

**SEGEMAR**SERVICIO GEOLÓGICO  
MINERO ARGENTINOBundesanstalt für  
Geowissenschaften  
und Rohstoffe

# ESTUDIO GEOCIENTÍFICO APLICADO AL ORDENAMIENTO TERRITORIAL



## SAN IGNACIO

Provincia de Misiones • República Argentina

Escala 1:35.000

CONVENIO DE COOPERACIÓN TÉCNICA GEOLÓGICO ARGENTINO ALEMÁN

Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR-IGRM)

Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales (BGR), Alemania

Coordinación del Proyecto

SEGEMAR ▲

Pablo Tchilinguirian  
Omar Lapido

BGR

Fabián Helms  
Markus Toloczyki  
Wolfgang Kruck

Autores

Tchilinguirian, P., Cavallaro, S., Fratolocchi, C., Marengo, H.,  
Palma, Y.I., Tejedo, A., Tobio, M.I., Toloczyki, M.

Contribuciones

Breard, C., Ducos, E., Elissondo, M., Helms, F., Junken, E.



# ESTUDIO GEOCIENTÍFICO APLICADO AL ORDENAMIENTO TERRITORIAL

## **SAN IGNACIO**

Provincia de Misiones  
República Argentina

Escala 1: 35.000

---

### **COORDINACIÓN DEL PROYECTO**

#### **SEGEMAR**

Pablo Tchilinguirian  
Omar Lapido

#### **BGR**

Fabián Helms  
Markus Toloczyki  
Wolfgang Kruck

#### **Autores**

Tchilinguirian, P., Cavallaro, S., Fratalocchi, C., Marengo, H.,  
Palma, Y.I., Tejedo, A., Tobio, M.I., Toloczyki, M.

#### **Contribuciones**

Breard, C., Ducos, E., Elissondo, M., Helms, F., Junken, E.

Revisión y corrección de textos: Norma E. Pezzutti

Diseño editorial: Daniel C. Rastelli

---

### **CONVENIO DE COOPERACIÓN TÉCNICA GEOLÓGICO ARGENTINO ALEMÁN**

Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR-IGRM)

Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales (BGR), Alemania

---

Buenos Aires • Septiembre 2005

Anales N° 43



## **SERVICIO GEOLÓGICO MINERO ARGENTINO**

---

Presidente Ing. Jorge Mayoral  
Secretario Ejecutivo Lic. Pedro Alcántara

### **INSTITUTO DE GEOLOGÍA Y RECURSOS MINERALES**

---

Director Lic. Roberto F. N. Page

### **DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y APLICADA**

---

Director Lic. Omar Lapido

## **SEGEMAR**

Avenida Julio A. Roca 651 • 10º Piso • Telefax 4349-4450/3115  
(C1067ABB) Buenos Aires • República Argentina  
[www.segemar.gov.ar](http://www.segemar.gov.ar) / [segemar@secind.mecon.gov.ar](mailto:segemar@secind.mecon.gov.ar)

ISSN 0328-2325

Es propiedad del SEGEMAR • Prohibida su reproducción

## INDICE

|  |    |
|--|----|
| 1. INTRODUCCIÓN .....  | 7  |
| 2. GEOLOGÍA Y ASPECTOS GEOTÉCNICOS .....   | 8  |
| Hugo G. Marengo – Pablo Tchilinguirian - Yanina I. Palma   |    |
| 3. GEOMORFOLOGÍA .....   | 17 |
| Pablo Tchilinguirian - Yanina I. Palma   |    |
| 4. CLIMA .....   | 22 |
| Yanina I. Palma  |    |
| 5. HIDROLOGÍA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA .....  | 23 |
| Estela Ducos – Fabian Helms – Cecilia Breard   |    |
| 6. SUELOS .....  | 40 |
| Pablo Tchilinguirian - Yanina I. Palm  |    |
| 7. VEGETACIÓN Y USO AGROFORESTAL .....   | 50 |
| Sandra Cavallaro   |    |
| 8. CARACTERIZACIÓN SOCIAL Y URBANA .....   | 59 |
| Catalina Fratolocchi   |    |
| 9. RECURSOS PAISAJÍSTICOS Y TURÍSTICOS .....   | 65 |
| Pablo Tchilinguirian   |    |
| 10. RECURSOS MINEROS .....   | 67 |
| José Portaneri - Pablo Tchilinguirian  |    |
| 11. AMENAZAS NATURALES .....   | 70 |
| Pablo Tchilinguirian   |    |
| 12. IDENTIFICACIÓN DE ZONAS APTAS PARA LA INSTALACIÓN<br>DE UN RELLENO SANITARIO, DE BARRIOS DE VIVIENDAS<br>Y CONSERVACIÓN DE BOSQUES ..... | 74 |
| Pablo Tchilinguirian - Alejandra Tejado - Yanina I. Palma  |    |
| 13. MEDIDAS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL .....  | 80 |
| Pablo Tchilinguirian - Sandra Cavallaro - Estela Ducos   |    |
| 14. BIBLIOGRAFÍA .....   | 94 |

## RESUMEN

La Carta Geoambiental de la localidad de San Ignacio realizada en el marco del Convenio de Cooperación BGR-SEGEMAR, constituye una base infraestructural sobre el estado actual del territorio y su fragilidad o sensibilidad para admitir el impacto de las actuaciones antrópicas. La misma, confeccionada desde un enfoque holístico e interdisciplinario, cuenta con la información biofísica y social del ambiente y resulta una herramienta adecuada que incorpora información de base indispensable para la optimización, aprovechamiento y/o protección de los recursos naturales.

El área de estudio ocupa una superficie de 300 km<sup>2</sup> y está ubicada en el sector occidental de la provincia de Misiones, a unos 50 km al norte de la ciudad de Posadas. La localidad de San Ignacio es la población más importante y sobre la que se focalizó el estudio. Tiene 6.260 habitantes y ocupa un área de 4 km<sup>2</sup>.

El relieve del área es ondulado, formado por valles de origen fluvial que tienen cursos de agua de régimen permanente y que desembocan en el río Paraná. Los desniveles máximos alcanzan los 80 m de altura y las pendientes medias del área son de 5 a 10°. Los valores de fuertes pendientes (mayor a 45°) ocupan las laderas de algunos cañadones y escarpas rocosas y cubre solamente el 2% de la superficie del área.

La geología del área está conformada por areniscas de la Formación Solari, basaltos de la Formación Posadas (Marengo *et al.*, 2005), sedimentos arcillosos formados a partir de la meteorización y edafización del basalto y limos y arenas en las terrazas aluviales.

Los suelos se clasifican como Ultisoles, Alfisoles, Entisoles y Molisoles. Los dos primeros son de textura arcillosa, tienen un perfil A, B, C y se desarrollan en los afloramientos de basalto meteorizado. Los Entisoles se forman en los afloramientos alterados de areniscas y tienen una secuencia de horizontes A, C. Todos los suelos presentan escasa materia orgánica, colores de oxidación (rojos) y están parcialmente lavados. En las zonas deprimidas dominan suelos hidromórficos de texturas arenosas o arcillosas. Los suelos más productivos para el cultivo del té y yerba mate son los Alfisoles, mientras los Entisoles son más aptos para las forestaciones.

La hidrogeología está integrada por dos acuíferos importantes. El acuífero freático se presenta en toda el área con profundidades de 10 m en los interfluvios y pendientes < 1 m en los fondos de los valles. Son aguas dulces, de baja conductividad, bicarbonatadas cálcicas y con recargas locales en las zonas altas. El acuífero confinado es multicapa y se encuentra entre los 70 y 150 m alojado tanto en basaltos como en areniscas. Las aguas del mismo son aptas para el consumo y tienen mayor productividad que el acuífero freático. Los niveles estáticos se ubican cercanos a la cota del río Paraná y las zonas de recarga también son locales.

El modelado de la región básicamente está definido por la acción hídrica la cual está controlada por la resistencia tanto de las areniscas y basaltos a la erosión y a la meteorización. Los afloramientos basálticos son poco resistentes debido a que están muy meteorizados y en consecuencia se desarrollan relieves con pendientes suaves. Las areniscas se comportan de dos formas, aquellas que están silicificadas son resistentes y dan como resultado pendientes fuertes y escarpas. Por otro lado, las areniscas con escasa silicificación originan relieves ondulados que son semejantes a los desarrollados sobre las rocas basálticas. Otras geoformas que se desarrollan son dos niveles de terraza aluvial y planicies aluviales. Los peligros geológicos más importantes son los anegamientos en los valles y planicies aluviales y las caídas de rocas en las escarpas donde las afloran areniscas más silicificadas.

La vegetación de la provincia de Misiones caracterizada en su mayor parte por selvas tropicales y subtropicales, representa uno de los biomas con mayor biodiversidad en nuestro país. En el área de estudio es posible encontrar selvas hidrófilas en las riberas del Paraná con ejemplares leñosos, arbustivos y un sotobosque denso con helechos arborescentes, bambúceas y otras especies; selvas y bosques abiertos con urunday (*Astronium balansae*); sabanas en parches irregulares, con pajonales de "paja azul" y con la palmerita enana (*Allagoptera campestre*). El avance de la frontera forestal está provocando la reducción y alarmante fragmentación de la selva, situación que conduce a una creciente pérdida de biodiversidad y produce parches selváticos no sustentables.

El patrón del uso del suelo está integrado por remanentes de la selva de Urunday, zonas de cultivo de yerba mate, té, mandioca y forestaciones de pinos. Las áreas urbanas se clasifican en tres zonas de acuerdo al tipo de vivienda, densidad de población y servicios de infraestructura. De esta forma se identifica un núcleo urbano residencial, una zona periurbana residencial y periurbana de tipo rural.

En el área hay una reserva natural y un sitio de patrimonio cultural. La primera corresponde a la reserva natural de Teyú Cuaré y la segunda a las Ruinas de San Ignacio. Otros puntos singulares de interés paisajístico se ubican en el sector occidental de la zona junto a la rivera del río Paraná. Corresponden a visuales amplias que agrupan distintos planos de alto valor estético donde se integran ecosistemas ribereños junto con cañadones y escarpas rocosas con vegetación selvática poco degradada.

Los impactos ambientales actuales están reflejados por la erosión hídrica de los suelos cuando se desmonta la selva para la actividad agrícola y los caminos forestales y rurales, la contaminación por nitratos en las aguas subterráneas en la zona urbana y periurbana, la degradación del paisaje natural y las visuales por la actividad de los desmontes, la degradación del ecosistema selvático junto con los corredores biológicos y la degradación de estructuras históricas por mal manejo del movimiento turístico. La erosión hídrica de los suelos subtropicales, tal vez sea el mayor impacto en los recursos naturales debido a que se degrada gran parte del horizonte A. La baja reversibilidad y elevada persistencia del impacto determinan que la acción del desmonte sea la principal actividad impactante en la región.

En el presente informe se analiza la aptitud del suelo para la disposición de residuos sólidos urbanos, la instalación de barrios de viviendas y se delimitan sitios de interés para la conservación de los ecosistemas naturales.

Toda la información mencionada se presenta gráficamente por medio de mapas a escala 1:35.000 y en formato digital, mediante la utilización de un Sistema de Información Geográfica.

Finalmente, el análisis de toda la información permite elaborar un capítulo final referido a medidas de protección ambiental donde se describen recomendaciones y sugerencias sobre el manejo de los recursos naturales.

---

## SUMMARY

The environmental geological map of the city of San Ignacio, worked out in the frame of a German-Argentine co-operation project between the Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR) and the Geological Survey of Argentine (SEGEMAR), shows the actual natural base conditions from the point of view of Geosciences and its vulnerability to human activities. This basic information consists of an interdisciplinary overall concept and takes in consideration bio-physical and social aspects. As a result an adequate tool is provided to optimize the sustainable use and conservation as well as protection of natural resources.

The study area expands over 300 km<sup>2</sup>. It is located in the western part of the Argentine Misiones province, about 50 km north of the province capital Posadas. The city of San Ignacio is the only town in the area. 6260 people live there. The expansion of the city is about 4 km<sup>2</sup>.

It is a hilly area structured by some valleys. All rivers are permanent ones and belong to the catchment area of the Paraná River. The relative difference in high is not more than 80 m. The average slope inclination lies between 5 and 10°. Some canyons and cliffs show slope inclination higher than 45°, but cover not more than 2 % of the total area.

The geology is determined by upper Triassic to lower Jurassic sandstones which is the Solari Formation. The sequence is covered by upper Jurassic to lower Cretaceous basalts which are described as Posadas Formation (Marengo *et al.*, 2005). Younger sequences are the alteration clays of basalts and the youngest fluvial sandy terrace deposits.

Ultisol, Alfisol, Entisol and Mollisol are widespread. The first ones contain clay and are characterized by an A-B-C soil profile. These soils are developed on altered basalts. The Entisols are developed on weathered sandstone and show as soil profile only A-C-horizons. All existing soils contain a low content of organic material and are of red colour. Most of them are out washed. In depressions sandy to clayey hydromorphic soils are dominant. Alfisols are the most suitable one for mate and tea cultivations. Entisols are best for forest plantations.

There are two aquifer systems. The groundwater level of the unconfined system is in a depth of 10 m below surface in the surroundings, in the valley itself less than 1 m. The water is characterized by low electrical conductivity. The recharge takes place in the neighbouring highlands.

The deeper confined aquifer system is multilayered in a depth of about 70 to 150 m below surface and is related to the sandstones and basalts as well. The water is best suitable for drinking water. The productivity of the deeper aquifer is higher than of the lower one. The groundwater table is controlled by the Paraná River. The recharge takes place in the near neighbourhood.

The morphology of the region is controlled by the drainage of superficial water and the resistance of the sandstones and basalts against erosion. The basalts are prone to a higher degree of weathering and shows smoothly shaped hills as well as the less cemented sandstone. Highly silicified sandstones form steep slopes and cliffs. Two levels of fluvial terraces are developed.

Inundations in the valleys and rock fall from the cliffs, where sandstone are outcropping, are the most dangerous natural hazard.

The vegetation of the Misiones province is characterized by tropical and subtropical forests. The vegetation cover presents a bio mass with one of the most diverse one of Argentine. There are swamp forests at the banks of the Paraná River with high forests, shrubs, and dense undergrowth with tree fern, bamboo and other species, jungle and sparse forests with "Urunday" (*Astronium balansae*) as well as savannahs with bush ("Paja azul") and midget palm trees (*Allagoptera campestre*).

The progress of deforestation cause a reduction and alarming dismemberment of the forests. These dismembered forests will not be able to survive.

The land use is determined by already dismembered "Urunday" forests, cultivation of mate, tea, and manioc as well as pine tree plantations. The classification of urban residential areas is based on residential type, population density, and provision of public services. There are three classes with an urban nucleus with residential areas, a ring of suburban residential area, and a rural surrounding area.

The natural protection area "Teyú Cuaré" and the ruins of the Jesuitical urban settlement, which is under the protection by UNESCO as a world cultural heritage, are located in the city of San Ignacio or nearby. Other points of

touristic interest are situated at the river banks in the western part. These points are well-known for its beauty of landscape, the ecosystems, canyons and cliffs where more or less unspoiled forests grow.

Environmental impacts like forest clearing for agricultural use and the construction of a road net for the forestry and agriculture effects the degradation of soil by erosion of running water. The enrichment of nitrate in the groundwater in the urban centre and suburban zone, the destruction of historical structures through a poor touristic management are further reasons for impacts to the nature. The degradation of subtropical soils, especially of the A-horizon, is most probably the most important one in this zone caused by forest clearing.

In the present report the investigation and analysis is shown to identify the best suitable area for a sanitary landfill. Also included is the determination of appropriate areas for the future expansion of the city. There are also recommendations to protect some special zones for its sound ecosystems.

A closer overall examination of all data and information allows the elaboration of a final chapter with some reference to protect the environment. In this chapter some recommendations and suggestions are made for a sustainable use of the natural resources.

All described information is shown on special maps at scale 1: 35.000. The project data are stored, analysed and elaborated in a Geographic Information System (GIS).

---

## ZUSAMMENFASSUNG

Die umweltgeologische Karte des Stadtgebietes von San Ignacio, die im Rahmen einer deutsch argentinischen Kooperation zwischen der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover, und dem Geologischen Dienst von Argentinien (SEGEMAR), Buenos Aires, entstanden ist, beschreibt das Gebiet aus der Sicht der Geowissenschaften und seine Anfälligkeit gegenüber menschlichen Aktivitäten. Diese Grundinformation, die auf einem interdisziplinären Gesamtkonzept besteht, berücksichtigt auch biophysikalische und soziale Umweltaspekte und bietet als Ergebnis mit seinen wesentlichen Informationen ein angemessenes Werkzeug für die nachhaltige Nutzung und den Schutz der natürlichen Ressourcen.

Das Arbeitsgebiet bedeckt eine Gesamtfläche von ca. 300 km<sup>2</sup> und liegt im westlichen Teil der Provinz Misiones, etwa 50 km im Norden der Provinzhauptstadt Posadas. Die Stadt San Ignacio ist die zentrale Stadt im untersuchten Gebiet und beherbergt 6260 Menschen. Die Stadt dehnt sich auf eine Fläche von 4 km<sup>2</sup> aus.

Das Gebiet ist hügelig und mit Tälern durchzogen. Die Flüsse führen ganzjährig Wasser und gehören zum Einzugsgebiet des Río Paraná. Die größten Höhenunterschiede betragen 80 m. Die mittleren Hangneigungen liegen zwischen 5 und 10°. Einige Einschnitte und Felsklippen haben Hangneigungen größer als 45°, bedecken aber insgesamt nur 2 % der Gesamtfläche.

Die Geologie des Gebietes besteht aus Sandsteinen der oberen Trias bis unterem Jura. Die Sandsteine gehören zur Solari Formation. Es folgen Basalte der Posadas-Einheit, die vom oberen Jura bis zur unteren Kreide reichen. Die Posadas Formation oder der Formation Serra Geral (Marengo *et al.*, 2005) zugeordnet. Junge Verwitterungstone auf den Basalten, sowie Lehme und Sande der jungen Flussterassen bilden die jüngsten Einheiten, deren stratigraphisches Alter bislang noch nicht endgültig geklärt ist.

Die Böden sind als Ultisol, Alfisol, Entisol und Mollisol ausgebildet. Die ersten beiden Bodenarten sind tonig entwickelt und durch ein Profil mit A - B - C Horizonten gekennzeichnet. Diese Böden entstehen auf verwitterten Basalten. Die Entisole bilden sich auf verwitterten Sandsteinen und zeigen eine Abfolge von A - C Horizonten. Alle Böden führen einen geringen Anteil an organischem Material, zeigen rote Oxidationsfarben und sind gelegentlich ausgelaugt. In Senken herrschen sandige bis tonige hydromorphe Böden vor. Für den Anbau von Matepflanzen und von Teesträuchern bieten Alfisole die besten Voraussetzungen. Entisole eignen sich für forstwirtschaftliche Anpflanzungen.

Die Grundwasservorkommen werden in zwei Aquifersystemen gespeichert. Der ungespannte Grundwasserleiter liegt in einer Tiefe von etwa 10 m unter Gelände in den Gebieten zwischen den Flüssen und in den Hanglagen. In den Talauen wird der freie Grundwasserspiegel bereits bei Tiefen von weniger als 1 m angetroffen. Es handelt sich um Süßwasser mit geringer Leitfähigkeit. Die lokale Grundwasserneubildung findet in den benachbarten Hochlagen statt.

Der gespannte Grundwasserleiter ist vielschichtig und befindet sich in Tiefen zwischen 70 und 150 m, sowohl in den Sandsteinen wie auch in den Basalten. Die Wässer dieses Grundwasserleiters sind als Trinkwasser gut geeignet. Der tiefere Aquifer hat eine höhere Produktivität als der flache Aquifer. Die Grundwassergleichen sind an die Wasserstände des Río Paraná angepasst. Der Recharge findet lokal statt.

Die Geländeformen sind in erster Linie durch den Abfluss des Oberflächenwassers bestimmt, welche durch die Widerstandsfähigkeit der Sandsteine und der Basalte gegenüber den Erosionskräften sowie deren Verwitterungsverhalten kontrolliert ist. Die Basalte neigen zu einer stärkeren Verwitterung. In diesen Gebieten herrschen deswegen sanft geformte Hänge mit einem weniger ausgeprägten Relief vor. Ein ähnliches Bild der Geländeformen zeigen auch die wenig silifizierten Sandsteine. Die stark verkieselten Sandsteine dagegen bilden steile Hänge und Klippen. Zwei Terrassenstufen in den Fluss-Sedimenten sind ausgebildet.

Überschwemmungen in den Tälern und Steinschlag an den Klippen, wo Sandsteine anstehen, sind die einzigen erwähnenswerten natürlichen Gefährdungen.

Die Vegetation der Provinz Misiones ist im Wesentlichen durch tropische und subtropische Wälder charakterisiert und repräsentiert eine Biomasse mit einer der mannigfaltigsten Artenvielfalt Argentiniens. Im Arbeitsgebiet befinden sich Sumpfwälder an den Ufern des Paraná mit Hochwald, Sträuchern und Büschen sowie dichtem Unterholz mit Baumfarn, Bambusgehölzen, und anderen Arten, dichtere (Dschungel) und lichtere Wälder mit "Urunday" (*Astronium balansae*) sowie Savannen mit Dornbusch ("Paja azul") und Zwergpalmen (*Allagoptera campestre*). Das Fortschreiten

der Rodungen führt zu einer Verkleinerung und alarmierenden Zerstückelung der Wälder, die zu einem Verlust der Artenvielfalt führt. Die zerstückelten Waldgebiete sind nicht überlebensfähig.

Das Gesamtbild der Landnutzung ist gekennzeichnet durch die Restbestände der "Urunday"-Wälder, Anpflanzungen mit dem Matestrauch, Tee und Maniok sowie Aufforstungen mit Kiefern. Die städtischen Siedlungsgebiete sind auf der Basis von Siedlungstyp, Bevölkerungsdichte und Bereitstellung öffentlicher Dienstleistungen in drei Zonen gegliedert. Danach kann ein städtischer Kern mit Wohnsiedlungen, ein Ring mit Vorstadtcharakter und ein ländliches Umland unterschieden werden.

Im Gebiet von San Ignacio liegen das Naturschutzgebiet "Teyú Cuaré" und die Ruinen einer jesuitischen Stadsiedlung, die als Weltkulturerbe unter den Schutz der UNESCO gestellt worden sind. Andere touristische Punkte liegen am Ufer des Paraná, im Westen des untersuchten Gebietes und zeichnen sich neben landschaftlicher Schönheit durch intakte Ökosysteme im Uferbereich des Paraná, Schluchten und Felsklippen aus, wo noch weitgehend unberührte Wälder wachsen.

Beeinträchtigungen der Umwelt wie Rodungen für die landwirtschaftliche Nutzung und das Anlegen eines Wegenetzes für die Forst- und Landwirtschaft führen zu einer Zerstörung des Bodens infolge der Erosion durch fließendes Oberflächenwasser. Die Anreicherung von Nitrat im Grundwasser in der städtischen Kernzone sowie im ländlichen Umland, die Zerstörung der Ökosysteme der Wälder im Zusammenhang mit der Zerstörung historisch gewachsener Strukturen durch ein schlechtes Management des Tourismus sind weitere Quellen für schädliche Eingriffe in die Natur. Die Zerstörung der subtropischen Böden, insbesondere des A-Horizontes, ist lokal gesehen wahrscheinlich die größte Beeinträchtigung der natürlichen Ressourcen, in erster Linie durch die Rodungsarbeiten hervorgerufen.

Im vorliegenden Bericht wird eine Untersuchung der Böden hinsichtlich ihrer Eignung für die Lagerung von Hausmüll und der Ausweisung von geeigneten Flächen für Wohnsiedlungen vorgestellt. Es werden Zonen abgegrenzt, welche wegen ihrem Ökosystem geschützt werden sollten.

Eine Gesamtbetrachtung aller Daten und Informationen erlaubt die Ausarbeitung eines Schlusskapitels mit Bezug zu Maßnahmen zum Schutz der Umwelt. Hier werden Empfehlungen und Anregungen zum Umgang mit den Naturressourcen gegeben.

Die gesamten erwähnten Informationen sind in Karten im Maßstab 1: 35.000 dargestellt und stehen ebenfalls digital in einem geographischen Informationssystem zur Verfügung.

## 1. INTRODUCCIÓN

El progreso económico y el crecimiento poblacional producen no sólo una demanda constante de tierras sino una creciente presión sobre el medio biofísico. Para alcanzar los objetivos de un desarrollo sustentable se hace necesario conocer el territorio en sus aspectos físicos, ecológicos y sociales, de modo tal de poder integrar esa información para realizar planes de ordenamiento.

El Municipio de San Ignacio (figura 1), con su entorno natural y su riqueza histórica y cultural, presenta un crecimiento poblacional, desarrollo agroforestal y turístico que requieren de estudios Geoambientales y de Ordenamiento Territorial para asegurar un crecimiento equilibrado y sustentable. Ofrece singularidades históricas y culturales como las Ruinas de las Misiones Jesuíticas, la casa del escritor Horacio Quiroga, a las que se suman sitios naturales como la Reserva Provincial de Teyú Cuaré.

Ante la necesidad de poseer pautas y normas regulatorias, la Municipalidad de San Ignacio planteó contar con un instrumento idóneo para establecer los usos del suelo y la localización funcional de

las actividades económicas e infraestructura. Para ello solicitó el apoyo técnico-científico de la Dirección de Geología Ambiental y Aplicada del Instituto de Geología y Recursos Mineros (IRGM) dependiente del Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR).

En respuesta a esta demanda se confeccionó la Carta Geoambiental de la localidad de San Ignacio, la cual fue ejecutada en el marco de un Convenio de Cooperación BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe)-SEGEMAR.

La carta fue concebida para proporcionar un inventario de la información biofísica y social del ambiente, integrando la geología, los suelos, la vegetación, minería, amenazas naturales, aguas y el aspecto social. La interacción de estos datos constituye una herramienta adecuada para la optimización, aprovechamiento y/o protección de los recursos naturales.

El presente informe constituye una base sobre el estado actual del territorio y su fragilidad o sensibilidad para admitir el impacto de las actuaciones antrópicas y será de directa aplicación en distintos ámbitos científicos, técnicos y económicos.

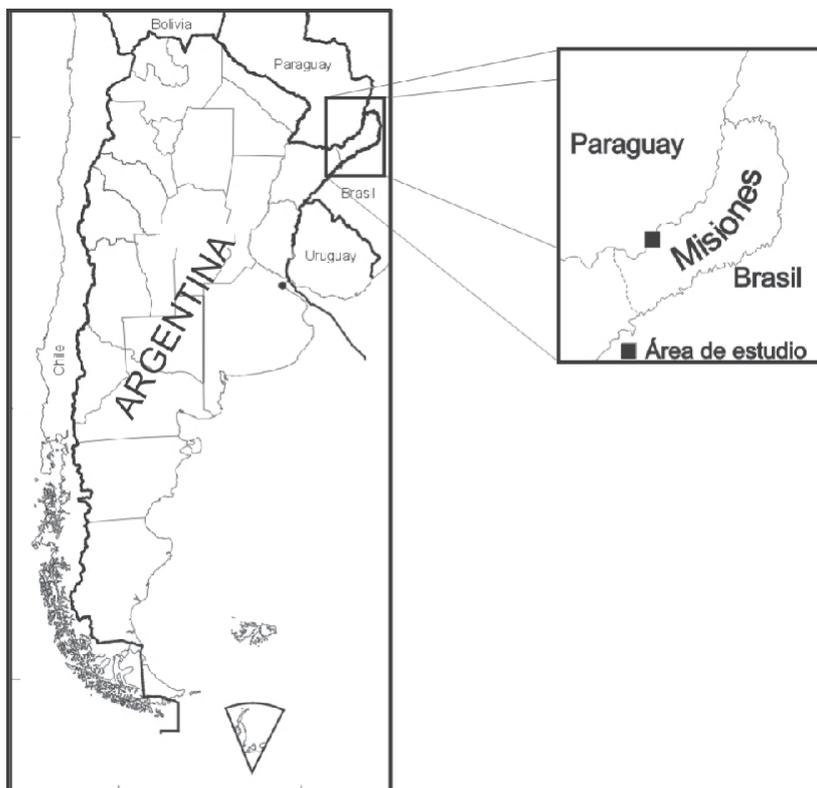


Figura 1. Área de estudio.

## 2. GEOLOGÍA Y ASPECTOS GEOTÉCNICOS

La geología del área de San Ignacio, como la de toda la provincia de Misiones, es una de las menos conocidas de la Argentina y es notoria la escasez de trabajos de detalle sobre las secciones más representativas. Esta área es clave en toda la región, ya que es la única donde afloran las areniscas mesozoicas de la Formación Solari, y donde se observa claramente el contacto con los basaltos superpuestos. Es importante aclarar, además, que es el único lugar del país donde afloran las rocas que alojan el Acuífero Guaraní o del MERCOSUR y una posible zona de recarga del mismo.

### ANTECEDENTES

Entre los trabajos existentes sobre la geología de Misiones, pocos aportan datos originales, y entre ellos varios de los más interesantes son informes inéditos o de muy escasa difusión, merecen destacarse los de Cordini y Riggi (1959), Ardolino y Mendía (1989) y los de la COMIP (Comisión Mixta Argentino-Paraguaya del río Paraná, 1980). El resto de los trabajos son muy antiguos (Fourous, 1903) o son de recopilación, sin información original sobre el tema tratado (Fernández Garrasino, 1995). Entre los publicados en países limítrofes, algunos son de gran utilidad para comprender varios de los aspectos geológicos considerados y sobresalen los de Soares (1981), Sprechmann *et al.* (1981) y França *et al.* (2003). Recientemente, Marengo y Net (2004) realizaron un análisis petrográfico sobre las areniscas del área.

### MATERIALES Y MÉTODOS

Para la ejecución del mapa se utilizaron las bases topográficas del IGM (Instituto Geográfico Militar) y C.A.R.T.A. (1963), imágenes satelitales Landsat TM y Aster, y fotografías aéreas. La densa vegetación y la extendida cubierta superficial de suelos lateríticos y depósitos coluviales dificultaron en gran medida el mapeo, por lo que fue necesario hacer tareas de campo muy detalladas. Se describieron más de 600 localidades para observar las rocas o sedimentos presentes; se tomaron unas 100 muestras, con las que se realizaron 54 análisis mineralógicos de grano suelto (tabla 1) y 16 cortes petrográficos de areniscas y basaltos. Además se analizaron los testigos corona de varias perforaciones efectuadas por la COMIP.

Se prestó especial atención a las unidades mesozoicas, por lo tanto en el mapa geológico no se

representaron los depósitos lateríticos ni coluviales, que forman una delgada capa que cubre casi toda el área del mapa. Las secciones estratigráficas fueron realizadas según la distribución de las perforaciones de la COMIP y fueron extendidas hasta donde la información relevada es medianamente confiable.

### ESTRATIGRAFÍA

La división estratigráfica existente para la región es muy incompleta e inadecuada según lo observado durante este proyecto. La nomenclatura se sigue solamente a los efectos de orientar al lector interiorizado y se restringe a las unidades mesozoicas. El resto de las unidades son informales y se asignan con reservas al Cuaternario. El orden en que fueron expuestas no implica necesariamente su orden estratigráfico, ya que en general no se tiene certeza sobre sus edades relativas ni absolutas.

#### **Formación Solari** (Herbst, 1971)

*Areniscas eólicas. Triásico tardío-Jurásico temprano (T3-J1EA)*

#### *Características generales*

Esta formación está compuesta por areniscas cuarzosas a cuarzo-feldespáticas, de grano fino a medio, con escasos niveles con algún contenido de sábulo o grava muy fina, y delgados bancos pelíticos cerca de su base. En general, poseen estratificación entrecruzada de alto ángulo (25-30°), en *sets* de hasta 1,5 m de potencia (figuras 2 a 5), típicamente indicadores de ambientes eólicos; también se observan sectores con estratificación plana o masiva. En afloramientos, son de colores rosados y anaranjados, pero en el subsuelo llegan a tonalidades amarillentas muy claras; los niveles pelíticos, de hasta 1 m de potencia, son de colores rojizos, castaño claro, hasta verde oliva con escasos restos carbonosos. Generalmente se hallan bien consolidadas, especialmente en zonas cercanas al contacto con las rocas volcánicas de la Formación Posadas, aunque en algunos sectores son muy friables.

En la tabla 1 se exponen los resultados de los análisis mineralógicos en preparados de grano suelto y en cortes petrográficos, promediados con valores dados por otros autores. El contenido actual de feldespatos y fragmentos líticos es muy bajo, aunque varias evidencias petrográficas indican que fue mucho mayor en el sedimento original, y que se produjeron intensos procesos de disolución en forma tardía; la cantidad original de estos componentes fue

|                    | Laterita remov. | Laterita <i>in situ</i> | Arenas Paraná | Arenas Yabebiry | Naú  | Basalto * | Arenisca ** |
|--------------------|-----------------|-------------------------|---------------|-----------------|------|-----------|-------------|
| % >62 micrones     | 66,9            | 28,6                    | 84,8          | 31,4            | 25,7 | 25,9      | 78,7        |
| Cuarzo             | 56,5            | 24,4                    | 40,9          | 9,9             | 44,1 | 3,8       | 87,0        |
| Ortosa             | 0,7             | 1,3                     | 1,2           |                 | 1,7  |           | 6,0         |
| Plagioclasa        |                 |                         |               |                 |      |           | 3,5         |
| Plagioclasa zonal  | 34,5            | 45,5                    | 45,4          | 51,3            | 48,7 | 49,3      |             |
| Líticos volcánicos | 1,2             | 4,9                     | 2,1           | 5,0             | 1,8  | 9,1       | tr          |
| Microclino         | 0,5             |                         | 0,3           |                 | 0,5  | tr        | 1,0         |
| Vidrio             | 1,0             | 0,5                     |               | 1,0             |      |           |             |
| Micas              | 3,9             | 0,7                     |               | 0,3             |      |           | tr          |
| Augita             |                 | 3,6                     | 0,7           | 1,0             | 0,3  | 0,9       | tr          |
| Hornblenda verde   | 0,3             | 1,6                     | 0,5           |                 | 0,3  | 0,3       | tr          |
| Homb. basáltica    |                 |                         | 0,3           |                 | tr   |           |             |
| Hipersteno         |                 |                         | 0,7           |                 |      |           | tr          |
| Minerales opacos   | 0,9             | 14,5                    | 6,2           | 30,1            | 2,0  | 33,9      | 1,5         |
| Circón             | 0,3             |                         | 0,6           |                 |      |           | tr          |
| Granate            |                 |                         | 0,3           | 0,3             | 0,5  | 0,3       | tr          |
| Epidoto            |                 | 3,0                     | 1,2           | 1,0             |      | 2,5       | tr          |
| Muestras           | 9               | 7                       | 5             | 1               | 7    | 4         | 21          |

**Tabla 1.** Mineralogía de diferentes litologías, según análisis de grano suelto. \* realizado sobre muestras de basalto muy alterado. \*\* análisis de grano suelto, cortes petrográficos y datos previos.

estimada contabilizando los clastos con disolución parcial a muy avanzada y se obtuvieron valores muy similares a los dados por França *et al.* (2003) para muestras sin evidencias de disolución.

Los mayores afloramientos alcanzan una potencia de unos 80 m, a los que habría que sumar los 90-100 m alcanzados en las perforaciones de la COMIP, en consecuencia, las areniscas tendrían un espesor superior a los 170-180 metros.

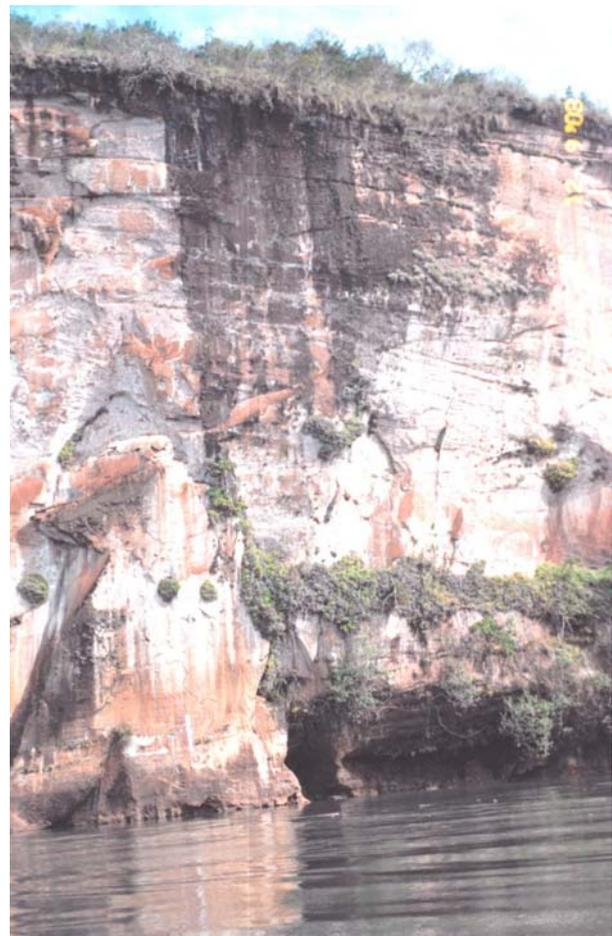
#### *Relaciones estratigráficas y distribución*

Las areniscas del área de San Ignacio habitualmente fueron asignadas a la Formación Solari, aflorante en el centro de la provincia de Corrientes. Las observaciones efectuadas durante la realización de este estudio indican que la correlación entre ambas secciones sería incorrecta, de todos modos se mantiene este nombre para evitar controversias que escapen a los objetivos del mismo, reservándose para el futuro una redefinición estratigráfica.

El área estudiada sería la única en el país donde afloran estas areniscas; son muy importantes en el subsuelo de toda la provincia de Misiones y de casi toda la Cuenca Chacoparanense, donde se las conoce con los nombres de Formación Tacuarembó y Formación San Cristóbal, entre otros, y constituyen un importantísimo reservorio de agua potable y con usos medicinales y turísticos, conocido como Acuífero Guaraní o del MERCOSUR, que según Soares (1981) y Fernández Garrasino (1995) tendría una extensión de entre 1 y 2 millones km<sup>2</sup>, repartidos entre la Argentina, Uruguay, Paraguay y Brasil.

Aunque algunos autores consideraron que estas areniscas están intercaladas dentro de las coladas de la Formación Posadas (Hausen, 1919; Fernández Garrasino, 1995), y por lo tanto serían de su mis-

ma edad e inclusive algo más jóvenes, el contexto geológico regional, las observaciones de campo, y sus características petrográficas, permiten correlacionarlas sin dudas con las formaciones Botucatu (Brasil) y Misiones (Paraguay), depositadas previamente a las efusiones basálticas.



**Figura 2.** Vista general de un peñón formado por las areniscas de la Formación Solari, en la costa del río Paraná, en las cercanías de Teyú Cuaré.



**Figuras 3 y 4.** Estratificación entrecruzada característica de ambiente eólico, en las areniscas de la Formación Solari.



**Figura 5.** Cantera de lajas de arenisca de la Formación Solari, en la zona del Puerto Viejo.



**Figura 6.** Contacto entre la colada basáltica y las areniscas de la Formación Solari, en cantera de "ripio".



**Figura 7.** Afloramiento de basalto de la Formación Posadas; se observa solamente la parte central, masiva, de una colada muy potente.

Recientemente, Marengo y Net (2004), mediante un estudio mineralógico y diagenético, demostraron una muy alta afinidad entre las areniscas aflorantes en San Ignacio y las descripciones de las areniscas de Botucatú, según França *et al.* (2003). Además, pudieron establecer que entre el fin de su deposición y el comienzo del volcanismo, transcurrió un largo período de tiempo, según evidencias diagenéticas y de campo.

La distribución geográfica de las areniscas es compleja (ver mapa geológico y cortes estratigráfi-

cos), resultado del tectonismo y la intensa erosión; en algunos casos, las areniscas ocupan los altos del terreno y las coladas basálticas se depositaron en los paleovalles, en otros casos las areniscas han sido erosionadas y se produjo una inversión de relieve, hallándose las coladas en las partes altas del terreno; además la presencia de filones capa y diques basálticos, y algunas areniscas intercaladas entre las coladas, contribuyen a confundir la interpretación de la distribución y posición estratigráfica de la Formación Solari.

### Edad

Los únicos fósiles hallados hasta el momento, corresponden a conchostracos asignados, con dudas, a la base de la Formación Botucatu y que corresponderían al Triásico tardío. Según lo expuesto previamente, su depositación habría culminado mucho tiempo antes del comienzo de la actividad volcánica, datada en el Jurásico tardío.

### Usos

Estas areniscas fueron empleadas como material de construcción al menos desde el siglo XVII, para la edificación de las reducciones jesuíticas de San Ignacio, Santa Ana y Nuestra Señora de Loreto. Poseen poca resistencia a la erosión y son moderadamente friables, pero debido a su abundancia, partición natural en lajas en algunas canteras, y capacidad para ser cortadas en grandes bloques y para delicados trabajos de tallado, permitió utilizarlas para la construcción de paredes de gran porte, columnas, dinteles, frisos, baldosas, entre otras piezas que han sobrevivido hasta nuestros días. Estos materiales fueron reutilizados en forma tardía en los pueblos cercanos para la construcción de algunas viviendas y pisos. En la actualidad se explotan en forma rudimentaria algunas canteras localizadas en las cercanías del Puerto Viejo (foto 4), donde se obtienen lajas de diversos colores y dureza; aunque la mayoría son solamente aptas para revestimientos poco resistentes al desgaste, algunas poseen un grado de cementación que las hace aptas para su utilización en pisos.

Debido al alto valor ornamental y a su relación con el legado cultural de los jesuitas, sería recomendable fomentar un uso más racional de este recurso, tendiente a producir manufacturas con un mayor valor agregado.

### Formación Posadas (Gentili y Rimoldi, 1980)

#### a) Facies volcánica

*Basaltos toleíticos. Jurásico tardío-Cretácico temprano (J3-C1VB)*

#### Características generales

Esta unidad está conformada por coladas basálticas, de tipo toleítico (Teruggi, 1955), con diques y filones capa asociados. Se caracteriza por la abundancia de labradorita y andesina no zonal, escaso feldespato potásico, augita y pigeonita generalmente cloritizadas, muy escasa olivina parcialmente re-

emplazada por iddingsita, y abundante magnetita; la textura es comúnmente ofítica y afanítica y en algunos casos hialina y traquítica.

Las coladas son subhorizontales y de espesores muy variables, hasta 20 m o más (figura 7); suelen ser masivas en su parte central, en tanto que su base y, principalmente su techo, poseen texturas alveolares, con vesículas y amígdalas, de dimensiones y formas muy variables, rellenas con calcedonia, ópalo, cuarzo (cristal de roca, cuarzo rosa, amatista y citrino), calcita, ceolitas, cloritas y arcillas no determinadas. Los basaltos masivos están densamente diaclasados, según 3 direcciones preferenciales perpendiculares entre sí; en zonas muy cercanas a la superficie es muy habitual la disyunción esferoidal, se forman bochones de entre 50 hasta 10 cm, los que decrecen en tamaño a medida que avanza la meteorización química.

Los diques, de composición aparentemente basáltica, poseen diferentes inclinaciones y espesores que oscilan entre 0,5 a 30 m, aunque en otros sectores de la cuenca de Paraná se han registrado algunos mucho mayores (Soares, 1981). Además, existe gran cantidad de pequeños diques y venillas silíceas, desarrollados tanto en las areniscas como en las coladas de basalto, lo cual indica una actividad de tipo hidrotermal asociada al volcanismo.

#### Relaciones estratigráficas y distribución

La cartografía geológica provincial (1:50.000) efectuada por la empresa C.A.R.T.A., identificó hasta 13 coladas correlacionadas a lo largo de gran parte de la provincia. Las observaciones realizadas permitieron descartar totalmente esta idea, ya que las coladas son esencialmente de carácter local, han sido emitidas desde gran cantidad de zonas de fractura, y se depositaron respetando una paleotopografía en ocasiones muy accidentada, incluso impidiendo el seguimiento de un mismo cuerpo en distancias muy cortas. Las coladas se distribuyen en toda la zona estudiada, aunque no en forma regular, ya que en la parte occidental son pequeñas y de escaso espesor, y hacia el este, predominan ampliamente sobre los afloramientos de areniscas y se hacen mucho más potentes.

#### Edad

Dataciones radimétricas realizadas en varios sectores de las cuencas de Paraná y Chacoparaneño, indican que la edad de las coladas basálticas varía entre el Jurásico tardío y el Cretácico temprano (Fernández Garrasino, 1995).

## Usos

En algunos sectores donde los basaltos de tipo masivo poseen diaclasamiento regular y con planos de fractura lo suficientemente cercanos entre sí, se explotan canteras para el adoquinado de las calles y veredas de los pueblos. En algunos casos en que las coladas son muy delgadas y se hallan moderadamente meteorizadas, el basalto se ha fragmentado en trozos angulosos de pocos centímetros, los que son empleados para uso vial (figura 6).

Se hallaron algunas manifestaciones de cuarzo de diferentes colores y se observó la comercialización en pequeña escala de fragmentos de geodas con amatistas de baja a mediana calidad, aparentemente provenientes de zonas cercanas a San Ignacio, aunque no se han encontrado los afloramientos correspondientes.

Es muy posible la existencia de amatista y otras variedades de cuarzo con valor comercial, como ocurre en otros lugares de la provincia, por lo que se recomienda su prospección, teniendo en cuenta que su distribución en subsuelo podría aumentar la calidad de los cristales.

### b) Facies clástica

*Areniscas intercaladas. Jurásico tardío-Cretácico temprano (J3-CIEA)*

En varios sectores del área de trabajo, intercalados entre las coladas basálticas, se hallaron cuerpos lenticulares de areniscas rojizas a amarillentas muy duras, “cuarcíticas”, con fractura concoide y numerosos poros sobredimensionados dispuestos en forma irregular, los que indican escape de gases. Poseen mineralogía similar a las areniscas de la Formación Solari, aunque son más inmaduras; su espesor es difícil de estimar, aunque es posible que no superen los 2 metros. Habrían sido originadas por deflación o retrabajo fluvial de los afloramientos de las areniscas de la Formación Solari y mezcladas con fragmentos de basalto; su diagénesis está muy influida por procesos hidrotermales asociados al volcanismo. Como cemento se observa una asociación mineralógica muy similar a la de relleno de las vesículas de los basaltos: calcedonia-microcuarzo-megacuarzo-calcita-clorita (Marengo y Net, 2004). Estas lentes fueron frecuentemente confundidas con las areniscas de la Formación Solari, pero es indudable que son muy posteriores a ellas y contemporáneas al volcanismo basáltico.

### Alteritas y “suelos lateríticos”

(por razones de escala no se han representado en el mapa)

Los términos “suelo laterítico” y “laterita” fueron usados tradicionalmente para nominar a los suelos rojos de la provincia de Misiones, pero ha sido muy discutida su aplicación. Una discusión sobre su nomenclatura escapa a los objetivos de este estudio, por lo que se aplicará la división propuesta por de Oliveira *et al.* (1998), que designaron como *alteritas* a los materiales producidos por la descomposición del basalto, y “*suelos lateríticos*”, a las porciones superiores de los mismos, donde se observan cambios producidos por procesos edafológicos. Por otro lado, Meyer (1987) utilizó el término *alterita* en forma amplia, incluyendo en él al regolito y a los niveles edafizados. Además, se incluyen en este apartado, a los *Depósitos lateríticos retrabajados* y a los *Depósitos coluviales*, de origen variable. En todos los casos son cuerpos en forma de manto, formados por materiales residuales o depósitos sedimentarios, de color rojo, limo arcillosos, y con porcentajes variables de arena.

#### a) Alteritas y suelos lateríticos

##### *Características generales*

Las alteritas y los suelos lateríticos fueron producidos por la meteorización de las coladas basálticas. Su mineralogía está dominada por óxidos e hidróxidos de hierro, plagioclasas intermedias a básicas alteradas, piroxenos, anfíboles, caolinita, escaso cuarzo y calcedonia, y diversas variedades de arcillas y materiales amorfos. Un estudio de detalle de los cambios mineralógicos ocurridos durante la lateritización se puede consultar en Riggi y Feliú de Riggi (1964) y en de Oliveira *et al.* (1998).

En muchos perfiles se ve el pasaje gradual de basalto fresco a la alterita, la cual puede tener algunos metros de espesor (hasta 4 m expuesto) y suele preservar en forma relicta las texturas originales de los basaltos, tales como disyunción esferoidal, diaclasamientos, etc; además son comunes geodas, venillas de material silíceo y clástico y rellenos de las amígdalas, en su interior.

El límite entre la facies de alterita y los suelos lateríticos suele ser difuso, aunque en muchas ocasiones puede coincidir con una “línea de piedras” (*stoneline*), formada por pequeñas geodas, cristales de cuarzo y ópalo, entre otros materiales, sin evidencias de transporte, inclusive en algunos casos se percibieron grandes planchas de ópalo masivo en continuidad con la “línea de piedras”.

De Oliveira *et al.* (1998) discutieron varios procesos probables para su génesis. Los suelos lateríticos suelen tener 1-2 m de espesor, son muy

similares a los niveles de alteritas, aunque la bioturbación y otros procesos edafológicos han modificado parcialmente la textura y la composición mineralógica, produciendo la descomposición de los minerales más lábiles. Hacia el techo, estos suelos suelen concentrar unas concreciones brillantes de color negro, subesféricas a botrioidales, aparentemente formadas por óxidos de hierro y manganeso.

#### *Distribución*

Se desarrollan exclusivamente sobre las coladas basálticas, aunque en algunos sectores éstas afloran prácticamente sin alteraciones, posiblemente debido a algún período erosivo.

#### *Génesis y edad*

De Oliveira *et al.* (1998) explicaron la formación de estos materiales por meteorización de las coladas basálticas en un clima más húmedo y cálido que el actual, posiblemente durante el Terciario temprano, en tanto que la facies de suelos lateríticos sería una respuesta a los climas del Cuaternario. Iriondo y Kröhling (1997) aseguraron en cambio, que fueron producidos por acumulación eólica durante el Cuaternario, a partir de antiguos depósitos fluviales del río Paraná, explicándolos como un loess tropical.

Las observaciones realizadas para este trabajo indudablemente adhieren a las hipótesis de generación por meteorización, principalmente debido a la presencia de texturas basálticas relicticas y de geodas y planchas de ópalo de gran tamaño alojadas *in situ*, en el interior de las alteritas y suelos lateríticos.

#### b) Depósitos lateríticos retrabajados y Depósitos coluviales

Los Depósitos lateríticos retrabajados fueron producidos por el transporte eólico, fluvial o gravitacional de las lateritas *in situ*, con destrucción parcial a total de sus componentes lábiles (tabla 1), e incorporación de otros materiales, provenientes principalmente de las areniscas de la Formación Solari, poseen una tonalidad un poco más clara y un mayor contenido de arena y de granos de cuarzo *que las primarias*. Se pueden hallar como mantos en zonas cercanas a los depósitos lateríticos o alteríticos primarios, incluso apoyados sobre la Formación Solari; no poseen estructuras relictuales ni “línea de piedras”.

Los Depósitos coluviales provienen de la acumulación gravitacional de sedimentos y fueron depositados en laderas de lomadas y valles fluviales. Su composición es muy heterogénea, básicamente controlada por la litología dominante en la zona, y comprende desde sedimentos de aspecto laterítico, hasta acumulaciones de bloques de basalto y areniscas..

#### **“Ita Tacurú”**

*Depósitos nodulares de origen mixto. Jurásico tardío?-Reciente? (J3-H)*

Su nombre proviene del guaraní y significa “piedra hormiguero”. Son depósitos de pequeña extensión, formados por concreciones subesferoidales de óxidos e hidróxidos amorfos de hierro y manganeso, cementados por el mismo material, y con abundante material clástico en su interior; poseen porosidad muy alta, con poros sobredimensionados.

Se propusieron varias explicaciones sobre su génesis, a partir de procesos sedimentológicos, diagenéticos (Dawson, 1961), y edafológicos. Las observaciones realizadas en el área de San Ignacio parecerían indicar un origen primario para algunas de estas acumulaciones, ya que su disposición en el contacto entre las areniscas y las coladas, tanto como la forma de los cuerpos, sugieren que se trata de escorias o de material segregado de las coladas, arrastrados por delante de las mismas, con incorporación de material clástico del piso. Las investigaciones efectuadas en otras partes de la provincia parecerían apoyar los otros orígenes propuestos; posiblemente estos depósitos se puedan formar por más de un proceso o por combinación de más de uno. Su elevado contenido de hierro permitió su uso para la metalurgia por parte de los jesuitas. Durante la década de 1960 se realizó un importante proyecto, aunque nunca se llegó a la etapa de explotación.

#### **Depósitos de terraza, paleocauces y albardón del río Paraná**

*Depósitos de terraza I del río Paraná (H3FAa), Depósitos de terraza II del río Paraná (H4FAa), Depósitos de paleocauces del río Paraná (H4FA), Depósitos de albardón del río Paraná (H4FAL). Cuaternario*

La fracción clástica fue aportada principalmente desde las cabeceras del río Paraná, en el cratón Brasileño, con escasa contribución de sedimentos locales; son principalmente arenas cuarzosas con bajo porcentaje de feldespatos, líticos y minerales

pesados. Mineralógica y texturalmente maduras (tabla 1); se encuentran como depósitos de fondo de canal, terraza, albardón, islas, barras costeras y planicie de inundación. En algunos sectores se incrementa la participación de sedimentos finos, tanto de origen fluvial, como aportados desde el continente.

En la región se conoce con el nombre de Ñaú a un sedimento fangoso, de tonalidades oscuras, formado por depósitos de inundación del río Paraná, con abundante aporte laterítico o coluvial local; es muy utilizado por las pequeñas ladrilleras locales; es un recurso que se verá muy afectado cuando se produzca el aumento del nivel del río Paraná, al ser concluidas las obras de la represa de Yaciretá.

### **Depósitos de terraza y planicie de inundación del Yabebiry y arroyos menores**

*Depósitos de terraza y planicie de inundación del Yabebiry. Cuaternario (H4FLA). Depósitos de arroyos menores. Cuaternario (H4FAGL)*

Estos depósitos reflejan la mineralogía del área que recorren y son mineralógica y texturalmente inmaduros, principalmente en función de su escaso recorrido. Los depósitos del Yabebiry suelen ser más maduros, especialmente en cercanías a su desembocadura, donde se mezclan con sedimentos del río Paraná.

### **ESTRUCTURA**

Debido a que no existe información geofísica de la zona, y la cubierta vegetal dificulta la observación por medio de fotografías aéreas e imágenes satelitales, el conocimiento de la tectónica de la región es muy preliminar.

Tomando en cuenta el diseño de la red de drenaje, la información de las perforaciones, la ubicación de los diques basálticos y el contexto tectónico regional, ha sido posible identificar algunas fallas, con diferentes grados de certidumbre.

En síntesis, luego de la depositación de las areniscas de la Formación Solari, éstas fueron enterradas hasta profundidades de diagénesis moderada (500-1000 m; Marengo y Net, 2004). Entre el Jurásico medio y tardío fueron fracturadas y algunos bloques elevados hasta su posición actual. Por estas fracturas se vertieron enormes cantidades de lavas basálticas, que rellenaron relieves previos labrados sobre las areniscas, y se dispusieron en grandes mantos subparalelos. Es posible que posteriormente se hayan reactivado alguna de estas fallas, pero con

movimientos de menor escala. Desde finales del Mesozoico y durante todo el Cenozoico, la región fue un alto sometido a erosión.

### **SUBSUELO Y ASPECTOS GEOTÉCNICOS**

La descripción y caracterización de los macizos rocosos con fines geotécnicos tiene como objetivo identificar y determinar las condiciones y propiedades para prever el comportamiento de las rocas ante las excavaciones, cimentaciones y cualquier otra alteración en su estado natural con fines constructivos o extractivos.

El comportamiento de los macizos rocosos es función de las propiedades intrínsecas de la roca, como su estructura y resistencia, así como las condiciones hidrogeológicas, el clima y las tensiones a la cual está sometido.

En la zona de estudio se distinguen dos agrupaciones litológico-geotécnicas importantes: a) Los sedimentos sueltos y b) Las rocas.

Los sedimentos sueltos son agregados naturales de partículas minerales granulares y cohesivas separables por medios mecánicos de poca energía o por agitación del agua. Son materiales menos resistentes que las rocas.

Las rocas son materiales consolidados, duros y más resistentes a la rotura. Los ensayos de recuperación, que son mediciones sobre la calidad de la roca que se practican en perforaciones, determinaron para el caso de las areniscas de la zona de Ita-Curubí, a 20 km al norte de la localidad de San Ignacio, una calidad de mala a excelente según la capa o estrato de basalto analizado y presiones admisibles de 2,5 a 10 kg/cm<sup>2</sup> (Comisión Mixta Argentino-Paraguayo del río Paraná, 1980).

Los suelos, desde el punto de vista geotécnico, se clasifican según la cohesión, el contenido de humedad y la plasticidad. Basándose en este criterio se distinguen varios tipos de suelos.

Los suelos CH y MH son suelos de texturas finas, cohesivas y muy plásticas. Se presentan en las zonas que derivan de la alteración del basalto y en las depresiones del río Yabebiry. Estos sedimentos tienen dos comportamientos, en las áreas bajas e inundables están saturados o tienen altos porcentajes de humedad y por lo tanto poseen muy escasas capacidades portantes (<0,025 MPa). En las zonas altas, con buen drenaje, estos sedimentos sueltos tienen mayores capacidades portantes y son más firmes (0,05-0,25 MPa).

Los suelos del tipo SC son de textura gruesa, no cohesivos y no plásticos y se desarrollan en las zonas donde afloran areniscas y arenas aluviales. En

estas últimas, los suelos están saturados o próximos a la saturación y en consecuencia no son aptos para las excavaciones.

La descripción y caracterización de los macizos rocosos incluye el estudio de la matriz rocosa y de las discontinuidades. En general, en un macizo rocoso pueden establecerse a simple vista distintas zonas con diferente aspecto o materiales rocosos (por ejemplo zonas con diferente litología, grado de fracturación, grado de meteorización), lo que permite una división inicial por zonas o niveles.

En el caso de San Ignacio se distinguen tres tipos de zonas: los afloramientos de areniscas, los de basaltos alterados y los de basaltos no alterados.

Las areniscas son masivas, con una matriz isótropa y homogénea; las mismas están compuestas por minerales no alterables con el agua. Por lo general, en la arenisca las discontinuidades son verticales y horizontales y tienen menor separación (0,7 m).

Los basaltos son rocas volcánicas, cristalinas, con matriz isótropa y mucho más resistentes cuando no están alteradas. La matriz mineral está formada por plagioclasa, olivina y piroxeno y es propensa a los procesos de hidrólisis. Según el grado de clasificación ISRM, los basaltos tienen un grado V a II de meteorización que por lo general llega hasta los 4 m de profundidad de la superficie del terreno. Los basaltos sin alterar tienen buenas capacidades portantes y son macizos con cuatro discontinuidades que tienen una separación mayor a los 0,1 m y una larga continuidad en longitud (>20 m). Estas discontinuidades están rellenas por minerales secundarios y tienen filtraciones y humedad.

Las areniscas y los basaltos, cuando no estén alterados, tienen un comportamiento homogéneo ya que las mismas son isótropas con respecto a la fábrica y a la microestructura mineral. Ambas son muy aptas para la fundación de estructuras y para la excavación.

### 3. GEOMORFOLOGÍA

En este capítulo se describen las unidades del paisaje desde el punto de vista geomorfológico. La geomorfología estudia las formas del relieve y el origen del paisaje. Como ciencia que investiga la Tierra, es una disciplina que tiene una aplicación concreta en el Ordenamiento Territorial de una región. Los sectores inundables de un paisaje o las zonas con elevadas pendientes son aspectos que se desprenden de esta disciplina y que suministran una importante información que servirá de base para la selección de zonas aptas para el desarrollo urbano.

El área de estudio se encuentra en un relieve modelado por la acción hídrica que se desarrolla sobre rocas consolidadas de edad mesozoica. La acción de este proceso en el paisaje queda reflejado en el diseño dendrítico de la red fluvial que presenta el modelo digital del terreno (figura 8).

Los factores que controlan la geomorfología en la región son de distintos tipos. Se destacan las clases de rocas, el clima, la vegetación y, la historia y tiempo geológico.

Las rocas aflorantes en la región ejercen una importante influencia en la configuración topográfica del paisaje. Tres litologías son las que regulan el desarrollo de las formas del paisaje: basalto, arenisca y sedimento suelto.

Las rocas más compactas y duras son los basaltos, sin embargo, éstos son muy susceptibles de ser alterados químicamente por el clima subtropical de la zona. Las elevadas temperaturas y las abundantes lluvias transforman al basalto en un sedimento blando, que se denomina “Regolito o laterita”.

En cuanto a las areniscas, son menos duras que los basaltos y más resistentes químicamente. Se presentan de dos maneras: a) Silicificadas y b) No cementadas por sílice.

En los sectores donde afloran areniscas silicificadas se forman abruptas barrancas nominadas “escarpas rocosas”, profundos valles llamados “cañadones” y pequeñas cerros de cumbres aplanadas o “mesetas” (figura 9). En tanto, donde afloran areniscas no cementadas, los relieves se exhiben ondulados con pendientes cóncavo-convexas y de suaves gradientes (3° a 10°) (figura 10). La alteración

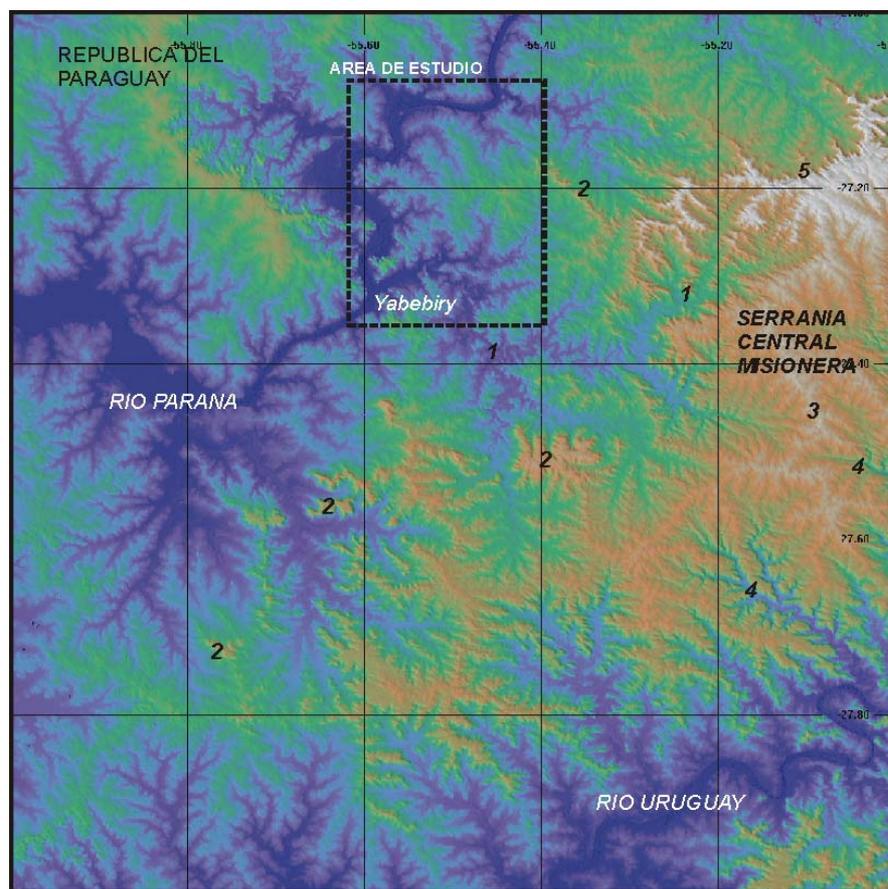


Figura 8. Modelo digital del terreno.

**Referencias.** 1: Valles fluviales; 2: Mesetillas y remanentes de erosión de basaltos; 3: Planicie lávica disectada; 4: Cañadones que cortan profundamente la planicie lávica; 5: Escarpas de erosión. Los colores más claros indican mayor altura, mientras los más oscuros menor altura.

mecánica provocada por la acción del agua y del suelo continuamente va degradando a la arenisca en arenas, las que son removidas hacia los arroyos y los sectores más deprimidos del paisaje.

Por último, el tercer grupo litológico está constituido por sedimentos aluviales del Pleistoceno y Holoceno. Éstos no están consolidados y son poco resistentes a la erosión hídrica. Ocupan zonas deprimidas del paisaje y están asociados a zonas de acumulación sedimentaria.

La acción del clima también es un factor importante debido a que controla la meteorización de las rocas y la erosión hídrica. Las copiosas lluvias de esta región subtropical, junto con la alta temperatura, originan perfiles de meteorización profundos en los basaltos y un efectivo transporte de las partículas alteradas.

La vegetación, la cual es de elevada cobertura y altura, ejerce un efecto muy considerable contra la erosión hídrica. El follaje y los restos vegetales caídos en el suelo retardan la velocidad de escurrimiento y permiten disipar la energía del golpe que provoca la gota de lluvia contra el suelo mineral. Por ello, en las pendientes con bosque natural y suelos con horizontes orgánicos no se observan surcos de erosión u horizontes decapitados. Sin embargo, los desmontes practicados por el hombre desde hace más de 200 años alteran el equilibrio dinámico del paisaje y en consecuencia los procesos erosivos aumentaron.

La historia geológica de la región (ver capítulo Geología) también indica que esta zona estuvo expuesta a la erosión y a la intemperie durante el Ce-

nozoico. El prolongado tiempo transcurrido determinó en cierta manera que la zona fuera degradada y alterada en forma policíclica.

### UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

Las unidades geomorfológicas son zonas del paisaje homogéneas, en cuanto a las características del relieve (gradiente y forma de la pendiente), origen e intensidad y tipo de los procesos actuantes.

#### Meseta de arenisca de Teyú Cuaré

La meseta de Teyú Cuaré es una elevación que asciende unos 80 m con respecto al río Paraná, tiene una extensión de 25 km<sup>2</sup> aproximadamente y está rodeada de pendientes de elevado gradiente (>45°); está integrada básicamente por un afloramiento de areniscas silicificadas limitadas por fallas. La elevación tiene cumbres aplanadas o tabulares (figura 11), las que están controladas por dos factores: a) La geología y b) La erosión + meteorización. El control geológico está precisado por la elevada resistencia a la meteorización química que tienen las areniscas silicificadas con respecto a los basaltos. Ello determina que los afloramientos de areniscas “sobresalgan” del relieve y formen topografías positivas con respecto a las áreas marginales, donde afloran basaltos o areniscas más blandas.

Otro control geológico es la disposición casi horizontal de los estratos de areniscas. Esto hace que el relieve serrano presente cumbres coincidentes con

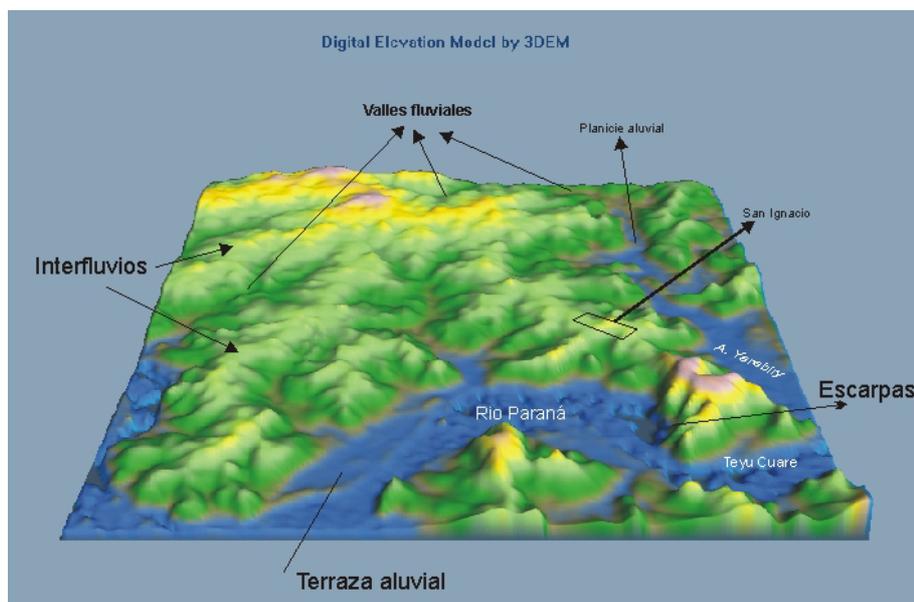
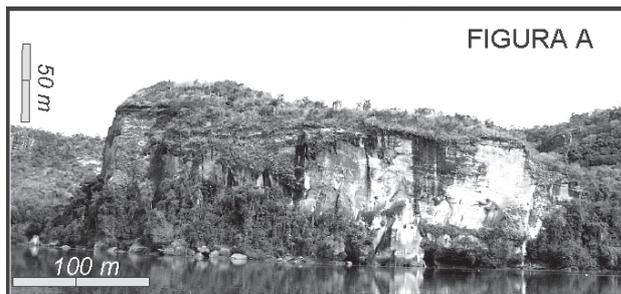


Figura 9. Block diagrama del área de estudio.



**Figura 10.** Relieve colinado en rocas poco resistentes.

**Referencias.** 1: Tope de loma; 2: Pendientes; 3: Valles y cauces profundizados; 4: Afloramientos de areniscas poco resistentes.



**Figura 11.** Planicies de areniscas y escarpas al río Paraná.

**Referencias.** A: Escarpas rocosas; B: Vista general de la meseta del peñón de Teyú Cuaré.

la posición espacial de los estratos, es decir cumbres casi aplanadas.

### **Pendientes simples sobre areniscas y basaltos**

Esta unidad conforma un relieve ondulado sin irregularidades y con gradiente del 2 al 4 % (figura 10). La misma se desarrolla donde afloran areniscas poco cementadas o lateritas. Los procesos climáticos y biológicos disgregan fácilmente a la arenisca y la transforman en arena suelta y sin cohesión. Bajo dichas situaciones, el suelo residual, es muy arenoso, permeable y en consecuencia la acción hídrica removiliza el material repositándolo con una pendiente de equilibrio de escaso gradiente. Lo mismo ocurre con el basalto, el cual se altera químicamente y forma lateritas.

### **Superficie estructural con alteritas (tope de lomas)**

Los tope de loma son zonas altas del paisaje con escaso gradiente (0,5-2%). Constituyen las di-

visorias de la red de drenaje que han quedado preservadas en menor medida de la erosión hídrica. Están compuestas por lateritas, por mantos ferruginosos o por arenas provenientes de la disgregación de la arenisca.

### **Cañadones**

Los cañadones son profundos valles en forma de V que se desarrollan cuando la erosión afecta a rocas resistentes como las areniscas cementadas. Los cañadones poseen pendientes abruptas e inestables, las que producen desprendimientos de rocas. El fondo del valle es estrecho y tiene un cauce que se encuentra cubierto por grandes bloques de roca desprendida de las escarpas de los laterales del valle. Se ubican en la zona de Teyú Cuaré y en sectores cercanos al río Paraná.

### **Escarpas de erosión**

Las zonas que rodean a las mesetas tienen pendientes fuertes (20° a 50°) que se denominan es-

carpas de erosión (figura 12). En dichos sectores los procesos de erosión y remoción en masa son muy intensos especialmente cuando acontecen lluvias intensas. Es común encontrar cicatrices producto de caídas de rocas y algunos pequeños deslizamientos.

En la zona de Teyú Cuaré, el río Paraná se recuesta en la base de las escarpas y las erosiona. La arenisca está expuesta al oleaje del río y a la humedad constante. Ambas acciones disgregan la roca en arenas y en consecuencia, la base de la barranca pierde estabilidad y se producen caídas de rocas y desprendimientos en la parte superior. Este proceso mantiene las escarpas en forma vertical y con escasa vegetación.

### Taludes coluviales y conos aluviales

Los taludes coluviales son sectores que se encuentran al pie de la escarpa de erosión y es donde tiene lugar, la acumulación coluvial de la degradación de la escarpa. Tienen pendientes de  $10^\circ$  a  $45^\circ$  y los ejemplos más notorios se ubican a 300 m al norte del Club de Río. Estos taludes están conformados por depósitos de caídas de rocas y bloques de basaltos y/o areniscas.

Los conos aluviales son pendientes suaves ( $4$  a  $8^\circ$ ) de acumulación de sedimentos que se forman al pie de las escarpas y de los taludes coluviales. Los ejemplos más claros se observan al oeste y al sur de Teyú Cuaré. Los procesos de acumulación y erosión son los más importantes (figura 12).

### Planicies aluviales y fondo de valle

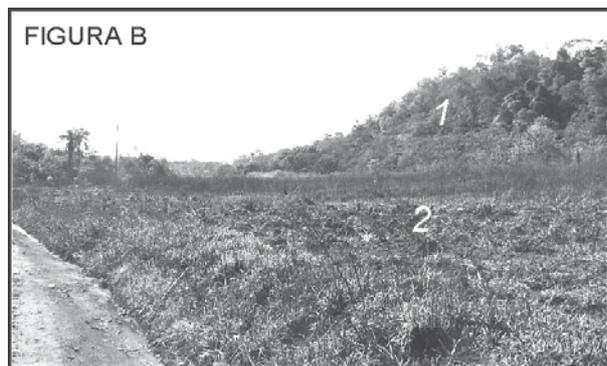
La planicies aluviales son zonas deprimidas, aledañas a los cauces más importantes de la zona (figura 13). Se labran como respuesta a la acumula-

ción de los sedimentos de los arroyos. Son zonas inundables, con la capa freática cercana a la superficie y suelos hidromórficos.

En las cabeceras de la red fluvial, las planicies aluviales están poco desarrolladas (fondo de valle), mientras que en las desembocaduras cercanas al río Paraná son mucho más extensas y anchas.

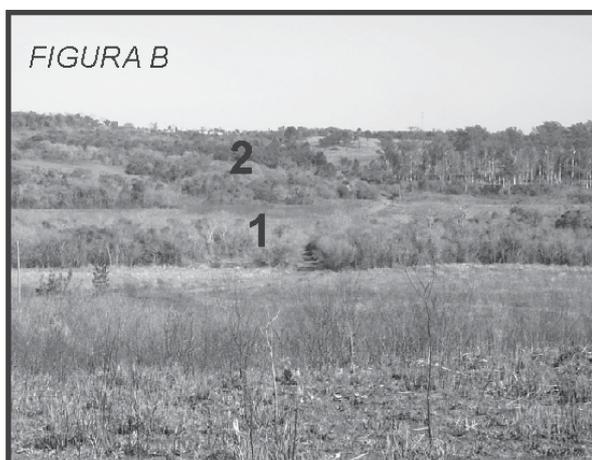
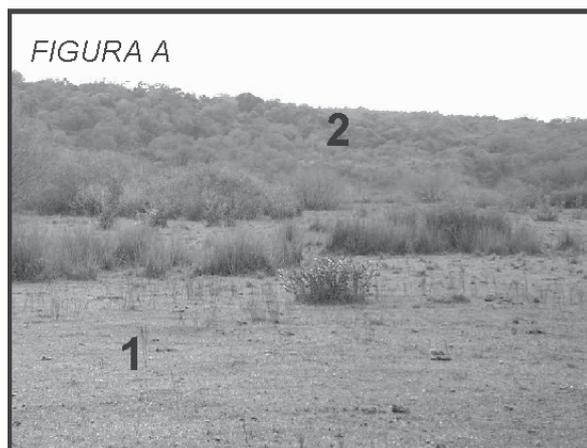
### Terrazas aluviales

Las terrazas aluviales ocupan, en el paisaje, áreas planas y algo deprimidas que se ubican en forma aledaña a los cursos de agua. En el río Paraná se identificaron tres niveles de terraza. El superior, ubicado solamente en la localidad de Corpus, tiene 15 m de altura con respecto al río. Los niveles medio e inferior se desarrollan a lo largo de todo el sector costero del área de estudio, con una altura de 5 m y de 2 m respectivamente por encima del nivel del río Paraná (figura 14).



**Figura 12.** Conos y taludes al pie de las escarpas.

**Referencias.** 1: Escarpas; 2: Conos aluviales al pie de las escarpas rocosas.



**Figura 13A y B.** Planicies y terrazas aluviales.

**Referencias.** 1: Planicie aluvial; 2: Pendientes.

### Albardón costero

El albardón es una forma que se desarrolla al margen de los cauces y que se origina por la acumulación de los sedimentos arenosos durante las crecientes. Se lo reconoce en la margen del río Paraná (figura 14) y del arroyo Yabebiry. También se encuentran en los restantes cursos de agua pero con menor extensión y altura.

### Paleocauces del río Paraná

Los paleocauces son antiguos cursos de agua actualmente inactivos y atestiguan la migración del río Paraná a lo largo del tiempo. Están ocupados por vegetación palustre y son de reciente edad. Los mismos se sitúan en el sector noroeste del área de estudio (figura 14).

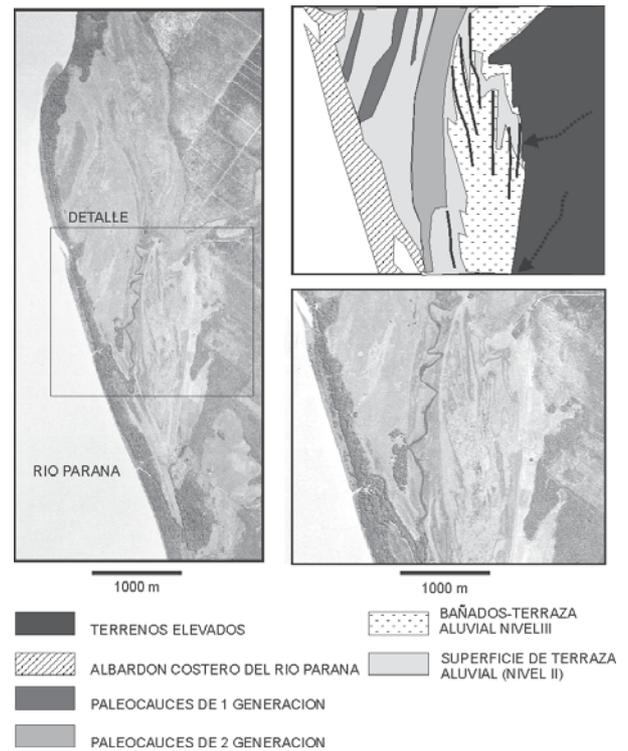


Figura 14. Terrazas aluviales del río Paraná.

#### 4. CLIMA DE SAN IGNACIO

El clima de la provincia de Misiones es subtropical sin estación seca definida (INTA, 1990). Como consecuencia de la distribución de las lluvias a lo largo del año y a los excesos hídricos que se producen, el régimen pluviométrico de la provincia es isohigro.

Analizando los datos climáticos de la estación Posadas en el período 1981 - 1990 (tabla 2) se observa que las temperaturas medias anuales alcanzan los 21° C, siendo las temperaturas máxima y mínima medias de 27,5°C y 15,8° C, respectivamente. Los registros de precipitaciones indican una media anual superior a los 1600 mm.

Si bien la distribución de las precipitaciones a lo largo del año es relativamente homogénea, éstas presentan su máxima concentración en los meses de verano y otoño (figura 15).

Respecto a las temperaturas máximas, mínimas y medias mensuales se advierte un incremento en los meses de verano (figura 16).

Las heladas suelen ocurrir entre julio y agosto con una frecuencia media de 9 heladas por año (Martínez-Crovetto, 1963), concentradas en pocos días; el período libre de heladas supera los 320 días al año.

La humedad ambiente alcanza el 70-75 % en su media anual y su mayor manifestación se registra en el mes de julio. Es importante destacar la humedad superficial del suelo debido a la presencia del rocío.

| Mes        | Temperatura mensuales (°C) |        |       | Precipitación media mensual (mm) |
|------------|----------------------------|--------|-------|----------------------------------|
|            | Maxima                     | Mínima | Media |                                  |
| Enero      | 33,2                       | 21,8   | 26,9  | 166,4                            |
| Febrero    | 32,1                       | 21,4   | 26,1  | 183,0                            |
| Marzo      | 31,2                       | 19,6   | 24,8  | 144,9                            |
| Abril      | 27,1                       | 17,3   | 21,6  | 235,6                            |
| Mayo       | 24,1                       | 13,9   | 18,4  | 179,3                            |
| Junio      | 21,1                       | 11,1   | 15,5  | 166,4                            |
| Julio      | 21,9                       | 11,4   | 15,9  | 130,6                            |
| Agosto     | 23,9                       | 13,0   | 17,7  | 111,2                            |
| Septiembre | 24,5                       | 13,5   | 18,5  | 142,9                            |
| Octubre    | 28,5                       | 16,5   | 22,1  | 178,0                            |
| Noviembre  | 30,4                       | 18,9   | 24,4  | 190,4                            |
| Diciembre  | 32,6                       | 20,4   | 26,2  | 119,8                            |

Tabla 2. Temperaturas y precipitaciones mensuales en el período 1981 – 1990. Estación Posadas.

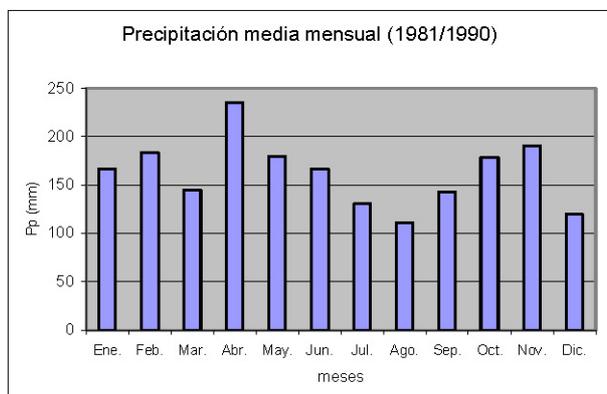


Figura 15. Distribución de la precipitación media mensual, período 1981-1990. Estación Posadas.

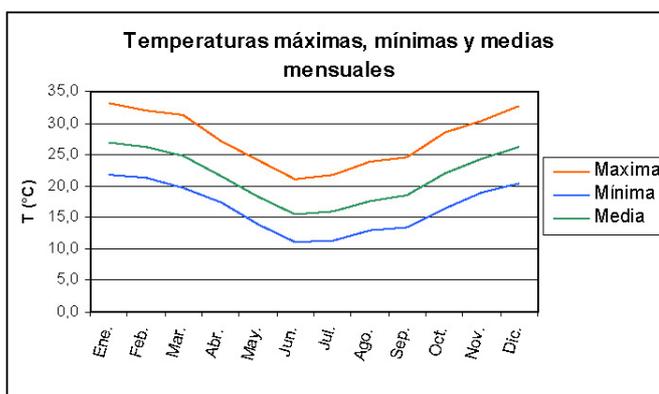


Figura 16. Distribución de las temperaturas máximas, mínimas y medias mensuales, período 1981-1990. Estación Posadas.

## 5. HIDROLOGÍA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA

### *HIDROLOGÍA SUPERFICIAL*

La red hidrográfica de la zona tiene un diseño dendrítico y un régimen permanente pluvial e influenciado por la estacionalidad. En el sector occidental se halla el río Paraná; en el sector sur se ubica el arroyo Yabebiry y en el sector central otros dos arroyos de menor importancia: el Persiguero-San Ignacio y el Horqueta. La planta urbana es atravesada por las nacientes del arroyo San Ignacio y otros arroyos de menor orden que son afluentes del Yabebiry.

Estos cursos menores que trasponen la localidad son permanentes, tienen caudales que oscilan entre los 500 m<sup>3</sup>/h y 1500 m<sup>3</sup>/h y reciben los efluentes de riego y las aguas del lavado de algunas viviendas.

El la zona de Villa Emma, todo el drenaje es recolectado por un cauce que drena al norte y existen algunos canalizaciones precarias que mantienen aguas estancadas y pueden ser focos de insalubridad.

En el casco urbano, el drenaje pluvial escurre a través de cunetas o zanjas que finalizan en los cauces (figura 17) mencionados. Las cunetas de hormigón están construidas en el 50% de las calles, presentan buen drenaje y están en buen estado de conservación. Algunas de las cunetas sin hormigón no tienen la capacidad de escurrimiento adecuado durante tormentas intensas y en consecuencia, el agua rebasa la cuneta e inunda algunas viviendas.

En un recorrido realizado por los cauces de la ciudad se pudo observar que las aguas no tienen un

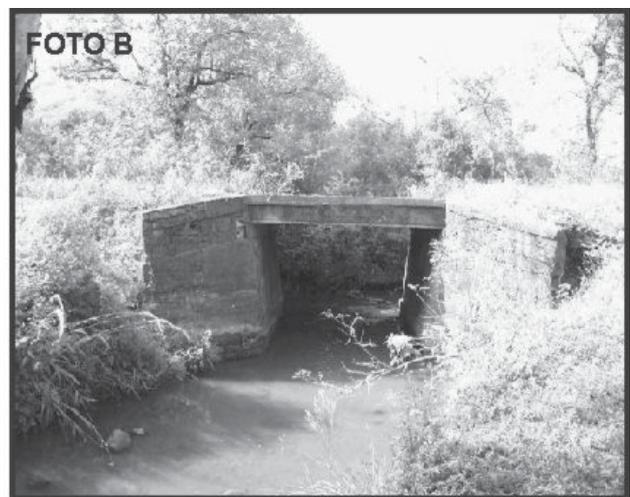
estado de contaminación visual elevado, además, se han advertido pocos sitios donde los residuos urbanos, arrastrados desde las cunetas por las lluvias, hayan quedado acumulados.

### *HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA*

La información presentada en este capítulo es el resultado de la recopilación y análisis de datos existentes y relevados y de observaciones de campo.

Se consultaron los organismos responsables de la provisión de agua potable [Cooperativa de Agua Potable de San Ignacio, Municipalidad de San Ignacio, Instituto Misionero de Agua y Saneamiento (IMAS), etc.] y organismos e instituciones afines [(Dirección General de Minas y Geología de la Provincia de Misiones, Comisión Mixta Argentino-Paraguaya del Río Paraná (COMIP), Ente Binacional Yacyretá (EBY), etc.], quienes gentilmente proporcionaron, en la medida de sus posibilidades, la información solicitada con respecto al agua subterránea de la zona.

Con respecto a la caracterización hidrogeoquímica, se realizó un muestreo de aguas superficiales y subterráneas durante junio y septiembre de 2003. El muestreo incluyó arroyos, pozos profundos, aljibes y vertientes. Las muestras fueron analizadas por calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), potasio (K), bicarbonato (HCO<sub>3</sub>), sulfato (SO<sub>4</sub>), cloruro (Cl), nitrato (NO<sub>3</sub>), total de sólidos disueltos (TSD), aluminio (Al), hierro (Fe) y sílice (SiO<sub>2</sub>) y los datos obtenidos fueron evaluados mediante diagramas de Piper y de Stiff y análisis estadístico (univariante, cluster y factorial).



**Figura 17.** Drenaje superficial.

**Referencias.** Foto A: Canales de drenaje realizados a mano; Foto B: arroyos de la zona con alcantarillas limpias y no obturadas.

Durante el muestreo y otros relevamientos también se tomaron o recopilaron, donde fue posible, datos sobre profundidad del nivel estático de agua y profundidad total de los pozos. Sin embargo, la escasez de información que se pudo obtener sólo permitió tratar a los mismos como datos puntuales, sin poder extrapolarlos a un contexto regional para realizar un mapa de flujo subterráneo.

## HIDROGEOLOGÍA

Sobre la base de los trabajos de Cosentino y Udagawa (1986), Auge y Udagawa (1990), Auge (1992) y Auge (1993) y Ruiz Huidobro y Sosis (1980) y a observaciones de campo, en la zona comprendida por el Estudio geocientífico de San Ignacio, se identificaron las siguientes unidades hidrogeológicas.

### Depósitos lateríticos

Están formados por limos arcillosos y arcillas de color rojo oscuro, derivados de la meteorización del basalto. Se presentan por encima del basalto o de las areniscas (en este caso con una granulometría limo-arenosa). Por lo tanto, cubren casi la totalidad del área estudiada. En general actúan como acuitardo o acuicludo, con permeabilidades muy bajas de  $9 \times 10^{-3}$  a  $0,09$  m/d y generalmente en ellos se emplaza la capa freática. No se los representa en el mapa hidrogeológico para facilitar la lectura del mismo respecto de los acuíferos de mayor importancia.

### Saprolito

Es el basalto alterado que se encuentra directamente por encima de la roca fresca, pero con un grado de alteración menor que los depósitos lateríticos. Su comportamiento hidrogeológico es intermedio entre el que caracteriza al basalto (flujo por fisuras) y al depósito laterítico (flujo intergranular) y puede albergar la capa freática. La permeabilidad es del orden de  $0,26$  m/d, algo mayor que la de los depósitos lateríticos. No figuran en el mapa hidrogeológico para facilitar la lectura del mismo respecto de los acuíferos de mayor importancia.

### Depósitos aluviales

Están formados por terrazas y planicies aluviales que se observan en las márgenes del río Paraná y sus afluentes. Están constituidos por limos arcillosos, arcillas arenosas, arenas finas y algo de grava.

En algunas zonas se observan cuerpos de arena, con intercalaciones de arcilla y limo. En general la permeabilidad es baja, del orden de  $0,09$  m/d (Auge, 1993), y muestran un comportamiento entre acuitardo y pobremente acuífero. Carecen de mayor interés hidrogeológico debido a su limitada extensión geográfica y escaso espesor. Pueden ser de utilidad en aquellos casos en que la demanda de caudal sea poca.

### Formación Posadas

También conocida como Miembro Posadas, está integrada por basaltos que presentan fracturación en las zonas más cercanas a la superficie. La fracturación va disminuyendo en profundidad y puede alcanzar profundidades mayores en aquellas zonas relacionadas con fallas. Las coladas individuales están separadas por brecha basáltica, arenisca o metacuarcita. Constituye el sustrato rocoso de gran parte del área estudiada. Su conformación cristalina compacta inhibe la existencia de porosidad y permeabilidad intergranulares (primarias). Por ello, conforma un medio discontinuo, altamente heterogéneo y anisótropo en donde el agua sólo puede circular a través de fisuras u oquedades intercomunicadas.

### Formación Solari

Está compuesta por areniscas cuarzosas medianas y finas. Algunas secciones están constituidas por cuarcitas que tienen una notable reducción de la porosidad intergranular, por lo tanto puede presentar porosidad primaria o secundaria, en función de su grado de litificación. Araújo *et al.* (1999) mencionaron una porosidad efectiva promedio del orden de 16% para esta formación. En la zona de San Ignacio se la puede encontrar aflorante (en una faja de aproximadamente 8 km de ancho al lado del río Paraná) y/o cubierta por los basaltos de la Formación Posadas. Es la unidad de mayor importancia hidrogeológica, especialmente por su productividad, que es significativamente mayor que la de las unidades mencionadas previamente. Sin embargo, no existen pozos en el área estudiada que penetren un espesor considerable de esta formación. Auge y Udagawa (1990) ensayaron dos pozos de la Cooperativa de Agua Potable de San Ignacio de aproximadamente 70 y 65 m de profundidad. El primero brindó  $4,3$  m<sup>3</sup>/h con 6,8 m de depresión, o sea un caudal específico de  $0,6$  m<sup>3</sup>/h.m. El segundo  $2,3$  m<sup>3</sup>/h con 6,0 m de depresión (caudal específico:  $0,4$  m<sup>3</sup>/h.m). Las permeabilidades obtenidas fueron  $6,9$  y  $0,71$  m/d, respectivamente.

## HIDRODINÁMICA

Los acuíferos observados en la zona se pueden dividir en acuíferos someros y profundos.

Los acuíferos someros corresponden al acuífero freático. Están albergados generalmente en los depósitos lateríticos, saprolitos y depósitos aluviales y se comportan como libres.

Los acuíferos profundos se pueden encontrar en las areniscas de la Formación Solari o en los basaltos fracturados de la Formación Posadas.

Las areniscas de la Formación Solari conforman un acuífero combinado con permeabilidad primaria o secundaria (por fisuras), en función de su grado de litificación. Estas zonas de mayor grado de litificación y permeabilidad secundaria pueden provocar que el acuífero se comporte como un acuífero multicapa. Este acuífero a su vez se puede comportar como libre, si las areniscas están aflorando, o semiconfinado, si están cubiertas por basaltos (sin dejar de ser por ello una misma unidad acuífera). Por lo tanto, en el mapa hidrogeológico se representa por separado la zona en donde el acuífero se halla en areniscas aflorantes y aquella en la que está cubierto por basaltos. Arbitrariamente, se ha seleccionado un espesor suprayacente de basalto de 100 m para delimitar esta zona, teniendo en cuenta que en algunos de los pozos de la Cooperativa de Agua de San Ignacio se ha encontrado arenisca a aproximadamente esta profundidad y que esta profundidad de ocurrencia de un acuífero permite considerar la explotación del mismo. De acuerdo con la historia geológica de la zona (ver Geología), siempre se hallarían areniscas por debajo de los basaltos (excepto que se trate de una zona por donde surgió el basalto), pero al no contar con suficientes datos de perfiles de pozos realizados en basaltos que hayan alcanzado la arenisca, no se conoce con certeza a qué profundidad. Asimismo, tal como se indica en el mapa geológico, se infiere la existencia de varias fallas que dificultan la delimitación de zonas. Por lo tanto, la ubicación y delimitación de la zona de acuífero en areniscas cubiertas por basaltos y la zona de acuífero en basaltos fracturados es totalmente inferida.

Los basaltos de la Formación Posadas forman acuíferos en medio fisurado y consecuentemente su volumen de almacenamiento depende de la densidad e interconexión de las fracturas. Tal como se mencionó anteriormente, la fracturación va disminuyendo en profundidad y puede alcanzar profundidades mayores en aquellas zonas relacionadas con fallas. Sin embargo, estas características son muy difíciles de identificar tanto en el campo como en las fotos aéreas debido a la densa cubierta vegetal.

La recarga de los acuíferos someros es de tipo local por infiltración del agua de lluvia. En la zona de estudio, la precipitación media anual es de 1740 mm/año y se distribuye casi uniformemente en las cuatro estaciones del año. Auge y Udagawa (1990) calcularon una evapotranspiración media anual de 1000 mm/año y un excedente de 740 mm/año que constituye la causa principal de la abundancia de aguas superficiales en la región. También calcularon que el 12% de la precipitación se infiltra (200 mm/año) generando una recarga para los acuíferos, siempre y cuando la conformación geológica permita su almacenamiento. En el caso del acuífero profundo alojado en las areniscas, tal como se menciona más adelante en el capítulo referido al Acuífero Guaraní, las aguas podrían corresponder a precipitaciones que tuvieron lugar durante épocas pasadas más frías. Sin embargo, existiría también una recarga reciente por medio de la infiltración directa de las aguas de lluvia, donde afloran las areniscas, y de forma indirecta a través del basalto fracturado suprayacente.

De acuerdo con las redes de flujo elaboradas por Auge y Udagawa (1990) y Auge (1992), la forma de la superficie freática coincide casi perfectamente con la topografía. Esta relación tipifica las regiones de clima húmedo, o sea, con precipitación superior a la evapotranspiración, como es el caso de San Ignacio. Así, la mayoría de las divisorias de agua superficial coincide con divisorias de agua subterránea y por ello constituyen zonas de recarga. Las principales líneas de descarga subterránea corresponden a depresiones topográficas como las vaguadas o los arroyos Yabebiry y Pesiguero. El colector principal de la red hidrográfica es el río Paraná que actúa como nivel de base tanto para las aguas superficiales como subterráneas. Además, se observan vertientes con poco caudal en los contactos entre las areniscas y los basaltos, especialmente en la zona de Teyú Cuaré.

Los mayores gradientes hidráulicos se dan en los flancos de los valles y en la margen del río Paraná, que con frecuencia está conformada por barrancas. Los gradientes más bajos coinciden con las líneas de descarga y los intermedios, con las divisorias de aguas.

La relación agua superficial-subterránea indica un comportamiento efluente de la mayoría de los arroyos de la región. Esto es, los cursos son líneas de descarga subterránea y por ello pueden llevar agua aún en períodos de prolongadas sequías (Auge y Udagawa, 1990).

Auge (1993) observó una similitud entre los potenciales hidráulicos de pozos profundos dentro del basalto y aquellos registrados en pozos someros, que

| N° pozo | Tipo | Fecha de medición | Prof. nivel estático (m) | Cota* (m s.n.m.) | Nivel estático** (m s.n.m.) | Litología***       | Ubicación                |
|---------|------|-------------------|--------------------------|------------------|-----------------------------|--------------------|--------------------------|
| SI-07   | A    | Junio '03         | 1,21                     | ---              | ---                         | Basalto            | San Ignacio              |
| SI-08   | A    | Junio '03         | 1,92                     | 140              | 138,08                      | ?Basalto           | Villa Emma               |
| SI-09   | A    | Junio '03         | 4,15                     | 121              | 116,85                      | ?Arenisca          | Villa Emma               |
| SI-11   | A    | Junio '03         | 4,61                     | 153              | 148,39                      | Arenisca           | San Ignacio              |
| SI-22   | A    | Junio '03         | 9,00                     | 125              | 116,00                      | Arenisca           | Al N de San Ignacio      |
| SI-24   | A    | Junio '03         | 8,00                     | 136              | 128,00                      | Arenisca           | Al N de San Ignacio      |
| SI-26   | A    | Junio '03         | 3,75                     | 160              | 156,25                      | Basalto            | San Ignacio              |
| SI-27   | A    | Junio '03         | 4,05                     | 135              | 130,95                      | Basalto            | San Ignacio              |
| SI-29   | AS   | Junio '03         | (>7)                     | 138              | <131,00                     | ?Arenisca          | San Ignacio              |
| SI-30   | A    | Junio '03         | 3,50                     | 167              | 163,50                      | Basalto            | San Ignacio              |
| SI-31   | A    | Junio '03         | 5,50                     | 161              | 155,50                      | ?Arenisca          | San Ignacio              |
| SI-32   | A    | Junio '03         | 1,98                     | 165              | 163,02                      | ?Basalto           | San Ignacio              |
| SI-33   | A    | Junio '03         | 4,60                     | 163              | 158,40                      | Basalto            | San Ignacio              |
| SI-34   | A    | Junio '03         | 3,00                     | 141              | 138,00                      | Basalto            | Barrio Evita             |
| SI-43   | A    | Sept. '03         | 7,80                     | 166              | 158,20                      | ?Arenisca          | Al N de San Ignacio      |
| SI-44   | A    | Sept. '03         | 7,57                     | 155              | 147,43                      | ?Arenisca          | Al N de San Ignacio      |
| SI-P-3  | A    | Enero '03         | 3,00                     | 177              | 174,00                      | Basalto            | Villa Emma               |
| SI-P-4  | A    | Enero '03         | 2,00                     | 123              | 121,00                      | ?Basalto           | Villa Emma               |
| SI-15   | P    | Sept. '03         | 46,50                    | 152              | 105,50                      | Basalto/Arenisca   | San Ignacio (Coop. N° 5) |
| SI-16b  | P    | Sept. '03         | 46,67                    | 158              | 111,33                      | Basalto/Arenisca   | San Ignacio (Coop. N° 7) |
| SI-17b  | P    | Sept. '04         | >50,00                   | 160              | <110,00                     | ?Arenisca          | San Ignacio (Coop. N° 3) |
| SI-18   | P    | Sept. '03         | 20,50                    | 150              | 129,50                      | Arenisca           | San Ignacio (Coop. N° 1) |
| SI-19   | P    | Junio '03         | 45,00                    | 162              | 117,00                      | ? Basalto/Arenisca | San Ignacio              |
| SI-20   | P    | Junio '03         | 33,85                    | 173              | 139,15                      | ? Basalto/Arenisca | San Ignacio-Barrio Perón |
| SI-37   | P    | Junio '03         | 30,25                    | 172              | 141,75                      | ? Basalto/Arenisca | San Ignacio              |
| SI-38   | P    | Sept. '03         | >50,00                   | 160              | <110,00                     | Basalto/Arenisca   | San Ignacio              |
| SI-50   | P    | Sept. '03         | >39,00                   | 141              | <102,00                     | ?Arenisca          | Al SE de San Ignacio     |

**Tabla 3.** Profundidades de niveles estáticos. A: aljibe; AS: aljibe seco (se indica la profundidad del pozo); P: pozo profundo. \* aproximada, tomada con GPS; \*\* a modo de orientación para evaluar la incidencia del ascenso de la cota del embalse de Yacyretá; Nivel estático = Cota - Profundidad del nivel estático; \*\*\*Litología: en el caso de los aljibes, se ubican generalmente en depósitos lateríticos sobre la litología indicada, en los pozos profundos se indican las litologías atravesadas; ?: litología inferida; Coop.: pozos de la Cooperativa de Agua de San Ignacio. Ubicación de SI-26 es la misma que SI-38.

interesan solamente al acuífero freático, lo que indicaría la existencia de comunicación hidráulica, por lo menos hasta profundidades del orden de los 100 metros. Teniendo en cuenta la fracturación que presentan los basaltos, es probable que también exista comunicación hidráulica entre el acuífero freático y el acuífero albergado en areniscas cubiertas por basalto.

En la tabla 3 se presentan las profundidades del nivel estático medidas en aljibes y pozos profundos de la zona de San Ignacio.

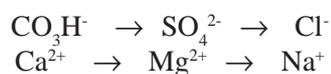
Los aljibes están construidos generalmente en depósitos lateríticos y reflejan la profundidad del nivel freático. La granulometría de estos depósitos varía de acuerdo con la litología sobre la cual están emplazados. Aquellos asociados a areniscas presentan una granulometría más limo-arenosa y por lo tanto más permeable, mientras que los relacionados a basaltos son limo-arcillosos y menos permeables (ver

Hidrogeología). Aparentemente, esta variación de permeabilidad se vería reflejada en la profundidad del nivel freático siendo, en líneas generales, mayor en aquellos aljibes ubicados en depósitos limo-arenosos.

Los pozos profundos censados estarían captando el agua de las areniscas, en algunos lugares cubiertas por basalto. Las mediciones en los pozos de la Cooperativa se realizaron con el equipo de bombeo del pozo en cuestión apagado y esperando entre 20 y 30 minutos antes de efectuar la lectura. No se esperó más tiempo ni se apagaron los equipos de los otros pozos cercanos para no interferir con el abastecimiento de agua. Por lo tanto, los valores reflejan la depresión en los niveles hidráulicos generada por la batería de pozos (ver Problemas detectados y recomendaciones). Los pozos de la Cooperativa estarían ubicados sobre una divisoria de agua superficial.

## HIDROGEOQUÍMICA

La evolución normal de un agua de circulación regional es que sucesivamente vayan dominando los siguientes iones (Custodio y Llamas, 1996):



Tal como se advierte en los diagramas de Stiff del mapa hidrogeológico, todas las aguas muestreadas son bicarbonatadas lo que refleja una recarga relativamente reciente. Con respecto a los cationes, se observan aguas principalmente de tipo cálcico-magnésico, magnésico-cálcico y cálcico.

En la tabla 4 se presentan los resultados de los análisis químicos de las muestras tomadas en junio y septiembre de 2003 [realizados en el Instituto de Tecnología Minera (INTEMIN)]. En el mapa hidrogeológico se indica la ubicación de los sitios de muestreo. La temperatura de las aguas varía entre aproximadamente 20°C y 22°C.

Los contenidos de nitrato de las muestras se encuentran por debajo del nivel guía de calidad para agua de bebida definido por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (2004) que es de 44 mg/l (expresado como NO<sub>3</sub>). Sin embargo, se advierte que varias muestras (indicadas en rojo en la tabla 4) presentan valores del orden de 15 hasta 38 mg/l. Estos valores son relativamente altos si se los compara con el valor del orden de 2 mg/l correspondiente a un grupo de muestras que estarían representando un “nivel base” del contenido de nitrato de la zona. Las muestras indicadas en rojo en la tabla 4 fueron tomadas en el casco urbano e indicarían un proceso de contaminación principalmente debido a la ausencia de sistema cloacal. Es recomendable efectuar un monitoreo regular del contenido de nitrato en los pozos para controlar su evolución, especialmente en aquellos destinados al abastecimiento de agua potable (ver Problemas detectados y recomendaciones).

La muestra SI-A18 correspondiente al Pozo N° 1 de la Cooperativa, tiene un contenido de aluminio (Al) de 0,115 mg/l, mayor que el observado en los otros pozos profundos muestreados. No existen niveles guía para este elemento, pero WHO-OMS (2004) menciona que concentraciones superiores a 0,1-0,2 mg/l pueden generar turbidez o decoloración del agua provocando quejas de los consumidores. Como el abastecimiento de agua por parte de la Cooperativa se realiza utilizando varios pozos, que presentarían cantidades de aluminio (Al) bastante

inferiores al pozo en cuestión, este contenido relativamente elevado se vería diluido. Sin embargo, sería recomendable monitorear los valores de aluminio (Al) en este pozo para definir si se trata de un hecho aislado, un contenido natural del agua en ese sector, o algún otro proceso, ya que además tiene un pH relativamente ácido (4,9). Los Pozos N° 2 y 6 de la Cooperativa también poseen un pH relativamente ácido.

El diagrama de Piper se muestra en el mapa hidrogeológico. Con respecto a los cationes, se observa claramente que la mayoría de las aguas son de tipo cálcico-magnésico, magnésico-cálcico y cálcico. En el caso de los aniones, se distingue una separación de las muestras debido principalmente al contenido de nitratos. De este modo, en el sector del rombo, se pueden identificar dos grupos. El grupo indicado con una elipse roja corresponde a aguas con signos de contaminación incipiente, muestreadas principalmente en el casco urbano. El otro grupo, señalado con una elipse azul, representaría la composición de las aguas de la zona, sin signos de contaminación.

También se realizaron diagramas de clusters evaluando distintos grupos de muestras y distintos parámetros. Se advierte que tanto las muestras de agua superficial como las de aljibes no se distinguen característicamente ni forman grupos. Los pozos profundos, por lo contrario, se dividen en tres grupos que se indican en la figura 18. Comparando los diferentes grupos, se observa que las muestras del Grupo 1 presentan valores de conductividad y de TSD relativamente bajos (entre 30 y 70 mg/l) y valores de nitrato correspondientes al “nivel base” mencionado anteriormente. Las muestras del Grupo 2 tienen valores relativamente altos de SiO<sub>2</sub> (entre 20 y 40 mg/l), conductividad y TSD (entre aproximadamente 120 y 170 mg/l) y pH entre 6 y 7. Por último, el Grupo 3 exhibe valores relativamente elevados de nitratos, valores intermedios de TSD y conductividad y pH entre 4,9 y 6. Al no contar con perfiles de los pozos censados, no se puede determinar con certeza la proveniencia del agua captada en cada caso como para evaluar si los distintos grupos representan distintos acuíferos, pero vale mencionar que el Grupo 3 corresponde a pozos de la Cooperativa de Agua de San Ignacio, de explotación intensiva.

Por último, los resultados del análisis factorial permitieron reconocer tres asociaciones de iones:

- Fe y Al: producto de la meteorización de basaltos,
- Cl y NO<sub>3</sub>: que indicarían la infiltración de aguas contaminadas, y
- Ca y Mg: por sus propiedades iónicas similares.

| Nº de muestra | Tipo | Ubicación                             | Ca   | Mg   | Na   | K    | HCO <sub>3</sub> | SO <sub>4</sub> | Cl   | NO <sub>3</sub> * | Al    | Fe    | SiO <sub>2</sub> | TSD    | Cond. | pH  |
|---------------|------|---------------------------------------|------|------|------|------|------------------|-----------------|------|-------------------|-------|-------|------------------|--------|-------|-----|
|               |      |                                       | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l             | mg/l            | mg/l | mg/l              | mg/l  | mg/l  | mg/l             | mg/l   | µS/cm |     |
| SI-A10        | S    | Arroyo en Villa Emma                  | 9,2  | 4,2  | 2,9  | 1,2  | 40,26            | 1,3             | 0,5  | 2,21              | 0,273 | 0,355 | 28               | 69,31  | 75    | 7,3 |
| SI-A13        | S    | Río Paraná                            | 5,1  | 2,3  | 2,4  | 1,8  | 21,96            | 1,5             | 1,7  | 2,21              | 0,846 | 0,458 | 12               | 39,81  | 49    | 7,1 |
| SI-A14        | S    | Arroyo al SE de San Ignacio           | 10,0 | 5,1  | 3,9  | 0,8  | 50,02            | 1,5             | 0,5  | 2,21              | 0,219 | 0,247 | 23               | 71,61  | 91    | 7,4 |
| SI-A23        | S    | Arroyo al N de San Ignacio            | 6,9  | 3,5  | 2,7  | 1,2  | 34,16            | 0,5             | 0,5  | 2,21              | 0,086 | 0,005 | 26               | 60,31  | 59    | 7,0 |
| SI-A28        | S    | San Ignacio                           | 13,0 | 6,5  | 8,8  | 1,9  | 40,26            | 2,1             | 9,5  | 19,93             | 0,033 | 0,027 | 16               | 97,53  | 140   | 7,1 |
| SI-A35        | S    | Arroyo al NO de San Ignacio           | 6,0  | 3,2  | 1,2  | 1,2  | 29,28            | 0,5             | 0,5  | 2,21              | 0,046 | 0,052 | 20               | 49,21  | 53    | 6,9 |
| SI-A36        | A/S  | Escuela N° 134 (Al NO de San Ignacio) | 16,0 | 7,9  | 7,0  | 1,8  | 80,52            | 1,6             | 1,2  | 5,76              | 0,017 | 0,005 | 45               | 125,86 | 144   | 6,3 |
| SI-A07        | A    | San Ignacio                           | 23,0 | 12,0 | 13   | 2,5  | 79,3             | 8,5             | 13   | 23,47             | 0,005 | 0,006 | 18               | 152,47 | 238   | 6,5 |
| SI-A08        | A    | Villa Emma                            | 4,7  | 3,9  | 4,2  | 1,3  | 14,64            | 0,5             | 7    | 19,49             | 0,005 | 0,013 | 16               | 64,29  | 77    | 5,6 |
| SI-A09        | A    | Villa Emma                            | 6,3  | 4,0  | 2,4  | 0,8  | 32,94            | 0,5             | 1,6  | 2,21              | 0,501 | 0,31  | 31               | 65,01  | 60    | 6,5 |
| SI-A11        | A    | San Ignacio                           | 18,0 | 9,0  | 9,5  | 2,7  | 41,48            | 1,6             | 13   | 38,09             | 0,005 | 0,005 | 28               | 140,29 | 191   | 6,2 |
| SI-A22        | A    | Sector al NE de San Ignacio           | 2,4  | 0,9  | 1,1  | 0,7  | 14,64            | 0,5             | 2,8  | 7,53              | 0,029 | 0,105 | 7                | 30,13  | 33    | 5,2 |
| SI-A24        | A    | Escuela N° 101 (Al N de San Ignacio)  | 11,0 | 3,9  | 1,1  | 0,7  | 14,64            | 0,5             | 3,5  | 25,24             | 0,017 | 0,005 | 11               | 64,14  | 90    | 6,1 |
| SI-A27        | A    | San Ignacio                           | 18,0 | 11,0 | 5,4  | 1,3  | 56,12            | 0,5             | 8,9  | 31,44             | 0,011 | 0,005 | 30               | 134,14 | 184   | 6,4 |
| SI-A30        | A    | San Ignacio                           | 18,0 | 11,0 | 7,6  | 1,6  | 53,68            | 2,1             | 14   | 25,69             | 0,005 | 0,005 | 28               | 134,39 | 186   | 6,2 |
| SI-A43        | A    | Sector al NE de San Ignacio           | 5,6  | 2,1  | 1,7  | 1,5  | 20,74            | 2,3             | 0,5  | 7,09              | 0,074 | 0,081 | 10               | 40,98  | ---   | --- |
| SI-A51        | V    | Teyú Cuaré                            | 8,0  | 3,7  | 2,5  | 0,25 | 37,82            | 2,9             | 1,0  | 2,00              | 0,058 | 0,055 | 21               | 60,16  | ---   | --- |
| SI-A12        | P    | Sector al SO de San Ignacio           | 3,6  | 2,0  | 0,5  | 2,0  | 15,86            | 0,5             | 1,0  | 2,21              | 0,005 | 0,005 | 16               | 35,61  | 40    | 6,0 |
| SI-A15        | P    | San Ignacio (Pozo Cooperativa N° 5)   | 11,0 | 6,6  | 7,0  | 3,3  | 40,26            | 2               | 6,5  | 19,04             | 0,005 | 0,005 | 29               | 104,24 | 131   | 6,2 |
| SI-A16        | P    | San Ignacio (Pozo Cooperativa N° 6)   | 6,9  | 5,3  | 3,4  | 3,4  | 17,08            | 0,5             | 4,3  | 24,36             | 0,005 | 0,005 | 20               | 76,56  | 96    | 5,8 |
| SI-A17        | P    | San Ignacio (Pozo Cooperativa N° 2)   | 4,3  | 3,7  | 5,3  | 1,8  | 14,64            | 0,5             | 3,4  | 28,34             | 0,038 | 0,005 | 11               | 65,54  | 81    | 5,2 |
| SI-A18        | P    | San Ignacio (Pozo Cooperativa N° 1)   | 5,2  | 1,9  | 6,9  | 1,3  | 14,64            | 0,5             | 4,9  | 26,13             | 0,115 | 0,005 | 9                | 63,03  | 84    | 4,9 |
| SI-A19        | P    | San Ignacio                           | 19,0 | 6,1  | 7,2  | 2,0  | 75,64            | 1,5             | 2,0  | 8,41              | 0,005 | 0,005 | 40               | 123,41 | 146   | 6,8 |
| SI-A20        | P    | Barrio Perón                          | 23,0 | 11,0 | 7,8  | 2,0  | 82,96            | 3,1             | 3,0  | 27,46             | 0,005 | 0,005 | 44               | 162,16 | 201   | 7,0 |
| SI-A21        | P    | Barrio Evita                          | 5,0  | 2,6  | 0,5  | 1,9  | 25,62            | 0,5             | 0,5  | 2,21              | 0,005 | 0,005 | 23               | 48,81  | 46    | 6,4 |
| SI-A25        | P    | Sector al N de San Ignacio            | 17,0 | 7,9  | 3,9  | 2,0  | 69,54            | 0,5             | 1,4  | 8,86              | 0,005 | 0,005 | 39               | 114,76 | 133   | 6,7 |
| SI-A37        | P    | San Ignacio                           | 15,0 | 6,7  | 5,8  | 2,5  | 64,66            | 1,7             | 1,9  | 7,97              | 0,005 | 0,005 | 36               | 109,37 | 131   | 6,1 |
| SI-A38        | P    | San Ignacio                           | 30,0 | 9,3  | 9,4  | 1,8  | 130,54           | 6,2             | 3,4  | 15,5              | 0,005 | 0,012 | 32               | 171,8  | ---   | --- |
| SI-A50        | P    | Sector al SE de San Ignacio           | 7,1  | 3,6  | 4,4  | 1,8  | 47,58            | 1,9             | 0,5  | 2,00              | 0,005 | 0,014 | 29               | 73,91  | ---   | --- |

**Tabla 4.** Resultados de análisis químicos de la zona de San Ignacio correspondientes a junio y septiembre de 2003. S: aguas superficiales; V: vertientes; A: aljibe; A/S: aljibe realizado en un arroyo; P: pozos profundos. \*: expresado como NO<sub>3</sub>. (ver texto para la explicación de los valores indicados en rojo).

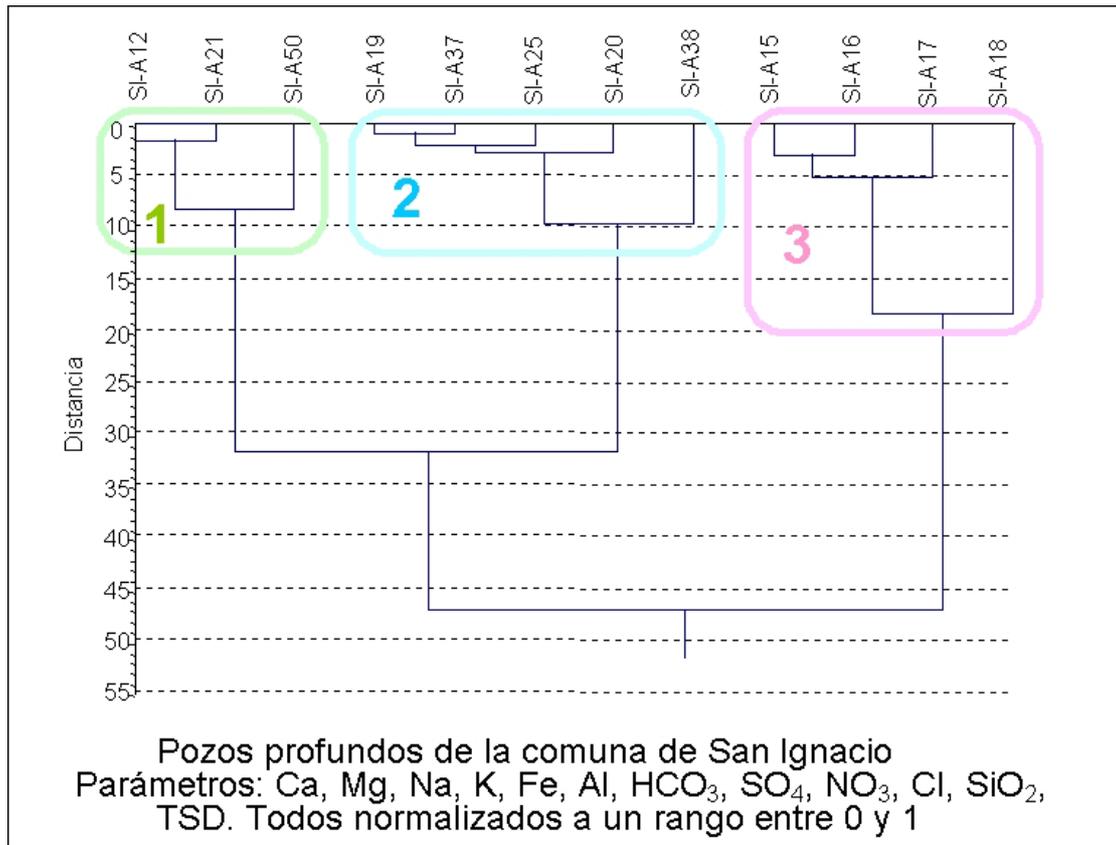


Figura 18. Diagrama de clusters de los pozos profundos de la comuna de San Ignacio.

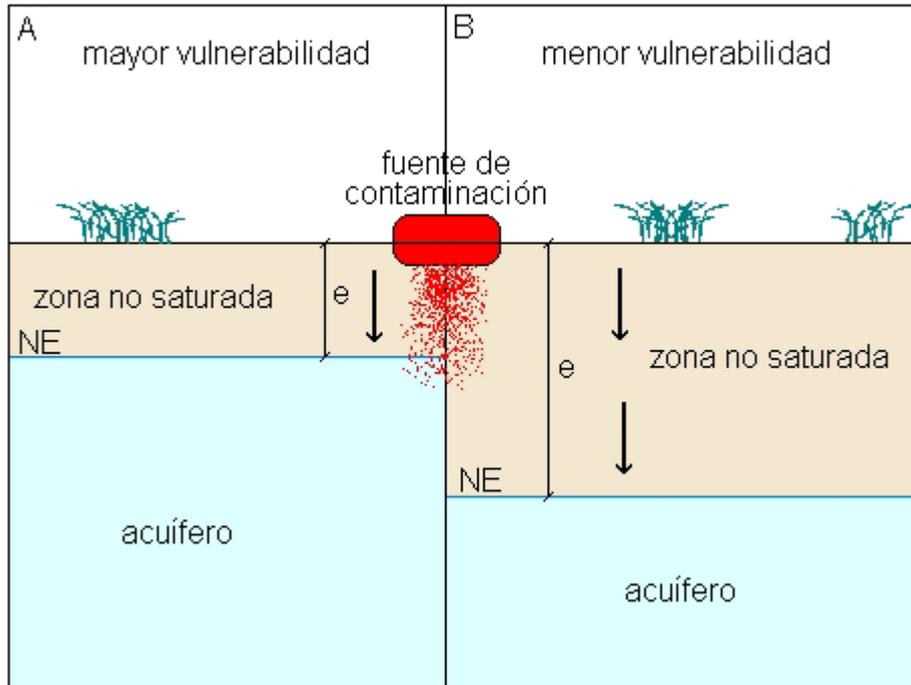
## VULNERABILIDAD

La vulnerabilidad de un sistema se refiere a su grado de protección natural frente a la contaminación. En el caso de acuíferos libres, como algunos de los existentes en la zona de San Ignacio, la vulnerabilidad es función inversa de la profundidad de yacencia (profundidad del nivel hidráulico) y directa de la permeabilidad vertical de la zona no saturada suprayacente (zona de depuración natural). Por lo tanto, cuanto mayor sea el espesor de la zona no saturada y menor su permeabilidad, menos vulnerable será el acuífero (figura 19). Otro factor a considerar es el poder atenuante de la zona no saturada, es decir, su capacidad para retener contaminantes. Por otra parte, en los acuíferos semiconfinados la vulnerabilidad está controlada por las propiedades físicas y geométricas de los acuitardos suprayacentes que actúan como techo y también por la diferencia de potencial hidráulico que guardan con el acuífero libre sobrepuesto. Es decir, se deben conocer los niveles hidráulicos de ambos acuíferos.

Para poder elaborar mapas de vulnerabilidad, se deben cuantificar las distintas variables mencionadas y para ello, por ejemplo en el caso de los niveles

hidráulicos, es necesario tener una buena distribución de datos tanto areal como temporalmente y conocer a qué acuífero corresponde cada medición. Este último dato se obtiene de los perfiles de pozos. Mucha de la información enumerada no se encuentra disponible en San Ignacio ni se pudo relevar y por lo tanto no fue posible hacer un Mapa de Vulnerabilidad. A continuación se analizan los parámetros que intervienen en la valoración de la vulnerabilidad para cada tipo de acuífero encontrado en la zona, con el fin de proporcionar alguna orientación respecto del comportamiento de los mismos.

Al no haber podido definir con precisión, en muchos casos, a cuál acuífero corresponden las profundidades de los niveles estáticos medidos (que permiten obtener el espesor de zona no saturada, para acuíferos libres y la diferencia de potencial hidráulico para los semiconfinados), no se puede hacer un análisis particular de este parámetro. En aquellos casos en los que se cuenta con algún dato, se lo incorpora en las descripciones que se realizan más adelante. Sin embargo, de no existir anomalías hidráulicas de origen antrópico (ej. conos de depresión de pozos de extracción (ver y recomendaciones), la profundidad del agua subterránea en acuíferos libres es menor en las zonas cercanas al nivel de



**Figura 19.** Vulnerabilidad de acuíferos libres según el espesor de la zona no saturada. A igual permeabilidad de la zona no saturada, el caso A será más vulnerable a una contaminación desde superficie. e: espesor de la zona no saturada. NE: nivel estático. <sup>a</sup> dirección vertical del flujo subterráneo.

base (zonas de descarga) y mayor en las zonas cercanas a las divisorias de aguas (zonas de recarga). Por lo tanto, las zonas más vulnerables, desde este punto de vista, serían las primeras. Vale recordar que las divisorias de agua subterránea coincidirían con las divisorias de agua superficial (ver Hidrodinámica).

Como se mencionó en Hidrodinámica, en San Ignacio existen acuíferos someros libres, acuíferos profundos libres y acuíferos profundos semiconfinados.

### Acuíferos libres

Los parámetros a considerar para definir la vulnerabilidad de un acuífero libre son:

- Espesor de la zona no saturada (obtenido a partir de la profundidad del nivel estático).
- Permeabilidad de la zona no saturada.
- Poder de retención de la zona no saturada (relacionado con el contenido de arcillas).

### Acuíferos someros

Algunos asentamientos aislados que no disponen de una conexión a la red de agua potable se abastecen de estos acuíferos a través de “aljibes” que son, en el sentido local, pozos someros de 2 hasta 6m de profundidad.

*Acuíferos someros en depósitos lateríticos sobre basaltos:* Como estos depósitos son aflorantes, tanto el acuífero como su zona no saturada poseen la misma composición. Por lo tanto la zona no saturada está compuesta por limos arcillosos y arcillas lo que le otorga una baja permeabilidad y un alto poder de retención de contaminantes. Sin embargo, las profundidades de los niveles estáticos medidos son del orden de los 2 a 4 m, lo que constituye un espesor poco importante, más aún si se tiene en cuenta que los pozos ciegos (una de las principales fuentes de contaminación en estos casos) están generalmente ubicados a 2 m de profundidad. Es decir, que el espesor de la zona no saturada podría ser nulo o verse reducido a sólo 2 metros. Por lo tanto, los acuíferos ubicados en estos depósitos serían muy vulnerables.

*Acuíferos someros en depósitos lateríticos sobre areniscas:* Estos depósitos son similares a los localizados sobre basaltos, pero poseen una granulometría limo-arenosa. Esto hace que la permeabilidad de la zona no saturada sea comparativamente algo mayor a los descritos en primer lugar y su poder de retención algo menor, por ende, más vulnerables en comparación. Pero las profundidades de los niveles estáticos serían del orden de 7 a 9 m, es decir, que el espesor de la zona no saturada sería un poco mayor compensando, de alguna forma, la mayor vulnerabilidad relativa mencionada anteriormente. De todos modos, serían acuíferos muy vulnerables.

*Acuíferos someros en depósitos aluviales:* Estos depósitos engloban granulometrías muy variadas, desde limos arcillosos, arcillas arenosas, arenas finas hasta algo de grava, que en algunos casos pueden estar intercaladas. Por ejemplo, si el acuífero se aloja en un nivel de arenas cubierto por un nivel de arcillas, se puede encontrar más protegido que si lo cubre un nivel de limos o arenas finas. Por otro lado, los depósitos ubicados en los cauces de los arroyos pueden presentar granulometría más gruesa. No se poseen muchos datos de campo de los depósitos aluviales, pero generalmente no son muy profundos y los que podrían tener un espesor mayor se localizan en zonas de baja accesibilidad e inundables. Al no ser muy profundos, presentan las mismas desventajas que los acuíferos descritos anteriormente respecto del espesor de la zona no saturada y por lo tanto serían muy vulnerables.

### **Acuíferos profundos**

*Acuíferos profundos en areniscas:* Las areniscas exhiben distintos grados de litificación y por lo tanto de permeabilidad. En aquellas zonas en donde no existen niveles de baja permeabilidad por encima del acuífero (información que se obtiene de los perfiles de pozos), el mismo se comporta como libre. En estos acuíferos, la zona no saturada está integrada por la arenisca que se encuentra sobre el nivel estático y por los depósitos lateríticos limo-arenosos que suelen cubrir los afloramientos de areniscas. Este nivel más limoso proveerá un mayor grado relativo de protección. Sin embargo, el poder atenuante de las areniscas es bajo debido al bajo o nulo porcentaje de arcillas. Además, la permeabilidad de las areniscas es media a baja. Estos datos no son muy favorables si se los compara con los de los otros acuíferos descritos. La principal ventaja de estos acuíferos profundos es, precisamente, su profundidad que genera un mayor espesor de zona no saturada, en donde tendrán lugar los procesos de atenuación frente a una contaminación de origen superficial, y un mayor tiempo de tránsito de cualquier contaminante antes de alcanzar el acuífero. Se poseen algunos valores de profundidades de niveles estáticos en pozos en areniscas, pero no se conoce con certeza si existen niveles de baja permeabilidad entre el nivel acuífero y la superficie, que le puedan otorgar algún grado de confinamiento. Los valores serían del orden de 20 a 80 m y podría considerarse como un acuífero moderadamente vulnerable.

*Acuíferos profundos en basaltos fracturados:* Estos acuíferos no son porosos como los descritos anteriormente, sino que se desarrollan en un medio

fisurado. La principal diferencia consiste en que el agua circula a través de direcciones preferenciales (las fisuras) y no en forma homogénea. La velocidad local a lo largo de las fisuras puede ser mayor que en un medio poroso, pero la velocidad general de circulación, como así también el volumen de almacenamiento, va a estar dada por la densidad, tamaño, distribución y grado de interconexión de las fisuras. Por lo tanto, una zona con un volumen de almacenamiento importante va a tener una zona no saturada de alta permeabilidad y el acuífero será muy vulnerable. Además, al tratarse de un medio fisurado, el contenido de arcillas es bajo y por lo tanto no tendrá lugar una depuración natural de importancia. En aquellas zonas en donde los basaltos se encuentran cubiertos con depósitos lateríticos (en este caso limo-arcillosos y arcillas), la vulnerabilidad será menor y menor aún cuanto más espesos sean estos depósitos. Al igual que en los casos anteriores, a mayor profundidad, menos vulnerable será el acuífero.

### **Acuífero semiconfinado**

Existe un sólo tipo de acuífero semiconfinado y se aloja en areniscas cubiertas por basalto. Generalmente por encima se encuentra el acuífero freático alojado en depósitos lateríticos. En los acuíferos semiconfinados, las propiedades físicas y geométricas del acuitardo suprayacente, en este caso el basalto, constituye uno de los parámetros que controla la vulnerabilidad. Aquí también es válido el análisis realizado en el punto anterior respecto de la permeabilidad y poder de depuración del basalto. En líneas generales, cuanto mayor sea la fracturación del basalto, mayor será su permeabilidad y por ende menor será su poder confinante y protector. También se debe tener en cuenta la continuidad areal del nivel de basalto. En el sector occidental el basalto es más discontinuo, mientras que en el sector oriental sería más continuo. Una idea del poder confinante de la capa de basalto y de la dirección vertical del flujo subterráneo la puede dar la comparación de los niveles estáticos del acuífero freático alojado en los depósitos lateríticos y los niveles estáticos del acuífero profundo (diferencia de potencial hidráulico), preferentemente la evolución de los mismos. Éste constituye el otro parámetro para evaluar la vulnerabilidad de acuíferos semiconfinados. Es importante aclarar que el término nivel estático (NE) se refiere a la altura del nivel hidráulico respecto del nivel del mar, es decir:

NE = Cota del sitio de muestreo (m s.n.m.) - Profundidad del nivel estático en ese sitio

Teniendo en cuenta que el nivel de basalto confinante generalmente está fracturado, si los niveles es-

táticos son iguales, esto podría estar indicando que esa fracturación es lo suficientemente importante como para que todo el sistema actúe como un solo acuífero libre con distintas capas, pero interconectado hidráulicamente. Si el techo del acuífero semiconfinado estuviera constituido por material poroso, por ejemplo arcillas (que no sería el caso de San Ignacio), esta situación reflejaría un estado de equilibrio entre el acuífero freático y el semiconfinado, sin un predominio de flujos ascendentes o descendentes. Volviendo al caso de San Ignacio, si el nivel hidráulico del acuífero profundo (nivel piezométrico) es mayor que el del acuífero freático (nivel freático), el basalto ejercería un grado mayor de confinamiento y podría existir un flujo ascendente desde el acuífero profundo hacia el freático y el acuífero será menos vulnerable (figura 20 B). Si el nivel freático es mayor que el del acuífero profundo (como aparentemente sería la situación en el casco urbano de San Ignacio de acuerdo a los datos relevados), existiría un flujo descendente desde el acuífero freático al profundo y el acuífero será más vulnerable (figura 20 A). En este caso es importante analizar la evolución de los niveles, especialmente el tiempo de reacción frente a la variación de alguno. Por ejemplo, si el nivel freático asciende debido a la infiltración abundante de agua de lluvia, el tiempo que tarde en descender este nivel y ascender el nivel del acuífero profundo puede dar una idea de la permeabilidad del nivel confinante y por lo tanto de la vulnerabilidad del acuífero profundo. Sin embargo, en la zona occidental, el nivel de basalto no es continuo y por lo tanto las zonas de areniscas aflorantes y areniscas cubiertas se hallan muy próximas. Dependiendo de la ubicación de cada una respecto de las divisorias de aguas (zonas de recarga), pueden existir areniscas aflorantes en zonas de recarga que estén alimentando al acuífero semiconfinado y por lo tanto contribuyendo a la elevación del nivel estático. Es importante recordar que en profundidad las areniscas forman parte de un mismo acuífero que en algunas zonas puede comportarse hidráulicamente como libre (cuando aflora) o como semiconfinado (cuando está cubierto con basaltos), pero que siempre se encuentra interconectado, en mayor o menor medida.

La principal vía de contaminación desde superficie en acuíferos semiconfinados es el flujo descendente de aguas contaminadas proveniente del acuífero freático sobrepuesto cuando la diferencia de potencial lo favorece, es decir, cuando el nivel freático es mayor que el nivel piezométrico (figura 20).

Teniendo en cuenta todas las características descriptas, el acuífero semiconfinado en areniscas cubiertas por basaltos sería el relativamente menos vulnerable de la zona de San Ignacio.

## PROVISIÓN ACTUAL DE AGUA Y RECOMENDACIONES

### PROVISIÓN ACTUAL

De acuerdo con la información proporcionada por los distintos organismos, el abastecimiento de agua potable a la población de San Ignacio está en su mayor parte a cargo de la Cooperativa de Agua de San Ignacio.

La Cooperativa de Agua de San Ignacio posee siete (7) pozos que se encuentran ubicados, en forma simplificada, de la siguiente manera:

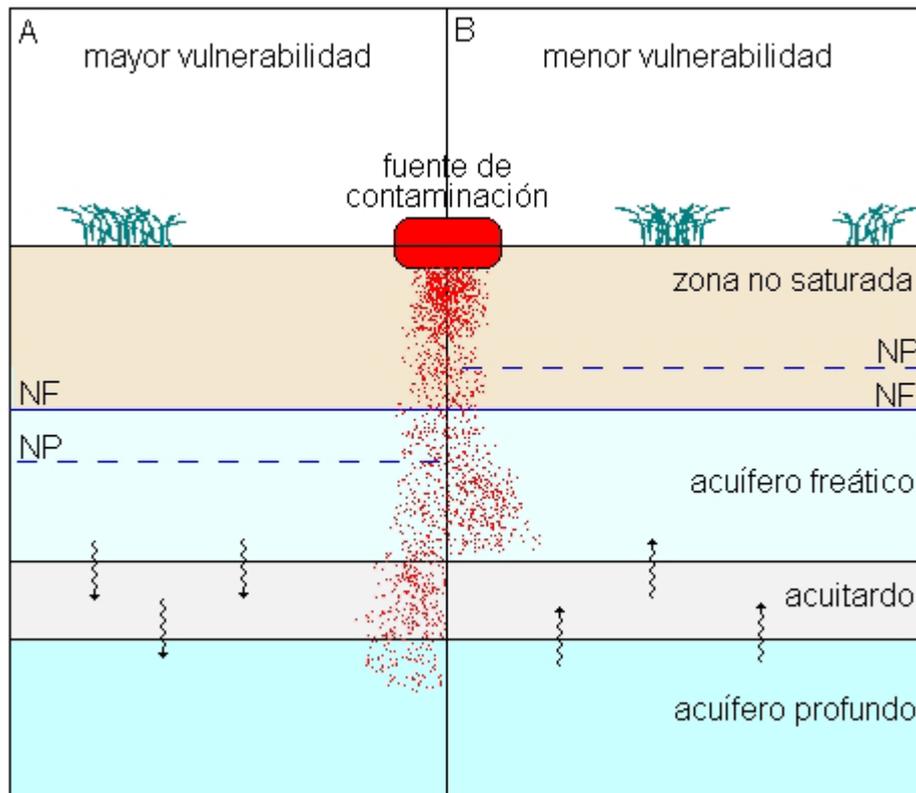
- Pozo 1 en la manzana delimitada por las calles Pte. Alcorta, C. Pellegrini, Uruguay y M.T. de Alvear.
- Pozos 2, 3 y 4 en la manzana delimitada por las calles San Martín, Rivadavia, H. Irigoyen y Roque Sáenz Peña, a una distancia entre sí de unos 20-40 metros.
- Pozos 5, 6 y 7 en la manzana delimitada por las calles Lavalle, San Martín, H. Irigoyen e Independencia (a aproximadamente una cuadra del predio anterior), a una distancia entre sí de unos 15-20 metros.

Estos pozos funcionarían las 24 horas del día.

Según un informe del IMAS (1994), las bombas de los pozos de la Cooperativa están situadas a aproximadamente 50 m de profundidad (Pozos 1 y 2: 50 m; Pozos 3, 5 y 6: 54 m; Pozos 4 y 7: 52 m) y la ubicación de las mismas se habría definido teniendo en cuenta el nivel estático al efectuar las perforaciones (aproximadamente entre los 30 y 40 m).

### PROBLEMAS DETECTADOS Y RECOMENDACIONES

Las profundidades de los niveles hidráulicos medidas en septiembre de 2003 y 2004 en los pozos de la Cooperativa se encuentran en un rango de entre unos 46m a más de 50 m (tabla 3, Hidrodinámica). Estas mediciones se efectuaron con el equipo de bombeo del pozo en cuestión apagado y esperando entre 20 y 30 minutos antes de hacer la lectura. No se esperó más tiempo ni se apagaron los equipos de los otros pozos cercanos para no interferir con el abastecimiento de agua. Teniendo en cuenta la cercanía de los demás pozos, las mediciones realizadas de profundidad del nivel, reflejan la profundidad del cono de depresión generado por la extracción en el pozo cercano. Se puede observar que los valores medidos son muy cercanos a las profundidades a las que se encuentran los equipos de bombeo y que serían mayores cuando la pozo en cuestión está en funcionamiento.



**Figura 20.** Vulnerabilidad de acuíferos semiconfinados según la diferencia de potencial hidráulico. NF: nivel freático; NP: nivel piezométrico. flujo lento a través del acuitardo.

En una batería de pozos, como por ejemplo la existente en San Ignacio, el descenso del nivel de agua en cualquier punto del acuífero explotado es la suma de los descensos provocados en este punto por cada una de las perforaciones consideradas individualmente. Este concepto se conoce como fenómeno de interferencia de pozos y trae como consecuencia una profundización de los niveles hidráulicos que puede generar problemas de contaminación, un aumento en los costos de bombeo y a veces la necesidad de reubicar las bombas a mayor profundidad, como podría suceder con los pozos de la Cooperativa. Esto sería posible en el caso de San Ignacio, aunque no recomendable, porque el pozo no atraviesa la totalidad del acuífero. Si lo hubiera hecho, una profundización en la ubicación de las bombas podría resultar en serios problemas de sobreexplotación.

Cuando se diseña una batería de pozos, se calcula el radio de influencia de cada uno con el fin de distribuirlos arealmente de tal forma que la superposición de esos radios sea la menor posible. De este modo se minimiza el fenómeno de interferencia. También se debe evitar el bombeo continuo durante las 24 horas del día, con el fin de permitir la recuperación de los niveles hidráulicos del acuífero explotado. En San Ignacio, no se puede modificar el diseño de la batería, pero sí se puede evitar el bombeo

continuo mediante la rotación del funcionamiento de los pozos y la disminución de los tiempos de bombeo de cada uno. Esta situación puede interferir con el normal abastecimiento de agua a la población, pero puede prevenir problemas mayores de deterioro del recurso subterráneo respecto de su disponibilidad y calidad, que ya comienza a mostrar signos de contaminación como se menciona más adelante. Por lo tanto, además de esta práctica, la solución más efectiva consiste en la ampliación de la batería de pozos, poniendo especial atención a que la ubicación del ó de los nuevos pozos, no interfieran desde el punto de vista hidrodinámico con la batería actual. La alternativa de abastecimiento a partir de una fuente de agua superficial requiere la construcción de obras de toma de agua, acueductos de conducción del orden de 3 km y una planta potabilizadora. Los cálculos de costos específicos deberán ser realizados por especialistas en el tema, pero generalmente estas obras implican costos elevados de ejecución y mantenimiento, mayores a los derivados del abastecimiento a partir de agua subterránea.

De acuerdo a la información proporcionada por la Cooperativa de San Ignacio, sólo el 35% de las viviendas tiene medidor y algunos no funcionan bien. Esta situación repercute no sólo en un mayor derroche del recurso por parte del usuario, como indicara el personal de la Cooperativa, sino que tam-

bién esta falencia no permite evaluar el estado de conservación de la red de distribución. Si se conoce el caudal consumido por la población y el caudal de extracción (los pozos deben tener caudalímetro) se puede calcular la pérdida de agua en la red de distribución y, de ser necesario, proceder a su reparación.

También se observó que una gran cantidad de pozos profundos, como el que muestra la figura 21, no cuenta con un sello sanitario adecuado, lo que permitiría el ingreso de aguas superficiales contaminadas. Aquellos que poseían algún tipo de sello sanitario, no contaban con un tubo de acceso para la medición de niveles o el agregado de desinfectantes. Los pozos tampoco tendrían caño camisa, ni caño filtro y por lo tanto la zona de captación de agua abarcaría tramos más superficiales que el acuífero a explotar (en este caso las areniscas) lo que implicaría la posibilidad de estar captando aguas del acuífero freático que podrían estar contaminadas. La ausencia de caño camisa y filtro no se puede remediar en un pozo existente, pero sí es posible mejorar su sello sanitario para evitar el ingreso de contaminantes tanto sólidos como líquidos. Es importante recordar que todo diseño de sello sanitario debe contemplar la existencia de un tubo de acceso, que a su vez debe tener una tapa, para la medición de niveles hidráulicos o el agregado de desinfectantes. También es importante que los pozos posean caudalímetro para controlar el régimen de explotación y un grifo para la toma de muestras.

Con respecto a la contaminación del recurso, se observaron niveles relativamente elevados de nitrato (ver Hidrogeoquímica) probablemente provocados por la existencia de pozos ciegos debido a la ausencia de sistema cloacal. Los niveles de nitrato todavía son menores al nivel guía de agua para bebida (Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación, 2004) pero algunos se encuentran muy cercanos a este valor. Por lo tanto es de extrema urgencia que se construya el sistema cloacal con su respectiva planta de tratamiento y que se vacíen los pozos ciegos existentes para así disminuir el ingreso de contaminantes por esta fuente. Cuanto antes se actúe al respecto, menor será el nivel de contaminación y mayor será la posibilidad de que el acuífero recupere sus valores originales de calidad. Es imprescindible que se monitoree el contenido de nitratos en los pozos de abastecimiento para controlar su evolución y tomar las medidas necesarias en el caso que se superen los niveles guía. Se debe recordar que la contaminación del recurso subterráneo puede llevar a la contaminación de los recursos superficiales (ya que los cursos superficiales son efluentes) que representan la otra alternativa de abastecimiento de agua.

Algunos asentamientos aislados que no disponen de una conexión a la red de agua potable se abastecen de acuíferos someros a través de “aljibes” que son, en el sentido local, pozos someros de 2 hasta 6 m de profundidad. En algunos casos, estos pozos no poseen tapa y captan principalmente el agua



Figura 21. Pozo profundo de la Cooperativa de Agua de San Ignacio, sin un adecuado sello sanitario.

de lluvia y las aguas superficiales que pueden contener contaminantes y microorganismos, siendo por lo tanto no apta para el consumo humano. Esta situación se ha observado especialmente en un pozo utilizado para el abastecimiento de agua de una escuela a la que asistirían unos 30 alumnos (figura 22).

### *SISTEMA ACUÍFERO GUARANÍ*

El Sistema Acuífero Guaraní, también conocido como del MERCOSUR, es una de las reservas de agua dulce más importantes del planeta debido a su extensión (ca. 1.200.000 km<sup>2</sup>) y su volumen (ca. 40.000 km<sup>3</sup>). Constituye un gran reservorio transfronterizo de agua subterránea que es compartido por cuatro países: Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay. Este mega-acuífero está alojado en arenas de origen eólico y fluvial del Triásico y Jurásico, regionalmente cubiertas por un potente espesor de formaciones basálticas del Cretácico. Todo el sistema se encuentra afectado por fallas regionales y presenta bloques levantados. Aparentemente serían varias las unidades geológicas relacionadas con el Sistema Acuífero Guaraní. Una de ellas sería la Formación Solari que aflora en la zona de San Ignacio.

Araújo *et al.* (1999) hicieron una recopilación de los datos disponibles del acuífero y trazaron mapas del techo del mismo, de temperatura y de piezometría, entre otros parámetros, que se muestran en las figuras 23, 24 y 25, donde está resaltada

la ubicación de San Ignacio. Los mapas presentados en el trabajo mencionado han servido de base para comenzar a establecer la gestión sostenible del acuífero.

En el año 2000, se creó el Proyecto Acuífero Guaraní (Proyecto para la Protección Ambiental y Desarrollo Sostenible del Sistema Acuífero Guaraní, que sigue vigente en la actualidad, con el fin de contribuir al conocimiento del sistema y apoyar a la Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay en la elaboración e implementación conjunta de un modelo técnico, legal e institucional para el gerenciamiento y preservación del Acuífero Guaraní. El principal origen de los recursos es el Global Environment Facility (Fondo para el Medio Ambiente Mundial) y la Agencia Ejecutora Internacional es la OEA (Organización de los Estados Americanos).

Dentro del marco de este proyecto, entre el 4 y 7 de diciembre de 2001 se realizó un Taller en Belo Horizonte donde se analizó la información disponible y se identificaron las distintas falencias. Uno de los principales problemas encontrados fue la ausencia de perfiles de los pozos con la identificación de la litología, estratigrafía y ubicación de los filtros que permitan identificar la proveniencia del agua muestreada y de los datos de niveles hidráulicos relevados. Esta falta de información trae como consecuencia que se puedan estar asignando al Acuífero Guaraní datos que, en realidad, corresponden a los acuíferos de formaciones superiores. Por



**Figura 22.** Pozo de la Escuela N° 134, construido en un arroyo.

ejemplo, en la zona de San Ignacio es difícil determinar si las aguas captadas en distintos pozos provienen de las areniscas exclusivamente o también de los basaltos.

La comparación de los datos isotópicos ( $^2\text{H}$  y  $^{18}\text{O}$ ) disponibles en los cuatro países involucrados y presentados durante este Taller, junto con datos hidroquímicos y de otros isótopos ( $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ , etc.), permitió identificar familias de aguas que aparentemente tendrían un origen común. Se advirtió que algunos de estos datos no concuerdan demasiado bien con las direcciones de escurrimiento subterráneo propuestas en Araújo *et al.* (1999). Estudios futuros permitirán identificar o vislumbrar la posible presencia de líneas del flujo subterráneo.

Con respecto a la calidad del agua alojada en el Sistema Acuífero Guaraní, la misma es de muy buena calidad, con salinidades medias de alrededor de 300 mg/l. En las zonas de recarga prevalecen las aguas de tipo bicarbonatado cálcico mientras que en las áreas de confinamiento son del tipo bicarbonatado sódico.

Se observa que las aguas del Acuífero Guaraní corresponden a aguas que no han experimentado importantes procesos de evaporación antes de su infiltración en el subsuelo y que tampoco han experimentado intercambio isotópico con eventuales gases de origen endógeno (metano, anhídrido carbónico o sulfhídrico) ni con los minerales oxigenados de la roca (silicatos y carbonatos), esto último por efecto de temperaturas muy altas (superiores a unos  $120^\circ\text{C}$ ). La composición isotópica de muchas de las aguas subterráneas de la zona no se puede explicar a través de la composición isotópica de las precipitaciones recientes y se supone que estas aguas corresponden a precipitaciones que tuvieron lugar durante épocas pasadas más frías. Sin embargo el sistema acuífero tendría un porcentaje de recarga reciente por medio de la infiltración directa de las aguas de lluvia en las áreas de afloramientos de las rocas del Acuífero Guaraní (figura 26) y de forma indirecta por infiltración vertical (drenaje), a lo largo de las discontinuidades de las rocas del paquete confinante suprayacente (Formación Posadas), en las áreas donde la carga piezométrica favorece los flujos descendentes. En la zona de San Ignacio este paquete suprayacente, cuando existe, está compuesto por basaltos con un grado de fracturación importante.

Por lo tanto en la zona de San Ignacio las areniscas correspondientes al Sistema Acuífero Guaraní se encuentran, en la mayor parte del área, aflorando o cubiertas por un espesor  $< 100$  m de basaltos fracturados que no representan una protección

significativa frente a la contaminación. Una protección un poco más efectiva puede estar representada por los depósitos lateríticos de material fino que cubren casi toda la zona. Sin embargo en muchos casos, como las fosas sépticas en zonas pobladas, este espesor es aún menor ya que la probable fuente de contaminación es subterránea.

Es importante tener en cuenta que, si efectivamente las areniscas aflorantes en la zona de San Ignacio forman parte del Sistema Acuífero Guaraní y representan un área de recarga, toda contaminación que se pueda producir va a repercutir a corto plazo en el área misma (como se comienza a vislumbrar sobre la base de los contenidos de nitrato de los aljibes y pozos profundos del caso urbano) y a mediano y largo plazo en las áreas más alejadas, probablemente hacia el sur, que es hacia donde se dirigiría buena parte del agua subterránea, y en zonas tan lejanas como Uruguay.

### POTENCIALES PUNTOS DE CONTAMINACIÓN

Los potenciales puntos de contaminación son eventuales fuentes de suministro de compuestos químicos que pueden alterar al ecosistema y a la salud humana.

La localidad de San Ignacio no tiene emprendimientos industriales o focos que sean de extrema gravedad para el medio ambiente, sin embargo, se deberían tener en cuenta los siguientes puntos:

- *Vertido de efluentes industriales de la empresa Valois* ( $27^\circ 12' 29''\text{S}$ ,  $55^\circ 28' 54.4''\text{O}$ ). La empresa se dedica a la explotación de almidón de la mandioca. Los efluentes están integrados por compuestos orgánicos, los cuales se disponen en piletas de infiltración y estabilización. Dicho vertido se ubica al norte y fuera de la zona de estudio cercano a la localidad de General Roca.
- *Vertido de efluentes cloacales y de aguas servidas de viviendas ubicadas detrás del Hospital* (figura 27) y *Gendarmería*. En ambos casos el caudal es escaso y los contaminantes son del tipo orgánico.
- *Emisiones gaseosas procedentes del aserradero emplazado detrás de la Planta de Transferencia de Residuos*. Las emisiones están formadas por humo y hollín.
- *Todos los pozos absorbentes de las viviendas de la localidad*. Estos focos son los puntos contaminantes más importantes de la zona. La magnitud de los vertidos aumenta durante la alta temporada turística cuando la capacidad hotelera está completa.

- *Pozos de basura doméstica en la zona rural.* Estos focos son puntuales y de bajo volumen, sin embargo pueden ser fuente de contaminantes orgánicos a los pozos de aguas de las viviendas.
  - *Acopio de aserrín de la empresa Fyoit (figura 28).* Las lluvias que se infiltran en el acopio de aserrín pueden originar elevadas concentraciones de compuestos con nitrógeno en las aguas superficiales.
  - *Zonas rurales con uso de insecticidas y fertilizantes en los suelos.* El uso de insecticidas para combatir las malezas o el agregado de nutrientes a los suelos puede ocasionar contaminación en los suelos y por lo tanto ser arrastrada por la erosión hídrica hasta los arroyos. En tres muestras con sospecha específica de existencia de plaguicidas y fertilizantes (cercanía a cultivos de tabaco o forestales) se midieron las concentraciones de una lista amplia de plaguicidas. En ningún caso superaron los límites de detección. Esto no significa su ausencia total, sino que se debe al número muy restringido de muestras y al tiempo del muestreo que se realizó después de unas lluvias muy fuertes.
  - *Tanques enterrados de las estaciones de servicio.*
- Cada uno de estos focos puede o no originar un impacto en el medio ambiente. Como el nombre lo indica, estos son puntos potenciales de emisión. No es objetivo de este informe, evaluar el impacto de cada foco.



Figura 27. Vertido de efluentes detrás del Hospital.



Figura 28. Acopio de aserrín aldeaño a viviendas y al drenaje.

## GLOSARIO HIDROGEOLOGÍA

**Acuicludo:** masa rocosa capaz de almacenar agua pero no de transmitirla.

**Acuífero:** masa rocosa capaz de almacenar y transmitir agua, lo que hace posible su explotación.

**Acuífero confinado:** acuífero cuyo techo y piso están constituidos por capas de baja permeabilidad o confinantes. La presión del agua a nivel del techo es superior a la atmosférica. Por lo tanto, si un pozo atraviesa el techo del acuífero, el nivel del agua ascenderá.

**Acuífero libre, no confinado o freático:** acuífero que posee una superficie hidráulica en contacto directo con el aire y por lo tanto a presión atmosférica.

**Acuífero multicapa:** acuífero formado por varias capas de permeabilidad variable e interconectadas entre sí.

**Acuífero semiconfinado:** acuífero cuyo techo y/o base están constituidos por capas de baja permeabilidad que dificultan pero no impiden el paso del agua.

**Acuífugo:** masa rocosa que no es capaz de almacenar ni transmitir agua.

**Acuitardo:** masa rocosa capaz de almacenar agua pero que la transmite muy lentamente.

**Caudal específico:** cociente entre el caudal de agua bombeado y el descenso en el nivel de agua producido por el bombeo. El caudal específico no es constante para un determinado caudal ya que con el tiempo el descenso aumenta. Sin embargo, los descensos tienden a estabilizarse y el caudal específico también.

**Cono de depresión:** alteración de las direcciones de escurrimiento naturales del flujo subterráneo en forma de cono con ápice en la captación y direcciones de flujo descendentes y concéntricas, como resultado de la extracción de agua.

**Curso o cuerpo de agua superficial efluente:** aquel que recibe aporte del agua subterránea. La superficie freática se emplaza por encima del nivel de agua del río. Son cursos o cuerpos permanentes y zonas de descarga del agua subterránea.

**Curso o cuerpo de agua superficial influente:** aquel que cede agua al acuífero. El nivel de agua del río posee mayor potencial hidráulico que la superficie freática. Constituyen zonas de recarga de acuíferos. Son característicos de zonas áridas o semiáridas.

**Curva equipotencial:** línea que une puntos de igual potencial hidráulico.

**Depresión:** descenso del nivel de agua de un pozo debido al bombeo.

**Desarrollo de un pozo:** en la construcción de pozos, desarrollar un pozo significa eliminar, por algún medio o asociación de varios, el material de grano fino adyacente a las paredes del pozo para facilitar la entrada del agua.

**Divisoria de aguas subterráneas:** línea a cada lado de la cual el flujo de agua subterránea diverge.

**Ensayo de bombeo:** bombeo de agua de un pozo con uno o más caudales previamente elegidos, durante el cual se miden regularmente los niveles hidráulicos en el pozo de bombeo y en pozos de observación cercanos. Los datos se utilizan para determinar los parámetros del acuífero (ej. permeabilidad) en las proximidades del pozo de bombeo.

**Evapotranspiración potencial:** límite superior de la cantidad de agua que puede volver a la atmósfera por evaporación y transpiración.

**Evapotranspiración real:** cantidad de agua real que vuelve a la atmósfera por evaporación y transpiración.

**Fenómeno de interferencia de pozos:** Si en un acuífero se establecen varias captaciones de agua, éstas se influyen unas a otras ya que el descenso del nivel hidráulico en cualquier punto del acuífero explotado es la suma de los descensos provocados en el mismo por cada una de las perforaciones consideradas individualmente.

**Gradiente hidráulico:** variación del potencial hidráulico por unidad de distancia, en una dirección normal a las curvas equipotenciales.

**Nivel dinámico:** nivel hidráulico de un pozo cuando está influido por bombeo.

**Nivel estático:** nivel hidráulico de un pozo cuando no está influido por bombeo.

**Nivel freático:** nivel hidráulico de un acuífero freático. Forma una superficie real porque el agua se encuentra en contacto con la atmósfera, a presión atmosférica.

**Nivel o potencial hidráulico:** posición del nivel de agua respecto de una superficie de referencia. Forma una superficie hidráulica.

**Nivel piezométrico:** nivel hidráulico de un acuífero confinado. Forma una superficie virtual que se obtiene por la interpolación de los niveles obtenidos en los pozos que atraviesan el techo del acuífero.

**Permeabilidad o conductividad hidráulica:** volumen de agua que atraviesa una sección unitaria bajo un gradiente hidráulico unitario en un

tiempo unitario. Tiene las dimensiones de una velocidad.

**Porosidad:** relación entre el volumen de intersticios en una muestra dada de un medio poroso, por ejemplo suelo, y el volumen total del medio poroso, incluidos los huecos.

**Porosidad efectiva:** cantidad de espacios porosos interconectados que permiten la transmisión de fluidos. Se expresa como el porcentaje de la relación entre el volumen de intersticios interconectados y el volumen total del medio poroso, incluidos los huecos

**Porosidad eficaz:** relación entre el volumen de agua que puede ser drenado por gravedad de un medio poroso inicialmente saturado y el volumen total del medio poroso. Se expresa como porcentaje.

**Porosidad primaria o intergranular:** porosidad que corresponde a los huecos propios de la roca sedimentaria.

**Porosidad secundaria o de fractura:** porosidad que se ha originado posteriormente a la formación de la roca, producida por la rotura o fracturación de una roca que de lo contrario sería menos permeable.

**Pozo de observación:** pozo utilizado para medir el nivel hidráulico de las aguas subterráneas, y en particular para observar la frecuencia y magni-

tud de los cambios en la altura u otros parámetros físicos o químicos

**Radio de influencia de un pozo:** distancia desde el eje de un pozo de bombeo, a la que los efectos del pozo en la superficie piezométrica o freática dejan de ser perceptibles.

**Red o mapa de flujo:** mapa en donde se representan las curvas de igual potencial hidráulico de un acuífero y las direcciones del flujo subterráneo.

**Sifonamiento:** flujo ascendente de agua que se produce en terreno arenoso debido a un desequilibrio de la presión del agua que resulta de la disminución de la sobrecarga a causa de excavaciones.

**Zona saturada o medio saturado:** zona en la que todas las oquedades, grandes y pequeñas, están llenas de agua.

**Zona subsaturada o no saturada:** sección que se ubica entre la superficie freática y el nivel del terreno. En ella coexisten los tres estados de la materia (sólido, líquido y vapor), y constituye un efectivo filtro natural frente a los contaminantes. Dentro de la zona no saturada, la franja edáfica (hasta donde penetran las raíces) es la más efectiva como filtro natural debido a su alto contenido de materia orgánica y fuerte actividad biológica.

## 6. SUELOS

El suelo constituye un recurso natural no renovable y es fuente de los nutrientes y además es el soporte físico de la actividad forestal, ganadera y agrícola. En la zona de San Ignacio se reconocen prácticas de manejo no sustentables que provocan la degradación del suelo. Los procesos de erosión por la tala indiscriminada de los bosques es la principal causa de degradación que se presenta en la zona y que tiende a reducir la capacidad productiva del suelo.

### FACTORES Y PROCESOS FORMADORES

El origen y el desarrollo de los suelos son controlados por la interacción del clima, el relieve, las rocas y la vegetación (Birkeland, 1999). Sobre la base de esta interacción tienen lugar procesos físicos, químicos y biológicos que darán lugar a los diferentes suelos registrados en el área de estudio.

En la zona, los suelos son oxidados, con una lixiviación moderada de cationes y una elevada tasa de incorporación de materia orgánica en la parte superior del perfil.

La oxidación y alteración química son procesos que alteran a los minerales primarios, descomponiéndolos en otros más estables al medio ambiente. La plagioclasa es uno de los minerales que registra mayor alteración a arcillas (Piccolo *et al.*, 1999).

El proceso de lixiviación es el retiro de cationes del suelo. El exceso de agua posibilita la eliminación de dichos cationes hacia las aguas freáticas. Por ello, los perfiles de los suelos están lixiviados de carbonatos y tienen escaso calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), potasio (K) y fósforo (P). Los bajos valores de calcio (Ca) y potasio (K) en el complejo de intercambio y la ausencia de carbonatos en la química de estos suelos constituye un indicador de este proceso. El retiro de los cationes mencionados permite concentrar los cationes más inmóviles en el perfil del suelo (Riggi y Feliú de Riggi, 1964). En consecuencia el hierro (Fe), la sílice (Si) y el aluminio (Al) se concentran con respecto a los restantes cationes. Los colores rojizos surgen por la liberación del hierro de la magnetita y su oxidación en hematita, la que tiñe a los minerales y a las partículas de arcilla.

La incorporación de materia orgánica por la caída de restos de los árboles del bosque es un proceso típico en zonas de bosque. Este agregado de materia orgánica poco descompuesta forma una capa que se denomina *mantillo* u *horizonte O* sobre el suelo

mineral, la cual está compuesta por restos vegetales como ser hojas secas y ramas en diferente estado de putrefacción y oxidación. Dado que la actividad bacteriana es muy elevada en los trópicos, estos suelos prácticamente no contienen humus. Este hecho, junto con la intensa lixiviación y aspecto "ladrillo" de estos suelos, hace que los mismos sean malos para el cultivo agrícola.

Las características mencionadas determinan que los suelos del área presenten colores rojizos y humus de color claro, lo que evidencia la presencia de rápidos procesos de oxidación, los que están vinculados a las altas temperaturas y a la gran cantidad de precipitaciones estacionales de la zona.

En casi toda la zona de estudio, los suelos están bien drenados, excepto los que se desarrollan en los fondos de valles y llanuras de inundación de los arroyos donde presentan características hidromórficas, tales como moteados y horizontes gley.

El perfil del suelo tiene horizontes del tipo A, B y C. Los suelos más diferenciados en cuanto a horizontes tienen secuencias A, BA, Bt, BC, C, mientras que los suelos menos desarrollados presentan una secuencia A, C. Los primeros se clasifican dentro del Orden Ultisoles y Alfisoles, mientras que los segundos se agrupan en el Orden Entisoles.

### TIPOS DE SUELOS Y HORIZONTES

Los suelos de Misiones han sido investigados a escala regional (Mancini *et al.*, 1964; Aranda, 1974; Ríos, 1981; Casas *et al.*, 1988 y Ligier *et al.*, 1988) y no hay estudios a escala local.

La clasificación de los suelos utilizada en este trabajo se basó fundamentalmente en criterios texturales y geomorfológicos.

Desde el punto de vista de la textura se distinguen dos grupos de suelos: los de textura gruesa por un lado y los de textura fina por otro. Los primeros provienen fundamentalmente de la degradación de las areniscas cretácicas y de las arenas acumuladas por el río Paraná. El segundo grupo textural (arcillo arenoso o franco arcilloso) deriva de dos tipos de materiales: a) De la meteorización o degradación de los basaltos, y b) De los sedimentos aluviales holocenos y de textura limosa acumulados por el río Paraná.

Desde el punto de vista geomorfológico se establecen dos grandes grupos de suelos, el primero incluye los desarrollados en las zonas bajas (ubicados en los fondos de los valles) y el segundo comprende a los formados en las zonas altas, es decir en los interfluvios (tabla 5).

| Suelos                     | Material parental                                | Geomorfología  | Tipo de suelos | Orden                  |
|----------------------------|--|--|----------------|------------------------|
| Suelos de los interfluvios | Basaltos y arcillas lateríticas (texturas finas) | Sectores elevados y poco ondulados, imperfectamente drenados | Suelos tipo 1  | Ultisoles<br>Alfisoles |
|                            |  | Pendientes y sectores muy ondulados, bien drenados           | Suelos tipo 2  |                        |
|                            | Areniscas y arenas (texturas gruesas)            | Sectores altos y poco ondulados, excesivamente drenados      | Suelos tipo 8  | Entisoles              |
|                            |  | Pendientes y sectores muy ondulados, excesivamente drenados  | Suelo tipo 3   |                        |
| Suelos de zonas bajas      | Arenas   | Terraza II del río Paraná, Sectores pobremente drenados.     | Suelo tipo 6   | Entisoles              |
|                            | Franco arenosas                                  | Terraza I del río Paraná. Relieves planos bien drenados      | Suelos tipo 7  | Molisoles              |
|                            | Arcillas   | Depresiones  | Suelos tipo 4  | Molisoles              |
|                            | Arcilla y franco                                 | Depresiones  | Suelos tipo 5  | Entisoles              |

Tabla 5. Clasificación de suelos de la zona.

### Propiedades del horizonte A

El horizonte superficial (horizonte A) es la capa superior del perfil del suelo y es el que alberga la mayor parte de la materia orgánica y de los nutrientes. En el área de estudio el horizonte A tiene dos tipos de texturas: arcillosas a arenosas. La textura está vinculada con el tipo de material originario sobre el que se formó el suelo. En las zonas con relieves planos, sin erosión y con afloramiento de basalto meteorizado se presentan las texturas más finas; mientras que en las zonas con afloramientos de areniscas o coluvios de material basáltico pobremente meteorizado se desarrollan los horizontes con texturas más gruesas (figura 29). Por lo general, los horizontes A formados en las arenas y en las areniscas son pobremente estructurados y tienen un espesor de 10 cm; mientras que los desarrollados en las aleritas o basaltos poseen mayor espesor (20 cm), son más oscuros y tienen mejor estructura.

El complejo de saturación en el horizonte A está poco saturado, ello quiere decir que el horizonte está lixiviado de cationes y es poco fértil. El calcio (Ca) es el catión de intercambio que domina, seguido por el magnesio (Mg). Esto podría indicar una cierta influencia de la alteración de las plagioclasas de los materiales basálticos. Los valores del complejo de intercambio catiónico (CIC) son bajos y rondan los 11,9 meq/100g (tabla 6).

El pH promedio de todos los suelos es de 5,5 a 6,2, evidenciando en general, un carácter ácido en todos los suelos muestreados y concuerda con las características esperadas bajo un clima subtropical selvático. El valor medio de *Fósforo Extractable* es de aproximadamente 4-5 ppm, ello indica suelos con valores medios a pobres en este elemento.

Los valores de conductividad eléctrica también son bajos (0,179 dS/m), lo cual demuestra que los suelos están lavados.

El contenido de materia orgánica (método Wolkely Black) es bajo y ronda entre 0,9 y 0,5 %.

### Propiedades del horizonte B

El horizonte B es una capa de enriquecimiento secundario de arcillas y hierro. Este enriquecimiento se forma de dos maneras, por migración de los elementos desde el horizonte A y por formación de arcillas en el propio horizonte B.

| Catión de intercambio | Valor           |
|-----------------------|-----------------|
| Ca                    | 5,964 meq/100gr |
| Mg                    | 1,795 meq/100gr |
| Na                    | 0,270 meq/100gr |
| K                     | 0,832 meq/100gr |

Tabla 6. Valores de cationes de intercambio.

En el área de estudio sólo se identificaron horizontes B en los topes de loma o en pendientes suaves donde afloran basaltos muy meteorizados y donde la erosión hídrica es leve.

Son horizontes que tienen 1 a 1,2 m de espesor, son de textura arcillosa y estructura en bloques y prismas fuertes. Son muy duros en seco y adhesivos y plásticos en húmedo. Los valores de CIC son bajos y rondan entre 10 y 9 meq/100g lo que determina que gran parte de estos horizontes estén lavados.

### Propiedades del horizonte C

El horizonte C corresponde al material madre o parental de los suelos. En la zona se diferenciaron varios tipos de materiales: a) Basaltos con diferente grado de alteración, b) Areniscas, c) Franco arenosos, d) Arenas aluviales, e) Arcillas aluviales y f) Gravas aluviales.

En el caso de los horizontes C desarrollados sobre el basalto se distinguen los horizontes C1 y C2. El horizonte C1 corresponde a la roca basáltica alterada en un porcentaje < 40%; en este caso, la alteración se halla básicamente en las zonas de fracturas que tiene la roca; es común reconocer estructuras esferoidales delimitadas por diaclasas. El horizonte C2 pertenece a la roca basáltica con meteori-

zación avanzada, los fragmentos de rocas ocupan más del 40% del volumen; por lo general este horizonte es de color rojizo o amarillento debido a la pigmentación férrica y la estructura es masiva y es muy deleznable con las manos.

En las areniscas, el horizonte C es de textura arenosa, masivo y de color rojizo con fragmentos gruesos (puntos S6, S7, S17).

El horizonte C desarrollado en material franco arenoso se ubica en la terraza aluvial del río Paraná (punto S19). El mismo tiene estructura en bloques y es muy susceptible a la edafización.

En las pendientes fuertes se forma sobre materiales coluviales gruesos, de textura franco o franco arenosa con abundantes fragmentos gruesos (puntos S22 y S25).

En el punto S23 los suelos se desarrollan sobre gravas aluviales compuestas por clastos de calcedonia.

Por otro lado, en los fondos de valles estrechos, el horizonte C se forma en sedimentos franco arcillo arenosos (punto S4).

En los valles más amplios, donde se presentan fenómenos de decantación, los materiales originarios son más arcillosos (S5, S20).

Por último, materiales arenosos, limpios de óxidos, se observan en sedimentos recientes acumulados por el río Paraná al noroeste le área.

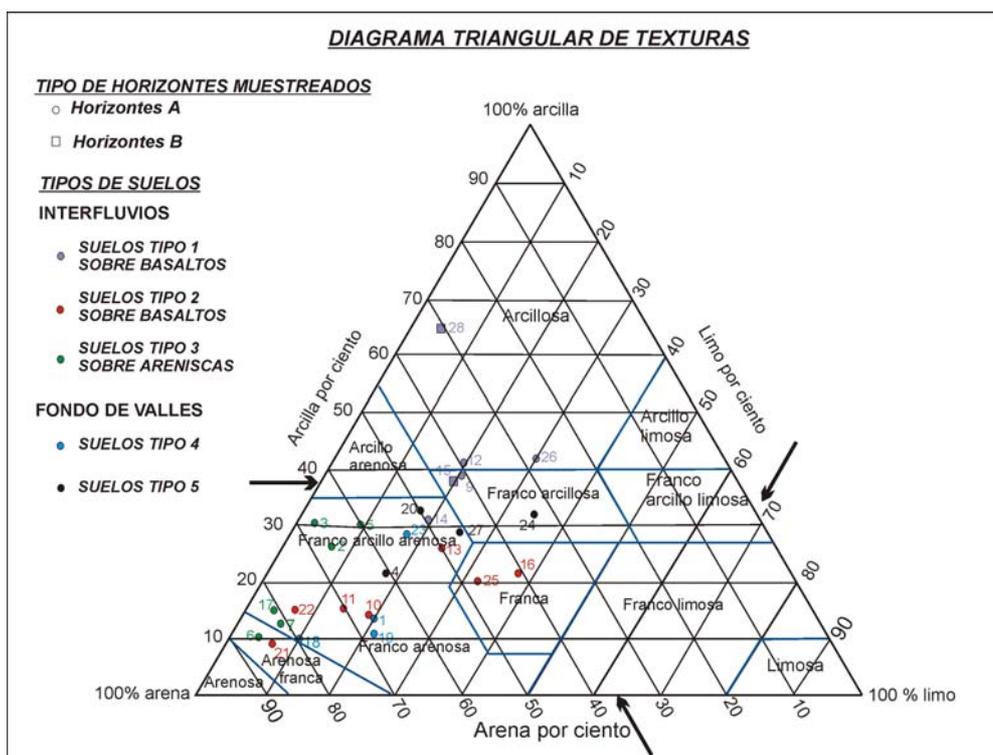


Figura 29. Gráfico de texturas según tipo de suelos.

Otros horizontes C de escasa distribución areal son las gravas aluviales que se hallan en el punto M23. En este caso, las gravas son cantos rodados de calcedonia.

### Suelos de interfluvios

Este gran grupo de suelos se puede dividir en dos subgrupos, dependiendo de su carácter textural: con textura fina (franca a franco arcillosa) y con textura gruesa (arenosa franca y franco arenosa).

#### *Suelos de textura fina de los interfluvios*

Se ubican en la mayor parte del área y su desarrollo coincide con los afloramientos de rocas basálticas y la presencia de alteritas antiguas derivadas del basalto. Según la secuencia de horizontes, estos suelos se clasifican a su vez en dos subgrupos, los que tienen una secuencia A-BA-Bt-BC-C (figura 30) por un lado (suelos de tipo 1=S1), y los que denotan secuencias A-Bw-C, A-AC-C, A-AC-C-R o A-R (suelos de tipo 2=S2).

Los suelos tipo 1 son suelos profundos (>1,5 m) ubicados en pendientes menores a 2° y en donde la roca se encuentra a más de 2 metros. El horizonte A es de 20 cm de espesor, de color gris rojizo, textura franco arcillosa y una estructura en bloques irregulares finos que se rompen en bloques muy finos débiles. Exhiben un horizonte B bien desarrollado, rojizo, arcilloso, plástico y adhesivo en húmedo. Tiene estructura en bloques finos y medios y fuertes. El drenaje de estos suelos es imperfecto por el alto contenido de arcillas en el horizonte B.

Los suelos de tipo 2 son de menor espesor (<1,5 m), no cuentan con horizonte B bien expresado, están ubicados en pendientes mayores a los 2° y son franco de textura arenosa a franca. Las secuencias A-R se presentan en pendientes fuertes (>30°) y donde los afloramientos de basalto están cercanos a la superficie (puntos S23 y S25). Los mismos tienen horizontes A de 20 cm, con 20 a 50% de fragmentos gruesos y poseen un drenaje bueno. Las secuencias A-AC-C se ubican en pendientes con menor erosión hídrica y con roca entre 0,5 a 1 m de profundidad. Tienen horizontes A de 20 cm de espesor y pocos fragmentos gruesos (<5%). Por último, las secuencias A-(B)-C se encuentran en pendientes todavía más estables, con espesores importantes de alteritas y con basaltos a más de 2 m de profundidad. Los mismos son imperfectamente drenados debido a la baja permeabilidad del horizonte B.

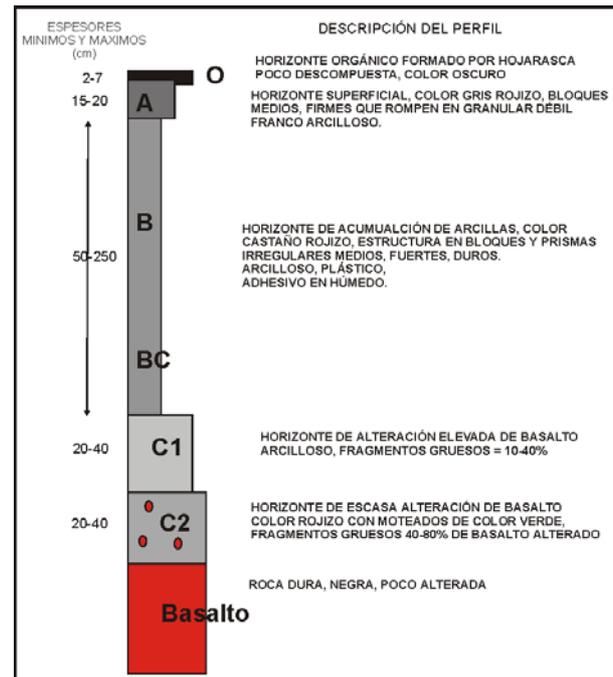


Figura 30. Perfil de suelos en basaltos.

A continuación se presentan las características químicas y texturales de los dos subgrupos de suelos:

#### SUELOS TIPO 1

Ca 5,718 meq/100gr  
Mg 1,798 meq/100gr  
Na 0,243 meq/100gr  
K 0,765 meq/100gr  
CIC10,723 meq/100gr  
Ph 5,565

#### Veloc. de infiltración:

1,028 cm/min

#### Compactación:

Húmedo: 0,985 kg

Seco: 0,957 kg

#### Textura:

Arcillas: 37,500%

Limos: 22,5000%

Arenas: 40,000%

#### SUELOS TIPO 2

Ca 6,686 meq/100  
Mg 1,806 meq/100gr  
Na 0,302 meq/100gr  
K 0,964 meq/100gr  
CIC 13,098 meq/100gr  
Ph 5,834

#### Veloc. de infiltración:

1,427 cm/min

#### Compactación:

Húmedo: 0,882 kg

Seco: 0,951 kg

#### Textura:

Arcillas: 18,000%

Limos: 21,000%

Arenas: 61,000%

Las muestras que pertenecen a estos suelos son M9, M10, M11, M12, M13, M14, M16, M21, M22, M25 y M26 (tablas 7, 8 y 9).

#### *Suelos de textura gruesa de los interfluvios (suelo tipo 3 y 8)*

Los suelos de tipo 3 y 8 se forman en los productos de la degradación mecánica de las areniscas cretácicas (figuras 31 y 32). En general son de textura franco arenosa, con un porcentaje ma-

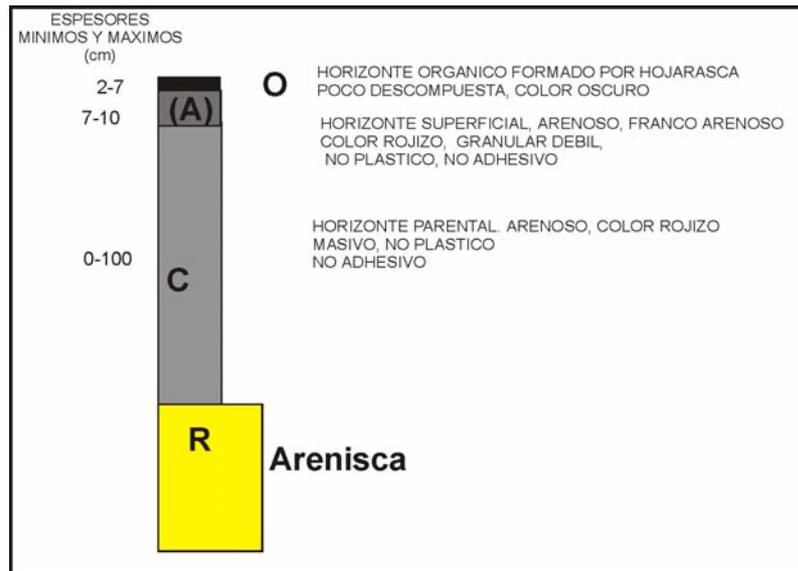


Figura 31. Suelos de tipo 3 y 8 desarrollados sobre areniscas.

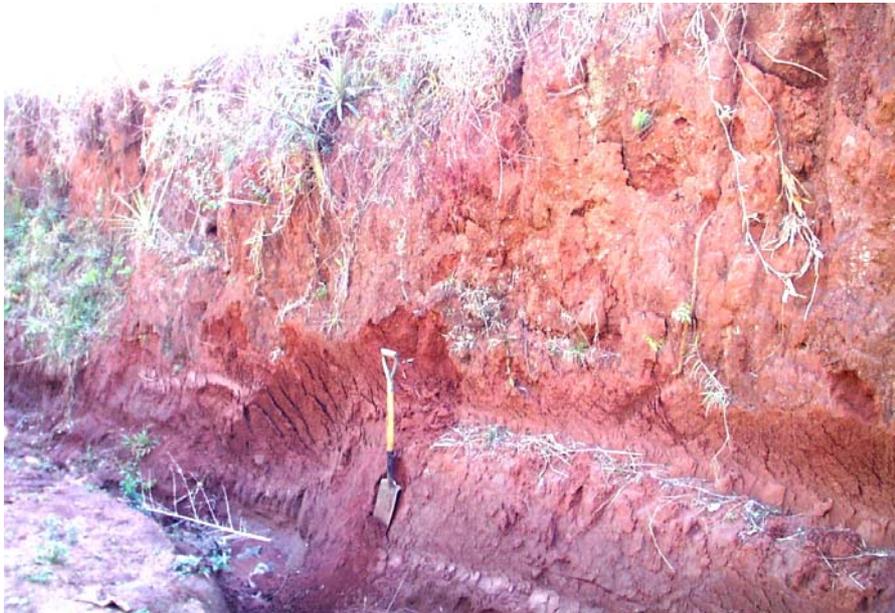


Figura 32. Suelos arenosos sobre las areniscas.

yor al 50 % de arena. No tienen horizontes B y las secuencias son de escaso desarrollo y son del tipo A-C. El horizonte A tiene < 10 cm de espesor, es de color rojizo y posee una estructura granular fina o es masivo. En las zonas donde se desarrolla el bosque natural, estos suelos suelen presentar un horizonte orgánico, constituido por hojarasca con diferente grado de putrefacción.

Teniendo en cuenta la profundidad a que se halla la arenisca se puede dividir a estos suelos en dos tipos. Los de escasa profundidad, cuando la roca se encuentra a menos de 0,5 m (suelos de tipo 8) y los de mayor profundidad, cuando la roca se halla a más de 0,5 metros (suelos de tipo 3). Las propiedades son:

Ca: 5,59 meq/100gr  
Mg: 1,757 meq/100gr  
Na: 0,241 meq/100gr  
K: 0,784 meq/100gr  
CIC: 11,446 meq/100gr  
PH: 4,697

**Velocidad de infiltración:**

0,635 cm/min

**Compactación:**

Húmedo: 0,896 kg

Seco: 0,951 kg

**Textura:**

Arcillas: 20,357%

Limos: 10,357%

Arenas: 69,286%

| Muestra | Arcillas % | Limos % | Arenas% | Textura                |
|---------|------------|---------|---------|------------------------|
| M1      | 16,25      | 20      | 63,75   | Franco arenosa         |
| M2      | 25         | 7,5     | 67,5    | Franco arcillo arenosa |
| M3      | 30         | 5       | 65      | Franco arcillo arenosa |
| M4      | 22,5       | 17,5    | 60      | Franco arcillo arenosa |
| M5      | 30         | 10      | 60      | Franco arcillo arenosa |
| M6      | 10         | 5       | 85      | Arenoso franca         |
| M7      | 12,5       | 7,5     | 80      | Franco arenosa         |
| M8      | 12,5       | 7,5     | 80      | Franco arenosa         |
| M9      | 37,5       | 20      | 42,5    | Franco arcillosa       |
| M10     | 12,5       | 20      | 67,5    | Franco arenosa         |
| M11     | 15         | 15      | 70      | Franco arenosa         |
| M12     | 40         | 20      | 40      | Franca                 |
| M13     | 25         | 25      | 50      | Franco arcillo arenosa |
| M14     | 30         | 20      | 50      | Franco arcillo arenosa |
| M15     | 37,5       | 20      | 42,5    | Franco arcillosa       |
| M16     | 22,5       | 37,5    | 40      | Franca                 |
| M17     | 15         | 5       | 80      | Franco arenosa         |
| M18     | 10         | 10      | 80      | Franco arenosa         |
| M19     | 11,25      | 21,25   | 67,5    | Franco arenosa         |
| M20     | 32,5       | 20      | 47,5    | Franco arcillo arenosa |
| M21     | 10         | 7,5     | 82,5    | Arenoso franca         |
| M22     | 15         | 7,5     | 77,5    | Franco arenosa         |
| M23     | 27,5       | 17,5    | 55      | Franco arcillo arenosa |
| M24     | 32,5       | 35      | 32,5    | Franco arcillosa       |
| M25     | 20         | 32,5    | 47,5    | Franca                 |
| M26     | 42,5       | 30      | 27,5    | Arcillosa              |
| M27     | 27,5       | 25      | 47,5    | Franco arcillo arenosa |
| M28     | 65         | 5       | 30      | Arcillosa              |

Tabla 7. Análisis textural de suelos

| Muestra | PH   | C.E. (dS/m) | P (ppm) | Cox (%) | Nt (%) |
|---------|------|-------------|---------|---------|--------|
| M1      | 5,67 | 0,33        | 4,12    | 1,36    | 0,15   |
| M2      | 4,64 | 0,11        | 4,04    | 1       | 0,13   |
| M3      | 4,56 | 0,14        | 6,99    | 0,65    | 0,08   |
| M4      | 5,12 | 0,09        | 10,3    | 2,31    | 0,20   |
| M5      | 4,50 | 0,10        | 6,05    | 1,16    | 0,13   |
| M6      | 4,40 | 0,15        | 5,87    | 0,5     | 0,07   |
| M7      | 4,50 | 0,09        | 6,11    | 1,06    | 0,12   |
| M8      | 5,90 | 0,07        | 3,26    | 0,77    | 0,10   |
| M9      | 5,66 | 0,08        | 2,87    | 0,83    | 0,10   |
| M10     | 6,44 | 0,33        | 4,04    | 1,15    | 0,13   |
| M11     | 5,36 | 0,33        | 3,56    | 1,67    | 0,19   |
| M12     | 5,88 | 0,12        | 4,23    | 1,27    | 0,15   |
| M13     | 5,15 | 0,11        | 4,25    | 1,34    | 0,15   |
| M14     | 5,40 | 0,15        | 3,26    | 1,33    | 0,15   |
| M15     | 5,44 | 0,12        | 2,56    | 1,13    | 0,13   |
| M16     | 5,89 | 0,33        | 3,77    | 1,80    | 0,20   |
| M17     | 4,67 | 0,10        | 4,56    | 0,62    | 0,07   |
| M18     | 5,65 | 0,11        | 2,96    | 1,04    | 0,13   |
| M19     | 5,06 | 0,32        | 4,89    | 1,58    | 0,18   |
| M20     | 5,95 | 0,14        | 2,96    | 1,70    | 0,20   |
| M21     | 5,39 | 0,08        | 2,69    | 2,54    | 0,21   |
| M22     | 6,33 | 0,08        | 2,56    | 1,69    | 0,19   |
| M23     | 4,74 | 0,31        | 3,26    | 1,00    | 0,12   |
| M24     | 5,61 | 0,38        | 3,26    | 1,39    | 0,16   |
| M25     | 6,07 | 0,35        | 3,26    | 2,25    | 0,20   |
| M26     | 5,32 | 0,16        | 3,91    | 0,60    | 0,07   |
| M27     | 5,67 | 0,09        | 2,88    | 1,59    | 0,14   |
| M28     | 5,43 | 0,09        | 3,15    | 0,62    | 0,08   |

Tabla 8. Análisis químico de suelos.

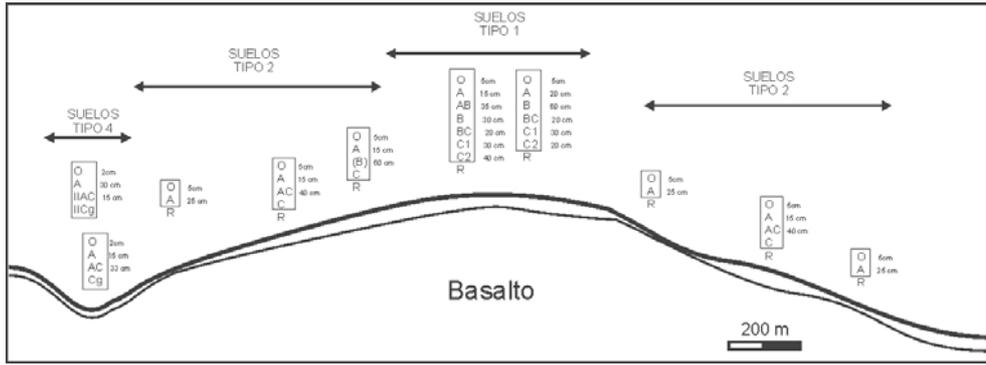


Figura 33. Toposecuencia de suelos tipo 1, 2 y 4.

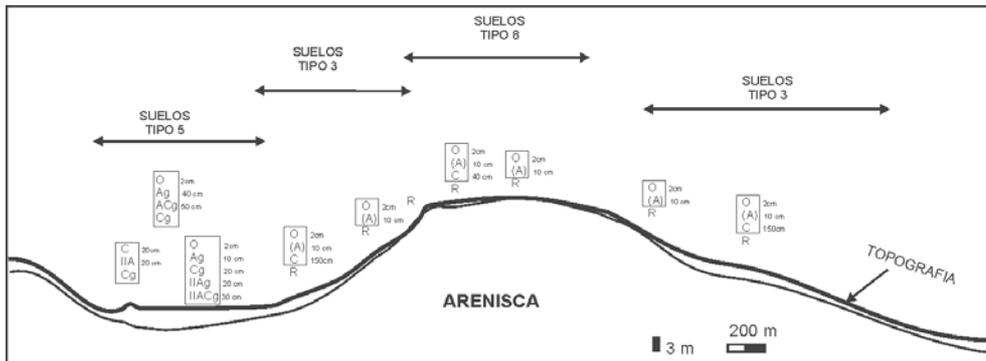


Figura 34. Toposecuencia de suelos tipo 8, 3 y 5.

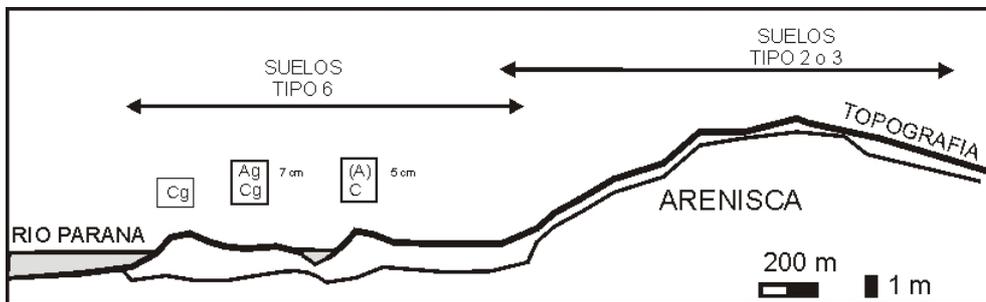


Figura 35. Toposecuencia de suelos tipo 1 y 6.

Las muestras que corresponden a estos suelos son la M2, M3, M5, M6, M7 y M17 (tablas 7, 8 y 9).

**Suelos de zonas bajas**

A diferencia de las zonas altas o coluviales, los suelos de las zonas bajas se caracterizan por tener problemas de drenaje (figuras 33, 34 y 35). Ello se debe a que los mismos se desarrollan en áreas donde el agua se acumula y queda retenida en el perfil durante más tiempo. Los colores de estos suelos son grisáceo-negruzcos y verdes, o presentan algunos moteados y/o color gris claro en algunos horizontes.

Al igual que en las zonas altas, los suelos de las partes bajas son de dos tipos de texturas, las gruesas que pueden ser arenosas y las más finas de tipo limo y arcilla.

*Suelos de zonas bajas de textura gruesa (suelos tipo 4, 6 y 7)*

Los suelos de tipo 4 tienen secuencias simples de horizontes de tipo A-C, donde aparece un horizonte húmico (A), de espesor variable entre 12 y 30 cm y el material originario (C). La textura de estos suelos es en general franco arenosa, con un porcentaje de arena que varía entre un 60 y 80 %. El contenido de materia orgánica es entre 0,9 y 1%. El

| Muestra | Ca (meq/100gr) | Mg (meq/100gr) | Na (meq/100gr) | K (meq/100gr) | CIC (meq/100gr) |
|---------|----------------|----------------|----------------|---------------|-----------------|
| M1      | 5,89           | 1,87           | 0,23           | 0,80          | 12,63           |
| M2      | 5,23           | 1,65           | 0,22           | 0,85          | 12,00           |
| M3      | 4,12           | 1,55           | 0,21           | 0,60          | 10,20           |
| M4      | 7,41           | 1,80           | 0,36           | 0,90          | 14,5            |
| M5      | 5,05           | 1,76           | 0,23           | 0,68          | 11,00           |
| M6      | 4,89           | 1,96           | 0,31           | 0,69          | 12,00           |
| M7      | 4,75           | 1,66           | 0,23           | 0,71          | 9,65            |
| M8      | 5,07           | 1,56           | 0,21           | 0,74          | 11,39           |
| M9      | 5,21           | 1,65           | 0,23           | 0,71          | 10,00           |
| M10     | 5,42           | 1,78           | 0,21           | 0,85          | 10,00           |
| M11     | 6,95           | 1,65           | 0,27           | 1,05          | 14,00           |
| M12     | 5,88           | 1,84           | 0,21           | 0,82          | 12,36           |
| M13     | 6,02           | 1,85           | 0,31           | 0,85          | 12,00           |
| M14     | 5,92           | 1,96           | 0,31           | 0,79          | 10,53           |
| M15     | 5,12           | 1,56           | 0,2            | 0,71          | 9,64            |
| M16     | 7,24           | 1,80           | 0,31           | 1,12          | 15,23           |
| M17     | 5,42           | 1,87           | 0,26           | 0,81          | 10,27           |
| M18     | 4,96           | 1,80           | 0,31           | 0,68          | 9,50            |
| M19     | 6,50           | 1,84           | 0,26           | 0,90          | 13,86           |
| M20     | 6,07           | 1,09           | 0,31           | 0,86          | 12,05           |
| M21     | 7,05           | 1,93           | 0,36           | 1,01          | 13,63           |
| M22     | 7,80           | 1,95           | 0,41           | 0,95          | 14,26           |
| M23     | 6,06           | 1,59           | 0,21           | 0,75          | 11,34           |
| M24     | 6,23           | 2,02           | 0,24           | 0,82          | 11,08           |
| M25     | 8,05           | 1,85           | 0,23           | 1,15          | 15,00           |
| M26     | 5,86           | 1,74           | 0,22           | 0,74          | 10,00           |
| M27     | 6,01           | 1,84           | 0,35           | 0,80          | 11,06           |
| M28     | 4,36           | 1,52           | 0,21           | 0,69          | 8,76            |

Tabla 9. Cationes de intercambio.

horizonte C presenta evidencias de hidromorfismo y gleysación.

El material de origen de este tipo de suelos proviene de los depósitos coluviales o aluviales procedentes de la degradación de la areniscas. Las características físico-químicas son:

Ca: 5,853 meq/100gr

Mg: 1,775 meq/100gr

Na: 0,253 meq/100gr

K: 0,783 meq/100gr

CIC: 11,833 meq/100gr

PH: 5,280

**Velocidad de infiltración:**

0,078 cm/min

**Textura:**

Arcillas: 16,250%

Limos: 17,188%

Arenas: 66,563%

Las muestras que corresponden a este tipo de suelos son las M1, M18, M19 y M23 (tablas 7, 8 y 9).

Los suelos de tipo 6 presentan generalmente una secuencia de horizonte A-C o A-Cg. El horizonte superficial A tiene menos de 8 cm de espesor, es arenoso, de color claro, sin materia orgánica y excesivamente drenado. El horizonte C es arenoso, de color amarillento claro con evidencias de hidromorfismo. Son suelos jóvenes, desarrollados en terrenos planos de la terraza holocena del río Paraná. Se forman en pastizales con capas freáticas a 0,5 a 1 m de profundidad.

Los suelos de tipo 7 tienen secuencias A-AC-C. Son suelos bien drenados que se desarrollan sobre depósitos de la terraza I del río Paraná. Los suelos se forman en relieves planos con selva. El horizonte A tiene entre 15 a 20 cm, color gris claro, textura franco arenosa y estructura granular media de consistencia media. Los suelos son algo plásticos y adhesivos en húmedo. El horizonte AC tiene entre 10 a 20 centímetros. El horizonte C es color castaño claro con textura franco arenosa a franca y estructura en bloques irregulares medios de consistencia media. La muestra S19 se ubica sobre este tipo de suelos.

### *Suelo de zonas bajas de textura fina (suelo tipo 5)*

Los suelos de tipo 5 tienen secuencias simples tipo Ag-Cg, Ag-Acg-Cg, en general son profundos (profundidad > 1 m), de textura franco arcillo-arenosa a franca, con porcentajes de arena variables entre 30 y 60 %. El espesor del horizonte superficial húmico (A) es de 20 a 40 cm y los porcentajes de materia orgánica varían entre 1,39 y 2,31%.

Los materiales originarios de estos suelos son sedimentos coluviales o aluviales provenientes de ambientes de pantanos que se ubican en forma lateral a los arroyos más importantes o a las zonas bajas donde se acumulan los productos de degradación del basalto alterado.

Estos suelos fueron clasificados como de tipo 5, los cuales tienen las siguientes características físico-químicas:

Ca: 6,430 meq/100gr

Mg: 1,890 meq/100gr

Na: 0,315 meq/100gr

K: 0,845 meq/100gr

CIC: 12,173 meq/100gr

PH: 5,588

**Textura:**

*Arcillas:* 28,750%

*Limos:* 24,375%

*Arenas:* 46,875%

Las muestras de suelos que corresponden a estos suelos son M4, M20, M24 y M27

Abreviaturas. Cox: Carbono oxidado; pH: grado de acidez; C.E.: Conductividad eléctrica; P: Fósforo; Nt. Nitrógeno total

### EROSIÓN HÍDRICA DE SUELOS

Los suelos del área son susceptibles a mostrar erosión hídrica importante (figura 36). Actualmente este efecto se presenta en forma muy importante en las áreas desmontadas con fines agrícolas y en donde la acción protectora del bosque ha sido eliminada.

El desmonte del bosque subtropical descarta el efecto protector que ejerce el follaje de los árboles y el sotobosque durante las lluvias. Otro efecto que produce el bosque es la reducción del volumen de escorrentía debido a que el follaje y los vegetales retienen y absorben parte del volumen total de lluvia caída.

El desmonte del bosque también destruye la capa de hojarasca en la parte superficial del suelo. Esta capa de restos vegetales tiene entre 2 y 5 cm de espesor y es la que protege al suelo del golpe de las gotas de agua de la lluvia y de la remoción de los sedimentos por parte del agua que escurre. Las tareas de desmonte con fuego por lo general destruyen esta capa o son trituradas durante las tareas de arado.



**Figura 36.** Erosión hídrica en suelos.

En conclusión, el impacto del desmonte sobre los suelos es severo debido fundamentalmente a que se elimina el horizonte O y la erosión hídrica reduce progresivamente el espesor del horizonte A. Este último efecto provoca el descenso del reservorio de nutrientes y de la materia orgánica en el sistema físico del ecosistema.

Actualmente la erosión hídrica está muy extendida en las zonas arenosas (suelos tipo 3) con desmontes más antiguos y donde el bosque natural no se ha regenerado. En estos casos, el horizonte A ha sido prácticamente erosionado y aflora el horizonte C. En estas zonas se observan regueros de erosión, pedestales de erosión y enlames de arena muy fina.

En los suelos rojos lateríticos o del tipo 1 y 2, la erosión hídrica es menor debido a que el material del horizonte A tiene más cohesión. Sin embargo, el proceso erosivo aumenta considerablemente si aflora el horizonte B, rico en arcillas, que es impermeable.

La amenaza potencial de erosión hídrica en suelos está controlada por varios factores entre los que se enumeran: a) Pendiente (gradiente y longitud), b) Tipo de suelo y c) Uso del suelo. Las zonas con mayor pendiente, con suelos más arcillosos y con menor cobertura vegetal son los más susceptibles a la erosión. Para la zona de estudio se han detectado varias áreas con erosión potencial (Ligier *et al.*, 1989). Los suelos del tipo 3 y 2 son los que presentan mayor erosión potencial debido a que se ubican en pendientes.

## 7. VEGETACIÓN Y USO AGROFORESTAL

La vegetación de la provincia de Misiones pertenece al dominio amazónico de la región fitogeográfica neotropical (Cabrera, 1994), que abarca un inmenso territorio desde el sur de Brasil, Paraguay y NE de la Argentina, caracterizado en su mayor parte por selvas tropicales y subtropicales. Dentro de la Argentina, representa uno de los biomas con mayor biodiversidad. El área de estudio comprende dos regiones florísticamente diferentes: las Selvas Mixtas y los Campos, y abarca el Municipio de San Ignacio, entre el río Paraná y el arroyo Yabebiry. Se encuentra fitogeográficamente ubicado en el distrito del Urunday en ecotono con el distrito de los Campos.

Los condicionamientos hídricos y edáficos determinan la distribución de las comunidades vegetales del área, donde es posible encontrar selvas hidrófilas en las riberas del Paraná con ejemplares leñosos, arbustivos y un sotobosque denso con helechos arborescentes, bambúceas y otras especies; selvas y bosques abiertos con urunday (*Astronium balansae*); sabanas en parches irregulares, con pajonales de “paja azul” y con la palmerita enana (*Allagoptera campestre*).

La gran superficie ocupada por emprendimientos agroforestales está provocando la reducción y alarmante fragmentación de la selva, situación que conduce a una creciente pérdida de biodiversidad, produciendo parches selváticos no sustentables por su escasa superficie y por la pérdida de su estructura y función. Frente a esta situación la zonificación biofísica del territorio, que comprende el estudio de la distribución, estructura y dinámica de las comunidades vegetales, integrada con la información del medio físico, es una herramienta que permitirá alcanzar objetivos de planificación territorial basados en criterios sustentables, evaluando las diferentes alternativas de ordenamiento territorial.

### MATERIALES Y MÉTODOS

Para delimitar las unidades de vegetación natural y áreas forestales se realizó una interpretación de la imagen satelital Aster, escala 1:250.000, con el software ENVI 3.5. Los valores de radiancia permitieron clasificar la imagen separando las diferentes firmas espectrales correspondientes a los principales grupos o asociaciones vegetales en cada unidad fisonómica. Con estos datos se formalizó una clasificación supervisada multispectral con la cual se obtuvo un mapa preliminar, sin valor florístico,

donde se delimitaron grandes unidades fisonómico-estructurales de vegetación, uso forestal y uso urbano.

En el mapeo de estas unidades se tuvo en cuenta el tipo de suelo y la geomorfología. El trabajo de campo consistió en la descripción fisonómica y florística de las unidades previamente delimitadas en gabinete, mediante un muestreo estratificado, con el fin de caracterizar las diferentes fisonomías vegetales. El muestreo florístico se hizo considerando especies arbóreas y arbustivas, a partir de transectas en ambientes representativos y a lo largo de vías de acceso y caminos. Estas transectas fueron ubicadas con dos objetivos: para evidenciar las especies más conspicuas en cada unidad y para observar los gradientes específicos de una unidad a otra. A lo largo de cada transecta se establecieron puntos de muestreo que fueron geo-referenciados. En total se tomaron 71 puntos de muestreo. Muchos de los puntos se encuentran fuera del área de estudio pero representan fisonomías comunes a la región y se pudieron muestrear por ser de fácil acceso.

Las tareas de campo permitieron corroborar y corregir los límites de las unidades previamente delimitadas en gabinete, además de la caracterización florística de cada unidad tomando en cuenta las especies más conspicuas.

### RESULTADOS

La vegetación original de la zona de estudio está comprendida por fragmentos de selvas subtropicales, selvas y matorrales hidrófilos ribereños, humedales, pajonales y pastizales mesófilos. Cada una de estas unidades fisonómicas principales presenta condicionamientos característicos con respecto al suelo y disponibilidad o exceso hídrico y se encuentran en su mayoría alteradas con respecto a su estructura original. Asimismo, los impactos de las actividades antrópicas a través del crecimiento demográfico y el desmonte para actividades agroforestales han influido notablemente en el reemplazo de las especies nativas a lo largo del tiempo y al empobrecimiento y fragmentación de la vegetación natural.

La quema intencional provocada luego de una tala intensiva del bosque, llamada localmente rozado, constituye una frecuente actividad previa a la forestación o uso agrícola. Estos rozados pueden tener dos escalas: una puntual, producida en pequeñas áreas, cuyos suelos son luego utilizados por los pobladores rurales para cultivos de autoconsumo como mandioca y maíz fundamentalmente y una escala mayor, que puede abarcar decenas de hectáreas y cuya finalidad son los emprendimientos fo-

restales. Tanto la tala como la quema y la posterior introducción de especies exóticas producen profundas alteraciones en la biodiversidad y afectan la estructura de los ecosistemas naturales.

### ANÁLISIS DE LA IMAGEN

La combinación de bandas 3 2 1 pertenecientes al subsistema VNIR de las imágenes ASTER, con una resolución espacial de 15 m, permitió diferenciar las principales fisonomías vegetales presentes en el área de estudio. Los valores de radiancia mostraron diferencias entre ambientes selváticos, humedales, pastizales y forestaciones.

En las siguientes figuras se observan las curvas espectrales correspondientes a cada ambiente fisonómico (ver figuras 37, 38, 39, 40 y 41):

El análisis de las curvas espectrales mostró diferencias entre los ambientes selváticos, humedales, pastizales mesófilos y forestaciones. Los valores de radiancia de la vegetación (curvas rojas) siempre fueron superiores en ambientes selváticos, lo que concuerda con una mayor densidad, cobertura y diversidad específica de la vegetación.

Este análisis preliminar determinó una clasificación primaria de la imagen considerando grandes unidades fisonómicas de vegetación. En los muestreos posteriores se determinó la clasificación de las variaciones de cada unidad a través de las especies dominantes y su posterior caracterización.

### DESCRIPCIÓN DE LAS UNIDADES DEL MAPA

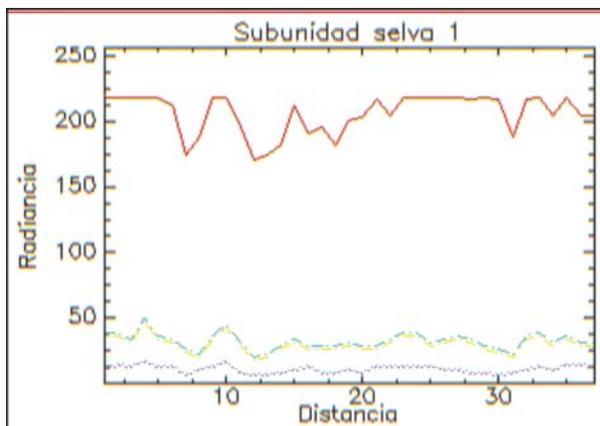
El Mapa Vegetación Actual presenta las siguientes unidades:

- I. Selvas subtropicales
- II. Selvas y matorrales hidrófilos ribereños
- III. Humedales
- IV. Pastizales
- V. Pastizales hidrófilos
- VI. Desmontes y capueras
- VII. Desmontes y cultivos
- VIII. Desmontes y forestaciones
- IX. Forestaciones

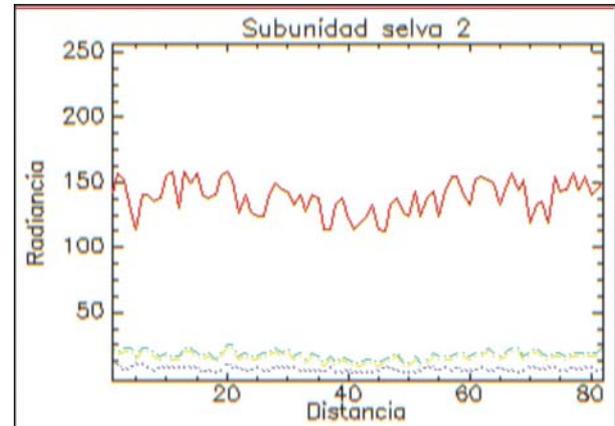
#### I. Selvas subtropicales

Esta unidad se establece sobre lomadas suaves y en su estado prístino está integrada por ejemplares leñosos, generalmente sin especies dominantes, con estratos arbóreos más bajos y un sotobosque denso. Las especies observadas son: *Balfourodendron riedelianum* (guatambú blanco); *Nectandra saligna* (laurel negro); *Lonchocarpus leucanthus* (rabo macaco); *diatenoptyx sorbifolia* (maría preta); *cedrela fissilis* (cedro); *Apuleia leiocarpa* (ibirá peré); *Mirocarpus frondosus* (inciense); *Syagrus romanzoffianus* (pindó); *Tabebuia impetiginosa* (lapacho); *Chrysophyllum gonocarpum* (aguay); *Nectandra lanceolata* (laurel amarillo), *Prunus subcoriacea* (persigueiro), *Allophylus edulis* (cocó), *Patagonula americana* (guayubira), etc.

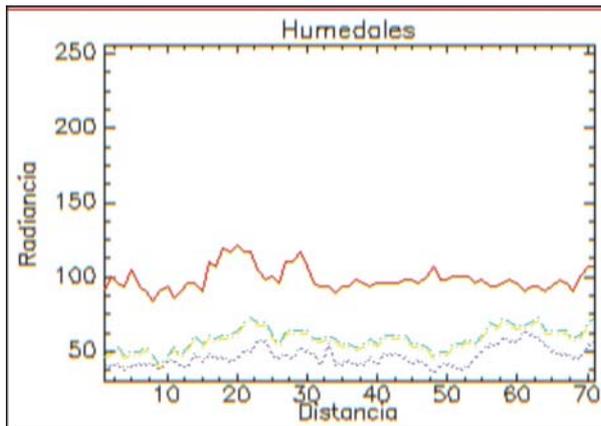
Entre las bambúseas, pertenecientes al estrato arbustivo, se encuentran *Guadua trinitii* (tacuara brava); *Chusquea ramosissima* (tacuarembó); *chusquea uruguayensis* (pitingá) que se agrupan en densas formaciones tornando el sotobosque impenetrable. Otras especies típicas de la selva son *Urera baccifera* (ortiga brava) y diversas especies de la familia de las mirtáceas y rubiáceas. Existen en esta formación numerosas lianas pertenecientes a los



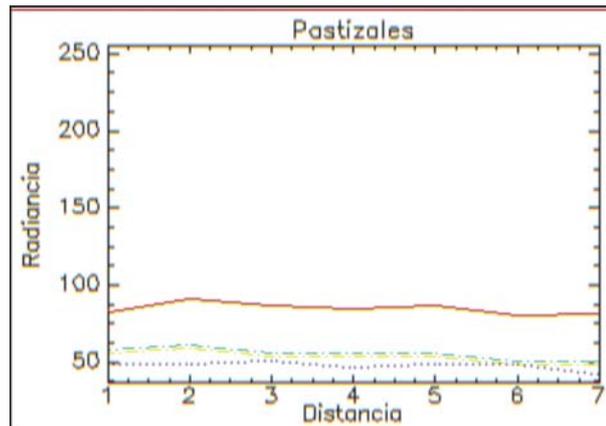
**Figura 37.** La subunidad Selva 1 es la que mejor representa el ambiente selvático. Son sectores de difícil acceso, pluriestratificados y con mayor grado de conservación dentro del área. Su curva espectral alcanza un valor de radiancia de 230, superior al resto de las unidades.



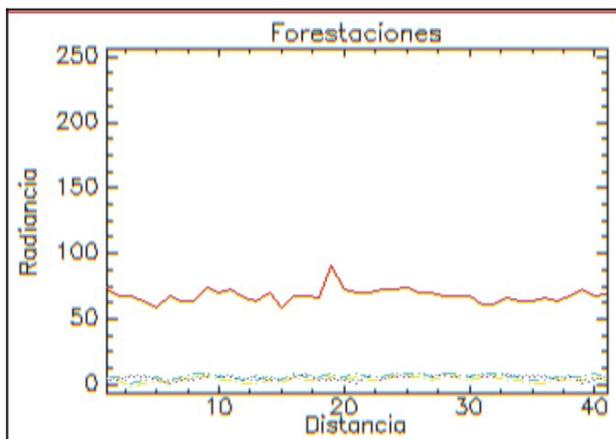
**Figura 38.** La subunidad Selva 2 representa un ambiente con una cobertura cerrada, con uno o dos estratos arbóreos, donde faltan las especies de madera valiosa. Los valores de radiancia se encuentran entre los 120 y 160.



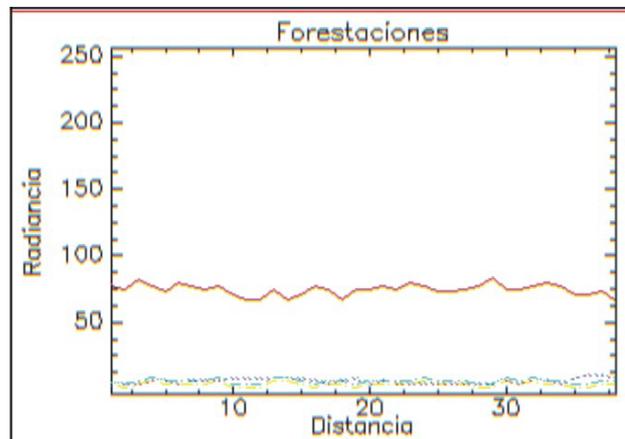
**Figura 39.** Los Humedales ocupan los valles inundables del río Paraná. Están cubiertos por pajonales pluriestratificados, con un estrato arbustivo y varios estratos herbáceos. Los valores de radiancia de este ambiente se encuentran entre 90 y 130 (curva roja). Como son sitios saturados con agua, los valores de radiancia son superiores a los ambientes anteriores (curva azul).



**Figura 40.** Esta unidad corresponde a los pajonales de "paja dura" y "palmera enana" de los alrededores de San Ignacio. Se desarrolla sobre lomadas suaves y está representada principalmente por gramíneas. Los valores de radiancia no superan un valor de 95.



**Figura 41.** Ambas curvas corresponden a forestaciones de distinta edad. Como puede observarse, las respectivas curvas espectrales mantienen un rango de radiancia de 60-90.



géneros *Serjania*, *Cardiospermum* y *Urvillea*. Entre los epífitos, el más abundante es *Philodendron bipinnatifidum* (guaimbé) y algunas epífitas estranguladoras del género *Ficus*.

Este ecosistema actualmente está alterado por variadas situaciones que implican tanto prácticas selectivas de entresaca, donde se eliminan las especies maderables, como desmontes y rozados, aprovechando el terreno para prácticas agroforestales. Las especies más utilizadas en los aserraderos son: Anchico, Guatambú, Azota Caballo y Cedro. Estas actividades antrópicas determinaron la separación de esta unidad en cuatro subunidades que indican un rango de alteración. Para esto se definieron dos características: la complejidad y la naturalidad (MOPU, 1984). El primer parámetro se evaluó de acuerdo a la cantidad de estratos observados y el grado de cubierta del estrato dominante. La naturalidad se analizó de acuerdo al estado actual de la unidad con referencia a un área prístina. Para ello se estimó el grado de conservación de la biocenosis y el empobrecimiento sufrido por la acción antrópica. En al-

gunos casos fue determinante la evaluación por la cercanía a sectores urbanos o emprendimientos forestales o agrícolas.

La subunidad Selva I presenta una cobertura densa (> del 85%), con los tres estratos típicos. La subunidad Selva II tiene una cobertura cerrada (50 al 80%), suelen faltar las especies maderables. La subunidad Selva III tiene una cobertura abierta (30 al 50%), biestratificada con un sólo estrato arbóreo y un estrato arbustivo, no posee especies de valor comercial. La subunidad Selva IV exhibe islotes de selva con pastizales y desmontes o zonas recientemente sembradas en emprendimientos forestales.

## II. Selvas y matorrales hidrófilos ribereños

Comprende las selvas hidrófilas que se desarrollan en los albardones del río Paraná y los matorrales que ocupan los albardones de los arroyos. Son bosques uniestratificados, con un estrato arbustivo denso, hierbas y epífitas. Se han observado

las siguientes especies: *diatenoptyx sorbifolia* (maría preta), *Nectandra saligna* (laurel negro), *Syagrus romanzoffianus* (pindó), *Prunus subcoriacea* (persigueiro), *chusquea uruguayensis* (pitingá), *Nectandra lanceolata* (laurel amarillo), *Philodendron bipinnatifidum* (guaimbé), *Bastardiopsis densiflora* (loro blanco), *Luehea divaricata* (azota caballo), y algunas epífitas estranguladoras del género *Ficus*. Su extensión es variable y presentan una rica biodiversidad determinada tanto por el difícil acceso a este ecosistema como por el continuo aporte de semillas que lleva el río.

### III. Humedales

Estas comunidades higrófilas crecen en los valles inundables del río Paraná. Los humedales suelen estar cubiertos por pajonales pluriestratificados, con un estrato arbustivo y varios estratos herbáceos compuestos por diversas especies de gramíneas, herbáceas no graminiformes, ciperáceas y, en ocasiones, por cañaverales de *Thalia geniculata*. Habitualmente están saturados con agua y durante las crecidas del Paraná se cubren totalmente. La supervivencia de las comunidades vegetales está condicionada al tiempo de permanencia del agua en el ecosistema.

### IV. Pastizales

Esta unidad corresponde a los pajonales de “paja dura” y “palmera enana” (*Allagoptera campestre*) de los alrededores de San Ignacio. Se desarrolla sobre lomadas suaves y está representada principalmente por gramíneas (Fontana, 1993). Existen tres asociaciones específicas: *Andropogon lateralis*, *Aristida pallens* y *Elionorus tripsacoides*, y *E. viridulus*. Los “urunday blanco” (*Acosmium subelegans*) crecen asociados a estos pastizales, formando bosquecillos abiertos. Los suelos de los pastizales son pobres en materia orgánica y en nutrientes y han sido modificados tanto por la construcción de caminos como por las actividades forestales. *Axonopus suffultus* es la especie dominante en los suelos arenosos profundos de los alrededores de la casa de Quiroga, mientras que *Axonopus siccus* predomina en las lomadas de Teyú Cuaré (Fontana, 1993).

### V. Pastizales hidrófilos

Son comunidades que se desarrollan en la planicie de inundación del arroyo Yabebiry y otros pequeños cursos de agua. Crecen en él diferentes es-

pecies de gramíneas, formando un estrato alto, y variadas especies de gramíneas más pequeñas y herbáceas no graminiformes (Fontana, 1993). Se observaron varias especies de *Panicum* y *Cyperus*, junto con *Higrophila guianensis*, *Ludwigia peruviana* y *Polygonum acuminatum*. Estas comunidades se genera en suelos subsaturados de agua.

### IV. Desmontes y capueras

Esta unidad, de carácter antrópico, se produce con las actividades de tala selectiva, desmonte y rozado. Los campos así tratados, si no son sembrados al poco tiempo, se revegetan naturalmente con pastizales, constituyendo un proceso de sucesión. Localmente estos sitios son denominados capueras.

### VII. Desmontes y cultivos

Esta unidad se corresponde con la unidad anterior, sólo que se observan actividades agroforestales. Los principales cultivos de la zona son yerba mate y mandioca y en pequeña proporción para uso particular, maíz.

### VIII. Desmontes y forestaciones

Esta unidad presenta sectores con desmontes recientes y prácticas forestales. Se observan generalmente plantines de pinos de 2 o 3 años.

### IX. Forestaciones

Corresponde a sectores con cultivos forestales. Las especies utilizadas son de rápido crecimiento y las principales son *Pinus taeda* y *Pinus elliottii*. También se están usando otras especies de pinos, como *Pinus caribaea* y *Araucaria angustifolia*, paraísos (*Melia azedarach*), kiri (*Pawlonia* sp.), cedro australiano (*Toona ciliata*), y eucaliptus (*Eucaliptus grandis*, *E. dunii*, *E. saligna*). La superficie forestada en el Departamento de San Ignacio es de 22.342 ha, de las cuales 21.662 ha corresponden a coníferas y 680 ha a eucaliptus (según datos del Ministerio de Ecología, Recursos Naturales Renovables y Turismo Subsecretaría de Bosques y Forestación, de la provincia de Misiones).

### CONSIDERACIONES GENERALES

El permanente avance de la frontera forestal en el área de estudio produce la fragmentación de la selva y su consecuente pérdida de biodiversidad.

El resultado de este proceso es la división de un hábitat continuo en fragmentos pequeños y aislados, que constituyen barreras para el traslado de muchas de las especies que habitan en la selva. Los nuevos fragmentos de selva no sólo disminuyen la superficie disponible para las poblaciones naturales sino que, al aumentar el efecto de borde de los parches alteran el funcionamiento de todo el ecosistema. En este nuevo entorno, las especies locales ven afectados sus mecanismos de dispersión; las especies de mayor tamaño, con requerimientos de áreas extensas para su desarrollo y reproducción no pueden sobrevivir o deben migrar. Los bordes de estos nuevos hábitats favorecen la invasión de especies alóctonas y se observa una retracción de las especies autóctonas. En las últimas décadas se han documentado numerosos efectos negativos vinculados a la fragmentación, entre ellos se han descrito muy bien los cambios físicos de los bordes de los parches que incluyen cambios en el microclima (temperatura, humedad, incidencia del fuego, etc.) con los cuales las comunidades vegetales se modifican radicalmente, aumentado la mortalidad y caída de árboles y la distribución y densidad de las distintas especies. Lógicamente, la apertura de caminos, la tala y/o rozado deja que ingrese mayor cantidad de luz al sitio, lo cual favorece el desarrollo de especies con mayores requere-

rimientos de luz y pone en desventaja las especies humbrófilas. Este cambio en la distribución y equilibrio del ecosistema, junto con la invasión de especies alóctonas, favorecen la degradación de los ecosistemas.

La utilización de la imagen ASTER permitió identificar las principales fisonomías vegetales presentes en el área. La banda 3 del infrarrojo cercano y las bandas 2 y 1 del visible provenientes del subsistema VNIR aportaron información acerca de la cobertura vegetal, lo cual nos permitió diferenciar los ambientes.

La elaboración y análisis de mapas temáticos, utilizando la vegetación como indicadora de factores y procesos físicos del ambiente y como evidencia del estado de conservación de los ecosistemas, constituye una herramienta fundamental para la planificación sustentable del territorio. En un bioma que aún conserva una parte de su rica biodiversidad y en el que existen varios endemismos y especies protegidas por leyes y decretos provinciales (el pindoncito, *Allagoptera campestris* – *Diplothemium campestre* y *Allagoptera arenaria*, decreto N° 2914, es uno de los ejemplos característicos) se hace imprescindible una urgente gestión y planificación de las actividades en la zona. Al mismo tiempo, como ya fue subrayado por Fontana (1996), existen razones científicas, económicas, históricas, estéticas y de



**Foto 1.** La Unidad Desmontes y cultivos se corresponde con áreas donde se observan actividades agroforestales. Los principales cultivos de la zona son yerba mate y mandioca.

compromisos internacionales para la protección de los pajonales de las lomadas del Teyú Cuaré y el entorno de la casa de Quiroga, junto con los pajonales de “paja dura” (*Axonopus suffultus*) y de la “palmerita enana” (*Allagoptera campestre*), ya que sólo es posible la protección de una especie a través de una gestión integral del ambiente.

### ÁREAS PROTEGIDAS

El área de estudio tiene sólo un área protegida de carácter provincial, el Parque Teyú Cuaré (Reserva Provincial, Ley Provincial N° 2876/91), administrada por el Ministerio de Ecología y Recursos Naturales Renovables. En la misma hay un guardaparque, sin capacitación formal, que reside en San Ignacio, a 5 km del parque. Exhibe señalización, senderos de in-



Foto 2. Sector con desmontes recientes y prácticas agroforestales.



Foto 3. Selvas y matorrales hidrófilos ribereños. Esta unidad comprende las selvas hidrófilas que se desarrollan en los albardones del río paraná y los matorrales que ocupan las márgenes de los arroyos.

terpretación y un camping (Datos de la Subsecretaría de Bosques y Forestación, Ministerio de Ecología y Turismo). El parque posee 78 ha y presenta problemas de conservación derivados tanto de su escasa extensión como de las actividades antrópicas que se

desarrollan a su alrededor. Los proyectos de ampliación de la represa hidroeléctrica, la apertura de rutas y caminos y la expansión agrícola y forestal en la zona junto con expansión urbana están alterando los sectores naturales adyacentes al parque. La disminución



**Foto 4.** Matorral ribereño. Este ambiente presenta una rica biodiversidad determinada por el continuo aporte de semillas desde los cursos de agua.



**Foto 5.** Las comunidades higrófilas de los Humedales se desarrollan en los valles inundables del río Paraná. Suelen estar cubiertos por pajonales pluriestratificados, con diversas especies de gramíneas, herbáceas no graminiformes, ciperáceas y, en ocasiones, por cañaverales de *thalia geniculata*.



del área de selva colindante al parque junto con la alteración de pajonales y pastizales ocupados actualmente por actividades forestales, agrícolas o sectores de vivienda producen un aislamiento de este parque, alterando su conectividad el entorno. Esto produce pérdida de biodiversidad y modifica la estructura de este ecosistema y en consecuencia la viabilidad de las poblaciones. El Teyú Cuaré es una zona de gran interés botánico debido a los endemismos que presenta.

Colindante a este Parque hay una re-

**Foto 6.** La quema intencional provocada luego de una tala intensiva del bosque, constituye una frecuente actividad previa a la forestación o uso agrícola.



**Foto 7.** La Selva subtropical se establece sobre lomadas suaves y en su estado prístino está integrada por 3 ó 4 estratos leñosos, generalmente sin especies dominantes, con sotobosque denso.

serva privada llamada Estancia Osonunu. Si bien no se han realizado relevamientos en el área sería interesante promover estudios botánicos, faunísticos y ecológicos de común acuerdo con la administración.

Es uno de los sitios de interés turístico de San Ignacio, promovido por su gran belleza paisajística y su estado prístino.



**Foto 8.** Pastizales. Esta unidad corresponde a los pajonales de "paja dura" y "palmera enana" (*Allagoptera campestre*) de los alrededores de San Ignacio. Los "urunday blanco" (*Acosmium subelegans*) crecen asociados a estos pastizales, formando bosquecillos abiertos.



**Foto 9.** El Teyú Cuaré, área protegida de carácter provincial, es una zona de gran interés botánico debido a los endemismos que presenta.

## 8. CARACTERIZACIÓN SOCIAL Y URBANA

El presente capítulo ha sido concebido en dos fases. Una, de estudio de Línea de Base y otra de Lineamientos Básicos para la realización de una propuesta de Ordenamiento Territorial. La información y los análisis ofrecidos desde ambas perspectivas pueden ser considerados complementarios y mutuamente enriquecedores.

La información se recopiló en: Instituto Misionero de Agua y Saneamiento, Ente Binacional Yacyretá, Sistema de Información y Monitoreo Social y Económico (SIMOSE), Dirección de Minería de la provincia de Misiones, Municipalidad de San Ignacio, Secretaría de Gobierno, Acción Social, Producción y Catastro, Hospital provincial de San Ignacio y en el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (INDEC) – Departamento de Estudios Especiales.

La Municipalidad de San Ignacio facilitó información catastral de gran importancia para la elaboración de mapas. Asimismo el Departamento de Estudios Especiales del INDEC proporcionó un listado especial con información del Censo de Población Hogares y Viviendas de la localidad de San Ignacio, que permitió hacer el análisis a nivel de radio censal. A partir de entrevistas con funcionarios municipales y personal del hospital se obtuvieron importantes datos sobre aspectos sociales. Finalmente, se efectuó una encuesta que permitió caracterizar la población asentada en los alrededores de la localidad de San Ignacio.

### LÍNEA DE BASE

En el capítulo que se presenta a continuación se incluye la descripción y análisis de los aspectos de-

demográficos y sociales que son considerados indispensables para configurar un estudio de Línea de Base Ambiental. Tanto del Departamento como de la localidad de San Ignacio.

### POBLACIÓN

El departamento de San Ignacio con una superficie de 1607 km<sup>2</sup> y 54.951 habitantes (Censo de 2001), está compuesto por 8 municipios, entre los que se encuentra el de San Ignacio, área en la que se realizó este estudio (tabla A).

San Ignacio es el segundo Municipio en importancia en términos total de habitantes. En el período 1991 a 2001 presentó una alta tasa de crecimiento (27,69x1000), donde la mayor proporción está dada en la cabecera del departamento (tabla B).

En este Municipio se halla un conjunto de asentamientos menores a los que se los denomina Colonias o, en caso de tratarse de asentamientos guaraníes se los llama Aldeas. Hay un solo asentamiento con más de 2000 habitantes, San Ignacio, que por definición del INDEC se lo considera urbano.

### Aspectos demográficos y socioeconómicos

La localidad de San Ignacio con 6263 habitantes, concentra el 60% de la población del Municipio.

A partir de la importante tasa de crecimiento observada para el período 1991 a 2001 se advierte que se ha constituido en un centro de atracción de población importante en el área. La dinámica del crecimiento poblacional de la localidad de San Ignacio no se halla vinculada a un incremento en la actividad productiva o comercial, sino más bien, a una depresión económica en las poblaciones circundantes y en las zonas rurales, lo que probablemente tra-

| Municipios        | Población |        |        |
|-------------------|-----------|--------|--------|
|                   | Total     | Urbana | Rural  |
|                   | 54.951    | 34.565 | 20.386 |
| Colonia Polana    | 925       |        | 925    |
| Corpus            | 3.360     | 2.016  | 1.344  |
| General Urquiza   | 1.334     |        | 1.334  |
| Gobernador Roca   | 6.323     | 2.418  | 3.905  |
| Hipólito Irigoyen | 2.186     |        | 2.186  |
| Jardín América    | 24.915    | 20.949 | 3.966  |
| San Ignacio       | 10.455    | 6.263  | 4.192  |
| Santo Pipo        | 5.453     | 2.919  | 2.534  |

Tabla A. Fuente: Misiones, Dirección Ingeniería y Recursos Hídricos. www.imax.gov.ar

| Municipio   | Superficie km <sup>2</sup> | Población |       |        | Tasa crec. X 1000<br>1991/2001 |
|-------------|----------------------------|-----------|-------|--------|--------------------------------|
|             |                            | 1980      | 1991  | 2001   |                                |
| San Ignacio | 340                        | 7.327     | 7.917 | 10.455 | 27,69                          |

Tabla B.

jo como consecuencia la migración de población, que se asentó en la localidad de San Ignacio (tabla C).

### *Estructura de la población por edad y sexo (grupos quinquenales de población)*

La composición por edad y sexo de una población tiene una influencia determinante en los procesos sociales y económicos en los que se halla inserta. En San Ignacio, la composición de la población es el resultado de las tendencias de la natalidad, mortalidad y migración en el lugar. La estructura de la población, por grupos de edad y sexo, se describe en el siguiente cuadro (tabla D).

Considerando el comportamiento demográfico observado en el Censo de 2001, se percibe una importante participación del grupo de edad ubicado entre los 0 y 14 años (37,6 %), asimismo se advierte que la población cuya edad fluctúa entre los 15 a 34 años ocupa un porcentaje de 30,4. Con respecto al rango de población de 35 a 59 años, éste agrupa al 22,9% de la población. Finalmente, la participación de la población de mayor edad (mayores de 60 años), también es considerable si se analiza bajo la óptica de los censos anteriores, este grupo participa con un 8,58 %.

Respecto de la estructura de la población de San Ignacio es importante puntualizar que la base de la

pirámide de edades es amplia y que el rango de 0 a 14 años es el de mayor participación en la estructura demográfica de la localidad, lo que indica que la demanda de servicios educativos continuará siendo alta.

La población entre 15 y 34 años es la siguiente en términos de proporción de participación en la estructura demográfica por edades y corresponde a la edad en la que se sitúa la mayor productividad laboral y se consolida la educación media y superior de los habitantes. Ésta es la etapa en la cual la población inicia su vida conyugal, accede al empleo y constituye la base de la dinámica productiva de la localidad, en la que los jóvenes son los principales demandantes de empleo.

El grupo de ciudadanos entre 35 y 59 años se caracteriza por un afianzamiento en la vida personal y económica del ser humano; en este período la población demanda el acceso a bienes y servicios relacionados con la seguridad y el bienestar social.

El rango de mayor edad de la pirámide de edades, si bien representa un porcentaje relativamente mayor a partir del aumento en el promedio de vida, se caracteriza por una población que requiere principalmente servicios médicos especializados y de asistencia social, indispensables en la localidad.

Por lo anteriormente expuesto, se aprecia que la pirámide de edades de la localidad de San Ignacio

| Localidad   | Total población |       | Población 2001 |         |
|-------------|-----------------|-------|----------------|---------|
|             | 1991            | 2001  | Varones        | Mujeres |
| San Ignacio | 4.491           | 6.312 | 3.132          | 3.180   |

**Tabla C.**

|          | Total | Varones | Mujeres |
|----------|-------|---------|---------|
| TOTAL    | 6.312 | 3.132   | 3.180   |
| 0-4      | 775   | 367     | 408     |
| 5-9      | 827   | 426     | 401     |
| 10-14    | 772   | 413     | 359     |
| 15-19    | 683   | 340     | 343     |
| 20-24    | 483   | 243     | 240     |
| 25-29    | 402   | 209     | 193     |
| 30-34    | 351   | 172     | 179     |
| 35-39    | 376   | 175     | 201     |
| 40-44    | 377   | 175     | 202     |
| 45-49    | 300   | 151     | 149     |
| 50-54    | 250   | 130     | 120     |
| 55-59    | 174   | 93      | 81      |
| 60-64    | 146   | 64      | 82      |
| 65-69    | 133   | 63      | 70      |
| 70-74    | 107   | 42      | 65      |
| 75-79    | 80    | 34      | 46      |
| 80 y más | 76    | 35      | 41      |

**Tabla D. Fuente:** Serie 2, Resultados generales - Censo de 2001 - INDEC

se define por una población predominantemente joven, sin embargo, la base de la misma no ha disminuido significativamente, lo cual indica que en los próximos años continuará la dinámica de crecimiento de la población.

Con relación a la participación relativa por sexo se observa que en los rangos de menor edad se percibe una preponderancia ligera del sexo masculino, tendiendo a igualarse la proporción de ambos sexos hasta el rango de mayor edad en la que predominaban las mujeres

### *Población económicamente activa*

La población económicamente activa es el total de personas de 14 años y más que, en la semana en la cual se realiza el Censo, se encuentran ocupadas o desocupadas. Este indicador es de vital importancia para evaluar cual es la capacidad potencial de la población local para el trabajo.

Por otra parte, su dimensionamiento y caracterización constituyen un requerimiento para conocer cómo los habitantes participan en la actividad económica de la localidad.

En San Ignacio, la población económicamente activa está compuesta solamente por el 50% de la población. Si a esto se suman los altos índices de desocupación detectados en el Censo de 2001, se advierte que, entre los varones la desocupación era del 20% y entre la población activa femenina trepaba al 27%. Todo lo cual muestra una alta subuti-

lización de la mano de obra potencialmente disponible (tabla E).

En cuanto a la inserción ocupacional, el 30% de la población ocupada lo está en el sector terciario, en organismos oficiales, lo que resulta una cifra muy alta para una población de estas características (tabla F).

## EDUCACIÓN

Si se suma a la situación ocupacional anteriormente descrita, un análisis sobre el nivel educativo de la población, se advierte que el 25 % no tiene instrucción o no ha terminado el nivel primario y el 50 % sólo completó el nivel primario (tabla G).

## SALUD

A partir de entrevistas realizadas con el director y profesionales del hospital, se determinó la existencia, frecuente, de una importante serie de afecciones.

- Se calcula que el 50 % de la población tiene anemia ferropénica.
- Parasitosis sin atención y que se presentan a la asistencia médica cuando ya hay anemia, convulsiones y / o estados de nerviosismo.
- Mortalidad materna por falta de controles durante el embarazo (serían las parejas las que se oponen a la realización de controles prenatales).

| Localidad     | Población 14 años o más | Población 14 años y más, activa | Varones 14 años o más, activos | Mujeres 14 años o más, activas |
|---------------|-------------------------|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| San Ignacio   |                         |                                 |                                |                                |
| Total         | 4.077                   | 2.045                           | 1.303                          | 742                            |
| En porcentaje | 100%                    | 50%                             | 32%                            | 18%                            |

Tabla E.

| Localidad   | Población ocupada | Obrero o empleado |                | Patrón | Trabajador por cuenta propia | Trabajador familiar |
|-------------|-------------------|-------------------|----------------|--------|------------------------------|---------------------|
|             |                   | Sector público    | Sector privado |        |                              |                     |
| San Ignacio | 1.579             | 553               | 538            | 53     | 368                          | 67                  |

Tabla F.

| Localidad   | Población de 15 años o más | Máximo nivel de instrucción alcanzado |  |   |                                     |
|-------------|----------------------------|---------------------------------------|--|---|-------------------------------------|
|             |                            | Sin instrucción/primario incompleto   | Primario completo/ secundario incompleto | Secundario completo/ terciario o incompleto | Terciario/ universitario completo o |
| San Ignacio | 3.938                      | 939                                   | 2.078                                    | 587   | 334                                 |

Tabla G.

- Importante proporción de casos enfermedades de transmisión sexual. (sífilis y gonorrea).
- Lumbalgias y hernias, afecciones que están principalmente asociadas a la realización desde muy jóvenes, de trabajos de desmonte para forestación o cosecha y acarreo de yerba mate.
- Casos de desnutrición y tuberculosis especialmente en la población aborigen.

Alcoholismo y violencia familiar son también importantes problemáticas presentes en la comunidad.

En las Colonias, la atención médica se realiza por la asistencia ocasional de un médico o en la mayoría de los casos por el traslado de la población hasta la localidad de San Ignacio. En este último caso, la situación es especialmente difícil para los pobladores ya que el traslado se efectúa con un transporte privado cuyo pasaje es de alto costo.

En las Aldeas guaraníes se han preparado agentes sanitarios que todos los días recorren el poblado a fin de detectar personas enfermas y posteriormente son asistidas por médicos los que son trasladados por las religiosas que prestan servicio en el hospital.

#### HOGARES CON NECESIDADES BÁSICAS INSATISFECHAS

El indicador de Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) define a los sectores sociales que padecen de pobreza extrema y es un indicador internacionalmente aceptado (tabla H). Se construye incluyendo a los hogares que reúnen una o más de una de las siguientes condiciones:

- Hacinamiento: hogares con más de tres personas por habitación.
- Vivienda: hogares que habitan en pieza de inquilinato o vivienda precaria.
- Condiciones sanitarias: Los hogares que no tienen ningún tipo de retrete.
- Asistencia escolar: Los hogares con algún miembro de 6 a 12 años que no asiste o nunca asistió a la escuela.
- Capacidad de subsistencia: Los hogares que tienen cuatro personas o más por miembro ocupado y además, cuyo jefe no tiene educación (o sea, que nunca asistió a establecimiento educacional, o asistió como máximo hasta dos años al nivel primario).

En la localidad de San Ignacio se realizó la identificación de hogares con NBI y su proporción según radio censal, lo cual permitió una aproximación al conocimiento de la distribución de sectores sociales en la planta urbana (ver Mapa Caracterización Social y Urbana - Necesidades Básicas Insatisfechas).

En el total de la planta urbana, el 15,35 % de los hogares tienen NBI, que se distribuye en mayor proporción en los radios 10 y 03 (más del 21 %), con un porcentaje medio en los radios 05, 06 y 07 (11 a 20%) y en menor proporción en los radios 02, 04, 09 y 08 (0 a 10%) (ver mapa correspondiente).

#### LINEAMIENTOS BÁSICOS - ORDENAMIENTO TERRITORIAL

Tratar las condiciones socio habitacionales de una población remite a factores sociales, económicos y ambientales y sus interrelaciones, las que, en general, son muy complejas. Por otra parte, la complejidad y especificidad de estas estructuras se vinculan directamente con las particularidades de las viviendas, a nivel individual y de un barrio, a nivel colectivo. Así como la calificación pobreza/riqueza se refiere a las personas, la calificación de condiciones ambientales se relaciona al espacio y es a partir de la articulación de ambos parámetros que se define el diseño y construcción de los asentamientos humanos. Por esta razón, la descripción de parámetros físicos espaciales, tales como infraestructura de servicios, materiales y equipamiento de las viviendas son información fundamental en la caracterización de las condiciones socio-habitacionales.

| Radio        | Total de hogares | Hogares con NBI | % de hogares con NBI respecto del total de hogares |
|--------------|------------------|-----------------|--|
| 02           | 37               | 0               | 2,70   |
| 03           | 174              | 58              | 33,33  |
| 04           | 54               | 0               | 0  |
| 05           | 219              | 33              | 15,60  |
| 06           | 244              | 29              | 11,88  |
| 07           | 200              | 38              | 19,00  |
| 08           | 220              | 21              | 9,54   |
| 09           | 164              | 13              | 7,90   |
| 10           | 173              | 36              | 20,80  |
| <b>Total</b> | <b>1.485</b>     | <b>228</b>      | <b>15,35</b>                                       |

**Tabla H.** Proporción de hogares con necesidades básicas insatisfechas según Radio censal – Año 2001.

**Fuente:** Elaboración propia. Información Departamento de Estudios Especiales – INDEC

## ASPECTOS URBANOS

La realización de un análisis de los aspectos urbanos de la localidad de San Ignacio tiene por objetivo mostrar un panorama del área urbana y de sus subcomponentes. Desde el punto de vista metodológico se resolvió presentar el estudio con una sintética reseña global del área urbana y una descripción de distintos componentes de la misma: estructura urbana, vivienda, equipamiento e infraestructura

Este análisis permitirá establecer los lineamientos para identificar las áreas más adecuadas para el crecimiento y expansión del centro urbano, así como su estructuración en zonas y barrios que permitan a la población el acceso a los equipamientos y servicios urbanos.

### *Traza urbana*

La localidad de San Ignacio se caracteriza por exhibir una traza en damero con calles muy amplias y grandes manzanas. El desarrollo de esta traza se realiza en forma rectangular con algunos barrios triangulares o rectangulares anexados. Uno de los lados del rectángulo mayor lo constituye la ruta nacional 12 (ver Mapa Caracterización Social y Urbana- Barrios y Puntos de Interés).

### *Centro urbano*

En la estructura urbana se pueden diferenciar con claridad dos centros perfectamente consolidados. Uno, presenta la concentración de las áreas político-administrativas del Municipio y en el mismo se encuentra la Municipalidad y los distintos órganos de Gobierno y áreas administrativas de educación, rentas, etc. El otro centro se ha constituido alrededor del área de ingreso a las Ruinas Jesuíticas y compone el sector comercial más activo de la ciudad, generado y cimentado, sin dudas, por el turismo que, con la modalidad de excursiones de un día, llegan a la zona.

Las zonas de Pueblo Nuevo y Pueblo Viejo contienen el centro administrativo y el centro de las Ruinas, respectivamente. Estas zonas conforman, en conjunto, el área de urbanización primaria, la que cuenta con redes de infraestructura de agua y electricidad, si bien en el caso específico del agua domiciliaria, la misma no constituye un sistema integrado de provisión.

En realidad, no se advierte la existencia de un o unos centros que se presenten como sistema. No hay un sistema de transporte urbano y la provisión de servicios, por ejemplo financieros o áreas de ex-

presión cultural, se hallan dispersos en la trama urbana (ver mapa correspondiente).

Se denomina área urbana a la definida por el INDEC por los radios de 02 a 10.

### *Área periurbana*

Una mención especial merecen las áreas ocupadas por sectores de muy bajo nivel socioeconómico instalados en la periferia de la zona urbana (rodeando el plano catastral). Con el fin de caracterizar a estos sectores de población se realizó una encuesta, a partir de la cual se determinó que en general se trata de población desocupada o con trabajos informales ocasionales y/o estacionales, que suelen tener una pequeña parcela de terreno cultivada para uso doméstico y/o venta, habitan en viviendas precarias, construidas con materiales de muy baja calidad, se proveen de agua potable por pozos/aljibes o arroyos y realizan la eliminación de excretas a través de letrinas, muy usualmente eliminan residuos depositándolos en el bosque y/o por medio del fuego (la recolección de residuos es esporádica).

## VIVIENDA

### *Déficit de vivienda*

Se considerara como déficit de vivienda, a las viviendas inadecuadas y deficientes según tipo y calidad de los materiales de construcción. En la localidad de San Ignacio el 28% de los hogares habitan viviendas de niveles III y IV, los que se podrían definir como de niveles Medio-Bajo y Bajo (tabla J).

El Mapa Caracterización Social y Urbana - Distribución de Viviendas Construidas con Materiales Deficientes permite la visualización de la distribución espacial, en el área urbana, de las viviendas de los niveles Medio-Bajo y Bajo. Se advierte que los sectores más bajos se concentran predominantemente en los radios 03, 07 y 10 (más del 31 % de viviendas con materiales deficientes) con una incidencia media en los radios 08, 05 y 06 (11 a 30 %) y mucho menos en los radios 02, 04 y 09 (0 a 10%).

## USO DEL SUELO

### *Densidad de ocupación*

La mayor concentración de ocupación urbana por edificación se da en los radios 04, 05 y 08 con 11 a 19 viviendas por manzana. En el resto del área

| Radio        | Total de viviendas | Viviendas según Calidad de materiales (CALMAT) |             |               |             |
|--------------|--------------------|--|-------------|---------------|-------------|
|              |                    | CALMAT I + II                                  |             | CALMAT III+IV |             |
|              |                    | Total  | %           | Total         | %           |
| 02           | 37                 | 37   |             | 0             |             |
| 03           | 174                | 78   | 44,8        | 96            | 55,1        |
| 04           | 54                 | 54   |             | 0             |             |
| 05           | 219                | 181  | 82,6        | 38            | 17,3        |
| 06           | 244                | 170  | 69,6        | 74            | 30,3        |
| 07           | 200                | 126  | 63,0        | 74            | 37,0        |
| 08           | 220                | 160  | 72,7        | 60            | 27,3        |
| 09           | 164                | 151  | 92,0        | 13            | 7,9         |
| 10           | 173                | 120  | 69,4        | 53            | 30,6        |
| <b>TOTAL</b> | <b>1.489</b>       | <b>1.077</b>                                   | <b>72,3</b> | <b>408</b>    | <b>27,4</b> |

**Tabla J.** Proporción de viviendas contruidas con materiales de niveles Medio-Bajo y Bajo según Radio censal - Año 2001.  
Fuente: Elaboración propia. Información Departamento de Estudios Especiales – INDEC

urbana, con excepción de algunas manzanas puntuales de mayor ocupación, se advierte subutilización del suelo, ya que en su mayor parte tienen entre 2 a 10 construcciones por manzana (ver Mapa Caracterización Social y Urbana - Cantidad de Viviendas por Manzana).

### *Equipamiento urbano*

#### *Educación*

En la localidad de San Ignacio hay dos establecimientos de nivel primario, una escuela de nivel secundario y una escuela especial para discapacitados.

#### *Hospital*

El hospital zonal brinda asistencia ambulatoria e internación. Atiende, además de la población local, a las poblaciones de Loreto, Roca, Corpus y Santa Ana y en caso de ser necesario deriva pacientes a hospitales de mayor complejidad en la ciudad de Posadas.

#### *Infraestructura*

##### *Servicio de agua en San Ignacio*

La Cooperativa de Agua provee a Pueblo Nuevo, Pueblo Viejo y Barrio Evita, en principio, durante las 24 horas. La Cooperativa posee 1600 conexiones registradas de las cuales 300 no tienen servicio.

Las zonas afectadas por falta de servicio en algunas horas del día son las «zonas altas». Según

estimaciones, esto corresponde a casi el 50% del pueblo (ver Mapa Caracterización Social y Urbana - Provisión de Agua).

*Canillas públicas.* Hay 4 canillas sobre la calle Centenario y 2 en el Barrio Evita. Ninguna de ellas tiene medidor.

En el Barrio Perón y Villa Emma existe conexión domiciliaria sin provisión regular de agua. Tienen un pozo y un tanque que no alcanzan a cubrir la demanda. La gente se provee a través de aljibes o busca agua de los arroyos. (Ver Mapa Caracterización Social y Urbana - Barrios y Puntos de Interés)

#### *Drenaje sanitario*

La localidad de San Ignacio no posee sistema de servicios cloacales, razón por la cual la eliminación de excretas se realiza por pozos domiciliarios en la modalidad de pozos sépticos y letrinas. Los mismos, en general, no son objeto de mantenimiento sistemático (ver Mapa Caracterización Social y Urbana - Fuentes Potenciales de Contaminación).

#### *Disposición de residuos sólidos*

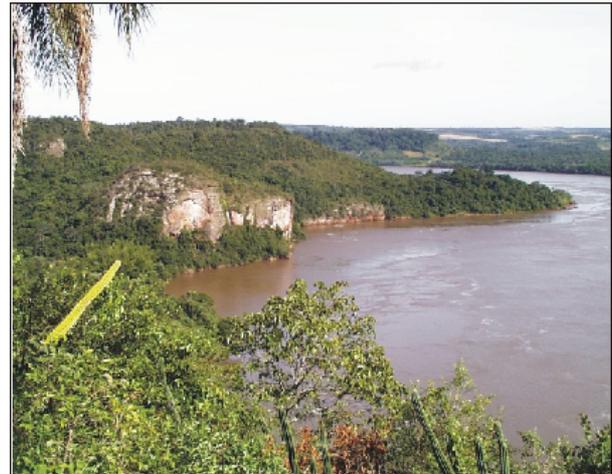
El sistema de recolección de residuos brinda un servicio diferencial según zonas. En el área propiamente urbana se efectúa recolección domiciliaria diaria, en tanto en los barrios periféricos y zonas de asentamientos precarios de los alrededores del área urbana, la misma es esporádica. Los residuos se depositan en una planta de transferencia donde quedan por 24 horas, luego son trasladados a otro Municipio.

## 9. RECURSOS PAISAJÍSTICOS Y TURÍSTICOS

El departamento San Ignacio cuenta con varios sitios de interés turístico, los que se señalan en la tabla 10. Los más atractivos e importantes se encuentran en las Ruinas Jesuíticas y en la costa del río Paraná.

El paisaje costero incluye varios elementos atractivos a la vista y a la recreación asociada con el agua. Se destacan las elevadas escarpas del peñón de Teyú Cuaré sobre el río Paraná junto con la presencia de un ecosistema selvático no deforestado sobre las laderas acantiladas. Las escarpas llegan a tener hasta 80 m de altura y caen a pique sobre el río Paraná, con colores claros que contrastan fuertemente con el oscuro verde del bosque misionero y el castaño del río. Desde el sitio denominado Estancia Osonunu, al tope del peñón, se tienen las visuales más imponentes del río Paraná y de los profundos cañadones que cortan el peñón (figuras 42 y 43).

Otro sitio de interés turístico muy relevante es la Reserva Provincial Teyú Cuaré, la cual se ubica en el extremo sudoeste del área de estudio. Esta Reserva no cuenta con infraestructura turística para camping, agua potable, baños y servicios de compra. Es un sitio de tipo agreste que solamente tiene un camino de acceso, un sendero bien marcado, cartelera preventiva y explanadas de estacionamiento



**Figura 42.** Visuales desde la Estancia Osonunu hacia el peñón Teyú Cuaré y río Paraná.

to bien conservadas. Durante la visita de campo, no se encontraron señales de rotura, desmanes y talas indiscriminadas (figura 44).

Las Ruinas de la Misión de San Ignacio constituyen el atractivo turístico más importante de la zona.

En la actualidad se mantiene en mejor estado de conservación que las ocho restantes conocidas hasta hoy en la provincia de Misiones, gracias a importantes trabajos de restauración que se llevaron a cabo en la misma.

El trazado urbano de esta misión –típico damero de la colonización española- es similar al de las de-

|   | <i>Club de Río</i> | <i>Camping municipal</i> | <i>Peñón de Teyú Cuaré</i> | <i>Puerto Viejo</i> | <i>Estancia Osonunu</i> | <i>Desembocadura Yabebiry</i> |
|---|--------------------|--------------------------|----------------------------|---------------------|-------------------------|-------------------------------|
| Infraestructura para pesca                        | Si                 | Si                       | No                         | Si                  | No                      | Si                            |
| Habitaciones                                      | Si                 | No                       | No                         | No                  | No                      | No                            |
| Zona de camping habilitado                        | Si                 | Si                       | No                         | No                  | Si                      | Si                            |
| Luz, baños y fogones                              | Muy bueno          | Bueno                    | No                         | Luz                 | Malo                    | Regular                       |
| Estado camino de acceso para micros               | Regular            | Regular                  | Malo                       | Malo                | Imposible               | Bueno                         |
| Acceso para autos                                 | Muy bueno          | Bueno                    | Bueno                      | Regular             | Buena a regular         | Buena                         |
| Señalización                                      | Correcta           | Regular                  | Regular                    | Ausente             | Regular                 | Regular                       |
| Información en Garita de turismo sobre la ruta 14 | Correcta           | Ausente                  | Ausente                    | Ausente             | Ausente                 | Ausente                       |
| Balneario con arena                               | Bueno              | Bueno                    | Ausente                    | Ausente             | Ausente                 | Ausente                       |
| Restaurante                                       | Muy bueno          | Bueno                    | Ausente                    | Ausente             | Ausente                 | Ausente                       |



**Figura 43.** Vistas de la Estancia Osonunu hacia el Club de Río.

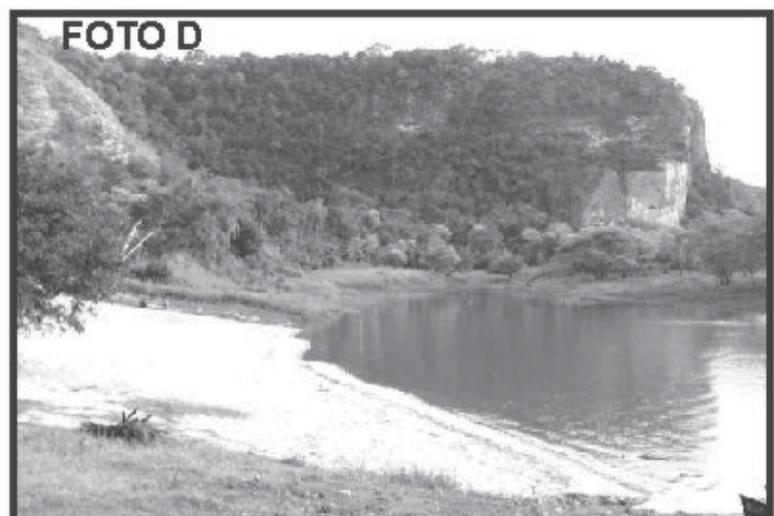
más reducciones jesuíticas, contando con una plaza central, la Iglesia, la casa del padre jesuita, el cementerio, las viviendas, el cabildo y la capilla.

Esta distribución se puede apreciar aún hoy en los restos de gruesos muros de arenisca.

En su época de mayor apogeo esta Misión llegó a contar con más de 3300 habitantes y su estrecha relación con el río Paraná le permitió mantener un constante intercambio con las otras reducciones.

Las Ruinas Jesuíticas de la Misión de San Ignacio fueron declaradas Patrimonio Mundial de la Humanidad por la UNESCO en el año 1984. Completando el conjunto de las Ruinas y a modo de soporte se encuentra el centro de interpretación de la cultura Jesuita-Guaraní. En el predio de la plaza central de la Ruina se ofrece el espectáculo de Luz y Sonido en donde se plantea un

relato didáctico de la experiencia de vida en las Misiones desde sus inicios hasta la expulsión en 1768 ordenada por el rey Carlos III.



**Figura 44.** Aspectos turísticos en Teyú Cuaré.

**Referencias.** Foto A: Cartelería preventiva; Foto B: Presencia de sitios de recolección de residuos; Foto C: Entrada a sendero turístico; Foto D: Vista general del peñón de Teyú Cuaré desde el Club de Río.

## 10. RECURSOS MINEROS

Los establecimientos mineros instalados en San Ignacio (Provincia de Misiones), explotan en todos los casos minerales y rocas de la tercera categoría legal, es decir que entran en la categoría de canteras. Se trata de explotaciones “a cielo abierto” o, como en el caso de la arena, de extracciones realizadas en bancos depositados sobre el lecho del río, desde donde se refula a piletas de acopio ubicadas en la ribera.

En la Dirección General de Geología y Minería (DIGEOMIN), se encuentran inscriptos los siguientes productores: 25 para arcilla, 2 para arena y 1 para arenisca (comercialmente denominada piedra laja), todos asentados en San Ignacio (tabla 11). En el caso de la piedra laja, existen no menos de 5 explotaciones no registradas que trabajan informalmente, lo que se repite en el caso de los productores de arcilla para fabricación de ladrillos comunes (oleros). La DIGEOMIN ha comenzado una campaña con el propósito de regularizar esta situación.

Dado que en la mayoría de los casos, las actividades extractivas de estos productores, se desarrollan en áreas próximas a las márgenes del río Paraná y del arroyo Yabebiry, las mismas se verán afectadas por el aumento de la cota del pelo de agua por efecto de la represa de Yacyretá. Esta circunstancia impondrá la relocalización de las explotaciones, con las consiguientes dificultades que implicará el hallazgo de nuevos yacimientos y la tramitación de sus respectivas habilitaciones.

### POTENCIALES RECURSOS MINEROS

Se distinguen 7 tipos de potenciales recursos mineros en la zona de estudio: a) Areniscas para

revestimientos, b) Material para carpeta de rodamiento de caminos rurales, c) Basaltos para adoquinado de calles, d) Tosca o material basáltico alterado, e) Material para ladrillos, f) Arenas limpias y g) Arenas rojas.

### Areniscas para revestimientos

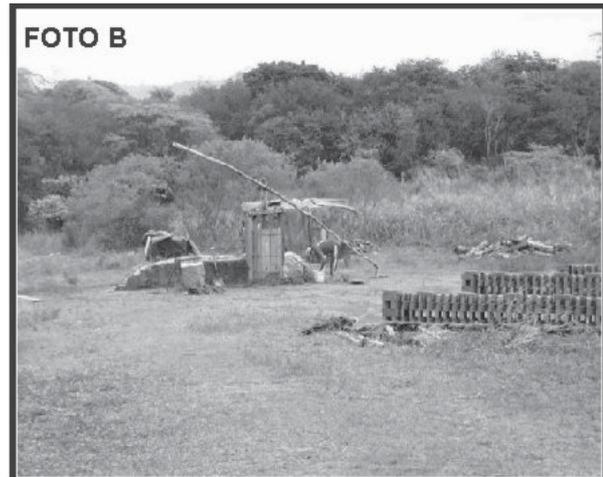
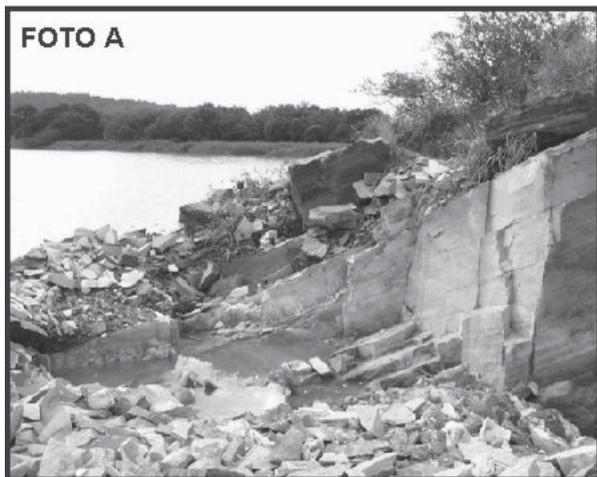
Las areniscas fracturadas y resistentes constituyen un buen recurso pétreo para la construcción de paredes y pisos. Los afloramientos más importantes y explotables se encuentran en el camino de acceso a Puerto Viejo. En estos casos, las lajas de areniscas tienen tamaños de 0,50 x 0,5 y 3 a 6 cm de espesor. Estos emprendimientos quedarán inundados en el futuro, cuando el pelo de agua del río Paraná aumente la cota debido al embalse de Yacyretá (figura 45).

### Materiales para carpetas de rodamiento de caminos rurales

Los materiales más aptos para ser utilizados para los caminos rurales consolidados constituyen una mezcla de 60-50% arenas, 10% limos y 30-20% gravas de tamaños que rondan entre los 0,2 a 2 cm de diámetro. Este material tiene la particularidad de ser estable ante la humedad, tiene rápido secado y puede ser compactado. Sin embargo, en el área no hay un afloramiento que presente las condiciones texturales óptimas y en consecuencia cada granulometría se debe extraer de distintas zonas. Las arenas y las arcillas se encuentran en varios sitios, en tanto las gravas son más difíciles de hallar. En el área, solamente se ubicó un yacimiento de grava mantiforme, de 1 m de espesor y 2 ha de superficie. En este caso, las gravas tienen tamaños medios de 5

| Nº | X         | Y         | Observaciones                                     |
|----|-----------|-----------|---|
| 1  | 6.943.036 | 6.449.902 | Haberle, Gerardo Daniel. Cantera de arenisca      |
| 2  | 6.942.837 | 6.449.924 | Haberle, Gerardo Daniel                           |
| 3  | 6.942.729 | 6.449.911 | Expediente en trámite                             |
| 4  | 6.942.712 | 6.449.719 | Expediente en trámite                             |
| 5  | 6.942.852 | 6.449.699 | Expediente en trámite                             |
| 6  | 6.942.794 | 6.449.683 | Expediente en trámite                             |
| 7  | 9.941.069 | 6.454.798 | Expediente en trámite                             |
| 8  | 6.938.790 | 6.452.055 | Expediente en trámite                             |
| 9  | 6.939.195 | 6.449.766 | Arenera <u>Alba Verdun</u>                        |
| 10 | 6.991.932 | 7.340.466 | Arenera <u>Mandagaran, Ramón Rogelio</u>          |
| 11 | 6.975.648 | 7.348.225 | <u>Vázquez, Luis Armando. Cantera de arenisca</u> |

Tabla 11. Canteras habilitadas en la zona de estudio.  
Fuente: DIGEOMIN, julio de 2005.



**Figura 45.** Sitios mineros en el área de estudio.

**Referencias.** Foto A: Areniscas para revestimientos en Puerto Viejo; Foto B: Arenas limosas para ladrillos.

cm y los clastos son muy duros y están compuestos por ópalo, calcedonia y sílice.

### Basalto para adoquinado de calles

Parte de las calles de San Ignacio están revestidas con adoquines de basalto (figura 46). Dicho material se obtiene de una cantera que se ubica cerca a la localidad de General Alvear (figura 47). El adoquinado de basalto es resistente y apto para ser usado como carpeta de rodamiento. Su obtención y colocación es de muy bajo costo comparado con el asfalto y el hormigoneado, sin embargo su rugosidad es mucho mayor y provoca un mayor desgaste en las cubiertas de los vehículos.

La cantera de basalto tiene sectores con distinto grado de fracturamiento. Se aprovechan aquellas zonas donde se pueden obtener bloques regulares de 20 a 30 cm de largo y 10 a 20 cm de

espesor. Las condiciones de explotación son algo inseguras ya que las tareas se hacen sin maquinaria y los taludes rocosos son inestables (figura 47). Por otro lado, las paredes rocosas de la cantera se ubican a ambos lados de una ruta provincial por donde circulan vehículos a elevada velocidad.

### Tosca o material basáltico alterado

La tosca es el material basáltico semialterado. Este material es una mezcla de arcilla, limo y arena con bloques de basalto redondeados. Los bloques de basalto tienen formas no angulares y son menos resistentes que el basalto fresco.

La tosca puede ser usada para rellenos de plataformas o desniveles o como carpeta de rodamiento de calles rurales, la misma, una vez compactada es permeable y poco plástica.



**Figura 46.** Calles revestidas con adoquines de basalto.



**Figura 47.** Cantera de basalto para adoquinado de las calles cerca de General Alvear.

### **Material para ladrillos (limos)**

Los limos arenosos, arenas muy finas y sedimentos con texturas francas son los materiales más aptos para la confección de ladrillos. Los afloramientos más importantes se encuentran en unos sedimentos característicos que afloran a lo largo de la costa y que están por debajo de la cota 83 metros.

Las explotaciones son de tipo familiar y se hallan en las inmediaciones de Puerto Viejo. Por lo general, todos estos afloramientos quedarán inundados ante la elevación de la cota del pelo de agua del embalse de Yacyretá.

### **Arenas limpias**

Las arenas limpias son de textura fina y presentan escasa cantidad de óxidos. Los depósitos más importantes se ubican en la zona aledaña al río Paraná, al norte de la desembocadura del arroyo Pesquera y también en la desembocadura del arroyo Yabebiry. En el primer caso, el depósito es de forma mantiforme, tiene con un espesor de 1 a 2 m

y cubre 25 km<sup>2</sup> de superficie; las texturas dominantes son arenas medias y finas, compuestas por cuarzo, ópalo y calcedonia..

Las arenas son aptas para la construcción y para ser utilizadas en balnearios. La principal limitación para su explotación es que la capa freática se encuentra a 0,3 m y el camino de acceso a estos posibles yacimientos atraviesa emprendimientos privados y está lejos (10 km) de las vías de comunicación.

Todas estas zonas también quedarán bajo el agua una vez que se llegue a la cota de embalse programada por el Empredimiento Yacyretá.

### **Arenas rojas**

Estas arenas provienen de la degradación de las areniscas cretácicas. Presentan material fino (<15 %) y están teñidas por óxidos que le confieren colores ocres y rojizos. Este material no es apto para la construcción debido a que las tienen finos, están sucias y son coloreadas. Por lo general son aptas para rellenos de explanadas o como material de mezcla de bases compactadas.

## 11. AMENAZAS NATURALES

### EROSIÓN DE CAMINOS

Los caminos rurales y forestales son un elemento necesario para la ordenación de un territorio. Las redes de caminos permiten el acceso a zonas boscosas para realizar actividades relacionadas con la extracción de madera, la protección contra incendios, y para otros fines no madereros. La construcción y el uso de caminos alteran el paisaje de las zonas que atraviesan y son fuente de erosión y sedimentación causada por el hombre. Los caminos rurales defectuosos y con erosión pueden afectar considerablemente los recursos naturales y ocasionar pérdidas económicas. Los impactos más comunes son la obstrucción de los cursos, el empeoramiento de la calidad de agua y la reducción del nivel de productividad del suelo (FAO, 1999).

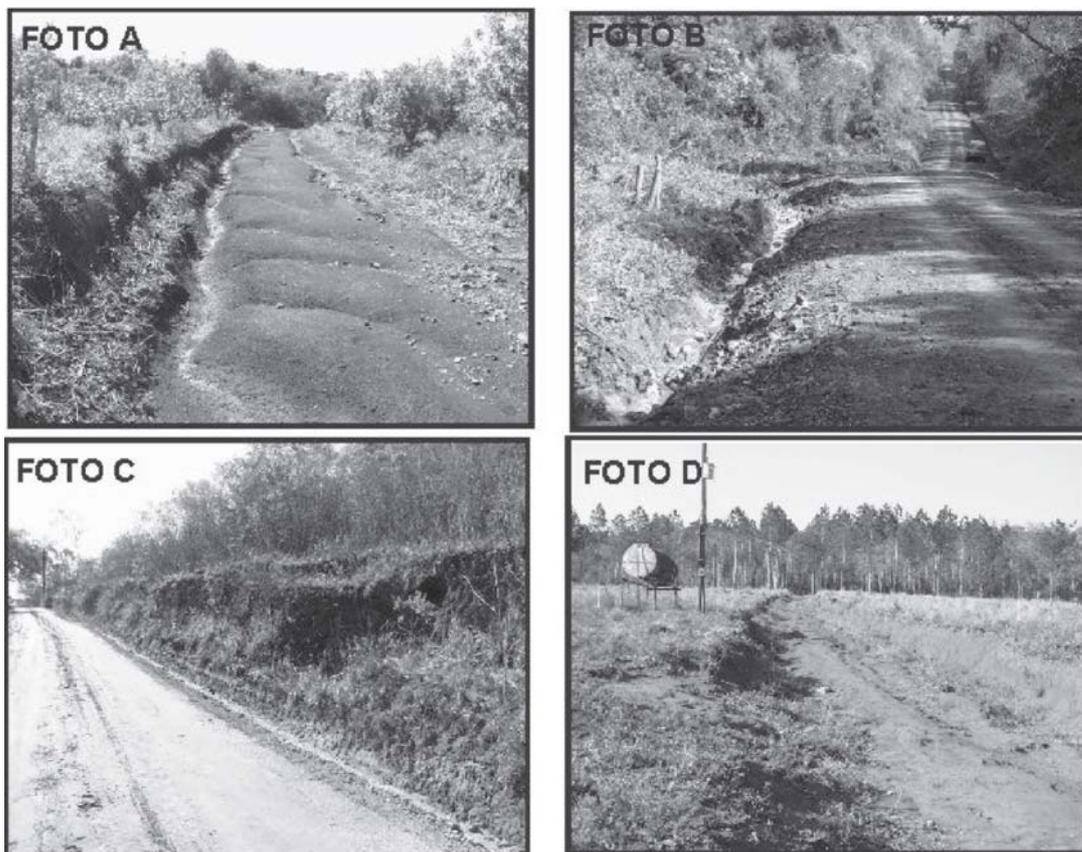
La erosión hídrica es un proceso muy importante en la zona y afecta a los suelos (ver capítulo Suelos) y a los caminos rurales. Los desmontes y la construcción de la red caminera rural fomentan la erosión, al eliminar la vegetación y alterar la topografía

(figura 48, foto C). Estas acciones alteran el natural escurrimiento superficial del agua. El drenaje es capturado por el camino y éste actúa como un canal donde el agua se concentra y provoca erosión (figuras 48, fotos A, B y D), se forman surcos en las cunetas o regueros que impiden el tránsito vehicular (figuras 49 y 50).

La alteración de la topografía trae en consecuencia otros impactos. Los caminos sobreexcavados (figura 48, foto C) tienen taludes de corte con deslizamientos (figura 51) y cárcavas. Las mismas tienden a agrandarse con cada lluvia y a retroceder pendiente arriba del talud y a degradar los suelos del área.

Los surcos de erosión tienen diferente extensión y profundidad. Cuando la roca es resistente y se encuentra en superficie la erosión es menor; (figura 48, foto B); en caso contrario la erosión no se detiene y se forman surcos profundos (figura 48, foto C y figura 49, foto A).

También se ha observado que los caminos en zonas desmontadas tienen mayor erosión hídrica con respecto a los caminos rurales que atraviesan zonas selváticas.



**Figura 48.** Erosión de caminos rurales.

**Referencias.** Foto A: Captura del escurrimiento por parte del camino; Foto B: Erosión de cuneta, y sangrías dispersoras; Foto C: sobre-excavación de los caminos; Foto D: Caminos que capturan el drenaje con erosión y no tienen sangrías.



**Figura 49.** Erosión en caminos en zonas sin selva y construcción de sangrías.

**Referencias.** Diferencias en la susceptibilidad a la erosión hídrica. Foto A: Erosión en cárcavas en terrenos desmontados, Foto B: Camino en zona de bosque con sangrías.

Cuando el ecosistema ha sido perturbado, gran parte del agua de lluvia que anteriormente era absorbida, retenida y retardada por el bosque, las hojas y la hojarasca del suelo, es drenada en forma superficial. En consecuencia, el volumen de agua de lluvia que se convierte en escurrimiento es mayor y por ende la erosión también lo será (figura 49, fotos A y B).

El tipo de material en donde se traza el camino también influye sobre la erosión hídrica. La misma es mayor en arenas sueltas y en arcillas impermeables. Las pendientes también controlan la intensidad de erosión. Cuando el gradiente es mayor, la acción erosiva es mayor (figuras 50 y 51).

Los caminos más afectados por la erosión son aquellos ubicados en pendientes, asentados en arcillas impermeables y con desmontes en las áreas circundantes.

Las recomendaciones más importantes respecto a los caminos se refieren al control del escurri-

miento superficial (FAO, 1990) mediante la construcción de sangrías o dispersores del drenaje vial (figura 49B).

#### *AMENAZA POR INUNDACIÓN DEL EMPRENDIMIENTO YACYRETÁ*

Esta situación generará una inversión temporal de la relación agua superficial-agua subterránea en los sectores marginales al río Paraná, debido a que los cursos de agua superficial, actualmente efluentes (reciben agua subterránea, figura 52 A), se transformarán en influentes (cederán agua al acuífero, figura 52 B).

La zona afectada por el incremento del nivel estático del agua subterránea (figura 52 C) se va a limitar a una franja paralela a las márgenes de los ríos y arroyos que hayan elevado su tirante de agua. El ancho de esa franja y el tiempo que tardará el sistema en alcanzar este nuevo estado de equilibrio



**Figura 50.** Cunetas y carpetas de rodamiento erosionadas.



**Figura 51.** Deslizamiento en taludes de corte de caminos sobreexcavados.

sólo se puede predecir mediante la modelación del acuífero involucrado, proceso que requiere de mucha información de base que no se encuentra disponible en la zona de San Ignacio.

Sin embargo, se puede argumentar que dicha influencia no afectará a la localidad de San Ignacio debido a que los niveles estáticos de los pozos censados en la localidad (6 valores) se encuentran muy por encima de la cota de embalse (ver capítulo Hidrogeología).

Asimismo la elevación del nivel del agua del río Paraná originará tres tipos de impactos: a) Anegamiento de zonas productivas, b) Cambio de la línea de costa, c) Cambio de la dinámica en la zona costera debido al cambio de la morfología costera y d) Cambio de las propiedades visuales.

La subida del nivel de agua inundará especialmente la desembocadura del arroyo Yabebiry y arroyo Persiguero. En ambos casos se formarán nuevos espejos de agua. En el caso de Yabebiry el espejo de agua se ubicará a 1000 m del límite sudeste de la localidad y a 1200 m del barrio El Solar.

### AMENAZA POR INUNDACIÓN POR LLUVIAS

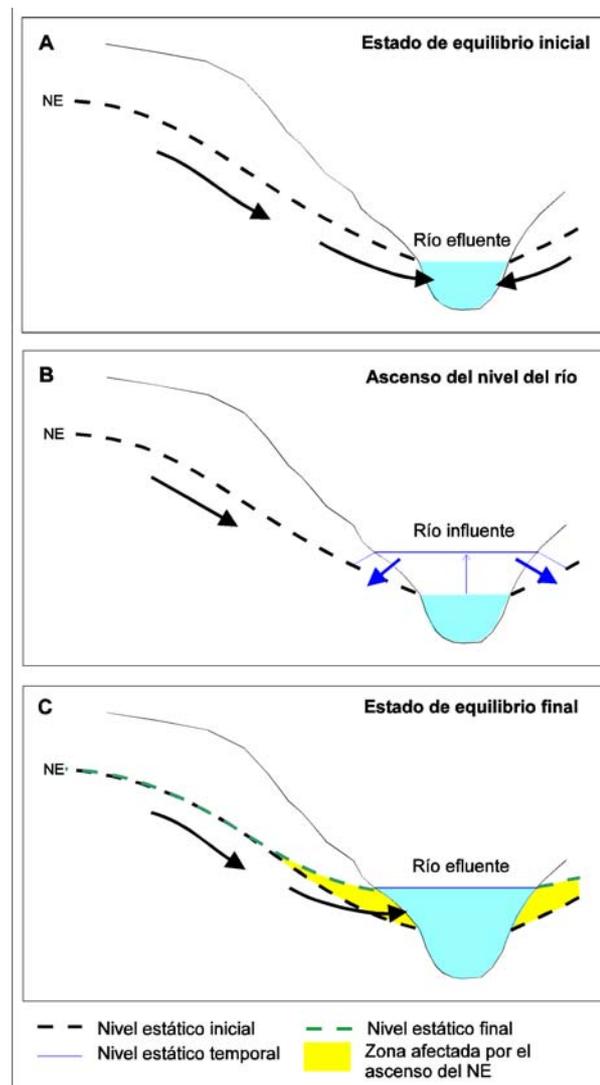
El Mapa Amenazas Naturales indica las zonas del paisaje que frecuentemente presentan inundación a causa de las lluvias intensas (figura 53). Las mismas se ubican en geformas donde el proceso de inundación es activo como ser las Planicies y Terrazas Aluviales.

En el área urbana, las zonas inundables afectan algunas viviendas con ocupación permanente. Ello ocurre cuando las viviendas se ubican a menor cota que la cuneta de la calle. Cuando el agua de la cune-

ta rebasa durante las tormentas intensas, ésta escurre hacia la vivienda. Esto acontece especialmente en tres casos: 1) Cuando la cuneta de las calles de tierra no están bien excavadas en el suelo, 2) Cuando no hay cordón cuneta en la calle, y 3) Cuando la cuneta no tiene capacidad de drenaje porque está tapada de sedimentos arrastrados por el agua (figura 54).

Los anegamientos también se producen cuando los cordones cuneta obstaculizan el drenaje en forma perpendicular a la pendiente natural del terreno. Esto sucede en aquellas calles que atraviesan transversalmente los valles y que no cuentan con alcantarillas.

En los cauces que atraviesan la localidad también se registran inundaciones. Los mismos tienen 1



**Figura 52.** Esquema que ilustra el efecto del ascenso en el tirante de agua de un río en el nivel estático del agua subterránea.

**Referencias.** A: Estado pre embalse; B: Estado durante el embalsamiento; C: Estado post ascenso.

a 2 m de profundidad y entre 2 a 6 m de ancho, con pendientes de  $1,5^\circ$ . Estas características permiten que los cauces tengan suficiente capacidad de almacenar el caudal producido por las lluvias impor-

tantes. Existe un riesgo potencial de inundación cuando los cauces se obturan con material de poda, con basura o cuando las alcantarillas que atraviesan las calles están tapadas por sedimentos o residuos.

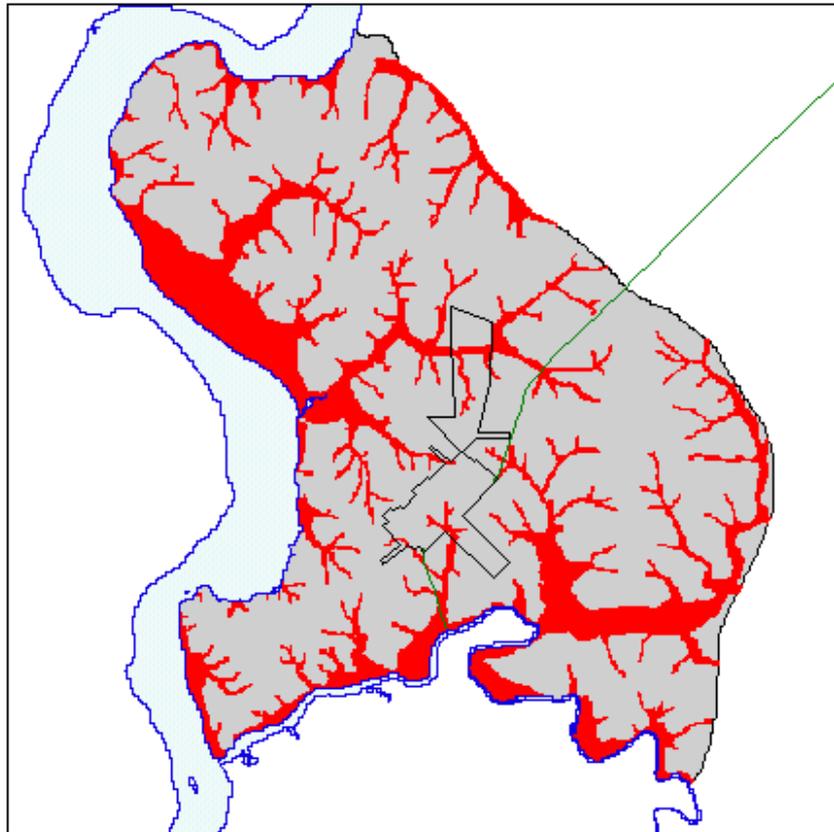


Figura 53. Zonas inundables.

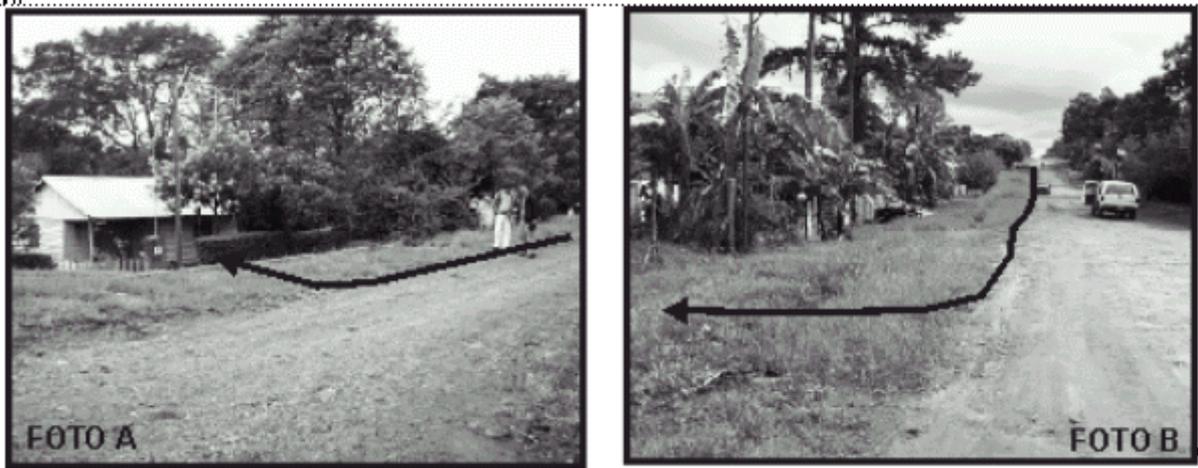


Figura 54. Viviendas afectadas por las inundaciones.

**Referencias.** Foto A y B: La ausencia de un cordón favorece que el drenaje pluvial que circula por la cuneta inunde las viviendas ubicadas a menor cota.

## 12. IDENTIFICACIÓN DE ZONAS APTAS PARA LA INSTALACIÓN DE UN RELLENO SANITARIO, DE BARRIOS DE VIVIENDAS Y CONSERVACIÓN DE BOSQUES

De acuerdo con las necesidades que surgieron, en forma conjunta, entre el Municipio de San Ignacio, la provincia de Misiones, el SEGEMAR y la BGR, se realizaron tareas basadas en tres objetivos: instalación de un relleno sanitario (RS), ubicación de barrios de viviendas y conservación de bosques. Para los tres casos se efectuó un SIG (Sistemas de Información Geográfica), cuyo alcance fue:

- Establecer una integración y evaluación de distintos factores ambientales.
- Aportar un método para combinar los diferentes datos.
- Constituir un sistema abierto, de tal forma que permita la incorporación de nuevas capas de información para lograr un mejor «ajuste» de las zonas halladas en un primer intento.

La utilización de la herramienta SIG en este trabajo es de gran importancia, fundamentalmente para la planificación y ordenamiento territorial, en donde se trata de efectuar recomendaciones del uso del territorio sin entrar en conflictos con el medio ambiente.

### Instalación de un relleno sanitario y barrios de viviendas

Para la American Society of Civil Engineers (ASCE), el «Relleno sanitario es una técnica para la disposición de la basura en el suelo sin causar perjuicio al medio ambiente y sin causar molestia o peligro para la salud y seguridad pública». Este método utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en un área lo más pequeña posible, reduciendo su volumen al mínimo practicable. Los factores necesarios para ubicar un RS son:

- Red de drenaje.
- La accesibilidad al lugar (camino).
- Áreas propensas a ser inundadas.
- Características litológicas del terreno.
- Pendientes y escarpas.
- Características geotécnicas del terreno.
- Distancia al centro urbano.
- Vegetación.
- Áreas turísticas y naturales a preservar.

En el Proyecto, esta información se analiza según la herramienta SIG (Geoprocessing) y se desarrolla en la base de los siguientes temas:

- Ejido urbano
- Geología
- Geomorfología
- Pendientes
- Vegetación
- Caminos (accesibilidad e impacto visual)
- Red drenaje
- Áreas susceptibles a ser inundadas
- Principales centros turísticos
- Geotecnia

Cada mapa tiene una base de datos, la cual muestra el valor de la capacidad parcial que tiene cada unidad cartográfica para recibir una determinada actividad, ya sea la de la instalación de un RS o la ubicación de viviendas. Este valor de la capacidad es numérico y varía entre 0 y 1. El valor 0 indica unidades con capacidad baja, mientras que 1 señala una capacidad alta. Esta clasificación numérica de las unidades cartográficas hace posible realizar operaciones de cálculo con el SIG. En los mapas se colorea a las unidades con tonos de color rojo y verde para valores extremos de baja y alta capacidad, respectivamente.

Los criterios de valoración fueron tomados parcialmente de U.S.P.H.S. Bureau of Solid Waste Management (1968), Municipal Waste Processing in Europe (1985) y Del Río et al. (1993). A continuación se detalla la valoración de las unidades cartográficas para cada mapa temático.

### EJIDO URBANO

La instalación de un relleno sanitario (RS) deberá ser permitida por la legislación territorial urbana, de protección ambiental y de preservación de los recursos naturales, tanto de orden nacional como provincial. En estas legislaciones se establecen las distancias que deben mediar entre un centro poblado y la localización de los residuos. También se hace necesario conocer el uso futuro del RS, si será compatible con el plan o con el desarrollo natural de la ciudad o población.

Los costos de traslados de los centros de recolección deberán ser calculados, como así también los de adquisición o alquiler de los terrenos que servirán para la disposición de la basura. El costo, en algunos casos, puede ser muy bajo si el terreno es de propiedad pública..

Para el ejido urbano se estableció una distancia

excluyente de ubicación del RS desde el límite del mismo hasta 1000 metros. Para el ejido suburbano (Villa Emma), la distancia excluyente es de 500 metros. Las zonas restantes tienen un valor de capacidad igual a 1 (apto) para el caso de RS (figura 55).

En el caso de instalación de barrios de viviendas, la distancia excluyente (valor de capacidad 0) es de 2300 m desde el límite del ejido urbano y suburbano (figura 56).

### GEOLOGÍA

A los afloramientos de areniscas de la Formación Misiones se les asigna un valor de capacidad 0

debido a que constituyen la unidad geológica acuífera más importante de la región (Acuífero Guaraní). A las restantes unidades aluviales cuaternarias, como ser gravas, arenas y limos, también se les otorga un valor de capacidad 0, dado que son zonas con acuíferos someros (figura 57).

### GEOMORFOLOGÍA

Las unidades geomorfológicas que presentan pendientes elevadas, alta susceptibilidad a las inundaciones y ascensos del nivel freático, tienen una baja capacidad tanto para la ubicación de un RS como para la instalación de viviendas (figura 58).

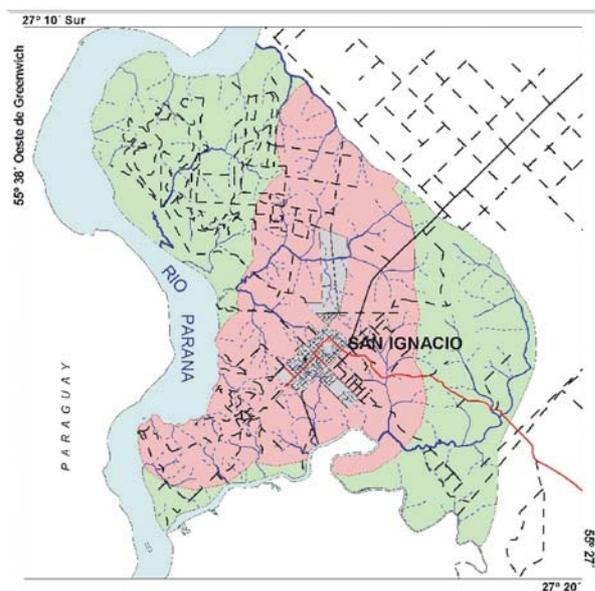


Figura 55. Mapa de capacidad para RS: influencia del ejido urbano.

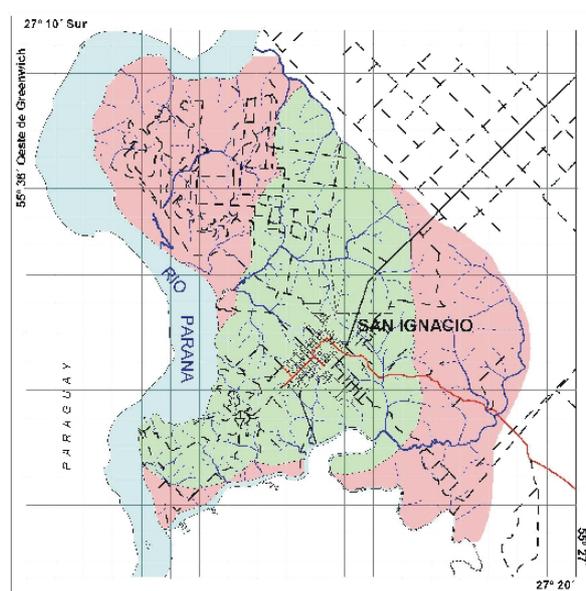


Figura 56. Mapa de capacidad para viviendas: influencia del ejido urbano.

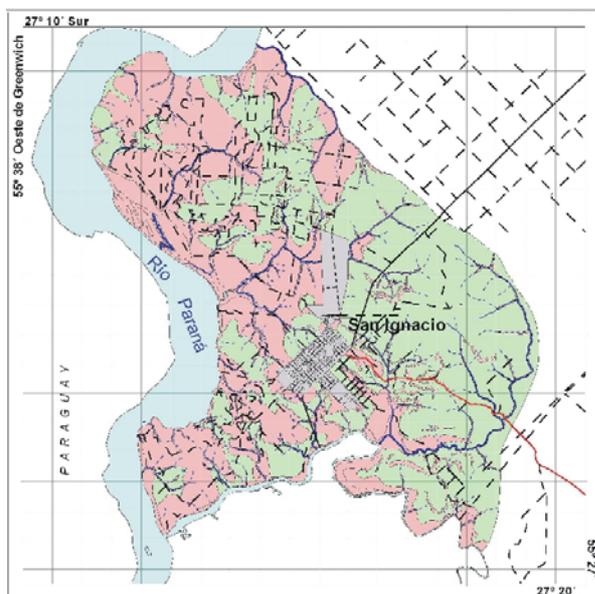


Figura 57. Mapa de capacidad para RS y viviendas: litología.

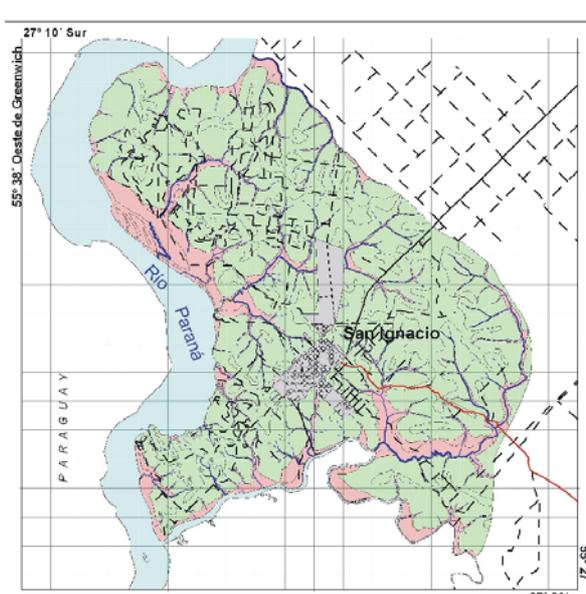


Figura 58. Mapa de capacidad para RS y viviendas: geomorfología.

## PENDIENTES

Las unidades que tienen pendientes elevadas ( $> 2^\circ$ ) tienen una baja capacidad, tanto para la ubicación de viviendas (figura 59) como para la instalación de un RS (figura 60), debido a que son zonas con alta susceptibilidad a los procesos de erosión hídrica.

## VEGETACIÓN

A la vegetación se la consideró para: a) Instalación de viviendas, b) RS y c) Conservación de áreas con vegetación de bosques naturales poco alterada.

Para el caso de viviendas y RS, las unidades a las que se les asignaron altos valores de capacidad son las que se encuentran más alteradas en su estructura ecológica y exhiben menor biodiversidad (figura 61). Por el contrario, las unidades que tienen una baja capacidad son aquellas que se hallan menos alteradas, por lo que se hace necesario promover su conservación y protección.

La selección de áreas para la conservación de la vegetación de bosques naturales (figura 62) se realizó según los resultados obtenidos en el estudio de las unidades fisonómicas de vegetación. Como se describió en el capítulo de vegetación, el área de estudio presenta una gran fragmentación de los ambientes selváticos, lo cual atenta con sus funciones ecológicas y con su capacidad de autosustentación. Dentro de las unidades mencionadas, existen algunas que tienen un valor especial, no sólo debido a que aún sustentan una rica biodiversidad, sino por

los servicios que aportan al ecosistema en general. A estas unidades se les asigna un valor de capacidad igual a 0 debido a que son ecológicamente vulnerables. Las mismas son:

- I Selvas subtropicales, subunidades Selva I y Selva II y Selvas y matorrales ribereños: corresponde a los sectores con mayor complejidad estructural, biodiversidad y naturalidad dentro del ecosistema selvático. Si bien no conserva sus características prístinas, son necesarios planes de manejo y actividades de bajo impacto para preservar sus condiciones actuales. Este ecosistema sostiene especies únicas en este sector de la provincia y representa los últimos ambientes alcanzados por este distrito fitogeográfico, por lo que resulta el único sostén de la fauna. También constituye un hermoso atractivo turístico y por ende contiene un alto valor paisajístico. Dentro de esta unidad existen dos zonas protegidas, la Reserva Provincial Teyú Cuaré y la Reserva privada Osonunu, si bien, por la extensión de ambas sería necesario definir un sector Buffer para evitar la degradación y pérdida de biodiversidad.
- II Pastizales: presenta numerosos endemismos, entre los que se encuentra el pindocito o palmera enana, una especie protegida por un decreto Provincial. Además sostiene una fauna específica que no encontraría refugio en otro tipo de ambiente.
- III Humedales y pastizales hidrófilos: Los humedales son los ecosistemas más productivos, no sólo sostienen una gran biodiversidad sino que cum-

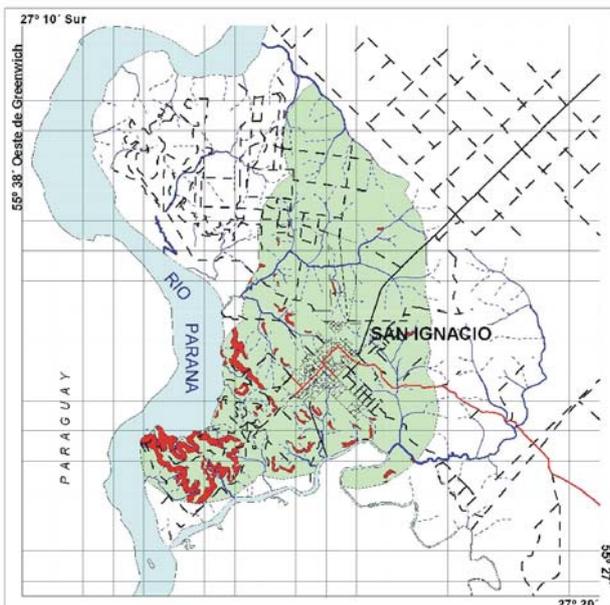


Figura 59. Mapa de capacidad para viviendas: pendientes.

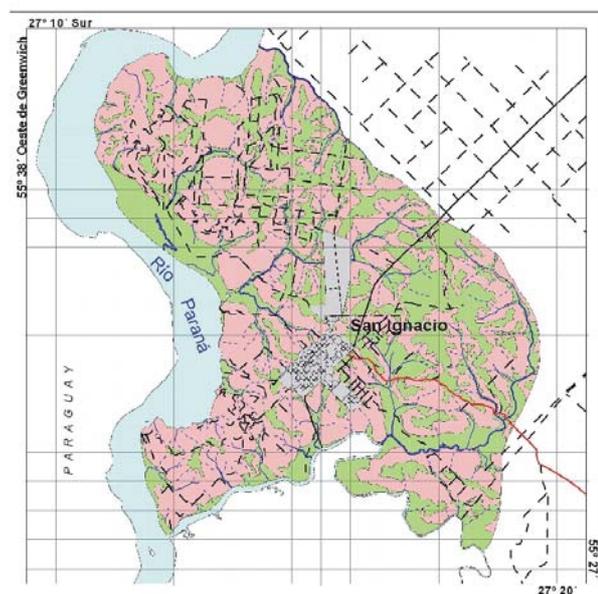


Figura 60. Mapa de capacidad para RS: pendientes.

plen funciones ecológicas irremplazables, como por ejemplo, regular los regímenes hidrológicos locales, actuando como barreras de retención y filtros de agua. Además, los humedales ofrecen refugio y alimentación de una variadísima fauna. Los anfibios, particularmente, dependen de este ambiente para su reproducción y alimentación y constituyen importantes reguladores en la población de insectos.

**CAMINOS (accesibilidad)**

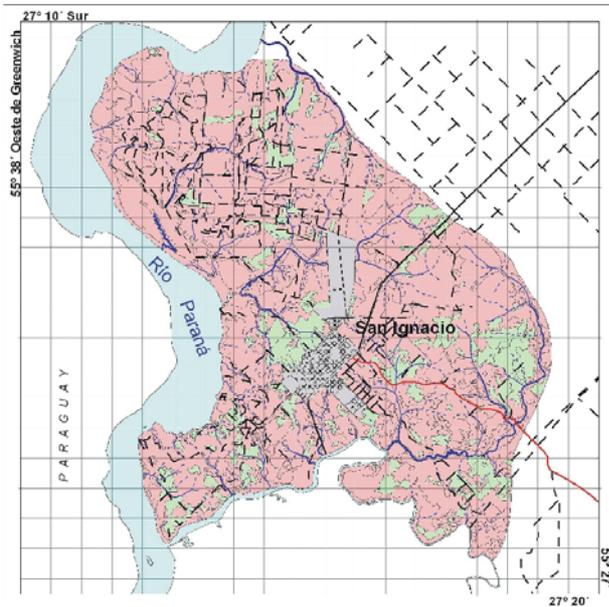
Se estimó un área de influencia de 100 m en las vías de comunicación. Esta distancia nace de considerar que el RS tendría que estar ubicado lo sufi-

cientemente lejos como para no causar un impacto visual negativo (desde el camino), pero lo suficientemente cerca para que la vía de acceso sea útil para el transporte de residuos (figura 63).

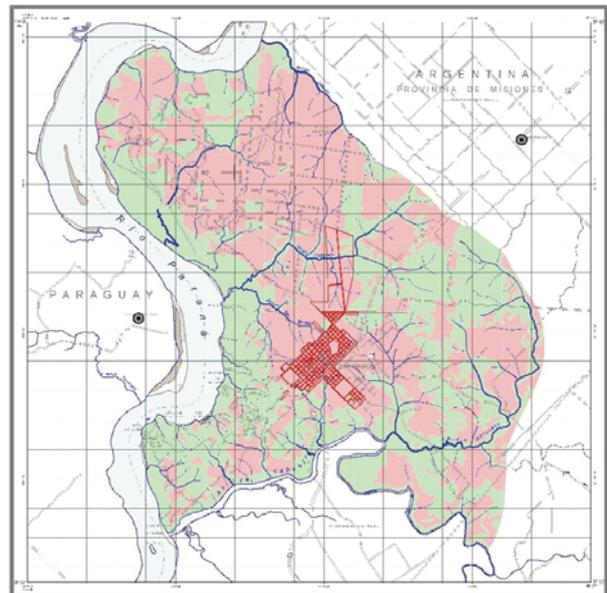
**RED DE DRENAJE**

A la red de drenaje se la clasificó de acuerdo a la importancia del curso de agua y su caudal.

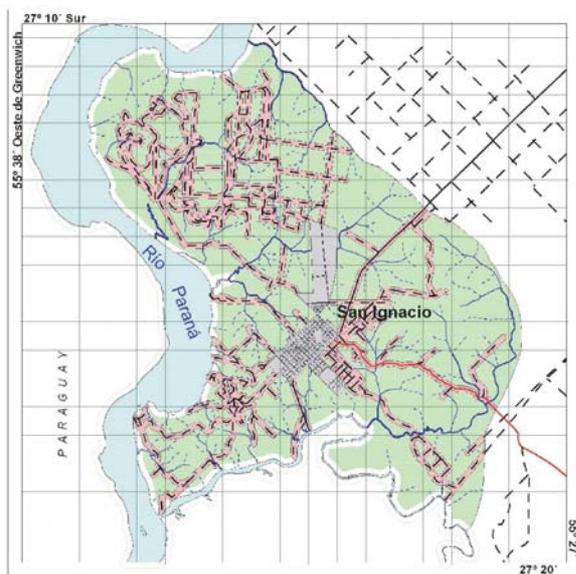
Dentro de la categoría alta (mayor caudal, mayor expresión sobre el terreno) fueron incluidos a los ríos Paraná y Yabebiry y a la desembocadura de los arroyos San Ignacio y Persiguero. El área de influencia para los mismos fue de 200 metros.



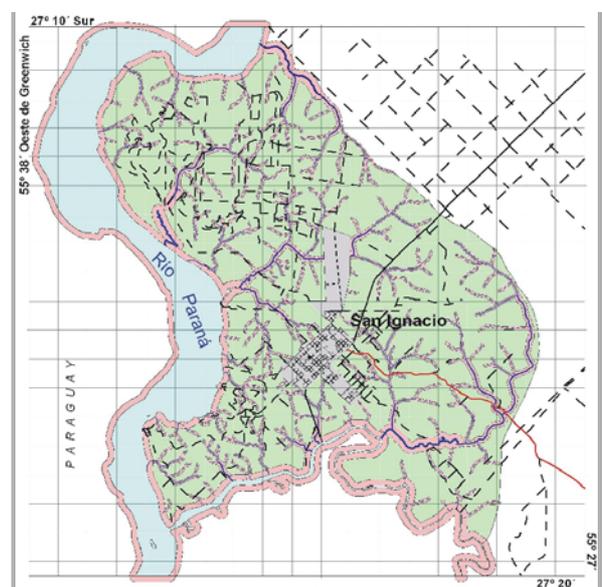
**Figura 61.** Mapa de capacidad para RS y viviendas: vegetación.



**Figura 62.** Mapa de conservación recomendada para la vegetación natural y no alterada



**Figura 63.** Mapa de capacidad para RS: accesibilidad y zona de influencia.



**Figura 64.** Mapa de capacidad: influencia de la red de drenaje

En la categoría intermedia fueron incorporados los tramos medios de los cursos menores. El área de influencia (buffer) seleccionada fue de 100 metros.

A los cursos de menor categoría se les asignó un buffer de 50 metros (figura 64).

### ÁREAS INUNDABLES

Las zonas que presentan una alta susceptibilidad a ser inundables están relacionadas directamente con áreas aledañas al río Paraná y a la franja comprendida entre el mismo y la curva de nivel de 85 m (cota de inundación estimada por la represa Yacyretá). Esta área no es adecuada para la instalación de un RS y/o viviendas, por lo tanto se le asigna un valor de capacidad 0, mientras que a aquellas zonas que se localizan por encima de la cota 85 m capacidad de 1 (figura 65).

### ÁREAS TURÍSTICAS

Se marcó una distancia de 100 m alrededor de los sitios turísticos y se le asignó un valor de capacidad igual a 0 (figura 66). Esta distancia surge de considerar que cualquier actividad antrópica tendría que ser realizada lo suficientemente lejos como para no causar un impacto negativo.

### GEOTECNIA

Las unidades con baja capacidad portante, como son los sedimentos no consolidados, no son aptas para la ubicación de viviendas, dado que presentan gran cantidad de arcillas plásticas. Generalmente estas unidades se ubican en depresiones mal drena-

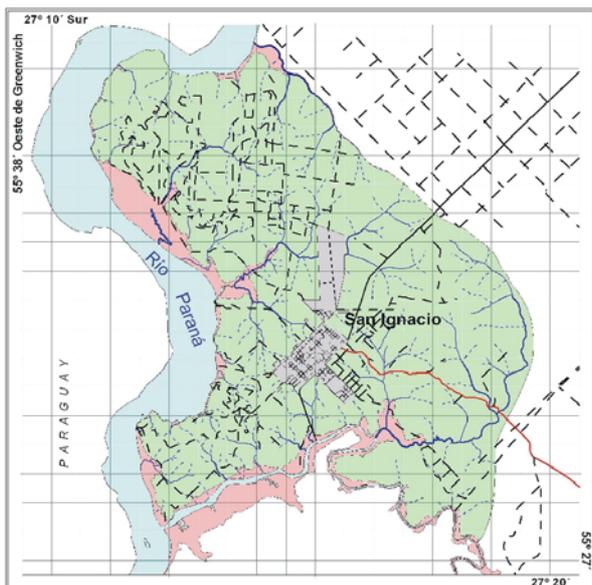


Figura 65. Mapa de capacidad: zonas inundables.

das y con el nivel freático somero; estas características determinan que el porcentaje de humedad sea superior al límite líquido y plástico. En consecuencia, estos sedimentos en condiciones de saturación pueden causar asentamientos diferenciales en las fundaciones de las estructuras que se realicen (figura 67).

### INTEGRACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Los datos vectoriales fueron transformados a una grilla de 614 filas por 505 columnas y un tamaño de celda (pixel) de 30 m, de esta forma se realiza una superposición precisa de la información. El valor de grilla asignado corresponde a la capacidad.

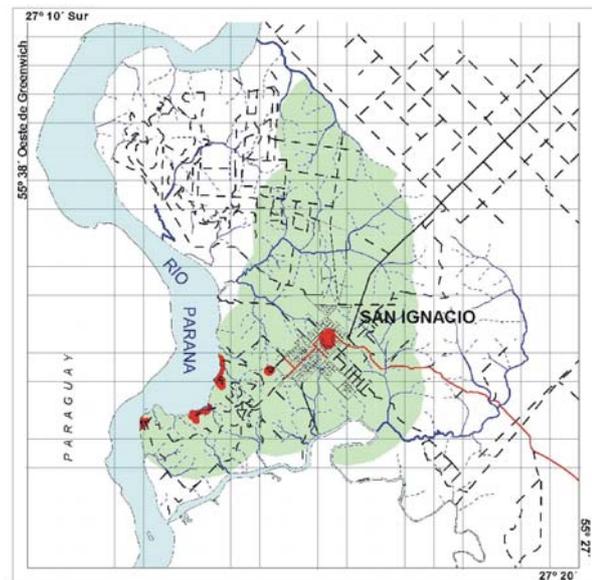


Figura 66. Mapa de capacidad para viviendas: zonas turísticas.

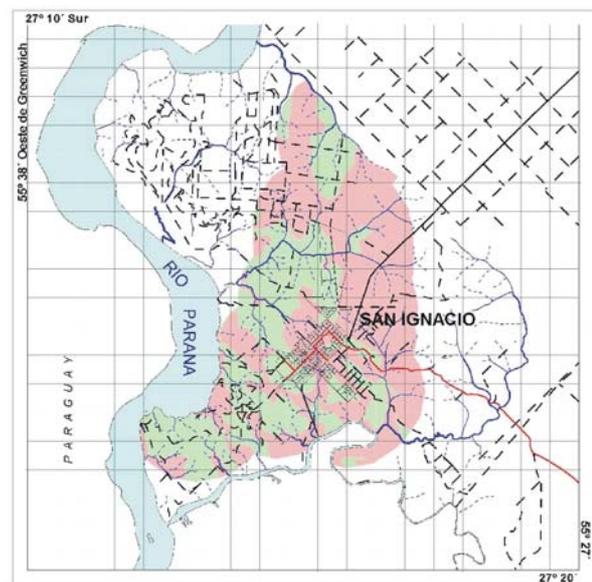


Figura 67. Mapa de capacidad para viviendas: geotecnia.

Ya con la información en este formato se efectuaron las operaciones de cálculo que responden a la siguiente fórmula:

$$Aa = \sum (P_{ia}) * C_{ia}$$

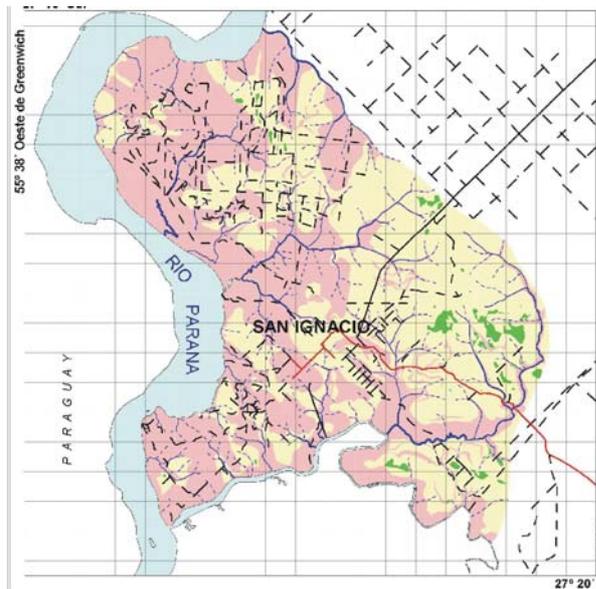
En donde Aa es la aptitud final de una determinada unidad espacial i para la actividad a; P es el peso asignado a cada mapa o variable; C la capacidad parcial, y m y n el número de mapas que intervienen en el estudio.

Cada variable analizada en esta evaluación tiene asignado «peso» (P), el cual pondera las variables que juegan un papel más importante en la integración de la información para determinar la aptitud. Para la ciudad de San Ignacio se evaluó que los factores de mayor «peso» en orden de importancia son: geología, geomorfología, geotecnia, áreas turísticas, vegetación, red de drenaje, ejido urbano, caminos y pendientes. De acuerdo a esta premisa, se establece que aquellas unidades espaciales cuyas capacidades geológicas, geomorfológicas y geotéc-

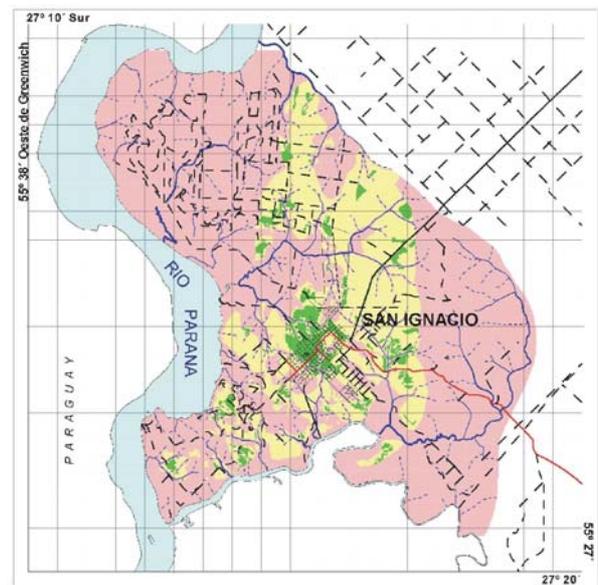
nicas sean 0, la aptitud final de las mismas también será 0, es decir un sitio no apto para la actividad considerada.

Como resultado de esta evaluación surgen dos mapas finales, uno de aptitud del terreno para la instalación de un RS (figura 68) y otro de aptitud del terreno para la instalación de viviendas en los alrededores de la localidad de San Ignacio (figura 69). Cada mapa tiene una base de datos que establece el grado de aptitud de cada unidad temática relacionada con cada una de las actividades mencionadas. Los valores más bajos indican áreas con una aptitud reducida, es decir zonas no adecuadas. Los valores intermedios revelan una aptitud moderada, en donde el hombre debería mejorar alguno de los factores cuya capacidad inicial sea 0; mientras que los valores más altos muestran una aptitud muy buena, por lo tanto los sitios son más adecuados.

De la misma forma que en los anteriores mapas, para su diseño se utilizaron los colores verde para «apto», amarillo para «moderadamente apto» y rojo para «no apto».



**Figura 68.** Mapa de aptitud a la instalación de relleno sanitario RS).



**Figura 69.** Mapa de aptitud a la instalación de viviendas en los alrededores de San Ignacio.

### 13. MEDIDAS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL

El este capítulo se enumeran las medidas de protección ambiental que resultaron del análisis de la información del presente informe. Las mismas están orientadas a la protección de los recursos naturales como ser el suelo, el paisaje, el agua y el ecosistema selvático misionero y, a la salud de la población.

Las recomendaciones propuestas fueron clasificadas en función de 5 criterios. La "Prioridad" indica

la urgencia con que se sugiere aplicar la recomendación propuesta. El "Carácter" establece si la medida es mitigadora, preventiva, correctiva o meramente informativa. La «Efectividad esperada» indica el grado de éxito que tendrá la medida una vez aplicada. El "Costo estimado" propone el gasto económico que surge de aplicar la medida; el mismo fue evaluado en forma expeditiva y relativa con respecto a las otras medidas y brinda un valor económico cualitativo y aproximado. Por último, el "Efecto a mitigar" describe cual es el recurso o el proceso ambiental al cual se quiere proteger, mitigar o corregir.

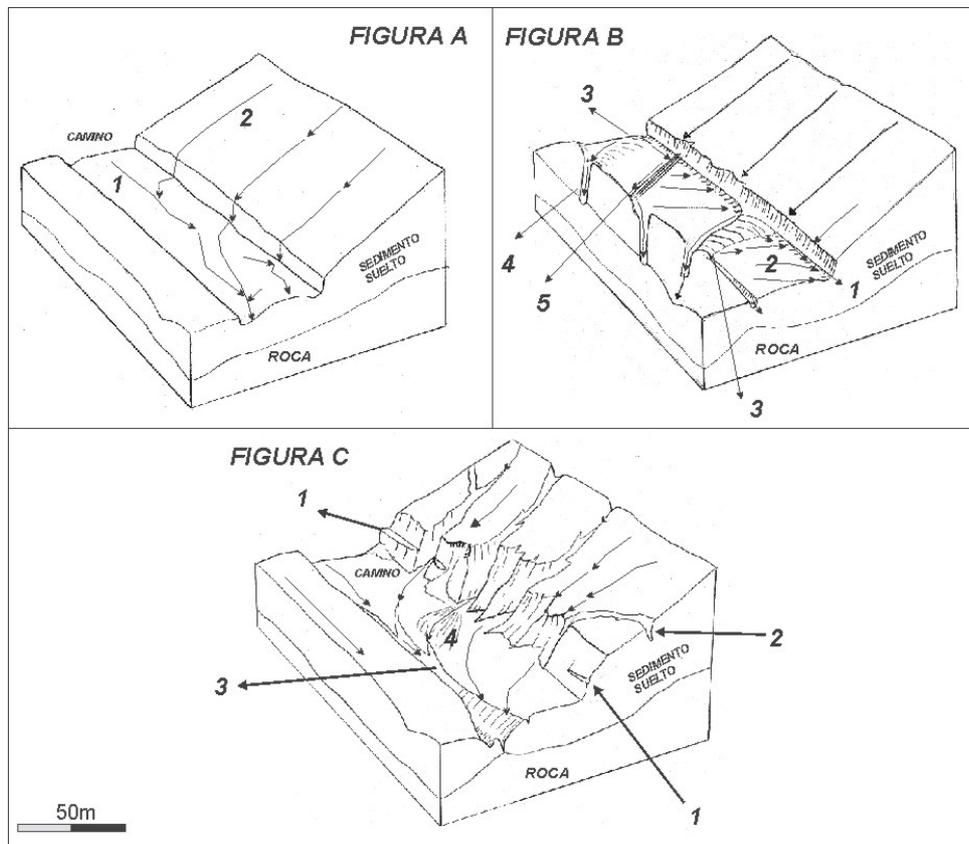
| Medida                | SELECCIONAR ZONAS FAVORABLES PARA UBICAR VIVIENDAS o RELLENOS SANITARIOS   |  |
|-----------------------|--|--|
| Nº 1                  |  |  |
| Carácter              | Muy alta   |  |
| Carácter:             | Preventivo   |  |
| Efectividad esperada: | Alta   |  |
| Costo estimado:       | Muy Bajo   |  |
| Efecto a proteger:    | Recursos naturales   |  |
| Descripción:          | <p>La ubicación de barrios de viviendas o de rellenos sanitarios (RS) deben reunir una serie de criterios ambientales con el fin de proteger los recursos naturales y reducir la amenaza geológica a la población. Para cumplir con dicho objetivo en el capítulo 12 se describen las pautas para seleccionar zonas aptas para estos emprendimientos.</p> <p>A modo de resumen, se sugiere que ambos emprendimientos cumplan con los siguientes criterios ambientales:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Evitar instalar los emprendimientos en: <ol style="list-style-type: none"> <li>a) Terrenos inundables o deprimidos que se señalan en el capítulo 11 y en los mapas correspondientes.</li> <li>b) Zonas por debajo de la cota 86 m (cota de embalse Yacyretá).</li> <li>c) Zonas con pendientes fuertes que se indican en la Base Topográfica.</li> <li>d) Zonas cercanas a sitios con patrimonio histórico (Casa de Horacio Quiroga).</li> <li>e) Zonas con bosques naturales poco alterados que se indican en el Mapa de Usos Actuales del Suelo.</li> <li>f) Zonas con afloramientos del Acuífero Guaraní (Formación Solari) que se señalan en el mapa geológico.</li> </ol> </li> <li>2) El RS no debe estar ubicado cuenca arriba de la localidad de San Ignacio.</li> <li>3) El RS debe poseer obras de ingeniería que tiendan a aislar los residuos del ecosistema. Para ello se sugiere que el RS presente en su diseño una base impermeabilizada con arcillas compactadas, respiraderos de gases generados en el propio RS, cañerías que colecten los lixiviados, planta de tratamiento de lixiviados y dimensiones que permitan una operación satisfactoria. Además se sugiere practicar el enterramiento continuo de la basura con capas de tierra, colocar alambrado industrial perimetral y cartelería preventiva.</li> <li>4) Los barrios no deben ser ubicados en zonas destinadas para un eventual relleno sanitario o parque industrial.</li> </ol> |  |
|                       |  |  |

| RECOMENDACIÓN  |  |
|--|--|
| <b>REALIZAR UN BUEN MANEJO DE AGUA POTABLE DE LA RED PUBLICA</b> |  |
| <b>Nº 2</b>  |  |
| Prioridad:   | Muy alta   |
| Carácter:  | Corretivo-Preventivo   |
| Efectividad esperada:  | Alta   |
| Costo estimado:  | Alto   |
| Efecto a proteger  | Salud de la población, recurso hídrico, ecosistemas acuáticos  |
| Descripción:   | <p>El agua es el recurso más importante junto con el suelo. El agua es necesaria para la vida humana y el desenvolvimiento del ecosistema. Toda la población de San Ignacio se abastece de agua subterránea, ya sea desde los pozos particulares como de los pozos antiguos de la Cooperativa.</p> <p>Para continuar y seguir mejorando la protección de este recurso se sugiere aplicar las siguientes medidas:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Aumentar la producción de agua mediante la perforación de nuevos pozos en zonas que se ubiquen a más de 200 m de otras captaciones y en zonas sin contaminación. Por ello se aconseja colocar eventuales nuevas perforaciones lejanas a letrinas, cementerios, pozos ciegos, y emprendimientos de té, yerba mate o forestales. Sugerencias generales con respecto a este ítem se describen al final del capítulo.</li> <li>2) Los nuevos perforaciones deben ser correctamente construidas, deben poseer filtros, prefiltros y tapones entre el acuífero superficial y el profundo. Sugerencias generales con respecto a este ítem se describen al final del capítulo.</li> <li>3) Continuar realizando la limpieza de tanques de abastecimiento en forma anual o cada dos años.</li> <li>4) Adecuar correctamente una planta de dosificación de cloro. Los habitantes que consumen agua y que están ubicados en la primera entrega de agua de la red, muchas veces observan colores blanquecinos de cloro en el agua.</li> <li>5) Presentar una carpeta con datos químicos y bacteriológicos actualizados en puntos de toma de agua. Estos puntos de toma deben corresponder a las canillas públicas, centros de salud, escuelas rurales y urbanas y puntos importantes de la red.</li> <li>6) Hacer registros mensuales de los niveles estáticos y dinámicos de los pozos de agua de la cooperativa.</li> </ol> |

| MEDIDA<br>Nº 3        |  | REALIZAR UN BUEN MANEJO DE AGUA POTABLE EN LA ZONA RURAL Y PERIURBANA |
|-----------------------|--|---|
| Prioridad:            | Muy alto   |   |
| Carácter:             | Preventivo-correctivo  |   |
| Efectividad esperada: | Media  |   |
| Costo estimado:       | Bajo   |   |
| Efecto a proteger:    | Salud de la población, recurso hídrico   |   |
| Descripción:          | <p>En la zona rural y sub-urbana la población se suministra de agua por medio de aljibes y pozos cavados. Los mismos pueden ser fuentes de contaminación debido a que están en mal estado o no están bien protegidos. Con el objetivo de mejorar la calidad de vida de las familias que se nutren de este vital recurso se sugiere:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Ubicar pozos cavados lo más lejos posible de pozos ciegos, letrinas y aguas servidas. Las mismas no deben drenar hacia el pozo cavado.</li> <li>2) Efectuar por parte del Municipio exámenes bacteriológico de las aguas en forma anual en la población y en las escuelas rurales.</li> <li>3) Realizar un censo sobre el estado de los pozos cavados, ya que muchos de ellos tienen baldes sucios o tienen los revestimientos en mal estado o no presentan tapas o muros perimetrales para evitar la caída de restos vegetales o roedores al mismo. Sugerencias más detalladas sobre la construcción de pozos cavados y manantiales se sugiere ver recomendaciones generales al final del capítulo.</li> <li>4) Aconsejar que las escuelas rurales cuenten con abastecimiento de agua de perforaciones y eviten tomar agua de arroyos o pozos cavados.</li> </ol> |   |

| MEDIDA<br>Nº 4        |   | REALIZAR UN BUEN MANEJO AMBIENTAL DE LOS EFLUENTES CLOACALES Y AGUAS SERVIDAS |
|-----------------------|---|---|
| Prioridad:            | Alta  |   |
| Carácter:             | Correctivo-preventivo   |   |
| Efectividad esperada: | Alta  |   |
| Costo estimado:       | Muy Alto  |   |
| Efecto a proteger:    | Agua superficial y subterránea, salud de la población   |   |
| Descripción:          | <p>La localidad de San Ignacio no cuenta con colectora cloacal ni con planta de tratamiento de las aguas servidas. Incluso, gran parte de la población suburbana posee letrinas en mal estado de higiene y que no presentan cámaras sépticas.</p> <p>Por ello se aconseja realizar un mejor manejo de este tipo de efluentes de la siguiente forma:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Se recomienda construir una red cloacal colectora para las viviendas que finalicen en plantas de tratamiento. Esta red puede ser hecha en forma local abarcando zonas parciales de la localidad.</li> <li>2) Se sugiere que la zona hotelera y de comedores de las Ruinas Jesuíticas traten los efluentes en una planta con suficiente capacidad de tratamiento. Dicha capacidad debe ser calculada en base la afluencia pico de turistas.</li> <li>3) Se aconseja que en la zona suburbana y rural los pozos ciegos o letrinas se ubiquen lo más alejados a los pozos de agua. Por otra parte, sería conveniente que las aguas servidas no se vuelquen directamente en el terreno, sino que se construyan pozos filtrantes con cámaras sépticas enterradas.</li> </ol> |   |

|                              |   |   |
|------------------------------|---|---|
| <b>Medida</b>                |   | <b>PROTEGER LOS CAMINOS RURALES DE LA EROSIÓN HÍDRICA</b> |
| <b>Nº 5</b>                  |   |   |
| <b>Prioridad:</b>            |   | Media   |
| <b>Carácter:</b>             |   | Informativo   |
| <b>Efectividad esperada:</b> |   | Alta  |
| <b>Costo estimado:</b>       |   | Bajo  |
| <b>Efecto a mitigar:</b>     |   | Erosión de suelos y costos de mantenimiento de caminos    |
| <b>Descripción:</b>          | <p>La erosión hídrica es el principal proceso de degradación de los suelos, la que proviene en forma inmediata luego del desmonte. La apertura de caminos rurales provoca un impacto en el drenaje y en los procesos de erosión. Con el objetivo de mitigar la erosión en los mismos se sugiere:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Evitar el sobreexcavamiento del terreno en el camino rural (figura 70 A, punto 1).</li> <li>2) Evitar que el camino capture líneas de drenaje del terreno aledaño y que el agua se encauce por el camino. Para ello se pueden construir sangrías que dispersen el flujo de agua o caminos con peraltes que drenen el escurrimiento hacia las cunetas laterales (figura 70 B, punto 4).</li> <li>3) Se debe evitar que el drenaje del camino escurra por los taludes de relleno debido a que éstos tienen suelos inconsolidados (figura 70 C, punto 2).</li> <li>4) Se pueden colocar bordos o lomos de burro a lo largo del camino, en forma conjunta con sangrías, con el fin de evitar que el escurrimiento se acumule a lo largo de un camino en pendiente (figura 70 C, punto 3).</li> </ol> |   |



**Figura 70.** A: Camino sin medidas de protección, 1: camino sobreexcavado en el terreno, 2: Flujo de agua del terreno capturado por el camino. B: Camino con obras de protección, 1: Cuneta, 2: Peralte, 3: Lomo de burro, 4: Sangrías o dispersores de flujo, 5: Canaletas. C: Caminos erosionados sin obras de protección, 1: Remanentes antiguos del piso del camino, 2: Carcavamiento en talud de corte, 3: Carcavamiento en camino.

| MEDIDA                                       |  |
|--|--|
| <b>PROTEGER EL SUELO Y EL BOSQUE NATURAL</b> |  |
| <b>Nº 6</b>                                  |  |
| Prioridad:                                   | Muy alta   |
| Carácter:                                    | Correctivo-Preventivo-mitigador  |
| Efectividad esperada:                        | Alta   |
| Costo estimado:                              | Bajo   |
| Efecto protector:                            | Ecosistemas, fauna, vegetación, suelo, procesos erosivos, turismo  |
| Descripción:                                 | <p>Durante las últimas décadas, el área desmontada en la zona de estudio presentó un aumento significativo. El desmonte provoca el impacto en los ecosistemas, en los corredores biológicos, en los procesos de erosión hídrica y en el suelo. La destrucción del bosque ocasiona aumento en la escorrentía y en la erosionabilidad del suelo en las pendientes. La eliminación del horizonte orgánico del suelo junto con la pérdida del efecto protector del bosque son los dos impactos más importantes que origina el desmonte. En el capítulo 12 se indicaron los sectores con remanentes de bosque natural que conviene proteger o efectuar desmontes selectivos. Otras medidas que se sugieren para preservar el ecosistema y los suelos son:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1- No desmontar zonas improductivas como ser riberas de arroyos, zonas inundables y pendientes fuertes (&gt;10°).</li> <li>2- Realizar obras de protección de los suelos en lotes con producción agrícola que se ubiquen en pendientes mayores a los 2°.</li> <li>3- Evitar que los campos y el terreno queden desprotegido durante las lluvias intensas de verano.</li> <li>4- Establecer planes de manejo o actividades de bajo impacto en la zona de pastizales cercana a la Casa de Horacio Quiroga por los endemismos botánicos que alberga. En este ambiente crece <i>Allagoptera campestre</i> (palmera enana) protegida por un Decreto Provincial.</li> <li>5- Promover estudios científicos sobre la dinámica de los humedales presentes en el área.</li> </ol> |

| MEDIDA  |   |
|---|---|
| <b>MEJORAR EL MANEJO DE LOS RECURSOS TURÍSTICOS</b> |   |
| <b>Nº 7</b>   |   |
| Prioridad:  | Muy alta  |
| Carácter:   | Preventivo-correctivo   |
| Efectividad esperada:                               | Alta  |
| Costo estimado:                                     | Bajo  |
| Efecto a proteger:                                  | Suelo, vegetación y ecosistema  |
| Descripción:  | <p>El potencial del recurso turístico de la orilla del río Paraná y en la Reserva Provincial Teyú Cuaré puede constituir una fuente de ingresos importante para el Municipio. Con el fin de mejorar el manejo de este potencial recurso se sugiere:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Adecuar los caminos que conducen a la reserva ecológica de Teyú Cuaré y a los sitios turísticos de Estancia Osonunu, Puerto Viejo y Club de Río. Si estos caminos se ponen en mal estado, disminuye la posibilidad de turismo.</li> <li>2) Colocar más carteles de orientación al turista en los caminos de acceso.</li> <li>3) Aumentar el nivel de información sobre los sitios turísticos no tradicionales en la garita de información turística a la entrada de la ruta 14.</li> <li>4) Mantener toda la cartelería referente al cuidado del medio ambiente y relacionado con la información turística.</li> <li>5) Eventuales aperturas de picadas o senderos en el Parque Provincial Teyú Cuaré deben estar evaluadas y aprobadas por el Ministerio de Ecología.</li> <li>6) Estimular la realización de proyectos educativos que promuevan el conocimiento sobre el entorno natural, histórico y cultural de San Ignacio como una herramienta para la conservación del patrimonio natural y cultural de la región.</li> <li>7) Establecer una buena metodología de poda de la arboleda urbana y el efecto visual-turístico. Se han encontrado casos en lo que la poda urbana afecta a especies que no la necesitan.</li> </ol> |

| RECOMENDACIÓN  |   |
|--|---|
| <b>REALIZAR UN CORRECTO MANEJO DE LOS RECURSOS MINEROS</b> |   |
| <b>Nº 8</b>  |   |
| Prioridad:   | Alta  |
| Carácter:  | Correctivo-preventivo.  |
| Efectividad esperada:                                      | Alta  |
| Costo estimado:  | Muy Alto  |
| Efecto a proteger:   | Suelo y vegetación  |
| Descripción:   | <p>San Ignacio posee potenciales fuentes mineras de rocas de aplicación como ser: piedra partida para adoquinado de calles, piedra laja para revestimientos, arenas, arcillas o gredas y escaso canto rodado. Las sugerencias que se realizan con respecto a este recurso son:</p> <p>1) Todo el manejo de los recursos mineros, como ser canteras, debe estar aprobado por la Dirección de Minería provincial según los requerimientos de las leyes nacionales y provinciales.</p> <p>2) Las canteras abandonadas o no declaradas deben ser correctamente restauradas con el fin de prevenir accidentes a la población y que no sean focos de contaminación. Se sugiere perfilar los taludes verticales y rellenar o mantener drenados los hoyos de explotación.</p> |

## RECOMENDACIONES GENERALES

### *SUGERENCIAS PARA LA ACCIÓN SOCIAL*

- Para todo plan económico, social o de servicios se recomienda tener en consideración la diversidad de necesidades de los sectores sociales según (1) su distribución (en términos de proporción porcentual) en la trama urbana.
- Estimular un aprovechamiento más completo del suelo en el área urbana considerando la escasa densidad de construcción en amplias zonas de la misma.
- Implementar programas de educación y/o difusión, en los que se promueva un mejor conocimiento del patrimonio natural y la importancia de su protección y utilización sostenible.
- Preservar el área circundante a las Ruinas Jesuíticas imponiendo restricciones y condicionamientos a la instalación de comercios y la construcción edilicia.
- Regular el ingreso a las Ruinas, por ejemplo imponiendo un límite de visitantes por hora.

En términos ambientales sería de gran importancia para la salud de la población:

- Modificar el sistema de provisión de agua a fin de hacerlo eficiente y lograr la provisión de agua potable para toda la comunidad.

- Instalar un sistema integral de eliminación de excretas.
- Implementar un sistema eficiente de recolección de residuos que cubra periódicamente la totalidad de la localidad de San Ignacio, incluidos los nuevos barrios y áreas periféricas.
- Crear planes de prevención para las distintas afecciones, incluyendo mayor cobertura médica de la población, acciones educativas y/o de difusión de información y medidas de saneamiento ambiental.

### *SUGERENCIAS PARA UBICAR NUEVOS POZOS DE AGUA*

Las zonas a elegir para futuras captaciones de aguas deben seguir una serie de requerimientos ambientales específicos que pueden ser relevados fácilmente en el terreno. A continuación se detallan, a modo de sugerencia, tres criterios se deben seleccionar junto con su fundamento:

- No ubicar nuevos pozos de agua aguas abajo de fuentes existentes o potenciales de contaminación. Si no se conoce la dirección de escurrimiento subterráneo, en una primera aproximación, se puede considerar equivalente a pendiente abajo. Tanto para el caso de perforaciones, pozos cavados o vertientes, la dirección natural de escurrimiento del flujo subterráneo arrastrará los contaminantes hacia la zona de la captación.
- No ubicar pozos de agua cercanos a fuentes existentes o probables de contaminación. Las perfora-

ciones o pozos profundos y los pozos cavados provocan una alteración de las direcciones de escurrimiento naturales del flujo subterráneo generando un cono de depresión con ápice en la captación y direcciones de flujo concéntricas, como resultado de la extracción de agua. Los pozos cavados no son planificados para la extracción de grandes caudales, ni atraviesan la totalidad del espesor del acuífero, y por lo tanto no suelen generar conos de depresión importantes.

En el caso de explotaciones más intensivas, perforaciones ubicadas aguas arriba de fuentes de contaminación (aparentemente zonas seguras), pueden captar aguas contaminadas si este cono de depresión se extiende hasta los focos contaminantes. Lo mismo ocurre si las perforaciones están ubicadas cerca de cuerpos o cursos de agua superficiales efluentes (reciben agua subterránea), que en principio no presentaban ningún riesgo. Si el cono de depresión provoca una inversión en la relación agua superficial - agua subterránea, se originará un ingreso de aguas superficiales que podrían estar contaminadas.

- No ubicar pozos cercanos de otras captaciones, propias o ajenas. Si en un acuífero se establecen varias captaciones de agua, éstas se influyen unas a otras ya que el descenso del nivel de agua en cualquier punto del acuífero explotado es la suma de los descensos provocados en este punto por cada una de las perforaciones consideradas individualmente (fenómeno de interferencia de pozos). Si los pozos están situados muy cerca, como en el caso de los pozos de la Cooperativa de Agua de San Ignacio, este fenómeno incrementa las modificaciones en las direcciones del flujo subterráneo y puede generar costos excesivos en el funcionamiento de las perforaciones (costos de bombeo).

Una vez seleccionada la ubicación de la obra de captación, es primordial definir su perímetro de protección (figura 71) y el posterior control de su cumplimiento, para lo cual es esencial contar con la colaboración de las autoridades municipales. Si bien las limitaciones, zonificación y criterios adoptados para el caso de perforaciones planificadas para el abastecimiento de poblaciones varían de un país a otro (Matthess et al., 1985; EPA, 1987; Lallemand-Barrés y Roux, 1989; Martínez Navarrete et al., 1991; EPA, 1991), hay un denominador común que se puede resumir en la delimitación de las siguientes áreas con distintas restricciones de uso (Custodio, 1994; Foster et al., 2002; Espinoza et al., 2004):

- **Zona inmediata:** comprende un área de por lo menos 20 m de radio alrededor de la fuente de abastecimiento. Sin embargo, se deberían llevar a cabo inspecciones detalladas de la condición sanitaria en un área mayor, de radio de 200 m o más. Es recomendable que sea propiedad de la persona o ente responsable de la explotación y que se encuentre cercada y controlada. En esta zona sólo se deben permitir actividades relacionadas con la extracción. Se excluye cualquier actividad, almacenamiento, manipulación o aplicación peligrosa. Aquellas áreas utilizadas para actividades de mantenimiento del pozo deben tener un piso de cemento para prevenir la infiltración de aceites o productos químicos usados para el mantenimiento de la bomba.
- **Zona próxima:** principalmente para la protección bacteriológica. El límite externo se suele fijar para un tiempo de tránsito del agua, desde la superficie del terreno hasta la captación, superior a un cierto valor, que suele variar entre 50 y 100 días. Dependiendo del terreno, el espesor de la zona no saturada, el caudal de captación y el tipo de acuífero pueden traducirse en distancias de 50 a 300 metros. Este perímetro de protección es tal vez el más importante en términos de significación para la salud pública. Se toleran sólo actividades no contaminantes y en general un paso restringido de vehículos y personas. Puede ser difícil de aplicar en perforaciones existentes, pero puede ser reemplazada mediante un estricto control y concientización de la población para evitar, por ejemplo, la formación de microbasurales.
- **Zona lejana:** en general incluye el área en que toda la recarga del acuífero (proveniente de precipitación y/o cursos de agua superficiales) será captada por la obra de captación. Se extiende hasta límites naturales (divisorias de aguas) o límites lo suficientemente alejados como para conseguir tiempos de tránsito de al menos alguna decena de años. Su extensión y forma puede ser muy variable pero es corriente que alcance desde varios centenares de metros hasta más de 1 kilómetro. Existen restricciones de uso de territorio en cuanto a ocupación industrial o urbana o a determinadas prácticas agrícolas (como cultivos intensivos con uso elevado de fertilizantes y pesticidas) y a la existencia de vías de comunicación donde pueda existir un riesgo potencial de derrames accidentales.

Para la determinación de las zonas próxima y lejana se requerirá del conocimiento de las caracte-

rísticas hidrogeológicas del lugar (incluyendo redes de flujo y el valor de parámetros hidráulicos como, por ejemplo, permeabilidad), a diferencia de la zona inmediata que se define en forma arbitraria.

Es importante que se considere el perímetro de protección al elegir la ubicación de la perforación ya que resulta muy difícil, y es de gran impacto social, relocalizar algún emprendimiento económico existente (Paris *et al.*, 1999). El establecimiento de perímetros de protección de captaciones supone una importante intervención en la ordenación territorial (Custodio, 1994) y por lo tanto, de las autoridades municipales.

### SUGERENCIAS RESPECTO AL DISEÑO DE POZOS DE PERFORACIÓN PARA CAPTACIÓN DE AGUA

Las perforaciones son las principales obras de captación utilizadas en San Ignacio para abastecer al casco urbano y a los barrios cercanos. Por esta razón, se tratan en detalle las distintas características de las mismas.

El diseño de una perforación incluye, entre otros pasos (Custodio y Llamas, 1996; Gariboglio y Smith, 1993):

- Determinación del diámetro y de la profundidad para una mejor producción (de acuerdo al caudal que se espera extraer).
- Ubicación de los filtros (de acuerdo a la ubicación del acuífero a explotar).
- Elección de los materiales (entubado y rejillas).
- Protección sanitaria adecuada.
- Selección del procedimiento de desarrollo del pozo.
- Desinfección.

La profundidad y diámetro de la perforación y la ubicación de los filtros son de especial importancia

para evitar problemas de bajos rendimientos. La profundidad vendrá definida por las características de la formación a explotar. Para ello, la información sobre otros pozos realizados, estudios geológicos o geofísicos, puede servir para prever la profundidad que será necesaria alcanzar.

Es recomendable efectuar un sondeo mecánico de exploración que permita muestrear los sedimentos atravesados y ubicar y ensayar las capas acuíferas hasta lograr un caudal apropiado para la demanda de consumo. Si el resultado es favorable se puede reperfilar el sondeo hasta lograr un diámetro que permita la instalación de la cañería de entubación y el filtro.

Con respecto a los materiales utilizados en el entubado, debe evitarse el empleo de tuberías de distintos metales, sean roscados o soldados, pues en tales casos se favorecen los fenómenos de corrosión. Para la correcta ejecución de un entubado, ha de preverse su correspondiente cementación, fundamentalmente la que tiene por objeto unir la tubería de revestimiento con la pared del pozo. Con ello se consigue evitar que las aguas superficiales puedan contaminar las profundas, evitar conexiones entre acuíferos y aumentar la resistencia del entubado, tanto mecánica como frente a la corrosión (Custodio y Llamas, 1996).

A fin de evitar la entrada de aguas exteriores, también se debe practicar una adecuada protección sanitaria. La tubería de revestimiento, o caño camisa, debe por lo menos sobresalir 50 cm por encima de la superficie del terreno. Alrededor de la tubería, sobre el terreno, se debe disponer una placa de cemento con espesor de 15 cm en el centro y de 10 cm en el borde para que su cara superior tenga pendiente hacia la periferia en todas las direcciones. Siempre se debe dejar un orificio o tubo de acceso para poder medir el nivel de agua, que deberá estar cerrado cuando no se lo utilice.

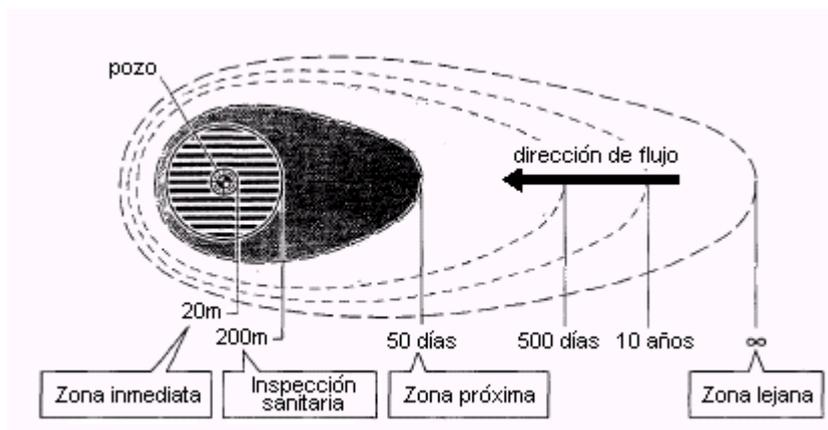


Figura 71. Perímetros de protección. Modificado levemente de Foster et al. (2002).

Con respecto al desarrollo del pozo, en terrenos incoherentes, el mismo tiene por objeto eliminar las fracciones más finas del material acuífero en las intermediaciones de la rejilla; con ello se estabiliza la formación y se alcanza una granulometría más gruesa y uniforme en dicha zona. De este modo se obtiene una mayor capacidad específica en el pozo y se favorece la vida útil del mismo. En pozos en rocas coherentes, el desarrollo busca limpiar las fisuras de la formación o incluso aumentarlas en número y tamaño.

Es importante que durante la construcción del pozo esté presente un profesional capacitado para realizar una buena descripción del perfil litológico-estratigráfico, que es de vital importancia para aumentar el conocimiento sobre el sistema explotado.

Los pozos deben estar provistos de caudalímetro, un tubo de acceso para la medición de niveles y/o adición de desinfectantes y un grifo para la toma de muestras de agua. Estos accesorios facilitan el control de producción y las tareas de mantenimiento.

En la figura 72 se presenta un esquema de un pozo detallando sus distintas partes. Al explotar un acuífero semiconfinado, el caño camisa (y su respectiva cementación) generalmente se extiende hasta el acuitardo que actúa como techo del acuífero profundo. Sin embargo, en San Ignacio el techo estaría representado por el nivel de basalto. El basalto puede presentar una fracturación importante y por ende una mayor permeabilidad (por fisuras) que puede generar el ingreso de aguas con menor grado de depuración natural (ver Vulnerabilidad). Por lo tanto, los sondeos exploratorios permitirán evaluar las características del nivel de basalto y la necesidad o no de profundizar la ubicación del caño camisa hasta alcanzar el acuífero a explotar.

El prefiltro de grava es un procedimiento que consiste en colocar grava seleccionada entre la parte de afuera del filtro y la pared del acuífero. Se utiliza, entre otros casos, cuando es necesario estabilizar acuíferos constituidos por arenas finas y uniformes y evitar el bombeo de arena y cuando los materiales del acuífero son areniscas pobremente cementadas. Ambas situaciones pueden ocurrir en San Ignacio.

Una vez terminada la construcción del pozo y la instalación de sus accesorios es esencial proceder a su completa desinfección. Los accesorios del pozo, el sistema de bombeo, los depósitos de agua y las tuberías también necesitan una esterilización cuidadosa, no sólo después de su instalación, sino también después de cualquier operación de reparación.

Desde el momento de la planificación inicial de cada pozo de abastecimiento hasta el abandono del

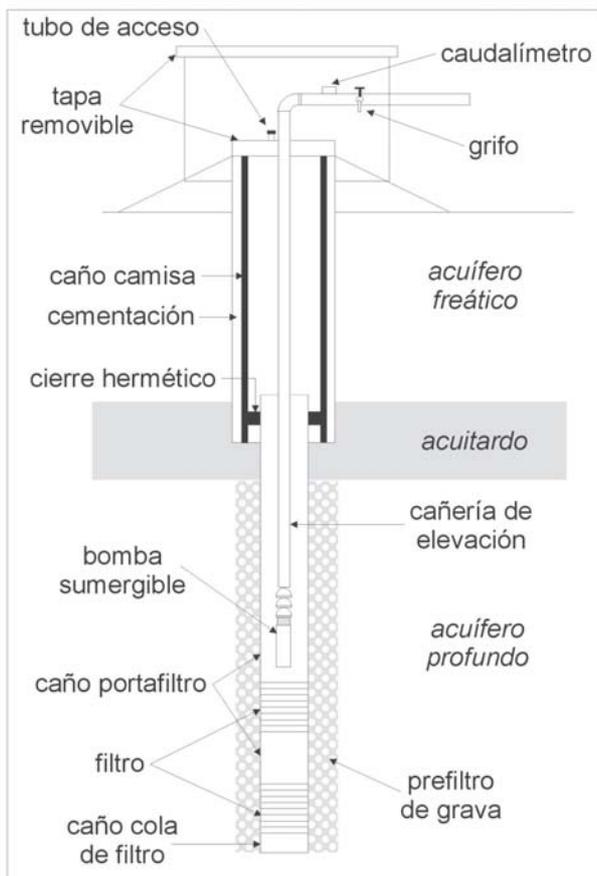
mismo, se deben generar y conservar cuidadosamente los siguientes registros (Heath, 1983):

- Diseño inicial: comprende planos, especificaciones escritas sobre diámetro, profundidad total propuesta, ubicación de los filtros o secciones sin entubar, método de construcción y materiales de construcción.
- Registro de construcción: incluye el método de construcción, el perfil litológico-estratigráfico de los materiales atravesados durante la construcción, el diámetro del entubamiento y filtros, el tamaño de ranura y composición metálica de los filtros, la profundidad total del pozo y el peso del entubamiento. También se deben conservar los registros y perfiles de todos los pozos de exploración, incluyendo aquellos que no fueron exitosos debido a bajos rendimientos.
- Ensayos de bombeo: incluye una copia de las mediciones del nivel de agua realizadas antes, durante y después del ensayo de bombeo, un registro del régimen de bombeo, copias de cualquier gráfico de los datos y una copia del informe con la interpretación de los resultados de los ensayos (cálculo de los parámetros del acuífero).
- Datos de la bomba y su instalación: incluye el tipo de bomba, la potencia del motor, la profundidad de la toma de agua, una copia del manual de la bomba con los datos de eficiencia y rendimiento y una descripción de las facilidades disponibles para efectuar mediciones del nivel de agua, incluyendo una descripción del punto de referencia para la medición.
- Registro de operación: incluye datos sobre el tipo de medidor utilizado para medir el caudal de extracción, lecturas semanales del medidor, mediciones semanales (como mínimo, mensuales) del nivel estático y dinámico (o de bombeo) del agua y análisis periódicos de la calidad del agua.
- Registro de mantenimiento del pozo: incluye los días y las actividades ejecutadas para incrementar el rendimiento del pozo o para mejorar la calidad del agua y los resultados obtenidos.
- Registro de abandono de pozo: incluye la fecha en que se dejó de usar el pozo y su causa y una descripción de los métodos y materiales que se emplearon para sellar o tapar el pozo.

Todos estos registros permiten identificar y corregir en forma económica problemas de disminución de rendimiento o deterioro de la calidad del agua, e incorporar la experiencia operativa pasada al diseño de nuevos pozos. Además, contribuyen a mejorar el conocimiento del sistema explotado. Los registros indicados deberán estar disponibles para los usua-

rios y público en general. Para ello se recomienda elaborar y mantener una base de datos electrónica para facilitar la búsqueda de los datos registrados.

En la figura 73 se presenta una planilla tipo que se puede utilizar como base para los registros de operación, tomada de Lafleur (1980). El uso de planillas de registro de operación reflejará la modalidad de explotación que se sigue en la fuente de abastecimiento y las mismas se pueden diseñar de tal forma que contengan los elementos que permitan determinar el costo de bombeo. La revisión y el estudio periódico de la planilla podrán también revelar deficiencias que vayan notándose en los equipos o instalaciones. La misma, tal cual expresó el autor en la publicación citada, constituye sólo un intento sin pretensiones normativas, ya que pueden agregarse otros registros o modificarse de acuerdo a las conveniencias del usuario. Es de gran ventaja que dichas planillas estén acompañadas por un mapa con la ubicación de todos los pozos pertenecientes a la batería.



**Figura 72.** Esquema de un pozo con sus partes y accesorios, sin detallar lo relativo al equipo de bombeo en sí. Alrededor de la tubería se dispone una placa de cemento con pendiente hacia la periferia en todas las direcciones. El diseño de la cubierta del pozo debe tener en cuenta las necesidades de los trabajos de mantenimiento.

### SUGERENCIAS SOBRE LA CONSTRUCCIÓN Y DISEÑO DE POZOS CAVADOS

Un método de construcción de pozos cavados consiste en excavar, con máquina o manualmente, un pozo de entre 1,5 a 3 m de diámetro hasta una profundidad de aproximadamente 1 m y comenzar con la instalación del revestimiento, que evitará el desmoronamiento de la pared. Como revestimiento se puede utilizar anillos prefabricados de hormigón armado. Se coloca el primer anillo, luego se excava por dentro y esto provoca su descenso por efecto del propio peso. Por encima del primer anillo se instala el segundo y así sucesivamente hasta lograr la profundidad deseada. Los primeros anillos a instalar serán los cribados, a través de los cuales ingresará el agua al pozo. Un diámetro aconsejable para los anillos de cemento puede ser 2 metros. La altura y el espesor queda a criterio del fabricante, quien debe contemplar su maniobrabilidad y garantizar su resistencia.

Para la construcción manual, el pozo debe estar sin agua, debiéndose emplear para ello una bomba de achique.

El fondo del pozo en materiales no consolidados, como los que se encuentran en algunas zonas de San Ignacio, merece especial consideración, puesto que al extraer el agua se pueden producir sifonamientos hacia el interior del pozo de los materiales del acuífero puestos en movimiento por el flujo de agua. El problema no existe si el pozo queda empotrado en materiales coherentes o impermeables. Por lo tanto, la profundidad final del pozo la determinará la presencia de un hidroapoyo representado por algún sedimento impermeable (como un nivel arcilloso) o un sustrato rocoso. Si no es así, se debe penetrar unos 3 ó 4 m en el nivel saturado (de acuerdo al caudal de extracción deseado) y será necesario impermeabilizar el fondo del pozo con una losa de hormigón, que fragüe en medio saturado, lo suficientemente resistente como para que no pueda ser levantada ni rota por la fuerza ascensional del agua (sifonamiento).

La parte superior de la obra debe estar protegida con un brocal que puede ser construido con pared de ladrillos o similar y que debe poseer tapa para evitar el ingreso accidental de animales o materiales contaminantes desde la superficie que puedan afectar la calidad del agua captada y del acuífero en general. Se debe recordar que los pozos de abastecimiento de agua constituyen una vía directa hasta el acuífero que, de este modo, se encuentra desprovisto de cualquier tipo de protección frente al ingreso de contaminantes. Además, los acuíferos freáticos

recargan los acuíferos profundos, utilizados para el abastecimiento a poblaciones, los que se verán afectados si el acuífero freático está contaminado. Por esta razón, también es de gran importancia colocar una junta o sello de arcilla u hormigón entre el revestimiento y el terreno, desde el nivel del suelo hasta una profundidad suficiente, a fin de asegurar la estanquidad y evitar la infiltración de aguas superficiales que puedan estar contaminadas. Si la extracción de agua se realiza a través de una cadena/soga/cuerda y balde, en vez de con una bomba, se debe prestar especial atención a las condiciones sanitarias de los mismos para que no actúen como agentes de contaminación y se debe tener la precaución de volver a tapar el pozo después de terminada la operación.

Si el acuífero a captar posee sedimentos sueltos de grano fino, se puede evitar o reducir el ingreso de este material al pozo mediante la colocación de un anillo interior también perforado hincado en el fondo y recubierto externamente con una malla metálica adecuada a las características del sedimento. Este anillo debe poseer menor diámetro e igual altura que el anillo cribado. El espacio anular deberá rellenarse con grava gruesa seleccionada, para contribuir a la resistencia y poder filtrante de la obra.

### *SUGERENCIAS PARA LA CAPTACIÓN EN MANANTIALES*

En la zona de San Ignacio se han observado algunas vertientes (manifestaciones superficiales del agua subterránea) en los contactos de areniscas y basaltos, especialmente en la zona de Teyú Cuaré. Estas vertientes no poseen caudales importantes, pero pueden ser suficientes para abastecer a pobladores aislados.

Un método de captación consiste en efectuar una excavación en el lugar del afloramiento, de por ejemplo 1 m de profundidad, a partir del nivel estático (profundidad del agua) del lugar. Esta pared se reviste con un sistema de piedras con juntas abiertas, o ladrillos siguiendo el diseño de nido de abeja, para permitir el alumbramiento de agua. Las otras paredes y el fondo de la cámara de contención se construyen con materiales que garanticen que no se producirán pérdidas del agua almacenada. Al igual que los pozos cavados, debe estar protegida con un brocal y poseer una tapa y un sello entre el revestimiento y el terreno para evitar el ingreso de contaminantes desde la superficie que puedan deteriorar la calidad del agua captada.

Sería recomendable que aquellos manantiales que presentan caudales mayores estén aforados para

conocer los caudales de descarga del agua subterránea y así contribuir a investigaciones futuras.

### *SUGERENCIAS PARA EL REGISTRO DE LA EXPLOTACIÓN DEL AGUA*

Los acuíferos son sistemas dinámicos que sufren modificaciones, tanto naturales como debidas a la acción antrópica, a lo largo del tiempo. Por lo tanto, es de vital importancia registrar esas variaciones, especialmente en el caso de perforaciones con caudales de extracción importante, como los pozos de la Cooperativa de Agua utilizados para el abastecimiento de San Ignacio, con el fin de verificar que se está realizando un manejo adecuado del recurso, es decir, que no se está extrayendo más agua de la que se recarga (sobreexplotación) y que no están variando las características químicas de sus aguas.

Además de los registros mencionados anteriormente para las perforaciones, los principales registros que se deben generar y conservar para su consulta por el público en general, investigadores y municipios vecinos (ya que los acuíferos no conocen límites jurisdiccionales) son:

- Pozos cavados, captación de manantiales y perforaciones:
- Registros de análisis químicos y bacteriológicos
- Pozos cavados y perforaciones:
- Registros de niveles estáticos (sin bombeo)
- Registros de niveles dinámicos (con bombeo)
- Registros de caudales y tiempos de extracción
- Manantiales de cierta importancia:
- Caudal

Los registros de análisis químicos y bacteriológicos son de vital importancia para poder asegurar la buena calidad del agua para el consumo humano.

Los registros de niveles estáticos y dinámicos permiten evaluar si se está realizando una sobreexplotación del sistema. Si los niveles estáticos se mantienen con los años o bien aumentan (disminuye la profundidad del agua), entonces el caudal de extracción no excede a la recarga del acuífero explotado. Por el contrario, si los niveles disminuyen (aumenta la profundidad), el acuífero está siendo sobreexplotado y el recurso se está deteriorando. Esto demuestra la importancia de los registros. Lamentablemente, como sucede en San Ignacio, los pozos de abastecimiento generalmente están ubicados en áreas reducidas y las mediciones proporcionan datos puntuales que son de gran importancia pero no permiten evaluar el comportamiento del acuífero. Sería de gran utilidad que, ya sea la Cooperativa o la Municipalidad, efectuaran censos periódicos de los niveles es-



táticos de los pozos disponibles, tanto de aljibes como de pozos profundos, para controlar su evolución y prevenir el deterioro del acuífero. En la zona del casco urbano de San Ignacio, los aljibes indicarían el nivel estático del acuífero freático que se encuentra por encima del acuífero profundo semiconfinado, cuyo nivel estático estaría proporcionado por los pozos profundos. La relación entre estos niveles estáticos permite determinar si el acuífero freático está recargando al acuífero profundo (ver Vulnerabilidad), como sería aparentemente la situación actual, y si esa relación se mantiene o varía a lo largo del tiempo. Al no conocer en detalle el espesor y profundidad de captación de los pozos profundos, no se puede determinar con exactitud la formación explotada, pero al ir aumentando el volumen de datos disponibles se podrá definir el grado de interconexión entre el acuífero freático y el profundo explotado.

Todos los registros mencionados no se deben discontinuar, ya que sólo a través de estos registros completos se pueden evaluar las variaciones acontecidas y diferenciar aquellas naturales de aquellas producidas por el hombre. Esto es esencial ya que muchas veces, por desconocimiento de la dinámica natural del sistema, se culpa a la acción antrópica por variaciones que son de origen natural.

Por otra parte, muchos problemas (por ejemplo: corrosión e incrustación microbiológica en perfora-

ciones; Gariboglio y Smith, 1993) pueden ser detectados por la variación de los valores de los distintos parámetros y no por el valor en sí.

Además, estos registros permiten eventualmente realizar modelos de los sistemas subterráneos, posibilitando el análisis de sus variaciones, favoreciendo su adecuada explotación y facilitando la etapa de toma de decisiones en el caso de ser necesaria una ampliación de las obras de saneamiento debida al crecimiento demográfico.

En el caso específico de las perforaciones profundas planificadas para proveer agua potable a una población importante existen ciertas prácticas que se deben evitar:

- La extracción de grandes caudales en forma puntual generando conos de depresión muy profundos.
- La extracción de grandes caudales en forma continua (24 horas) sin permitir la recuperación de los niveles hidráulicos.

#### *SUGERENCIAS CON RESPECTO A LA CONSTRUCCIÓN DE CALLES*

Las calles de menor tránsito pueden ser revestidas con piedra partida de basalto. Esta roca tiene la particularidad de ser resistente y no desgranarse como la piedra laja (arenisca).

**BIBLIOGRAFÍA**

- ALBERT, J.G., 1985. Municipal waste processing in Europe: A status report on selected materials and energy recovery projects. WBTP, 37.
- ARANDA, D., 1974. Monografía de suelos de la provincia de Misiones. INTA Cerro Azul. Publicación miscelánea 2, 29 páginas.
- ARAÚJO, L.M., FRANÇA, A.B. y POTTER, P.E., 1995. Acuífero Gigante del Mercosur en Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay: Mapas hidrogeológicos de las formaciones Botucatu, Piramboia, Rosario del Sur, Buena Vista, Misiones y Tacuarembó. UFPR y Petrobras, 16 páginas. Curitiba, Paraná - Brasil.
- ARAÚJO, L.M., FRANÇA, A.B. y POTTER, P.E., 1999. Hydrogeology of the Mercosul aquifer system in the Paraná and Chaco-Paraná Basins, South America, and comparisons with the Navajo-Nugget aquifer system, USA. *Hydrogeology Journal*:7(3):317-338.
- ARDOLINO, A. y MENDÍA, J., 1989. Geología del área de San Ignacio y alrededores, provincia de Misiones. Dirección Nacional de Geología y Minería. Inédito. 19 páginas.
- BIRKELAND, P.W., 1999. Soils and geomorphology. Oxford University Press. Third edition.
- BRAUN - BLANQUET, J., 1979. Fitosociología. Bases para el estudio de las comunidades vegetales. Editorial Blume. Madrid.
- BURKART, A., 1969-1987. Flora Ilustrada de Entre Ríos (Argentina). II, V, VI. Continuada por N.S.
- CABRERA, A.L., 1963-1970. Flora de la Provincia de Buenos Aires. Colección Científica. INTA, VI. Buenos Aires.
- CABRERA, A.L., 1976. Regiones fitogeográficas argentinas. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería, 2º Edición. 85 páginas. Buenos Aires.
- C.A.R.T.A., 1963. Mapa geológico de la provincia de Misiones. Escala 1:50.000. Compañía Argentina de Relevamientos Topográficos y Aerofotográficos. Inédito.
- CASAS, R.R., LEYES, M.R., ABELARDO, S., GUANES, E.Z., LACORTE, S.M. y CAPURRO, R.A., 1988. Provincia de Misiones. El deterioro del ambiente en la Argentina. (FECIC).
- CORDINI, I.R. y RIGGI, J.C., 1959. Contribución al conocimiento sedimentológico y geoquímico del sur de Misiones y norte de Corrientes. Dirección Nacional de Geología y Minería. Informe N° 534, 72 páginas, inédito. Buenos Aires.
- COMISIÓN MIXTA ARGENTINO-PARAGUAYA, 1980. Evaluación geológica y geotécnica preliminar del emplazamiento Pindo-I. Memorandum técnico N° 7. Consorcio Lahmeyer-Harza y Asociados.
- CHALUKIAN, S.C., 1999. Cuadro de situación de las unidades de conservación de la selva Paranaense. Informe presentado a la Fundación Vida Silvestre Argentina. Buenos Aires, Argentina.
- DAWSON, L., 1961. Proceso de formación del «Itá Tacurú». Misiones. Instituto Nacional de Geología y Minería. Informe N° 470, 5 páginas, inédito. Buenos Aires.
- De OLIVEIRA, M.T.G., FORMOSO, M.L.L., TRESCASES, J.J. y MEUNIER, A., 1998. Clay mineral facies and lateritization in basalts of the southeastern Parana Basin, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 11(4):365-378.
- DEL RÍO, J.L., MASSONE, H., BÓ, J., MARTÍNEZ ARCA, J., BERNASCONI, V., BOCANEGRA, E., OSTERRIETH, M., FARENGA, M., FERRARO, R., LÓPEZ, A. y TOMÁS, M., 1993. Planificación territorial sobre criterios geoambientales en la cuenca del arroyo y laguna de Los Padres. 12º Congreso Geológico Argentino y 2º Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Acta 6:293-302. Buenos Aires.
- FAO, 1990. Manual de campo para la ordenación cuencas hidrográficas. Diseño y construcción de caminos en cuencas hidrográficas frágiles. Guía FAO Conservación 13/5. Roma. 233 páginas.
- FERNÁNDEZ GARRASINO, C.A., 1995. Provincia de Misiones. Algunas alternativas exploratorias. Parte II Boletín de Informaciones Petroleras, marzo de 1995: 60-98. Buenos Aires.
- FONTANA, J.L., 1993. Los pajonales mesófilos y higrófilos del sur de Misiones (Argentina). Composición florística, hábitat y sindinámica. *Unité D'Ecologie et biogéographie*, Louvain-La-Neuve.
- FONTANA, J.L., 1996. Los Pajonales de Teyú Cuaré (Misiones), Bases para su Conservación. Cátedra de Introducción a la Ecología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura. Corrientes - Argentina.
- FOUROUS, A., 1903. Reconocimiento geológico del Territorio de Misiones. Dirección Nacional de Geología y Minería, Anales 1(1):173-211. Buenos Aires.
- FRANÇA, A.B., ARAÚJO, L.M., MAYNARD, J.B. y POTTER, P.E., 2003. Secondary porosity formed by deep meteoric leaching: Botucatu eolianite, southern South America. *AAPG Bulletin*, 87(7):1073-1082.

- GENTILI, C. y RIMOLDI, H., 1980. Mesopotamia. Academia Nacional de Ciencias. Segundo Simposio de Geología Regional Argentina, 1:185-223. Córdoba.
- HAUSEN, J., 1919. Contribución al estudio de la petrografía del Territorio Nacional de Misiones. Dirección General de Minas, Geología e Hidrología, Boletín N° 21, serie B (Geología):1-39. Buenos Aires.
- HERBST, R., 1971. Esquema estratigráfico de la provincia de Corrientes, República Argentina. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 26(2): 221-243. Buenos Aires.
- INTA, 1990. Atlas de Suelos de la República Argentina. Castelar. Buenos Aires.
- IRIONDO, M. y KRÖHLING, D., 1997. The Tropical Loess. En: Zhisheng et al. (Eds.), Proceedings of the 30th International Geological Congress, 21: 61-77.
- LAFLEUR, 1980. Algunas consideraciones sobre costos de bombeo. Referencias Johnson para la Industria de captación de agua. Publicación de la Empresa Caños Filtros Johnson (hoy Nahuelco). 5 páginas.
- LIGIER, H.D., MATTEIO, H.R., POLO, H.L. y ROSSO, J.R., 1988. Mapa de suelos de la provincia de Misiones. Escala 1: 500.000. INTA. EEA. Corrientes. 56 páginas, 1 mapa.
- LIGIER, H.D., POLO, H.L. y MATTEIO, H.R., 1989. Erosión hídrica potencial de la provincia de Misiones. Aplicación de la ecuación Universal de pérdida de suelo. Proyecto Arg 8.5-019. PNUD. INTA Misiones-Corrientes
- MANCINI, F., SANESI, G. y LASSERRE, S.R., 1964. Informe edafológico de Misiones. Informe Geológico.
- MARENCO, H.G. y NET, L.I., 2004. Petrografía y Diagénesis de las Areniscas Mesozoicas de San Ignacio, Misiones. Significado Geológico. X Reunión Argentina de Sedimentología, Resúmenes: 101. San Luis.
- MARTÍNEZ - CROVETTO, R., 1963. Esquema fitogeográfico de la Provincia de Misiones (República Argentina). Bonplandia, 1(3):171-223. Corrientes.
- MEYER, R., 1987. Paléoaltérites et Paléosols, l'empreinte du continent dans les séries sédimentaires. Bureau de recherches géologiques et minières. Manuels et Méthodes, 13, 163 páginas. Orleans.
- MOPU, 1984. Las Evaluaciones de Impacto Ambiental. Dirección General de Medio Ambiente.. Unidades Temáticas Ambientales. Madrid.
- NORTCLIFF, S., 1992. Formación del suelo y características de los perfiles edáficos. En: Wild, A. (1992), Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Capítulo 5. Ediciones Mundi-prensa. Madrid.
- OIEA, 2001. Proyecto para la Protección Ambiental y Desarrollo Sostenible del Sistema Acuífero Guaraní. Informe del Taller organizado por el OIEA en colaboración con CDTN/CNEN en Belo Horizonte. 4-7 de diciembre 2001. Informe elaborado por Plata Bedmar, A., Bomtempo, V., MINARDI, P.S.P., CARVALHO FILHO, C.A., COTA, S., RODRIGUES, P.H., AMORE, L., BONOTTO, D., AUGE, M., PANARELLO, H., MONTAÑO, J. y FARIÑA, S. Disponible en la página oficial del proyecto: <http://www.sg-guarani.org>
- PASIG, R., 2002. Estudios hidrogeológicos en áreas marginales del Acuífero Guaraní, en el sector de la Republica del Paraguay. XXXII IAH y VI ALHSUD CONGRESS 2002. Aguas subterráneas y desarrollo humano. Mar del Plata, Argentina, 21-25 de octubre de 2002. Tópico 3. Versión en CD.
- PICCOLO, G.A., MAIZA, P.J., ROSELL, R.A. y GALANTINI, J.A., 1999. Composición mineralógica de la fracción arcilla de suelos rojos utilizados para el cultivo de la Yerba Mate. Informe Técnico 69. INTA- Cerro Azul. Misiones.
- PRAUSE, J. y ANGELONI, P., 2002. Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas - Facultad de Ciencias Agrarias - UNNE. Corrientes - Argentina.
- PRIMER COMPENDIO CUTRIENAL ESTADÍSTICO SOBRE EL SECTOR FORESTO-INDUSTRIAL DE MISIONES. 1999-2003. Gobierno de la Provincia de Misiones, Subsecretaría de Bosques y Forestación, Ministerio de Ecología y Turismo.
- RIGGI, J.C. y FELIÚ de RIGGI, N.A., 1964. Meteorización de basaltos en Misiones. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 19(1): 57-70. Buenos Aires.
- RÍOS, C.G., 1981. Una introducción a la clasificación y aptitud de los suelos de la provincia de Misiones por Municipios. Dirección General de Planificación. Secretaría de Planeamiento. Gobierno de la provincia de Misiones. 17 páginas.
- SARO (Sistema Ambiental Región Oriental), 2001. Proyecto sistema ambiental de la región oriental del Paraguay-SARO. Cooperación técnica paraguayo-alemana. Informe técnico final. 146 páginas.
- SOARES, P.C., 1981. Estratigrafia das formações jurássico-cretáceas na bacia do Paraná-Brasil. En: Cuencas Sedimentarias del Jurásico y Cre-

- tácico de América del Sur, 1:271-304. Buenos Aires.
- SPRECHMANN, P., BOSSI, J. y da SILVA, J., 1981. Cuencas del Jurásico y Cretácico del Uruguay. En: Cuencas Sedimentarias del Jurásico y Cretácico de América del Sur, 1:239-270. Buenos Aires.
- TERUGGI, M. E., 1955. Los basaltos tholeiíticos de Misiones. Universidad Nacional de La Plata, Notas del Museo de La Plata, 18 (Geología, 70): 259-278. La Plata.
- TUJCHNEIDER, O., PÉREZ, M., PARIS, M. y D'ELIA, M., 2003. Sistema acuífero Guaraní: un recurso compartido por cuatro países. III Congreso Argentino de Hidrogeología, Rosario, Septiembre de 2003. Tomo I:71-80.
- U.S.P.H.S., 1968. Bureau of soil and waste management. National soil and waste survey.
- VIVES, L., CAMPOS, H., CANDELA, L. y GUARRACINO, L., 2001. Modelación del Acuífero Guaraní. Boletín Geológico y Minero, 112:51-64 (Número especial).
-