

01X.12
5112
IV

46605

PROVINCIA DE MISIONES
CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES

IMPACTO DE LOS CAMBIOS EN USOS DEL SUELO Y ACTIVIDADES ANTRÓPICAS SOBRE EL
ESCURRIMIENTO Y CALIDAD EN CUENCAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE A
POBLACIONES DE LA PROVINCIA DE MISIONES

INFORME FINAL

TOMO III
ANÁLISIS PARTICULARIZADO DE IMPACTOS

JULIO DE 2008

ING. ENRIQUE GANDOLLA

IMPACTO DE LOS CAMBIOS EN USOS DEL SUELO Y ACTIVIDADES ANTRÓPICAS
SOBRE EL ESCURRIMIENTO Y CALIDAD EN CUENCAS DE ABASTECIMIENTO DE
AGUA POTABLE A POBLACIONES DE LA PROVINCIA DE MISIONES

INFORME FINAL

TOMO III: ANÁLISIS PARTICULARIZADO DE IMPACTOS

| CONTENIDO | Pág. |
|--|------|
| Introducción | 1 |
| 1. Impactos de los cambios de los usos del suelo sobre el escurrimiento | 2 |
| 1.1. Estudio del régimen hidrológico del Arroyo Yabebiry | 3 |
| 1.1.1. Análisis y tratamiento de los datos hidrométricos | 3 |
| 1.1.2. Ajuste de la relación H-Q | 5 |
| 1.1.3. Cálculo de la serie de caudales medios diarios | 7 |
| 1.1.4. Análisis de los datos de precipitaciones | 7 |
| 1.1.5. Análisis del régimen hidrológico del Arroyo Yabebiry | 13 |
| 1.1.5.1. Método de las curvas de frecuencia de caudales | 13 |
| -Antecedentes sobre el método | 13 |
| -Cálculo de las curvas de frecuencias de caudales (CFC) | 14 |
| -Análisis de las CFC | 15 |
| -Conclusiones | 27 |
| 1.1.5.2. Análisis de curvas de recesión de hidrogramas de eventos | 27 |
| -Antecedentes sobre el método | 27 |
| -Cálculo de las constantes de recesión | 28 |
| -Selección de hidrogramas a analizar | 30 |
| -Distribución de los eventos según categorías de año hidrológico | 35 |
| -Distribución de los eventos según la magnitud de los caudales pico (Qp) | 35 |
| -Distribución de los eventos según el estado de humedad antecedente en la cuenca | 35 |
| -Análisis de las constantes k_1 , k_2 y k_3 | 36 |
| -Análisis de las constantes de recesión k_1 correspondiente al componente superficial | 38 |
| -Análisis de las constantes de recesión k_2 correspondientes al componente subsuperficial | 40 |
| -Análisis de las constantes de recesión k_3 correspondiente a la componente del flujo base | 42 |
| -Conclusiones | 44 |
| 1.1.6. Síntesis de los cambios identificados en el régimen hidrológico | 45 |
| 1.2. Estudio de los cambios en los usos del suelo en la cuenca | 46 |
| 1.2.1. Los usos del suelo en 1963 | 47 |
| 1.2.2. Los usos del suelo en 1977 | 51 |
| 1.2.3. Los usos del suelo en 1985 | 55 |

| | |
|--|-----|
| 1.2.4. Los usos del suelo en 2007 | 58 |
| 1.2.5. Las áreas de recarga de la cuenca y los cambios en los usos del suelo | 60 |
| 1.2.6. Síntesis de los cambios en los usos del suelo en la cuenca entre 1963 y 2007 | 66 |
| 1.3. Cambios en el régimen hidrológico y relación con los cambios en los usos del suelo | 67 |
| | |
| 2. Impactos de las actividades sobre el escurrimiento y calidad del agua | 68 |
| 2.1. Medición de niveles y caudales en microcuencas | 69 |
| 2.2. Ensayos de infiltración | 71 |
| -Sobre el infiltrómetro utilizado | 72 |
| 2.2.1. Ensayos en la cuenca del Arroyo Mbiguá | 73 |
| 2.2.2. Ensayos en la cuenca del Arroyo Nagel | 79 |
| 2.3. Evaluación de los impactos de las actividades y acciones identificadas en las cuencas de los Arroyos Mbiguá y Nagel | 86 |
| 2.3.1. Sobre la metodología aplicada | 86 |
| 2.3.2. Evaluación para la cuenca del Arroyo Mbiguá | 88 |
| -Actividades o acciones potencialmente impactantes | 88 |
| -Factores del medio potencialmente impactados | 89 |
| -Matriz de identificación de relaciones causa-efecto | 90 |
| -Descripción de las relaciones causa-efecto | 91 |
| -Matriz de importancia | 101 |
| 2.3.3. Evaluación para la cuenca del Arroyo Nagel | 103 |
| -Actividades o acciones potencialmente impactantes | 103 |
| -Factores del medio potencialmente impactados | 103 |
| -Matriz de identificación de relaciones causa-efecto | 104 |
| -Descripción de las relaciones causa-efecto | 105 |
| -Matriz de importancia | 113 |
| | |
| BIBLIOGRAFÍA | 115 |
| ANEXOS | 120 |

ÍNDICE DE TABLAS

| CONTENIDO | Pág. |
|--|------|
| Tabla N° 1: Clasificación de los años hidrológicos según rangos de precipitación anual. | 10 |
| Tabla N° 2: Estación Cerro Azul. Clasificación de los años según su pluviosidad. | 11 |
| Tabla N° 3: Estación Cerro Azul. Clasificación de los años seleccionados según su pluviosidad | 12 |
| Tabla N° 4: Cuenca del Arroyo Yabebiry - Subcuenca Arroyo Chapá. Curva de frecuencias de caudales medios diarios. Variación de caudales característicos | 18 |
| Tabla N° 5: Cuenca del Arroyo Yabebiry - Subcuenca Arroyo Chapá. Curva de frecuencias de caudales medios diarios. Año hidrológico muy húmedo y promedio. Caudales característicos | 21 |
| Tabla N° 6: Cuenca del Arroyo Yabebiry - Subcuenca Arroyo Chapá. Curvas de Frecuencias de Caudales Medios Diarios. Años hidrológicos húmedos y promedio. Caudales característicos. | 22 |
| Tabla N° 7: Cuenca del Arroyo Yabebiry - Subcuenca Arroyo Chapá. Curvas de Frecuencias de Caudales Medios Diarios. Años hidrológicos promedio y año promedio para el período. Caudales característicos. | 23 |
| Tabla N° 8: Cuenca del Arroyo Yabebiry - Subcuenca Arroyo Chapá. Curvas de Frecuencias de Caudales Medios Diarios. Años hidrológicos secos y promedio. Caudales característicos. | 24 |
| Tabla N° 9: Cuenca del Arroyo Yabebiry - Subcuenca Arroyo Chapá. Curvas de Frecuencias de Caudales Medios Diarios. Años hidrológicos muy secos y año promedio para el período. Caudales característicos. | 26 |
| Tabla N° 10: Cuenca del Arroyo Yabebiry – Subcuenca Arroyo Chapá. Curvas de recesión de los eventos seleccionados. Eventos con $Q_p > 150 \text{ m}^3/\text{seg}$. | 31 |
| Tabla N° 11: Cuenca del Arroyo Yabebiry – Subcuenca Arroyo Chapá. Curvas de recesión de los eventos seleccionados. Eventos con $60 \text{ m}^3/\text{seg} < Q_p < 150 \text{ m}^3/\text{seg}$. | 32 |
| Figura N° 12: Cuenca del Arroyo Yabebiry – Subcuenca Arroyo Chapá. Curvas de recesión de los eventos seleccionados. Eventos con $Q_p < 60 \text{ m}^3/\text{seg}$. | 33 |
| Tabla N°13 : Cuenca del Arroyo Yabebiry - Subcuenca Arroyo Chapá. Análisis de curvas de recesión en hidrogramas. Características de contexto de los eventos seleccionados. | 34 |
| Tabla N° 14: Distribución de los eventos según Grupos de Eventos y categoría de año hidrológico | 3 |
| Tabla N° 15: Distribución de los eventos según Grupos de Eventos y magnitud de los caudales picos. | 35 |
| Tabla N° 16: Distribución de los eventos según Grupos de Eventos y condición de humedad antecedente. | 36 |
| Tabla N° 17. Rangos típicos para las constantes de recesión, según diferentes criterios. | 36 |

| | |
|---|-----|
| Tabla N° 18: Cuenca del Arroyo Yabebiry - Subcuenca Arroyo Chapá. Análisis de curvas de recesión en hidrogramas seleccionados. Valores de k1, k2, y k3 para todos los eventos analizados. | 37 |
| Tabla N° 19: Cuenca del Arroyo Yabebiry – Subcuenca Arroyo Chapá. Usos del suelo en 1963. Unidades cartográficas utilizadas en el Mapa Forestal -C.A.R.T.A.- y superficies involucradas. | 49 |
| Tabla N°20 : Leyenda Cartográfica del Uso Actual de la Tierra y Tipos de Vegetación Estilizada. AEROTERRA S.A. 1977 | 52 |
| Tabla N° 21 : Cuenca del Arroyo Yabebiry – Subcuenca Arroyo Chapá. Usos del suelo. Unidades cartográficas utilizadas por AEROTERRA S.A (1977) y superficies y porcentos involucrados. | 54 |
| Tabla N° 22 : Cuenca del Arroyo Yabebiry – Subcuenca Arroyo Chapá. Usos del suelo en 1985 según el Mapa Forestal de la FCF/UNaM. | 56 |
| Tabla N° 23: Cuenca del Arroyo Yabebiry – Subcuenca Arroyo Chapá. Usos del suelo en 2007 | 58 |
| Tabla N°24: Cuenca del Arroyo Chapá. Superficie de la cuenca según grupos de pendientes, en hectáreas y porciento | 61 |
| Tabla N° 25: Cuenca del Arroyo Chapá. Usos del suelo en el área de recarga de la cuenca en 1963. | 63 |
| Tabla N° 26: Cuenca del Arroyo Chapá. Usos del suelo en el área de recarga de la cuenca, en 1977 | 65 |
| Tabla N° 27: Cuenca del Arroyo Chapá. Usos del suelo en el área de recarga de la cuenca, en 1985. | 65 |
| Tabla N° 28: Cuenca del Arroyo Chapá. Usos del suelo en el área de recarga de la cuenca, en 2007 | 66 |
| Tabla N° 29: Cuenca del Arroyo Chapá. Cambios en los usos del suelo. Período 1963/2007 | 66 |
| Tabla N° 30: Cuenca del Arroyo Mbiguá. Evaluación de impactos. Matriz de identificación de relaciones causa-efecto. | 90 |
| Tabla N°31: Cuenca del Arroyo Mbiguá. Evaluación de impactos. Matriz de importancia. | 102 |
| Tabla N°32: Cuenca del Arroyo Nagel. Evaluación de impactos. Matriz de identificación de relaciones causa-efecto. | 105 |
| Tabla N° 33: Cuenca del Arroyo Nagel. Evaluación de impactos. Superficies por grupos de pendiente. | 110 |
| Tabla N° 34: Cuenca del Arroyo Nagel. Evaluación de impactos. Matriz de importancia. | 114 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| CONTENIDO | Pág. |
|---|------|
| Figura N° 1: Cuenca del Arroyo Yabebiry. Estación de Aforos de Colonia Mártires (SRH). Curva H-Q de Aforos. Período 1954/1985. | 4 |
| Figura N° 2 : Cuenca del Arroyo Yabebiry. Estación de Aforos de Colonia Mártires (SRH). Curva H-Q de Aforos–H menores a 1,5m. Período 1954/1985. | 4 |
| Figura N° 3: Estación de Aforos de Colonia Mártires. Ajuste polinómico de la relación H-Q para $H \leq 1,5$ m. | 5 |
| Figura N° 4: Estación de Aforos de Colonia Mártires. Ajuste polinómico de la relación H-Q. Rango $1,5 \text{ m.} \leq H \leq 1,5\text{m.}$ | 6 |
| Figura N° 5: Estación de Aforos de Colonia Mártires. Ajuste polinómico de la relación H-Q. Rango $H > 5$ m. | 6 |
| Figura N° 6: Cuenca del Arroyo Yabebiry – Subcuenca Arroyo Chapá. Estación de Aforos de Colonia Mártires. Caudales Medios Diarios (m ³ /seg.). Período 1952/2005 | 8 |
| Figura N°7: Estación Cerro Azul (INTA) y Estación Colonia Mártires (SRH). Histogramas de precipitaciones anuales (Pa., en mm.), según años hidrológicos. | 9 |
| Figura N° 8: Estación Cerro Azul (INTA) y Estación Colonia Mártires (SRH). Precipitaciones anuales (Pa., en mm.). Curva de doble masa. | 9 |
| Figura N° 9: Régimen anual de precipitaciones. Precipitaciones mensuales (Pm, en mm.). Estación Colonia Mártires: período 1972/73 – 2004/05; Estación Cerro Azul: período 1952/53 – 2004/05 | 10 |
| Figura N° 10: Cuenca del Arroyo Yabebiry - Subcuenca Arroyo Chapá. Curvas de frecuencias de caudales medios diarios. Todos los años seleccionados y curva promedio. | 16 |
| Figura N° 11: Cuenca del Arroyo Yabebiry - Subcuenca Arroyo Chapá. Curvas de frecuencias de caudales medios diarios. Variación de caudales característicos. | 19 |
| Figura N° 12 : Cuenca del Arroyo Yabebiry - Subcuenca Arroyo Chapá. Curvas de frecuencias de caudales medios diarios. Variación de la relación Q90/Q50. | 19 |
| Figura N° 13 : Cuenca del Arroyo Yabebiry - Subcuenca Arroyo Chapá. Curvas de Frecuencias de Caudales Medios Diarios. Año hidrológico muy húmedo. | 20 |
| Figura N° 14: Cuenca del Arroyo Yabebiry - Subcuenca Arroyo Chapá. Curvas de Frecuencias de Caudales Medios Diarios. Años hidrológicos húmedos y año promedio | 21 |
| Figura N° 15: Cuenca del Arroyo Yabebiry - Subcuenca Arroyo Chapá. Curvas de Frecuencias de Caudales Medios Diarios. | 22 |
| Figura N° 16: Cuenca del Arroyo Yabebiry - Subcuenca Arroyo Chapá. Curvas de Frecuencias de Caudales Medios Diarios. Años hidrológicos secos | 24 |
| Figura N° 17: Cuenca del Arroyo Yabebiry - Subcuenca Arroyo Chapá. Curvas de Frecuencias de Caudales Medios Diarios. Años hidrológicos muy secos | 25 |
| Figura N° 18: Cuenca del Arroyo Yabebiry - Subcuenca Arroyo Chapá. Análisis de curvas de recesión en hidrogramas seleccionados. Determinación de segmentos de recesión. Evento | |

| | |
|---|----|
| E11 (22/06/1975). | 28 |
| Figura N° 19: Cuenca del Arroyo Yabebiry – Subcuenca Arroyo Chapá. Curvas de recesión de los eventos seleccionados. Eventos con $Q_p > 150$ m ³ /seg. | 31 |
| Figura N° 20: Cuenca del Arroyo Yabebiry – Subcuenca Arroyo Chapá. Curvas de recesión de los eventos seleccionados. Eventos con 60 m ³ /seg $< Q_p < 150$ m ³ /seg. | 32 |
| Figura N° 21: Cuenca del Arroyo Yabebiry – Subcuenca Arroyo Chapá. Curvas de recesión de los eventos seleccionados. Eventos con $Q_p < 60$ m ³ /seg | 33 |
| Figura N° 22: Cuenca del Arroyo Yabebiry - Subcuenca Arroyo Chapá. Análisis de hidrogramas de tormentas. Variación de la constante de recesión k_1 para todos los eventos seleccionados. | 39 |
| Figura N° 23: Cuenca del Arroyo Yabebiry - Subcuenca Arroyo Chapá. Análisis de hidrogramas de tormentas. Variación de la constante de recesión k_2 para todos los eventos seleccionados. | 41 |
| Figura N° 24: Cuenca del Arroyo Yabebiry - Subcuenca Arroyo Chapá. Análisis de hidrogramas de tormentas. Variación de la constante de recesión k_3 para todos los eventos seleccionados. | 43 |
| Figura N° 25: Cuenca del Arroyo Yabebiry – Subcuenca Arroyo Chapá. Usos del suelo en 1963 según el Mapa Forestal de C.A.R.T.A. | 49 |
| Figura N° 26: Cuenca del Arroyo Yabebiry – Subcuenca Arroyo Chapá. Usos del suelo en 1963 según el Mapa Forestal del relevamiento de C.A.R.T.A., y superficies involucradas | 50 |
| Figura N° 27: Cuenca del Arroyo Yabebiry – Subcuenca Arroyo Chapá. Usos del suelo en 1977 según el Mapa de Usos del Suelo y realizado por AEROTERRA S.A., y superficies involucradas. | 53 |
| Figura N° 28: Cuenca del Arroyo Yabebiry – Subcuenca Arroyo Chapá. Usos del suelo. Unidades cartográficas utilizadas por AEROTERRA S.A (1977) y cobertura (%) superficial. | 54 |
| Figura N° 29: Cuenca del Arroyo Yabebiry – Subcuenca Arroyo Chapá. Usos del suelo en 1985 según Mapa Forestal de la Facultad de Ciencias Forestales/UNaM. | 57 |
| Figura N° 30: Cuenca del Arroyo Yabebiry – Subcuenca Arroyo Chapá. Usos del suelo en 1985 según Mapa Forestal de la Facultad de Ciencias Forestales/UNaM. | 59 |
| Figura N° 31: Cuenca del Arroyo Yabebiry – Subcuenca Arroyo Chapá. Mapa de distribución de las áreas según grupos de pendientes. | 62 |
| Figura N° 32: Cuenca del Arroyo Yabebiry – Subcuenca Arroyo Chapá. Mapa de áreas de recarga de la cuenca. | 64 |
| Figura N° 33: Cuenca del Arroyo Chapá. Cambios en los usos del suelo. Periodo 1963/2007. | 66 |
| Figura N° 34: Cuenca del A° Nagel. Parte del registro obtenido con el pluviógrafo instalado en la Cooperativa de Servicios Públicos Ltda. de Leandro N. Alem | 71 |
| Figura N°35 : Cuenca del Arroyo Mbiguá. Ensayos de Infiltración de agua en el suelo. Ubicación de los sitios de los ensayos. | 74 |
| Figura N° 36: Cuenca del A° Mbiguá. Ensayos de Infiltración. Curvas de velocidad de infiltración (mm/min.) según usos del suelo. | 78 |
| Figura N° 37: Cuenca del Arroyo Nagel. Ensayos de Infiltración de agua en el suelo. | |

| | |
|---|----|
| Ubicación de los sitios de los ensayos. | 81 |
| Figura N° 38: Cuenca del A° Nagel. Ensayos de Infiltración. Curvas de velocidad de infiltración (mm/min.) según usos del suelo. | 84 |

ÍNDICE DEL ANEXO

| CONTENIDO | Pág. |
|---|------|
| Arroyo Yabebiry - Estación de Aforos de Colonia Mártires. Ajuste de la relación H-Q. Informe generado por Statgraphics Centurion XV | 121 |
| Estación de Aforos de Colonia Mártires. Precipitaciones mensuales y anuales, promedio, máximas y mínimas, según año hidrológico (marzo/febrero). Período 1972/73-2004/05. | 124 |
| Estación Cerro Azul. Precipitaciones mensuales y anuales, promedio, máximas y mínimas, según año hidrológico (marzo/febrero). Período 1952/53-2004/05. | 125 |

1. ANÁLISIS PARTICULARIZADO DE IMPACTOS

Introducción

Las actividades humanas, ya sea a través de las modificaciones en la cobertura vegetal de las cuencas, de los usos del suelo que incorpora y las actividades que realiza, y mediante la producción de residuos y desechos, generan cambios hidrológicos y en la calidad de las aguas cuyos alcances son muchas veces insospechados.

El presente estudio se orienta a identificar las principales intervenciones antrópicas sobre el territorio de las cuencas, y sus consecuencias ambientales en relación con los importantes servicios sociales que prestan para el abastecimiento de agua potable.

El estudio consta de tres partes:

- En la primer parte, se aborda el estudio de los impactos de los usos del suelo sobre el escurrimiento, adoptando como área de estudio a la subcuenca del Arroyo Chapá, perteneciente a la cuenca del Arroyo Yabebiry;
- En la segunda parte, se evalúan conjuntamente los impactos de las actividades sobre el escurrimiento y sobre la calidad del agua, para las dos cuencas seleccionadas como casos de estudio: la cuenca del Arroyo Mbiguá y la cuenca del Arroyo Nagel.

El plan de tareas inicial proponía una evaluación por separado de los impactos de las actividades sobre el escurrimiento y sobre la calidad del agua. Se optó por realizar un Estudio de Impacto Ambiental de las actividades identificadas en cada cuenca, con potencial para afectar ambos factores de interés, lo cual ofrece una visión más amplia e integrada de cómo y en qué medida las intervenciones antrópicas pueden afectar factores claves para la producción de agua de calidad.

El equipo de trabajo fue integrado, según lo establecido en el Anexo II del contrato, con las siguientes personas:

Experto, responsable del contrato: Ing. en recursos hídricos Enrique Gandolla

Colaboradores: Inga. agrónoma María Elena Benítez; Ing. agrónomo Guillermo Reutemann; Ing. químico Jorge Eduardo Queirolo; Dra. María Isabel Amalia Ghiglione; Ext. antropología social Ana Carolina Núñez; Dra. Mary Lucy Franchinotti, abogada y mediadora; Dra. Silvina Nosiglia, abogada y mediadora.

1.1 Impactos de los cambios en los usos del suelo sobre el escurrimiento

El objetivo asignado a esta parte del trabajo es indagar sobre los impactos que los cambios en los usos del suelo generan sobre el escurrimiento, esto es, sobre el régimen hidrológico de un curso de agua.

El régimen de escurrimiento de un curso de agua es el comportamiento de sus caudales a diferentes escalas temporales, es decir, sus variaciones diarias, mensuales, estacionales, anuales e interanuales. El régimen de escurrimiento de un río no sólo depende de las precipitaciones, sino también de las características de su cuenca, principalmente tipo de vegetación, cobertura, suelos y morfología.

Como cambio en los usos del suelo se entiende a la conversión experimentada en un período de tiempo determinado, de la cobertura vegetal original -los bosques nativos- a otros usos, para destinar esas tierras a actividades económicas tales como la agricultura, forestación, ganadería, entre otros.

El análisis de los impactos de los cambios en los usos del suelo sobre el escurrimiento, se realizó sobre la cuenca del A° Yabebiry, y más precisamente, en la subcuenca del A° Chapá.

La adopción de dicha cuenca para realizar los estudios se decidió debido a la disponibilidad de registros hidrológicos para un período de más de 50 años. En efecto, en dicha cuenca se encuentra la Estación Colonia Mártires (código 3404) de la Red Hidrológica Nacional que opera desde setiembre de 1954 registrando niveles hidrométricos diarios y, desde abril de 1972 precipitaciones diarias; para el período que va desde el inicio de la operación hasta mayo de 1985 se dispone, además, de una importante cantidad de aforos líquidos. Para el presente estudio, se dispuso de la información solicitada a la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación, para el período 01/09/1972-30/06/2005.

Complementariamente, también se dispuso de las precipitaciones diarias y mensuales registradas en la Estación Regional Agropecuaria Cerro Azul del INTA¹ para el período 1952/2005.

Para la evaluación de los cambios en los usos del suelo se dispuso de los siguientes antecedentes, los cuales, aunque abordan la temática con diferentes objetivos, metodologías y niveles de detalle, constituyen importantes fuentes documentales para un período coincidente con los registros hidrométricos para el Arroyo Yabebiry.

¹ La Estación Cerro Azul del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria se encuentra aproximadamente a 39 km al Sureste del centro de la cuenca del Arroyo Chapá.

- Mapa Forestal de la Provincia de Misiones elaborado por la Compañía Argentina de Relevamientos Topográficos y Aerofotogramétricos (C.A.R.T.A.) en 1963, en base a fotografías aéreas; disponible en hojas a escala 1: 50.000;
- Mapa de Uso Actual de la Tierra-Tipos de Vegetación elaborado por la empresa AEROTERRA y el Concejo Federal de Inversiones en 1977 en base a información obtenida por teledetección; mapa disponible a escala 1: 250.000;
- Mapa Forestal Provincial elaborado por la Facultad de Ciencias Forestales de la UNaM para el Ministerio de Ecología y Recursos Naturales en 1987 en base a fotografías aéreas correspondientes al período 1980-1985; mapa disponible a escala 1: 50.000;
- IMAGEN LANDSAT 5 ETM, bandas 3,4 y 5 con realce espacial a 30 m, año 2007.

En primer lugar se analiza el régimen hidrológico del A° Yabebiry, subcuenca del Arroyo Chapá, a los efectos de identificar la existencia de cambios en el mismo que pudieran relacionarse con cambios en los usos de la cuenca;

Seguidamente, el estudio aborda el análisis de los cambios en los usos del suelo en la cuenca seleccionada en el período de referencia.

1.1 Estudio del régimen hidrológico del A° Yabebiry

El estudio del régimen hidrológico del A° Yabebiry, subcuenca del Arroyo Chapá, demandó la realización de tareas previas para el análisis y tratamiento de los datos suministrados por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (SRH) a través de la empresa Evaluación de Recursos Sociedad Anónima (EVARSA), operadora de la Red Hidrológica Nacional.

1.1.1 Análisis y tratamiento de los datos hidrométricos

Como ya se ha expresado, la información hidrológica provista por la SRH, se refiere a las alturas hidrométricas diarias para período 01/09/1954 – 30/06/2005, y los datos correspondientes a los 4.512 aforos realizados en la estación -entre el 15/09/1954 y el 28/05/1985.

Un primer análisis se realizó con los datos de los aforos, y consistió en representar la relación H-Q a partir de los datos proporcionados por los registros de las Listas de Aforos (EVARSA) lo que se muestra en la Figura N° 1, en la página siguiente.

Posteriormente se realizó un análisis más detallado de esta curva el cual permitió observar que, para los niveles hidrométricos más bajos y, principalmente, para caudales menores a 5 m³/seg, se conforma una doble nube de puntos, lo que puede verse en la Figura N° 2, que representa la relación H-Q para alturas hidrométricas menores a 1,5 m.

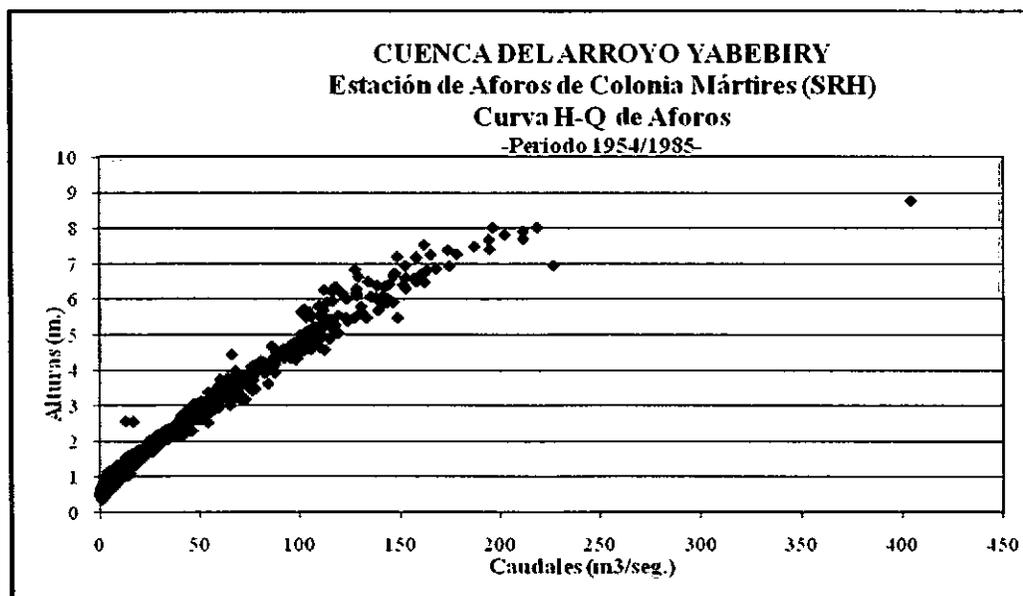


Figura N° 1: Cuenca del Arroyo Yabebiry. Estación de Aforos de Colonia Mártires (SRH). Curva H-Q de Aforos. Período 1954/1985. Elaboración propia en base a información de SRH

Para resolver este problema, se analizaron los datos según las fechas de realización de los aforos correspondientes, observándose que la mayoría de los puntos correspondientes a la nube de puntos inferior, pertenecen a aforos realizados hasta 1958. Se decidió entonces descartar los datos originados en los aforos hasta diciembre de 1957.

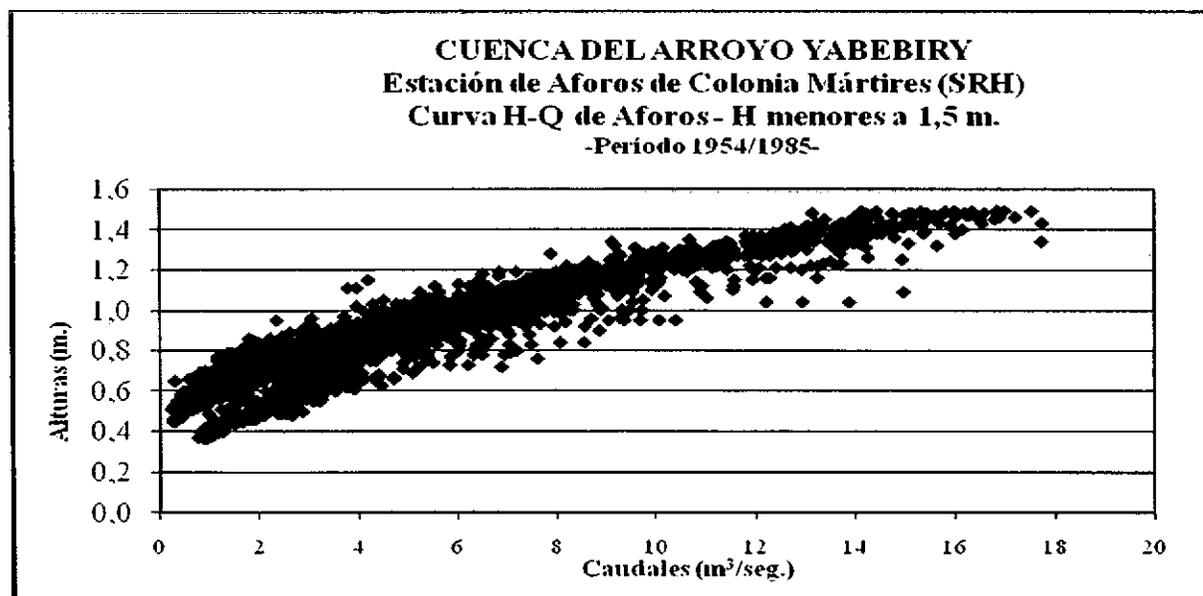


Figura N° 2 : Cuenca del Arroyo Yabebiry. Estación de Aforos de Colonia Mártires (SRH). Curva H-Q de Aforos-H menores a 1,5m. Período 1954/1985. Elaboración propia en base a información de SRH

Como parte del análisis realizado, se identificó un cambio de ubicación de las escalas hidrométricas. Consultas realizadas a EVARSA permitieron confirmar que la Estación de Aforos se trasladó al sitio actual el 01/08/1993, manteniéndose registros simultáneos en ambos lugares al menos hasta diciembre de 1994 (FONTANA, D., comunicación personal). Luego de obtener las alturas hidrométricas diarias registradas simultáneamente en ambos sitios desde Enero a Diciembre

de 1994, se correlacionaron ambas escalas, a fin de disponer de una base sobre la cual ajustar la relación H-Q válida para el período completo de registro de alturas hidrométricas.

1.1.2 Ajuste de la relación H-Q

El ajuste² de la relación H-Q se realizó para rangos de alturas menores a 1,5 m., entre 1,5 y 5 m. y mayores de 5 m., utilizando Statgraphics Centurion XV, obteniéndose las relaciones polinómicas que se indican a continuación:

- Para alturas $H \leq 1,5$ m., la ecuación del modelo ajustado es:

$$Q1 = -0,397507 - 3,12988 * H1 + 9,45441 * H1^2$$

La Figura N° 3 muestra los resultados del ajuste al modelo polinómico para describir la relación entre H-Q para dicho rango de alturas hidrométricas.

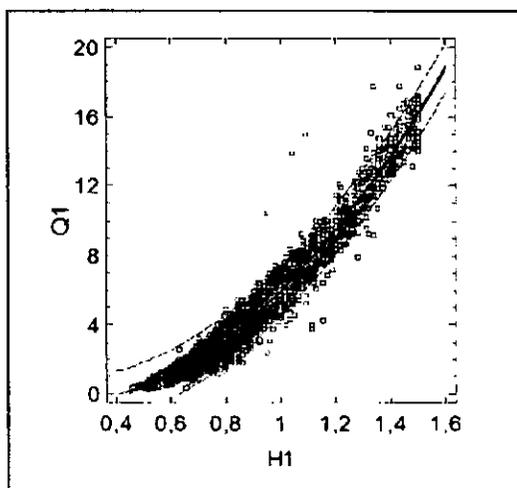


Figura N° 3: Estación de Aforos de Colonia Mártires. Ajuste polinómico de la relación H-Q para $H \leq 1,5$ m. Elaboración propia en base a datos de SRH.

El estadístico R-cuadrado (R-cuadrado = 96,3241) resultante del ajuste indica que el modelo ajustado explica el 96,3241% de la variabilidad de los caudales observados para dicho tramo de alturas.

- Para alturas $1,5$ m. $\leq H \leq 5$ m. la ecuación resultante es:

$$Q2 = -19,7269 + 23,1165 * H2 + 0,453761 * H2^2$$

La Figura N° 4 muestra los resultados del ajuste al modelo polinómico para describir la relación entre H-Q para el rango intermedio de alturas hidrométricas.

² En el Anexo puede consultarse el informe correspondiente al ajuste de la relación H-Q generado con Statgraphics Centurion XV

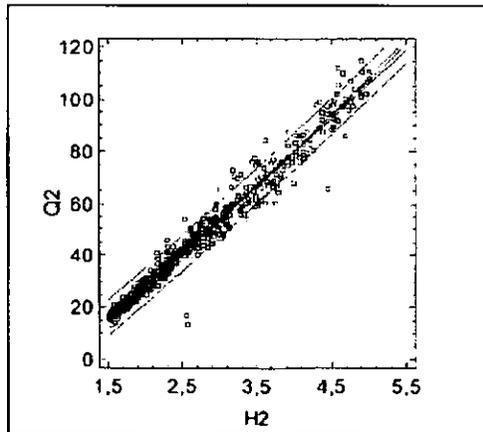


Figura N° 4: Estación de Aforos de Colonia Mártires. Ajuste polinómico de la relación H-Q.
Rango $1,5 \text{ m.} \leq H \leq 1,5\text{m.}$ Elaboración propia en base a datos de SRH.

El estadístico R-cuadrado ($R\text{-cuadrado} = 97,4666$) resultante del ajuste para este tramo intermedio de alturas hidrométricas indica que el ajuste explica el 97,4666% de la variabilidad de los caudales observados para dicho tramo.

- Para alturas $H > 5 \text{ m.}$, la ecuación del modelo ajustado es:

$$Q3 = 608,129 - 183,667 * H3 + 17,1816 * H3^2$$

Los resultados del ajuste al modelo polinómico se muestran en la Figura N° 5. El estadístico R-cuadrado ($R\text{-cuadrado} = 79,3003$) resultante del ajuste para este tramo intermedio de alturas hidrométricas indica que el modelo explica el 79,3003% de la variabilidad de los caudales observados para dicho tramo.

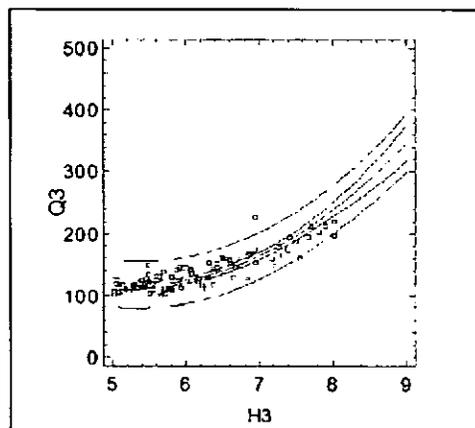


Figura N° 5: Estación de Aforos de Colonia Mártires. Ajuste polinómico de la relación H-Q.
Rango $H > 5 \text{ m.}$ Elaboración propia en base a datos de SRH.

1.1.3 Cálculo de la serie de caudales medios diarios

Una vez obtenida de la forma descripta la relación H-Q para la estación de aforos, se calcularon los caudales medios diarios para el período 1958/2004. La serie obtenida fue representada gráficamente utilizando los recursos ofrecidos por MATLAB 6.5 y se muestra en la Figura N° 6, en la página siguiente³. El disponer del hidrograma en formato MATLAB permitió hacer uso de algunas de las herramientas que ofrece dicho software -como el hacer zoom sobre la gráfica- lo cual facilitó la ubicación en el hidrograma de datos faltantes y la estimación de sus valores -por simple interpolación - mejorándose de este modo la serie disponible.

No obstante los datos así recuperados, la discontinuidad de los registros durante ciertos períodos obligó llevar a desechar para el estudio los datos correspondientes a 19 años, a saber: 1968, 1969, 1970, 1971, 1972, 1974, 1975, 1980, 1981, 1982, 1983, 1984, 1985, 1986, 1990, 1991, 1999, 2000 y 2005; éste último fue descartado no por deficiencia de los registros sino porque -por la fecha en que se solicitaron los datos a la SRH- se dispuso de los datos hasta el 30/06/2005 y no del año completo.

Como resultado del análisis realizado, para el estudio se adoptó el universo de datos conformado por los caudales medios diarios correspondientes a los siguientes 29 años hidrológicos marzo/febrero: 1958/59, 1959/60, 1960/61, 1961/62, 1962/63, 1963/64, 1964/65, 1965/66, 1966/67, 1967/68, 1973/74, 1976/77, 1977/78, 1978/79, 1979/80, 1987/88, 1988/89, 1989/90, 1992/93, 1993/94, 1994/95, 1995/96, 1996/97, 1997/98, 1998/99, 2001/02, 2002/03, 2003/04 y 2004/05.

1.1.4 Análisis de los datos de precipitaciones

Como ya se ha expresado, se dispuso de los registros de lluvias diarias para la Estación de Aforos de Colonia Mártires (SRH) para el período 01/04/1972 - 30/06/2005, y para la Estación Cerro Azul (INTA) para el período 01/01/1952 - 31/12/2005.

A partir de dichos registros se calcularon para ambas estaciones las precipitaciones mensuales y anuales, las que pueden consultarse en el Anexo. La precipitación anual media (1972/73 - 2004/05) en Col. Mártires es 2.006 mm.; en Cerro Azul, para el mismo período 2.013 mm. y, para el período 1952/53- 2004/05 es 1.947 mm

³ En el gráfico, el día 01/01/1958 -primer día de la serie adoptada- corresponde al día N° 1462 y el 30/06/2005 -último de la serie- corresponde al día N° 18809.

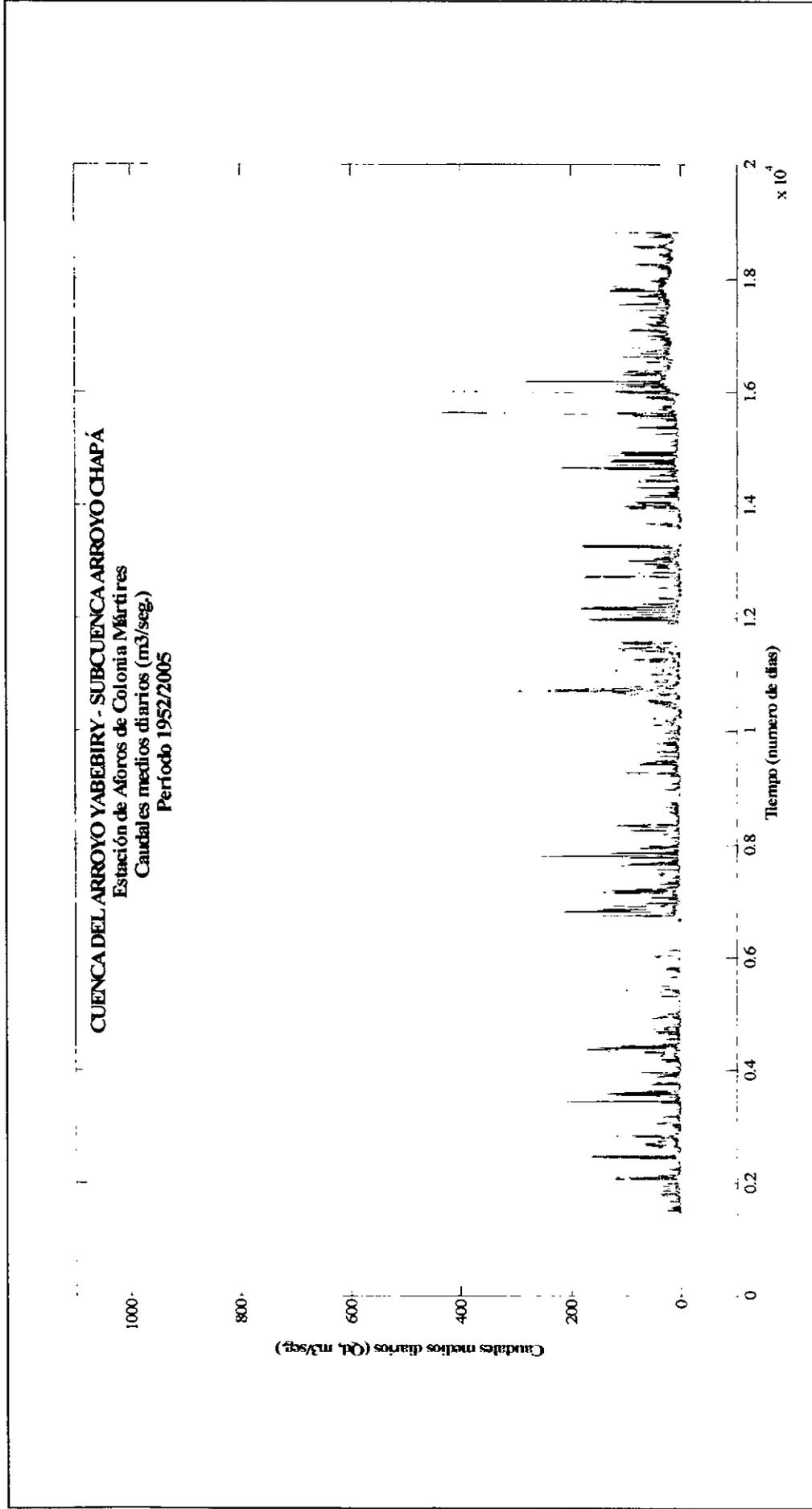


Figura N° 6: Cuenca del Arroyo Yabebiry – Subcuenca Arroyo Chapá. Estación de Aforos de Colonia Mártires. Caudales Medios Diarios (m³/seg.). Período 1952/2005. Elaboración propia en base a datos suministrados por la SRH.

El buen correlacionamiento existente entre los registros anuales de ambas estaciones puede observarse en los histogramas de precipitaciones anuales (Pa, en mm.) que se muestran en la Figura N° 7, como así también en la curva de doble masa representada en la Figura N° 8 preparada a partir de los datos correspondientes al período 1972/73 – 2004/05, compartido por los registros de ambas estaciones.

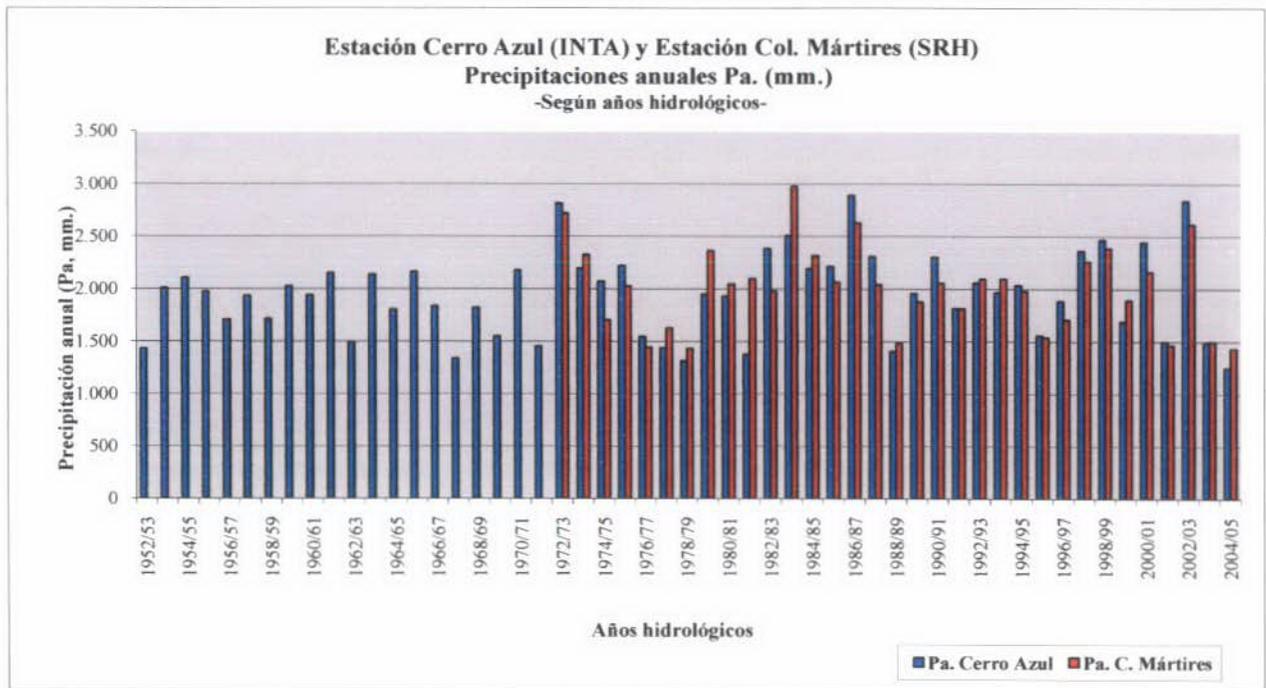


Figura N°7: Estación Cerro Azul (INTA) y Estación Colonia Mártires (SRH). Histogramas de precipitaciones anuales (Pa., en mm.), según años hidrológicos. Elaboración propia en base a información de INTA y SRH.

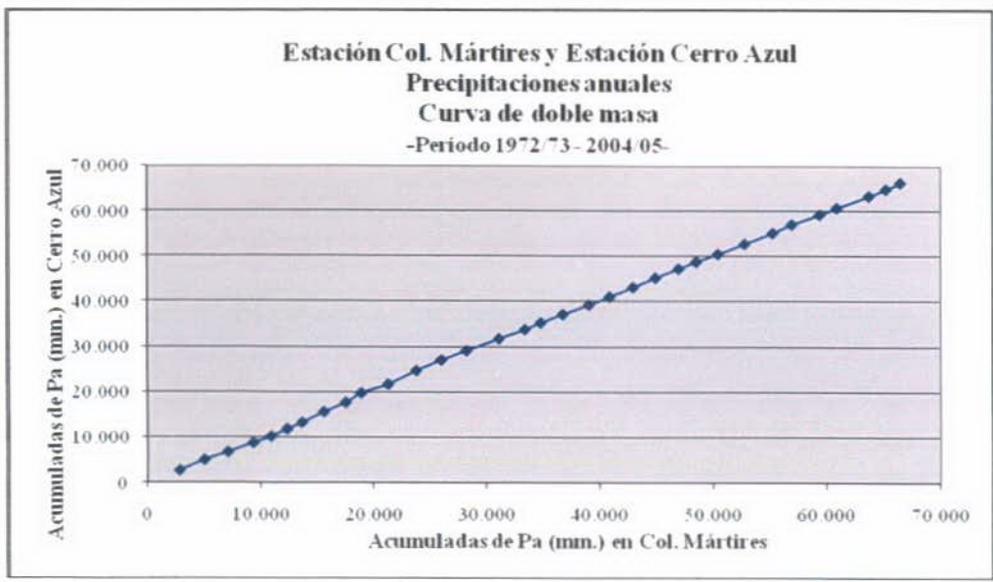


Figura N° 8: Estación Cerro Azul (INTA) y Estación Colonia Mártires (SRH). Precipitaciones anuales (Pa., en mm.). Curva de doble masa. Elaboración propia en base a información suministrada por INTA y SRH.

Asimismo, ambas estaciones muestran un mismo régimen anual de las precipitaciones medias mensuales con períodos de concentración de las lluvias, en los meses de Abril y Octubre, éste último algo mayor que el primero (Figura N° 9).

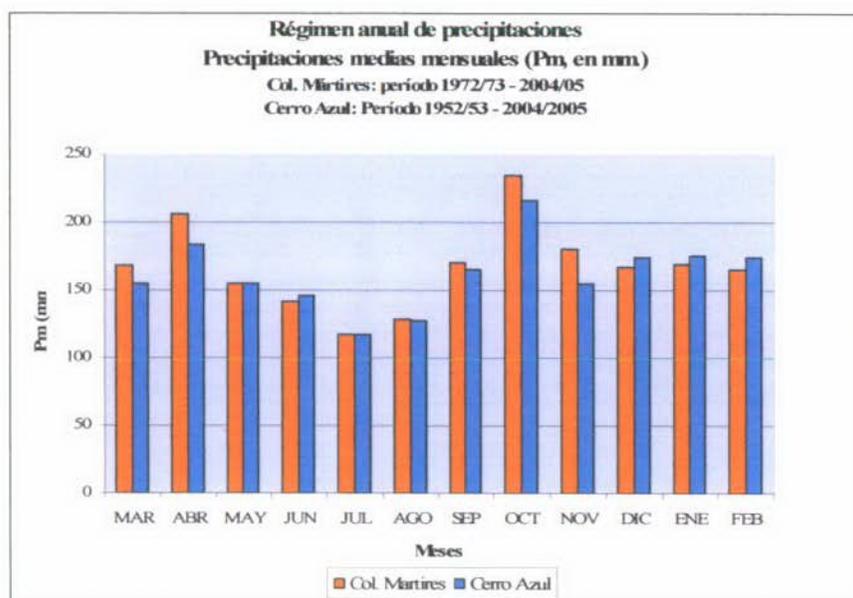


Figura N° 9: Régimen anual de precipitaciones. Precipitaciones mensuales (Pm, en mm.). Estación Colonia Mártires: período 1972/73 – 2004/05; Estación Cerro Azul: período 1952/53 – 2004/05. Elaboración propia en base a información suministrada por INTA y SRH.

Para el estudio del régimen hidrológico resulta de interés disponer de una clasificación de los años según su pluviosidad. Para ello se adoptó como registro base al de Estación Cerro Azul (INTA), en virtud de que el período disponible 1952/53 - 2004/05, cubre con creces los años de la serie seleccionada de caudales medios diarios seleccionada, no así en Col. Mártires cuyo registro pluvial se inicia en 1972.

El criterio para clasificarlos se basó en las clases que se muestran en la Tabla N° 1, resultantes de dividir por cinco (5) la amplitud existente entre las precipitaciones anuales máxima y mínima para el período.

| Clases de años hidrológicos | Rangos de precipitaciones anuales -Pa (mm.)- |
|-----------------------------|--|
| Muy húmedos | $Pa \geq 2.567$ |
| Húmedos | $2.238 \leq Pa < 2.566$ |
| Promedios | $1.909 \leq Pa < 2.237$ |
| Secos | $1.580 \leq Pa < 1.908$ |
| Muy secos | $Pa \leq 1.579$ |

Tabla N° 1: Clasificación de los años hidrológicos según rangos de precipitación anual. Elaboración propia

En la siguiente página, la Tabla N° 2 muestra los resultados de tal clasificación aplicada e el registro completo de la Estación Cerro Azul.

| Año hidrológico | Precipitación anual -Pa (mm.)- | Clase | Año hidrológico | Precipitación anual -Pa (mm.)- | Clase |
|-----------------|--------------------------------|------------|-----------------|--------------------------------|------------|
| 1952/53 | 1.431 | Muy seco | 1979/80 | 1.949 | Promedio |
| 1953/54 | 2.006 | Promedio | 1980/81 | 1.933 | Promedio |
| 1954/55 | 2.105 | Promedio | 1981/82 | 1.379 | Muy seco |
| 1955/56 | 1.974 | Promedio | 1982/83 | 2.387 | Húmedo |
| 1956/57 | 1.707 | Seco | 1983/84 | 2.507 | Húmedo |
| 1957/58 | 1.936 | Promedio | 1984/85 | 2.192 | Promedio |
| 1958/59 | 1.716 | Seco | 1985/86 | 2.214 | Promedio |
| 1959/60 | 2.028 | Promedio | 1986/87 | 2.890 | Muy húmedo |
| 1960/61 | 1.939 | Promedio | 1987/88 | 2.310 | Húmedo |
| 1961/62 | 2.150 | Promedio | 1988/89 | 1.409 | Muy seco |
| 1962/63 | 1.494 | Muy seco | 1989/90 | 1.959 | Promedio |
| 1963/64 | 2.135 | Promedio | 1990/91 | 2.304 | Húmedo |
| 1964/65 | 1.806 | Seco | 1991/92 | 1.817 | Seco |
| 1965/66 | 2.162 | Promedio | 1992/93 | 2.060 | Promedio |
| 1966/67 | 1.838 | Seco | 1993/94 | 1.968 | Promedio |
| 1967/68 | 1.340 | Muy seco | 1994/95 | 2.035 | Promedio |
| 1968/69 | 1.822 | Seco | 1995/96 | 1.557 | Muy seco |
| 1969/70 | 1.552 | Muy seco | 1996/97 | 1.887 | Seco |
| 1970/71 | 2.178 | Promedio | 1997/98 | 2.364 | Húmedo |
| 1971/72 | 1.455 | Muy seco | 1998/99 | 2.467 | Húmedo |
| 1972/73 | 2.815 | Muy húmedo | 1999/00 | 1.692 | Seco |
| 1973/74 | 2.198 | Promedio | 2000/01 | 2.447 | Húmedo |
| 1974/75 | 2.072 | Promedio | 2001/02 | 1.501 | Muy seco |
| 1975/76 | 2.221 | Promedio | 2002/03 | 2.839 | Muy húmedo |
| 1976/77 | 1.549 | Muy seco | 2003/04 | 1.496 | Muy seco |
| 1977/78 | 1.438 | Muy seco | 2004/05 | 1.251 | Muy seco |
| 1978/79 | 1.317 | Muy seco | | | |

Tabla N° 2: Estación Cerro Azul. Clasificación de los años según su pluviosidad. Elaboración propia en base a información suministrada por INTA.

Por su parte, en la página siguiente, la Tabla N° 3 muestra sólo los 29 años hidrológicos que corresponden a la serie adoptada para el análisis del régimen del Arroyo Yabebiry, agrupados según las categorías resultantes.

Como puede advertirse, la condición de años *muy húmedos* -máxima humedad en la cuenca- ha quedado representada solamente por el año hidrológico 2002/03 debido a que las discontinuidades en los registros hidrométricos en Col. Mártires durante 1972/73 y 1986/87 llevaron a tener que descartar dichos años para el análisis.

Para la condición de años *húmedos* se dispone de información para tres años distribuidos: uno, al final de la década de los 80; y los otros dos, una década después.

| Año hidrológico | Precipitación anual -Pa (mm.)- | Clase |
|-----------------|--------------------------------|------------|
| 2002/03 | 2.839 | Muy húmedo |
| 1987/88 | 2.310 | Húmedo |
| 1997/98 | 2.364 | Húmedo |
| 1998/99 | 2.467 | Húmedo |
| 1959/60 | 2.028 | Promedio |
| 1960/61 | 1.939 | Promedio |
| 1961/62 | 2.150 | Promedio |
| 1963/64 | 2.135 | Promedio |
| 1965/66 | 2.162 | Promedio |
| 1973/74 | 2.198 | Promedio |
| 1979/80 | 1.949 | Promedio |
| 1989/90 | 1.959 | Promedio |
| 1992/93 | 2.060 | Promedio |
| 1993/94 | 1.968 | Promedio |
| 1994/95 | 2.035 | Promedio |
| 1958/59 | 1.716 | Seco |
| 1964/65 | 1.806 | Seco |
| 1966/67 | 1.838 | Seco |
| 1996/97 | 1.887 | Seco |
| 1962/63 | 1.494 | Muy seco |
| 1967/68 | 1.340 | Muy seco |
| 1976/77 | 1.549 | Muy seco |
| 1977/78 | 1.438 | Muy seco |
| 1978/79 | 1.317 | Muy seco |
| 1988/89 | 1.409 | Muy seco |
| 1995/96 | 1.557 | Muy seco |
| 2001/02 | 1.501 | Muy seco |
| 2003/04 | 1.496 | Muy seco |
| 2004/05 | 1.251 | Muy seco |

Tabla N° 3: Estación Cerro Azul. Clasificación de los años seleccionados según su pluviosidad. Elaboración propia en base a información suministrada por INTA.

Los años de condición de humedad *promedio* están representados por 11 años hidrológicos distribuidos: 5 (cinco) en la década de los años '60; 1 (uno) en la de los años '70; 1 (uno) en los años '80; y 3 (tres) en los años '90.

Por su parte, los años hidrológicos *secos* son 4: 1 (uno) al final de la década de los años '50; 2 (dos) a mediados de los años '60; y 1 (uno), 30 años después, al final de los años '90.

Finalmente, la condición de años *muy secos* está representada por 11 años hidrológicos distribuidos: 2 (dos) en la década de los años '60; 3 (tres) en la década de los años '70; 1 (uno) en la década de los años '80; 1 (uno) en los años '90; y, 3 (tres) en la última década.

1.1.5 Análisis del régimen hidrológico del Arroyo Yabebiry

Como ya se ha expresado, el análisis del régimen del Arroyo Yabebiry en el período 1958/59 – 2004/05 se orienta a identificar posibles alteraciones que puedan relacionarse con cambios en los usos del suelo en su cuenca. Para ello se aplicaron los siguientes métodos de análisis:

- Curvas de Frecuencia de Caudales Medios Diarios; y,
- Curvas de recesión en hidrogramas de eventos.

1.1.5.1 Método de las Curvas de Frecuencia de Caudales

- *Antecedentes sobre el método*

Como su nombre lo indica, las *Curvas de Frecuencia de Caudales –CFC*, –también denominadas *curvas de duración de caudales*, representan el porcentaje de tiempo en que un determinado valor de caudal fue igualado o superado, durante un período dado. De este modo, caracterizan la relación entre la frecuencia y la magnitud de los caudales de la cuenca, mostrando la forma en que la misma produce flujo -escurrimiento- de diferentes magnitudes.

Estas curvas han sido aplicadas a muy diversos estudios hidrológicos, incluyendo a la ingeniería hidroeléctrica, al control de crecidas, al control de la calidad del agua, en estudios de sedimentación en ríos, entre otros (VOGEL y FENNESSEY, 1996). La revisión realizada por dichos autores ilustra sobre problemas de diversa complejidad que han sido abordados recurriendo a las CFC: desde el análisis de los impactos de potenciales escenarios de cambio climático sobre los sistemas hidrológicos a las influencias de las diferencias regionales en geología, clima y fisiografía en las respuestas hidrológicas de las cuencas de los ríos.

En los últimos años se han producido aportes interesantes en relación con el uso de estas curvas. Por su aplicación al objetivo de este trabajo, resultan particularmente de interés aquellos aportes que contribuyen a analizar los impactos de los cambios en los usos del suelo sobre el escurrimiento de las cuencas; entre ellos:

- SIKKA A.K., junto a otros investigadores, publicó en 2003 los resultados de un proyecto de investigación referido al impacto de la conversión de pasturas naturales a plantaciones de *Eucaliptus globulus* sobre los caudales pico y el flujo base en una cuenca en el sur de la India , utilizando curvas de duración de caudales medios diarios.

- Un equipo de investigadores del “Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology”, del “Environmental and Civil Department of Melbourne University”, y del “CSIRO Land and Water” de Canberra, encabezado por BEST A., publicó en 2003 el desarrollo de un

modelo para predecir cambios en las curvas de duración de caudales debidos a alteraciones en la condición de uso del suelo.

- SILBERSTEIN R., et al. publicaron en 2004, también desde el Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology los resultados de investigaciones sobre los “efectos de la eliminación de bosques nativos sobre el régimen de escurrimiento, utilizando -entre otros- el método de las curvas de frecuencias de caudales;

- BROWN A. E et al, publicaron en 2005, los resultados de investigaciones comparativas en cuencas sometidas a distintos tratamientos -experimentos de reforestación, deforestación, regeneración y conversión forestal- utilizando para el análisis, entre otros métodos, a las curvas de duración de frecuencia para períodos anuales y estacionales.

- LANE P. et al., investigadores del Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology, publicaron en 2005 los resultados de investigaciones sobre los efectos de las reforestaciones sobre las curvas de duración de caudales;

Se trata, entonces, de un método frecuentemente utilizado para evaluar impactos de los cambios en las coberturas del suelo en una cuenca sobre el régimen hidrológico del río.

- Cálculo de las curvas de frecuencia de caudales (CFC)

Las CFC pueden ser preparadas ya sea para el período completo de registro de caudales, para años seleccionados o para períodos específicos de tiempo como pueden serlo las estaciones del año o los meses calendario, y su apariencia puede ser afectada por la unidad de tiempo utilizada. En el presente trabajo se construyeron curvas de frecuencia de caudales medios diarios, para todos los años hidrológicos para los cuales se obtuvieron registros completos.

El procedimiento de cálculo indica los siguientes pasos (OSU, 2002-2005):

Paso 1: ordenar los caudales medios diarios de mayor a menor para cada año hidrológico a analizar, involucrando un total de 365 valores (n=365)

Paso 2: asignar a cada caudal un número de orden (M), asignando 1 al mayor caudal medio diario;

Paso 3: calcular la probabilidad de excedencia (P) para cada caudal a partir de la siguiente expresión:

$$P = 100 * [M / (n + 1)]$$

P = probabilidad que un caudal sea igualado o excedido (% de tiempo)

M = número de orden de posición del caudal en la lista (adimensional)
n = número total de eventos para el período considerado (adimensional)

Por su parte, una amplia revisión sobre las herramientas disponibles para evaluar las relaciones entre las aguas superficiales y subterráneas (BRODIE R. et al., 2007) destaca las siguientes características generales de las CFC:

- El caudal medio (Q50) es el caudal que es igualado o superado el 50% del tiempo;
- Los caudales mayores a Q10, se corresponden con los eventos de crecidas;
- La parte de la curva que corresponde a caudales inferiores a Q50 representa las condiciones del escurrimiento base. Si esta parte de la curva tiene baja pendiente, se interpreta que el flujo base es significativo, dado que refleja la capacidad de la cuenca para sostener el flujo permanente; por el contrario, si en dicho tramo la curva tiene pendiente pronunciada, se interpreta que el aporte proveniente del almacenamiento subterráneo es escaso.
- La relación entre las descargas⁴ que son igualadas o excedidas el 90% del tiempo y el 50% del tiempo (Q90/Q50), comúnmente es utilizada para indicar la proporción de la contribución al escurrimiento del almacenamiento subterráneo (según NATHAN y McMAHON, 1990)
- La forma de la curva en el sector correspondiente a los caudales altos (mayores a Q50) muestra el tipo de régimen de crecidas que es probable que se produzca; una pendiente pronunciada en este tramo, indica baja frecuencia de crecidas importantes; por lo general, se interpreta que esta parte de la curva está estrechamente ligada al tipo de eventos climáticos generadores de tormentas.

Para el análisis de las curvas de frecuencias de caudales preparadas para la subcuenca del Arroyo Chapá, se recurre a dichas características generales.

- Análisis de las CFC

Aplicando el procedimiento descrito se prepararon las curvas de frecuencias de caudales medios diarios para los 29 años seleccionados para el estudio del régimen hidrológico del A° Chapá, las que se muestran en la Figura N° 10, en la página siguiente.

⁴ Una difundida definición de flujo base es "cualquier flujo que sea excedido el 70-99% del tiempo" (Smakhtin, 2001)

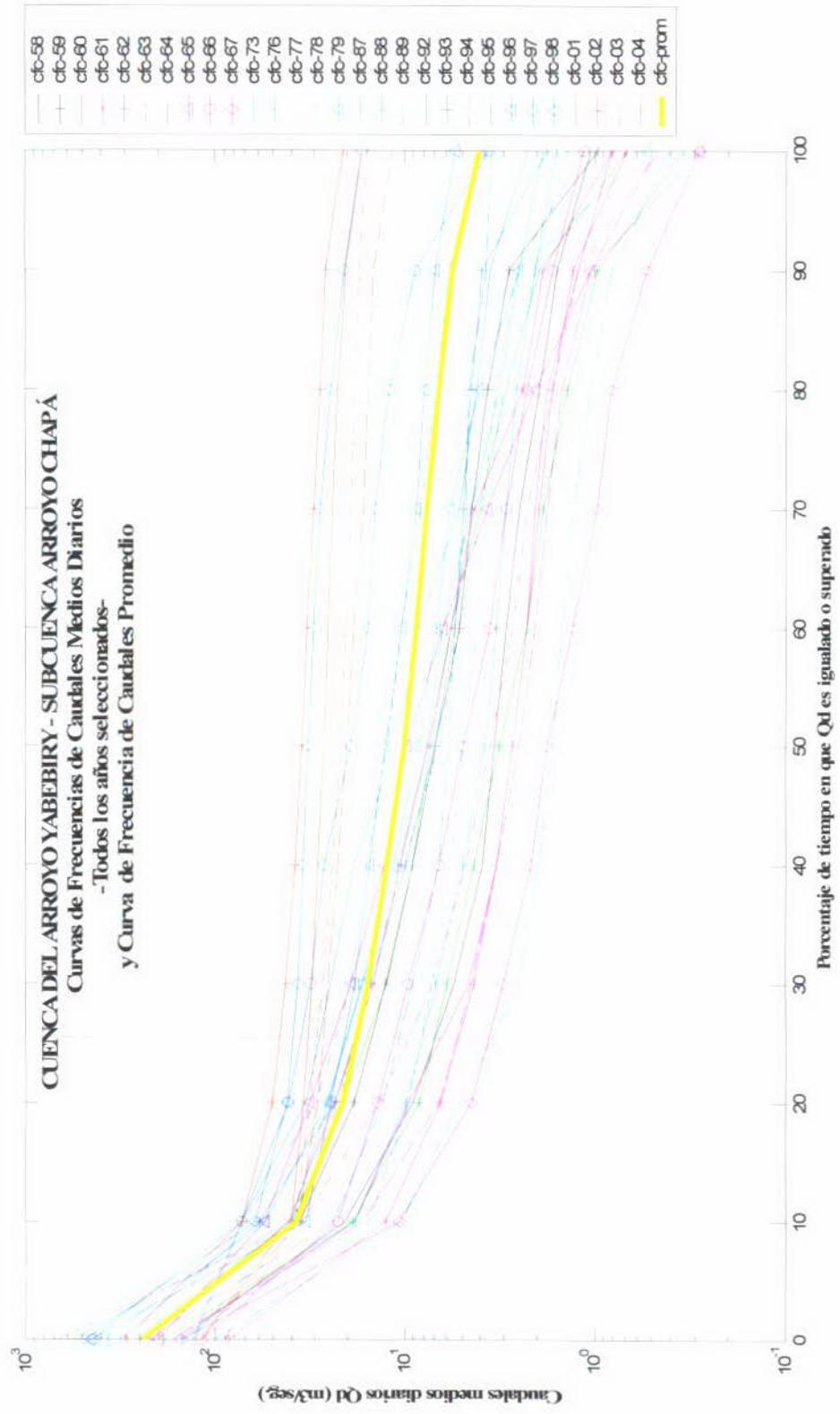


Figura N° 10: Cuenca del Arroyo Yabebiry - Subcuenca Arroyo Chapá. Curvas de frecuencias de caudales medios diarios. Todos los años seleccionados y curva promedio. Elaboración propia.

En las Figura N° 10, para apreciar mejor los rangos de caudales involucrados, se ha utilizado una escala logarítmica para el eje de los caudales medios diarios.

Asimismo, para visualizar rápidamente los cambios en el tiempo, se han representado con líneas de distintos colores a las curvas pertenecientes a años hidrológicos de diferentes décadas, identificándose cada año hidrológico con diferentes símbolos, de la siguiente manera:

- 2 (dos) curvas de la década de 1950 en color negro;
- 8 (ocho) curvas de la década de 1960 en color magenta;
- 5 (cinco) curvas de la década de 1970 en color cian;
- 3 (tres) curvas de la década de 1980 en color verde;
- 7 (siete) curvas de la década de 1990 en color azul; y,
- 4 (cuatro) curvas de la década de 2000 en color rojo
- en color amarillo ha sido representada la curva de frecuencia de caudales promedio para la serie seleccionada.

Una primer observación sobre el conjunto de curvas representadas surge a partir del *análisis de la forma* de las mismas.

En efecto, la figura muestra que la forma típica de pendientes pronunciadas para los caudales extremos ($Q > Q_{10}$ y $Q < Q_{90}$) y una curva con pendiente más suave en el tramo de caudales intermedios ($Q_{10} < Q < Q_{90}$), se mantiene aproximadamente hasta mediados de la década de 1990 (curvas en color azul), aunque algunos años de la década de los 70 (color cian) y de los 90 (color azul) muestran una clara suavización de las pendientes en el último tramo –u horizontalización–, lo cual es más notable en las curvas de los años 2000 (color rojo).

Se observa también una clara tendencia de las curvas, sostenida en todo el período analizado, a moverse en la dirección de los caudales mayores, en prácticamente todos los deciles de tiempo.

También puede observarse que las curvas que se ubican por encima de la curva promedio, particularmente para los Q_{50} y Q_{90} , pertenecen a las décadas de 1990 y 2000, es decir, a los años más recientes del registro. Esta observación estaría indicando un proceso de incremento del escurrimiento.

| Años | Caudales Característicos | | |
|------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | Q10 (m ³ /seg) | Q50 (m ³ /seg) | Q90 (m ³ /seg) |
| 1958 | 20,6 | 3,4 | 1,6 |
| 1959 | 35,8 | 6,9 | 2,8 |
| 1960 | 18,2 | 2,7 | 1,2 |
| 1961 | 41,2 | 7,4 | 1,8 |
| 1962 | 12,6 | 2,7 | 1,3 |
| 1963 | 34,8 | 3,5 | 1,2 |
| 1964 | 16,5 | 2,5 | 1 |
| 1965 | 55 | 9,7 | 1 |
| 1966 | 22,4 | 4,9 | 1,7 |
| 1967 | 10,7 | 1,7 | 0,5 |
| 1973 | 39,9 | 7,6 | 2,5 |
| 1976 | 18,2 | 3,8 | 2 |
| 1977 | 15,2 | 4,9 | 2 |
| 1978 | 10,3 | 1,7 | 0,8 |
| 1979 | 54 | 8,5 | 2,5 |
| 1987 | 38,9 | 7,2 | 1,9 |
| 1988 | 18,9 | 3,1 | 1 |
| 1989 | 39,9 | 6,6 | 2,6 |
| 1992 | 73,1 | 11,1 | 3,5 |
| 1993 | 58,6 | 6,9 | 3,9 |
| 1994 | 69,8 | 12,3 | 5,9 |
| 1995 | 23,5 | 5,9 | 3,7 |
| 1996 | 33,3 | 12,6 | 6,9 |
| 1997 | 72,6 | 19,3 | 8,8 |
| 1998 | 62 | 32 | 20,9 |
| 2001 | 39,5 | 26,7 | 20,3 |
| 2002 | 72,4 | 34,7 | 26,1 |
| 2003 | 37,9 | 21,4 | 17,5 |
| 2004 | 36,5 | 20,1 | 14,5 |

Tabla N° 4: Cuenca del Arroyo Yabebiry - Subcuenca Arroyo Chapá. Curvas de frecuencias de caudales medios diarios. Variación de caudales característicos. Elaboración propia.

La Tabla N° 4, muestra los caudales característicos Q10, Q50 y Q90 para el conjunto de años seleccionados y la Figura N° 11, en la página siguiente, representa dichos caudales característicos en función del tiempo; de su análisis pueden extraerse las siguientes observaciones:

- entre el principio y el final de la serie analizada, es decir, entre los años 1950-1960 y 1990-2000, el caudal medio (Q50) pasa de valores menores a 10 m³/seg. a valores superiores a 30 m³/seg.; y,
- el Q90, es decir los caudales más bajos, pasan del orden de 2 m³/seg. a 20 m³/seg.

Los caudales mayores a Q10, es decir los caudales de los eventos de crecidas, también muestran un incremento, pero al estar muy relacionados con las características específicas de las tormentas revisten menos interés para el presente estudio.

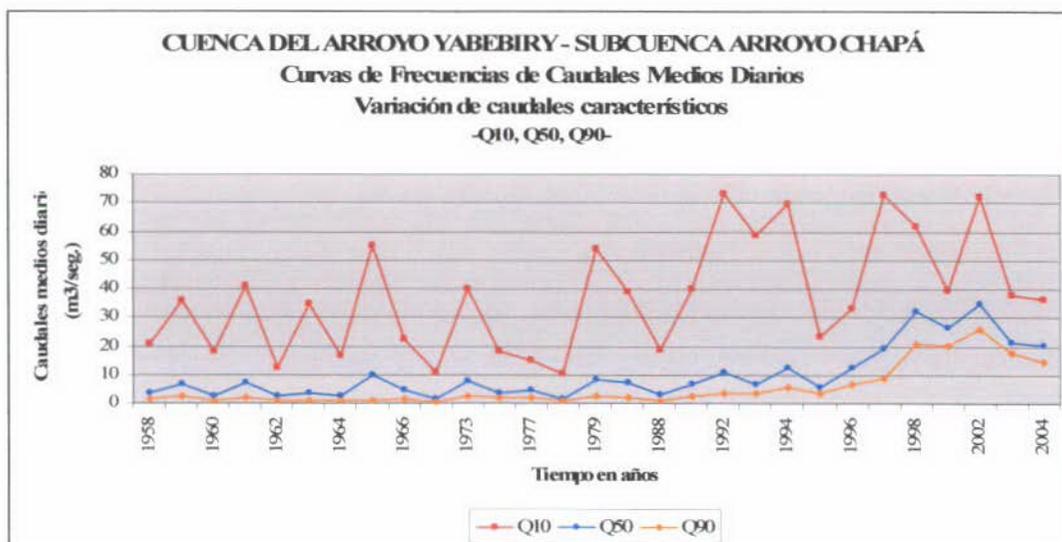


Figura N° 11: Cuenca del Arroyo Yabebiry - Subcuenca Arroyo Chapá. Curvas de frecuencias de caudales medios diarios. Variación de caudales característicos. Elaboración propia.

En la Figura N° 11 se advierte que los valores de Q50 y Q90 mantienen una tendencia relativamente estable hasta fines de la década de 1970; a partir de principio de los años '80 comienzan a mostrar una tendencia creciente, la cual se hace muy notable a partir de mediados de los años '90.

La relación entre Q90/Q50 en el período analizado, se ha representado en la siguiente Figura N° 12; en la misma, la línea de puntos representa la media móvil con período de 5 años.

Como ya se ha expresado, la relación Q90/Q50 normalmente es utilizada para indicar la proporción de la contribución del almacenamiento subterráneo al escurrimiento. En el caso en estudio, la tendencia señalada por la media móvil –con período de 5 años- estaría indicando que, desde principios de los años '90, se manifiesta una creciente participación del almacenamiento subterráneo en la conformación del escurrimiento total.

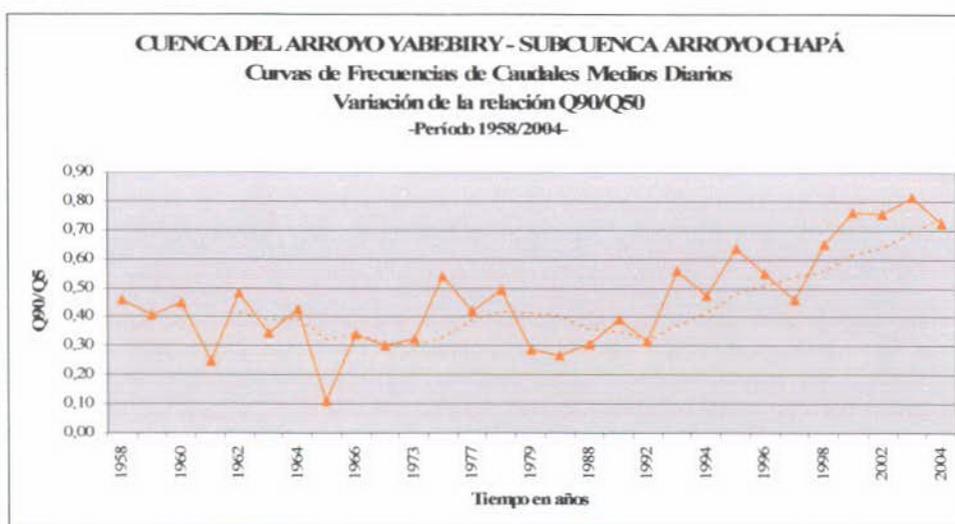


Figura N°12 : Cuenca del Arroyo Yabebiry - Subcuenca Arroyo Chapá. Curvas de frecuencias de caudales medios diarios. Variación de la relación Q90/Q50. Elaboración propia.

En las Figuras N° 13 a N° 17, se ha representado a las CFC agrupadas según las condiciones de humedad correspondientes a los respectivos años hidrológicos: muy húmedos, húmedos, promedios, secos y muy secos; en ellas se ha agregado como referencia la CFC promedio -en color amarillo- para la serie de años seleccionada.

La Figura N° 13, corresponde a la curva del año hidrológico 2002/03 el cual, según el criterio adoptado, fue un año *muy húmedo*, el único en la serie seleccionada, con precipitación anual superior a 2.567 mm.

Tratándose de un año hidrológico muy húmedo, es razonable suponer que el área de estudio se encuentra saturada, con todos los procesos hidrológicos funcionando a pleno, y que todos los procesos hidrológicos participan en la generación de escorrentía.

Debido a la falta de registros completos para otros años con condiciones hidrológicas semejantes, dicha curva solo puede ser analizada tomando como referencia a la curva promedio para el período, representada en la figura por cfc-prom.

La forma de la curva se observa sustancialmente modificada, con pendientes más suaves en todos los tramos, y ubicada totalmente en el segundo y tercer ciclo de la escala de caudales.

Ello puede advertirse en la Figura N° 13, pero se observa más claramente en la Figura N° 10 que permite visualizarla en el contexto de las demás curvas representativas del conjunto de años adoptados para el estudio.

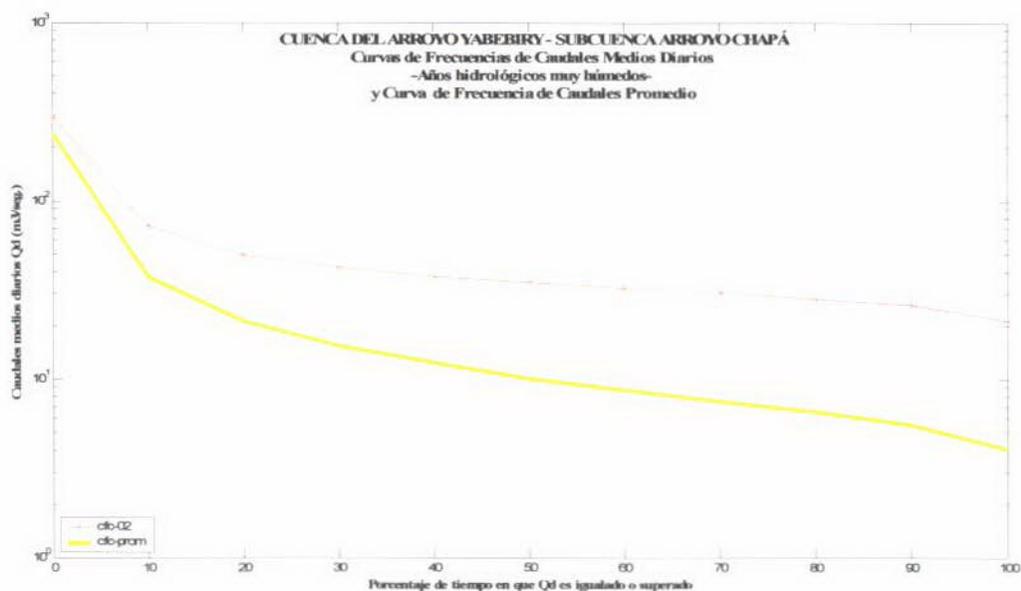


Figura N° 13 : Cuenca del Arroyo Yabebiry - Subcuenca Arroyo Chapá. Curvas de Frecuencias de Caudales Medios Diarios. Año hidrológico muy húmedo. Elaboración propia

Por su parte, el análisis de los caudales característicos permite corroborar un notorio aumento con relación al año promedio, como puede observarse en la Tabla N° 5, en la cual también se ha incluido la relación Q90/Q50.

| Años | Caudales característicos | | | Q90/Q50 |
|-------|--------------------------|------|------|---------|
| | Q10 | Q50 | Q90 | |
| 2002 | 72,4 | 34,7 | 26,1 | 0,75 |
| Qprom | 37,3 | 10,1 | 5,6 | 0,55 |

Tabla N° 5: Cuenca del Arroyo Yabebiry - Subcuenca Arroyo Chapá. Curvas de Frecuencias de Caudales Medios Diarios. Año hidrológico muy húmedo y promedio. Caudales característicos. Elaboración propia

Es de interés observar que para este año *–muy húmedo–*, el Q50 es más de tres veces superior al de la curva promedio, pero el Q90 es más de cuatro veces y media mayor que su correspondiente en dicha curva. Por su parte, el indicador de la proporción de la contribución del escurrimiento subterráneo al derrame total -relación Q90/Q50- es un 40% mayor para este año hidrológico que para el año promedio

La Figura N° 14 muestra las curvas de frecuencia de caudales para los tres años hidrológicos clasificados por su pluviosidad como *húmedos*, es decir, con precipitaciones anuales comprendidas entre 2.238 mm. y 2.566 mm., junto a la curva promedio para el período.

En ella se observa que las formas de las curvas registran claras modificaciones en los 11 (once) años comprendidos entre 1987 y 1998, verificables en el cambio de las pendientes de los tramos correspondientes a los caudales bajos y en el corrimiento hacia arriba de las mismas. En efecto, para 1987 la curva muestra caudales de entre 0,7m³/seg. y 250 m³/seg.; en 1997 entre 3,7 m³/seg. y 500 m³/seg.; y, en 1998 entre 19 m³/seg. y algo menos de 500 m³/seg.; los caudales mínimos son progresivamente mayores.

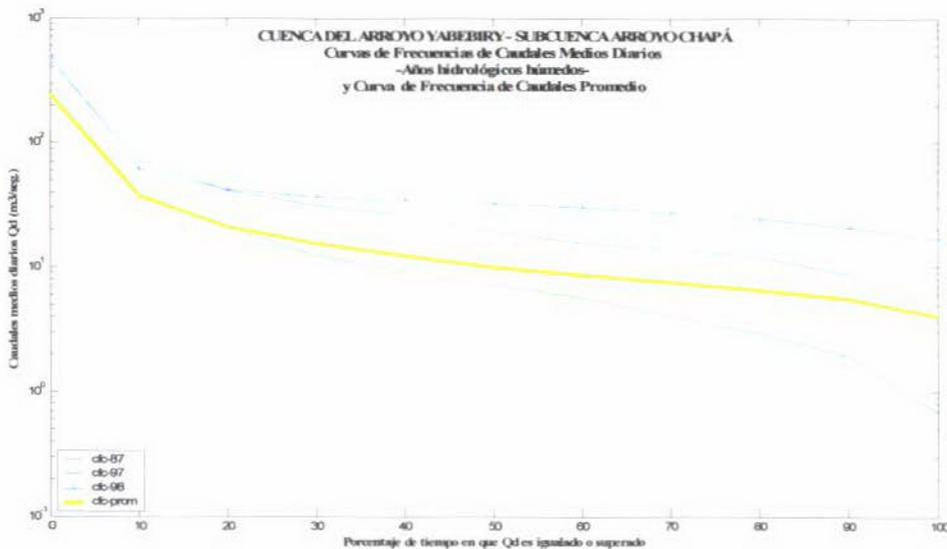


Figura N° 14: Cuenca del Arroyo Yabebiry - Subcuenca Arroyo Chapá. Curvas de Frecuencias de Caudales Medios Diarios. Años hidrológicos húmedos y año promedio

La condición de años *húmedos* hace razonable suponer que en toda la cuenca los procesos hidrológicos se encuentran funcionando con continuidad espacial y temporal, aunque con menor intensidad que en el caso anterior. La horizontalización de la pendiente del último tramo de la curva de 1998 podría explicarse en que al tratarse de dos años consecutivos de años húmedos éste último año se inició con niveles altos del período anterior.

Los caudales característicos de estos años, muestran -en la Tabla N° 6- una clara tendencia creciente, al igual que la relación que indica la proporción de escurrimiento subterráneo que contribuye al flujo total: Q50 para 1998 es 4,4 veces mayor que para 1987; Q90 para 1998 es 11 veces mayor que para 1987; y la relación Q90/Q50 para el último año de este grupo es 2,4 veces y media mayor que para 1987.

| Año | Caudales característicos | | | Q90/Q50 |
|--------------|--------------------------|------|------|---------|
| | Q10 | Q50 | Q90 | |
| 1987 | 38,9 | 7,2 | 1,9 | 0,27 |
| 1997 | 72,6 | 19,3 | 8,8 | 0,46 |
| 1998 | 62 | 32 | 20,9 | 0,65 |
| Qprom | 37,3 | 10,1 | 5,6 | 0,15 |

Tabla N° 6: Cuenca del Arroyo Yabebiry - Subcuenca Arroyo Chapá. Curvas de Frecuencias de Caudales Medios Diarios. Años hidrológicos húmedos y promedio. Caudales característicos. Elaboración propia

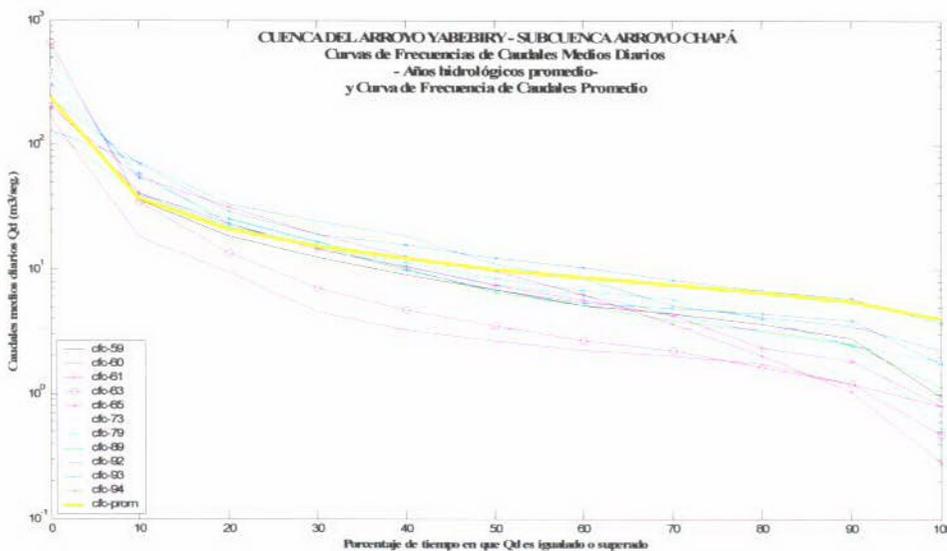


Figura N° 15: Cuenca del Arroyo Yabebiry - Subcuenca Arroyo Chapá. Curvas de Frecuencias de Caudales Medios Diarios. Años hidrológicos promedios

Los años hidrológicos de pluviosidad *promedio* están representados por las 11 (once) curvas de la siguiente Figura N° 15, y pertenecen a las diferentes décadas abarcadas por el estudio, a excepción de la década del 2000 que no está representada; se trata de años en que la precipitación anual se mantuvo entre 1.909 mm. y 2.237 mm. Al solo efecto de disponer de una referencia común

a todas las figuras, se ha representado -en amarillo- la curva de frecuencias de caudales medios diarios, promedio para el período.

La figura permite observar una gradual modificación de la forma de las curvas, particularmente en las pendientes de los tramos correspondientes a los caudales más bajos, menores que Q90: en las curvas de los años '50 y '60 (en color negro y magenta, respectivamente) se presentan pendientes acentuadas que responden mejor a la forma típica; en los años '90 (color azul) se observa la tendencia a horizontalizarse que ya se ha señalado; y en los años '70 y '80 (colores cian y verde) se observa una situación intermedia; es clara la tendencia creciente a la horizontalización, al igual que la tendencia a moverse hacia arriba en la escala de caudales.

Para estos años, la forma del tramo medio de las curvas muestra menos alteraciones respecto de la forma típica del modelo.

Por su parte, la tendencia a producir más escurrimiento con el transcurso del tiempo, si bien también es clara, resulta menos significativa que en los casos anteriormente analizados. Ello puede corroborarse en la Tabla N° 7 siguiente, con los valores de los caudales característicos para los años de pluviosidad *promedio*: el valor medio de Q50 para los años '80 y '90 es sólo una vez y media mayor que el valor medio para los años '50 y '60.

| Año | Caudales característicos | | | Q90/Q50 |
|--------------|--------------------------|------|-----|---------|
| | Q10 | Q50 | Q90 | |
| 1959 | 35,8 | 6,9 | 2,8 | 0,41 |
| 1960 | 18,2 | 2,7 | 1,2 | 0,45 |
| 1961 | 41,2 | 7,4 | 1,8 | 0,25 |
| 1963 | 34,8 | 3,5 | 1,2 | 0,34 |
| 1965 | 55,0 | 9,7 | 1,0 | 0,11 |
| 1973 | 39,9 | 7,6 | 2,5 | 0,32 |
| 1979 | 54,0 | 8,5 | 2,5 | 0,29 |
| 1989 | 39,9 | 6,6 | 2,6 | 0,39 |
| 1992 | 73,1 | 11,1 | 3,5 | 0,32 |
| 1993 | 58,6 | 6,9 | 3,9 | 0,56 |
| 1994 | 69,8 | 12,3 | 5,9 | 0,48 |
| Qprom | 37,3 | 10,1 | 5,6 | 0,15 |

Tabla N° 7: Cuenca del Arroyo Yabebiry - Subcuenca Arroyo Chapá. Curvas de Frecuencias de Caudales Medios Diarios. Años hidrológicos promedio y año promedio para el período. Caudales característicos. Elaboración propia

Las curvas de frecuencia de caudales para los años considerados *secos* por su pluviosidad se encuentran representadas en la Figura N° 16, en la página siguiente, junto con la curva promedio para el período. Se trata de cuatro años distribuidos entre las décadas de los años '50, '60 y '90, en los que las lluvias anuales totalizaron entre 1.580 mm. y 1.908 mm.

En un año hidrológico seco es razonable suponer que los procesos de generación de escurrimiento -particularmente de flujo base- pueden estar afectados de cierta discontinuidad temporal y espacial; esto es, que durante algún tiempo, ciertas partes de la cuenca pueden dejar de

participar activamente en la generación de escorrentía por agotamiento de las reservas subterráneas, mientras que otras áreas continúen haciéndolo.

En la forma de las curvas de duración de frecuencia ello se expresa en las pendientes del último tramo, que -al ser algo más pronunciadas- reflejan cierta caída en los aportes subterráneos a la conformación del escurrimiento total. En las otras partes de las curvas, las formas muestran alteraciones poco notables, aunque se observa que la curva que se ubica más arriba en la escala de caudales es la que corresponde a 1996, es decir, al último año de este grupo; ello ratifica la tendencia ya señalada respecto que con el paso del tiempo la producción de agua es mayor.

El análisis de los caudales característicos de las curvas para estos años *secos* -ver Tabla N° 8- refleja el aumento de los caudales: Q50 para 1996, es 3,5 veces mayor que el valor promedio a principios del período (años '50 y '60); Q90 para 1996, es casi 5 veces el valor promedio de los otros 3 años; y la proporción de la contribución del escurrimiento subterráneo al escurrimiento total (Q90/Q50) es 1,3 veces mayor para 1996 que para el promedio de los años '50 y '60.

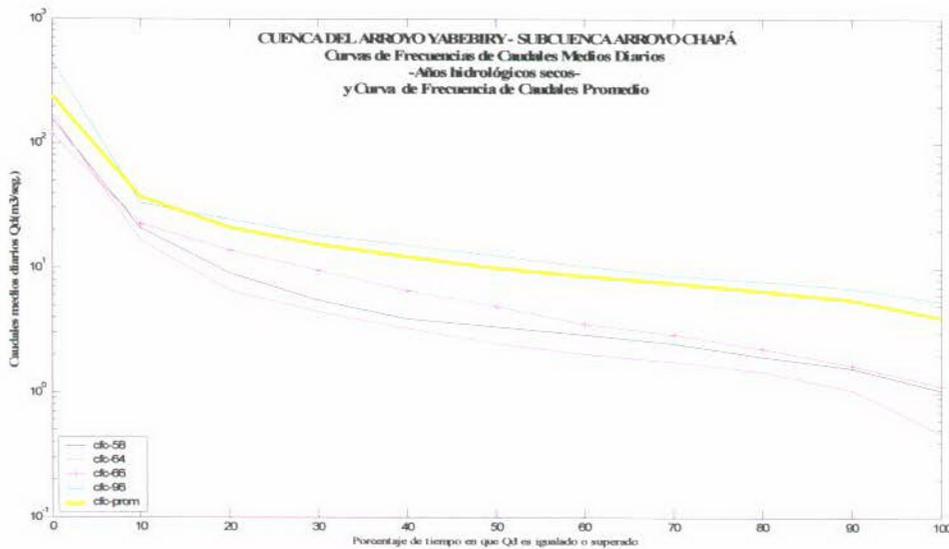


Figura N° 16: Cuenca del Arroyo Yabebiry - Subcuenca Arroyo Chapá. Curvas de Frecuencias de Caudales Medios Diarios. Años hidrológicos secos

| Año | Caudales característicos | | | Q90/Q10 |
|--------------|--------------------------|------|-----|---------|
| | Q10 | Q50 | Q90 | |
| 1958 | 20,6 | 3,4 | 1,6 | 0,46 |
| 1964 | 16,5 | 2,5 | 1,0 | 0,42 |
| 1966 | 22,4 | 4,9 | 1,7 | 0,34 |
| 1996 | 33,3 | 12,6 | 6,9 | 0,55 |
| Qprom | 37,3 | 10,1 | 5,6 | 0,55 |

Tabla N° 8: Cuenca del Arroyo Yabebiry - Subcuenca Arroyo Chapá. Curvas de Frecuencias de Caudales Medios Diarios. Años hidrológicos secos y promedio. Caudales característicos. Elaboración propia

Finalmente, la Figura N° 17, representa las curvas de frecuencias de caudales medios diarios para los 10 (diez) años de la serie considerada que fueron clasificados como *muy secos*, es decir, aquellos cuyas precipitaciones anuales totalizaron menos de 1.579 mm. Esta figura contiene un grupo de curvas representativas de todas las décadas abordadas por el estudio, excepto de los años '50; al igual que en los casos anteriores, también se ha representado como referencia, la curva promedio para el período completo.

En condiciones de sequías muy marcadas es esperable que los procesos hidrológicos se interrumpan en una parte importante de la cuenca y por períodos de tiempo más prolongados y, consecuentemente, que mermen significativamente los aportes provenientes del almacenamiento subterráneo.

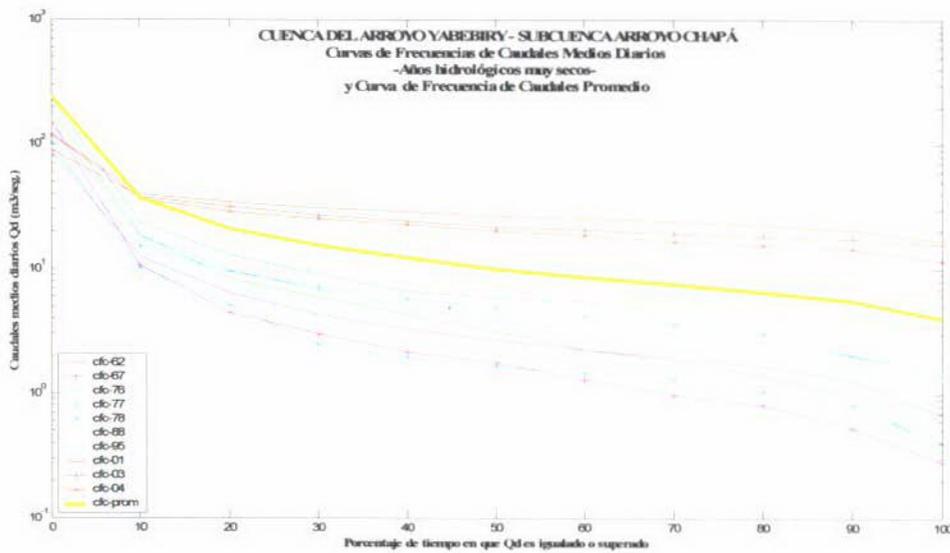


Figura N° 17: Cuenca del Arroyo Yabebiry - Subcuenca Arroyo Chapá. Curvas de Frecuencias de Caudales Medios Diarios. Años hidrológicos muy secos

La figura permite advertir, tal vez mejor que en las anteriores, las modificaciones experimentadas en las formas de las curvas: una gradual horizontalización de los tramos medios, y de los correspondientes a los caudales más bajos; y el aumento de los caudales en el tiempo evidenciado por el corrimiento hacia arriba en la escala de caudales, particularmente en las curvas correspondientes a años de la década del '90 y 2000.

Por su parte, los caudales característicos de estos años, contenidos en la Tabla N° 9 de la página siguiente, permiten corroborar los siguientes cambios en el escurrimiento: el valor promedio de Q50 para los años 2000 resulta 10 veces superior al valor promedio para los años '60; el valor promedio de Q90 es al final del período 19 veces superior que al principio; y la relación Q90/Q50, que como ya se ha expresado, es un indicador de la proporción del flujo subterráneo en el escurrimiento total, es en promedio dos veces superior en los años 2000 que en los años '60.

| Año | Caudales característicos | | | Q90/Q50 |
|-------------|--------------------------|------|------|---------|
| | Q10 | Q50 | Q90 | |
| 1962 | 12,6 | 2,7 | 1,3 | 0,48 |
| 1967 | 10,7 | 1,7 | 0,5 | 0,30 |
| 1976 | 18,2 | 3,8 | 2,0 | 0,54 |
| 1977 | 15,2 | 4,9 | 2,0 | 0,42 |
| 1978 | 10,3 | 1,7 | 0,8 | 0,49 |
| 1988 | 18,9 | 3,1 | 1,0 | 0,31 |
| 1995 | 23,5 | 5,9 | 3,7 | 0,64 |
| 2001 | 39,5 | 26,7 | 20,3 | 0,76 |
| 2003 | 37,9 | 21,4 | 17,5 | 0,82 |
| 2004 | 36,5 | 20,1 | 14,5 | 0,72 |
| Qmed | 37,3 | 10,1 | 5,6 | 0,55 |

Tabla N° 9: Cuenca del Arroyo Yabebiry - Subcuenca Arroyo Chapá. Curvas de Frecuencias de Caudales Medios Diarios. Años hidrológicos muy secos y año promedio para el período. Caudales característicos. Elaboración propia

- Conclusiones

El método de las curvas de frecuencias de caudales medios diarios utilizado como parte del análisis del régimen del arroyo Chapá, en la cuenca del arroyo Yabebiry, permitió identificar los siguientes cambios ocurridos en el período 1958/2004:

- incremento progresivo de los caudales medios diarios en el período analizado: entre 1958 y 2004 el caudal medio diario, representado por Q50, pasó de valores del orden de 10 m³/seg. a valores superiores a 30 m³/seg.; y los caudales más bajos, representados por Q90, pasaron del orden de 2 m³/seg. a 20 m³/seg.;
- incremento progresivo de la relación Q90/Q50 es decir de la participación del componente subterráneo en la conformación del escurrimiento en la cuenca: de una relación promedio del orden del 40% en los primeros cinco años considerados, se pasó a una relación superior al 70% para los últimos 5 años involucrados en el estudio;
- estos cambios se produjeron en forma gradual, con independencia de las variaciones normales de la pluviosidad anual, pero en cierta manera, comenzaron a “dispararse” desde principios de la década de 1980 en adelante.

Es importante destacar que estos resultados están en un todo de acuerdo con los encontrados por otros trabajos realizados alrededor del mundo. Similares resultados muestran investigaciones analizadas en una importante revisión sobre estudios en más de 160 cuencas de diversas partes del mundo (BROWN, A. E., 2005), los estudios realizados en las cuencas del río Lemmon y Wights, en Australia (SILBERSTEIN R, et al., 2004), entre otros otros antecedentes.

1.1.5.2 Análisis de curvas de recesión de hidrogramas de eventos

- Antecedentes sobre el método

El hidrograma es una expresión integral de las características fisiográficas y climáticas que gobiernan la relación entre las precipitaciones y la escorrentía en la cuenca (VEN TE CHOW, 1988). Mientras los hidrogramas anuales o para períodos prolongados constituyen una representación del balance de largo plazo entre las precipitaciones, la evapotranspiración y el escurrimiento, los hidrogramas aislados, generados por eventos de precipitación particulares, muestran la respuesta de la cuenca ante tales eventos lluviosos.

En efecto, en el hidrograma correspondiente a un evento aislado, la curva de recesión o de abatimiento muestra la forma en que disminuye el volumen de agua almacenado en la cuenca desde el momento en que se produjo el máximo caudal generado por dicho evento hasta que retoma el estado previo a la lluvia. Se trata de una curva con pendiente decreciente debido a que representa los volúmenes provenientes de distintos tipos de almacenamiento en la cuenca, los que se transforman en escurrimiento con diferentes tiempos de retardo después del evento lluvioso: al momento de inicio de la curva de recesión el escurrimiento es aportado una parte por el escurrimiento base -flujo permanente- y otra por el escurrimiento superficial directo, el de más rápida respuesta; al cesar la lluvia, continúan los aportes de flujo permanente, el escurrimiento directo comienza a disminuir y comienza a manifestarse el escurrimiento proveniente del almacenamiento subsuperficial; finalmente, cuando el curso vuelve a retomar los niveles previos a la tormenta, cesan el flujo directo y el subsuperficial, y los volúmenes son sólo provenientes del almacenamiento subterráneo.

La respuesta de la cuenca ante eventos similares también debe ser similar, y cuando a lo largo del tiempo se verifican cambios en la misma es porque se han producido cambios físicos en la cuenca (por ejemplo en la cobertura vegetal, en los usos del suelo, en los usos del agua, entre otros) que han modificado las variables hidrológicas que afectan al escurrimiento. En cuencas grandes, puede variar dependiendo del área de la misma cubierta por la lluvia.

A fin de comprender mejor los procesos que contribuyen a la formación del flujo subterráneo se pueden analizar distintos segmentos de la curva de recesión. Tradicionalmente se ha recurrido a diferentes métodos gráficos, pero en los últimos años los análisis se han orientado hacia soluciones analíticas o modelos matemáticos que se ajustan a estos segmentos de la recesión (BRODIE R., 2007).

Cada segmento relacionado con el abatimiento del escurrimiento en los cauces, subsuperficial y subterráneo, es considerado una clásica función exponencial negativa, y puede ser expresada mediante la siguiente ecuación:

$$Q_t = Q_0 k^t$$

En dicha expresión Q_t es el caudal de la corriente en el momento t , Q_0 es el caudal al inicio del segmento de la curva de recesión, y k es la constante de recesión.

La representación semilogarítmica de la curva de abatimiento, ajusta a segmentos de rectas de pendientes $\log k$. En el trabajo citado (BRODIE R., 2007) se reseñan diferentes metodologías para el análisis de estos segmentos, entre ellas, la representación semilogarítmica de la curva de recesión y ajuste de tres rectas con diferentes pendientes (Barnes, 1940). En dicho método, se asume que el gradiente de estas rectas es la constante de recesión de los principales componentes del escurrimiento superficial, subsuperficial y subterráneo.

- Cálculo de las constantes de recesión

Los eventos a analizar, deben ser seleccionados procurando que cumplan con la condición de que muestren curvas de recesión “limpias”, esto es sin alteraciones resultantes de eventuales precipitaciones posteriores al momento en que se produjera el caudal pico; y procurando también que se trate de eventos importantes, buscando así una completa cobertura de la cuenca.

Para analizar las recesiones, los datos extraídos de los hidrogramas de caudales medios diarios se representan en escala semilogarítmica, como ilustra la siguiente Figura N° 18.

Para identificar los distintos segmentos de las recesiones se realizó un análisis gráfico (BARNES, 1940), ajustado en función de la relación Q_t/Q_{t-1} (HINO y HASEBE, 1984) calculada para cada evento seleccionado.

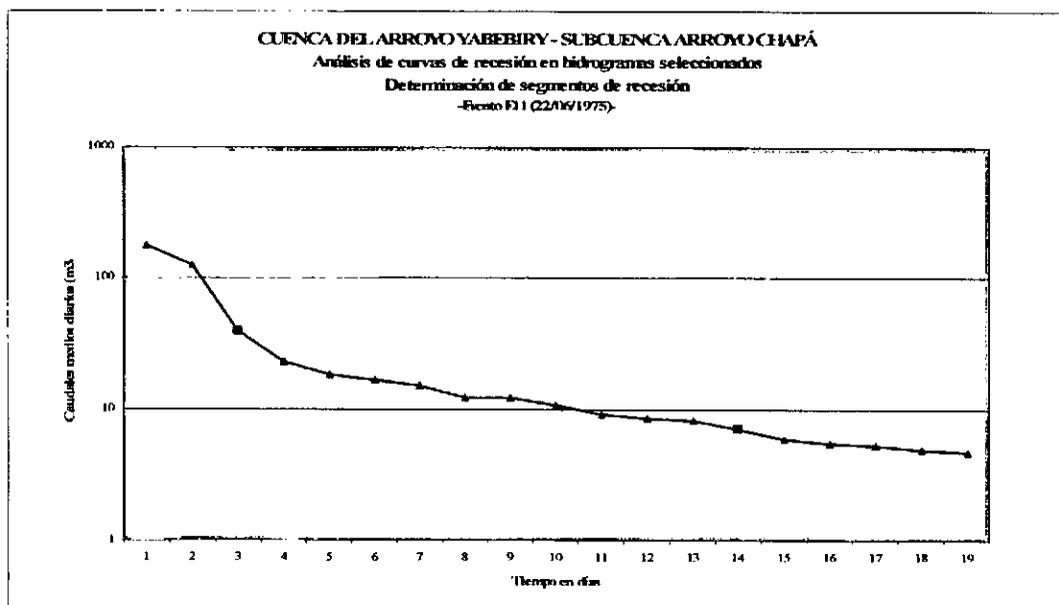


Figura N°18 : Cuenca del Arroyo Yabebiry - Subcuenca Arroyo Chapá. Análisis de curvas de recesión en hidrogramas seleccionados. Determinación de segmentos de recesión. Evento E11 (22/06/1975).

Elaboración propia

En la figura anterior, los puntos de color rojo muestran -a modo de ejemplo-, la separación entre los tramos de los segmentos correspondientes sobre los cuales separar las componentes del escurrimiento superficial, del flujo subsuperficial, y del flujo subterráneo.

Como ya se ha expresado, el método a aplicar (BARNES, 1940) asume que la pendiente de estos segmentos es la constante de recesión k de los principales componentes del escurrimiento superficial, subsuperficial y subterráneo.

El cálculo de k , para cada tramo, se deduce a partir de la aplicación de logaritmo a la expresión:

$$Q_t = Q_0 k^t$$

$$\log Q_t = \log Q_0 + t \cdot \log k$$

Como se necesita despejar k :

$$\log k = (\log Q_t - \log Q_0) / t$$

La expresión final para calcular las constantes es:

$$k = 10^{(\log Q_t - \log Q_0) / t}$$

En el presente trabajo, siendo que se dispone de los valores diarios para la Estación de Aforos de Colonia Mártires, Q_t es el caudal medio diario correspondiente al extremo final del segmento de la recesión analizado; Q_0 es el caudal medio diario correspondiente al punto inicial de dicho segmento; y t el tiempo en días transcurrido entre el momento inicial y el final del tramo considerado.

Disponiendo de los segmentos de la recesión identificados como se ha descrito, el proceso de cálculo de las constantes se inicia con el de la pendiente k_3 , correspondiente al flujo subterráneo; obtenida dicha pendiente se proyecta el escurrimiento subterráneo hacia atrás en el tiempo -hasta el momento del caudal pico- y se descuentan del hidrograma total los caudales aportados por el flujo base o subterráneo. El hidrograma restante representa la suma de los aportes de los componentes subsuperficial y subterráneo. El paso siguiente es repetir procedimiento para el cálculo de la pendiente k_2 al tramo de la recesión correspondiente al aporte subsuperficial; proyectar de la misma manera hacia atrás dichos aportes y descontar del hidrograma restante los caudales correspondientes al flujo subsuperficial. El hidrograma restante es, finalmente, representativo del flujo superficial; repitiendo el procedimiento, se estima k_1 .

- Selección de hidrogramas a analizar

Con la finalidad de investigar eventuales cambios en la respuesta hidrológica de la cuenca del A° Chapá, se analizaron los hidrogramas generados por 27 tormentas producidas entre 1958 y 2004. Los criterios utilizados para la selección de la mayor parte de los eventos se basaron en que se tratase de tormentas lo suficientemente importantes como para suponer una cobertura completa del área de la cuenca y que los hidrogramas mostraran curvas de recesión bien definidas, lo menos disturbadas posibles por sucesivos eventos lluvioso; pero también se analizaron hidrogramas bien definidos correspondientes a eventos de menor importancia.

Los eventos fueron identificados a partir de los registros de precipitaciones diarias de la Estación Cerro Azul (INTA) y los hidrogramas a partir de los datos de la Estación de Aforos de Col. Mártires (SRH).

Las Tablas N° 10 a N° 12, y las Figuras N° 19 a N° 21, en las páginas siguientes, muestran las curvas de recesión de todos los eventos, agrupados según rangos de caudales medios diarios - Qp-.

Por su parte, la Tabla N° 13 -en la página N° 34- presenta la información de contexto correspondiente a los 27 eventos seleccionados. En la misma se consigna: la fecha del evento, la precipitación diaria generadora del hidrograma -P (mm.)-, el caudal pico -Qp (m³/seg.)- correspondiente, e información que hace al contexto hidrológico en el que se produjo el evento, tal como: clase de año hidrológico según su pluviosidad; cantidad de lluvia acumulada durante los 7 y 15 días previos -P (mm.) 7 días y P (mm.) 15 días- ; precipitación del mes anterior al del evento - P_{m-1} (mm.)-; y evaporación real del mes anterior - ER_{m-1} (mm.).

Los datos de evaporación real y de reserva de agua en el suelo fueron estimados a partir de un balance hídrico mensual realizado mediante la aplicación de un modelo desarrollado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, 2007), basado en el método de Thornthwaite⁵.

Para facilitar el análisis posterior de las constantes, los eventos pueden ser caracterizados según las condiciones de contexto hidrológico en que se produjeron.

Si se agrupa a los 27 eventos por mitades según el orden cronológico, se genera un grupo de 13 eventos ocurridos entre 1958 y 1977 (E1 a E13), y otro de 14 eventos ocurridos entre 1979 y 2004 (E14 a E27).

⁵ El modelo de Balance hídrico fue corrido para el período 1972/2000 con los datos de precipitaciones de la Estación de Aforos de Col. Mártires (SRH). Para los eventos fuera de dicho período los datos de precipitación corresponden al registro de la Estación Cerro Azul (INTA) y las estimaciones de evaporación real, al promedio para el mes correspondiente estimado por el balance hídrico para dicha estación aplicando el mismo modelo.

| Días | Caudales medios diarios (m ³ /seg.) de los eventos | | | | | | | |
|------|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | E8 | E17 | E9 | E20 | E4 | E23 | E11 | E14 |
| 1 | 542,57 | 264,30 | 238,42 | 236,99 | 235,69 | 196,67 | 177,70 | 162,11 |
| 2 | 166,08 | 189,86 | 147,46 | 134,44 | 57,85 | 82,58 | 125,83 | 100,31 |
| 3 | 77,60 | 77,60 | 66,21 | 51,48 | 30,82 | 42,48 | 39,13 | 70,96 |
| 4 | 34,08 | 38,87 | 31,82 | 24,03 | 21,38 | 34,67 | 23,11 | 60,46 |
| 5 | 24,84 | 31,61 | 21,13 | 20,08 | 15,93 | 30,92 | 18,42 | 46,76 |
| 6 | 25,09 | 24,34 | 15,68 | 18,51 | 12,16 | 28,79 | 16,70 | 37,61 |
| 7 | 22,61 | 21,38 | 15,43 | 15,57 | 9,86 | 26,67 | 15,19 | 31,82 |
| 8 | 20,88 | 20,14 | 11,51 | 14,53 | 8,32 | 25,61 | 12,16 | 26,33 |
| 9 | 19,40 | 20,14 | 9,27 | 13,78 | 7,25 | 24,55 | 12,16 | 22,12 |
| 10 | 17,93 | | 7,78 | | 6,09 | 23,76 | 10,67 | 19,90 |
| 11 | 16,46 | | 7,25 | | 5,46 | 23,63 | 9,27 | 18,18 |
| 12 | 15,19 | | | | 4,87 | 23,50 | 8,51 | 16,46 |
| 13 | 13,75 | | | | 4,44 | 20,87 | 8,14 | 14,94 |
| 14 | 12,38 | | | | 4,04 | 19,56 | 7,08 | 13,06 |
| 15 | 11,09 | | | | 3,64 | 19,03 | 5,93 | 11,51 |
| 16 | 9,86 | | | | 3,52 | 19,03 | 5,46 | 10,26 |
| 17 | 8,69 | | | | 3,39 | 19,03 | 5,31 | 9,27 |
| 18 | 7,60 | | | | 3,27 | 18,77 | 4,87 | 8,14 |
| 19 | 6,57 | | | | 3,15 | 18,77 | 4,73 | 7,25 |
| 20 | 5,62 | | | | 3,03 | 18,77 | | 6,91 |
| 21 | 4,73 | | | | 2,91 | 18,77 | | |
| 22 | 3,90 | | | | 2,80 | 18,77 | | |
| 23 | | | | | 2,57 | 18,77 | | |
| 24 | | | | | 2,46 | | | |
| 25 | | | | | 2,36 | | | |
| 26 | | | | | 2,25 | | | |
| 27 | | | | | 2,15 | | | |

Tabla N° 10: Cuenca del Arroyo Yabebiry – Subcuenca Arroyo Chapá. Curvas de recesión de los eventos seleccionados. Eventos con $Q_p > 150 \text{ m}^3/\text{seg.}$ Elaboración propia

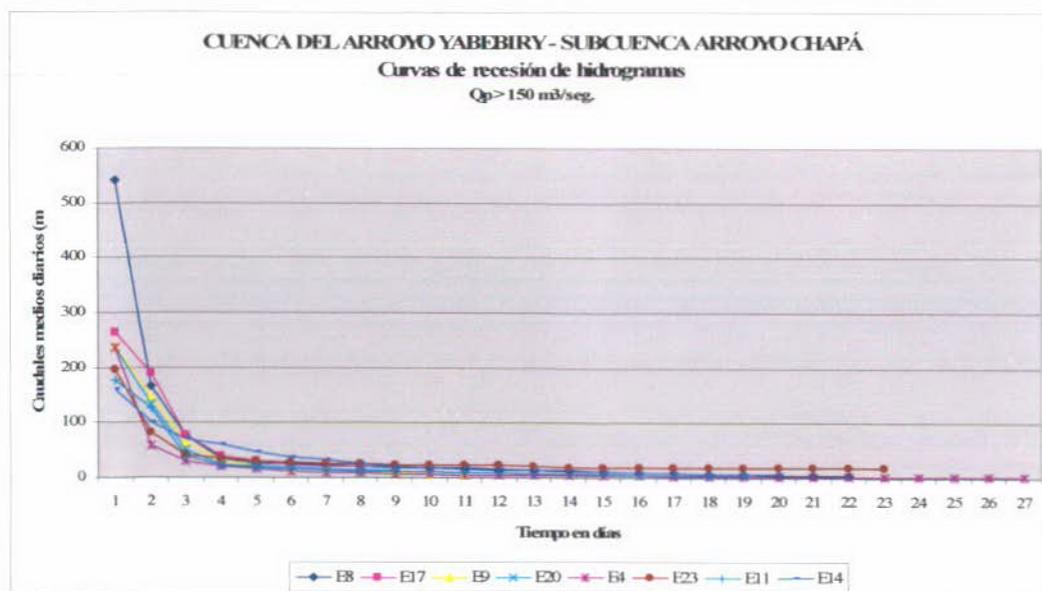


Figura N° 19: Cuenca del Arroyo Yabebiry – Subcuenca Arroyo Chapá. Curvas de recesión de los eventos seleccionados. Eventos con $Q_p > 150 \text{ m}^3/\text{seg.}$ Elaboración propia

| Días | Caudales medios diarios (m ³ /seg.) de los eventos | | | | | | | | | | | |
|------|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | E16 | E15 | E6 | E21 | E10 | E5 | E19 | E25 | E26 | E13 | E2 | E18 |
| 1 | 133,29 | 131,68 | 130,75 | 119,93 | 118,99 | 118,59 | 117,37 | 117,30 | 99,62 | 90,23 | 86,71 | 64,11 |
| 2 | 73,34 | 87,52 | 104,71 | 73,76 | 50,10 | 43,19 | 76,03 | 77,16 | 60,04 | 63,59 | 51,13 | 37,61 |
| 3 | 35,59 | 50,36 | 40,65 | 34,13 | 28,57 | 28,32 | 33,33 | 50,93 | 40,86 | 34,33 | 29,32 | 17,68 |
| 4 | 25,58 | 35,34 | 25,09 | 16,94 | 21,38 | 19,90 | 18,51 | 43,30 | 34,67 | 25,09 | 17,44 | 11,30 |
| 5 | 22,61 | 30,57 | 18,42 | 12,09 | 16,21 | 16,70 | 15,05 | 37,62 | 32,26 | 18,67 | 11,09 | 10,38 |
| 6 | 20,39 | 26,33 | 14,70 | 11,17 | 12,38 | 15,43 | 12,80 | 33,33 | 30,39 | 14,70 | 7,78 | 9,46 |
| 7 | 17,68 | 23,98 | 13,29 | 12,09 | 9,66 | 12,16 | 10,50 | 31,99 | 28,26 | 12,83 | 6,74 | 8,51 |
| 8 | 12,38 | 21,13 | 11,94 | 10,95 | 7,25 | 9,86 | 9,65 | 31,46 | 27,47 | 11,09 | 5,31 | 7,42 |
| 9 | 7,08 | 18,91 | 9,66 | 9,86 | 6,41 | 8,32 | 9,02 | | 26,94 | 9,89 | 4,73 | 5,93 |
| 10 | 5,77 | 17,44 | 8,32 | 9,23 | 5,62 | 6,91 | 8,62 | | 26,41 | 8,69 | 4,44 | 5,62 |
| 11 | 4,17 | 16,21 | 7,08 | 8,42 | | 5,93 | 8,42 | | 25,88 | 8,14 | 4,04 | 5,46 |
| 12 | | 14,94 | 6,09 | 7,46 | | 5,16 | | | 25,35 | 7,42 | 3,64 | 5,24 |
| 13 | | 12,16 | 5,31 | 6,91 | | 4,73 | | | 25,08 | | 3,52 | 5,01 |
| 14 | | 11,52 | 4,73 | 6,56 | | | | | 24,82 | | 3,39 | |
| 15 | | 10,88 | 4,31 | 6,21 | | | | | 24,55 | | 3,03 | |
| 16 | | 10,26 | 4,04 | 6,04 | | | | | | | 2,80 | |
| 17 | | 9,86 | 3,77 | 5,87 | | | | | | | 2,57 | |
| 18 | | 8,88 | 3,39 | | | | | | | | 2,36 | |
| 19 | | 7,96 | 3,15 | | | | | | | | 2,25 | |
| 20 | | | 2,91 | | | | | | | | | |
| 21 | | | 2,68 | | | | | | | | | |
| 22 | | | 2,46 | | | | | | | | | |
| 23 | | | 2,36 | | | | | | | | | |
| 24 | | | 2,36 | | | | | | | | | |
| 25 | | | 2,25 | | | | | | | | | |
| 26 | | | 2,15 | | | | | | | | | |
| 27 | | | 2,04 | | | | | | | | | |
| 28 | | | 1,94 | | | | | | | | | |

Tabla N° 11: Cuenca del Arroyo Yabebiry – Subcuenca Arroyo Chapá. Curvas de recesión de los eventos seleccionados. Eventos con $60 \text{ m}^3/\text{seg} < Q_p < 150 \text{ m}^3/\text{seg}$. Elaboración propia

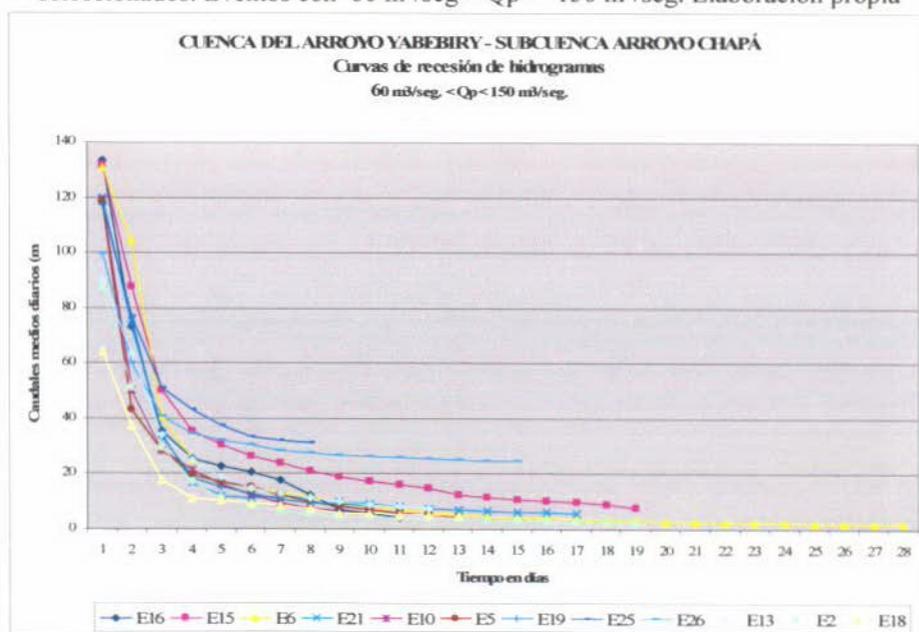


Figura N°20 : Cuenca del Arroyo Yabebiry – Subcuenca Arroyo Chapá. Curvas de recesión de los eventos seleccionados. Eventos con $60 \text{ m}^3/\text{seg} < Q_p < 150 \text{ m}^3/\text{seg}$. Elaboración propia

| Días | Caudales medios diarios (m ³ /seg.) de los eventos | | | | | | |
|------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | E22 | E24 | E3 | E7 | E27 | E12 | E1 |
| 1 | 59,76 | 58,10 | 42,68 | 38,62 | 36,54 | 24,10 | 21,62 |
| 2 | 40,86 | 52,58 | 22,36 | 24,84 | 28,53 | 18,18 | 16,21 |
| 3 | 32,52 | 43,57 | 10,88 | 15,43 | 21,13 | 14,94 | 9,86 |
| 4 | 28,53 | 39,78 | 7,25 | 10,67 | 19,03 | 12,38 | 6,57 |
| 5 | 25,35 | 36,54 | 5,46 | 8,14 | 17,72 | 10,06 | 4,58 |
| 6 | 23,76 | 34,40 | 4,31 | 6,57 | 16,68 | 8,51 | 4,04 |
| 7 | 22,71 | 32,52 | 3,64 | 5,31 | 16,10 | 7,25 | 3,77 |
| 8 | 21,66 | 31,19 | 3,15 | 4,44 | 15,57 | 6,25 | 3,27 |
| 9 | 20,87 | 30,39 | 2,91 | 4,04 | 15,57 | 5,46 | 2,91 |
| 10 | 19,82 | 30,39 | | 3,52 | 15,31 | 5,16 | 2,68 |
| 11 | 19,03 | 29,86 | | 3,15 | 15,05 | 4,73 | 2,46 |
| 12 | 18,25 | 29,06 | | 2,91 | 14,79 | 4,31 | 2,25 |
| 13 | 17,98 | 28,00 | | 2,68 | 14,79 | 4,04 | 2,04 |
| 14 | 17,98 | 26,94 | | 2,57 | 14,53 | 4,04 | 2,04 |
| 15 | 17,98 | 26,41 | | 2,46 | 14,53 | 3,77 | 1,94 |
| 16 | 17,98 | 26,41 | | 2,36 | 14,28 | 3,64 | 1,85 |
| 17 | 17,98 | 26,14 | | 2,15 | 14,28 | 3,64 | 1,75 |
| 18 | 17,98 | 25,61 | | 2,04 | 14,28 | 3,52 | 1,75 |
| 19 | 17,98 | 25,35 | | 1,94 | | 3,39 | 1,75 |
| 20 | 17,46 | 25,35 | | | | 3,39 | |
| 21 | | 25,35 | | | | 3,39 | |
| 22 | | 25,08 | | | | 3,39 | |
| 23 | | 24,82 | | | | 3,39 | |
| 24 | | 24,82 | | | | 3,27 | |
| 25 | | | | | | 3,27 | |
| 26 | | | | | | 3,15 | |
| 27 | | | | | | 3,03 | |
| 28 | | | | | | 3,03 | |
| 29 | | | | | | 2,91 | |

Figura N° 12: Cuenca del Arroyo Yabebiry – Subcuenca Arroyo Chapá. Curvas de recesión de los eventos seleccionados. Eventos con $Q_p < 60$ m³/seg. Elaboración propia

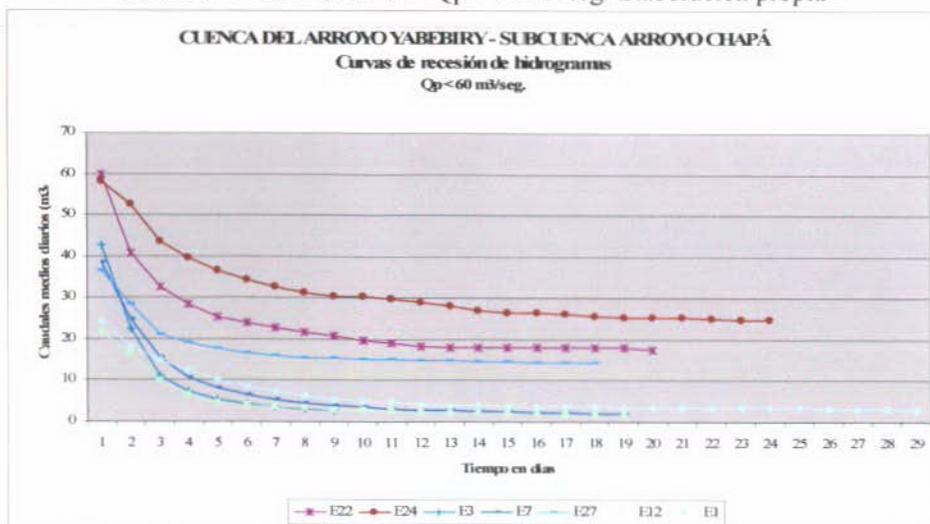


Figura N°21 : Cuenca del Arroyo Yabebiry – Subcuenca Arroyo Chapá. Curvas de recesión de los eventos seleccionados. Eventos con $Q_p < 60$ m³/seg. Elaboración propia

| Evento | FECHA TORRENTE | P (mm.) | Qp (m ³ /seg) | Contexto hidrológico de los eventos | | | | |
|--------|-------------------|------------|-----------------------------|-------------------------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|----------------------------|
| | | | | AÑO HIDROLÓGICO | P (mm.) 7 días | P (mm.) 15 días | P _{m-1} (mm.) | ER _{m-1} (mm.) |
| | | | | | | | | |
| E1 | 12/4/58 | seco | 87 | 22 | 47 | 61 | 102 | 95 |
| E2 | 16/2/60 | promedio | 116 | 51 | 83 | 83 | 137 | 124 |
| E3 | 17/3/61 | promedio | 79 | 42 | 94 | 94 | 235 | 104 |
| E4 | 15/6/63 | promedio | 128 | 240 | 31 | 34 | 164 | 51 |
| E5 | 24/8/64 | seco | 138 | 120 | 37 | 75 | 38 | 44 |
| E6 | 3/7/65 | promedio | 62 | 130 | 10 | 13 | 92 | 41 |
| E7 | 21/7/67 | muy seco | 20 | 39 | 14 | 114 | 102 | 41 |
| E8 | 9/1/69 | seco | 100 | 550 | 72 | 160 | 153 | 124 |
| E9 | 6/1/73 | muy húmedo | 107 | 238 | 7 | 20 | 106 | 123 |
| E10 | 2/12/74 | promedio | 60 | 119 | 78 | 209 | 269 | 101 |
| E11 | 22/6/75 | promedio | 173 | 178 | 0 | 17 | 62 | 51 |
| E12 | 5/6/76 | muy seco | 64 | 27 | 0 | 0 | 21 | 47 |
| E13 | 17/9/77 | muy seco | 97 | 90 | 83 | 83 | 145 | 51 |
| E14 | 25/10/79 | promedio | 117 | 162 | 0 | 24 | 206 | 59 |
| E15 | 4/9/85 | promedio | 125 | 104 | 22 | 57 | 349 | 51 |
| E16 | 21/2/87 | muy húmedo | 95 | 138 | 21 | 171 | 278 | 136 |
| E17 | 28/7/87 | húmedo | 90 | 72 | 6 | 16 | 143 | 39 |
| E18 | 7/6/89 | promedio | 70 | 65 | 22 | 33 | 45 | 51 |
| E19 | 5/4/94 | promedio | 100 | 117 | 48 | 48 | 104 | 92 |
| E20 | 24/4/94 | promedio | 73 | 237 | 54 | 54 | 104 | 92 |
| E21 | 23/3/95 | muy seco | 65 | 120 | 50 | 62 | 94 | 96 |
| E22 | 21/12/98 | húmedo | 54 | 60 | 81 | 101 | 17 | 91 |
| E23 | 12/12/99 | seco | 205 | 197 | 0 | 10 | 137 | 101 |
| E24 | 16/6/01 | muy seco | 51 | 58 | 15 | 15 | 57 | 51 |
| E25 | 9/10/01 | muy seco | 38 | 117 | 25 | 159 | 186 | 64 |
| E26 | 23/1/03 | muy húmedo | 108 | 100 | 99 | 110 | 349 | 124 |
| E27 | 13/3/04 | muy seco | 70 | 37 | 13 | 13 | 34 | 104 |

Tabla N°13 : Cuenca del Arroyo Yabebiry - Subcuenca Arroyo Chapá. Análisis de curvas de recesión en hidrogramas.

Características de contexto de los eventos seleccionados. Elaboración propia

En los grupos de eventos así definidos se observan las siguientes situaciones:

- *Distribución de los eventos según categorías de año hidrológico*

En este agrupamiento, una primer observación es que los eventos ocurridos en años hidrológicos *Muy secos* y *Promedios* se distribuyen en forma equilibrada entre la primera y segunda mitad de eventos; y lo mismo se observa si se considera agrupadamente a los eventos ocurridos en años *Secos* y *Muy secos*. A diferencia del caso anterior los eventos ocurridos en años *Húmedos* y *Muy húmedos* predominan en la segunda mitad.

| Categoría de años hidrológicos | Grupos de Eventos | | |
|--------------------------------|-------------------|-----------|-----------|
| | E1 a E13 | E14 a E27 | Total |
| Muy húmedos | 1 | 2 | 3 |
| Húmedos | 0 | 2 | 2 |
| Promedios | 6 | 5 | 11 |
| Seco | 3 | 1 | 4 |
| Muy secos | 3 | 4 | 7 |
| Total | 13 | 14 | 27 |

Tabla N° 14: Distribución de los eventos según Grupos de Eventos y categoría de año hidrológico. Elaboración propia

- *Distribución de los eventos según la magnitud de los caudales picos (Qp)*

Según esta condición se observa que los eventos se distribuyen bastante equilibradamente en ambos grupos, excepto para la categoría de caudales pico Qp considerados medios, que predominan en la segunda mitad de eventos en el período considerado.

| Caudales pico -Qp (m ³ /seg)- | | Grupos de Eventos | | |
|---|---------------|-------------------|-----------|-----------|
| | | E1 a E13 | E14 a E27 | Total |
| Altos | Qp > 150 | 4 | 3 | 7 |
| Medios | 70 < Qp < 150 | 4 | 7 | 11 |
| Bajos | Qp < 70 | 5 | 4 | 9 |
| Total | | 13 | 14 | 27 |

Tabla N° 15: Distribución de los eventos según Grupos de Eventos y magnitud de los caudales picos. Elaboración propia

- *Distribución de los eventos según el estado de humedad antecedente en la cuenca*

El estado de humedad antecedente fue definido como de exceso o déficit considerando el balance entre las precipitaciones y la evaporación real para el mes anterior, para los 15 días previos, y para los 7 días previos al inicio de cada evento. Los valores de evaporación real mensual se corresponden con los del mes previo a la tormenta y fueron obtenidos con el métodos de balance hídrico; para los estados de humedad en los 15 y 7 días previos, se prorrateó el valor correspondiente al mes anterior en forma proporcional a dichos períodos.

Los resultados del análisis así realizado se muestran en el siguiente cuadro, en el que puede observarse una clara la predominancia de situaciones de buenas condiciones de humedad antecedente para la mayoría de los eventos seleccionados a lo largo de todo el período en el que ocurrieron los eventos seleccionados.

| Condición de humedad antecedente | Grupos de Eventos | | |
|----------------------------------|-------------------|-----------|-----------|
| | E1 a E13 | E14 a E27 | Total |
| Exceso | 10 | 13 | 23 |
| Déficit | 3 | 1 | 4 |
| Total | 13 | 14 | 27 |

Tabla N° 16: Distribución de los eventos según Grupos de Eventos y condición de humedad antecedente. Elaboración propia

No obstante, los eventos ocurridos en situación de excesos de humedad son algo más frecuentes en el segundo grupo que en el primero; contrariamente, las situaciones de déficit son algo más frecuentes en el primer grupo.

- *Análisis de las constantes k_1 , k_2 y k_3*

La Tabla N° 17, contiene diferentes valores de referencia para estas constantes:

- El primero, tomado de una revisión de métodos para analizar las relaciones entre las aguas superficiales y subterráneas (BRODIE R.);
- El segundo, aportado por la Cátedra de Hidrología de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (FICH) de la Universidad Nacional del Litoral⁶;
- El tercero, combina los extremos de los rangos de referencia de los dos anteriores; y,
- Finalmente, aunque no se trata de un rango de valores, se muestran las referencias tomadas de un tradicional libro de consultas en hidrología (LINSLEY, 1977).

| Criterios | Valores de referencia para las constantes de recesión | | |
|---|---|-------------------------------|----------------------------|
| | Flujo superficial k_1 | Flujo subsuperficial k_2 | Flujo subterráneo k_3 |
| Brodie R. (1) | $0,20 \leq k_1 \leq 0,80$ | $0,70 \leq k_2 \leq 0,90$ | $0,93 \leq k_3 \leq 0,99$ |
| FICH – UNL (2) | $0,05 \leq k_1 \leq 0,20$ | $0,50 \leq k_2 \leq 0,80$ | $0,85 \leq k_3 \leq 0,98$ |
| Combinación de extremos de (1) y (2) | $0,05 \leq k_1 \leq 0,80$ | $0,50 \leq k_2 \leq 0,90$ | $0,85 \leq k_3 \leq 0,90$ |
| Linsley | 0,13 | 0,67 | 0,97 |

Tabla N° 17. Rangos típicos para las constantes de recesión, según diferentes criterios. Elaboración propia

En la página siguiente se presentan la Tabla N° 18 que muestra los valores de k_1 , k_2 y k_3 obtenidos mediante el procedimiento descrito para la totalidad de los eventos seleccionados, los cuales deben interpretarse de la siguiente manera: por ejemplo, para el evento E1, a partir del momento de producirse el caudal pico, el aporte de flujo superficial disminuyó diariamente casi a la mitad del valor del día anterior ($k_1 = 0,48$); el aporte del flujo subsuperficial se redujo a una tasa tal

⁶ Comunicación personal del Dr. Ocampo Carlos, docente e investigador de la FICH-UNL.

que en cada día transcurrido este flujo era equivalente al 66% del valor del día anterior ($k_2 = 0,66$); mientras que el aporte del flujo subterráneo tenía un valor escasamente menor que el anterior ($k_3 = 0,96$).

| Evento | Año hidrológico | Fecha de la tormenta | Constantes de recesión | | |
|-----------------------|-----------------|----------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| | | | Flujo superficial k_1 | Flujo subsuperficial k_2 | Flujo subterráneo k_3 |
| E1 | seco | 12/04/1958 | 0,48 | 0,66 | 0,96 |
| E2 | promedio | 16/02/1960 | 0,44 | 0,54 | 0,93 |
| E3 | promedio | 17/03/1961 | - | 0,32 | 0,94 |
| E4 | promedio | 15/06/1963 | 0,09 | 0,49 | 0,90 |
| E5 | seco | 24/08/1964 | 0,04 | 0,59 | 0,91 |
| E6 | promedio | 03/07/1965 | 0,29 | 0,59 | 0,94 |
| E7 | muy seco | 21/07/1967 | 0,40 | 0,56 | 0,94 |
| E8 | seco | 09/01/1969 | 0,28 | 0,51 | 0,92 |
| E9 | muy húmedo | 06/01/1973 | 0,24 | 0,55 | 0,93 |
| E10 | promedio | 02/12/1974 | 0,42 | 0,44 | 0,92 |
| E11 | promedio | 22/06/1975 | 0,29 | 0,76 | 0,94 |
| E12 | muy seco | 05/06/1976 | 0,75 | 0,65 | 0,98 |
| E13 | muy seco | 17/09/1977 | 0,59 | 0,54 | 0,92 |
| E14 | promedio | 25/10/1979 | 0,20 | 0,73 | 0,95 |
| E15 | promedio | 04/09/1985 | - | 0,29 | 0,92 |
| E16 | muy húmedo | 21/02/1987 | 0,38 | 0,65 | 0,94 |
| E17 | húmedo | 28/07/1987 | 0,29 | 0,39 | 0,97 |
| E18 | promedio | 07/06/1989 | 0,32 | 0,75 | 0,96 |
| E19 | promedio | 05/04/1994 | 0,28 | 0,39 | 0,96 |
| E20 | promedio | 24/04/1994 | 0,35 | 0,61 | 0,94 |
| E21 | muy seco | 23/03/1995 | 0,40 | 0,72 | 0,95 |
| E22 | húmedo | 21/12/1998 | 0,21 | 0,43 | 0,98 |
| E23 | seco | 12/12/1999 | 0,34 | 0,28 | 0,96 |
| E24 | muy seco | 16/06/2001 | 0,91 | 0,51 | 0,98 |
| E25 | muy seco | 09/10/2001 | 0,63 | 0,48 | 0,97 |
| E26 | muy húmedo | 23/01/2003 | 0,30 | 0,54 | 0,98 |
| E27 | muy seco | 13/03/2004 | 0,78 | 0,47 | 0,99 |
| Valor Promedio | | | 0,39 | 0,53 | 0,95 |

Tabla N° 18: Cuenca del Arroyo Yabebiry - Subcuenca Arroyo Chapá. Análisis de curvas de recesión en hidrogramas seleccionados. Valores de k_1 , k_2 , y k_3 para todos los eventos analizados. Elaboración propia

Si se analizan los valores obtenidos bajo el criterio que combina los extremos de los dos anteriores, se observa que para k_1 sólo los eventos E5 ($k_1 < 0,05$) y E24 ($k_1 > 0,8$), no cumplen con ambas condiciones; para k_2 son 10 (diez) los eventos (E3, E4, E10, E15, E17, E19, E22, E23, E25 y E27) en los cuales los valores obtenidos se ubican por debajo del límite inferior ($k_2 < 0,5$); respecto de k_3 todos los valores obtenidos cumplen con ambas condiciones.

Puede interpretarse entonces que los resultados obtenidos se encuentran en el entorno típico esperable según las referencias consultadas, a excepción de una buena parte de los valores

obtenidos para la constante de recesión de la componente subsuperficial, que resultaron menores a las consultadas y más cercanos a los valores esperables para la recesión del componente superficial.

El análisis particular de la variación de las constantes asociadas a las distintas componentes del escurrimiento para la totalidad de los eventos seleccionados, se realiza a la luz de la información del contexto hidrológico en que ocurrieron dichos eventos sintetizada en la Tabla N° 13, a la cual ya se ha hecho referencia.

- Análisis de las constantes de recesión k_1 correspondiente al componente superficial

La Figura N° 22, en la página siguiente, representa las variaciones de la constante k_1 en las curvas de recesión de la totalidad de los eventos analizados, cuyas identificaciones y referencias de fecha y categoría de año hidrológico según la pluviosidad anual, se indican sobre el eje de las abscisas; los valores están representados en orden cronológico.

La primer observación que sugiere la figura es que a lo largo del período analizado, se registra una tendencia creciente en los valores de k_1 , señalada en líneas de puntos en la gráfica. En la Tabla N° 18 puede corroborarse que el valor promedio de k_1 es 0,39 y que para los eventos iniciales es sustancialmente menor que para los últimos de la serie considerada.

En la misma tabla puede verse que los valores superiores al valor medio ($k_1 > 0,39$) tienen lugar en años muy secos y secos. En efecto, de los 10 (diez) eventos con k_1 superior al promedio, 8 (ocho) ocurrieron en años con estas condiciones hidrológicas.

Sin embargo, la tendencia señalada no pareciera estar influenciada por dicha condición, dado que los años secos y muy secos se distribuyen equilibradamente entre la primera y segunda mitad del total de eventos considerados.

Cuando se analiza k_1 en relación con la magnitud de los caudales picos $-Q_p-$ se advierte que la totalidad de los valores superiores al valor medio ocurren en eventos con caudales picos menores a $120 \text{ m}^3/\text{seg}$. Pero si se analiza la ocurrencia en el tiempo de caudales pico de estas magnitudes, nuevamente se observa una distribución equilibrada entre la primera y segunda mitad del conjunto de eventos.

Finalmente, al analizar los valores de k_1 en relación con el estado de humedad de la cuenca - estimado según la magnitud de las precipitaciones ocurridas 7 y 15 días antes del pico, en relación con la evaporación-, se observa que los valores más altos de la constante ocurren predominantemente durante estados de suficiente humedad antecedente, y con menos frecuencia en casos de estados de insuficiencia de humedad.

CUENCA DEL ARROYO YABEBIRY - SUBCUENCA ARROYO CHAPÁ

Análisis de curvas de recesión en hidrogramas seleccionados

Variación de $k1$ para todos los eventos seleccionados-

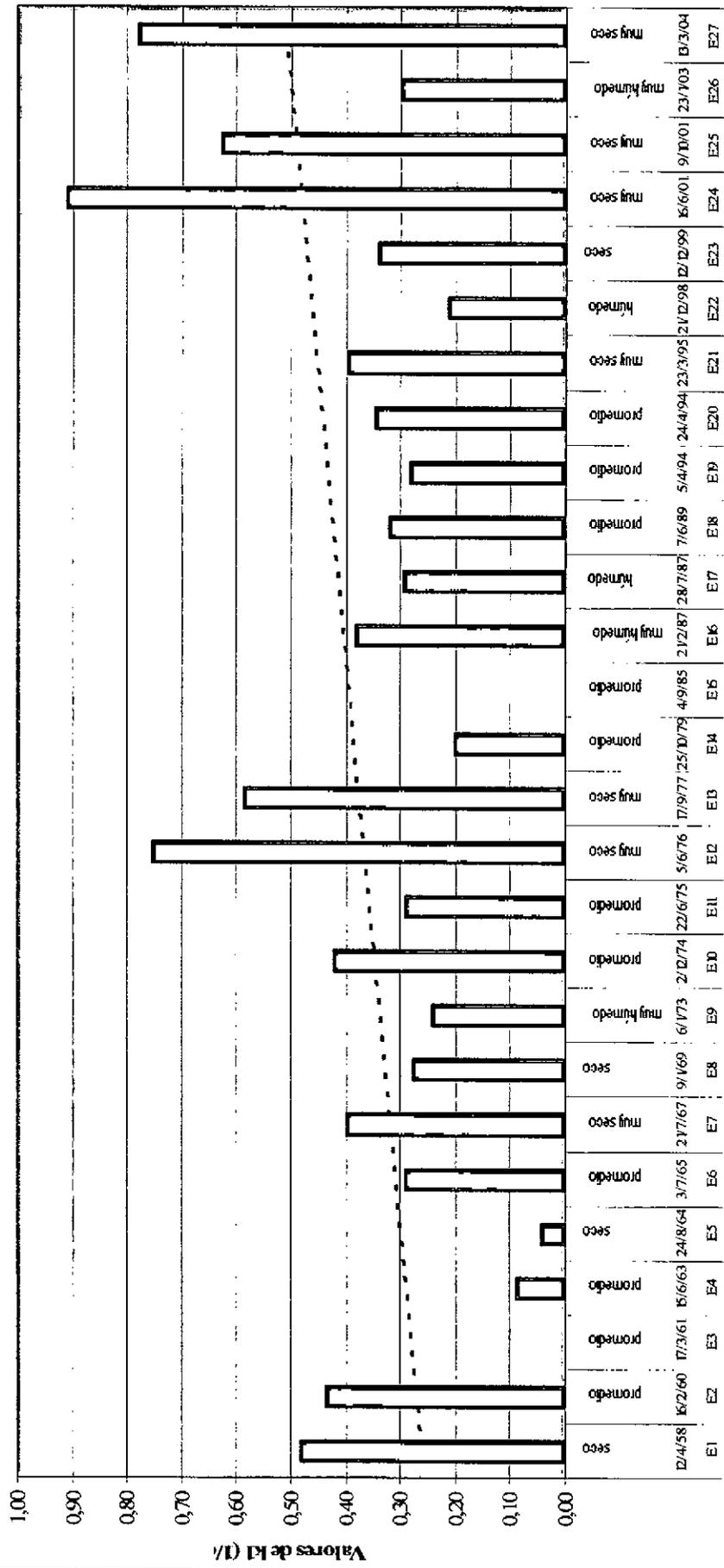


Figura N° 22: Cuenca del Arroyo Yabebiry - Subcuenca Arroyo Chapá. Análisis de hidrogramas de tormentas. Variación de la constante de recesión $k1$ para todos los eventos seleccionados. Elaboración propia

Por su parte, los valores bajos de k_1 se distribuyen equilibradamente entre estados de suficiencia y de insuficiencia de humedad antecedente.

Del análisis realizado, se desprende que el aumento observado en k_1 en el período no responde ni a la magnitud de los caudales pico $-Q_p-$, ni a la condición hidrológica del año en el que ocurrieron los eventos, ni tampoco a las condiciones de humedad antecedente los días previos al pico. Pero una observación de interés es que los mayores valores de esta constante se dan en eventos con caudales pico medios y bajos ($Q_p < 120 \text{ m}^3/\text{seg.}$).

El incremento progresivo en el valor de esta constante estaría indicando un creciente participación temporal del componente superficial⁷ en el escurrimiento superficial.

- Análisis de las constantes de recesión k_2 correspondientes al componente subsuperficial

La Figura N° 23 , en la página siguiente, representa las variaciones de la constante k_2 en las curvas de recesión de la totalidad de los eventos analizados. De la misma manera que en la figura anterior y para cada evento, las identificaciones y referencias de fecha y categoría de año hidrológico, se indican sobre el eje de las abscisas; los valores están graficados en orden cronológico.

En la figura puede apreciarse -en línea de puntos- que la tendencia a lo largo del tiempo en esta constante es inversa a la anterior, es decir que la tasa de abatimiento del componente subsuperficial -aunque levemente- tiende a ser más rápida con el transcurso del tiempo. Dicho de otro modo, la participación de la componente subsuperficial en el escurrimiento total es de menor duración a medida que transcurre el tiempo; el desagote de esta componente del flujo, es levemente más rápido.

El valor promedio para esta constante es $k_2 = 0,53$ y en la Tabla N° 18 puede observarse que en 15 (quince) eventos el valor resultó mayor al promedio y en 12 (doce) eventos fue menor. Los eventos menores al promedio se distribuyen 4 (cuatro) en el primer grupo (E1 a E13) y 8 (ocho) en el segundo (E14 a E27).

El análisis de la distribución de los valores mayores al promedio en relación con la categoría de año hidrológico muestra una predominancia de eventos en años Promedio (seis), seguidos de los ocurridos en años Muy secos (cuatro), de los en años Muy húmedos (tres) y en años Secos (dos).

⁷ Debe tenerse presente que la constante de recesión es un indicador de la velocidad de desagote de dicha componente de la cuenca.

CUENCA DEL ARROYO YABEBIRY - SUBCUENCA ARROYO CHAPÁ

Análisis de curvas de recesión en hidrogramas seleccionados

Variación de k_2 para todos los eventos seleccionados-

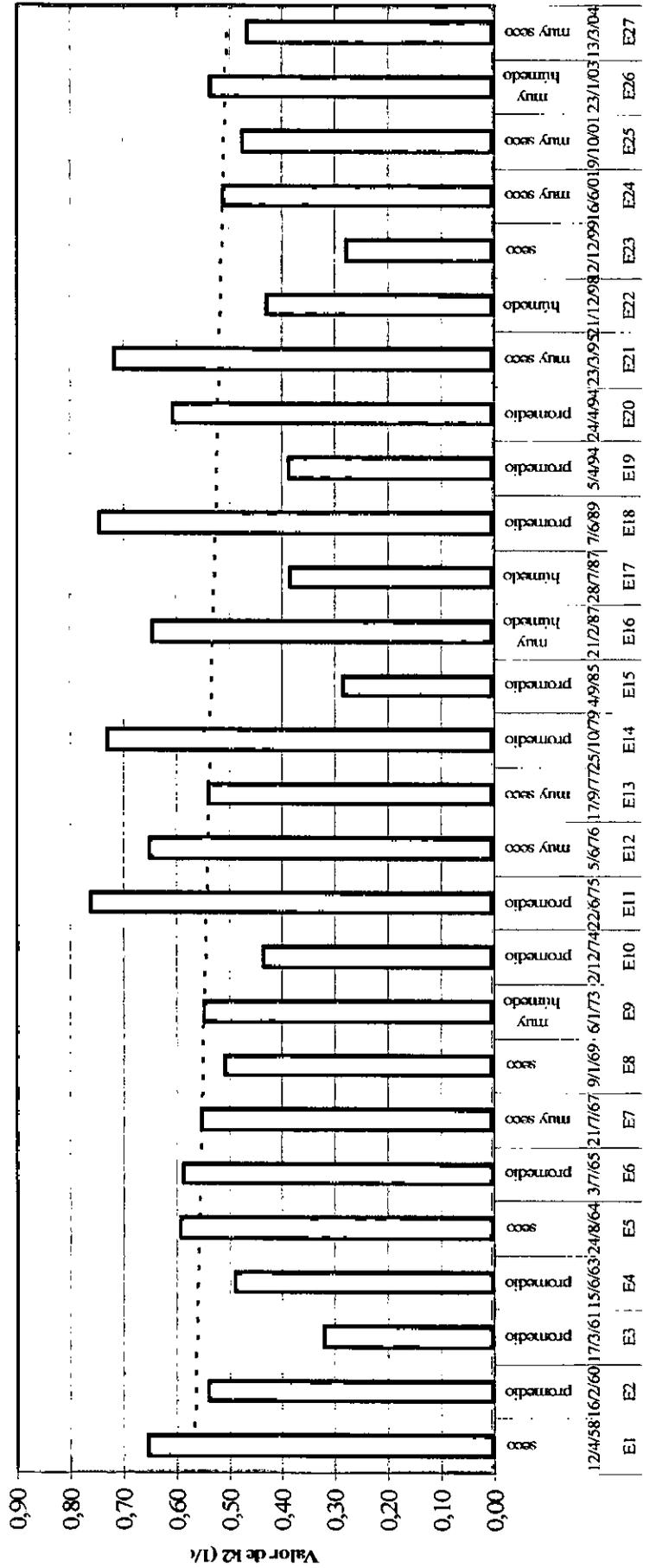


Figura N° 23: Cuenca del Arroyo Yabebiry - Subcuenca Arroyo Chapá. Análisis de hidrogramas de tormentas. Variación de la constante de recesión k_2 para todos los eventos seleccionados. Elaboración propia

Por su parte, los valores menores al promedio se distribuyen en años Promedio (cinco), en Muy secos (tres), en Secos (dos) y en años Húmedos (dos).

Se observa que si bien en la segunda mitad de eventos hay una predominancia de años hidrológicos Promedio, la dispersión de los eventos respecto de esta variable no permite establecer una clara relación que explique la tendencia a la baja.

En el análisis de la distribución de los valores de la constante de recesión del componente subsuperficial k_2 según la magnitud de los caudales pico Q_p , se observa una relación más estrecha. En efecto, de los 12 (doce) eventos para los cuales el valor de esta constante fue menor al promedio, 9 (nueve) se corresponden con caudales picos medios y bajos ($Q_p < 120 \text{ m}^3/\text{seg.}$): 5 (cinco) con caudales pico medios; y 4 (cuatro) con caudales pico bajos. De estos 9 eventos, son 7 (siete) los que tuvieron lugar en la segunda mitad de eventos (E14 a E27).

Por su parte, la distribución de la constante k_2 en relación con el estado de humedad antecedente de la cuenca muestra que los 12 (doce) valores menores al promedio se vinculan con 11 (once) eventos que tuvieron lugar en situaciones de exceso de humedad y 1 (un) en situaciones de déficit. Pero como ya se ha observado, la clara predominancia de excesos hídricos a lo largo de todo el ciclo hidrológico determina que esta variable no sea significativa para encontrar relaciones vinculadas a la tendencia que muestra esta constante.

- Análisis de las constantes de recesión k_3 correspondiente a la componente del flujo base

En la página siguiente se presenta la Figura N° 24, que muestra las variaciones de la constante k_3 en las curvas de recesión de los 27 eventos analizados entre 1958 y 2004. Como en las figuras anteriores, para cada evento, las identificaciones y referencias de fecha y categoría de año hidrológico, se indican sobre el eje de las abscisas, y los valores están graficados en orden cronológico.

En dicha figura se observa la tendencia de esta constante -en línea de puntos- a lo largo del tiempo, que resulta claramente creciente. A su vez, volviendo a la Tabla N° 18, puede observarse que en los primeros eventos el valor medio de k_3 es del orden de 0,93 y al final del período toma valores del orden de 0,98; el valor promedio para el conjunto de eventos analizado es 0,95.

En relación con el valor medio, el conjunto de eventos se distribuye: 13 (trece) por encima ($k_3 > 0,95$) y 14 (catorce) por debajo del mismo ($k_3 < 0,95$); 11 (once) de los 13 (trece) eventos cuya constante muestra valores mayores al promedio pertenecen al grupo de la segunda mitad del período (E14 a E27), es decir, aquellos que ocurrieron entre 1979 y 2004.

CUENCA DEL ARROYO YABEBIRY - SUBCUENCA ARROYO CHAPÁ

Análisis de curvas de recesión en hidrogramas seleccionados

Variación de k_3 para todos los eventos seleccionados-

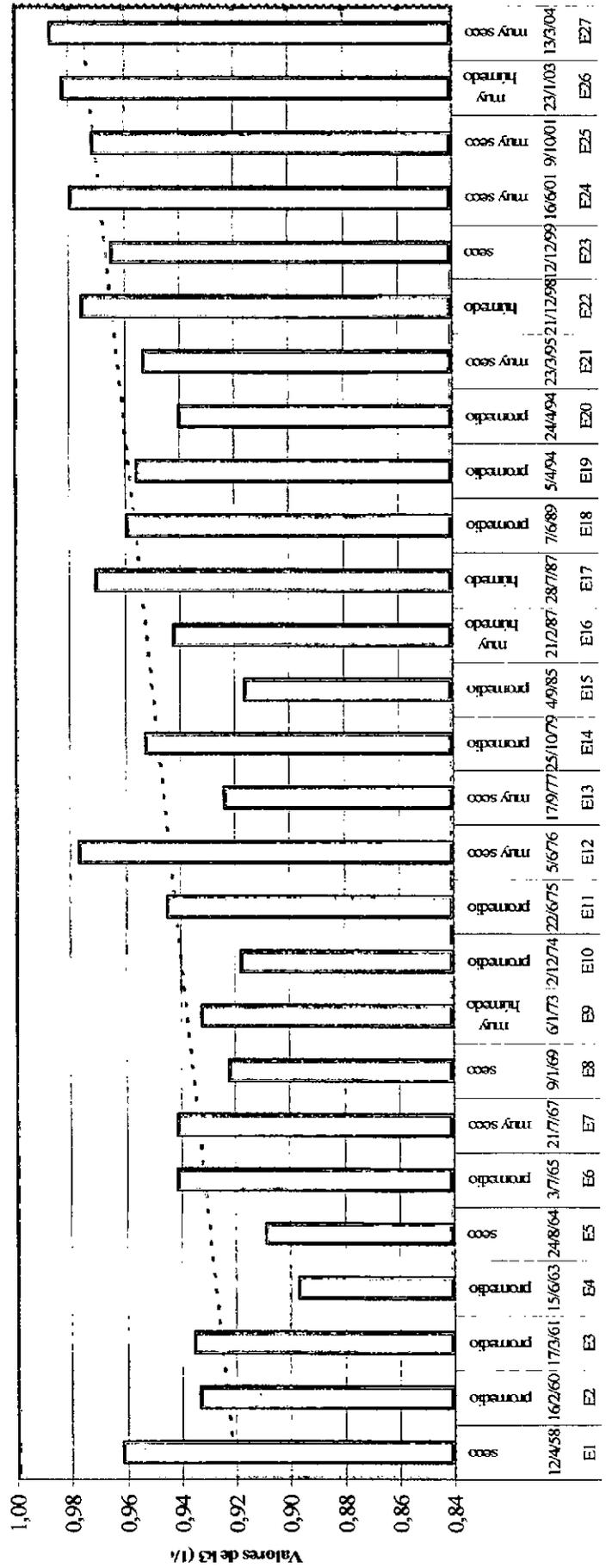


Figura N° 24: Cuenca del Arroyo Yabebiry - Subcuenca Arroyo Chapá. Análisis de hidrogramas de tormentas. Variación de la constante de recesión k_3 para todos los eventos seleccionados. Elaboración propia

El análisis de esta constante en relación con la categoría de años hidrológicos muestra que, individualmente, la categoría de año más frecuente entre los 13 (trece) eventos con k_3 mayor al valor medio ($k_3 > 0,95$), se corresponde con años Muy secos (cinco), seguida por la clase de años Promedio (tres), los años Secos (dos) y Húmedos (dos) y, finalmente con (un) año Muy húmedo. Pareciera existir una mejor relación entre valores altos de esta constante y la pluviosidad del año en que ocurrieron los eventos si se considera que 7 (siete) de los eventos con mayor valor de k_3 tuvieron lugar en años Secos y Muy Secos, mientras que sólo 3 (tres) ocurrieron en años Muy húmedos y Húmedos.

Por su parte, los 14 (catorce) eventos para los cuales el valor de esta constante resultó menor al valor medio ($k_3 < 0,95$) ocurrieron predominantemente en años Promedio (ocho), distribuyéndose los eventos restantes entre Muy húmedos, Secos y Muy secos, a 2 (dos) eventos por cada categoría.

Cabe mencionar que entre los eventos E14 a E27, cinco ocurrieron en años Promedio y cuatro en años Muy secos.

El análisis de la variación de la constante de recesión correspondiente al flujo base en relación con la magnitud de los caudales pico de los eventos, arroja resultados coincidentes con los de k_1 y k_2 . En efecto, en 11 (once) de los 13 (trece) eventos para los cuales esta constante resultó mayor al valor medio, los caudales picos se corresponden con caudales medio y bajos ($Q_p < 120 \text{ m}^3/\text{seg.}$): 5 (cinco) con caudales medios y 4 (cuatro) con caudales bajos. Inversamente, los 14 (catorce) eventos con valores de la constante k_3 menores al valor medio se relacionan con los caudales pico de la siguiente manera: 8 (ocho) con caudales pico altos y medios ($Q_p \geq 120 \text{ m}^3/\text{seg.}$) y 6 (seis) con caudales pico medios y bajos.

Por último, el análisis de k_3 respecto del estado de humedad en la cuenca previo a la ocurrencia de los eventos, también arroja resultados similares a los obtenidos con k_1 y k_2 en el debido a la alta predominancia de estados de excesos hídricos para la mayoría de los eventos. En efecto, 11 (once) de los 13 (trece) eventos para los cuales esta constante resultó mayor al valor medio, tuvieron lugar en contextos de balances hídricos positivos; pero también se observa que en 12 (doce) de los 14 (catorce) eventos en los que k_3 resultó menor al valor promedio, el balance hídrico previo fue positivo.

- Conclusiones

El análisis de las curvas de recesión en hidrogramas de eventos, como método para identificar cambios en el régimen del arroyo Chapá, realizada sobre 27 eventos distribuidos entre 1958 y 2004, permitió arribar a las siguientes conclusiones respecto de las respuestas de la cuenca a eventos de precipitaciones:

- El componente *superficial* del escurrimiento, evaluado a través de la constante de recesión k_1 , tiende a manifestar una creciente duración; el desagote de la componente superficial muestra ser cada vez más lento;

- El componente *subsuperficial* del escurrimiento, evaluado a través de la constante de recesión k_2 , muestra una leve tendencia a desagotarse más rápidamente de la cuenca;
- El componente *subterráneo* del escurrimiento, también denominado *flujo base*, evaluado a través de la constante de recesión k_3 , muestra una marcada tendencia a incrementar su duración; el tiempo de desagote de esta componente es cada vez mayor;
- Tales cambios en el tiempo de las respuestas de la cuenca muestran independencia de las condiciones hidrológicas de la misma bajo las cuales se analizaron, esto es: pluviosidad anual del año hidrológico en que se produjo el evento; caudal pico generado; y estado de humedad de la cuenca al momento del evento.

1.1.6 Síntesis de los cambios identificados en el régimen hidrológico

Para indagar en relación a la existencia de cambios en el régimen hidrológico del Arroyo Chapá, en la cuenca del Arroyo Yabebiry, se aplicaron dos métodos: a) el método de las curvas de frecuencias de caudales medios diarios; y b) el análisis de las curvas de recesión en hidrogramas de eventos.

El primero de los métodos permitió identificar los siguientes cambios ocurridos en el período 1958/2004:

- incremento progresivo de los caudales medios diarios en el período analizado: entre 1958 y 2004 el caudal medio diario, representado por Q_{50} , pasó de valores del orden de $10 \text{ m}^3/\text{seg.}$ a valores superiores a $30 \text{ m}^3/\text{seg.}$; y los caudales más bajos, representados por Q_{90} , pasaron del orden de $2 \text{ m}^3/\text{seg.}$ a $20 \text{ m}^3/\text{seg.}$;
- incremento progresivo de la relación Q_{90}/Q_{50} es decir de la participación del componente subterráneo en la conformación del escurrimiento en la cuenca: de una relación promedio del orden del 40% en los primeros cinco años considerados, se pasó a una relación superior al 70% para los últimos 5 años involucrados en el estudio;
- estos cambios se produjeron en forma gradual, con independencia de las variaciones normales de la pluviosidad anual, pero en cierta manera, comenzaron a “dispararse” desde principios de la década de 1980 en adelante.

Es importante destacar que tales resultados son coincidentes con los encontrados por otros trabajos realizados alrededor del mundo.

Por su parte, el método de análisis basado en las curvas de recesión de hidrogramas permitió observar:

- El componente *superficial* del escurrimiento, evaluado a través de la constante de recesión k_1 , tiende a manifestar una creciente duración; el desagote de la componente superficial muestra ser cada vez más lento;
- El componente *subsuperficial* del escurrimiento, evaluado a través de la constante de recesión k_2 , muestra una leve tendencia a desagotarse más rápidamente de la cuenca;
- El componente *subterráneo* del escurrimiento, también denominado *flujo base*, evaluado a través de la constante de recesión k_3 , muestra una marcada tendencia a incrementar su duración; el tiempo de desagote de esta componente es cada vez mayor;
- Tales cambios en el tiempo de las respuestas de la cuenca también muestran independencia de las condiciones hidrológicas de la misma bajo las cuales se analizaron, esto es: pluviosidad anual del año hidrológico en que se produjo el evento; caudal pico generado; y estado de humedad de la cuenca al momento del evento.

El sistema hidrológico de la cuenca estudiada pareciera encontrarse en una situación de gran alteración que se manifiesta en una creciente pérdida de capacidad de regulación de los flujos y de retención del agua dentro del sistema; cada vez más agua se escurre más rápido de la cuenca.

Si los cambios observados muestran independencia de las condiciones hidrológicas quiere decir que algo ha cambiado en las condiciones físicas de la cuenca.

1.2 Estudio de los cambios en los usos del suelo en la cuenca

El análisis de los cambios experimentados en los usos del suelo en la cuenca del arroyo Yabebiry, subcuenca del arroyo Chapá se basa en el estudio de antecedentes realizados en la Provincia de Misiones en diferentes épocas, principalmente de tipo cartográficos.

El antecedente más antiguo disponible relacionado con usos del suelo es el Mapa Forestal de la Provincia de Misiones elaborado por la Compañía Argentina de Relevamientos Topográficos y Aerofotogramétricos (C.A.R.T.A.) en 1963, en base a fotografías aéreas y que se encuentra disponible en la Dirección General de Catastro de la provincia de Misiones, en hojas a escala 1: 50.000.

El relevamiento en el marco del cual se preparó el Mapa Forestal constituye un muy valioso antecedente que produjo la base cartográfica hoy disponible en la provincia consistente en mapas específicos tales como Topográfico (escalas 1:10.000 y 1:20.000), Edafológico (escala 1:50.000), Geológico (escala 1: 50.000), entre otra información.

El segundo antecedente tenido en cuenta es el Mapa de Uso Actual de la Tierra-Tipos de Vegetación elaborado por la empresa AEROTERRA por contrato con el Concejo Federal de Inversiones en 1977, en base a información obtenida por teledetección. Se trata del primer antecedente para la provincia de Misiones de utilización de la teledetección satelital para la evaluación de sus recursos naturales. La interpretación de los usos del suelo fue visual, asistida con trabajos de campo, y el mapa correspondiente fue preparado en escala 1: 250.000. Cada mapa específico contaba de dos partes, una para la zona norte y otra para la zona sur de la provincia.

Este relevamiento también produjo una muy importante cartografía pero, lamentablemente, gran parte de ella se ha perdido, habiendo desaparecido los originales del Centro de Documentación de la Provincia en el cual se encontraban archivados. Para el presente trabajo se trabajó sobre una copia heliográfica que se pudo rescatar en dicho Centro de Documentación, correspondiente a la mitad sur de la provincia.

El tercer estudio consultado fue el Mapa Forestal Provincial elaborado por la Facultad de Ciencias Forestales de la UNaM para el Ministerio de Ecología y Recursos Naturales en 1987 en base a fotografías aéreas correspondientes al período 1980-1985. La cartografía correspondiente está preparada según la subdivisión de la provincia en Departamentos y se encuentra en 1: 50.000. Los originales sobre los que se trabajó se encuentran en dependencias de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de Misiones.

Finalmente, el trabajo más reciente consiste en una clasificación de usos del suelo realizada específicamente para el área de la cuenca del arroyo Chapá para este trabajo, utilizando una imagen Landsat 5 ETM en soporte digital correspondiente a marzo/abril de 2007 aportada por el Ministerio de Ecología, Recursos Naturales Renovables y Turismo de la provincia de Misiones.

En síntesis, los cambios en el uso del suelo del área de la cuenca seleccionada están referenciados en antecedentes correspondientes a los años 1963, 1977, 1985 y 2007, lo cual conforma una buena base documental para el objeto del presente estudio.

1.2.1 Los usos del suelo en 1963

Como ya se ha expresado, el relevamiento de los recursos naturales provinciales realizado por C.A.R.T.A. en 1963 constituye la primer evaluación cuali- cuantitativa de los recursos básicos de Misiones.

En aquellos años, los bosques nativos, la yerba mate, el té y el tung conformaban los pilares fundamentales de la economía provincial, predominantemente de base rural. Consecuentemente, la cartografía utilitaria producida por dicho relevamiento, desempeñó un papel importante en el desarrollo rural provincial y en muy poco tiempo, los profesionales vinculados al área y también los productores agrícolas, se familiarizaron con la terminología e información contenida en las cartas preparadas, principalmente con la información sobre los suelos de Misiones.

El objetivo de esta etapa del estudio es tratar de caracterizar los cambios ocurridos en los usos del suelo en la cuenca del arroyo Chapá, con la finalidad de indagar si existen relaciones entre los cambios territoriales y los cambios en el régimen hidrológico de dicho curso de agua. Para ello, resulta muy importante evaluar la modificación de la cobertura vegetal originaria, por la cadena de efectos a que conduce en relación con los procesos hidrológicos intervinientes: reducción de las pérdidas por intercepción; reducción de las pérdidas por evapotranspiración; incremento de la precipitación neta; alteración brusca del proceso de producción de materia orgánica, con lo que se modifican las condiciones de infiltración del agua en el suelo; incremento del escurrimiento superficial; generación de condiciones propicias para desencadenar procesos erosivos, entre otras alteraciones que afectan al ciclo del agua.

El relevamiento de CARTA de 1963, por constituir el antecedente más antiguo respecto de los usos del suelo en Misiones, constituye para este estudio el estado inicial o de base de la cuenca sobre el cual evaluar los posteriores cambios ocurridos en la cuenca desde entonces hasta nuestros días.

Para caracterizar el estado inicial de la cuenca del Arroyo Chapá, se trabajó con las cartas confeccionadas para el Mapa Forestal que, como se ha expresado, se encuentran disponibles en escala 1:50.000. Las hojas correspondientes fueron suministradas en formato digital por la Dirección General de Catastro; posteriormente, recurriendo a las herramientas de ERDAS Imagine 8.1, las cartas fueron georreferenciadas en base a las coordenadas geográficas contenidas en cada una de ellas; finalmente, fueron proyectadas al sistema de coordenadas Transversa Mercator; False Easting: 7.500.000; False Northing: 0; Central Meridian: -54; Scale Factor: 1; Latitude Of Origin: -90; GCS WGS 1984.

Las cartas forestales así trabajadas, fueron procesadas utilizando ARCVIEW 3.3 a efectos de generar el shape correspondiente y su tabla de atributos, conteniendo las diferentes unidades cartográficas forestales adoptadas por C.A.R.T.A. y las superficies que abarcan dentro de la cuenca del Arroyo Chapá.

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla N° 19 y en las Figura N° 25 y N° 26.

Los usos forestales fueron determinados a partir de las unidades cartográficas adoptadas por el relevamiento de C.A.R.T.A., al igual que los usos urbanos del suelo. De tal forma, los usos agrícolas (sin clasificar en el mapa forestal) fueron determinados por simple diferencia.

| Unidades cartográficas utilizadas por C.A.R.T.A. | Símbolo | Superficie | |
|--|---------|-----------------|------------|
| | (CARTA) | (ha) | (%) |
| Bosque alto, natural de Latifoliadas | 4 | 26.913,7 | 43,0 |
| Usos agrícolas | s/c | 23.058,1 | 36,8 |
| Bosque de Latifoliadas en proceso de regeneración natural, y/o naturalmente pobres; capueras | 1 | 10.171,7 | 16,3 |
| Formaciones arbóreas en áreas palustres | 2 | 1.222,1 | 2,0 |
| Formaciones arbóreas en terrenos periódicamente inundables; bosques en galería | 3 | 1.069,3 | 1,7 |
| Formaciones arbóreas sobre altiplanos rocosos | 6 | 112,6 | 0,2 |
| Uso urbano | | 43,8 | 0,1 |
| Superficie total | | 62.591,3 | 100 |

Tabla N° 19: Cuenca del Arroyo Yabebiry – Subcuenca Arroyo Chapá. Usos del suelo en 1963. Unidades cartográficas utilizadas en el Mapa Forestal -C.A.R.T.A.- y superficies involucradas. Elaboración propia.

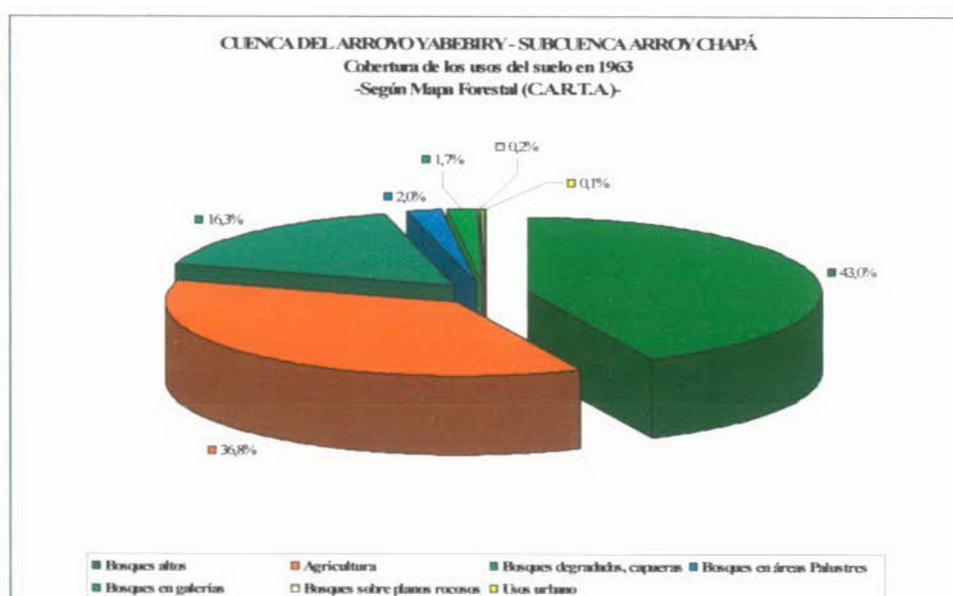


Figura N° 25: Cuenca del Arroyo Yabebiry – Subcuenca Arroyo Chapá. Usos del suelo en 1963 según el Mapa Forestal de C.A.R.T.A. Elaboración propia.

La suma de las coberturas de las diferentes categorías que representan bosques o selvas nativas arroja una superficie de 39.489,4 ha. lo cual representa el 63,1% del área total de la cuenca. La predominancia de coberturas forestales se observa en la Figura N° 25, en la que el diagrama de tortas, representa la conformación de los usos en 1963.

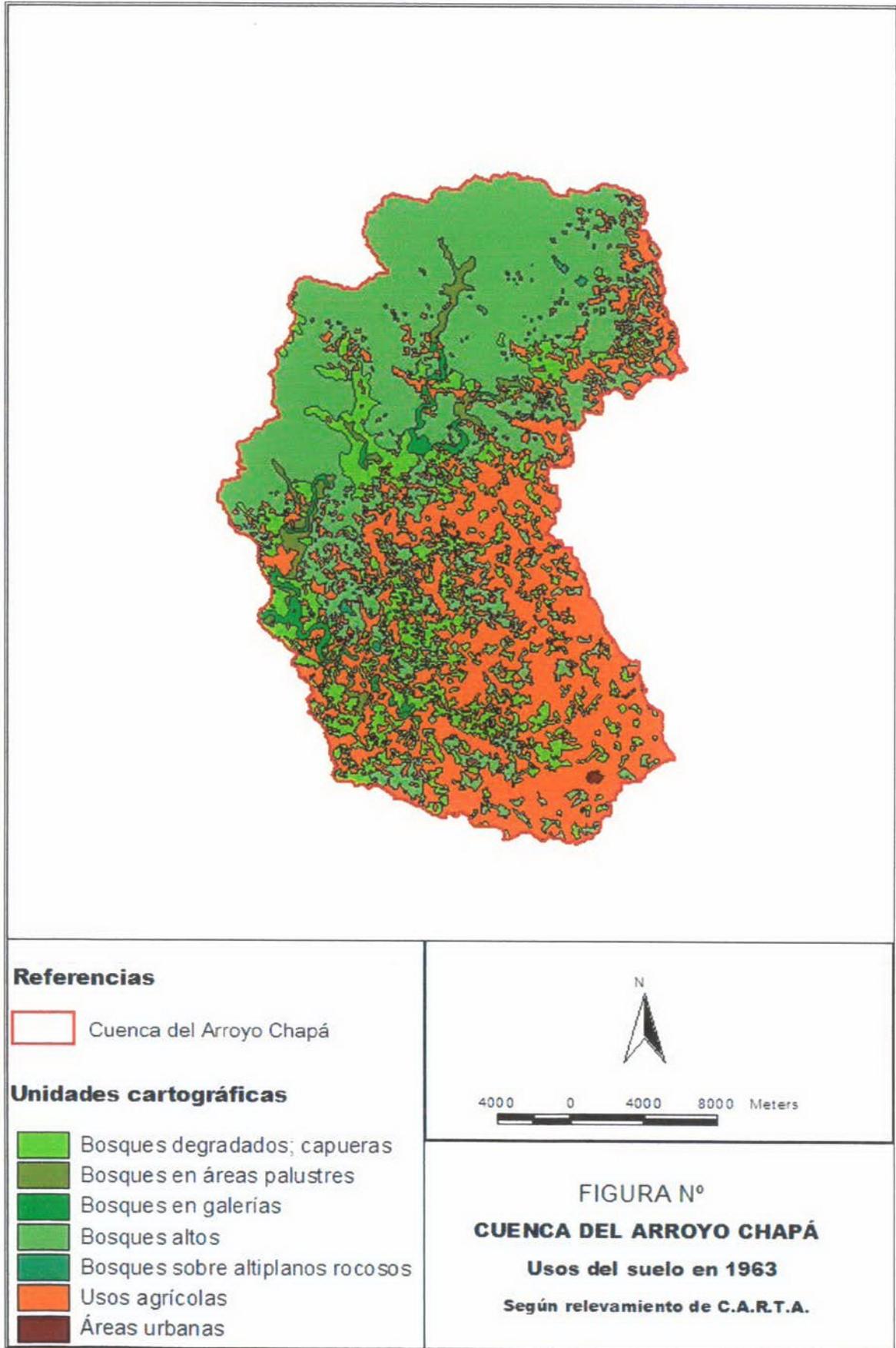


Figura N° 26 : Cuenca del Arroyo Yabebiry – Subcuenca Arroyo Chapá. Usos del suelo en 1963 según el Mapa Forestal del relevamiento de C.A.R.T.A., y superficies involucradas. Elaboración propia.

La Figura N° 26, en la página anterior, muestra que las áreas convertidas a otros usos se concentran en el sector sudeste de la cuenca.

1.2.2 Los usos del suelo en 1977

Como ya se ha expresado, el estudio de AEROTERRA S.A. fue realizado en escala 1:250.000, utilizando imágenes de los años 1973, 1975 y 1976. La interpretación multispectral satelitaria clasificó los usos de la tierra y tipos de vegetación, adoptando para el mapeo una unidad mínima de estratificación de 2,5 mm x 2.5 mm (625 m x 625 m) la cual, en la escala referida, se corresponde con una superficie real -en el terreno- de 39,06 ha.

El relevamiento fisonómico del uso de la tierra y la vegetación se realizó en dos etapas: la primera consistió en identificar en las imágenes satelitarias las denominadas “unidades puras” que pueden ser detectadas en las imágenes y que se muestran en la primer parte de la Tabla N° 20, en la página siguiente.

En la segunda etapa, y con apoyo de salidas a campo⁸, se trabajó en identificar las combinaciones de dichas unidades puras con los distintos usos de la tierra que se listan como “unidades mixtas- en la segunda parte de la misma tabla.

Se interpreta que cuando se refiere a unidades mixtas, la primera denominación indica a predominancia de dicho uso, seguido del o los siguientes. Por ejemplo: ABxF indica que el uso predominante en dicha unidad cartográfica es el uso agrícola (A), seguido en importancia por el bosque degradado (Bx) y, en tercer lugar por forestación (F).

En comparación con el estudio de C.A.R.T.A. realizado sobre fotografías aéreas (escala aproximada 1:33.000), el relevamiento de AEROTERRA S.A. es de una precisión notablemente menor, pero merece ser tomado en consideración por tratarse de un estudio que brinda información referente a mediados de la década de 1970.

Para evaluar los usos del suelo en la Cuenca del Arroyo Chapá, primeramente se procedió a escanear el mapa de “Uso Actual de la Tierra y Tipos de Vegetación Estilizada” partiendo de una copia heliográfica del trabajo de AEROTERRA S.A. Una vez disponible en formato digital, el mapa fue georreferenciado utilizando los recursos de ERDAS Imagine 8.4 e imágenes LANDSAT previamente georreferenciada por la Dirección General de Catastro de la Provincia con el mismo sistema usado en el caso anterior.

⁸ El trabajo de campo combinó “transectas terrestres, en las que se obtuvieron datos sobre estratificación, altura y cobertura por estrato, función, distribución de lianas, epífitas y parásitos, tipos de explotación agrícola-forestal, relaciones con los suelos y la topografía, etc., mediante un sobrevuelo a baja altura que permitió asociar el aspecto superficial de la vegetación con su apariencia en la imagen satelitaria considerada”. (AEROTERRA S.A., 1978).

Sobre el mapa así trabajado y utilizando las herramientas de ARCVIEW 3.3, se superpuso la divisoria de aguas de la Cuenca del Arroyo Chapá, y se procedió a vectorizar la información de interés, confeccionándose un shape y la correspondiente tabla de atributos referentes a las unidades cartográficas identificadas por AEROTERRA S.A.

| UNIDADES PURAS | SÍMBOLO |
|---|---------------------|
| UNIDAD | CARTOGRÁFICO |
| Áreas urbanas | U |
| Agricultura | A |
| Bosque artificial | F |
| Sabanas (Pastizal) | P |
| Bosque Degradado | Bx |
| Selva Mixta | S |
| Selva Degradada | Sx |
| Selva de Ribera | SR |
| Bosque en Galería | Bg |
| No Identificable | X |
| | |
| UNIDADES MIXTAS | SÍMBOLO |
| UNIDAD | CARTOGRÁFICO |
| Agricultura asociada a Bosque Degradado | ABx |
| Agricultura asociada a Selva Degradada | ASx |
| Agricultura asociada a Capueras | AC |
| Bosque Degradado asociado a Agricultura | BxA |
| Bosque Degradado asociado a Sabanas | BxP |
| Bosque en Galería asociado a Agricultura | BgA |
| Selva Degradada asociada a Agricultura | SxA |
| Sabana asociada a Bosque Artificial | PF |
| Selva de Ribera asociada a Pajonal | SRK |
| Selva Mixta asociada a Selva Degradada | SSx |
| Selva Degradada asociada a Selva Mixta | SxS |
| Agricultura asociada a Capueras y Bosque Artificial | ACF |
| Agricultura asociada a Bosque Artificial y Capueras | AFC |
| Agricultura asociada a Sabanas y Bosque Artificial | APF |
| Agricultura asociada a Bosque Degradado y Bosque Artificial | ABxF |
| Agricultura asociada a Selva Degradada y Capueras | ASxC |
| Agricultura asociada a Selva Degradada y Bosque Artificial | ASxF |
| Capueras asociada a Agricultura y Bosque Artificial | CAF |
| Sabanas asociada a Agricultura y Bosque Artificial | PAF |
| Bosque Degradado asociado a Capueras y Agricultura | BxCA |
| Selva Degradada asociada a Agricultura y Capueras | SxAC |
| Selva Degradada asociada a Agricultura y Bosque Artificial | SxAF |
| Selva Degradada asociada a Capueras y Agricultura | SxCA |

Tabla N°20 : Leyenda Cartográfica del Uso Actual de la Tierra y Tipos de Vegetación Estilizada.
AEROTERRA S.A. 1977

La Figura N° 27 muestra el mapa de uso del suelo en la cuenca del Arroyo Chapá en 1977, preparado según se ha descrito, en base al relevamiento de referencia y en la Tabla N° 21, las superficies abarcadas por cada una de las unidades de uso del suelo identificadas.

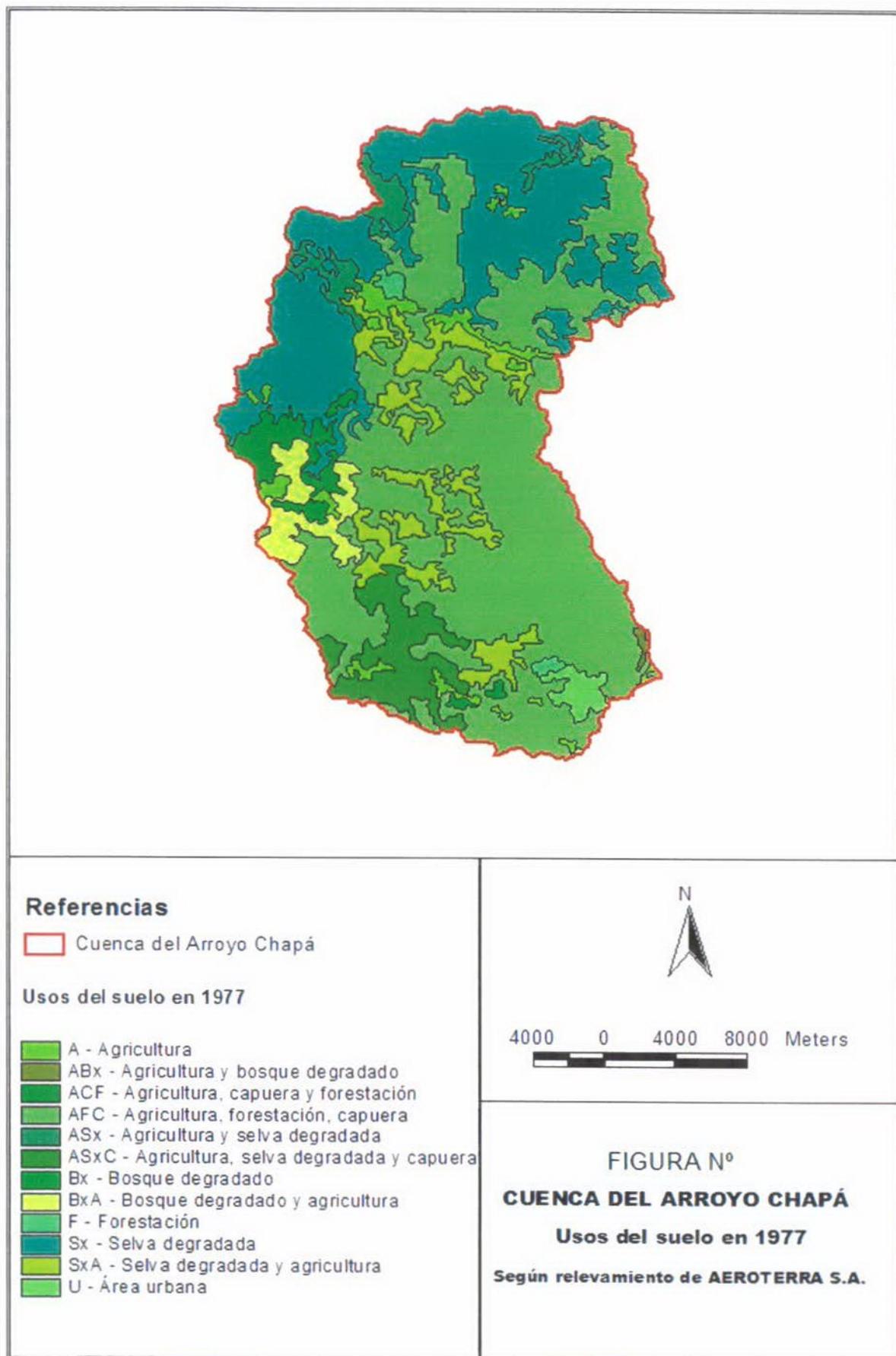


Figura N° 27: Cuenca del Arroyo Yabebiry – Subcuenca Arroyo Chapá. Usos del suelo en 1977 según el Mapa de Usos del Suelo y realizado por AEROTERRA S.A., y superficies involucradas. Elaboración propia.

| UNIDADES PURAS Y MIXTAS DE USOS DEL SUELO | | | |
|---|------------------------|------------------|-------------|
| Denominación | Símbolos Cartográficos | Superficie | |
| | | (ha.) | % |
| Agricultura | A | 1.843,10 | 2,9 |
| Agricultura asociada a Bosque Degradado | ABx | 105,5 | 0,2 |
| Agricultura asociada a Capueras y Bosque Artificial | ACF | 1.697,60 | 2,7 |
| Agricultura asociada a Bosque Artificial y Capueras | AFC | 30.374,30 | 48,5 |
| Agricultura asociada a Selva Degradada | ASx | 1.656,10 | 2,6 |
| Agricultura asociada a Selva Degradada y Capueras | ASxC | 3.233,70 | 5,2 |
| Subtotal usos agrícolas | | 38.910,30 | 62,2 |
| Bosque artificial | F | 333,7 | 0,5 |
| Subtotal uso bosque implantado | | 333,7 | 0,5 |
| Bosque Degradado | BX | 147,8 | 0,2 |
| Bosque Degradado asociado a Agricultura | BxA | 1.904,20 | 3,0 |
| Selva Degradada | Sx | 15.571,10 | 24,9 |
| Selva Degradada asociada a Agricultura | SxA | 5.046,90 | 8,1 |
| Subtotal cobertura boscosa nativa | | 22.670,00 | 36,2 |
| Áreas urbanas | U | 679,2 | 1,1 |
| Subtotal áreas urbanas | | 679,2 | 1,1 |
| Total | | 62.593,10 | |

Tabla N° 21 : Cuenca del Arroyo Yabebiry – Subcuenca Arroyo Chapá. Usos del suelo. Unidades cartográficas utilizadas por AEROTERRA S.A (1977) y superficies y porcentajes involucrados. Elaboración propia.

En la Figura N° 28 se muestra la participación de los distintos usos del suelo en 1977 en la conformación de la superficie total del área de estudio.

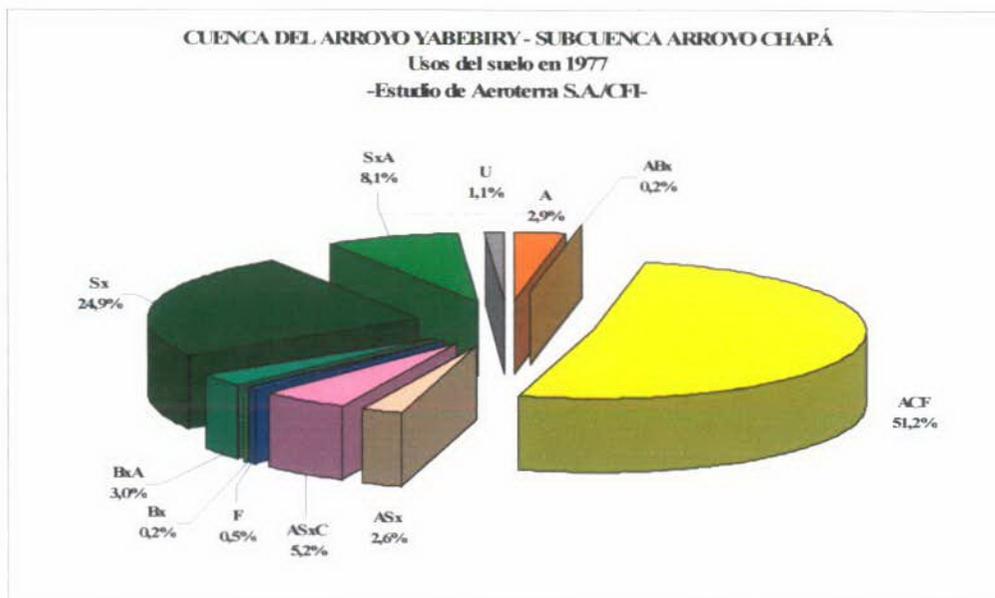


Figura N° 28: Cuenca del Arroyo Yabebiry – Subcuenca Arroyo Chapá. Usos del suelo. Unidades cartográficas utilizadas por AEROTERRA S.A (1977) y cobertura (%) superficial. Elaboración propia.

Ahora bien, a fin de poder evaluar los cambios experimentados en la superficie cubierta con formaciones nativas respecto de la situación relevada a principios de la década de 1960, las distintas

categorías de uso fueron reagrupadas según el uso predominante agrícola, bosques y/o selvas, bosque artificial y urbano, con el siguiente resultado:

- la superficie ocupada por usos predominantemente agrícolas (A, ABx, ACF, ASx y ASxC), totalizó 38.910,2 ha. es decir, el 62,2%;
- las superficies ocupadas predominantemente por masas boscosas (Bx, BxA, Sx, y SxA), sumó 22.670 ha., el 36,2% del total de la cuenca del arroyo Chapá;
- la superficie ocupada por bosques artificiales fue de 333,7 ha., representando el 0,5% del total del área; y
- la superficie cubierta por áreas urbanas, alcanzó 679,2 ha., 1,1% del total.

Según surge de los antecedentes analizados (C.A.R.T.A. y AEROTERRA S.A.), la cobertura de bosques nativos entre 1963 y 1977, experimentó una reducción del 63,1% al 36,2%. No obstante, en el relevamiento de AEROTERRA S.A. queda la incertidumbre respecto de cuánto representan las capueras, bosques y selvas degradadas asociados a la unidades de Agricultura.

Teniendo presente que la unidad mínima de mapeo (625m x 625 m) utilizada en dicho relevamiento representa una superficie de 39 ha., un 44% mayor que el tamaño promedio de las chacras en esta zona - 25 ha.-, es razonable suponer que las existencias de formaciones nativas encuadradas en tales categorías, elevarían sustancialmente las superficies con coberturas nativas en la cuenca.

Considerando una buena aproximación estimar que el 20% del área asignada a usos predominantemente agrícolas podrían conformar masas de bosques nativos con diferentes niveles de degradación, resultaría una superficie de 7.780 ha. que en el balance podría sumarse a las 22.670 ha. áreas predominantemente boscosas, con menores niveles de intervención antrópica.

Según tal interpretación de la información disponible, la cobertura con bosques nativos se habría reducido en los 14 años transcurridos entre 1963 y 1977 del 63,1% al 48,6% a una tasa de 647 ha./año.

1.2.3 Los usos del suelo en 1985

El estudio disponible es el Mapa Forestal de la Provincia de Misiones 1987, realizado en el marco de un convenio entre el Ministerio de Ecología, Recursos Naturales Renovables de la provincia de Misiones y la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de Misiones.

El trabajo se inició en el año 1984 y terminó en 1987 y se basó en la interpretación de fotografías aéreas verticales, pancromáticas, blanco y negro, aportadas por las empresas del sector celulósico- papelero. El material fotográfico disponible para la zona del Arroyo Chapa se correspondía con vuelos realizados en 1980.

La fotointerpretación fue chequeada a campo para cada fotografía. En momentos de gran actividad participaron aproximadamente 30 personas, la mayoría estudiantes avanzados de la carrera de Ingeniería Forestal; las superficies se midieron con un planímetro digital.⁹

La cartografía preparada consistió en mapas según la subdivisión provincial en Departamentos y Municipios, en escala 1: 50.000; los originales fueron facilitados por la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de Misiones.

Para armar el mosaico del Mapa Forestal de la cuenca del Arroyo Chapa se trabajó con la cartografía preparada para los Departamentos Oberá, Leandro N. Alem, San Ignacio y Candelaria, la que fue sometida -al igual que los anteriores antecedentes analizados- a procesos de escaneado, georreferenciación y vectorización de los atributos de interés; las superficies totales fueron calculadas con las herramientas disponibles en la tabla de atributos de ArcView 3.3.

El mapa preparado del modo descrito se presenta en la Figura N° 29 en la página siguiente y en el mismo puede observarse la cobertura con Monte nativo existente en la cuenca del Arroyo Chapá, a mediados de la década de 1980; las superficies involucradas se presentan en la siguiente Tabla N 22¹⁰.

| Usos del suelo | Superficie | |
|----------------|-----------------|--------------|
| | (ha.) | (%) |
| Monte nativo | 28.913 | 46,2 |
| Agricultura | 31.617 | 50,5 |
| Urbano | 2.061 | 3,3 |
| Total | 62.593,1 | 100,0 |

Tabla N° 22 : Cuenca del Arroyo Yabebiry – Subcuenca Arroyo Chapá. Usos del suelo en 1985 según el Mapa Forestal de la FCF/UNaM. Elaboración propia.

El análisis comparativo de este estudio con el trabajo de AEROTERRA S.A., muestra para el área una cobertura con Montes nativos aproximadamente del mismo orden. El dato resulta coherente con testimonios directos de productores de la zona que informaron que en sus chacras no ha habido desmontes significativos en los últimos 30 años y que los cambios

⁹ Comunicación personal del Ing. MAIOCCO, D. quien se desempeñara como Jefe de Fotointerpretación en el relevamiento realizado por la Facultad de Ciencias Forestales de la UNaM.

¹⁰ El Mapa Forestal preparado por la Facultad de Ciencias Forestales de la UNaM en 1987, muestra, para la zona de la cuenca del arroyo Chapá, una franja de 6.727 ha. que no cuenta con información debido a ausencia -a la fecha de su realización- de cobertura aerofotogramétrica. Los usos asignados a dicha área fueron obtenidos aplicando a la misma un porcentaje de uso promedio entre los usos existentes en dos franjas de 2 km. de ancho, una inmediatamente al norte y otra inmediatamente al sur del área en cuestión.

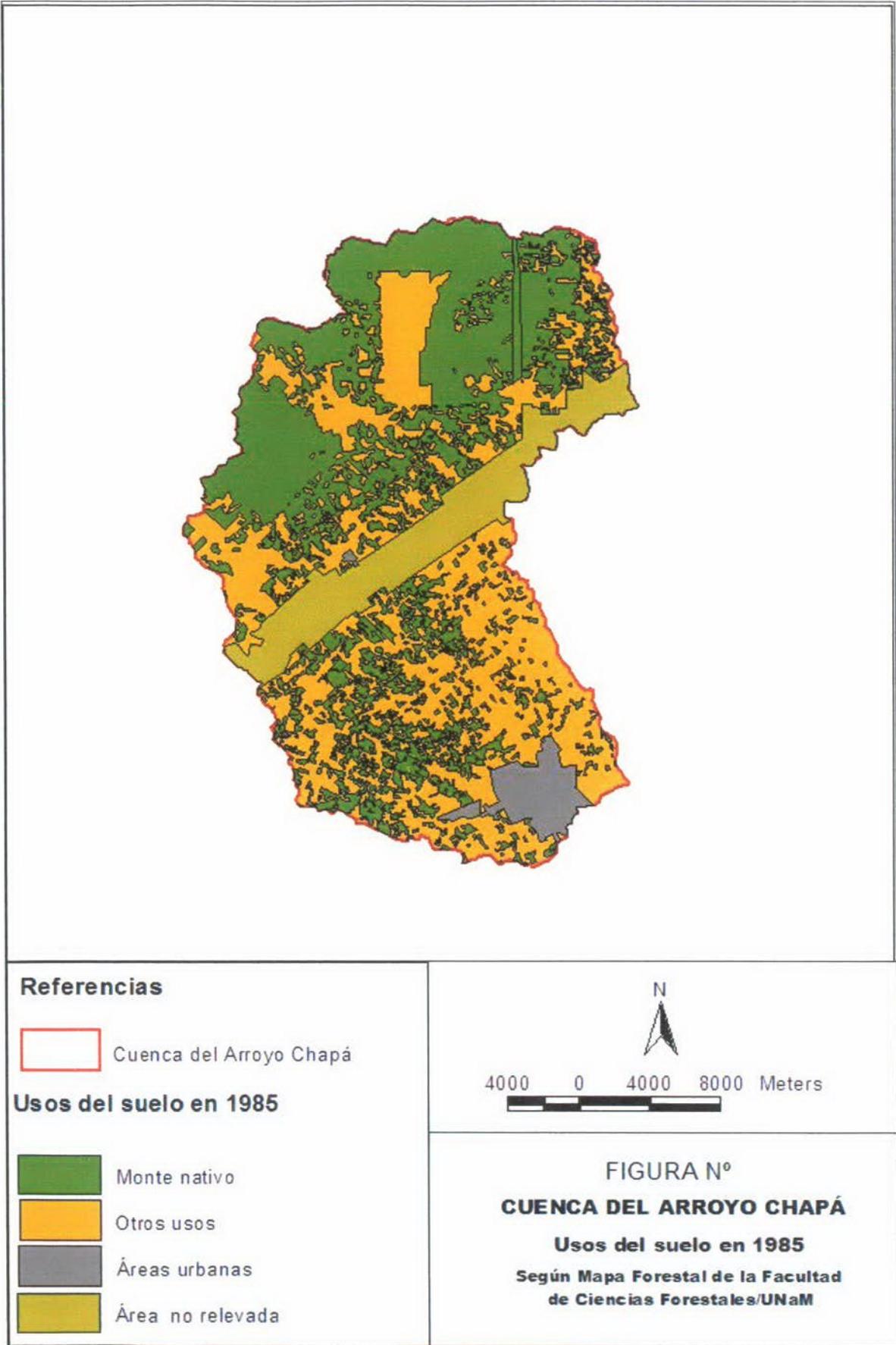


Figura N° 29: Cuenca del Arroyo Yabebiry – Subcuenca Arroyo Chapá. Usos del suelo en 1985 según Mapa Forestal de la Facultad de Ciencias Forestales/UNaM. Elaboración propia.

en los usos del suelo ocurridos tuvieron lugar a fines de la década de 1980 como consecuencia de la eliminación de las plantaciones de Tung, predominantemente convertidas a potreros para ganadería¹¹.

No obstante, aunque el mapa muestra una expansión de las áreas convertidas a otros usos - que podría estar relacionada con diferencias en las definiciones de las categorías de uso-evidencia una concentración predominante de tales áreas en la mitad sur de la cuenca..

1.2.4 Los usos del suelo en 2007

A los efectos de disponer de una evaluación actual de los usos del suelo en esta cuenca, se procedió a realizar una clasificación supervisada de los usos, a partir de una imagen Landsat 5 ETM de 2007, de 30 m x 30 m de resolución espacial, correspondiente a los meses de marzo/abril de dicho año.

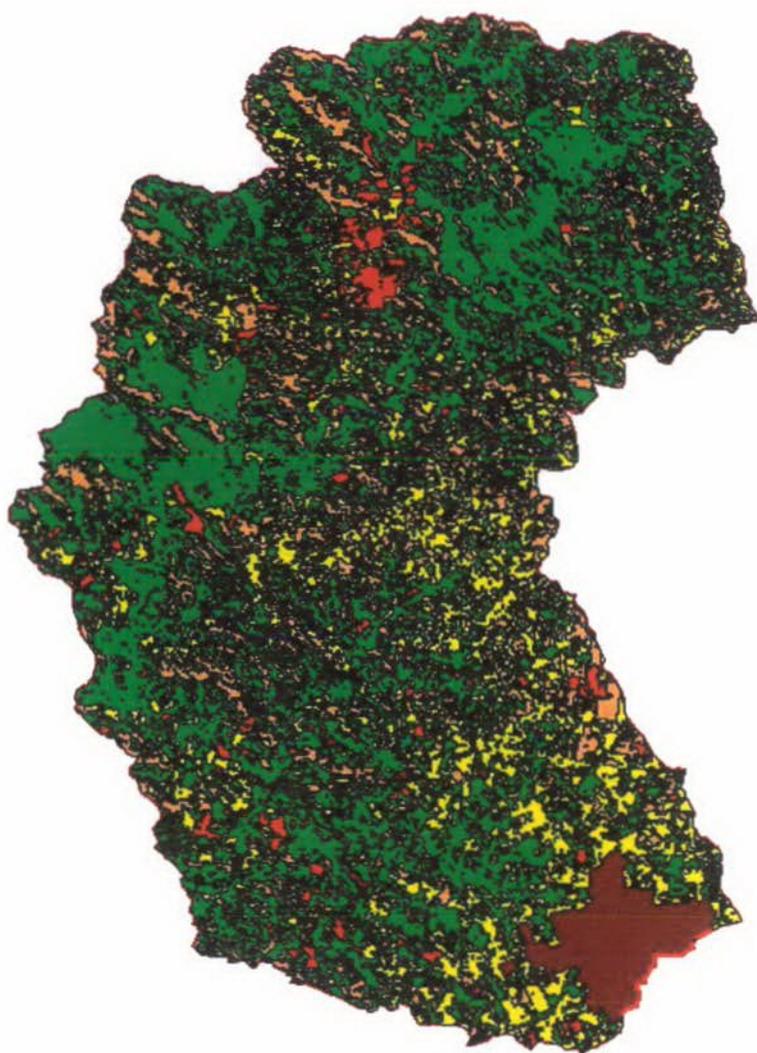
Utilizando los recursos de ERDAS 8.1 se obtuvo una clasificación inicial en 6 (seis) clases de usos que posteriormente fueron reagrupados en 5 (cinco); trabajada la imagen generada por ERDAS 8.1 con los recursos ofrecidos por ArcGis 8.1 y ArcView 3.3, se obtuvo el mapa de usos del suelo de la Figura N° 30.

La baja resolución espacial de la imagen Landsat disponible y el reducido tamaño de las parcelas correspondientes a los distintos cultivos -rasgo típico de la economía rural de la Provincia- impiden una clara separación de los usos. Por tal motivo, las clases obtenidas no deben ser entendidas como unidades “puras” sino por el contrario como unidades “mixtas” y la clasificación obtenida debe ser considerada bajo el concepto de “uso predominante”. El único uso del suelo que está definido con precisión de una “unidad pura” es el correspondiente a “Áreas urbanas”, medido a partir de una imagen “Sid” 2001 provista por la Dirección General de Catastro. La Tabla N° 23 muestra los usos actuales del suelo de la cuenca según la clasificación obtenida, en superficie y porcentaje.

| Usos del suelo | Superficies | |
|-------------------|-----------------|--------------|
| | -ha.- | -%- |
| Bosque espontáneo | 32.193,6 | 51,4 |
| Agricultura | 13.829,5 | 22,1 |
| Capueras | 12.524,4 | 20,0 |
| Forestación | 2.151,4 | 3,4 |
| Áreas urbanas | 1.894,2 | 3,0 |
| Total | 62.593,1 | 100,0 |

Tabla N° 23: Cuenca del Arroyo Yabebiry – Subcuenca Arroyo Chapá.
Usos del suelo en 2007. Elaboración propia.

¹¹ Este cultivo fue progresivamente eliminado de las chacras como consecuencia de cambios en el mercado mundial del aceite producido partir de sus semillas, sustituido por aceites sintéticos.



Referencias

 Cuenca del Arroyo Chapá

Unidades cartográficas

 Bosque espontáneo

 Capueras

 Forestación

 Usos agrícolas

 Área Urbana

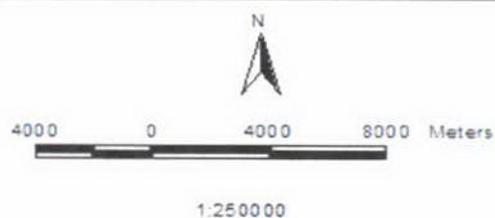


FIGURA N°

CUENCA DEL ARROYO CHAPÁ

Usos del suelo en 2007

**Elaboración propia en base a imagen
Landsat 5TM Marzo/Abril 2007**

Figura N° 30: Cuenca del Arroyo Yabebiry – Subcuenca Arroyo Chapá. Usos del suelo en 1985 según Mapa Forestal de la Facultad de Ciencias Forestales/UNaM. Elaboración propia.

Teniendo en cuenta lo expresado, los resultados de la clasificación muestran que el uso predominante en la cuenca es aún el bosque nativo, incluyendo en él a sus diferentes expresiones de degradación, y ello es coherente con la simple visualización de la imagen Landsat.

Pero las estimaciones de las superficies para los usos agrícolas y capueras no parecen muy razonables. Una posible explicación al significativo porcentaje asignado a las capueras y la reducción de la superficie destinada a los usos agrícolas podría atribuirse al abandono de chacras como consecuencia de las crisis de precios de los productos tradicionales. Pero es un dato que debe ser corroborado.

Es evidente que la resolución espacial de 30 m x 30 m de la imagen disponible, para áreas en las que el mosaico de usos del suelo se encuentra fraccionado en unidades territoriales muy pequeñas, no resulta adecuada para separarlos con la precisión necesaria.

1.2.5 Las áreas de recarga de la cuenca y los cambios en los usos del suelo

Desde el punto de vista hidrológico las formas de la tierra, particularmente las pendientes, ejercen una influencia importante en la modalidad que adquiere el escurrimiento en los cauces, es decir, en su régimen.

En las superficies con menores pendientes, el agua de lluvia escurre a menor velocidad y entonces, en función de la permeabilidad de los suelos, la infiltración del agua ocurre lentamente contribuyendo al mantenimiento de la humedad en el suelo y, una vez que alcanza la zona saturada, a la recarga de los acuíferos y el escurrimiento subterráneo. Los caudales permanentes de los cursos de agua, por lo general, son aportados por este tipo de almacenamiento del agua en la cuenca y son sumamente importantes, particularmente porque constituyen la única reserva disponible durante los estiajes y épocas de sequías.

Por el contrario, en las áreas con pendientes pronunciadas, tanto el agua que escurre superficialmente como la que logra infiltrarse en el suelo, se mueven con mayor velocidad, contribuyendo más rápidamente a formar parte del escurrimiento en el cauce.

Asimismo, las pendientes son condicionantes de las actividades agrícolas. En efecto, en Misiones, los suelos rojos y profundos, de mejores aptitudes agrícolas se localizan en tierras con pendientes suaves, condición que también contribuye a la definición de sus buenas aptitudes en razón del menor riesgo a la erosión hídrica asociado. Por dicho motivo, las áreas agrícolas se localizan predominantemente en dichas tierras, ubicadas en los interfluvios, en las zonas más altas de las lomas o colinas que conforman el paisaje misionero, o en las zonas que se corresponden geomorfológicamente con el relieve amesetado, propio del centro de la Provincia de Misiones.

La coincidencia de los espacios más apreciados agrícolamente con las zonas de recargas de los acuíferos y de las nacientes de los arroyos, plantea entonces una posible interferencia en relación con los procesos hidrológicos en la cuenca.

Con la finalidad de evaluar la distribución espacial de las áreas en las cuales la vegetación original fue convertida a otros usos, en relación con las principales zonas de recarga de los acuíferos en la cuenca del Chapá, se preparó un mapa del área en base a tres grupos de pendientes: menores al 10%; entre 10% y 20%; y mayores a 20%.

El mapa de la Figura N° 31 -página siguiente-, se confeccionó en base a una imagen (formato .img) obtenida utilizando el MODELER, una de las herramientas que ofrece ERDAS IMAGINE 8.4, posteriormente transformada al formato shape con ArcGis 8.1 y, finalmente, trabajado y editado con ArcView 3.3.

Como puede observarse en la figura, la mayor parte de la cuenca se encuentra comprendida en el grupo de pendientes menores a 10%. La superficie involucrada en este grupo es 32.76,9 ha., es decir, el 52,3% del total del área de la cuenca. A su conformación contribuyen tanto superficies ubicadas en las zonas altas de la cuenca, como otras localizadas en los valles más importantes de la misma.

El grupo que le sigue en participación, es el de pendientes comprendidas entre 10% y 15%. Este grupo involucra una superficie total de 20.926,3 ha., y representa el 33,4% del total de la cuenca. Por lo general se corresponde con las laderas que conforman los valles de los arroyos.

Finalmente, el grupo de pendientes mayores a 20% abarca 8.909,9 ha. y representa el 14,3% de la superficie de la cuenca; conforman las laderas más escarpadas.

La Tabla N° 24 sintetiza la distribución de la superficie de la cuenca según los grupos de pendientes.

| Grupos de pendientes | Superficies | |
|------------------------|-----------------|--------------|
| | -ha.- | -%- |
| Mayor a 20% | 8.909,9 | 14,3 |
| entre 10% y 20% | 20.926,3 | 33,4 |
| Menor 10% | 31.756,9 | 52,4 |
| Total | 62.593,1 | 100,0 |

Tabla N°24: Cuenca del Arroyo Chapá. Superficie de la cuenca según grupos de pendientes, en hectáreas y por ciento. Elaboración propia

Ahora bien, como ya se ha expresado y puede observarse en la figura anterior, las áreas con pendientes más suaves, menores a 10% se localizan en sitios con diferentes características e interés hidrológico.

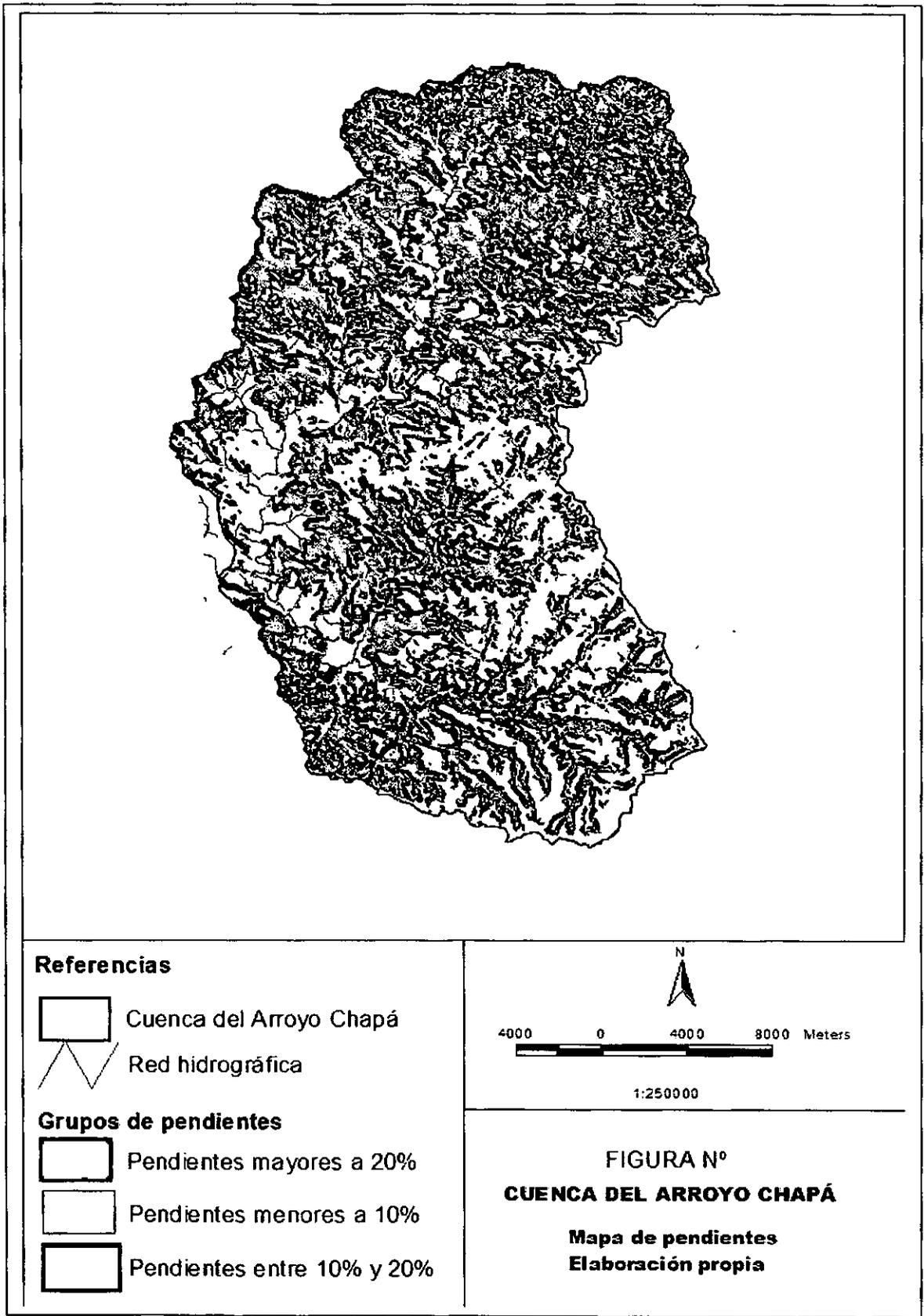


Figura N° 31: Cuenca del Arroyo Yabebiry – Subcuenca Arroyo Chapá. Mapa de distribución de las áreas según grupos de pendientes. Elaboración propia.

En efecto, algo más de la mitad de estas áreas (17.109,9 ha., el 53,9%) corresponde a las zonas altas de la cuenca, en las lomas que se ubican en los interfluvios, y en las cuales tienen lugar los procesos de infiltración y recarga de los acuíferos subterráneos.

El 46,1% restante, equivalente a 14.420,4 ha. se corresponde predominantemente con tierras bajas distribuidas a lo largo de los amplios valles que se extienden en la zona media y baja de la cuenca; hidrológicamente, estas áreas se encuentran en las zonas de descargas de la cuenca.

En la Figura N° 32 de la página siguiente, se representa el polígono que encierra a la mayor parte de la zona de recarga de la cuenca, esto es, las áreas altas con pendientes menores a 10%. Puede observarse que las 17.109,9 ha. de dicha zona, se extienden casi exclusivamente sobre la mitad sureste de la cuenca.

Superponiendo el área de recarga así definida, con los mapas que representan los estados de uso del suelo para 1963, 1977, 1985 y 2007, se puede evaluar la evolución de los cambios en los usos del suelo en dicha zona.

En 1963, dentro del área de recarga, los usos del suelo presentaban la situación que muestra la Tabla N° 25.

| Usos del suelo en 1963 | Superficies | |
|---------------------------|-----------------|--------------|
| | -ha.- | -%- |
| Agrícola | 12.567,7 | 73,5 |
| Capuera | 2.686,0 | 15,7 |
| Bosque alto | 1.812,3 | 10,6 |
| Urbano | 43,8 | 0,3 |
| Total | 17.109,9 | 100,0 |

Tabla N° 25: Cuenca del Arroyo Chapá. Usos del suelo en el área de recarga de la cuenca, en 1963.
Elaboración propia en base a CARTA (1963)

Considerando la suma de las categorías de usos del suelo correspondientes a masas boscosas nativas, cualquiera sea su grado de degradación, resulta que a principios del período de estudio estas áreas de recarga ya habían sido convertidas a otros usos en más del 73% de su superficie.

La superposición de la zona de recarga con el mapa producido por AEROTERRA S.A. para 1977, muestra para la zona de recarga definida, el estado de situación que se presenta en la Tabla N° 26.

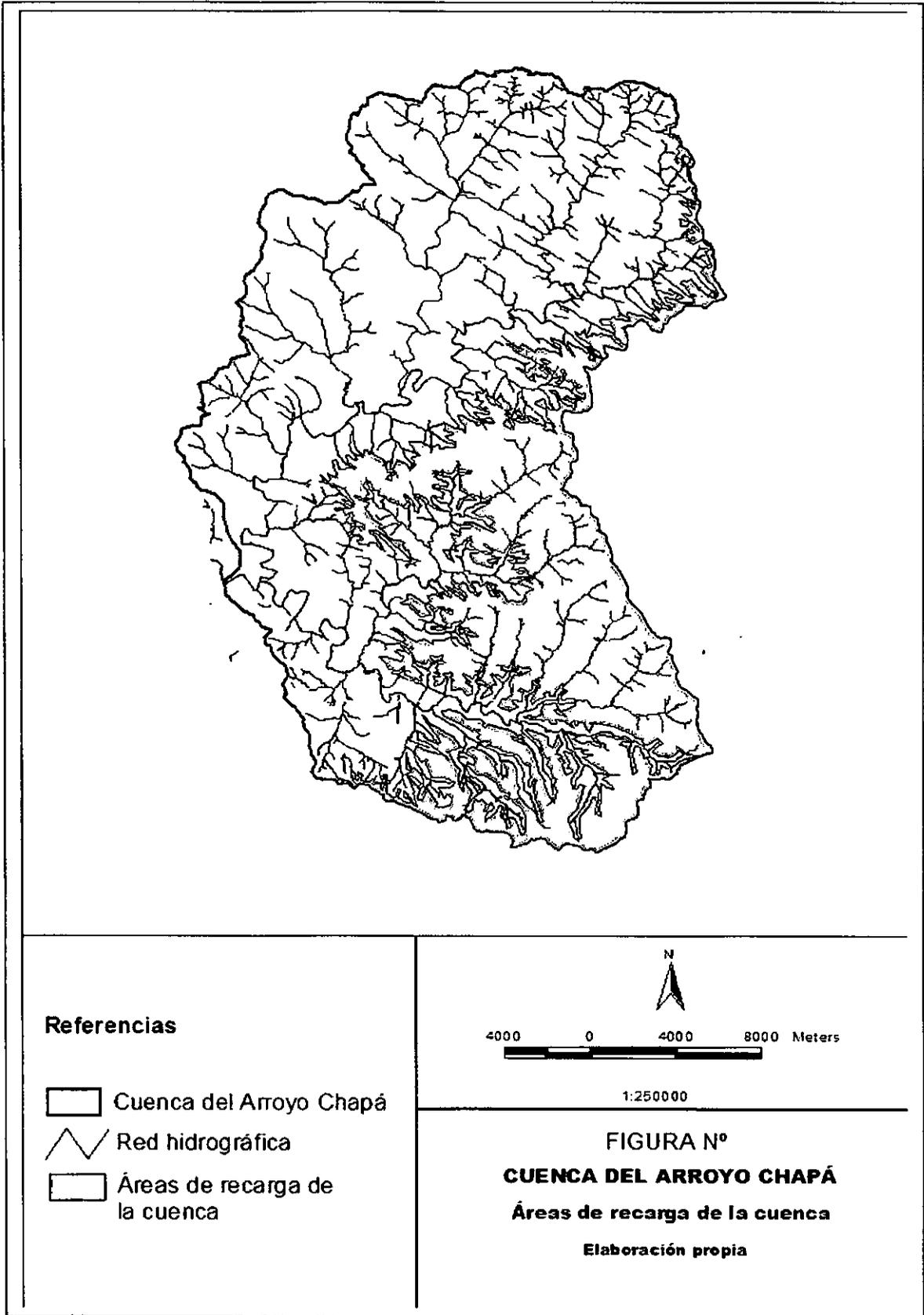


Figura N° 32: Cuenca del Arroyo Yabebiry – Subcuenca Arroyo Chapá. Mapa de áreas de recarga de la cuenca. Elaboración propia.

| Denominación | Símbolos Cartográficos | Superficie | |
|---|------------------------|-----------------|--------------|
| | | (ha.) | % |
| Agricultura | A | 329,3 | 1,9 |
| Agricultura asociada a Bosque Degradado | ABx | 105,8 | 0,6 |
| Agricultura asociada a Bosque Artificial y Capueras | AFC | 14.548,3 | 85,0 |
| Agricultura asociada a Selva Degradada y Capueras | ASxC | 503,7 | 2,9 |
| Subtotal usos agrícolas | | 15.487,1 | 90,5 |
| Bosque artificial | F | 38,6 | 0,2 |
| Subtotal uso bosque implantado | | 38,6 | 0,2 |
| Bosque Degradado | BX | 57,6 | 0,3 |
| Bosque Degradado asociado a Agricultura | BxA | 6,7 | 0,0 |
| Selva Degradada | Sx | 288,3 | 1,7 |
| Selva Degradada asociada a Agricultura | SxA | 711,5 | 4,2 |
| Subtotal cobertura boscosa nativa | | 1.064,1 | 6,2 |
| Áreas urbanas | U | 520,1 | 3,0 |
| Subtotal áreas urbanas | | 520,1 | 3,0 |
| Total | | 17.109,9 | 100,0 |

Tabla N° 26: Cuenca del Arroyo Chapá. Usos del suelo en el área de recarga de la cuenca, en 1977.
Elaboración propia en base a AEROTERRA S.A. (1978)

Según este relevamiento, a mediados de la década de 1970, las áreas de recarga de la cuenca del Chapá sólo mantenían coberturas boscosas -aunque con distintos tipos de alteración- en una extensión algo superior al 6%.

En 1985 y según el Mapa Forestal Provincial elaborado por la UNaM, el área de recarga de la cuenca presentaba la situación que muestra la Tabla N° 27.

| Usos del suelo | Superficie | |
|----------------|-----------------|--------------|
| | (ha.) | (%) |
| Monte nativo | 2.849,5 | 16,7 |
| Agricultura | 12.924,4 | 75,5 |
| Urbano | 1.336,0 | 7,8 |
| Total | 62.593,1 | 100,0 |

Tabla N° 27: Cuenca del Arroyo Chapá. Usos del suelo en el área de recarga de la cuenca, en 1985.
Elaboración propia en base al Mapa Forestal Provincial. (UNaM, 1987)

Las conversiones de la cobertura original para los usos agrícolas tradicionales, a mediados de la década de 1980, representaban aproximadamente el 75% de la superficie de la cuenca, es decir, una situación muy parecida a la obtenida para 1963.

Finalmente, según la clasificación supervisada realizada sobre la imagen Landsat 5 ETM de marzo/abril de 2007, la zona de recarga de la cuenca del Arroyo Chapá presenta la situación de uso del suelo que se sintetiza en la Tabla N° 28.

| Usos del suelo | Superficies | |
|-------------------|-----------------|--------------|
| | -ha.- | -%- |
| Bosque espontáneo | 4.670,6 | 27,3 |
| Agricultura | 6.949,5 | 40,6 |
| Capueras | 3.747,8 | 21,9 |
| Forestación | 429,0 | 2,5 |
| Áreas urbanas | 1.313,0 | 7,7 |
| Total | 17.109,9 | 100,0 |

Tabla N° 28: Cuenca del Arroyo Chapá. Usos del suelo en el área de recarga de la cuenca, en 2007. Elaboración propia en base a imagen Landsat 5 ETM (marzo/abril, 2007)

Para 2007, la información disponible indica que el uso predominante de la zona de recarga definida en los términos de este trabajo, es la agricultura. Valen para esta interpretación las mismas consideraciones expresadas al evaluar los resultados de la clasificación de usos obtenida a partir de esta imagen.

1.2.6 Síntesis de los cambios en los usos del suelo en la cuenca entre 1963 y 2007

La Tabla N° 29 y la Figura N° 33, sintetizan los cambios en los usos del suelo en la cuenca del Arroyo Chapá, obtenidos a partir del análisis de los antecedentes disponibles para el período 1963-2007.

| Usos del suelo | Años | | | |
|----------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | 1963 | 1977 | 1985 | 2007 |
| Formaciones boscosas | 39.517 | 30.452 | 28.983,3 | 32.194 |
| Otros usos | 23.076 | 32.141 | 33.610 | 30.400 |
| Total | 62.593 | 62.593 | 62.593 | 62.593 |

Tabla N° 29: Cuenca del Arroyo Chapá. Cambios en los usos del suelo. Período 1963/2007. Elaboración propia

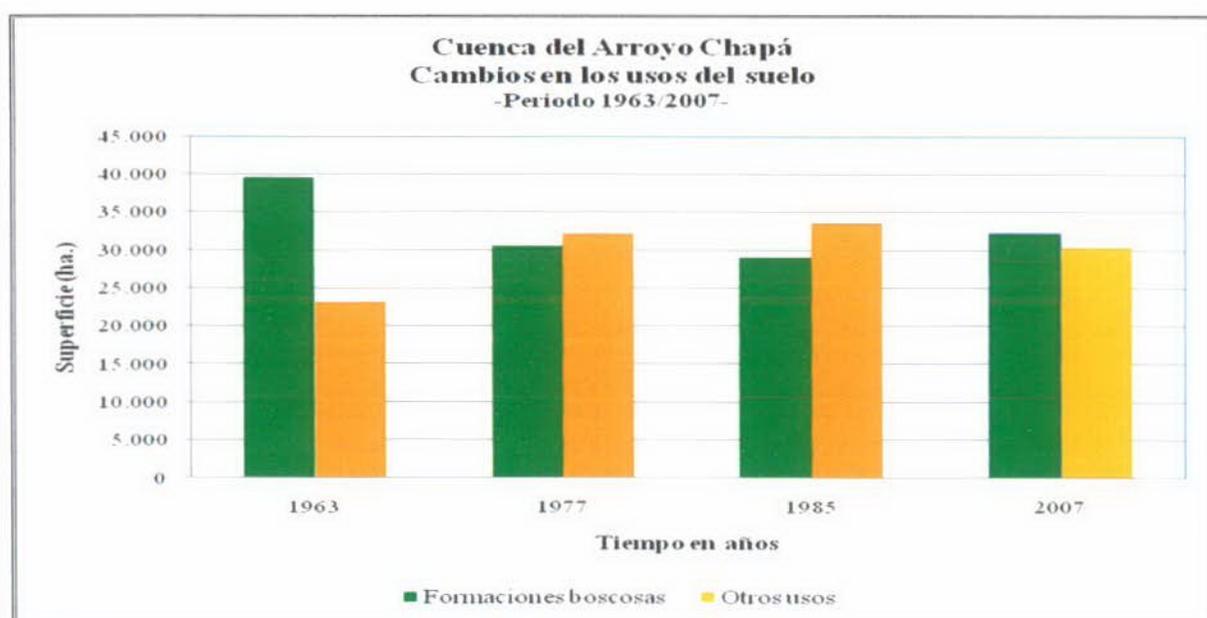


Figura N° 33: Cuenca del Arroyo Chapá. Cambios en los usos del suelo. Período 1963/2007. Elaboración propia

El análisis de los resultados obtenidos permite realizar las siguientes observaciones:

- a principios de la década de 1960, alrededor del 40% de la cobertura vegetal original de la cuenca ya había sido convertida a otros usos, principalmente a los cultivos de la agricultura tradicional;
- debido a que se trata de las tierras con mejores aptitudes agrícolas de la cuenca, más del 70% de la superficie de la zona definida como área de recarga, ya había sido convertida a otros usos en 1963;
- entre principios de la década de 1960 y 1977, la cobertura vegetal sufrió una reducción del orden de las 9.000 ha.;
- desde 1985 en adelante, los estudios de la cobertura vegetal no revelan cambios sustantivos .

1.3 Cambios en el régimen hidrológico y relación con los cambios en los usos del suelo

El análisis del régimen hidrológico del Arroyo Chapá en el período 1954/2005, en la cuenca del Arroyo Yabebiry, ha puesto de manifiesto que el mismo ha experimentado importantes alteraciones.

En efecto, al menos desde fines de la década de 1950, período para el cual se dispone de datos hidrológicos para este curso del interior de Misiones, los estudios realizados en el presente trabajo ponen en evidencia:

- modificaciones sustantivas y progresivas en sus caudales característicos a lo largo de todo el período de estudio, pero con particular énfasis desde principios de los años '80;
- cambios progresivos en las velocidades con que desagotan las componentes superficial, subsuperficial y subterráneo del escurrimiento; y, finalmente,
- los cambios observados han ocurrido con independencia de las condiciones hidrológicas de la cuenca.

El sistema hidrológico de la cuenca estudiada pareciera encontrarse en una situación de gran alteración que se manifiesta en una creciente pérdida de capacidad de regulación de los flujos y de retención del agua dentro del sistema; cada vez más agua se escurre más rápido de la cuenca.

La independencia observada en tales cambios respecto de las condiciones hidrológicas en la cuenca, sugieren que los mismos se relacionan con cambios en las condiciones físicas.

Los estudios realizados sobre los cambios en la cobertura de los suelos, es decir, en una de las condiciones físicas de relevancia hidrológica, muestran una cuenca sustancialmente alterada con

anterioridad al período que abarca el estudio. Pero también muestran cierta continuidad en los cambios, al menos hasta mediados de la década de los '70. Revelan, además, que la zona de recarga de la cuenca ha concentrado en gran medida las acciones de conversión de las masas boscosas nativas a los otros usos.

Finalmente, es importante destacar que la relación entre cambios en los usos de los suelos y alteraciones en el régimen hidrológico ha sido objeto de interés de la hidrología desde hace mucho tiempo, y estudiada en cuencas de diversas partes del mundo, y que los resultados son semejantes a los observados en este estudio.

Los tiempos de respuesta de la cuenca a los cambios dependen de la magnitud de los: más rápidos cuando se trata de conversiones de grandes superficies; más lentos cuando son pequeñas áreas dispersas en la cuenca.

Otros cambios en las condiciones físicas, tales como la compactación de los suelos que ocurre como consecuencia de las actividades que sustituyan a la cobertura original, también influyen sobre el escurrimiento.

2. Impactos de las actividades sobre el escurrimiento y calidad del agua

Como se ha expresado en la introducción al presente Tomo III, el plan de tareas inicial proponía una evaluación por separado de los impactos de las actividades sobre el escurrimiento y sobre la calidad del agua, pero al iniciar el estudio de los impactos, uno de los integrantes del equipo propuso realizar un Estudio de Impacto Ambiental de las actividades identificadas en cada una de las cuencas, con potencial para afectar ambos factores de interés, alternativa que ofrece una visión más amplia e integrada de cómo y en qué medida las intervenciones antrópicas pueden afectar factores claves para los procesos de generación de escorrentía y para la calidad de las aguas.

En este apartado se presenta, entonces, los resultados obtenidos del Estudio de Impacto Ambiental realizado para las dos áreas de estudio seleccionadas.

No obstante, previamente es necesario referirse a algunas actividades previstas en el plan de tareas inicial, como la *medición de niveles y caudales en microcuencas* y los *ensayos de infiltración*, particularmente porque estos últimos permitieron generar información posteriormente utilizada en el Estudio de Impacto Ambiental.

Más adelante en el texto, cuando se trata el estudio de impacto realizado, se describe la metodología aplicada.

2.1 Medición de niveles y caudales en microcuencas

Para cumplir con este objetivo, y como se tenía previsto, en ambas cuencas se realizó una identificación de las posibles microcuencas representativas de los usos “Monte nativo”, “Capuera”, “Yerba mate”, “Té” y “Forestación”, “Cultivo anual”, “Potrero”, en las cuales se medían niveles *hidrométricos y caudales*.

La información generada para la categoría “Monte nativo” serviría para ser utilizada como línea de base a partir de la cual evaluar diferencias con y entre los demás usos predominantes en las áreas de estudio.

En setiembre de 2007, en una parcela de la cuenca del Arroyo Nagel, se construyó la estructura donde se instaló el instrumento para el registro y almacenamiento de datos hidrométricos¹², la cual puede observarse en la Foto N° 1, en la página siguiente; por su parte, la Foto N° 2 muestra el tipo de datalogger con sensor de presión para medición de niveles hidrométricos instalado en dicha parcela en la misma fecha.

El software utilizado por el equipo instalado permite constatar en el momento de la instalación que el mismo sea adecuadamente iniciado, con lo cual quedó operando desde entonces hasta diciembre de 2007 cuando se procedió a realizar una primer bajada de la información almacenada. Lamentablemente durante el período transcurrido el instrumento experimentó un desperfecto de tipo eléctrico que alteró el registro con la información almacenada.

El equipo fue remitido a un laboratorio¹³ para chequear y reparar el desperfecto y sustituido por otro del mismo tipo desde febrero del corriente año. Durante el mes de mayo, al proceder a bajar la información almacenada en el datalogger, se verificó nuevamente un desperfecto que se tradujo en un error los datos registrados¹⁴.

El plan de trabajo también previó la instalación de un instrumento para registrar las precipitaciones en la cuenca. Con tal fin se instaló -Fotos N° 3 y N° 4, en la página siguiente- en el predio de la Cooperativa de Servicios Públicos Ltda. de Leandro N. Alem un pluviógrafo, dotado de un datalogger del tipo ya referido para el almacenamiento de la información; la Foto N° 5 muestra el sitio en el que se instaló el pluviógrafo y el momento de la operación de transferencia de la información almacenada a una notebook. Por su parte, la Figura N° 34 -en la página 72- muestra parte del registro pluviográfico obtenido.

¹² Se instaló un datalogger fabricado por DATAFLOW SYSTEM.

¹³ Se recurrió para ello a la colaboración de investigadores de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (FICH) de la Universidad Nacional del Litoral (UNL) que utilizan este mismo instrumental en muchos de sus trabajos de investigación.

¹⁴ Remitido también este registrador a la FICH/UNL para ser analizado, se nos comunicó que la cámara sellada del datalogger que para un correcto funcionamiento debía mantenerse en condiciones de estanqueidad, se encontraba inundada.



Foto N° 1: Cuenca del A° Nagel. Microcuenca representativa uso "Yerba mate".
Instalación para el registro y almacenamiento de datos hidrométricos.

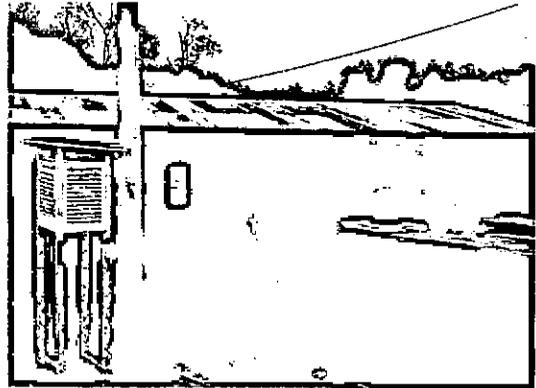


Foto N° 3: Cuenca del A° Nagel. Estación Meteorológica de la Cooperativa de Servicios Públicos Ltda. de L. N. Alem

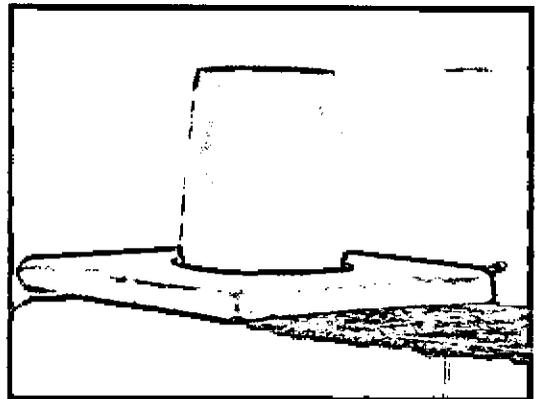


Foto N° 4: Cuenca del A° Nagel. Pluviógrafo instalado en la Cooperativa de L. N. Alem

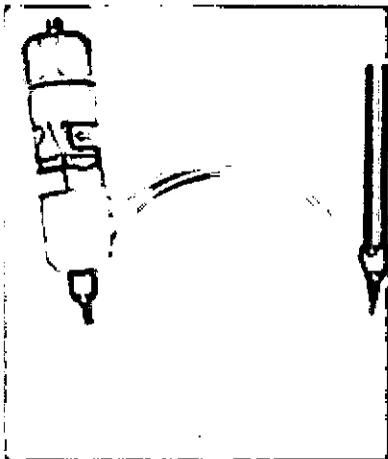


Foto N° 2: Cuenca del A° Nagel. Tipo de equipamiento instalado para registro y almacenamiento de datos hidrométricos



Foto N°5: Cuenca del A° Nagel. Transferencia de datos del pluviógrafo a una notebook

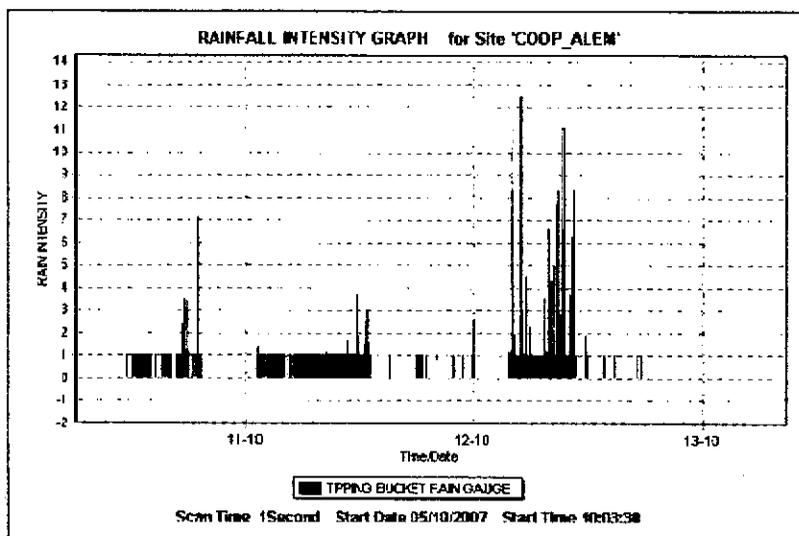


Figura N° 34: Cuenca del A° Nagel. Parte del registro obtenido con el pluviógrafo instalado en la Cooperativa de Servicios Públicos Ltda. de Leandro N. Alem.

Debido a que los inconvenientes experimentados con los dos dataloggers disponibles para el registro de niveles hidrométricos en microcuencas no pudieron ser subsanados en el período previsto para el presente trabajo, no se dispuso de datos sobre los cuales estimar el escurrimiento generado por los distintos usos del suelo para ninguna de las dos cuencas.

2.2 Ensayos de infiltración

La segunda línea de investigación propuesta en el plan de trabajo para evaluar los impactos de los usos del suelo sobre el escurrimiento fueron los *ensayos de infiltración*.

Como es sabido la infiltración del agua en el suelo es uno de los principales procesos hidrológicos que se verifican como parte del ciclo del agua, y tiene lugar cuando el agua de lluvia toma contacto con el suelo y comienza a penetrar bajo su superficie relleno sus vacíos, poros, fisuras, agujeros y pequeños canales. Una buena parte del agua infiltrada queda en la zona no saturada o zona de humedad del suelo desde donde vuelve a la atmósfera por evaporación o transpiración de las plantas (evapotranspiración), pero otra parte alcanza la zona saturada y contribuye así a la recarga de los acuíferos subterráneos.

Ahora bien, las actividades agrícolas, ganaderas y forestales interfieren en dicho proceso al modificar la capacidad natural de infiltración del agua en el suelo.

En efecto, la porosidad natural de los suelos resulta alterada negativamente -reducida- ya sea como consecuencia de las diferentes labores que demandan las actividades -tales como la utilización de maquinarias en las etapas preparatorias del terreno, de mantenimiento, o durante las cosechas- o por las propias peculiaridades de la actividad -como es el pisoteo del ganado. La progresiva reducción de la porosidad del suelo se traduce con el paso del tiempo en alteraciones de

la capacidad de infiltración, lo cual conduce a un incremento del escurrimiento superficial y, a una reducción de la humedad del suelo y la recarga de los acuíferos subterráneos.

El incremento de la esorrentía superficial, está directamente asociado con los procesos erosivos y, así también, con la pérdida de calidad de las aguas; las partículas removidas y transportadas hasta los cursos afectan la transparencia; el agua disuelve y transporta elementos químicos de los materiales con los que toma contacto, incluyendo tóxicos derivados de los productos fitosanitarios y fertilizantes utilizados en las actividades rurales.

En ese marco, el objetivo buscado con la realización de los ensayos de infiltración es disponer de un indicador indirecto sobre el cual evaluar el impacto de las actividades agrícolas, ganaderas y forestales sobre la generación de esorrentía, las reservas acuíferas y la calidad del agua.

-Sobre el infiltrómetro utilizado

Para su realización se dispuso del infiltrómetro de doble anillo modelo “Turf-Tec International” facilitado por INTA que se muestra en la Foto N° 6.

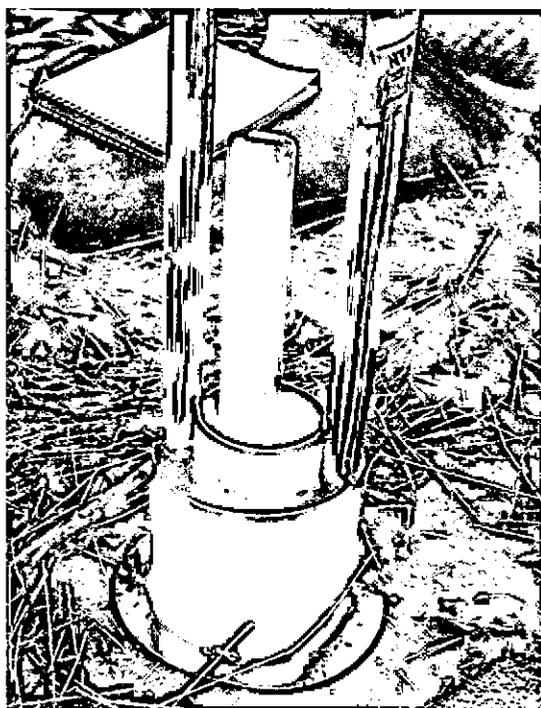


Foto N° 6: Infiltrómetro de doble anillo

El infiltrómetro permite medir la conductividad hidráulica o permeabilidad del suelo superficial saturado, y consiste en un anillo interior y otro exterior soldados solidariamente que se insertan unos 5 cm. de profundidad en el suelo. En ambos anillos se debe mantener una carga constante de agua; mientras la carga de agua en el anillo interior permite medir el flujo vertical, la del anillo exterior contribuye a minimizar eventuales errores generados por el flujo lateral.

La velocidad de infiltración se determina midiendo la cantidad de agua que infiltra en el suelo desde el anillo interior, por unidad de tiempo. Al principio, la velocidad de ingreso del agua en el suelo presenta valores relativamente altos, dependiendo del estado de humedad previo al ensayo, pero disminuye a medida que los poros del suelo se van llenando de agua. Cuando los poros se han saturado de agua, la velocidad se hace constante y es a esa velocidad que se llama *permeabilidad*, y es un indicador de las condiciones de compactación del suelo.

El horizonte menos permeable del perfil es el que determina la permeabilidad, debido a que es el que regula la velocidad con que el agua puede atravesarlo. En condiciones de suelo "virgen" el horizonte menos permeable es el B textural. Cuando el suelo presenta compactación de origen antrópico el condicionante de la permeabilidad puede ser el horizonte superficial, en caso de que el pisoteo de animales haya generado una densificación, es decir, una disminución de la porosidad total, fundamentalmente de los macroporos. Si lo que generó la compactación fue el uso de tractores y/o rastras, por lo general el horizonte compactado que limita el ingreso de agua por falta de macro, meso y micro poros, es el subsuperficial.

En los apartados siguientes se describen los sitios en los cuales se realizaron los ensayos de infiltración y los resultados obtenidos, en ambas cuencas.

2.2.1. Ensayos en la cuenca del Arroyo Mbiguá

En la cuenca del arroyo Mbiguá, los ensayos fueron realizados en lotes seleccionados por lo general ubicados en las zonas altas de la cuenca, las que constituyen las áreas más planas y, consecuentemente y como ya se ha expresado, las de mayor incidencia en la recarga de los acuíferos subterráneos.

Las parcelas elegidas son representativas de los usos predominantes en el área: Monte nativo, Plantación forestal, Yerba mate, Té, Mandioca y Potrero (para ganadería).

En la Figura N° 35, en la página siguiente, se muestra la ubicación en la cuenca de los sitios en los cuales se realizaron los ensayos de infiltración, los que se describen a continuación utilizando la misma leyenda que se usa en la figura:

- Potrero: Este ensayo fue realizado en una parcela ubicada en el sector Noroeste de la cuenca, en las nacientes del arroyo Punta Cancha, al Norte del trazado de la R.N.N° 14 con la cual limita. Se trata de un lote dedicado al pastoreo de animales en el cual, como parte de las prácticas de manejo utilizadas, se observan instalaciones para el encierre de los mismos; recientemente, también se ha implantado una plantación de *Araucaria angustifolia*. (Foto N° 7, en la página 76).

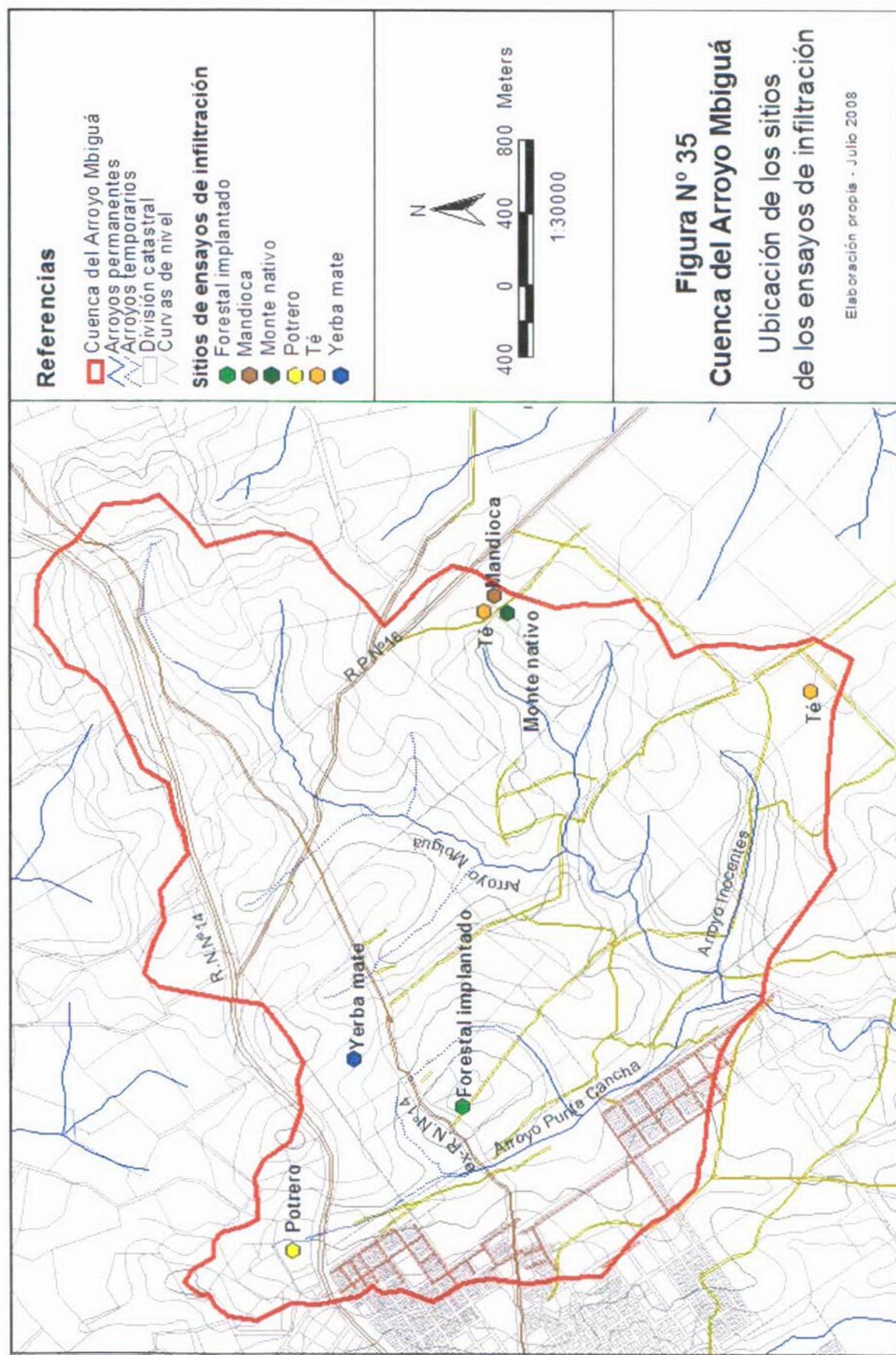


Figura N°35 : Cuenca del Arroyo Mbiguá. Ensayos de Infiltración de agua en el suelo. Ubicación de los sitios de los ensayos. Elaboración propia.



Foto N° 7. Ensayo de infiltración. Sitio Potrero



Foto N° 9. Ensayo de infiltración. Sitio Forestal implantado



Foto N°8. Ensayo de infiltración. Sitio Yerba mate



Foto N° 10 . Ensayo de infiltración. Sitio Té 1



Foto N° 11. Ensayo de infiltración. Sitio Mandioca



Foto N° 12 . Ensayo de infiltración. Sitio Monte nativo



Foto N° 13. Ensayo de infiltración. Sitio Té 2

- Yerba mate: El sitio de este ensayo se localiza un poco más al Sur y al Este del anterior, en un lote ubicado entre el actual trazado de la R.N.Nº 14 y el trazado antiguo, en las cabeceras de la cuenca del arroyo Machado, afluente del arroyo Punta Cancha. (Foto Nº 8, página 76); el ensayo se realizó entre las líneas del cultivo, realizado -en este sector- cortando la dirección de la pendiente.

- Forestal implantado: Este ensayo se realizó en el interior de una parcela implantada con Pino paraná (*Araucaria angustifolia*) de aproximadamente 25 años que no llegó a ser afectada por un incendio reciente que destruyó prácticamente toda la plantación. La parcela se ubica en la zona alta de una loma a unos 50 m. de la ex-R.N.Nº 14, a mano izquierda del camino interno a la propiedad que lleva hacia un establecimiento industrial forestal (aserradero). (Foto Nº 9, página 76).

- Té 1: El sitio de este ensayo se ubica en una parcela de cultivo de Té, localizada casi en el límite Este de la cuenca, muy cerca de la divisoria de aguas; en el interior de esta parcela se encuentran las nacientes del -en este trabajo- identificado como arroyo S/N 1. Se trata de un cultivo realizado hace 4 años, a partir de semillas y en curvas de nivel, en un lote en el cual antes hubo una “capuera”. (Foto Nº 10, página 76).

- Mandioca: Este ensayo se realizó en una plantación de mandioca de 1 (un) año, implantada entre los líneas de Té de un año también, ubicada casi sobre la propia divisoria de aguas de la cuenca, lindante con la parcela de Té del ensayo anterior; el uso anterior de este sitio era una capuera con gran presencia de tacuaras. (Foto Nº 11, página 77).

- Monte nativo: El sitio de este ensayo se corresponde con una parcela lindante con las dos anteriores, en la cual actualmente se reconoce una formación de “capuera alta” es decir una sucesión natural de montes nativos -de aproximadamente 50 años- que muestra una buena cobertura y estructura. Según los antecedentes informados por el actual propietario, en la misma hubo una plantación forestal -de la firma Caffetti, ya inexistente-, seguramente con Pino paraná (*Araucaria angustifolia*) que habría sido totalmente aprovechada a principios de la década de 1960; desde entonces el monte nativo se encuentra evolucionando sin intervención alguna. (Foto Nº 12, página 77).

-Té 2: El sitio de este ensayo se encuentra en el extremo Sureste de la cuenca, en una parcela de 5 (cinco) años de cultivo de Té ubicada en la parte alta de la loma que define la divisoria de aguas. El uso inmediato anterior al actual, según información suministrada por el actual propietario, fue una plantación forestal con Pino paraná. (Foto Nº 13, página 77)

En la página siguiente, la Figura Nº 36 representa los resultados de los ensayos realizados.

En la figura puede observarse claramente las diferencias obtenidas en las velocidades de infiltración para los diferentes usos y que, a excepción del ensayo en Monte nativo, casi desde el comienzo se registraron velocidades de infiltración muy estables, es decir, de permeabilidad; esto, seguramente debido a que los suelos presentaban un importante contenido de humedad al momento de los ensayos, lográndose muy rápidamente la saturación del perfil.

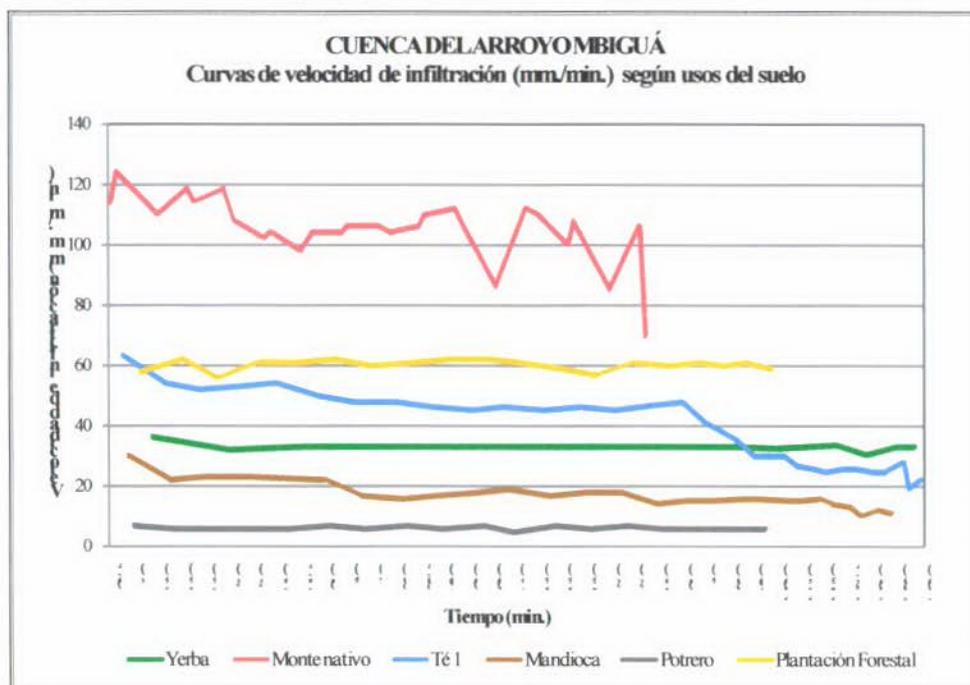


Figura N° 36: Cuenca del A° Mbiguá. Ensayos de Infiltración.
Curvas de velocidad de infiltración (mm/min.) según usos del suelo. Elaboración propia

Como era de esperar, la curva que se ubica más arriba en la escala de velocidades de infiltración -en color rojo- corresponde al ensayo realizados en la parcela con Monte nativo. No obstante los antecedentes que informan que hace aproximadamente 50 años en dicho lote hubo una plantación forestal -posiblemente de Pino paraná (*Araucaria angustifolia*), el suelo mantiene las mejores condiciones relativas de porosidad para la penetración y circulación del agua.

En orden decreciente le sigue la curva que representa las velocidades de infiltración en la parcela con uso Plantación Forestal (*Araucaria angustifolia*) de aproximadamente 25 años de edad. Las buenas condiciones observadas en este ensayo pueden ser el resultado del prolongado período de baja intensidad de intervención con labores de mantenimiento, propio de la actividad.

La curva en tono celeste, representa los resultados del ensayo realizado en la parcela con cultivo de Té y muestra niveles intermedios de velocidad de infiltración. Ello puede tener explicación en el hecho de que se trata de una plantación realizada hace sólo 4 (cuatro) años en la que apenas se ha realizado una cosecha y podas de formación y que, por lo tanto, aún no ha experimentado compactación por el paso de las máquinas normalmente utilizadas para dichas

tareas; se trata, además, de tierras de reciente habilitación, ya que antes hubo una antigua capuera.

En línea de color verde se ha representado la curva de velocidad de infiltración que corresponde al ensayo en la parcela de Yerba mate, la cual muestra valores por debajo de la media para los ensayos de esta cuenca.

En línea de color marrón se ha representado la curva de velocidad de infiltración correspondiente al ensayo en la parcela de Mandioca. Siendo que se trata de una parcela de reciente habilitación, ubicada al lado del sitio en el que se realizó el ensayo de Té y muy cerca del sitio correspondiente al ensayo de Monte nativo, la interpretación de los bajos valores de velocidades de infiltración obtenidos no resulta muy satisfactoria. La habilitación del terreno -desmonte- se realizó mediante el uso de fuego y se trataba de una capuera con abundante presencia de tacuaras; las semillas de Té fueron sembradas utilizando azadas, y no hubo tránsito de maquinarias ni pisoteo. Alguna explicación para la baja velocidad de infiltración puede intentarse por la vía de las carpidas de limpieza realizadas, labor que implica la remoción de partículas finas.

Finalmente, la curva representativa del ensayo en la parcela destinada a Potrero es la que muestra las más bajas velocidades de infiltración, seguramente consecuencia del pisoteo permanente del ganado vacuno, que además, genera desprendimiento de partículas finas y obturación de poros. No obstante, la existencia de un corral y otras instalaciones techadas para el encierre de los animales, hace suponer que se recurre al encierre en días de lluvia o por la noche. En esta parcela se ha implantado una forestación con Pino paraná, pero por su corta edad, aún no ejerce ningún efecto protector contra la acción del golpe de las gotas de lluvia.

Al solo efecto de disponer de un indicador de referencia en base al cual evaluar la incidencia de los usos predominantes en la cuenca sobre la capacidad de infiltración de los suelos se presenta el siguiente ordenamiento, resultante de expresar las permeabilidades obtenidas en los ensayos realizados para cada uso, como porciento respecto de la correspondiente al Monte nativo:

| | |
|---------------------|-----|
| Monte nativo | 100 |
| Plantación Forestal | 60 |
| Té 1 | 43 |
| Yerba | 32 |
| Mandioca | 17 |
| Potrero | 7 |

2.2.2 Ensayos en la cuenca del Arroyo Nagel

En esta cuenca, los ensayos también fueron realizados en lotes seleccionados en las zonas altas de la cuenca, que constituyen las áreas más planas y, consecuentemente, las de mayor

incidencia en la recarga de los acuíferos subterráneos; y en parcelas representativas de los usos predominantes en el área.

En la Figura N° 37 se muestra la ubicación en la cuenca de los sitios en los cuales se realizaron los ensayos de infiltración, los que se describen a continuación utilizando la misma leyenda que la de la figura¹⁵:

- Yerba 2: Este ensayo fue realizado en una parcela de Yerba mate, implantada en doble línea de plantación separadas por calles parcialmente cubiertas con vegetación (pasto elefante) y con orientación general Norte-Sur, cortando la dirección de la pendiente, en las cercanías de la divisoria de aguas (Foto N° 14, página 82); el ensayo se realizó al interior de la doble línea.

- Yerba 3: El sitio de este ensayo se localiza un poco más al Norte que el anterior, también en una parcela con cultivo de Yerba mate, realizada de igual modo que la anterior y en las cercanías de la divisoria de aguas (Foto N°15); el ensayo también se realizó al interior de la doble línea.

- Yerba 4: Corresponde a una parcela de Yerba mate con características de implantación similares a las anteriores, en un sector de media loma, con mayor pendiente y con signos evidentes de degradación del suelo por erosión; en la parcela es notoria la cantidad de fallas - plantas muertas- seguramente debido a los problemas de degradación de los suelos (Foto N° 16); el ensayo también se realizó al interior de la doble línea.

- Té 5: El sitio corresponde a una parcela con cultivo de Té, ubicada en la zona más alta de la loma, casi en la divisoria de aguas, y un poco más al Este de los sitios descriptos para Yerba 2 y Yerba 3. El ensayo se realizó en el espacio de surco o calle existente entre los líneas de Té, trazado en dirección de la pendiente, con orientación Oeste-Este (Foto N° 17).

- Té 6: Este sitio corresponde a una parcela con cultivo de Té, ubicada unos 20 m. al Sur de la anterior. El ensayo se realizó en el surco existente entre los líneas, trazados cortando la pendiente, con orientación Norte-Sur (Foto N° 18).

¹⁵ Dos ensayos -los correspondientes a Yerba 1 y Té 9- fueron dejados fuera del análisis debido, en el primer caso, a evidentes fallas en el funcionamiento del infiltrómetro -posteriormente subsanadas- y, en el segundo, porque a causa de la excesiva humedad existente en la línea de plantación, la maraña de raicillas más superficiales propias del cultivo de Té compactaba el suelo a medida que el infiltrómetro iba penetrando, lo cual distorsionaba la capacidad de infiltración del suelo.

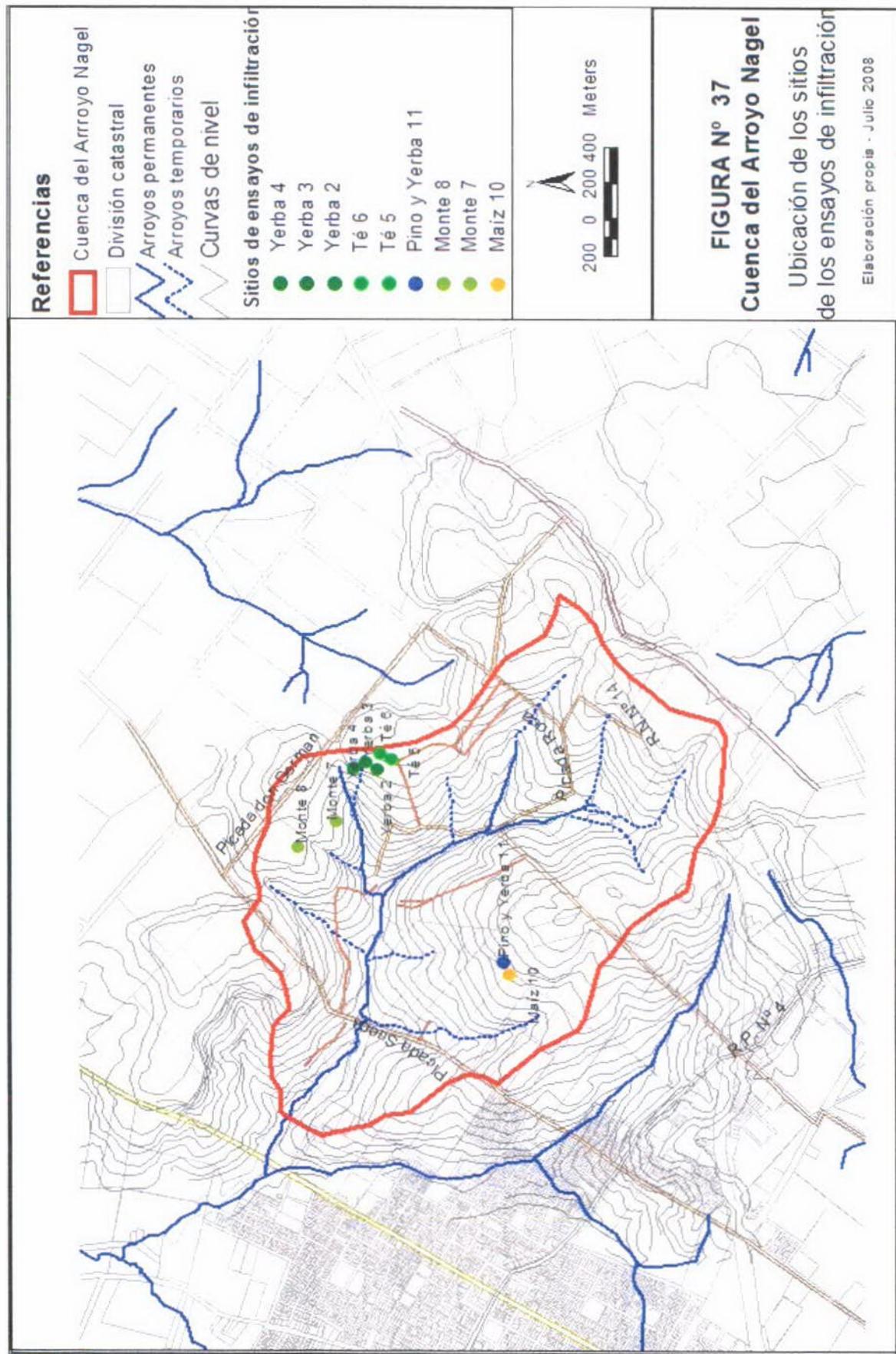


Figura N° 37: Cuenca del Arroyo Nagel. Ensayos de Infiltración de agua en el suelo. Ubicación de los sitios de los ensayos. Elaboración propia.



Foto N°14 . Ensayo de infiltración. Sitio Yerba 2



Foto N° 15. Ensayo de infiltración. Sitio Yerba 3



Foto N° 16. Ensayo de infiltración. Sitio Yerba 4

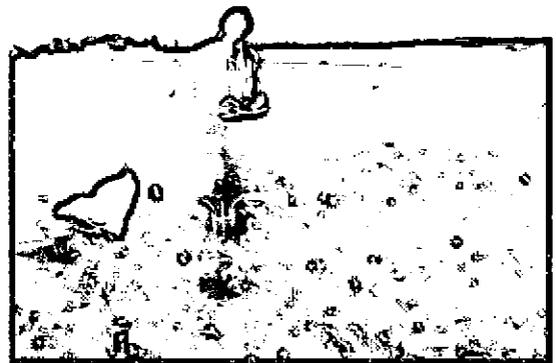


Foto N° 17. Ensayo de infiltración. Sitio Té 5



Foto N° 18. Ensayo de infiltración. Sitio Té 6

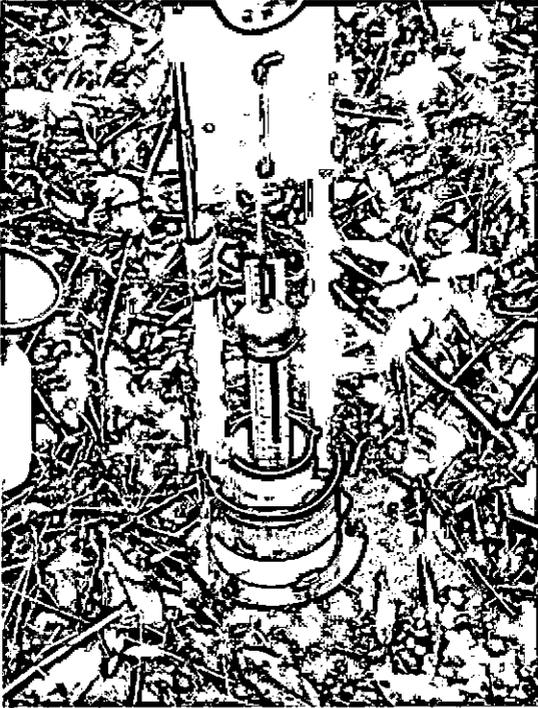


Foto N° 19. Ensayo de infiltración. Sitio Monte 7



Foto N° 20. Ensayo de infiltración. Sitio Maíz 10



Foto N° . Ensayo de infiltración. Sitio Monte 8



Foto N° 21. Ensayo de infiltración. Sitio Pino y Yerba 11

- Monte 7: Este ensayo se realizó en una parcela de monte nativo remanente, el cual, aunque está degradado por explotación selectiva de las especies de mayor valor, la cobertura vegetal aún conserva una buena estructura. La parcela se encuentra en la zona alta de la loma (Foto N° 19).

- Monte 8: El sitio de este ensayo se ubica en una parcela de monte nativo de similares características que el anterior, pero en una zona algo más baja (Foto N° 19).

- Maíz 10: Este ensayo se realizó en una plantación de maíz ubicada en una parcela habilitada al cultivo recientemente, con evidencias de la quema realizada al efecto, localizada en una zona alta de la principal lomada que constituye la divisoria de aguas al Sur de la cuenca. La plantación presentaba los líneas cortando la pendiente, no obstante lo cual había claras evidencias de la acción erosiva del agua (Foto N° 20).

- Pino y Yerba 11: El sitio de este ensayo se corresponde con una parcela mixta de Pino *elliottii* de aproximadamente 13 y 15 años, intercalado con Yerba mate localizada algo más al Norte de la anterior, sobre la misma loma (Foto N° 21).

En la Figura N° 38 se presenta los resultados de los ensayos realizados en la cuenca del Arroyo Nagel.

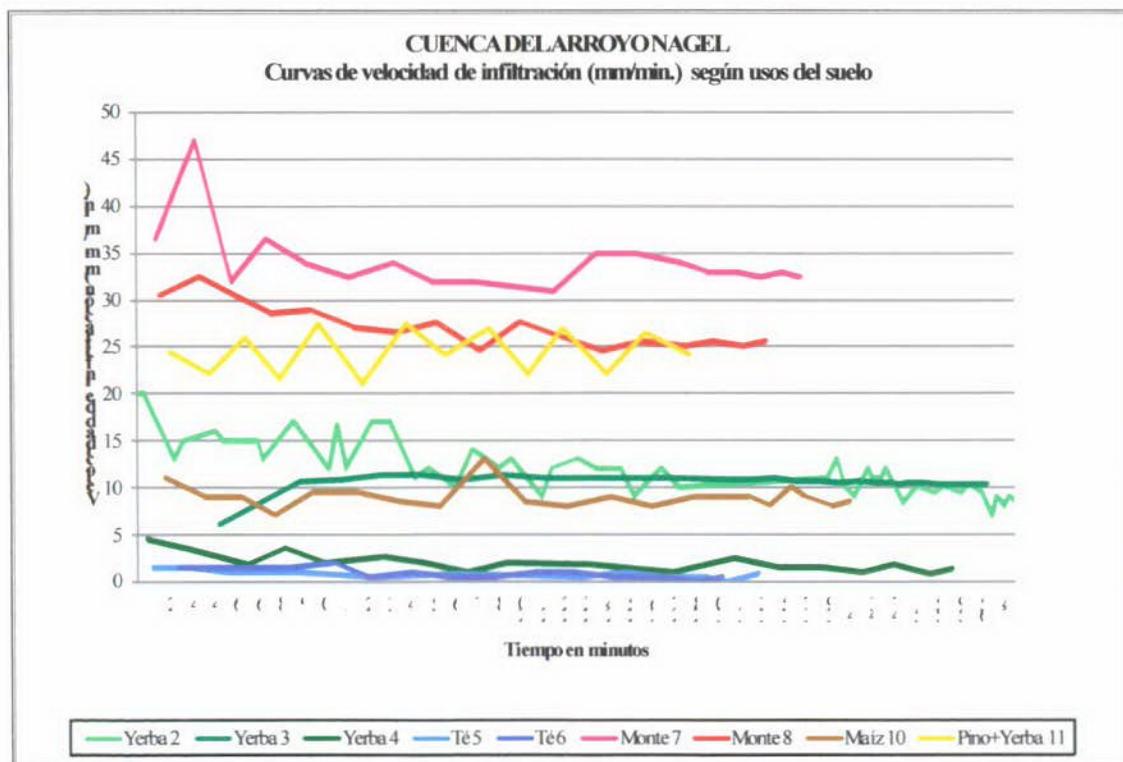


Figura N° 38: Cuenca del A° Nagel. Ensayos de Infiltración. Curvas de velocidad de infiltración (mm/min.) según usos del suelo. Elaboración propia

En la misma puede observarse claramente las diferencias obtenidas en las velocidades de infiltración para los diferentes usos. En efecto, y como era de esperar, las dos curvas que se ubican

más arriba en la escala de velocidades de infiltración -en colores cálidos- corresponden a los ensayos realizados en parcelas con Monte nativo, es decir, con aquellas situaciones en la que la alteración antrópica puede ser considerada mínima y el suelo mantiene entonces buenas condiciones de porosidad para la penetración y circulación del agua.

En orden decreciente le sigue la curva que representa la velocidad de infiltración en la parcela de uso mixto con Pino elliottii intercalado con Yerba mate (en línea de color naranja). Las buenas condiciones de infiltración reveladas en este ensayo pueden ser el resultado de un prolongado período de baja intensidad de intervención con labores agrícolas, ya que la plantación de pinos tiene una edad aproximada de 13-15 años, y la de yerba tiene alrededor de 45 años. El descanso prolongado de la tierra, puede haber permitido una recuperación de la estructura del suelo y, consecuentemente, de las condiciones de infiltración.

Las curvas en tonos verdes, representativas de los ensayos realizados en Yerba 2 y Yerba 3, muestran niveles intermedios de velocidad de infiltración y ello puede tener relación con el hecho de haberse realizado los test, en ambos casos, entre los líneas de la plantación, espacio en el cual no se realiza labor alguna ni tampoco se verifica tránsito de maquinarias.

En línea de color marrón, se ha representado a la curva de velocidad de infiltración que corresponde al ensayo en la parcela con cultivo de maíz. Llama la atención los bajos valores obtenidos, porque se trata de una parcela que no tiene más de dos o tres años de habilitación, de muy reciente desmonte. Posiblemente, ello responda por un lado a compactación consecuencia del paso de maquinarias y por otro, a la obturación de la porosidad por partículas finas desagregadas por el paso de rastra.

Finalmente, las curvas representativas de los ensayos en parcelas con Té y el último de los realizados en una parcela con Yerba mate, muestran muy bajas velocidades de infiltración. En los casos de las parcelas de Té, la razón de dichos bajos niveles se encuentra en que los ensayos fueron realizados en las calles por las que circula la maquinaria (entre 10 y 12 pasadas por año), las que evidencian una manifiesta compactación superficial. Por su parte, y como ya se ha descrito, el último ensayo realizado en una parcela de Yerba mate se encuentra en un lote que muestra severos problemas de erosión, en el cual ya ha desaparecido el horizonte A, quedando expuesto un suelo muy compactado.

Al igual que para la cuenca del Arroyo Mbiguá, al solo efecto de disponer de un indicador de referencia en base al cual evaluar la incidencia de los usos predominantes en la cuenca sobre la capacidad de infiltración de los suelos, se presenta el siguiente ordenamiento, resultante de expresar las permeabilidades obtenidas en los ensayos realizados para cada uso, como porciento respecto de la correspondiente al Monte nativo:

| | |
|--------------|-------|
| Monte nativo | 100,0 |
| Pino + Yerba | 82,4 |
| Maíz | 28,8 |
| Yerba mate | 26,8 |
| Té | 2,1 |

2.3. Evaluación de los impactos de las actividades y acciones identificadas en las cuencas de los Arroyos Mbiguá y Nagel

2.3.1. Sobre la metodología aplicada

La evaluación de los impactos tiene por objetivo identificar las acciones claves sobre las cuales será necesario trabajar, en relación con los impactos que generan o puedan generar sobre la producción de agua en la cuenca, y sobre la calidad de la misma.

Para ello, se utilizó una adaptación de la metodología propuesta por Conesa Fernández, elaborada a su vez, en base a la desarrollada anteriormente por los laboratorios Batelle-Columbus, y que permite la evaluación sistemática de los impactos mediante el empleo de indicadores homogéneos.

Las acciones potencialmente impactantes fueron sido definidas en función del diagnóstico ambiental de la cuenca. Por su parte, y siendo el objetivo de este trabajo la evaluación de los impactos sobre el escurrimiento y la calidad del agua, los factores ambientales sobre los cuales se evalúan los impactos son un conjunto reducido de 6 (seis) factores seleccionados por su relevancia en relación con dicho objetivo.

En base a las acciones identificadas y los factores ambientales seleccionados se preparó una Matriz de Relaciones Causa-Efecto, con el objeto de disponer de un primer aproximación de los impactos a evaluar, luego de lo cual se preparó una Matriz de Importancia.

La asignación de la UIP a cada factor fue realizada a través de consultas entre los especialista integrantes del equipo. En las consultas se utilizaron dos métodos:

- a) Método de Ordenación por Rango;
- b) Método de Clasificación por Tangos Escalares.

Básicamente, en el primer método cada integrante debe proponer un ordenamiento jerárquico de mayor a menor importancia los factores; en el segundo se requiere de una valoración según una escala preestablecida, de 1 a 10, pudiendo otorgarse la misma valoración a más de un factor.

Los resultados obtenidos fueron a posteriori discutidos entre los integrantes del equipo de trabajo, luego de lo cual se logró consenso en torno de la asignación de las Unidades de Importancia (UIP), las que se indican al describir los factores ambientales potencialmente impactados

La Matriz de Importancia permite evaluar los impactos de las acciones sobre la base de una serie atributos de tipo cualitativos, produciendo un indicador, valga la redundancia, de la importancia de la alteración que una acción produce sobre un determinado factor ambiental. Los atributos utilizados para caracterizar los impactos son los siguientes:

- *Signo*: Positivo o Negativo; según sea un efecto beneficioso o perjudicial.
- *Intensidad (IN)*: Baja, Media, Alta, Muy alta, Total; se refiere al grado de incidencia de la acción sobre el factor. Varía entre 1 (afectación mínima) y 12 (destrucción total).
 - *Extensión (EX)*: referida al área de influencia teórica del impacto en relación con el entorno del proyecto. Se asigna el valor 1 al Impacto Puntual; 2 a Impacto Parcial; 4 a Impacto Extenso; y 8 a Impacto Total. Si el impacto es puntual pero se produce en un lugar crítico, se le adicionarán 4 puntos. Si es peligroso y sin posibilidad de medidas correctoras, deberá buscarse una alternativa al proyecto que anule este efecto.
 - *Momento (MO)*: alude al plazo de manifestación del impacto entendido como el tiempo que transcurre entre la aparición de la acción y el comienzo del efecto sobre el factor considerado. Si el efecto es Inmediato (tiempo nulo) o de Corto Plazo (< 1 año) se asigna el valor 4; para tiempos de 1 a 5 años, Plazo Medio, se asigna el valor 2; y para Largo Plazo (> 5 años) se asigna el valor 1. Si el momento de producido es crítico, se añadirá 1 a 4 unidades por encima del especificado.
 - *Persistencia (PE)*: se refiere a la permanencia del efecto desde su aparición y el posterior retorno del factor ambiental a las condiciones iniciales en forma natural o por la introducción de medidas correctoras. Si la permanencia es inferior a 1 año, el efecto es Fugaz y PE = 1; entre 1 y 10 años, efecto Temporal y PE = 2; para Efecto Permanente, PE = 4.
 - *Reversibilidad (RV)*: se refiere a la posibilidad de restauración del factor, una vez finalizada la acción impactante. Si es reversible a Corto Plazo (< 1 año) le corresponde RV = 1; a Medio Plazo (1 a 10 años), RV = 2; y si es Irreversible = 4
 - *Acumulación (AC)*: se refiere al incremento progresivo de la manifestación del efecto. Si una acción produce efecto acumulativo AC=4, en caso contrario, AC = 1.
 - *Efecto (EF)*: Si el efecto es Directo, EF = 4; si es Indirecto, EF = 1.
 - *Periodicidad (PR)*: se refiere a la regularidad de la manifestación del efecto. Si es constante en el tiempo (Efecto Continuo), PR=4; si es cíclico (Efecto Periódico), PR = 2; si es un efecto discontinuo o de aparición impredecible (Efecto Irregular), PR = 1
 - *Recuperabilidad (MC)*: se refiere a la posibilidad de restauración total o parcial del factor, mediante la aplicación de medidas correctoras. Si es totalmente

Recuperable, a corto plazo se le asigna MC =1; MC=2 si es a medio plazo; si es parcialmente recuperable, el efecto es Mitigable y MC = 4; si es Irrecuperable, MC = 8; si es Irrecuperable pero admite medidas compensatorias, MC = 4.

Finalmente, la *Importancia del impacto* de la acción sobre factor ambiental se calcula en base a los valores asignados a los diferentes atributos según la siguiente expresión:

$$IM = \pm [3 IN + 2 EX + MO + PE + RV + AC + EF + PR + MC]$$

La importancia del impacto toma valores entre 13 y 100 según lo cual los impactos pueden clasificarse en:

- *Compatibles:* IM < 25
- *Moderados:* 25 < IM < 50
- *Severos:* 50 < IM < 75
- *Críticos:* IM > 75

Los resultados obtenidos en la valorización de los impactos se vuelcan en una matriz denominada de Importancia Absoluta; por su parte, la Matriz de Importancia Relativa muestra la contribución de cada una de las actividades al impacto total, así como también los niveles de impactos sufridos por cada uno de los factores ambientales.

2.3.2. Evaluación para la cuenca del Arroyo Mbiguá

Se desarrolla a continuación la metodología descripta para el caso de la cuenca del Arroyo Mbiguá.

-Actividades o acciones potencialmente impactantes

El diagnóstico realizado en la cuenca del Arroyo Mbiguá -Tomo II, Volumen I- ha permitido identificar que en la misma se desarrollan 12 actividades o acciones generadoras de impactos en relación con el objeto del estudio, esto es, relacionados con la producción de agua y con la calidad de la mismas, las que se listan a continuación:

- Desmontes;
- Urbanización
- Infraestructura vial
- Laboreo de suelos
- Aplicación de agroquímicos
- Tratamientos de la madera
- Vertido de efluentes industriales
- Vertidos de talleres
- Vertidos de líquidos cloacales domiciliarios

- Ganadería extensiva
- Almacenamiento de combustibles
- Almacenamiento de agroquímicos

-Factores del medio potencialmente impactados

En función del objetivo del presente trabajo, y como se ha expresado, interesa exclusivamente evaluar los impactos generados por las actividades sobre los factores ambientales que intervienen en los procesos hidrológicos determinantes del escurrimiento y la calidad de las aguas.

Para su selección se han tenido en cuenta las características sugeridas por Conesa Fernández, es decir: que sean *representativos* de los procesos involucrados; que su participación sea *relevantes* en la generación de cambios en dichos procesos; que sean *excluyentes*, es decir, que no haya entre ellos solapamientos o redundancias; que sean de *fácil identificación*; y, en la medida de lo posible, que sean de *fácil cuantificación*.

Los factores ambientales seleccionados según tales criterios son los siguientes:

- *Escurrecimiento*
Entendido como disponibilidad de agua en la cuenca, particularmente durante los períodos de sequías; es un factor clave en un sistema utilizado como fuente de abastecimiento de agua potable.
La Unidad de Importancia asignada (UIP) es de 20 ptos.
- *Calidad de agua*
Es un factor ambiental clave, máxime tratándose de una cuenca que abastece de agua potable a una población.
UIP: 29 ptos.
- *Capacidad de infiltración del agua en el suelo*
Este factor condiciona la recarga de los acuíferos, particularmente del acuífero libre, que constituye la principal fuente de aportes permanente de agua al curso del arroyo.
UIP: 25 ptos.
- *Actividad biológica en el suelo*
La actividad biológica del suelo es un factor clave para la estructura y permeabilidad del suelo, y por lo tanto afecta, indirectamente, la capacidad de infiltración de los suelos.
UIP: 13 ptos.

- Erosión**

Es un proceso que forma parte de la degradación de los suelos; contribuye al aumento del escurrimiento superficial y al deterioro de la calidad de las aguas.

UIP: 8 pts.
- Espacios protegidos**

Algunas de las categorías de áreas protegidas bajo la figura de “bosques protectores”, aplicables en la cuenca en estudio, cumplen importantes funciones ambientales, tales como la prevención de potenciales procesos erosivos, retención de sedimentos y purificación de las aguas.

UIP: 5 pts

-Matriz de identificación de relaciones causa-efecto

La matriz de la Tabla N° 30 muestra las relaciones causa-efecto identificadas entre las actividades o acciones y los factores ambientales.

En las columnas se presentan las actividades que se desarrollan en la cuenca a las que se les asigna capacidad para generar efectos no deseados sobre los factores ambientales seleccionados, que se listan en las filas.

| Actividades/acciones en la cuenca | Desmontes | Urbanización | Infraestructura vial | Laboreo de suelos | Aplicación agroquímicos | Tratamiento de la madera | Efluentes industriales | Vertidos de talleres | Vertido cloacales domiciliarios | Ganadería extensiva | Almacenamiento de combustibles | Almacenamiento de agroquímicos |
|-----------------------------------|-----------|--------------|----------------------|-------------------|-------------------------|--------------------------|------------------------|----------------------|---------------------------------|---------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Factores ambientales impactados | | | | | | | | | | | | |
| Escorrimento | X | X | X | X | X | | | | | X | | |
| Calidad del agua | X | X | X | X | X | | | | | X | | |
| Capacidad Infiltración | X | X | X | X | X | | | | | X | | |
| Actividad biológica | X | X | X | X | X | | | | | X | | |
| Erosión | X | X | X | X | X | | | | | X | | |
| Espacios protegidos | X | X | X | X | X | | | | | X | | |

Tabla N° 30: Cuenca del Arroyo Mbiguá. Evaluación de impactos.
Matriz de identificación de relaciones causa-efecto. Elaboración propia

Las cruces entre columnas y filas indican la identificación de una relación de impacto entre la actividad de la columna y el factor correspondiente a la fila.

-Descripción de las relaciones causa-efecto

Se describen a continuación las relaciones entre las actividades o acciones identificadas en la cuenca y los factores ambientales seleccionados.

1.Desmontes

Como se ha analizado en el capítulo correspondiente, la conversión del Monte nativo para habilitar las tierras a los usos agrícolas predominantes -principalmente cultivos perennes de Yerba mate y Té, y ganadería- altera el régimen natural de escurrimiento de las aguas.

El desmonte, por lo general, cuando es realizado por pequeños productores, se efectúa con motosierras; posteriormente, los troncos aprovechables son trasladados a otro lugar con tractores o bueyes, y el material descartable es dispuesto en escolleras para su degradación o eliminado mediante el uso del fuego. En este contexto, la sustitución de la cobertura vegetal original implica la alteración de procesos hidrológicos en direcciones tales como:

- menor intercepción del agua de lluvia por el follaje;
- menor evaporación;
- mayor cantidad de lluvia que alcanza el suelo (lluvia neta);
- incremento del escurrimiento directo o superficial (mayores caudales pico);
- menor infiltración del agua en el suelo;
- dependiendo del cultivo que sustituya a la cobertura natural puede verificarse:
 - a) en caso de los *cultivos agrícolas*: una menor evapotranspiración real que la previamente existente y, por lo tanto, un incremento de los aportes del flujo subterráneo al escurrimiento total;
 - b) en caso de las *plantaciones forestales* -principalmente pinos y eucaliptos: una mayor evapotranspiración real y, por lo tanto una reducción de los aportes subterráneos.

Los cambios observados en la cuenca del Arroyo Chapá, adoptada como caso de estudio para evaluar los impactos de los usos del suelo sobre el escurrimiento, indican un progresivo incremento de los volúmenes escurridos -para todas las frecuencias de caudales analizadas- como resultado de una mayor participación de los componentes del escurrimiento superficial y, particularmente, del subterráneo.

Respecto de la afectación de la calidad de las aguas, el desmonte actúa por la doble vía de la contaminación con las cenizas residuales del uso del fuego y que son arrastradas por las aguas de lluvia; y por la posterior remoción y arrastre de partículas y sedimentos por la erosión.

Al dejar los suelos expuestos a las inclemencias climáticas, los desmontes también desencadenan procesos de deterioro de la capacidad de infiltración del agua del suelo (golpe directo de las gotas de lluvia) y de la actividad biológica del suelo (incremento de las temperaturas).

Comprendida entre las acciones de desmonte, debe considerarse a la *eliminación de los bosques protectores y fajas ecológicas*, a los que la legislación provincial da un tratamiento particular.

La Ley N° 3426/97 declara “bosques protectores” y “fajas ecológicas” a diferentes masas nativas; en una primera aproximación, pueden considerarse presentes en la cuenca del Arroyo Mbiguá las siguientes, para las cuales se describe sintéticamente la situación:

- los que se encuentran en *pendientes mayores al 20%*: muy pocas áreas en la cuenca presentan pendientes superiores al establecido y las identificadas, principalmente las ubicadas en las cercanías del embalse de la toma de agua del IMAS, aún muestran una buena cobertura boscosa; se les asigna gran importancia para la protección de los suelos de la erosión hídrica;
- los bosques que forman *galerías en los cursos de agua*: no son muchos los tramos en los que se ha observado su eliminación y sería necesario un relevamiento particular de la situación. No obstante, con frecuencia se ha observado su eliminación en los potreros destinados a la ganadería; el valor de estos bosques reside en la función que desempeñan en la protección de las márgenes de los cursos de agua, y en la retención de partículas y nutrientes que de otro modo llegarían a los mismos;
- los que *cubren vertientes*: al igual que en el caso anterior, sería necesario un relevamiento de detalle para evaluar la situación de los bosques que protegen las vertientes, pero durante el presente trabajo no se ha identificado ninguna en la cual se haya eliminado dicha protección, aunque sí se ha observado insuficiente protección, principalmente de los daños que genera el ganado; se les asigna importancia por las mismas razones que los bosques en galería;
- los que se encuentran sobre *suelos inaptos* para la agricultura o reforestación, incluyendo a los suelos 6B de la cartografía de C.A.R.T.A.: en la cuenca se presentan suelos 6B sólo en la zona del embalse y áreas aledañas, gran parte de la cual conserva la cobertura vegetal. Los mayores cambios se advierten en las cercanías del barrio Irrazábal, donde el monte ha sido convertido a potrero; su

protección legal se justifica en que son suelos con abundante pedregosidad y en pendientes pronunciadas;

- los que se encuentran en el *perímetro de embalses y lagunas*: además del embalse construido por el IMAS para la toma de agua, se han identificado otros tres embalses (uno sobre el A° Punta Cancha y otros dos sobre el A° Machado). La vegetación perimetral al embalse del IMAS, muestra un buen estado de conservación; la del A° Punta Cancha carece de protección en gran parte de su perímetro; los del A° Machado se encuentran dentro de una plantación forestal.
- los terrenos *anegados o bañados*: en esta categoría se cuentan los bañados existentes en las nacientes y tramo medio del A° Punta Cancha y los del A° Mbiguá en la zona conocida como Palmera Boca. Todos ellos han sido afectados por el trazado de la ex RNN°14, que ha interpuesto al escurrimiento natural un terraplén con alcantarillas, a veces de insuficientes dimensiones, pero la vegetación natural se mantiene en buenas condiciones. La conservación de estos ambientes debe ser considerada prioritaria, por la importancia de las funciones ambientales que cumplen: en la depuración de los efluentes derivados del Matadero Municipal -el de Palmera Boca- ; como filtro y depuración de la contaminación generada por el área urbana de la cuenca, los del A° Punta Cancha; todos ellos, como filtros de sedimentos generados por la erosión y depuración de eventuales contaminantes;
- los que sirvan como elemento de *control de la contaminación y preservación* del medio ambiente y/o constituyan elementos relevantes del paisaje; los bañados referidos en el punto anterior cumplen con las funciones de control de la contaminación; particularmente, desde el punto de vista paisajístico y con una visión urbanística de mediano y largo plazo, es de gran significación para San Pedro el bañado del A° Punta Cancha;
- los existentes o a implantarse a la *vera de los caminos*: se trata de una norma de incumplimiento generalizado no sólo en la cuenca del Arroyo Mbiguá, sino en todo el territorio provincial.

Por su parte, la misma ley declara “fajas ecológicas” a las franjas de bosques nativos que interconectan a los bosques protectores y permiten, en forma conjunta, la formación de un sistema de defensa ecológica básica.

Para ambas figuras -bosque protector y fajas ecológicas- la ley establece la prohibición de su conversión a tierras de cultivo.

Queda claro que los impactos asociados con la eliminación de estas áreas protegidas se relacionan con las afectaciones de las funciones ambientales que desempeñan.

2. Urbanización

Toda urbanización constituye un cambio de uso del suelo respecto de la situación previamente existente a la misma y, desde el punto de vista hidrológico, implica una menor cantidad de agua infiltrada, por el incremento de las superficies impermeables -techos, veredas, calles (terradas o pavimentadas), y por la compactación debida al mayor tránsito de vehículos; paralelamente a la reducción de la capacidad de infiltración del agua en el suelo, se verifica un incremento del componente superficial del escurrimiento.

La disponibilidad de agua en la cuenca se afecta entonces por la doble vía de una menor recarga de los acuíferos subterráneos y un menor tiempo de permanencia del agua en la cuenca.

La existencia de un área urbanizada en la cuenca que la abastece de agua potable, también implica diversas vías de impactos y riesgos para la calidad de agua: el escurrimiento superficial transporta -por arrastre o en suspensión- hacia los cursos de agua partículas de suelo y elementos contaminantes de todo tipo; la ausencia de colección de líquidos cloacales conlleva la contaminación del acuífero libre que fluye y alimenta el curso de agua utilizado como fuente de abastecimiento; actividades industriales y de servicios utilizan productos tóxicos/contaminantes que implican riesgos.

Actualmente el área urbana de San Pedro se extiende sobre 51,1 ha. sobre un total de 1.229 ha. de la cuenca.

3. Infraestructura vial

Los efectos hidrológicos de la construcción de obras viales se asocian con la impermeabilización de una parte de la superficie de la cuenca -en los caso de rutas con algún tipo de pavimento- o con la menor capacidad de infiltración resultante -por compactación, en caso de las terradas- y, en ambos casos, con un mayor escurrimiento superficial.

El escurrimiento en las rutas, también está asociado a impactos en la calidad de las agua, por el propio "lavado" que realizan las lluvias, por la erosión que en ellas se verifica, y por la contaminación ocasionada por los sedimentos y partículas transportadas hasta el curso de agua.

Finalmente, debe considerarse la alteración del drenaje natural debido a la construcción de terraplenes, banquetas y cunetas; y a que, cuando las luces de los puentes o capacidad de las alcantarillas no resultan suficientes, se produce aguas arriba de los mismos la acumulación de aguas por acción del represamiento del curso.

La cuenca es atravesada por una importante red de comunicaciones viales: la RNN° 14, su trazado antiguo, la RPN° 16, caminos vecinales y, la red vial del área urbana que se asienta sobre la cuenca. Se estima una extensión total de rutas en el área de la cuenca de 37.878 m. de los cuales 3.093m. corresponden a la ruta nacional N° 14, pavimentada.

La intensa acción de abundantes y frecuentes lluvias sobre terrenos con acentuadas pendientes desencadena procesos erosivos claramente visibles tanto en las rutas terradas como en los taludes y banquetas de la ruta nacional que cuenta con pavimento.

En las rutas entoscadas, la Dirección Provincial de Vialidad estima que para su mantenimiento se requiere reponer, aproximadamente, un promedio de 500 m³/km.año. Según tal estimación, y en función de la extensión total de las rutas terradas en la cuenca resultaría un volumen anual de erosión del orden de 17.500 m³. Gran parte de dicho volumen erosionado, conformado por las partículas de mayor tamaño, probablemente sea sólo removido y depositado en otro sitio y no alcance el curso de agua; debido a la velocidad de la corriente, la parte que llega a ser transportada hasta los cursos es arrastrada hasta el embalse a partir del cual se alimenta a la casa de bombas del sistema de abastecimiento de agua potable a la localidad de San Pedro y que, en 2004, tuvo que ser vaciado por completo para poder extraer los sedimentos acumulados. Por su parte, también llegan a dicho embalse las partículas más pequeñas que afectan la transparencia/turbiedad del agua.

4. Laboreo de los suelos

Cuando se trata de tierras habilitadas para las actividades agrícolas, forestales o ganaderas, una vez sustituida la cobertura vegetal original tienen lugar una serie de actividades tendientes a preparar el terreno para la implantación de cultivos o pasturas, tareas de mantenimiento y para la cosecha; dichas labores impactan en la capacidad de infiltración de los suelos, en el escurrimiento superficial, en la erosión y en la calidad del agua.

Por lo general, una vez que se han eliminado los residuos del desmonte, se recurre al uso de máquinas y herramientas -tractores, arados, rastras de discos- para preparar el suelo para la siembra de semillas o plantines. Implantados los cultivos de que se trate, le siguen tareas de mantenimiento tales como el control de malezas, podas de formación y cosechas, todo lo cual, por lo general, involucra el paso de máquinas o pisoteo.

Con el paso del tiempo los suelos experimentan una reducción de la densidad aparente, o compactación, que hidrológicamente opera en dirección a una progresiva reducción de la capacidad de infiltración del agua en el suelo.

Los resultados de los ensayos de infiltración realizados en la cuenca del Arroyo Mbiguá, en parcelas con distintos cultivos, sugieren intensidades diferenciales en el impacto de los distintos cultivos sobre este importante proceso hidrológico.

Ello puede observarse en el siguiente ordenamiento de los cultivos según la intensidad del impacto sobre la velocidad de infiltración del agua en el suelo, que resulta de considerar como valor inicial, con mínima alteración antrópica, a los valores obtenidos en el ensayo en Monte nativo, y expresar los valores obtenidos para cada cultivo como porcentaje referido a dicho valor base.

| | |
|------------------------|-----|
| Monte nativo | 100 |
| Plantación Forestal | 60 |
| Cultivo de Té | 43 |
| Cultivo de Yerba mate | 32 |
| Cultivo de Mandioca | 17 |
| Potrero para ganadería | 7 |

La reducción de la capacidad de infiltración del agua en el suelo provoca una saturación más rápida de los poros y, consecuentemente, un incremento del escurrimiento superficial. No se dispone de información hidrológica para la cuenca del Arroyo Mbiguá que permita evaluar cuantitativamente el impacto de estas actividades sobre el régimen de escurrimiento del arroyo, pero los estudios realizados en la cuenca del Arroyo Chapá constituyen una referencia respecto de la dirección en que se altera el comportamiento del sistema.

El aumento del escurrimiento superficial, como ya se ha expresado, abre las vías para los procesos erosivos. Según el Atlas de Suelos (INTA, 1985) el riesgo de erosión de los suelos utilizados en las actividades agrícolas, forestales y ganaderas es, para los suelos de esta cuenca, *moderado*, fundamentalmente debido a que en ellos predominan, por un lado, las pendientes moderadas y bajas -el 40% de la superficie de la cuenca posee pendientes entre 5-10% y otro 37% presenta pendientes menores a 5%- y, por el otro, un clima de abundantes e intensas precipitaciones.

En las explotaciones, la erosión se visualiza con claridad en prácticamente todos los cultivos, incluyendo las Plantaciones forestales, la Yerba mate, los anuales y, en menor medida, el Té, debido a que a los pocos años ofrece una buena cobertura; también en los potreros utilizados para la ganadería, particularmente a la vera de los arroyos y fuentes de agua.

Los procesos erosivos constituyen una clara manifestación de la degradación de los suelos que se inicia a partir de la eliminación de la cobertura boscosa original, y también traen aparejado una degradación de la calidad de las aguas superficiales por su contaminación con los sedimentos de fondo y en suspensión que aporta. No se trata solo de una pérdida de calidad por la mayor turbiedad que adquiere el agua, sino también del riesgo que los sedimentos aportados contengan también elementos tóxicos a ellos adheridos, derivados de los plaguicidas.

5. Aplicación de agroquímicos

Entre las actividades o acciones identificadas en la cuenca del Arroyo Mbiguá que involucran la emisión de contaminantes se encuentran algunas prácticas habituales en las actividades agrícolas identificadas, tales como:

- Aplicación de *herbicidas* para el control de malezas: se recurre principalmente al glifosato y se aplica en todos los cultivos perennes; se ha convertido progresivamente en un sustituto de la mano de obra entre los productores.
- Aplicación de *insecticidas*: principalmente se recurre al Mirex y Clorpirifós
- Aplicación de *fertilizantes*: básicamente en los cultivos de Yerba mate y Té, y dependiendo del valor de mercado de la materia prima

Para el presente trabajo no se han realizado análisis específicos para detectar la presencia de plaguicidas en el agua. No obstante, se considera conveniente realizar algunas consideraciones respecto de los productos cuya utilización ha sido detectada en la cuenca en estudio.

El glifosato es un herbicida ampliamente utilizado en prácticamente todas las actividades agrícolas que demandan de un control de malezas. Se trata de un producto que prácticamente domina el mercado mundial de los herbicidas y al que toxicológicamente se lo ha considerado “benigno”.

No obstante, una valiosa revisión sobre investigaciones referidas al tema (KACZEWER, 2002) advierte sobre “los riesgos que esa sustancia conlleva para la salud humana” esto es: toxicidad, efectos cancerígenos y reproductivos, acción mutagénica y contaminación de alimentos¹⁶.

Entre otras cuestiones, el trabajo informa que la Agencia de Protección Medioambiental (EPA) reclasificó los plaguicidas que contienen glifosato como clase II (altamente tóxicos).

Por su parte, y en el marco de las regulaciones de la EPA vigentes en los Estados Unidos para el agua potable, el “Technical Factsheet on: Glyphosate” sintetiza los siguientes efectos sobre la salud:

- *Agudos*: EPA ha encontrado que el glifosato puede potencialmente causar los siguientes efectos sobre la salud debidos a la exposición aguda a niveles por encima de 0.7 mg/L (MCL): congestión pulmonar; aumento del ritmo respiratorio.

¹⁶ El trabajo citado hace referencias a que estudios de toxicidad realizados por instituciones independientes, “revelaron efectos adversos en todas las categorías estandarizadas de pruebas toxicológicas de laboratorio en la mayoría de las dosis ensayadas: toxicidad subaguda..., toxicidad crónica..., daños genéticos..., trastornos reproductivos..., y carcinogénesis...”. A nivel eco-tóxico-epidemiológico, la situación se ve agravada no sólo porque son pocos los laboratorios en el mundo que poseen el equipamiento y las técnicas necesarios para evaluar los impactos del glifosato sobre la salud humana y el medioambiente”.

Niveles en agua para beber que son considerados “seguros” para exposiciones de corto plazo: 20 mg/L para una exposición de hasta 10 días, para un niño de 10 kg de peso que consuma 1 lt. diario de agua; o 1 mg/L para una exposición de 7 años.

- *Crónica*: Glifosato tiene potencial para causar los siguientes efectos sobre la salud por exposiciones prolongadas a niveles superiores a 0.7 mg/L: daños en los riñones, efectos reproductivos.
- *Cáncer*: hay insuficientes evidencias para establecer si el glifosato posee o no potencial para provocar cáncer por una exposición de por vida en el agua potable.

Estos antecedentes deben ser precautoriamente evaluados, teniendo en consideración que se trata de un área que produce agua para abastecer a una población, y la existencia de los déficits de laboratorios/equipamiento -al menos a nivel local y regional- para determinar la presencia y las concentraciones en agua de productos como el glifosato.

6. Tratamientos de la madera

En algunos establecimientos foresto-industriales localizados en la cuenca del Arroyo Mbiguá se detectó la utilización de *productos fungicidas* para el tratamiento de la madera de pinos aserrada.

Los productos cuyo uso fue detectados son “Tricide 40” y una solución de soda cáustica (hidróxido de sodio) en agua.

El primero de ellos (Tribromofenato de Sodio al 40 %), es un microbicida de alta efectividad para prevenir el ataque de hongos productores de la mancha azul y/o verdín en maderas de pino recién aserradas; se trata de una formulación de sales sódicas de derivados bromados del fenol que no contiene fenoles clorados. Se trata de uno de los sustitutos más utilizados del Pentaclorofenol que fuera prohibido hace ya algunos años, y si bien su toxicidad es sustancialmente menor, su utilización implica cierto grado de riesgo para la salud.

El tratamiento consiste en sumergir la madera aserrada en una pileta que contiene una solución con alguno de los producto mencionados. Se trata de instalaciones muy precarias, a la intemperie; tiene forma de medio cilindro de 4 o 5 m de largo, construida con tambores metálicos de 200 lt. cortados longitudinalmente por la mitad y soldados. El baño se prepara allí mismo, y eventuales derrames del líquido caen directamente al suelo.

Si bien está clasificado como Moderadamente tóxico (clase C) se trata de un producto muy tóxico para organismos acuáticos y sus instrucciones de uso indican que se debe evitar la contaminación de fuentes de agua, tanto de cursos de agua como de napas para consumo.¹⁷

¹⁷ www.pluschemie.com.ar

7. Vertido de efluentes industriales

En esta cuenca se detectó un único establecimiento que genera efluentes contaminantes, y se trata del Matadero municipal localizado en el paraje conocido como Palmera Boca. De acuerdo con la información relevada se trata de un establecimiento privado con permiso de funcionamiento municipal, de escasa actividad, limitada a un nivel de faena que oscila alrededor de 30 cabezas/mes, por lo general a solicitud de los productores locales.

Los animales son encerrados en corrales con piso de cemento unas 12 hrs. antes de ser faenados. Los líquidos de lavado de estos corrales son derivados a una cámara séptica a la cual también son conducidos los efluentes rojos y verdes. Durante la faena, se separa el material verde contenido en el estómago de los animales, el que se deposita en un terreno cercano para su secado y posterior uso como abono.

En el sitio, también se produce el salado de los cueros en una construcción con piso de cemento desde donde son retirados cada 10 o 15 días.

El consumo de agua promedio es de 300 a 450 lt./res. y, antes de ser vertidos a un brazo del bañado de Palmera Boca, los líquidos pasan por la cámara séptica y por una pileta de aproximadamente 7 m³ (1,5 m.x 3 m. x 1,5 m.).

8. Vertido de residuos de talleres

En la zona urbana que se extiende en el área de la cuenca, particularmente en el Barrio Ana Mogas se detectó cierta concentración de actividades de servicios que pueden implicar riesgos de contaminación de las aguas, tales como:

- Talleres mecánicos de *reparación de autos, máquinas y herramientas*: en dichos locales se manipula combustibles, aceites y grasas que, ante la insuficiencia de controles locales respecto del cumplimiento de las normas que regulan su transporte y disposición final, seguramente son eliminadas con modalidades que implican riesgos de contaminación de las aguas.
- Taller de *reparación de baterías*: en locales de reparación de baterías de plomo se trabaja tanto con dicho metal como con ácido sulfúrico. En general, las sales de metales pesados como el plomo, son poco solubles en aguas pero se acumulan en los sedimentos y en la biota.
- *Lavadero de autos*: el riesgo que presentan estos locales está relacionado con el importante volumen de agua consumido en cada operación de lavado y que es contaminado con jabones, detergentes, grasas y combustibles. Normalmente las aguas residuales son volcadas al drenaje natural sin tratamiento alguno. Mientras los derivados de hidrocarburos contienen elementos de alta toxicidad, los jabones y detergentes forman una película superficial que impide la oxigenación de las aguas.

9. Vertido de líquidos cloacales domiciliarios

La localidad de San Pedro no cuenta con red colectora de líquidos cloacales, dado lo cual, la población está obligada a encontrar soluciones individuales para su eliminación. Aunque en el Barrio Irrazábal, la aplicación de un programa oficial de mejoramiento barrial (PROMEBA) tiene prevista la construcción de pozos negros y cámaras sépticas, la opción mayoritariamente utilizada por la población en general es la construcción de pozos simplemente excavados. El fluido escurrimiento de las aguas subterráneas en dirección de las pendientes, sugieren que ésta pueda ser una posible fuente de contaminación del Arroyo Punta Cancha hacia el cual drenan, y que es el principal afluente del Arroyo Mbiguá.

En el área urbana de la cuenca se ha contabilizado un total de 376 viviendas pertenecientes a los barrios Ana Mogas, San Lucas, Irrazábal y Viruplak, en las cuales se puede estimar que habita un total aproximado del orden de 2.000 personas.

10. Ganadería extensiva

La ganadería extensiva, además de la contribución a la erosión ya descrita, también constituye una fuente de generación de contaminación por sus aportes en materia orgánica -que en su proceso de degradación consume el oxígeno del agua- y bacteriológico -con sus excretas.

No obstante tratarse de una cuenca en la cual las actividades ganaderas no están muy difundidas, en los análisis de calidad de agua realizados se observa la presencia de bacterias coliformes en todos los puntos de muestreo, pero con mayores concentraciones en la cuenca del Arroyo Punta Cancha, en el Arroyo Mbiguá antes de la confluencia del A° S/N 1 y, a la entrada al embalse desde donde se capta el agua para abastecer al sistema.

11. Almacenamiento de combustibles

En un aserradero localizado al sudoeste de la cuenca del Arroyo Mbiguá en el área urbana, prácticamente sobre la divisoria de aguas, se detectó la existencia de un tanque de almacenamiento de combustibles subterráneo de 10.000 lt. de capacidad y 30 años de antigüedad, para el abastecimiento de los vehículos y maquinarias de la empresa.

Según se informara oportunamente a integrantes del equipo del presente trabajo, en el marco de la aplicación de normas ambientales y de seguridad que rigen para el transporte y almacenamiento de combustibles, la empresa tenía previsto para este año sustituir dicho tanque por uno nuevo. Se trata de una decisión importante debido a que, dada la antigüedad del depósito enterrado en un ambiente reductor, es necesario prevenir que un eventual deterioro por oxidación del tanque pueda derivar en pérdidas de combustibles y, consecuentemente, contaminación del acuífero superficial que drena hacia el Arroyo Punta Cancha.

12. Almacenamiento de productos químicos de uso agro-forestal

En todas las chacras de la cuenca se utilizan, en mayor o menor medida y según los cultivos existentes, los productos fitosanitarios de uso habitual en las tareas agrícolas y forestales: herbicidas, insecticidas, fungicidas, etc.

Los volúmenes normalmente utilizados no son importantes pero es normal observar que se los almacena haciendo caso omiso a las normas de seguridad recomendadas en función del riesgo para la salud y/o ambiental asociado. En tales condiciones, el riesgo de accidentes está siempre presente y es necesario insistir en un mayor rigor en el cumplimiento de las normas de protección ambiental.

-Matriz de importancia

En esta matriz, como ya se ha expresado, se evalúa la importancia del impacto de cada actividad o acción según la valorización de los efectos sobre los factores ambientales, en base a los atributos de tipo cualitativos descriptos en el apartado correspondiente a los aspectos metodológicos.

Los criterios de evaluación de la importancia de los impactos son los siguientes:

- Irrelevantes o Compatibles: $IM < - 25$
- Moderados: $- 25 < IM < - 50$
- Severos: $- 50 < IM < - 75$
- Críticos: $IM > - 75$

La importancia de los impactos resultantes, se muestra en la matriz que se presenta como Tabla N° 31 en la página siguiente, a partir de la cual se realizan las siguientes observaciones:

- No se han identificado acciones capaces de generar impactos críticos;
- Se computan 8 impactos Severos; 30 Moderados; y 1 Compatibles o irrelevante;

| Factores ambientales | Actividades en la cuenca | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|--------------------------|-----------------|-------------------------|----------------------|-------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|--|------------------------|---------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------|---------------|
| | 1. Desmontes | 2. Urbanización | 3. Infraestructura vial | 4. Laboreo de suelos | 5. Aplicación de agroquímicos | 6. Tratamientos de la madera | 7. Vertido de efluentes industriales | 8. Vertido de líquidos cloacales domiciliarios | 9. Ganadería extensiva | 10. Basurales en el área urbana | 11. Almacenamiento de combustibles | 12. Almacenamiento de agroquímicos | 13. Vertido de talleres | Totales |
| Calidad de agua | -55 | -52 | -41 | -26 | -72 | -39 | -21 | -44 | -44 | 0 | -63 | -32 | -45 | -534 |
| Escurrimiento | -46 | -50 | -47 | -31 | -32 | 0 | 0 | 0 | -45 | 0 | 0 | 0 | 0 | -251 |
| Capacidad de infiltración | -48 | -52 | -45 | -46 | -29 | 0 | 0 | 0 | -58 | 0 | 0 | 0 | 0 | -278 |
| Actividad biológica | -42 | -49 | 0 | -34 | -60 | 0 | 0 | 0 | -37 | 0 | 0 | 0 | 0 | -222 |
| Erosión | -47 | -50 | -50 | -45 | -32 | 0 | 0 | 0 | -46 | 0 | 0 | 0 | 0 | -270 |
| Espacios protegidos | -42 | -52 | -47 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -42 | 0 | 0 | 0 | 0 | -183 |
| Totales | -280 | -305 | -230 | -182 | -225 | -39 | -21 | -44 | -272 | 0 | -63 | -32 | -45 | -1.738 |

IM < -25

Impacto Compatible

-25 < IM < -50

Impacto Moderado

-50 < IM < -75

Impacto Severo

Tabla N°31: Cuenca del Arroyo Mbiguá. Evaluación de impactos. Matriz de importancia. Elaboración propia

- Según la cantidad decreciente de unidades de impacto recibidas, los factores ambientales se ordenan de la siguiente manera:
 - Calidad de Agua (534)
 - Capacidad de infiltración del agua en el suelo (278)
 - Erosión (270)
 - Escurrimiento (251)
 - Actividad biológica del suelo (222)
 - Espacios protegidos (183)
- Por su capacidad de generar impactos sobre los factores, las actividades y acciones que se realizan en la cuenca se posicionan en el siguiente orden:
 - La urbanización de parte de la cuenca (305)
 - Los desmontes (280)
 - La ganadería extensiva (272)
 - La infraestructura vial (230)
 - La aplicación de agroquímicos (225)

- El laboreo de suelos (182)
- El almacenamiento de combustibles (63)
- El vertido de talleres (45)
- El vertido de líquidos cloacales (44)
- El tratamiento de la madera (39)
- El almacenamiento de agroquímicos (32)
- El vertido de efluentes industriales (21)

Los resultados obtenidos deben ser interpretados en el marco de una evaluación de la situación actual que se presenta en la cuenca. En tal sentido, por ejemplo, los impactos generados por el vertido de efluentes contaminantes, han quedado posicionados en último lugar, debido a la existencia de un único establecimiento que los genera en la cuenca; pero un eventual incremento de las industrias en la cuenca debiera ser desalentado.

2.3.3. Evaluación para la cuenca del Arroyo Nagel

Se desarrolla a continuación la metodología descrita para el caso de la cuenca del Arroyo Mbiguá.

-Actividades o acciones potencialmente impactantes

El diagnóstico realizado en la cuenca del Arroyo Nagel ha permitido identificar que en la misma se desarrollan 7 actividades o acciones generadoras de impactos en relación con el objeto del estudio, esto es, relacionados con la producción de agua y con la calidad de la misma, las que se listan a continuación:

- Desmontes;
- Infraestructura vial
- Laboreo de suelos
- Aplicación de agroquímicos
- Tratamiento de la madera
- Ganadería extensiva
- Almacenamiento de agroquímicos

-Factores del medio potencialmente impactados

En función del objetivo del presente trabajo, y como se ha expresado, interesa exclusivamente evaluar los impactos generados por las actividades sobre los factores ambientales que intervienen en los procesos hidrológicos determinantes del escurrimiento y la calidad de las aguas.

Los factores relevantes son los mismos seleccionados para la cuenca del Arroyo Mbiguá y se describen a continuación al solo efecto de facilitar la lectura y comprensión de la evaluación:

- *Escurrimiento*
Entendido como disponibilidad de agua en la cuenca, particularmente durante los períodos de sequías; es un factor clave en un sistema utilizado como fuente de abastecimiento de agua potable.
La Unidad de Importancia asignada (UIP) es de 20 ptos.
- *Calidad de agua*
Es un factor ambiental clave, máxime tratándose de una cuenca que abastece de agua potable a una población.
UIP: 29 ptos.
- *Capacidad de infiltración del agua en el suelo*
Este factor condiciona la recarga de los acuíferos, particularmente del acuífero libre, que constituye la principal fuente de aportes permanente de agua al curso del arroyo.
UIP: 25 ptos.
- *Actividad biológica en el suelo*
La actividad biológica del suelo es un factor clave para la estructura y permeabilidad del suelo, y por lo tanto afecta, indirectamente, la capacidad de infiltración de los suelos.
UIP: 13 ptos.
- *Erosión*
Es un proceso que forma parte de la degradación de los suelos; contribuye al aumento del escurrimiento superficial y al deterioro de la calidad de las aguas.
UIP: 8 ptos.
- *Espacios protegidos*
Algunas de las categorías de áreas protegidas bajo la figura de “bosques protectores”, aplicables en la cuenca en estudio, cumplen importantes funciones ambientales, tales como la prevención de potenciales procesos erosivos, retención de sedimentos y purificación de las aguas.
UIP: 5 ptos

-Matriz de identificación de relaciones causa-efecto

La siguiente matriz muestra las relaciones causa-efecto identificadas entre las actividades o acciones y los factores ambientales.

En las columnas se presentan las actividades que se desarrollan en la cuenca a las que se les asigna capacidad para generar efectos no deseados sobre los factores ambientales seleccionados, que se listan en las filas.

| Actividades/acciones en la cuenca | Desmontes | Infraestructura vial | Laboreo de suelos | Aplicación agroquímicos | Tratamiento de la madera | Ganadería extensiva | Almacenamiento de agroquímicos |
|-----------------------------------|-----------|----------------------|-------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------|--------------------------------|
| Factores ambientales impactados | | | | | | | |
| Esguerrimiento | X | X | X | X | | X | |
| Calidad del agua | X | X | X | X | X | X | X |
| Capacidad Infiltración | X | X | X | X | | X | |
| Actividad biológica | X | X | X | X | | X | |
| Erosión | X | X | X | X | | X | |
| Espacios protegidos | X | X | | | | X | |

Tabla N°32: Cuenca del Arroyo Nagel. Evaluación de impactos. Matriz de identificación de relaciones causa-efecto. Elaboración propia

Las cruces entre columnas y filas indican la identificación de una relación de impacto entre la actividad de la columna y el factor correspondiente a la fila.

-Descripción de las relaciones causa-efecto

Se describen a continuación las relaciones entre las actividades o acciones identificadas en la cuenca del Arroyo Nagel y los factores ambientales seleccionados.

Actividades o acciones que modifican los usos del suelo

En la cuenca del Arroyo Nagel se han identificado modificaciones del uso del suelo relacionadas con: los desmontes para la habilitación de tierras para las actividades productivas de base rural; y las tierras dedicadas a la infraestructura vial.

1. Desmontes

Como se ha analizado en el capítulo correspondiente, la conversión del Monte nativo para habilitar las tierras a los usos agrícolas predominantes -principalmente cultivos perennes de Yerba mate y Té, y ganadería- altera el régimen natural de esguerrimiento de las aguas.

El desmonte, por lo general, cuando es realizado por pequeños productores, se efectúa con motosierras; posteriormente, los troncos aprovechables son trasladados a otro lugar con tractores o bueyes, y el material descartable es dispuesto en escolleras para su degradación o eliminado mediante el uso del fuego. En este contexto, la sustitución de la cobertura vegetal original implica la alteración de procesos hidrológicos en direcciones tales como:

- menor intercepción del agua de lluvia por el follaje;
- menor evaporación;
- mayor cantidad de lluvia que alcanza el suelo (lluvia neta);
- incremento del escurrimiento directo o superficial (mayores caudales pico);
- menor infiltración del agua en el suelo;
- dependiendo del cultivo que sustituya a la cobertura natural puede verificarse:
 - a) en caso de los *cultivos agrícolas*: una menor evapotranspiración real que la previamente existente y, por lo tanto, un incremento de los aportes del flujo subterráneo al escurrimiento total;
 - b) en caso de las *plantaciones forestales* -principalmente pinos y eucaliptos: una mayor evapotranspiración real y, por lo tanto una reducción de los aportes subterráneos.

Los cambios observados en la cuenca adoptada como caso de estudio para evaluar los impactos de los cambios en los usos del suelo sobre el escurrimiento -la cuenca del Arroyo Chapá- indican un progresivo incremento de los volúmenes escurridos -para todas las frecuencias de caudales analizadas- como resultado de una mayor participación de los componentes del escurrimiento superficial y, particularmente, del subterráneo.

Este aumento del escurrimiento es considerado un impacto negativo, en cuanto se interpreta que significa una menor capacidad del sistema para regular el flujo de agua, y una menor retención del agua en la cuenca; dicho de otro modo, una salida más rápida del agua del sistema que incrementa la vulnerabilidad ante las sequías.

Respecto de la afectación de la calidad de las aguas, el desmonte actúa por la doble vía de la contaminación con las cenizas residuales del uso del fuego y que son arrastradas por las aguas de lluvia; y por la posterior remoción y arrastre de partículas y sedimentos por la erosión.

Al dejar los suelos expuestos a las inclemencias climáticas, los desmontes también desencadenan procesos de deterioro de la capacidad de infiltración del agua del suelo (golpe directo de las gotas de lluvia) y de la actividad biológica del suelo (incremento de las temperaturas).

Comprendida entre las acciones de desmonte, debe considerarse a la *eliminación de los bosques protectores y fajas ecológicas*, a los que la legislación provincial da un tratamiento particular.

La Ley N° 3426/97 declara “bosques protectores” y “fajas ecológicas” a diferentes masas nativas; en una primera aproximación, pueden considerarse presentes en la cuenca del Arroyo Mbiguá las siguientes, para las cuales se describe sintéticamente la situación:

- los que se encuentran en *pendientes mayores al 20%*: muy pocas áreas en la cuenca presentan pendientes superiores al establecido; algunas de las identificadas, principalmente las ubicadas en la ladera norte del valle del arroyo Nagel y en las cercanías de la Picada Sueca, aún muestran una buena cobertura boscosa;
- los bosques que forman *galerías en los cursos de agua*: no son muchos los tramos en los que se ha observado su eliminación y sería necesario un relevamiento particular de la situación. No obstante, es sistemática su eliminación en las tierras habilitadas para la ganadería;
- los que *cubren vertientes*: al igual que en el caso anterior, sería necesario un relevamiento de detalle para evaluar la situación de los bosques que protegen las vertientes. Durante el presente trabajo se han identificado algunas vertientes en las cuales se ha eliminado dicha protección y sujetas al deterioro que les genera el ganado vacuno y ovino;
- los que se encuentran sobre *suelos inaptos* para la agricultura o reforestación, incluyendo a los *suelos 6B* de la cartografía de C.A.R.T.A.: en la cuenca no se presentan suelos 6B;
- los que se encuentran en el perímetro de *embalses y lagunas*: además de los dos embalses construido por la Cooperativa de Servicios Públicos de Leandro N. Alem como reservas de agua, no se han identificado otros embalses en esta cuenca. En ninguno de estos embalses la vegetación cubre totalmente el perímetro.
- los terrenos *anegados o bañados*: según la cartografía de C.A.R.T.A., en esta cuenca existían suelos anegadizos o bañados en la zona actualmente ocupada por los embalses de la Cooperativa y en la zona de las nacientes, en la cercanías de la RNN°14; ninguno de los dos existe como tal en la actualidad. Mientras que el primero fue transformado para la construcción de las instalaciones de la Cooperativa, el entonces existente en la zona de las nacientes fue totalmente convertido en potrero y destinado a las actividades ganaderas.
- los existentes o a implantarse *a la vera de los caminos*: se trata de una norma de incumplimiento generalizado no sólo en la cuenca del Arroyo Nagel, sino en todo el territorio provincial.

Por su parte, la misma ley declara “fajas ecológicas” a las franjas de bosques nativos que interconectan a los bosques protectores y permiten, en forma conjunta, la formación de un sistema de defensa ecológica básica.

Para ambas figuras, la ley establece la prohibición de su conversión a tierras de cultivo.

Queda claro que los impactos asociados con la eliminación de estas áreas protegidas se relacionan con las afectaciones de las funciones ambientales que desempeñan.

2. Infraestructura vial

Los efectos hidrológicos de la construcción de obras viales se asocian con la impermeabilización de una parte de la superficie de la cuenca -en los caso de rutas con algún tipo de pavimento- o con la menor capacidad de infiltración resultante -por compactación, en caso de las terradas- y, en ambos casos, con un mayor escurrimiento superficial.

También debe considerarse la alteración del drenaje natural debido a la construcción de terraplenes, banquetas y cunetas, y cuando las luces de los puentes o capacidad de las alcantarillas no resulta suficiente, la acumulación de aguas por el represamiento de los cursos, aguas arriba de los mismos.

La cuenca es atravesada por una red de infraestructura vial que facilita las comunicaciones en todas las direcciones: la RNN° 14, la Picada Sueca, la Picada Roca, la Picada Don Germán, y una importante red de caminos internos que facilitan la salida de la producción desde las chacras. La extensión total de esta infraestructura dentro del área de la cuenca se estima aproximadamente en 10.000 m. de los cuales sólo 1.450 m. corresponden a la ruta nacional N° 14, pavimentada.

La intensa acción de abundantes y frecuentes lluvias sobre terrenos con acentuadas pendientes desencadena procesos erosivos claramente visibles tanto en las rutas terradas como en los taludes y banquetas de la ruta nacional que cuenta con pavimento.

En las rutas entoscadas, la Dirección Provincial de Vialidad estima que para su mantenimiento se requiere reponer, aproximadamente, un promedio de 500 m³/km.año. Según tal estimación, y en función de la extensión total dentro de la cuenca de las picadas Sueca, Don Germán y Roca -4,25 km. de caminos entoscadas- resultaría un volumen anual de erosión del orden de 2.125 m³. Es muy posible que gran parte de dicho volumen erosionado, el conformado por las partículas de mayor tamaño, sea sólo removido y depositado en sitios más bajos o con menores pendiente y no alcance los curso de agua. Pero la parte que llega a los cursos de agua, es transportada por la corriente y depositada en el primer embalse de la Cooperativa ubicado sobre la Picada Sueca, reduciendo progresivamente su capacidad de almacenamiento con los sedimentos acumulados. La porción de sedimentos correspondiente a las partículas más finas, aquellas que son transportadas en suspensión, también llegan al embalse contribuyendo a la sedimentación y afectando la transparencia/turbiedad del agua.

3. Laboreo de los suelos

Cuando se trata de tierras habilitadas para las actividades agrícolas, forestales o ganaderas, una vez sustituida la cobertura vegetal original tienen lugar una serie de actividades tendientes a preparar el terreno para la implantación de cultivos o pasturas.

Por lo general, una vez que se han eliminado los residuos del desmonte, se recurre al uso de máquinas y herramientas -tractores, arados, rastras de discos- para preparar el suelo para la siembra de semillas o plantines. Implantados los cultivos de que se trate, le siguen tareas de mantenimiento tales como el control de malezas, podas de formación y cosechas, todo lo cual, por lo general, involucra el paso de máquinas o pisoteo.

Con el paso del tiempo los suelos experimentan una reducción de la densidad aparente, o compactación, que hidrológicamente opera en dirección a una progresiva reducción de la capacidad de infiltración del agua en el suelo.

Los resultados de los ensayos de infiltración realizados en la cuenca del Arroyo Nagel, en parcelas con distintos cultivos, sugieren intensidades diferenciales en el impacto de los distintos cultivos sobre este importante proceso hidrológico.

Ello puede observarse en el siguiente ordenamiento de los cultivos según la intensidad del impacto sobre la velocidad de infiltración del agua en el suelo, que resulta de considerar como valor inicial, con mínima alteración antrópica, a los valores promedios obtenidos para los ensayos en Monte nativo, y expresar los valores promedio obtenidos para cada cultivo como porcentaje referido a dicho valor base.

| | |
|--------------|-------|
| Monte nativo | 100,0 |
| Pino + Yerba | 82,4 |
| Maíz | 28,8 |
| Yerba mate | 26,8 |
| Té | 2,1 |

La reducción de la capacidad de infiltración del agua en el suelo provoca una saturación más rápida de los poros y, consecuentemente, un incremento del escurrimiento superficial. No se dispone de información hidrológica para la cuenca del Arroyo Nagel que permita evaluar cuantitativamente el impacto de estas actividades sobre el régimen de escurrimiento del arroyo, pero los estudios realizados en la cuenca del Arroyo Chapá constituyen una referencia respecto de la dirección en que se altera el comportamiento del sistema.

El aumento del escurrimiento superficial, como ya se ha expresado, abre las vías para los procesos erosivos. Según el Atlas de Suelos (INTA, 1985) el riesgo de erosión de los suelos utilizados en las actividades agrícolas, forestales y ganaderas es, para los suelos de esta cuenca,

moderado, fundamentalmente debido a que en ellos predominan, por un lado, las pendientes moderadas y bajas y, por el otro, un clima de abundantes e intensas precipitaciones.

La superficie de esta cuenca presenta la distribución, según grupos de pendientes, que se muestra en el siguiente cuadro.

| Grupos de pendientes | Superficies | |
|----------------------|--------------|--------------|
| | -ha.- | -%- |
| < 5% | 90 | 20,0 |
| 5% - 10% | 206,6 | 45,9 |
| 10% - 20% | 146,8 | 32,6 |
| > 20% | 7,1 | 1,6 |
| Total | 450,5 | 100,0 |

Tabla N° 33: Cuenca del Arroyo Nagel. Evaluación de impactos.
Superficies por grupos de pendiente. Elaboración propia

Se observa que, no obstante existir una clara predominancia del grupo de pendientes 5%-10%, y del de menores a 5% -juntas suman el 65,9% de la cuenca- las superficies que se encuentran en pendientes más importantes, mayores al 10% representan un considerable 34,2%.

En las explotaciones, la erosión se visualiza con claridad en prácticamente todos los cultivos, incluyendo las Plantaciones forestales -al menos en sus primeros años de plantación- la Yerba mate, los anuales y, en menor medida, el Té, debido a que a los pocos años ofrece una buena cobertura; también en los potreros utilizados para la ganadería, particularmente a la vera de los arroyos y fuentes de agua.

Los procesos erosivos constituyen una clara manifestación de la degradación de los suelos que se inicia a partir de la eliminación de la cobertura boscosa original, y también traen aparejado una degradación de la calidad de las aguas superficiales por su contaminación con los sedimentos de fondo y en suspensión que aporta. No se trata solo de una pérdida de calidad por la mayor turbiedad que adquiere el agua, sino también del riesgo que los sedimentos aportados contengan también elementos tóxicos a ellos adheridos, derivados de los plaguicidas.

4. Aplicación de agroquímicos

Entre las actividades o acciones identificadas en la cuenca del Arroyo Nagel que involucran la emisión de contaminantes, se encuentran algunas habituales prácticas, tales como:

- a) *Aplicación de herbicidas* para el control de malezas: se recurre principalmente al glifosato y se aplica en todos los cultivos perennes; se ha convertido progresivamente en un sustituto de la mano de obra entre los productores.
- b) *Aplicación de insecticidas*: principalmente se recurre al Mirex y Clorpirifós

- c) *Aplicación de fertilizantes*: básicamente en los cultivos de Yerba mate y Té, y dependiendo del valor de mercado de la materia prima

Para el presente trabajo no se han realizado análisis específicos para detectar la presencia de plaguicidas en el agua. No obstante, se considera conveniente realizar algunas consideraciones respecto de los productos cuya utilización ha sido detectada en la cuenca en estudio.

El glifosato es un herbicida ampliamente utilizado en prácticamente todas las actividades agrícolas que demandan de un control de malezas. Se trata de un producto que prácticamente domina el mercado mundial de los herbicidas y al que toxicológicamente se lo ha considerado “benigno”.

No obstante, una valiosa revisión sobre investigaciones referidas al tema (KACZEWER, 2002) advierte sobre “los riesgos que esa sustancia conlleva para la salud humana” esto es: toxicidad, efectos cancerígenos y reproductivos, acción mutagénica y contaminación de alimentos¹⁸.

Entre otras cuestiones, el trabajo informa que la Agencia de Protección Medioambiental (EPA) reclasificó los plaguicidas que contienen glifosato como clase II (altamente tóxicos).

Por su parte, y en el marco de las regulaciones de la EPA vigentes en los Estados Unidos para el agua potable, el “Technical Factsheet on: Glyphosate” sintetiza los siguientes efectos sobre la salud:

- *Agudos*: EPA ha encontrado que el glifosato puede potencialmente causar los siguientes efectos sobre la salud debidos a la exposición aguda a niveles por encima de 0.7 mg/L (MCL): congestión pulmonar; aumento del ritmo respiratorio.
Niveles en agua para beber que son considerados “seguros” para exposiciones de corto plazo: 20 mg/L para una exposición de hasta 10 días, para un niño de 10 kg de peso que consuma 1 lt. diario de agua; o 1 mg/L para una exposición de 7 años.
- *Crónica*: Glifosato tiene potencial para causar los siguientes efectos sobre la salud por exposiciones prolongadas a niveles superiores a 0.7 mg/L: daños en los riñones, efectos reproductivos.
- *Cáncer*: hay insuficientes evidencias para establecer si el glifosato posee o no potencial para provocar cáncer por una exposición de por vida en el agua potable.

¹⁸ El trabajo citado hace referencias a que estudios de toxicidad realizados por instituciones independientes, “revelaron efectos adversos en todas las categorías estandarizadas de pruebas toxicológicas de laboratorio en la mayoría de las dosis ensayadas: toxicidad subaguda..., toxicidad crónica... , daños genéticos... , trastornos reproductivos... , y carcinogénesis... .. A nivel eco-tóxico-epidemiológico, la situación se ve agravada no sólo porque son pocos los laboratorios en el mundo que poseen el equipamiento y las técnicas necesarios para evaluar los impactos del glifosato sobre la salud humana y el medioambiente”.

Estos antecedentes deben ser precautoriamente evaluados, teniendo en consideración que se trata de un área que produce agua para abastecer a una población, y la existencia de los déficits de laboratorios/equipamiento -al menos a nivel local y regional- para determinar la presencia y las concentraciones en agua de productos como el glifosato.

5. Tratamientos de la madera

En algunos establecimientos foresto-industriales localizados en la cuenca del Arroyo Nagel se detectó la utilización de *productos fungicidas* para el tratamiento de la madera de pinos aserrada.

El producto utilizado es Tiociano Metiltio Benzotiazol (“Tricide em”) y El tratamiento consiste en sumergir las maderas en un baño con una solución de agua con dicho producto (1lt. del producto en 150 lt. de agua). Los fabricantes del producto químico informan¹⁹ que se trata de un éster de origen vegetal que no contiene fenoles clorados ni bromados y que es un “microbicida de alta efectividad para prevenir el ataque de hongos productores de la mancha azul y/o verdín en maderas recién aserradas”.

Las instalaciones para el baño muy precarias y se encuentran a la intemperie; consiste en una pileta de 4-5 m. de largo construida con mitades de tambores metálicos de 200 lt. cortados longitudinalmente por la mitad y soldados. El baño se prepara allí mismo, y eventuales derrames del líquido caen directamente al suelo.

Si bien está clasificado como Moderadamente tóxico (clase C) se trata de un producto muy tóxico para organismos acuáticos y sus instrucciones de uso indican que se debe evitar la contaminación de fuentes de agua, tanto de cursos de agua como de napas para consumo.²⁰

6. Ganadería extensiva

La ganadería extensiva, además de la contribución a la erosión ya descripta, también constituye una fuente de generación de contaminación por sus aportes en materia orgánica -que en su proceso de degradación consume el oxígeno del agua- y bacteriológico -con sus excretas.

No obstante tratarse de una cuenca en la cual las actividades ganaderas no están muy difundidas, en todos los análisis de calidad de agua realizados se detectó la presencia de bacterias coliformes en todos los puntos de muestreo, con mayores concentraciones en la zona de las nacientes, en cercanías de la RNN°14, en una vertiente (donde pastorea ganado vacuno y ovino), y al ingreso al embalse de la Cooperativa.

¹⁹ Tomado del sitio: <http://www.sintesisquimica.com.ar>. Página visitada el 28/01/08

²⁰ www.pluschemie.com.ar

7. Almacenamiento de productos químicos de uso agro-forestal

En todas las chacras de la cuenca se utilizan, en mayor o menor medida y según los cultivos existentes, los productos fitosanitarios de uso habitual en las tareas agrícolas y forestales: herbicidas, insecticidas, fungicidas, etc.

Los volúmenes normalmente utilizados no son importantes pero es normal observar que se los almacena haciendo caso omiso a las normas de seguridad recomendadas en función del riesgo para la salud y/o ambiental asociado a los tóxicos que contienen en sus formulaciones. En tales condiciones, el riesgo de accidentes está siempre presente y es necesario insistir en un mayor rigor en el cumplimiento de las normas de protección ambiental.

-Matriz de importancia

En esta matriz, como ya se ha expresado, se evalúa la importancia del impacto de cada actividad o acción según la valorización de los efectos sobre los factores ambientales, en base a los atributos de tipo cualitativos descriptos en el apartado correspondiente a los aspectos metodológicos.

Los criterios de evaluación de la importancia de los impactos son los siguientes:

- Irrelevantes o Compatibles: $IM < - 25$
- Moderados: $- 25 < IM < - 50$
- Severos: $- 50 < IM < - 75$
- Críticos: $IM > - 75$

La importancia de los impactos resultantes de la evaluación, se muestra en la matriz que se presenta como Tabla N° 34 en la página siguiente, a partir de la cual se realizan las siguientes observaciones:

- No se han identificado acciones capaces de generar impactos Críticos ni tampoco Irrelevantes o Compatibles;
- Se han computado 23 impactos de importancia Moderada y 7 Impactos Severos
- Según la cantidad decreciente de unidades de impacto recibidas, los factores ambientales se ordenan de la siguiente manera:
 - La calidad del agua (321)
 - La capacidad de infiltración del agua en el suelo (242)
 - La erosión del suelo (228)
 - El escurrimiento (213)
 - La actividad biológica en el suelo (189)
 - Los espacios protegidos (131)

- Por su capacidad de generar impactos sobre los factores, las actividades y acciones que se realizan en la cuenca se posicionan en el siguiente orden:
 - Los desmontes (300)
 - La ganadería extensiva (292)
 - La infraestructura vial (287)
 - La aplicación de agroquímicos (233)
 - El laboreo de los suelos (287)
 - Los tratamientos de la madera (39)
 - El almacenamiento de agroquímicos (32)

| Actividades en la cuenca | | | | | | | | |
|---------------------------|--------------|-------------------------|----------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------|-----------------------------------|---------------|
| Factores ambientales | 1. Desmontes | 2. Infraestructura vial | 3. Laboreo de suelos | 4. Aplicación de agroquímicos | 5. Tratamientos de la madera | 6. Ganadería extensiva | 7. Almacenamiento de agroquímicos | Total |
| Calidad del agua | -59 | -41 | -30 | -72 | -39 | -48 | -32 | -321 |
| Escurrimiento | -50 | -47 | -35 | -32 | 0 | -49 | 0 | -213 |
| Capacidad de infiltración | -52 | -45 | -50 | -33 | 0 | -62 | 0 | -242 |
| Actividad biológica | -46 | 0 | -38 | -64 | 0 | -41 | 0 | -189 |
| Erosión suelo | -51 | -50 | -45 | -32 | 0 | -50 | 0 | -228 |
| Espacios protegidos | -42 | -47 | 0 | 0 | 0 | -42 | 0 | -131 |
| Totales | -300 | -287 | -198 | -233 | -39 | -292 | -32 | -1.324 |

-25 < IM < -50

Impacto Moderado

-50 < IM < -75

Impacto Severo

Tabla N° 34: Cuenca del Arroyo Nagel. Evaluación de impactos. Matriz de importancia. Elaboración propia

BIBLIOGRAFÍA

Impactos de los usos del suelo sobre el escurrimiento

- BATCHELOR CH., CAIN J., FARQUHARSON F., ROBERTS J. Improving water utilization from a catchment perspective. 4SWIM Paper. System-Wide Initiative on Water Management. International Water Management Institute. Colombo. Sri Lanka. 1997
- BOOTH D.B. Forest cover, impervious-surface area, and the mitigation of urbanization impacts in King County, Washington. Department of Civil and Environmental Engineering. University of Washington. Seattle. WA. September 2000
- CALDER I. R. and DYE P. Hydrological impacts of invasive alien plants. En Land Use and Water Resources Research 1 (2001) 7,1-12 . Documento en pdf. En www.luwrr.com/uploads
- CALDER, I. R. Documentos de antecedentes aportados para el Taller Electrónico organizado por la Dirección de Fomento de Tierras y Aguas de la FAO. 18 de septiembre-27 de octubre de 2000
- CALDER, I. R. Forests and Water - Closing the gap between public and science perceptions. Centre for Land Use and Water Resources Research. University of Newcastle upon Tyne, UK. Presentado en “2003 Stockholm Water Symposium”. En www.siwi.org/waterweek2003
- CALDER, I. R. Water-Resource and Land-Use Issues. International Water Management Institute (IWMI), System-Wide Initiative on Water Management (SWIM). 3 SWIM papers. 2003
- CUMMING COCKBURN LIMITED. Water Budget Analysis on a Watershed Basis. En www.trentu.ca/wsc/publications.shtml#Anchor-Water-49575
- DE PAULA LIMA W. Princípios de Hidrologia Florestal para o manejo de Bacias Hidrográficas. Departamento de Silvicultura. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de Sao Paulo. Piracicaba, Janeiro de 1986
- DE ROO A., ODIJK M., SCHMÜCK G. Assessing the effects of land use change on floods in the Meuse and other catchment. European Commission, DG Joint Research Centre, Space Applications Institute. Ispra (Va) Italy. 2000
- ECOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA’S COMMITTEE ON LAND USE. Ecological principles for managing land use. ESA. April 2000
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). Seminar Publication. National conference on urban runoff management: enhancing urban watershed management at the local, county and state levels. EPA/625/R-95/003 April 1995
- FAO. Relaciones tierra-agua en cuencas hidrográficas rurales. Actas del taller electrónico organizado por la Dirección de Fomento de Tierras y Aguas de la FAO. 18 de septiembre-27 de octubre de 2000. Boletín de tierras y aguas de la FAO 9.

- FULTON S. and WEST B. Forestry impacts on water quality. Environmental Protection Agency. Region 4. US

- GARCIA N. O. Análisis de la Variabilidad Climática de la Cuenca del Río de la Plata a través de los Caudales de sus Principales Ríos. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba. 2000

- GEORGE V., SMITH M., LOWRANCE R. (2003). Impact and Control of Agricultural Runoff. Stormwater. The Journal For Surface Water Quality Professionals. May/Jun 2003. En www.forester.net/sw.html

- GODOY SABARÁ MILLÔR. Influência do uso dos solos e do clima sobre a produção de água em microbacias do médio rio Doce. Relatório preliminar. Centro Universitário do Leste de Minas Gerais. UNILESTE-MG. Agosto 2000.

- GUERRERO R., BERLANGA M. Isótopos estables: Fundamentos y aplicaciones. Departamento de Microbiología, Universidad de Barcelona

- J.M.GRACE III. Forest operations and water quality in the south. American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, Michigan (www.asabe.org). 2005

- KENDALL C., CALDWELL E. A. Chapter 2: Fundamentals of Isotope Geochemistry. Isotope Tracers in Catchment Hydrology. Edited by C. Kendall and J.J. McDonnell. Elsevier Science B.V. 1988

- OCAMPO C.J., OLDHAM C.E, SIVAPALAN M. Nitrate attenuation in agricultural catchments: Shifting balances between transport and reaction. Water Resources Research, Vol. 42. W01408, doi: 10.1029/2004WR003773, 2006

- OCAMPO C.J., OLDHAM C.E, SIVAPALAN M., TURNER J.V. Hydrological versus biogeochemical controls on catchment nitrate export: a test of the flushing mechanism. Hydrological Processes 20, 4269-4286 (2006). Published online 15 November 2006 in Wiley InterScience. (www.inerscience.wiley.com)

- OCAMPO C.J., SIVAPALAN M., OLDHAM C.E. Field exploration of coupled hydrological and biogeochemical catchment responses and a unifying perceptual model. Advances in Water Resources 29 (2006) 161-180. Available online at www.sciencedirect.com

- OCAMPO C.J., SIVAPALAN M., OLDHAM C.E. Hydrological connectivity of upland-riparian zones in agricultural catchments: implications for runoff generation and nitrate transport. Journal of Hydrology (2006) 331, 643-658. Available online at www.sciencedirect.com

- SAMPURNO BRUIJNZEEL L.A. Hidrología de las plantaciones forestales en los trópicos. En Management of soils, nutrients and water in tropical plantation forests. Sadananda Nambiar and Alan G. Brown Editors. CSIRO Canberra Australia. 1997. 571 pág. Traducción realizada por el Departamento de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

- SAWSON T. E., EHLERINGER J.R. Chapter 6: Plants, Isotopes and Water Use: A Catchment-Scale Perspective. Isotope Tracers in Catchment Hydrology. Edited by C. Kendall and J.J. McDonnell. Elsevier Science B.V. 1988

- TARABA J.L., DINGER J.S., SENDLEIN L.V.A. and FELTON G.K. Land use impacts on water quality in small karst agricultural watersheds. En: <http://rocco.bae.uky.edu/uk-arc/downloads/Papers/papers/Karstsysp.pdf>

- TEAGUE R. The water cycle: research on hydrological effects under intensive rotational grazing. Holistic Resource Management of Texas, Inc Newsletter. Vol 18 N° 1. Texas Agricultural Experiment Station, Vernon, TX. Spring 2003. En: <http://www.hrm-texas.org/newsletters/spring03-1.html>

- USDA FOREST SERVICE. Effects of agriculture on hydrology. En: www.forestryencyclopedia.net

- USDA FOREST SERVICE. Effects of deforestation on streamflow. En: www.forestryencyclopedia.net

- VELLIDIS G, SMITH M. and LOWRANCE R. Impact and control of agricultural runoff. Stormwater features. The journal for surface water quality professionals.

- WASHINGTON FOREST PRACTICES BOARD. Forest practices rules. Final Environmental Impact Statement.

- WIBERG D. A. Impact of Land Use and Climate Change on Water Resources: Examples from China. IIASA, Laxenburg. Austria. 1999 En: <http://www.iiasa.ac.at>

Sobre Agroquímicos

- Avery D. Salvando el Planeta con plaguicidas y plásticos. Inst Hudson.1995.

- CASAFE (Cámara de Sanidad y Fertilizantes-República Argentina). Guía Fitosanitaria 2007

- FAO. Código de Conducta.

- FAO. Manual sobre la elaboración y Empleo de las Especificaciones para productos Destinados a la Protección de las Plantas-Quinta Edición. 1999.

- Manual de Almacenamiento Seguro de Productos Fitosanitarios.

- Manual de Uso Seguro de Productos Fitosanitarios.

- TAS y CASAFE. Manual de Emergencias Médicas

Calidad de agua

- OMS-WHO. WHO Seminar Pack for Drinking Water Quality. Vol 1-23. Documentos en pdf. En: www.who.int/docstore/water_sanitation_health/Documents/

- ONU. (1992). Protección de la calidad y el suministro de los recursos de agua dulce: aplicación de criterios integrados para el aprovechamiento, ordenación y uso de los recursos de agua dulce. Programa 21. Capítulo 18. Río de Janeiro, Brasil, 1992

- POURAGH NIAEI M.J. Effects of urbanization on quality and quantity of water in the watershed. Natural Resources Research Center of Semnan, Iran. 2002

- COMISIÓN EUROPEA AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. La agricultura y el medio ambiente. En: http://ec.europa.eu/agriculture/envir/index_es.htm#measures. Pág. consultada el 10/10/07

Metodologías de evaluación de impactos

- CANTER, L. Manual de Evaluación de Impacto Ambiental- Técnicas para la elaboración de estudios de Impacto. McGraw-Hill. ISBN 84-481-1251-2. España. 1998

- COMITE EXPERTOS OMS BIOLOGIA DE VECTORES Y LUCHA ANTIVECTOR. Empleo Inocuo de Plaguicidas. OMS. ISBN 92-4-320813-6. Ginebra. 1991

- CONESA FERNANDEZ, VITORA V. Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental. Mundi-Prensa. ISBN 84-7114-647-9. Madrid. 1997

- CONESA FERNANDEZ, VITORA V. Instrumentos de la Gestión Ambiental de la Empresa. Mundi-Prensa. ISBN 84-7114-648-7. Madrid. 1996

- DA ROCHA J.S. Impacto Ambiental.

- DEBORAH CHAPMAN. Water Quality Assessments. Chapman&Hall. ISBN 0 412-44840-8. London. 1992

- DÍAZ D., GUIDO A. Guía Metodológica para la realización de Estudios de Impacto Ambiental. E.E.A. INTA Concordia-Secretaría de la Producción, Dirección General de Desarrollo Agrícola y Recursos Naturales, Provincia de Entre Ríos.

- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - OFFICE OF WATER. Volunteer Stream Monitoring: Methods Manual. EPA-841-B-97-003. Washington. 1997

- GIUFFRÉ L. Impacto ambiental en agrosistemas. Editorial Facultad de Agronomía. UBA. Buenos Aires.

- GOMEZ OREA D. Evaluación del Impacto Ambiental. Mundi-Prensa. ISBN 84-7114-814-5. Madrid. 1999

- GONZALEZ DEL TÁNAGO M., GARCIA DE JALON D. Restauración de Ríos y Riberas. Mundi-Prensa / Fundac. Conde V. de Salazar. ISBN 84-7114-791-2. Madrid. 1998
- KIELY, G. Ingeniería Ambiental - Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión. McGraw-Hill. ISBN 84-481-2039-6. Madrid. 1999
- MIN FEDERAL DE COOP ECON. Y DESARROLLO (BMZ). Tomo II: Economía Agropecuaria, Minería y Energía, Actividades Industriales y Artesanales. GTZ. ISBN 3-528-02316-3. Eschborn-Alemania. 1996
- NEMEROW N., - DASGUPTA A. Tratamiento de Vertidos Industriales y Peligrosos. Díaz de Santos. ISBN 84-7978-337-0. Madrid. 1998
- RAMAKRISHNA, B. Estrategias de Extensión para el Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas: Conceptos y Experiencias. GTZ-IICA . ISBN 92-9039-318 1. Costa Rica. 1997
- SEOANEZ CALVO M. Ingeniería Medio Ambiental Aplicada - Casos Prácticos. Mundi-Prensa. ISBN 84-7114-706-8. Madrid. 1997
- SRIA. DESARROLLO SOCIAL-SRIA. MAYRN-INST.NAC.ECOL-UNAM. Indicadores para la Caracterización y el Ordenamiento Territorial. México. 2004

ANEXOS

Arroyo Yabebiry - Estación de Aforos de Colonia Mártires
 Ajuste de la relación H-Q
 Informe generado por Statgraphics Centurion XV

Polynomial Regression - Q1 vs. H1; H1 ≤ 1,5 m.

Dependent variable: Q1
 Independent variable: H1
 Order of polynomial = 2

| | | Standard | T | |
|-----------|-----------|----------|-----------|---------|
| Parameter | Estimate | Error | Statistic | P-Value |
| CONSTANT | -0,397507 | 0,165696 | -2,39902 | 0,0164 |
| H1 | -3,12988 | 0,368293 | -8,49834 | 0,0000 |
| H1^2 | 9,45441 | 0,192792 | 49,0394 | 0,0000 |

Analysis of Variance

| Source | Sum of Squares | Df | Mean Square | F-Ratio | P-Value |
|---------------|----------------|------|-------------|----------|---------|
| Model | 40661,5 | 2 | 20330,8 | 39555,81 | 0,0000 |
| Residual | 1551,7 | 3019 | 0,513977 | | |
| Total (Corr.) | 42213,2 | 3021 | | | |

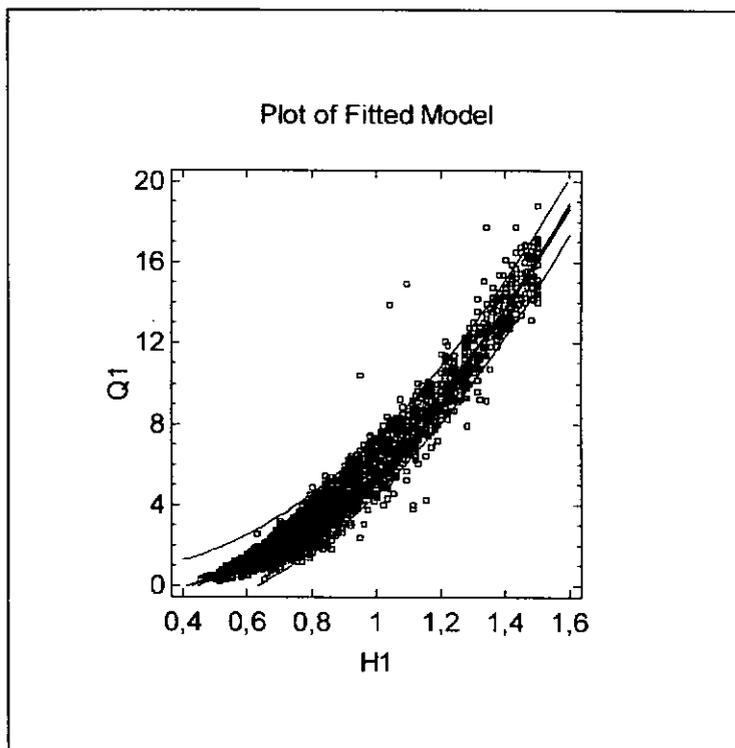
R-squared = 96,3241 percent
 R-squared (adjusted for d.f.) = 96,3217 percent
 Standard Error of Est. = 0,716922
 Mean absolute error = 0,508127
 Durbin-Watson statistic = 1,06981 (P=0,0000)
 Lag 1 residual autocorrelation = 0,462785

The StatAdvisor

The output shows the results of fitting a second order polynomial model to describe the relationship between Q1 and H1. The equation of the fitted model is

$$Q1 = -0,397507 - 3,12988 * H1 + 9,45441 * H1^2$$

Since the P-value in the ANOVA table is less than 0,05, there is a statistically significant relationship between Q1 and H1 at the 95% confidence level.



The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 96,3241% of the variability in Q1. The adjusted R-squared statistic, which is more suitable for comparing models with different numbers of independent variables, is 96,3217%. The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 0,716922. This value can be used to construct prediction limits for new observations by selecting the Forecasts option from the text menu. The mean absolute error (MAE) of 0,508127 is the average value of the residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file. Since the P-value is less than 0,05, there is an indication of possible serial correlation at the 95% confidence level. Plot the residuals versus row order to see if there is any pattern that can be seen.

In determining whether the order of the polynomial is appropriate, note first that the P-value on the highest order term of the polynomial equals 0,0. Since the P-value is less than 0,05, the highest order term is statistically significant at the 95% confidence level. Consequently, you probably don't want to consider any model of lower order.

Polynomial Regression - Q2 vs. H2: 1,5 < H2 ≤ 5 m.

Dependent variable: Q2
 Independent variable: H2
 Order of polynomial = 2

| | | Standard | T | |
|-----------|----------|----------|-----------|---------|
| Parameter | Estimate | Error | Statistic | P-Value |
| CONSTANT | -19,7269 | 1,24287 | -15,872 | 0,0000 |
| H2 | 23,1165 | 0,92158 | 25,0835 | 0,0000 |
| H2^2 | 0,453761 | 0,156261 | 2,90386 | 0,0037 |

Analysis of Variance

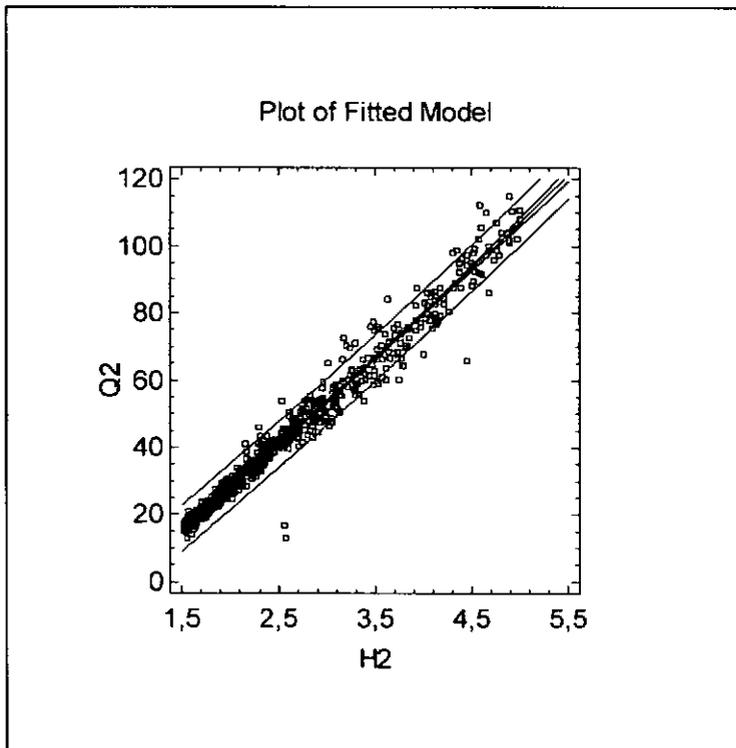
| Source | Sum of Squares | Df | Mean Square | F-Ratio | P-Value |
|---------------|----------------|-----|-------------|----------|---------|
| Model | 382583, | 2 | 191292, | 15543,03 | 0,0000 |
| Residual | 9944,24 | 808 | 12,3072 | | |
| Total (Corr.) | 392527, | 810 | | | |

R-squared = 97,4666 percent
 R-squared (adjusted for d.f.) = 97,4603 percent
 Standard Error of Est. = 3,50817
 Mean absolute error = 2,12185
 Durbin-Watson statistic = 1,97089 (P=0,3393)
 Lag 1 residual autocorrelation = 0.0138609

The StatAdvisor

The output shows the results of fitting a second order polynomial model to describe the relationship between Q2 and H2. The equation of the fitted model is

$$Q2 = -19,7269 + 23,1165 \cdot H2 + 0,453761 \cdot H2^2$$



Since the P-value in the ANOVA table is less than 0,05, there is a statistically significant relationship between Q2 and H2 at the 95% confidence level.

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 97,4666% of the variability in Q2. The adjusted R-squared statistic, which is more suitable for comparing models with different numbers of independent variables, is 97,4603%. The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 3,50817. This value can be used to construct prediction limits for new observations by selecting the Forecasts option from the text menu. The mean absolute error (MAE) of 2,12185 is the average value of the residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file. Since the P-value is greater than 0,05, there is no indication of serial autocorrelation in the residuals at the 95% confidence level.

In determining whether the order of the polynomial is appropriate, note first that the P-value on the highest order term of the polynomial equals 0,00368607. Since the P-value is less than 0,05, the highest order term is statistically significant at the 95% confidence level. Consequently, you probably don't want to consider any

model of lower order.

Polynomial Regression - Q3 vs. H3: H3 > 5 m.

Dependent variable: Q3

Independent variable: H3
 Order of polynomial = 2

| | | Standard | T | |
|-----------|----------|----------|-----------|---------|
| Parameter | Estimate | Error | Statistic | P-Value |
| CONSTANT | 608,129 | 100,988 | 6,02178 | 0,0000 |
| H3 | -183,667 | 31,3899 | -5,85117 | 0,0000 |
| H3^2 | 17,1816 | 2,40657 | 7,13944 | 0,0000 |

Analysis of Variance

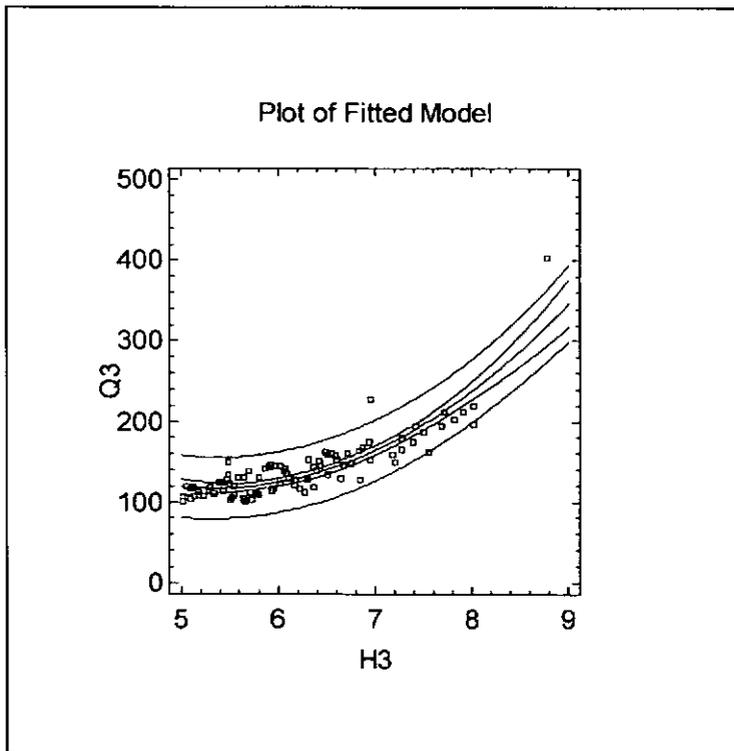
| Source | Sum of Squares | Df | Mean Square | F-Ratio | P-Value |
|---------------|----------------|----|-------------|---------|---------|
| Model | 116894, | 2 | 58447,2 | 164,73 | 0,0000 |
| Residual | 30512,9 | 86 | 354,801 | | |
| Total (Corr.) | 147407, | 88 | | | |

R-squared = 79,3003 percent
 R-squared (adjusted for d.f.) = 78,8189 percent
 Standard Error of Est. = 18,8362
 Mean absolute error = 13,5834
 Durbin-Watson statistic = 1,72863 (P=0,0662)
 Lag 1 residual autocorrelation = 0,0138322

The StatAdvisor

The output shows the results of fitting a second order polynomial model to describe the relationship between Q3 and H3. The equation of the fitted model is

$$Q3 = 608,129 - 183,667 \cdot H3 + 17,1816 \cdot H3^2$$



Since the P-value in the ANOVA table is less than 0,05, there is a statistically significant relationship between Q3 and H3 at the 95% confidence level.

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 79,3003% of the variability in Q3. The adjusted R-squared statistic, which is more suitable for comparing models with different numbers of independent variables, is 78,8189%. The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 18,8362. This value can be used to construct prediction limits for new observations by selecting the Forecasts option from the text menu. The mean absolute error (MAE) of 13,5834 is the average value of the residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file. Since the P-value is greater than 0,05, there is no indication of serial autocorrelation in the residuals at the 95% confidence level.

In determining whether the order of the polynomial is appropriate, note first that the P-value on the highest order term of the polynomial equals 2,8082E-10. Since the P-value is less than 0,05, the highest order term is statistically significant at the 95% confidence level. Consequently, you probably don't want to consider any

model of lower order.

Estación de Aforos de Colonia Mártires. Precipitaciones mensuales y anuales, promedio, máximas y mínimas, según año hidrológico (marzo/febrero). Período 1972/73-2004/05. Elaboración propia en base a información suministrada por la SRH

| Año Hidrológico | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ENE | FEB | Anual |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| 1972/73 | 167,2 | 100,8 | 51,8 | 311,2 | 164,7 | 464,0 | 293,8 | 218,2 | 366,7 | 105,9 | 404,4 | 70,8 | 2.719,5 |
| 1973/74 | 172,5 | 343,2 | 237,9 | 102,6 | 234,6 | 191,2 | 314,1 | 152,3 | 50,1 | 241,3 | 173,6 | 109,2 | 2.322,6 |
| 1974/75 | 69,0 | 140,0 | 224,6 | 179,0 | 38,0 | 73,1 | 22,5 | 66,8 | 269,0 | 207,8 | 212,2 | 206,0 | 1.708,0 |
| 1975/76 | 207,5 | 212,4 | 62,3 | 338,4 | 28,0 | 96,1 | 361,4 | 253,1 | 91,7 | 62,1 | 184,9 | 128,6 | 2.026,5 |
| 1976/77 | 182,7 | 143,3 | 21,1 | 64,0 | 129,7 | 62,1 | 76,8 | 283,0 | 172,9 | 118,6 | 143,4 | 45,3 | 1.442,9 |
| 1977/78 | 78,3 | 67,5 | 178,9 | 168,9 | 75,4 | 145,4 | 207,3 | 169,7 | 216,6 | 74,1 | 120,8 | 125,6 | 1.628,5 |
| 1978/79 | 146,1 | 22,6 | 54,5 | 97,8 | 341,5 | 66,0 | 105,5 | 134,8 | 190,5 | 83,1 | 36,6 | 154,2 | 1.433,2 |
| 1979/80 | 141,5 | 256,2 | 203,9 | 59,6 | 167,3 | 310,9 | 205,9 | 388,2 | 78,9 | 300,4 | 122,2 | 130,1 | 2.365,1 |
| 1980/81 | 243,2 | 56,9 | 389,5 | 50,1 | 84,3 | 88,2 | 200,4 | 302,7 | 138,2 | 33,3 | 246,5 | 212,9 | 2.046,2 |
| 1981/82 | 434,0 | 185,4 | 127,3 | 180,0 | 34,0 | 52,4 | 229,6 | 101,7 | 232,9 | 235,4 | 12,3 | 276,4 | 2.101,4 |
| 1982/83 | 27,0 | 62,2 | 89,9 | 212,9 | 115,8 | 244,9 | 165,3 | 186,4 | 493,1 | 94,3 | 109,3 | 179,7 | 1.980,8 |
| 1983/84 | 304,1 | 638,0 | 558,4 | 131,7 | 362,9 | 117,8 | 57,6 | 210,5 | 169,3 | 29,7 | 118,4 | 279,8 | 2.978,2 |
| 1984/85 | 144,5 | 126,1 | 265,2 | 190,4 | 88,2 | 160,8 | 169,9 | 234,4 | 317,5 | 215,8 | 58,3 | 346,0 | 2.317,1 |
| 1985/86 | 346,3 | 193,5 | 339,3 | 32,2 | 172,5 | 348,6 | 272,0 | 69,7 | 1,6 | 24,6 | 114,9 | 151,6 | 2.066,8 |
| 1986/87 | 257,0 | 475,2 | 192,6 | 132,4 | 0,0 | 107,6 | 123,6 | 180,7 | 427,7 | 101,2 | 278,0 | 352,5 | 2.628,5 |
| 1987/88 | 82,5 | 444,7 | 209,9 | 142,6 | 304,0 | 37,7 | 87,4 | 167,0 | 202,3 | 121,2 | 208,7 | 36,0 | 2.044,0 |
| 1988/89 | 167,2 | 202,9 | 80,8 | 99,0 | 8,0 | 30,5 | 138,2 | 204,6 | 88,2 | 134,4 | 190,5 | 139,5 | 1.483,8 |
| 1989/90 | 90,4 | 158,6 | 45,1 | 202,5 | 166,1 | 174,5 | 137,9 | 202,6 | 133,5 | 186,6 | 239,8 | 141,6 | 1.879,2 |
| 1990/91 | 134,3 | 354,9 | 192,1 | 190,3 | 0,0 | 16,1 | 316,9 | 246,3 | 185,5 | 240,6 | 169,5 | 10,0 | 2.056,5 |
| 1991/92 | 115,5 | 250,0 | 113,0 | 198,0 | 28,0 | 122,5 | 67,0 | 215,0 | 68,0 | 329,0 | 36,0 | 273,0 | 1.815,0 |
| 1992/93 | 238,5 | 245,0 | 169,0 | 228,0 | 93,0 | 76,0 | 107,0 | 299,0 | 161,0 | 176,0 | 234,5 | 68,0 | 2.095,0 |
| 1993/94 | 238,0 | 108,0 | 45,0 | 93,5 | 213,5 | 22,0 | 185,5 | 237,0 | 116,0 | 154,0 | 243,0 | 441,5 | 2.097,0 |
| 1994/95 | 104,0 | 235,5 | 223,0 | 100,5 | 206,5 | 44,5 | 208,0 | 350,5 | 173,0 | 56,0 | 186,0 | 93,5 | 1.981,0 |
| 1995/96 | 207,0 | 84,0 | 47,5 | 97,0 | 30,0 | 29,0 | 208,0 | 148,0 | 56,0 | 136,5 | 236,0 | 258,5 | 1.537,5 |
| 1996/97 | 41,5 | 83,5 | 119,0 | 79,0 | 78,0 | 137,0 | 95,5 | 363,5 | 114,0 | 351,5 | 75,0 | 171,5 | 1.709,0 |
| 1997/98 | 41,0 | 112,5 | 105,0 | 98,0 | 77,5 | 145,0 | 248,0 | 520,0 | 361,0 | 208,0 | 160,5 | 185,0 | 2.261,5 |
| 1998/99 | 261,0 | 536,0 | 150,0 | 93,5 | 117,5 | 294,5 | 188,0 | 258,5 | 16,5 | 155,0 | 108,5 | 209,0 | 2.388,0 |
| 1999/00 | 122,0 | 177,0 | 128,0 | 113,0 | 168,0 | 18,5 | 155,0 | 255,5 | 136,5 | 328,0 | 198,0 | 97,5 | 1.897,0 |
| 2000/01 | 81,5 | 85,0 | 158,5 | 295,0 | 73,5 | 107,0 | 81,5 | 330,5 | 172,9 | 190,0 | 345,5 | 243,5 | 2.164,4 |
| 2001/02 | 201,5 | 149,0 | 98,0 | 75,0 | 54,0 | 68,5 | 194,0 | 108,5 | 147,0 | 42,5 | 229,0 | 100,0 | 1.467,0 |
| 2002/03 | 216,0 | 169,0 | 144,5 | 155,0 | 125,5 | 229,5 | 185,0 | 465,0 | 195,5 | 328,0 | 217,5 | 183,0 | 2.613,5 |
| 2003/04 | 161,5 | 169,0 | 40,0 | 79,0 | 37,0 | 81,0 | 79,0 | 194,5 | 210,2 | 355,0 | 59,5 | 35,0 | 1.500,7 |
| 2004/05 | 138,5 | 201,5 | 64,5 | 76,5 | 64,0 | 64,0 | 148,5 | 243,5 | 199,0 | 92,0 | 132,5 | 8,5 | 1.433,0 |
| Promedio | 168,6 | 205,7 | 155,5 | 141,4 | 117,6 | 128,1 | 170,8 | 235,2 | 180,4 | 167,0 | 169,9 | 165,6 | 2005,7 |
| Máxima | 434,0 | 638,0 | 558,4 | 338,4 | 362,9 | 464,0 | 361,4 | 520,0 | 493,1 | 355,0 | 404,4 | 441,5 | 2978,2 |
| Mínima | 27,0 | 22,6 | 21,1 | 32,2 | 0,0 | 16,1 | 22,5 | 66,8 | 1,6 | 24,6 | 12,3 | 8,5 | 1433,0 |

Estación Cerro Azul. Precipitaciones mensuales y anuales, promedio, máximas y mínimas, según año hidrológico (marzo/febrero). Período 1952/53-2004/05. Elaboración propia en base a información suministrada por INTA.

| Año hidrológico | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SET | OCT | NOV | DIC | ENE | FEB | Anual |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| 1952/53 | 182,4 | 28,3 | 129,4 | 240,5 | 166,8 | 21,4 | 73,8 | 253,9 | 114,3 | 45,3 | 149,6 | 25,4 | 1.431,1 |
| 1953/54 | 89,3 | 97,7 | 264,1 | 163,1 | 51,6 | 150,8 | 277,5 | 309,2 | 210,3 | 54,6 | 147,3 | 190,9 | 2.006,4 |
| 1954/55 | 49,7 | 246,3 | 55,0 | 247,1 | 227,6 | 61,4 | 337,0 | 400,9 | 32,9 | 249,6 | 105,9 | 91,9 | 2.105,3 |
| 1955/56 | 188,0 | 272,6 | 175,5 | 237,4 | 109,8 | 74,0 | 38,3 | 196,0 | 93,0 | 152,0 | 252,5 | 184,7 | 1.973,8 |
| 1956/57 | 112,0 | 287,1 | 189,4 | 125,2 | 222,5 | 65,5 | 79,2 | 125,4 | 52,0 | 102,3 | 238,5 | 108,2 | 1.707,3 |
| 1957/58 | 14,0 | 182,9 | 171,5 | 111,3 | 140,3 | 255,3 | 275,1 | 244,5 | 192,4 | 69,5 | 79,9 | 199,2 | 1.935,9 |
| 1958/59 | 102,1 | 134,0 | 148,0 | 33,8 | 78,1 | 133,7 | 91,8 | 62,5 | 324,7 | 281,3 | 71,2 | 254,3 | 1.715,5 |
| 1959/60 | 163,0 | 236,0 | 122,0 | 186,0 | 48,5 | 186,1 | 193,0 | 243,8 | 112,5 | 133,7 | 136,7 | 266,3 | 2.027,6 |
| 1960/61 | 49,0 | 130,2 | 40,0 | 195,8 | 96,5 | 183,4 | 250,5 | 258,3 | 81,0 | 151,9 | 268,0 | 234,8 | 1.939,4 |
| 1961/62 | 184,5 | 234,5 | 254,5 | 203,0 | 155,0 | 73,5 | 308,0 | 238,2 | 171,5 | 116,0 | 108,5 | 102,5 | 2.149,7 |
| 1962/63 | 228,5 | 85,5 | 218,0 | 18,5 | 50,2 | 76,0 | 122,0 | 70,5 | 83,5 | 182,0 | 346,0 | 13,0 | 1.493,7 |
| 1963/64 | 248,0 | 85,5 | 164,0 | 174,0 | 256,1 | 71,5 | 203,2 | 209,2 | 385,0 | 227,2 | 11,0 | 100,0 | 2.134,7 |
| 1964/65 | 121,8 | 332,0 | 17,5 | 27,5 | 38,0 | 308,5 | 201,5 | 195,0 | 131,5 | 114,5 | 52,7 | 265,0 | 1.805,5 |
| 1965/66 | 65,5 | 223,5 | 105,0 | 91,7 | 76,5 | 211,6 | 234,7 | 239,0 | 76,4 | 325,5 | 348,1 | 164,0 | 2.161,5 |
| 1966/67 | 224,5 | 122,5 | 25,3 | 202,3 | 91,7 | 103,7 | 97,3 | 293,5 | 100,2 | 268,1 | 165,1 | 144,0 | 1.838,2 |
| 1967/68 | 107,7 | 19,2 | 98,2 | 102,2 | 148,2 | 217,8 | 126,4 | 87,3 | 122,9 | 46,3 | 123,2 | 140,7 | 1.340,1 |
| 1968/69 | 116,5 | 122,9 | 10,3 | 88,0 | 136,3 | 71,1 | 133,0 | 345,4 | 169,1 | 152,8 | 250,1 | 226,6 | 1.822,1 |
| 1969/70 | 135,9 | 99,5 | 234,5 | 110,6 | 38,6 | 91,5 | 180,4 | 135,4 | 196,7 | 109,9 | 121,1 | 98,1 | 1.552,2 |
| 1970/71 | 303,7 | 15,5 | 237,3 | 164,2 | 74,4 | 82,7 | 182,9 | 221,7 | 99,4 | 318,9 | 331,5 | 145,4 | 2.177,6 |
| 1971/72 | 305,2 | 112,0 | 106,8 | 207,2 | 106,2 | 101,4 | 25,9 | 114,7 | 28,2 | 87,6 | 122,5 | 137,4 | 1.455,1 |
| 1972/73 | 146,8 | 136,5 | 61,9 | 430,0 | 191,6 | 449,3 | 223,4 | 188,2 | 323,8 | 134,2 | 415,5 | 113,3 | 2.814,5 |
| 1973/74 | 130,4 | 292,8 | 243,2 | 103,0 | 229,8 | 181,7 | 214,3 | 175,4 | 40,9 | 222,4 | 158,1 | 205,6 | 2.197,6 |
| 1974/75 | 133,7 | 134,6 | 319,7 | 164,4 | 45,7 | 167,7 | 32,0 | 77,4 | 194,8 | 252,4 | 282,7 | 266,7 | 2.071,8 |
| 1975/76 | 319,7 | 324,8 | 60,4 | 180,9 | 70,1 | 169,9 | 299,3 | 324,3 | 49,4 | 86,8 | 236,9 | 98,3 | 2.220,8 |
| 1976/77 | 87,1 | 100,2 | 83,4 | 55,9 | 104,6 | 72,8 | 109,3 | 274,5 | 270,7 | 89,8 | 212,1 | 88,2 | 1.548,6 |
| 1977/78 | 175,7 | 67,5 | 137,1 | 127,8 | 156,4 | 98,6 | 122,3 | 65,1 | 172,5 | 191,5 | 67,9 | 55,6 | 1.438,0 |
| 1978/79 | 136,5 | 20,1 | 46,0 | 81,5 | 158,6 | 69,5 | 79,4 | 102,7 | 196,1 | 184,3 | 13,3 | 228,7 | 1.316,7 |
| 1979/80 | 99,1 | 214,2 | 139,1 | 39,1 | 132,6 | 212,7 | 165,2 | 346,8 | 96,4 | 278,4 | 134,4 | 91,3 | 1.949,3 |
| 1980/81 | 191,6 | 94,7 | 355,6 | 50,1 | 75,9 | 96,9 | 140,0 | 260,4 | 120,7 | 178,2 | 151,7 | 216,7 | 1.932,5 |
| 1981/82 | 138,1 | 116,0 | 92,3 | 89,7 | 8,5 | 25,9 | 186,5 | 32,4 | 185,7 | 177,5 | 27,5 | 298,9 | 1.379,0 |
| 1982/83 | 155,0 | 58,7 | 121,5 | 228,1 | 87,8 | 159,0 | 143,3 | 183,6 | 559,3 | 76,7 | 171,9 | 441,8 | 2.386,7 |
| 1983/84 | 298,5 | 285,0 | 534,2 | 87,5 | 263,8 | 99,6 | 112,0 | 272,8 | 128,2 | 61,1 | 175,9 | 188,2 | 2.506,8 |
| 1984/85 | 135,0 | 101,8 | 309,4 | 205,8 | 83,8 | 164,1 | 264,7 | 201,6 | 225,2 | 115,3 | 37,1 | 348,6 | 2.192,4 |
| 1985/86 | 316,5 | 320,5 | 441,6 | 93,0 | 167,6 | 272,4 | 178,3 | 99,3 | 7,9 | 35,9 | 163,0 | 117,8 | 2.213,8 |
| 1986/87 | 273,2 | 435,3 | 191,9 | 286,4 | 56,0 | 219,9 | 124,3 | 274,3 | 317,2 | 61,5 | 265,4 | 385,0 | 2.890,4 |
| 1987/88 | 130,6 | 319,0 | 241,7 | 153,3 | 442,0 | 74,8 | 151,9 | 130,3 | 123,6 | 131,3 | 305,1 | 106,1 | 2.309,7 |
| 1988/89 | 54,5 | 202,4 | 73,5 | 119,9 | 14,2 | 23,2 | 221,0 | 231,4 | 93,0 | 73,2 | 186,7 | 115,5 | 1.408,5 |
| 1989/90 | 193,8 | 281,7 | 41,2 | 205,6 | 126,1 | 220,0 | 206,6 | 226,1 | 88,7 | 159,6 | 161,2 | 48,1 | 1.958,7 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------------|
| 1990/91 | 66,5 | 369,3 | 183,7 | 273,1 | 103,9 | 65,9 | 287,7 | 350,7 | 180,8 | 225,3 | 190,2 | 6,6 | 2.303,7 |
| 1991/92 | 59,3 | 166,8 | 124,4 | 248,0 | 126,2 | 3,9 | 65,2 | 69,2 | 81,5 | 479,9 | 98,2 | 294,4 | 1.817,0 |
| 1992/93 | 205,9 | 274,3 | 205,7 | 200,0 | 61,2 | 97,3 | 142,2 | 313,7 | 110,6 | 85,2 | 336,5 | 27,4 | 2.060,0 |
| 1993/94 | 262,5 | 67,6 | 103,2 | 120,7 | 131,2 | 29,4 | 120,8 | 186,7 | 203,5 | 133,9 | 245,2 | 363,5 | 1.968,2 |
| 1994/95 | 84,6 | 281,2 | 220,9 | 105,2 | 184,1 | 56,0 | 228,4 | 226,3 | 194,3 | 66,7 | 206,5 | 180,3 | 2.034,5 |
| 1995/96 | 161,7 | 62,4 | 71,1 | 110,3 | 60,2 | 39,9 | 90,6 | 219,1 | 33,1 | 87,5 | 212,3 | 408,5 | 1.556,7 |
| 1996/97 | 43,6 | 90,7 | 91,8 | 84,7 | 67,3 | 127,2 | 72,9 | 336,5 | 211,5 | 349,5 | 228,1 | 182,8 | 1.886,6 |
| 1997/98 | 144,2 | 164,1 | 146,7 | 109,6 | 85,9 | 139,3 | 156,5 | 427,3 | 165,4 | 311,6 | 138,0 | 375,3 | 2.363,9 |
| 1998/99 | 170,1 | 551,5 | 183,2 | 85,9 | 161,9 | 295,9 | 214,3 | 282,9 | 44,9 | 189,1 | 80,3 | 207,3 | 2.467,3 |
| 1999/00 | 85,0 | 303,3 | 143,2 | 127,1 | 135,7 | 12,2 | 233,7 | 177,7 | 99,0 | 185,7 | 89,2 | 99,9 | 1.691,7 |
| 2000/01 | 133,2 | 82,0 | 165,0 | 260,7 | 70,4 | 95,7 | 96,0 | 332,4 | 167,4 | 426,5 | 355,7 | 262,1 | 2.447,1 |
| 2001/02 | 212,6 | 156,3 | 56,8 | 105,8 | 85,3 | 83,6 | 186,1 | 97,3 | 128,5 | 125,4 | 226,9 | 35,9 | 1.500,5 |
| 2002/03 | 314,3 | 246,7 | 167,0 | 103,9 | 128,1 | 252,6 | 270,0 | 408,8 | 240,6 | 349,2 | 157,7 | 199,6 | 2.838,5 |
| 2003/04 | 129,2 | 180,6 | 16,0 | 87,0 | 37,1 | 67,0 | 72,3 | 158,3 | 209,1 | 483,7 | 22,0 | 33,9 | 1.496,2 |
| 2004/05 | 63,3 | 154,0 | 63,3 | 79,0 | 66,6 | 55,7 | 135,9 | 184,6 | 187,6 | 74,9 | 99,2 | 87,0 | 1.251,1 |
| | | | | | | | | | | | | | |
| Promedio | 155,5 | 183,5 | 154,8 | 145,9 | 117,6 | 127,2 | 165,6 | 216,7 | 155,3 | 175,0 | 175,1 | 174,9 | 1.947,0 |
| Máxima | 319,7 | 551,5 | 534,2 | 430,0 | 442,0 | 449,3 | 337,0 | 427,3 | 559,3 | 483,7 | 415,5 | 441,8 | 2.890,4 |
| Mínima | 14,0 | 15,5 | 10,3 | 18,5 | 8,5 | 3,9 | 25,9 | 32,4 | 7,9 | 35,9 | 11,0 | 6,6 | 1.251,1 |

Flow duration curves can be constructed for the entire record of flow measurement, or for specific time periods such as similar calendar months or seasons.

The FDC provides information on the baseflow component of stream flow. The method relies on the statistics of measured flows, rather than any analysis of hydrological processes as such. The *median flow* (Q50) is the discharge which is equalled or exceeded 50% of the time. The part of the curve with flows below the median flow represents low-flow conditions. Baseflow is interpreted to be significant if this part of the curve has a low slope, as this reflects continuous discharge to the stream. A steep slope for these low-flows suggests relatively small contributions from natural storages like groundwater (Figure 3). These streams may cease to flow for relatively long periods. In this way, the shape of the FDC can indicate the hydrogeological characteristics of a catchment (Smakhtin 2001).

Various indices are used to represent the characteristics of the low-flow regime for a stream. The ratio of the discharge which is equalled or exceeded 90% of the time, to that of 50% of the time (Q90/Q50) is commonly used to indicate the proportion of streamflow contributed from groundwater storage (Nathan and McMahon 1990). Other low-flow indices include:

- (i) One- or n -day discharges that are exceeded at defined percentages of time, say 75, 90 or 95 % eg Q75(7), Q75(10), Q95(10)
- (ii) The percentage of time the stream is at zero-flow conditions
- (iii) The longest recorded period of consecutive zero-flow days (Smakhtin 2001)

A *Low-flow Frequency Curve* (LFFC) shows the proportion of years when a low-flow rate is exceeded. This depicts the *recurrence interval* which is the average interval (in years) that the stream discharge falls below a given rate, and can also be used to represent baseflow conditions. The curve is generated from the series of annual minimum flow values extracted from the stream monitoring data. Like the flow duration curve, various indices can be used to indicate baseflow conditions including:

- (i) The slope of the LFFC, as the larger the slope indicates more variability in low-flows
- (ii) Breaks in the curve near the modal value have been interpreted as representing when streamflow is exclusively from groundwater storage
- (iii) Lowest average flows that occur over a set number of consecutive days (eg 3, 7 days) at defined recurrence intervals (eg 2, 10 years), for example 7-day 10-year low flow (7Q10) or 7-day 2-year low flow (7Q2)
- (iv) The average of the annual series of minimum 7-day average flows. MAM7 or also known as *dry weather flow*
- (v) Indices of seasonal low flows such as mean 30-day summer low flows (Smakhtin 2001)

THE EFFECT OF AFFORESTATION ON FLOW DURATION CURVES

TECHNICAL REPORT
Report 03/13
November 2003

Patrick Lane / Alice Best / Klaus Hickel / Lu Zhang

A flow duration curve characterizes the ability of the basin to provide flows of various magnitudes. Information concerning the relative amount of time that flows past a site are likely to equal or exceed a specified value of interest is extremely useful for the design of structures on a stream. For example, a structure can be designed to perform well within some range of flows, such as flows that occur between 20 and 80% of the time (or some other selected interval).

The shape of a flow-duration curve in its upper and lower regions is particularly significant in evaluating the stream and basin characteristics. The shape of the curve in the high-flow region indicates the type of flood regime the basin is likely to have, whereas, the shape of the low-flow region characterizes the ability of the basin to sustain low flows during dry seasons. A very steep curve (high flows for short periods) would be expected for rain-caused floods on small watersheds. Snowmelt floods, which last for several days, or regulation of floods with reservoir storage, will generally result in a much flatter curve near the upper limit. In the low-flow region, an intermittent stream would exhibit periods of no flow, whereas, a very flat curve indicates that moderate flows are sustained throughout the year due to natural or artificial streamflow regulation, or due to a large groundwater capacity which sustains the base flow to the stream.

O
X12
Guliv IV

46605

IMPACTO DE LOS CAMBIOS EN USOS DEL SUELO Y ACTIVIDADES ANTRÓPICAS SOBRE EL
ESCURRIMIENTO Y CALIDAD EN CUENCAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE A
POBLACIONES DE LA PROVINCIA DE MISIONES

INFORME FINAL

TOMO IV
RESUMEN EJECUTIVO

JULIO DE 2008

ING. ENRIQUE GANDOLLA

RESUMEN EJECUTIVO

El presente Tomo IV-Resumen Ejecutivo integra el Informe Final correspondiente al Contrato de Obra - Ex. N° 8780 00 01 - Provincia de Misiones/Consejo Federal de Inversiones - para la realización del trabajo denominado “Impactos de los Cambios en Usos del Suelo y Actividades Antrópicas sobre el Esguerrimiento y Calidad en Cuencas de Abastecimiento de Agua Potable a Poblaciones de la Provincia de Misiones”.

El estudio busca aportar al mejor conocimiento de las situaciones que intervienen en la definición de los problemas de deterioro de las fuentes de agua a partir de las cuales se alimentan los sistemas de abastecimiento de agua potable a las localidades de San Pedro y Leandro N. Alem en la provincia de Misiones, con la finalidad de identificar, entre el conjunto de actividades antrópicas que en ellas tienen lugar, cuáles poseen potencial para impactar sobre la disponibilidad y calidad del agua en la cuenca.

Dicho conocimiento resulta imprescindible para el diseño de estrategias eficaces, orientadas a resolver los impactos que se identifiquen, de forma de contribuir a asegurar la sostenibilidad en el tiempo de tan importantes servicios ambientales que brindan dichas cuencas; y también para identificar los componentes generales que debieran orientar una estrategia más amplia de ordenación de las cuencas hidrográficas en Misiones.

Como casos de estudio se ha seleccionado a la cuenca del Arroyo Mbiguá, que abastece de agua a la localidad de San Pedro, y a la cuenca del Arroyo Nagel, que abastece a Leandro N. Alem.

El trabajo se orienta particularmente al logro de los siguientes objetivos:

I. Caracterizar las cuencas seleccionadas, a fin de aportar al mejor conocimiento de las situaciones que intervienen en la definición de los problemas de deterioro de las fuentes:

- a) Aspectos naturales: geología, geomorfología, suelos, vegetación, clima, hidrología;
- b) Aspectos socioeconómicos: cambios en los usos del suelo (protección de la naturaleza, agrícolas, forestales, pecuarios, urbanos e infraestructuras), caracterización de las actividades (agropecuarias, forestales e industriales), identificación y caracterización de los actores principales vinculados con las actividades;
- c) Aspectos culturales: valores y actitudes frente al ambiente y la protección de la naturaleza; y la identificación de aquellas prácticas culturales que pongan en riesgo la utilización adecuada del recurso en particular
- d) Aspectos legales e institucionales: organizaciones, instituciones y normas.

El desarrollo de las actividades tendientes al logro de este objetivo se presentan en el Tomo II - Diagnóstico de la situación actual, en dos volúmenes: El Volumen I aborda el caso de la cuenca del Arroyo Mbiguá; y el Volumen II el caso de la cuenca del Arroyo Nagel.

II. Identificar, describir, evaluar y comunicar los impactos de los cambios en los usos del suelo y de las actividades sobre la generación de escurrimiento superficial y la calidad de las aguas. Se trata de un componente clave para la estrategia definida, porque sus resultados orientarán el ordenamiento de los usos y actividades en las cuencas. Particularmente relevantes serán los resultados de los estudios de los efectos sobre la generación de escurrimiento superficial en la cuenca, debido a la falta de investigaciones previas en Misiones.

Para cumplir con este objetivo se trabajó sobre la cuenca del Arroyo Nagel y la cuenca del Arroyo Mbiguá; particularmente, para analizar el régimen hidrológico y los impactos de los cambios en los usos del suelo, se trabajó sobre la cuenca del Arroyo Yabebiry, subcuenca del Arroyo Chapá.

En el Tomo III-Análisis particularizado de impactos, se presenta los resultados de las actividades realizadas para cumplir con este objetivo.

Por su parte, en el Tomo I - Estudios preliminares, se presenta el resultado de las actividades de recopilación de antecedentes; capacitación en procesos colaborativos; reuniones de trabajo facilitadas; capacitación en técnicas geoinformáticas; y la cartografía básica preparada para el proyecto.

El equipo de trabajo fue integrado, según lo establecido en el Anexo II del contrato, con las siguientes personas:

Experto, responsable del contrato:

Ing. en recursos hídricos Enrique Gandolla

Colaboradores:

Inga. agrónoma María Elena Benítez

Ing. agrónomo Mario Enrique Alsina

Ing. agrónomo Guillermo Reutemann

Ing. químico Jorge Eduardo Queirolo

Dra. María Isabel Amalia Ghiglione

Est. antropología social Ana Carolina Núñez

Dra. Mary Lucy Franchinotti, abogada y mediadora

Dra. Silvina Nosiglia, abogada y mediadora