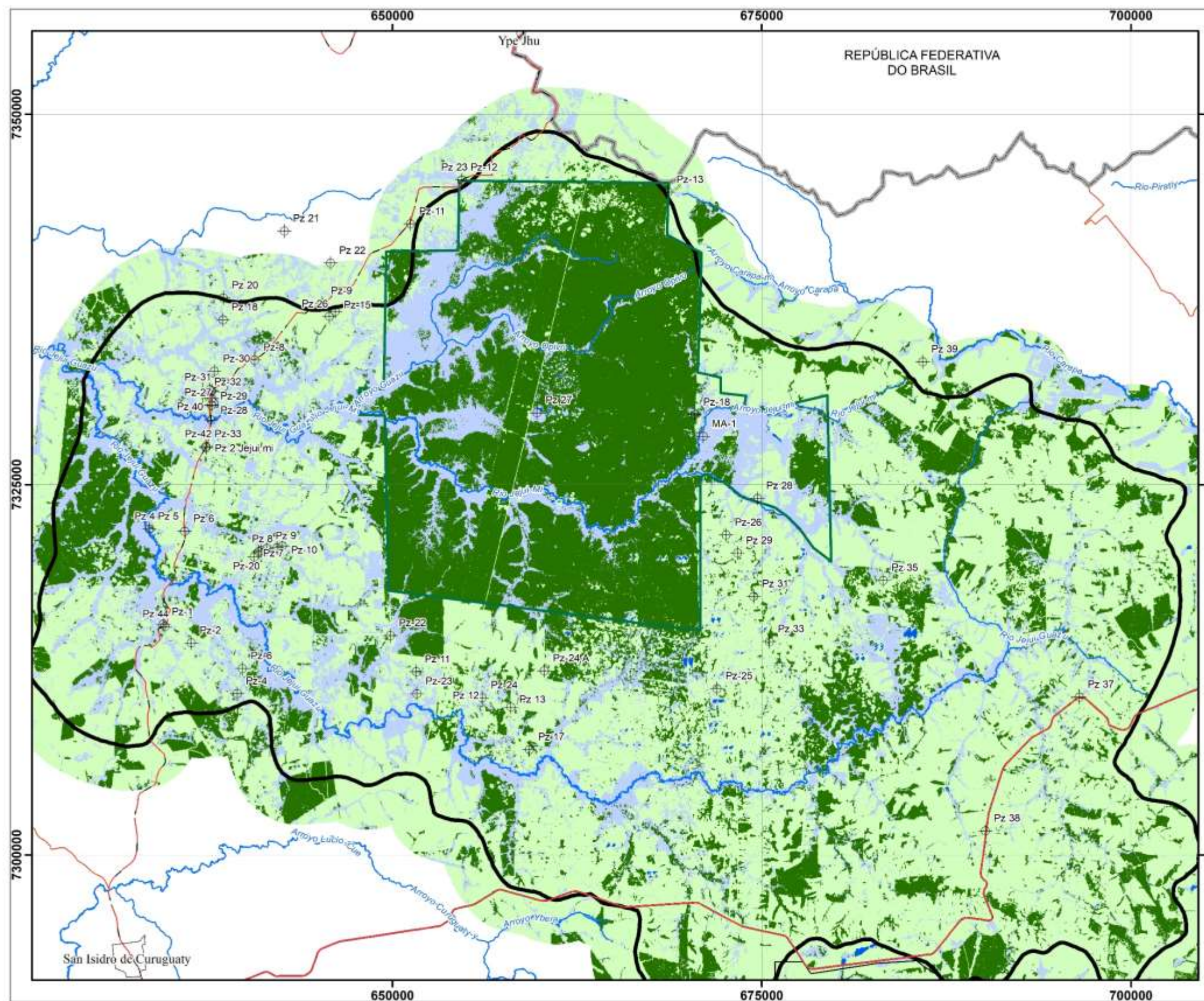
Legenda

	Pozos (Id)		Limite Reserva
	Limite departamental		Riesgo
	Limite Nacional		Muy Bajo
	Ríos		Bajo
	Rutas nacionales		Moderado
	Casco urbano		Alto
	Área de estudio		Sin muestreo

FIGURA N°

Elaborado por ONGAGUA, Febrero 2017





*Caracterización de los Recursos Hídricos
para la Gestión de la Protección
de la Reserva de la Biosfera
del Bosque Mbaracayú
Departamento de Canindeyú
y de la Reserva Natural Tapyta
- Departamento de Caazapá (Paraguay)*

Mapa Uso de Suelo Reserva de la Biosfera del Mbaracayú



1:250,000

2.5 1.25 0 2.5 5 7.5 10
km

Proyección: Mercator Transversa Universal
Elipsoide Referencia: WGS84
Cuadrícula: 25.000m; Zona 21J
Meridiano Central: 57° W
Latitud de Origen: Ecuador
Falso Norte: 10.000.000 m
Falso Este: 500.000 m
Factor de Escala: 0.999800

Mapa de Localización



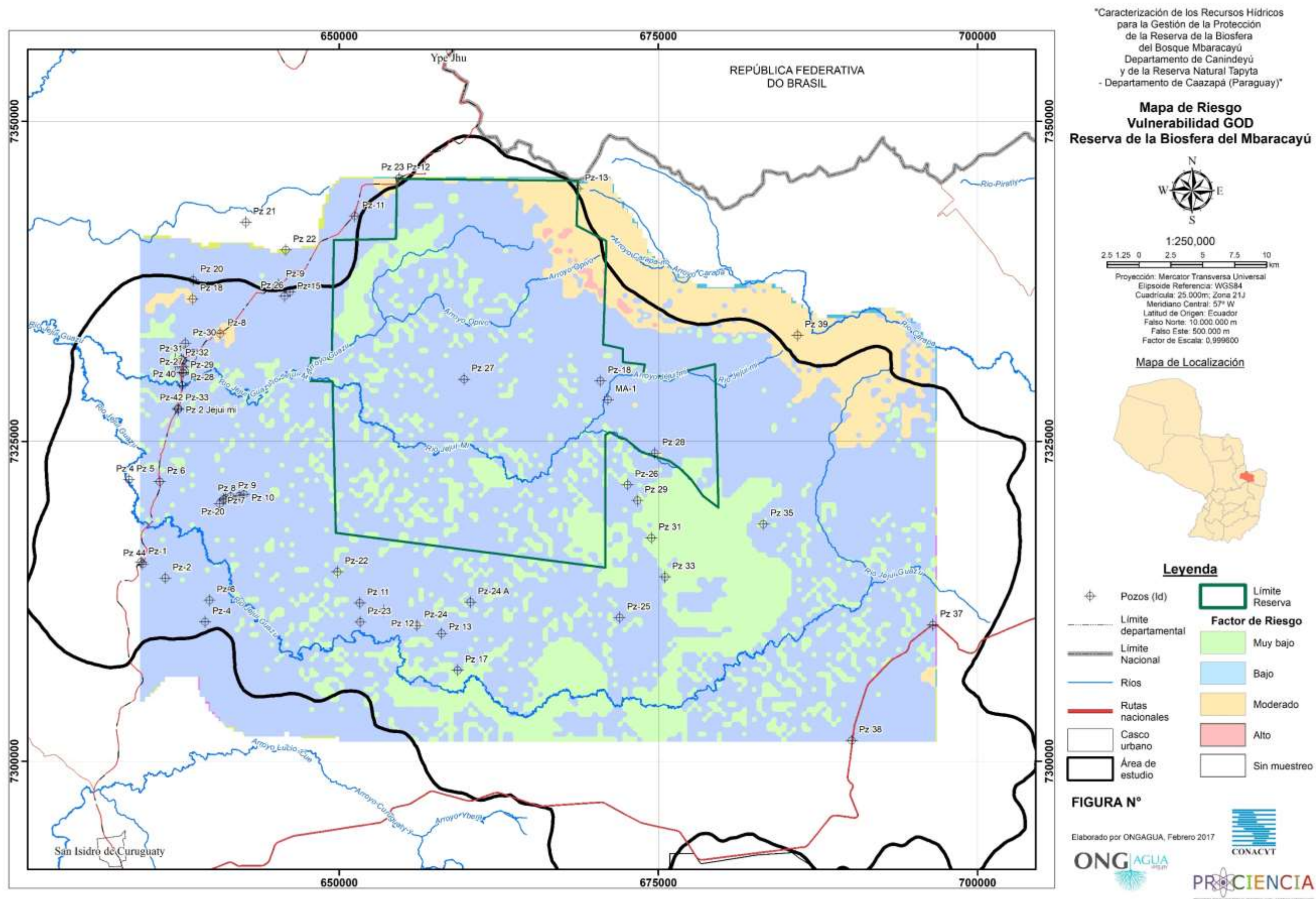
Leyenda

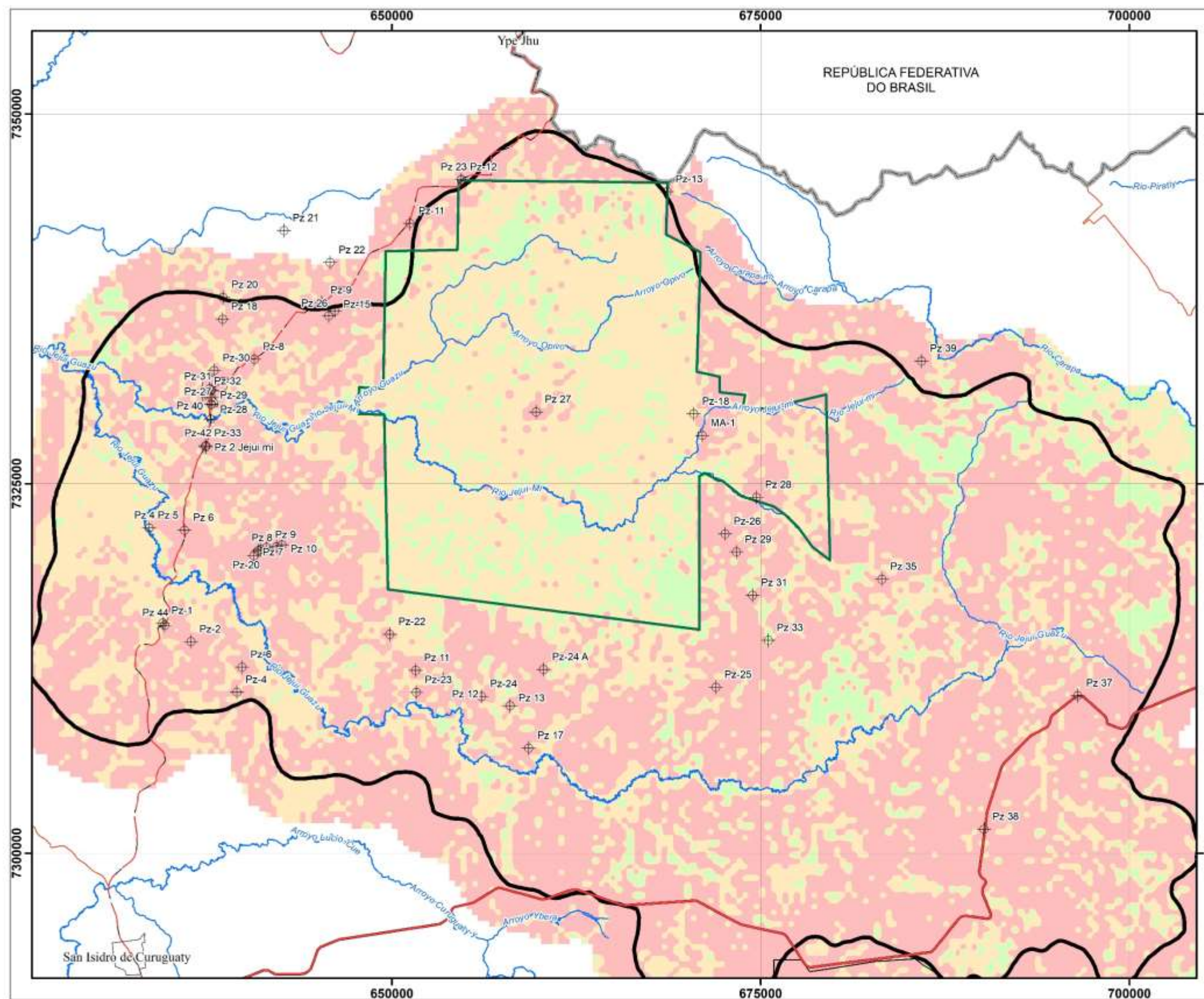
- | | | | |
|--|----------------------|---------------------|------------------|
| | Pozos (Id) | | Limite Reserva |
| | Limite departamental | | Limite Nacional |
| | Ríos | | Rutas nacionales |
| | Casco urbano | | Área de estudio |
| | | Uso de Suelo | |
| | | | Humedal |
| | | | Bosque |
| | | | Cultivo |
| | | | Espejo de agua |
| | | | Sin muestreo |

FIGURA N°

Elaborado por ONGAGUA, Febrero 2017

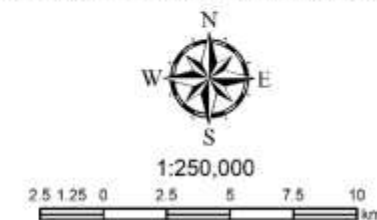






Caracterización de los Recursos Hídricos para la Gestión de la Protección de la Reserva de la Biosfera del Bosque Mbaracayú Departamento de Canindeyú y de la Reserva Natural Tapyta - Departamento de Caazapá (Paraguay)

Mapa de Protección según Vulnerabilidad DRASTIC Reserva de la Biosfera Mbaracayú



Proyección: Mercator Transversa Universal
Elipsoide Referencia: WGS84
Cuadrícula: 25.000m, Zona 21J
Meridiano Central: 57° W
Latitud de Origen: Ecuador
Falso Norte: 10.000.000 m
Falso Este: 500.000 m
Factor de Escala: 0.999600

Mapa de Localización



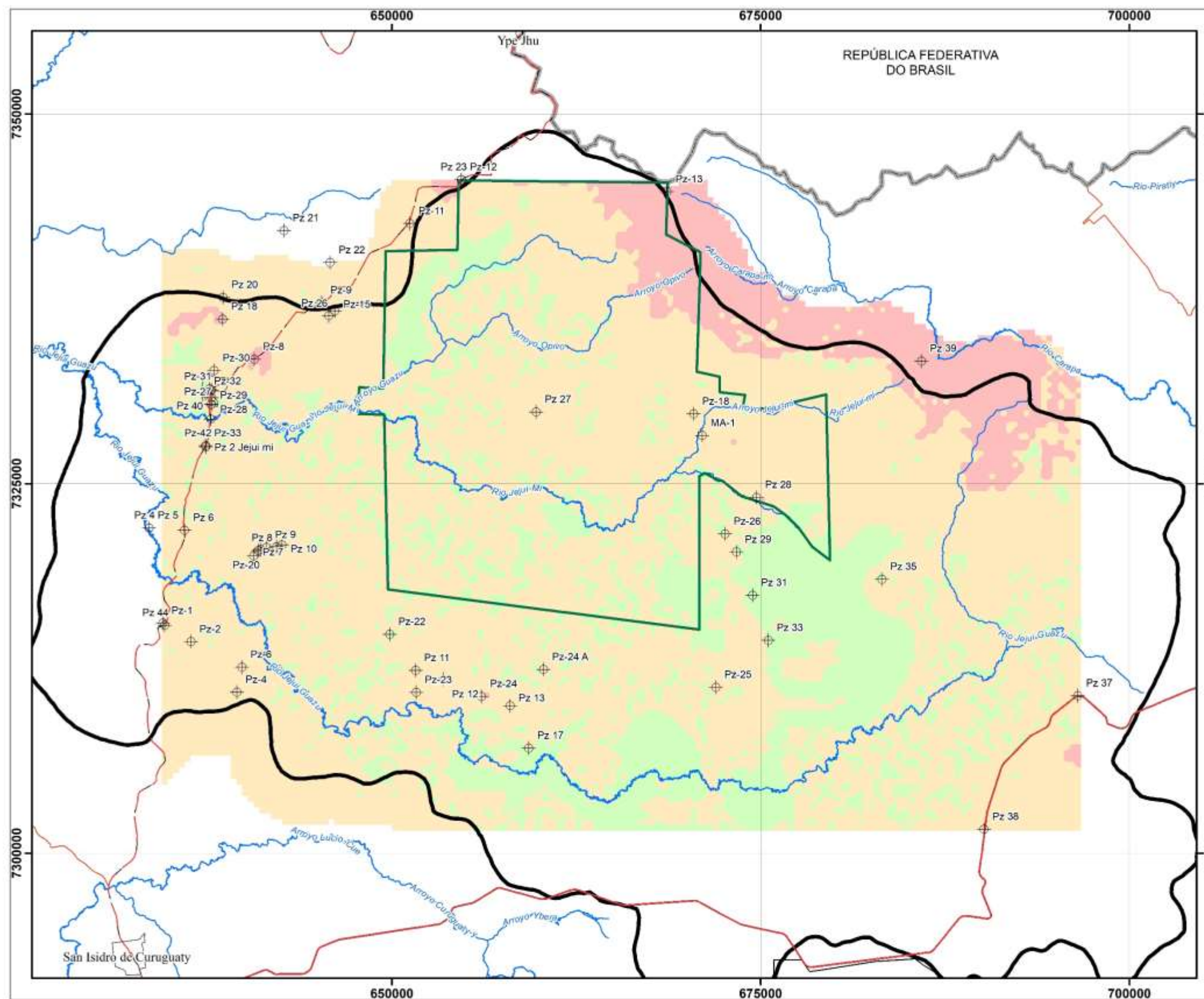
Leyenda

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ⊕ Pozos (Id) --- Límite departamental == Límite Nacional — Ríos — Rutas nacionales □ Casco urbano □ Área de estudio □ Límite Reserva | <p>Protección</p> <ul style="list-style-type: none"> □ Baja □ Segunda Prioridad □ Primera Prioridad □ Sin muestreo |
|---|---|

FIGURA N°

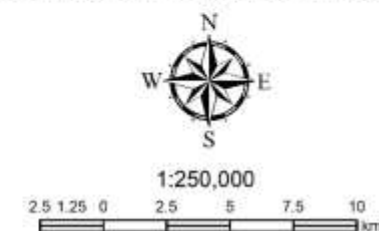
Elaborado por ONGAGUA, Febrero 2017.





*Caracterización de los Recursos Hídricos
para la Gestión de la Protección
de la Reserva de la Biosfera
del Bosque Mbaracayú
Departamento de Canindeyú
y de la Reserva Natural Tapyta
- Departamento de Caazapá (Paraguay)*

Mapa de Protección con Vulnerabilidad GOD Reserva de la Biosfera del Mbaracayú



Proyección: Mercator Transversa Universal
Elipsoide Referencia: WGS84
Cuadrícula: 25 000m, Zona 21J
Meridiano Central: 57° W
Latitud de Origen: Ecuador
Falso Norte: 10.000.000 m
Falso Este: 500.000 m
Factor de Escala: 0,999600

Mapa de Localización



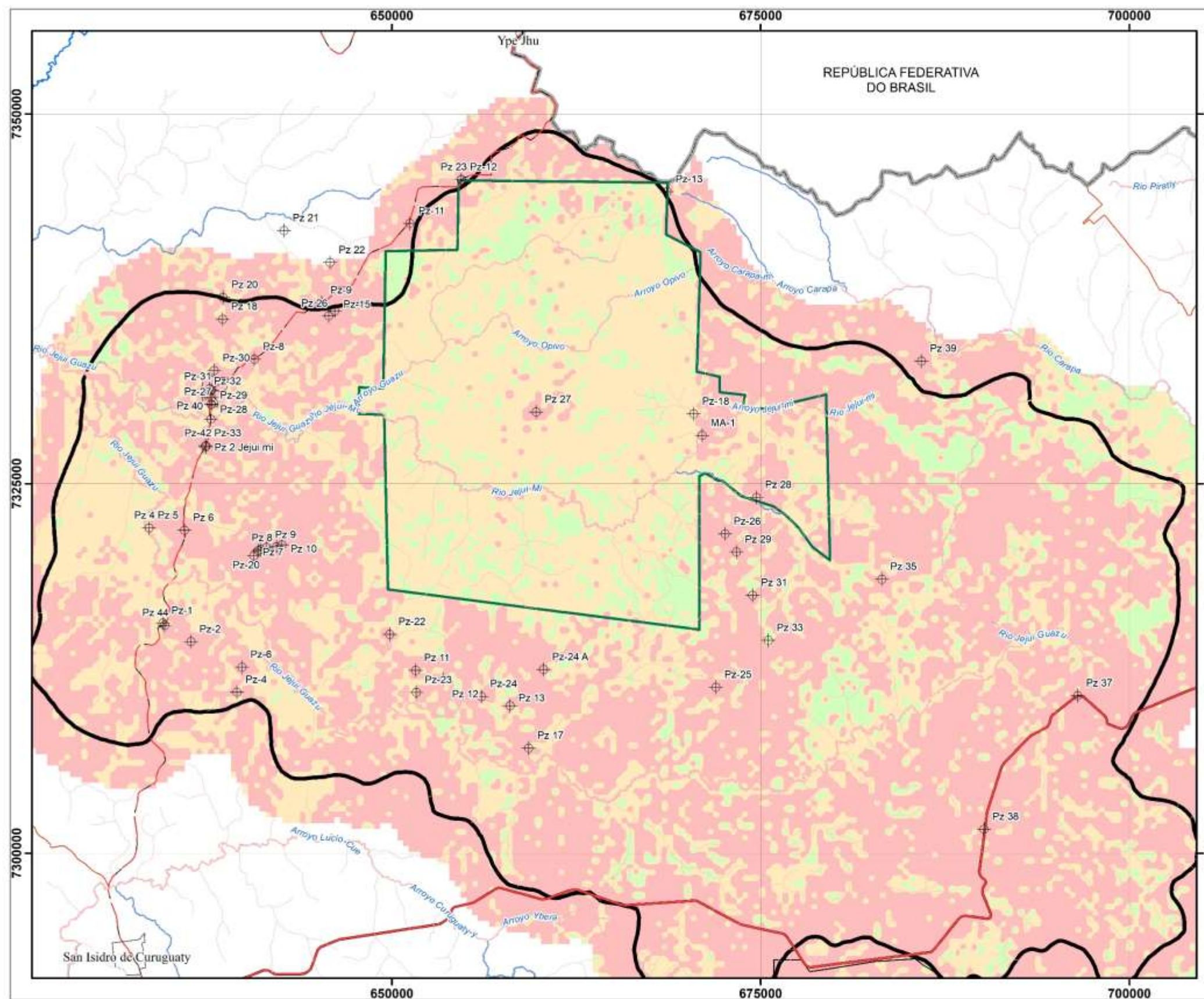
Legenda



FIGURA N°

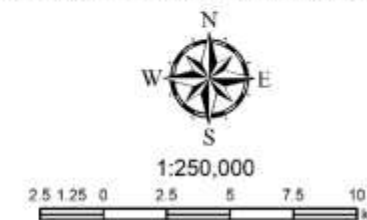
Elaborado por ONGAGUA, Febrero 2017.





Caracterización de los Recursos Hídricos para la Gestión de la Protección de la Reserva de la Biosfera del Bosque Mbaracayú Departamento de Canindeyú y de la Reserva Natural Tapyta - Departamento de Caazapá (Paraguay)

Mapa de Protección Vulnerabilidad DRASTIC **Reserva de la Biosfera Mbaracayú**



Proyección: Mercator Transversa Universal
Elipsoide Referencia: WGS84
Cuadrícula: 25.000m, Zona 21J
Meridiano Central: 57° W
Latitud de Origen: Ecuador
Falso Norte: 10.000.000 m
Falso Este: 500.000 m
Factor de Escala: 0.999600

Mapa de Localización



Legenda

+	Pozos (Id)		Protección
---	Límite departamental		Baja
---	Límite Nacional		Segunda Prioridad
---	Ríos		Primera Prioridad
---	Rutas nacionales		Sin muestreo
---	Casco urbano		
---	Área de estudio		
---	Límite Reserva		

FIGURA N°

Elaborado por ONGAGUA, Febrero 2017.



