



Instituto Correntino  
del Agua y del Ambiente



## **ESTUDIO PARA DEFINIR LOS PARAMETROS Y CRITERIOS AMBIENTALES DE LA CUENCA DEL RIO MIRIÑAY**



**Ginzburg, Menéndez, Torrella, Sabarots Gerbec, Adámoli**

**Diciembre 2014**

## EQUIPO DE TRABAJO

Lic. Rubén G. Ginzburg

Ph.D. Ángel N. Menéndez

Dr. Sebastián A. Torrella

Ing. Martín Sabarots Gerbec

Ing. Jorge M. Adámoli

Rubén Ginzburg es Licenciado en Biología de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA. Es investigador en temas relacionados a la expansión agropecuaria y la fragmentación de bosques. Docente de grado y posgrado. Asesor de organismos públicos en ordenamiento territorial y recursos naturales. Consultor en estudios ambientales y en la gestión ambiental de establecimientos agropecuarios. Ha participado y dirigido diversos estudios de impacto ambiental, además de dictar cursos de posgrado en la materia. Ha participado de varios estudios de proyectos en la cuenca del Ayuí, Prov. de Corrientes.

Angel Menéndez es Doctor en Ingeniería Hidráulica (Ph.D.) de 'The University of Iowa', EEUU, 1983. Ha actuado en proyectos de Hidráulica, Hidrología, Sedimentología, Contaminación, Impacto Ambiental y Cambio Climático en relación a problemas hidroambientales. Es especialista en modelación numérica. Es Jefe de Programa del INA, Profesor Titular de la Facultad de Ingeniería de la UBA y Consultor Independiente. Ha participado en varios estudios de proyectos para la Provincia de Corrientes.

Sebastián Torrella es Doctor en Biología de la FCEN-UBA. Es investigador en temas relacionados a la pérdida y fragmentación de bosques. Docente de grado y posgrado. Asesor de organismos públicos en ordenamiento territorial y recursos naturales. Consultor en estudios ambientales y en la gestión ambiental de establecimientos agropecuarios. Ha trabajado y dirigido diversos proyectos implementando variadas herramientas de teledetección y GIS. Ha participado de varios estudios de proyectos en la cuenca del Ayuí, Prov. de Corrientes.

Martín Sabarots Gerbec es Ingeniero Civil de la Universidad de Buenos Aires, 2011. Ha actuado en proyectos de Hidráulica, Hidrología y Sedimentología. Trabaja en el Laboratorio de Hidráulica del INA y Ayudante de 1ra en las Cátedras de Presas y Aprovechamientos Hidráulicos de la Facultad de Ingeniería de la UBA.

Jorge Adámoli es Ingeniero Agrónomo de la FAUBA. Posee una reconocida experiencia como Investigador y Consultor en temas ambientales. Profesor Consulto de la FCEN-UBA desde 2007. Profesor Asociado FCEN-UBA 1986-2007. Investigador Independiente del CONICET 1986-2007. Investigador del INTA 1966-1974. Consultor de largo plazo de Org. Internacionales (OEA-IICA) 1974-86. Consultor de Naciones Unidas (Programa Hidrovía) 1995-1997. Consultor de corto plazo de Org. Internacionales diversos períodos. Consultor de empresas privadas en Brasil 1981-85. Consultor de empresas privadas en Argentina 2005-2012. Consultor de organismos públicos en ordenamiento territorial y recursos naturales. Ha dirigido diversos estudios de proyectos en la cuenca del Ayuí, Provincia de Corrientes.

## RESUMEN EJECUTIVO

El objetivo general del presente estudio es definir los parámetros y criterios ambientales para la evaluación de los proyectos de desarrollo agropecuarios y forestales en la Cuenca del Río Miriñay. En tal sentido, se contempló la saturación del medio receptor y los posibles efectos cascada respecto de la realización y acumulación de proyectos productivos en la cuenca, para lo cual se tuvo en cuenta no sólo a los proyectos ya realizados sino que también se analizaron las posibilidades de expansión a futuro.

De esta manera, se incluye en el presente estudio: a) una evaluación de los impactos ambientales acumulativos (EIAA) más relevantes a nivel de cuenca, de los proyectos ya realizados; y b) una evaluación de impacto ambiental estratégica (EIAE) que considera la evolución de dichos impactos ambientales al contemplar distintos escenarios futuros de expansión productiva.

Son tres los impactos ambientales potenciales de mayor relevancia: el consumo de agua y la afectación del balance hidrológico; la expansión productiva y la pérdida de ambientes naturales asociada (cambio de uso del suelo - CUS); y la contaminación del recurso hídrico.

En primer término se desarrolló una caracterización hidrológica y ambiental de la cuenca, analizando los cambios en el uso del suelo y del agua en el período 2000-2014.

Considerando el desarrollo de nuevas represas para riego de arroz y la eventual expansión de otras actividades productivas se evaluaron tres escenarios de expansión, a corto, mediano y largo plazo. Para la valoración del impacto de la expansión productiva y el cambio de uso del suelo, se analizaron los CUS de los últimos años hasta el presente y los CUS producto de los distintos escenarios, en los que se consideró además de la producción arrocería, otros cultivos agrícolas, las pasturas para ganadería y la actividad forestal.

Para la caracterización hidrológica de la cuenca del río Miriñay se dispuso de series temporales de precipitaciones diarias en 9 estaciones, de temperaturas diarias en 6 estaciones, de los datos adicionales necesarios para calcular la evapotranspiración potencial diaria en la estación Mercedes (INTA), y de niveles medios diarios del río Miriñay en 3 estaciones: Paso Mesa, Paso San Roquito y Paso Ledesma. Se dispuso de datos de aforo, con las cuales se construyeron leyes de ajuste entre el caudal y la altura de escala,  $H$  (m), pudiendo transformar así los niveles medios diarios en caudales medios diarios.

Para la caracterización del estado de calidad de las aguas de los cursos de agua de la cuenca del Miriñay se dispuso de los datos del monitoreo que se viene efectuando como resultado del Convenio de Colaboración entre la Asociación Correntina de Productores de Arroz (ACPA) y el ICAA.

Se presenta el resumen de balances hídricos simplificados (comparación entre la precipitación y la evapotranspiración potencial, o entre la oferta y la demanda) efectuados por Alarcón (2013), Pagliettini & Gil (2008), y Ruberto & Currie (1999), de los cuales surge que existe una oferta hídrica suficiente a escala anual, pero se produce déficit para los meses de mayor demanda, que es justamente la causa por la que es necesario recurrir al riego con agua embalsada.

Se lleva a cabo un balance hídrico completo a través de una modelación hidrológica de la cuenca en base al software HEC-HMS, seleccionándose para el balance vertical de agua el método SMA. Se tomó una subdivisión en 10 subcuencas. Sus propiedades topográficas se calcularon a partir de un Modelo Digital de Elevación (MDE) del terreno construido utilizando como base de datos SRTM. Se categorizó el uso del suelo a partir de los mapas construidos en este estudio. Se utilizó información antecedente para caracterizar el almacenamiento máximo en follaje, el almacenamiento máximo en depresiones, el espesor de Capa Superior de suelo, el almacenamiento máximo en la Zona Superior de la Capa Superior de suelo, el almacenamiento máximo en la Zona Capilar de la Capa Superior de suelo, el almacenamiento máximo en la Capa Subterránea Superior (se consideró inexistente la Capa Subterránea Inferior), la infiltración máxima, la percolación máxima desde la Capa Superior de suelo a la Capa Subterránea, la evapotranspiración potencial, el tiempo de retardo de la escorrentía superficial, y el tiempo de retardo del flujo de base. Para convertir la evapotranspiración potencial de referencia a su valor real, se establecieron los ciclos estaciones del coeficiente de cultivo para las distintas coberturas vegetales. Los forzantes del modelo son la precipitación y la evapotranspiración potencial de referencia. Se estableció el período 2002-2014 como ventana de tiempo de estudio. Se desarrolló una metodología aproximada para simular la operación de los embalses, consistente en sustraerle a cada subcuenca el área que captura el volumen total embalsado.

La calibración del modelo consistió en ajustar algunos de sus parámetros para obtener el mejor acuerdo posible entre las series de caudal calculadas y las medidas en Paso San Roquito y Paso Ledesma. Se obtuvo un acuerdo general satisfactorio.

Se adoptó como indicador del balance hídrico, para cada subcuenca, el volumen medio anual escurrido a la salida, que para el escenario actual varía en el rango 700/800 hm<sup>3</sup> para las subcuencas que producen más agua (Ayuí Grande y Yaguari), bajando hasta menos de 200 hm<sup>3</sup> para las que menos producen (Ayuí, Irupé, Miriñay Bajo).

Se elaboraron mapas de cobertura del suelo para los años 2000 y 2014 a partir de imágenes satelitales Landsat. Para cubrir toda el área de la Cuenca del Miriñay es necesario trabajar con dos imágenes Landsat, siendo sus ubicaciones Path- Row, 225-80 la que abarca el centro y norte de la cuenca y 225-81 la del centro y sur. Para la obtención de los mapas y coberturas del suelo se realizó una aproximación mixta de clasificación digital de imágenes (estadística de bandas) y de visualización y mapeo manual. Para realizar un chequeo general del mapa 2014 y poder visitar sitios importantes se realizó un viaje de campo por el área de estudio entre los días 15 al 19 de septiembre de 2014. Las clases identificadas en los mapas son: Agua, Pajonal-bañado, Malezal, Pastizal, Bosque Nativo, Arroz-Pastura, Otros

cultivos, Embalse, Forestación y Uso Urbano. Al año 2014 los pastizales ocupan 46,6% del área total de la cuenca, pajonal-bañado 17,1%, los malezales 16,1% y los bosques nativos 7%. Las áreas transformadas representan 12,9% del total: El área ocupada con arroz/pasturas implantadas (y su infraestructura) al año 2014 es de 114.260 ha, la de embalses de 15.058 ha y la de plantaciones forestales 26.745 ha, que sumadas a la de otros cultivos y de uso urbano, alcanzan un total de 166.260 ha.

Entre los años 2000 a 2014 se construyeron 7 nuevas represas en la Cuenca, alcanzando un total de 53 represas con embalses mayores a 20 hectáreas. En dicho período, la superficie de embalses aumentó 31,4%. La actividad forestal es absolutamente insipiente en La Cuenca del Miriñay. Sólo basta considerar las actuales 26.745 ha presentes al día de hoy y compararlas con las 450.000 a 500.000 ha de forestaciones que posee la provincia. Sin embargo, su evolución entre los años 2000-2014 permite ver un crecimiento porcentual de 177%. La subcuenca del Ayuí Grande registró la mayor parte de la expansión de arroz y pasturas en rotación. En la subcuenca del Norte del Ayuí Grande se concentró la expansión de la actividad forestal, con un aumento de 12.500 ha. Por su parte, en la subcuenca del Yaguarí se dio un aumento importante en la superficie destinada a arroz/pasturas, 13.200 ha, y también un aumento significativo en superficie de otros cultivos, con 5.100 ha.

Se generó un escenario Natural, representativo de las condiciones anteriores al cambio del uso del suelo a agrícola/forestal. Comparando los indicadores de balance hídrico entre este escenario y el actual se observaron variaciones de distinto signo y magnitud en las diferentes subcuencas, fruto de procesos contrapuestos, ya que mientras el embalsamiento de agua y la forestación tienden a reducir el volumen escurrido, el reemplazo de pastizales o malezales por explotación agrícola conduce al efecto contrario. Las máximas disminuciones por el cambio de uso prácticamente no superan el 8%, mientras que los máximos aumentos no llegan al 2%.

Para poder estimar y evaluar la evolución a futuro, se realizó la simulación de 3 escenarios de expansión productiva en la Cuenca, considerando las transformaciones producto de la actividad arrocería (embalses, superficie arrozable e infraestructura), forestal y de la implantación de pasturas para ganadería.

Para realizar escenarios más confiables, y estimar con mayor precisión el desarrollo futuro de la actividad arrocería en la Cuenca del Miriñay, se consideró la identificación de potenciales represas que surge de los estudios de IDENTIFICACION DE EMPRENDIMIENTOS DE RIEGO, REGION CENTRO SUR DE LA PROVINCIA DE CORRIENTES (Fontán 2011 y 2013). Se tuvieron en cuenta 3 criterios que modifican tanto la potencia de riego a alcanzar, así como la superficie arrozable asociada (lotes arroceros + lotes en rotación -sea esta con pasturas o en descanso-): Cantidad de represas potenciales identificadas; Eficiencia en el uso del agua; y Rotación arrocería.

Para la evolución de las pasturas implantadas para ganadería, se consideró por un lado la expansión que acompañará en parte a la rotación de los lotes arroceros y por otro se sumó la posible expansión de pasturas independientes de la producción arrocería. Para la evolución de la actividad forestal y la agrícola no arrocería, se consideró la tendencia ocurrida en los últimos años (2000-2014).



En el escenario A, a corto plazo, se consideraron 12 represas potenciales identificadas que presentan anteproyecto. Este escenario plantea alcanzar una potencia de riego total de 44.700 ha, lo que implica un incremento de más de 35% de la superficie cultivada con arroz en la Cuenca. Las áreas con cobertura natural cubrirían el 81,5% de la superficie a nivel de toda la Cuenca.

En el escenario B, a mediano plazo, se contemplaron 36 potenciales represas identificadas. Bajo este escenario se simula un aumento del 100% de la superficie cultivada con arroz en la Cuenca, alcanzando una potencia de riego total de 67.800 ha. A nivel de la Cuenca, las áreas con cobertura natural comprenden el 70% de la superficie.

En el escenario C, a largo plazo, se consideraron la totalidad de las 74 represas potenciales identificadas. En este escenario se plantea el desarrollo de todo el potencial arrocerero para la Cuenca, lo que implica alcanzar una potencia de riego total de 108.700 ha, con un incremento del 230% de la superficie cultivada con arroz. A nivel de toda la Cuenca, el escenario C implica que las áreas transformadas superen las 600 mil hectáreas, ocupando las áreas con cobertura natural el 53.1% de la superficie de la Cuenca del Miriñay.

La aplicación del modelo hidrológico a los escenarios planteados para el desarrollo futuro de la cuenca (A, B, y C) indican que habría una merma de los caudales producidos para la mayoría de las subcuencas, salvo para las de Miriñay Alto e Irupé. De todos modos, los cambios en el balance hídrico anual serán relativamente menores, con reducciones relativas que, en general, no alcanzarán el 10%, por lo que no pondrán en riesgo la sustentabilidad de los ambientes naturales en torno al cauce del río Miriñay.

Se efectúan recomendaciones para incrementar la cantidad de estaciones de monitoreo de calidad de agua, que actualmente son 6, adicionando 4 sobre tributarios del Miriñay. En el mismo sentido, se recomiendan ubicaciones aproximadas para 5 estaciones meteorológicas automáticas, adicionales a las 7 operativas, de modo de cubrir más homogéneamente la cuenca.

Con respecto a la pérdida de ambientes naturales, se pudo observar que si bien a nivel de toda la cuenca no pareciera superarse un límite crítico, tres subcuencas llegan a muy altos niveles de transformación en el Escenario C de máxima expansión: Ayuí Grande, Yaguarí y Ayuí. Hay que considerar además que este escenario sólo representa el máximo potencial para la producción de arroz con el sistema de riego dominante hoy en la cuenca, pero las otras actividades podrían expandirse aún más, elevando entonces también el nivel de cambio de uso del suelo y la magnitud del impacto ambiental ocasionado.

En este sentido, con el objetivo de mitigar el impacto de la pérdida de ambientes naturales, se propone promover el desarrollo planificado y sustentable, sin comprometer las potencialidades productivas de la cuenca y al mismo tiempo sin poner en riesgo la conservación de los ambientes naturales.

Se entiende que la mejor medida es la regulación del porcentaje del Cambio de Uso del Suelo (%CUS) a nivel de subcuencas, aplicable de forma predial. Se establecen dos zonas con diferente %CUS según subcuencas, atendiendo a su grado de desarrollo productivo actual y potencial, y a sus características ambientales: a) Máximo CUS 70%. Subcuencas de Ayuí Grande, Yaguarí, Yrupé, Curuzú Cuatía, Sur de Ayuí Grande y Ayuí; y b) Máximo CUS 40%. Subcuencas de Quiyatí y Norte de Ayuí Grande.

Con esta medida se promueve la planificación integrada y el ordenamiento territorial de la cuenca, asegurando la conservación de los ambientes naturales y permitiendo el desarrollo de las distintas actividades productivas. La regulación con los porcentajes planteados, posibilita adicionar a nivel de toda la Cuenca un máximo de 600 mil hectáreas a las ya transformadas en 2014, asegurando el potencial de arroz con las represas identificadas y permitiendo además una fuerte expansión de otras actividades. Esta posibilidad de expansión, al plantearse organizada en las distintas subcuencas, asegura la preservación de al menos 520.000 ha de ambientes naturales.



## AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a los ingenieros y profesionales del ICAA, a los técnicos e ingenieros de la ACPA, al Sr. Ministro de la Producción Ing. Jorge Vara y al Director de Bosques Ing. Luis Mestres.

Además queremos dejar expresado nuestro eterno agradecimiento al Ing. Jorge Fedre y el Ing. Christian Jetter por brindarnos toda la información que les solicitáramos y estar siempre dispuestos y atentos a nuestros requerimientos; y al Ing. Raúl Fontán por facilitarnos toda la información de los estudios que realizara sobre la identificación de represas en la Cuenca del Río Miriñay.

## INDICE

RESUMEN EJECUTIVO

AGRADECIMIENTOS

|        |                                            |    |
|--------|--------------------------------------------|----|
| 1      | INTRODUCCIÓN .....                         | 1  |
| 2      | CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA .....          | 3  |
| 2.1    | Descripción .....                          | 3  |
| 2.1.1  | Fisiografía .....                          | 3  |
| 2.1.2  | Aprovechamientos .....                     | 6  |
| 2.2    | Régimen Hidrológico .....                  | 6  |
| 2.2.1  | Precipitaciones .....                      | 6  |
| 2.2.2  | Evapotranspiración .....                   | 10 |
| 2.2.3  | Caudales .....                             | 13 |
| 2.3    | Calidad del agua .....                     | 18 |
| 2.4    | Balance hídrico simplificado .....         | 19 |
| 2.5    | Balance hídrico completo .....             | 23 |
| 2.5.1  | Metodología .....                          | 23 |
| 2.5.2  | Esquematización .....                      | 24 |
| 2.5.3  | Modelo Digital de Elevación .....          | 26 |
| 2.5.4  | Uso del suelo .....                        | 27 |
| 2.5.5  | Modelo de balance vertical .....           | 29 |
| 2.5.6  | Almacenamientos máximos .....              | 30 |
| 2.5.7  | Infiltración y percolaciones máximas ..... | 33 |
| 2.5.8  | Evapotranspiración .....                   | 33 |
| 2.5.9  | Escorrentía superficial .....              | 36 |
| 2.5.10 | Flujo de base .....                        | 36 |
| 2.5.11 | Forzantes .....                            | 36 |
| 2.5.12 | Tratamiento para agua embalsada .....      | 37 |
| 2.5.13 | Calibración .....                          | 37 |
| 2.5.14 | Indicador de balance hídrico .....         | 39 |
| 2.6    | Escenario Natural .....                    | 40 |

|       |                                                                  |    |
|-------|------------------------------------------------------------------|----|
| 3     | COBERTURAS DEL SUELO 2000-2014.....                              | 45 |
| 3.1   | Metodología.....                                                 | 45 |
| 3.2   | Mapas y coberturas del suelo de los años 2000-2014.....          | 49 |
| 3.2.1 | Mapa y coberturas del suelo, año 2000.....                       | 49 |
| 3.2.2 | Mapa y coberturas del suelo, año 2014.....                       | 53 |
| 3.3   | Expansión agropecuaria y forestal, entre los años 2000-2014..... | 56 |
| 3.3.1 | Análisis a nivel de toda la Cuenca del Miriñay.....              | 56 |
| 3.3.2 | Distribución de la expansión por subcuencas.....                 | 60 |
| 4     | ESCENARIOS.....                                                  | 64 |
| 4.1   | Expansión productiva y pérdida de ambientes naturales.....       | 64 |
| 4.2   | Balance Hídrico. Representación de escenarios futuros.....       | 77 |
| 5     | PROPUESTAS DE GESTIÓN.....                                       | 86 |
| 6     | CONCLUSIONES.....                                                | 94 |
| 7     | BIBLIOGRAFÍA.....                                                | 97 |
| 8     | LÁMINAS.....                                                     | 99 |

# 1 INTRODUCCIÓN

---

El objetivo general del presente estudio es definir los parámetros y criterios ambientales para la evaluación de los proyectos de desarrollo agropecuarios y forestales en la Cuenca del Río Miriñay.

En tal sentido, se contempló la saturación del medio receptor y los posibles efectos cascada respecto de la realización y acumulación de proyectos productivos en la cuenca, para lo cual se tuvo en cuenta no sólo a los proyectos ya realizados sino que también se analizaron las posibilidades de expansión a futuro.

De esta manera, se incluye en el presente estudio:

- a) una evaluación de los impactos ambientales acumulativos (EIAA) más relevantes a nivel de cuenca, de los proyectos ya realizados; y
- b) una evaluación de impacto ambiental estratégica (EIAE) que considera la evolución de dichos impactos ambientales al contemplar distintos escenarios futuros de expansión productiva.

Para el caso de la Cuenca del Miriñay, son tres los impactos ambientales potenciales de mayor relevancia:

- 1) el consumo de agua y la afectación del balance hidrológico;
- 2) la expansión productiva y la pérdida de ambientes naturales asociada (cambio de uso del suelo - CUS); y
- 3) la contaminación del recurso hídrico.

Para la evaluación acumulativa y estratégica en la Cuenca de los impactos del consumo de agua y del CUS, se consideró lo sucedido en los últimos años (2000-2014) y se evaluaron 3 escenarios de expansión productiva, a corto, mediano y largo plazo.

Para la valoración del impacto sobre el balance hidrológico y el consumo de agua, se realizó la modelación hidrológica de la cuenca y se evaluaron el estado actual y los cambios ante tales escenarios.

Para la valoración del impacto de la expansión productiva y el cambio de uso del suelo, se analizaron los CUS de los últimos años hasta el presente y los CUS producto de los distintos escenarios, en los que se consideró además de la producción arrocerá, otros cultivos agrícolas, la expansión de pasturas para ganadería y la actividad forestal.

Para la valoración del impacto de contaminación del recurso hídrico, se analizaron los relevamientos realizados en tal sentido por el ICAA.

Respecto a la organización del informe, el presente estudio describe primeramente las características hidrológicas de la Cuenca del Río Miriñay, su fisiografía, régimen hidrológico y balance hídrico. Seguidamente se examinan los cambios acontecidos en las coberturas del suelo entre los años 2000 y 2014, y se analizan puntualmente la expansión arrocerá, la de pasturas para ganadería y la forestal, tanto a nivel de toda la cuenca como su distribución en las distintas subcuencas. Hasta aquí podría considerarse lo referente a la línea de base, es decir, lo sucedido en la cuenca durante los últimos años hasta el presente.

Para evaluar los impactos ambientales acumulativos a nivel de cuenca y subcuenca (esto es, hacer una evaluación ya no de los impactos producidos por un único y determinado proyecto de desarrollo productivo, sin tener en cuenta a los impactos producto de proyectos ya ejecutados o de proyectos que puedan realizarse en el futuro), en el siguiente apartado se realiza la simulación de 3 escenarios de expansión productiva. Estos 3 escenarios se suman a la línea de base para lograr entonces la evaluación acumulativa y estratégica de los principales impactos ambientales. Nuevamente se realiza el análisis a nivel de toda la Cuenca del Miriñay y en su distribución por subcuencas, considerando las transformaciones producto de la actividad arrocerá (embalses, superficie arrozable e infraestructura), forestal y de la implantación de pasturas para ganadería.

Finalmente, como corolario del análisis conjunto de ambas evaluaciones, acumulativa y estratégica (EIAAyE), se proponen una serie de medidas de gestión tendientes a la planificación integrada y el ordenamiento territorial de la Cuenca del Río Miriñay, lo que posibilitará conciliar los intereses de desarrollo de las distintas actividades productivas con los de conservación de la biodiversidad.

## 2 CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA

---

### 2.1 Descripción

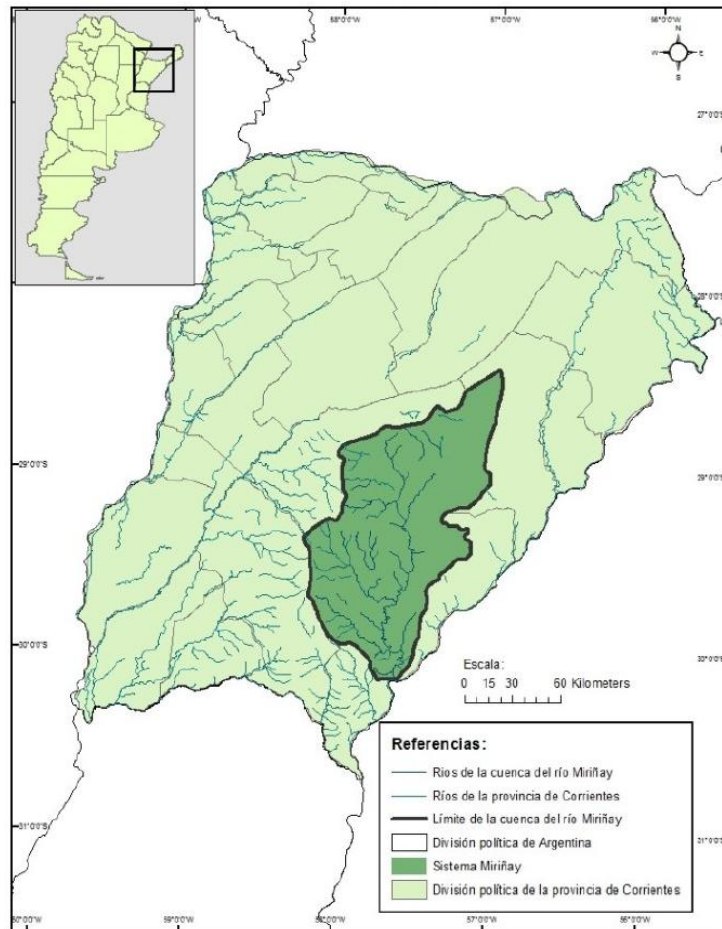
#### 2.1.1 Fisiografía

La cuenca del río Miriñay está ubicada en el Centro-Sur de provincia de Corrientes (Figura 2.1), desarrollándose sobre los departamentos de Mercedes, Curuzú Cuatiá, Monte Caseros, San Martín y Paso de los Libres (Figura 2.1). La cuenca posee un sentido Norte-Sur. Su área es de aproximadamente 10.300 km<sup>2</sup>, lo que representa cerca del 12% del territorio correntino (Ruberto & Currie 1999).

El río Miriñay nace de los esteros y bañados del mismo nombre ubicados al sudeste de los Esteros del Iberá, cerca de la Colonia Carlos Pellegrini. Funciona como desagüe de esos humedales. Su extensión es de alrededor de 217 km. Desemboca en el río Uruguay, algo al norte de la localidad de Ceibo, cerca de Monte Caseros.

La cuenca del Miriñay está conformada por una llanura de inundación con tipos de suelo impermeables, que favorecen la retención de agua superficial, y de muy escasa pendiente (no superior al 0,15%). El valle de inundación del cauce central tiene un ancho de entre 4 y 6 km, conformando un sistema de bañados de amplitud variable, que alcanza gran tamaño en la época de lluvias, entre diciembre y mayo. El balance de agua se da principalmente en la dirección vertical (entre precipitación, evaporación, evapotranspiración e infiltración), jugando un rol secundario el movimiento horizontal (Ruberto & Currie 1999).

El río Miriñay recibe, además de gran cantidad de afluentes de pequeña prolongación por ambas márgenes, los siguientes tributarios principales: Quiyatí y Ayuí sobre margen izquierda, y Ayuí Grande (que también tiene esteros en sus nacientes), Yaguarí, Yrupé y Curuzú Cuatí sobre margen derecha (Figura 2.3). Hacia esta última margen se desarrolla la meseta mercedina o del Paiubre, mientras hacia la margen izquierda lo hace la planicie de San Carlos. En la Figura 2.4 se identifican las principales subcuencas.

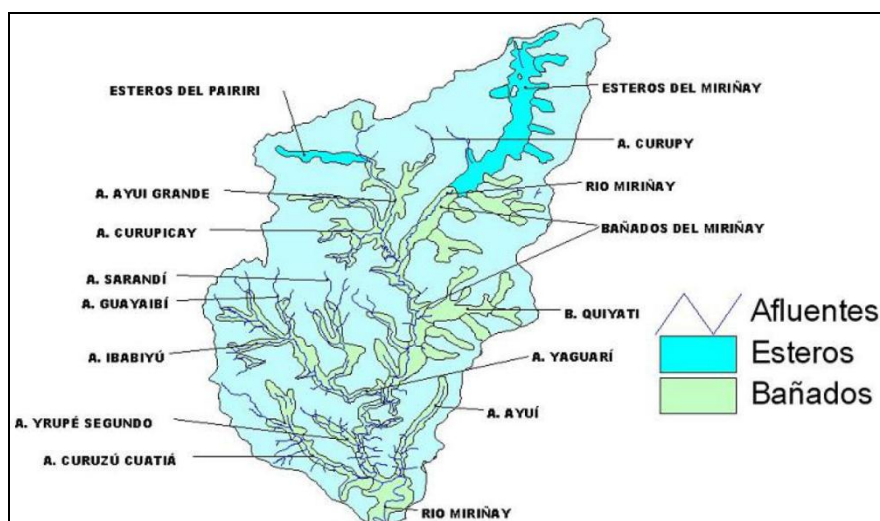


**Figura 2.1.** Ubicación de la cuenca del río Miriñay (tomada de Alarcón 2013).

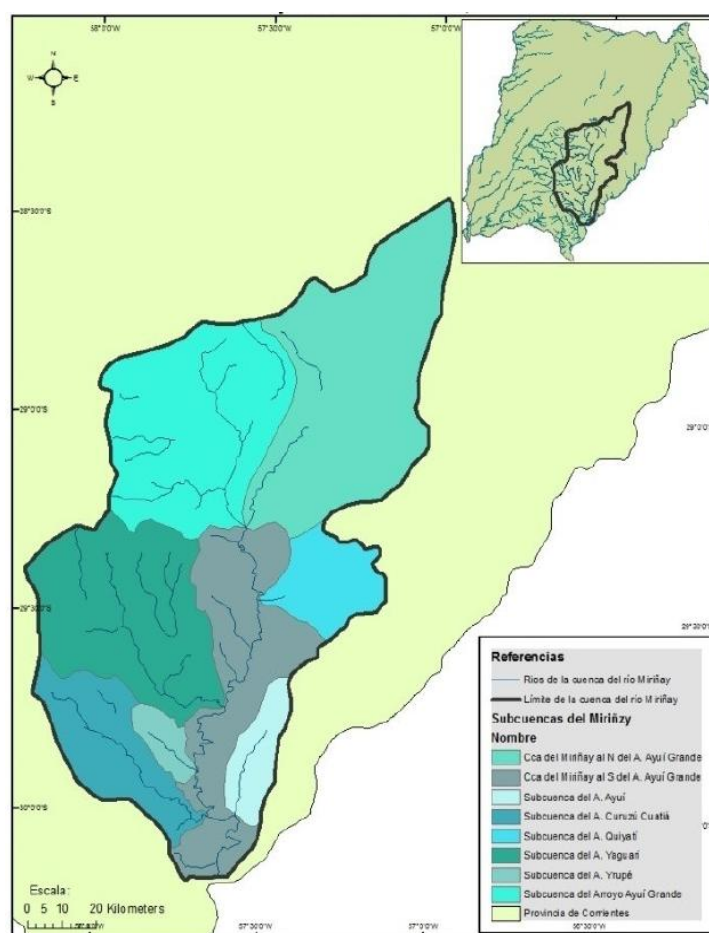


**Figura 2.2.** Departamentos de la cuenca del río Miriñay (tomada de la SSRH).





**Figura 2.3.** Afluentes del río Miriñay (tomada de la SSRH).



**Figura 2.4.** Subcuencas del río Miriñay (tomada de Alarcón 2013).

La cuenca del Miriñay se nutre principalmente de las precipitaciones. En épocas de crecidas de los Esteros del Iberá, el río funciona como aliviador. Adicionalmente, sobre él descargan aguas freáticas de la meseta del Paiubre.

### **2.1.2 Aprovechamientos**

La cuenca del río Miriñay constituye un área de creciente actividad económica en relación al cultivo de arroz, dada su excelente aptitud agrícola. Ello se manifestó en un notable aumento de la construcción de infraestructura hídrica destinada a atender las demandas del cultivo en expansión. La mayoría de las represas fueron construidas durante la década del '90 o poco después, aprovechando fundamentalmente perspectivas favorables en el ciclo de precios del arroz y la consecuente demanda del mercado brasileño. Las mayores inversiones sobre la cuenca del Miriñay en el sector arrocero arrancan a partir del año 1995. Comenzaron con la construcción de presas de tierra para regar el cultivo por gravedad y/o bombeo, mediante el uso del agua embalsada (Alarcón & Insaurralde 2011).

Las presas existentes se catalogan dentro del rango de pequeñas represas. Están constituidas por materiales sueltos (tierra), tomada de los alrededores. Generalmente se encuentran en la naciente de una cuenca. Su altura varía entre 3 y 10 m, con un ancho de coronamiento de alrededor de 5 m. El volumen de agua embalsado se encuentra entre 3 y 23 hm<sup>3</sup>, suficiente para regar entre 200 y 1500 ha, conformando lagos cuya superficie varía entre 150 y 500 ha en la mayoría de los casos. Para cumplimentar con la erogación de un caudal mínimo, mayor aún al llamado caudal ecológico, el ICAA ha reglamentado la entrega del 5% del volumen de agua almacenado, a descargar en invierno o en verano (épocas de estiaje), según acuerdo privado entre los vecinos linderos aguas abajo (Rujana et al. 2010).

Al año 2010, la cantidad de presas de más de 50 ha era de 38, de las cuales 15 correspondían a la cuenca del Ayuí Grande y 13 a las del Yaguarí (Alarcón & Insaurralde 2011). En la Figura 2.5 se identifican los embalses existentes sobre la cuenca del Miriñay.

## **2.2 Régimen Hidrológico**

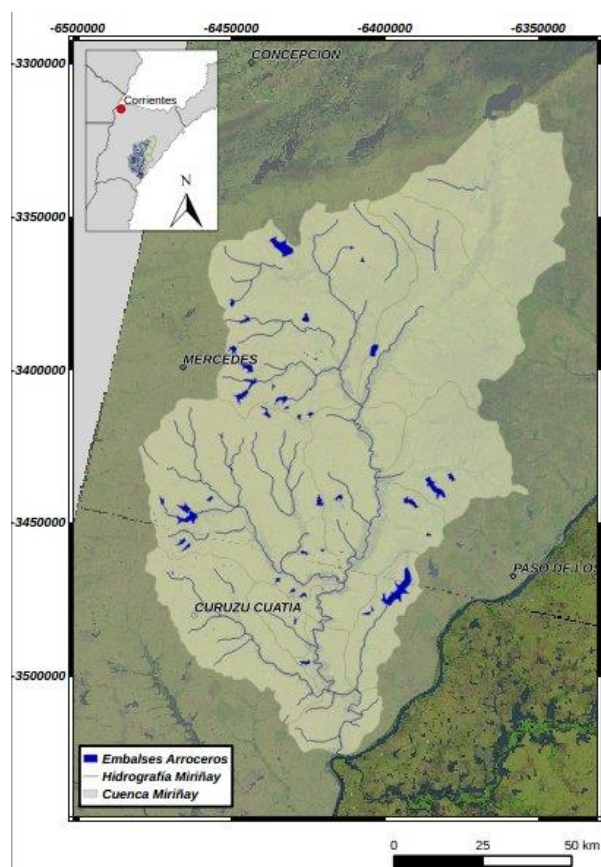
### **2.2.1 Precipitaciones**

Se dispuso de series temporales de precipitaciones diarias en las estaciones indicadas en la Tabla 2.1 y la Figura 2.6. En esa tabla también se indican la fuente de los datos y el período de registro, mientras que en la figura se representan las isoyetas de acuerdo a la Secretaría de Minería<sup>1</sup>.

En la Figura 2.7 se muestran los histogramas de precipitación promedio mensual en todas las estaciones, para los períodos indicados en la Tabla 2.2. Se observa claramente la estacionalidad, con precipitaciones más bajas en los meses de mayo a setiembre.

---

<sup>1</sup><http://www.mineria.gob.ar/estudios/irn/corrientes/fi-4.asp>

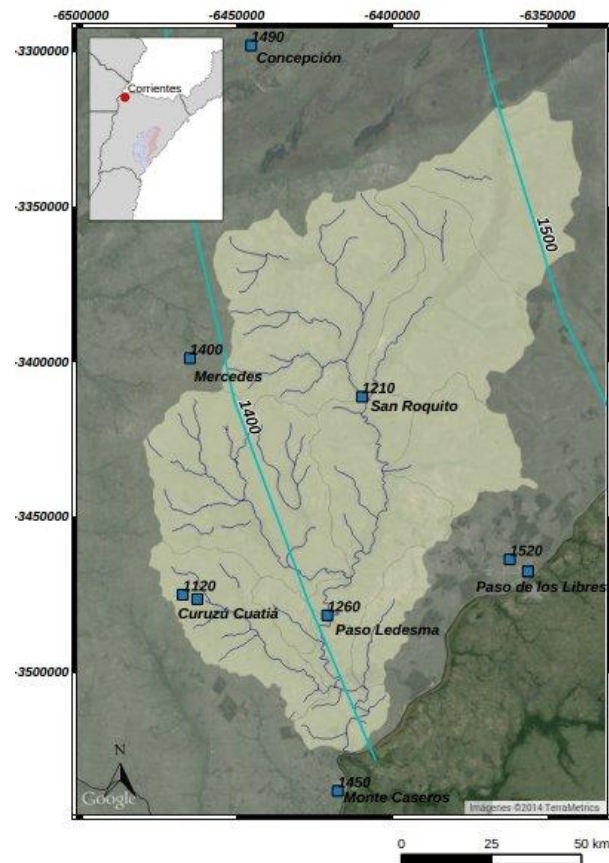


**Figura 2.5.** Embalses en la cuenca del Miriñay.

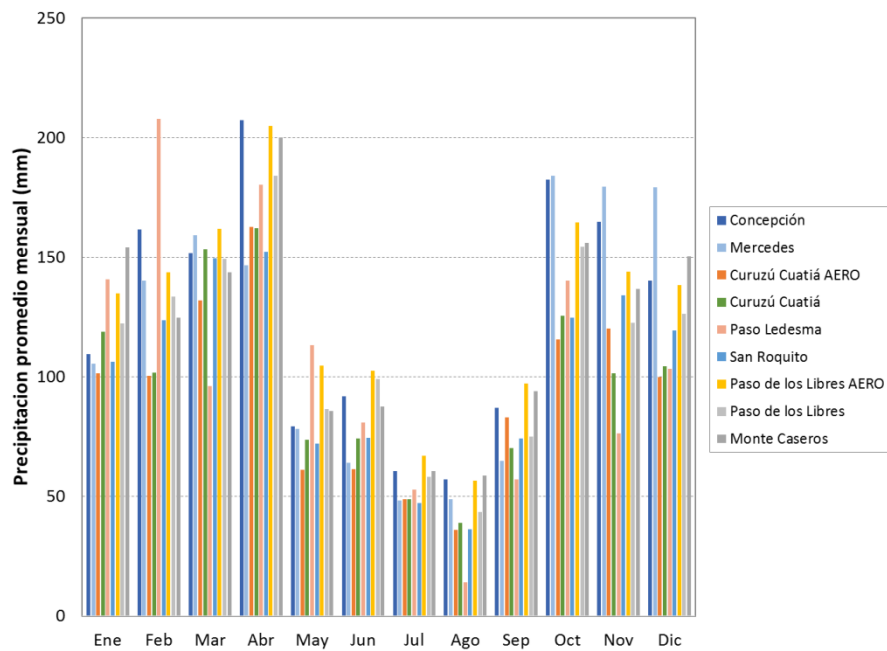
**Tabla 2.1.** Datos de precipitaciones

| Estación                | Fuente  | Período           | Observaciones                    |
|-------------------------|---------|-------------------|----------------------------------|
| Concepción              | CLARIS* | Jun/1978-May/2010 | Sin baches                       |
| CuruzúCuatiá            | CLARIS  | Ene/1992-May/2009 | Falta desde Feb/97 hasta Dic/97  |
| CuruzúCuatiá AERO       | CLARIS  | Ene/1973-Nov/2010 | Faltan registros fines de semana |
| Mercedes                | INTA    | Jul/2002-Abr/2014 | Sin baches                       |
| Monte Caseros           | CLARIS  | Ene/1961-May/2009 | Faltan Abr-May-Jun/99 completos  |
| Paso Ledesma            | CLARIS  | Ene/1980-Ene/2000 | Baches en 1981-1984, 1987-1993   |
| Paso de los Libres      | CLARIS  | Ene/1961-May/2009 | Baches en 1964, 1968 y 1970      |
| Paso de los Libres AERO | CLARIS  | Ene/1970-Dic/2012 | Sin baches                       |
| Paso San Roquito        | SSRH    | Abr/1987-Jun/2014 | Falta Nov/00 completo            |

\* Proyecto CLARIS (A Europe-South America Network for Climate Change Assessment and Impact Studies)



**Figura 2.6.** Ubicación de estaciones meteorológicas.



**Figura 2.7.** Histogramas de precipitación promedio mensual.

**Tabla 2.2.** Períodos de promediación de precipitaciones.

| Estación                | Período           |
|-------------------------|-------------------|
| Concepción              | May/1987-May/2010 |
| CuruzúCuatiá            | Ene/1992-May/2009 |
| CuruzúCuatiá AERO       | Abr/1987-Jun/2010 |
| Mercedes                | Jul/2002-Abr/2014 |
| Monte Caseros           | May/1987-May/2009 |
| Paso Ledesma            | Abr/1993-Sep/1999 |
| Paso de los Libres      | Feb/1991-May/2009 |
| Paso de los Libres AERO | May/1987-Jun/2010 |
| Paso San Roquito        | May/1987-Jun/2014 |

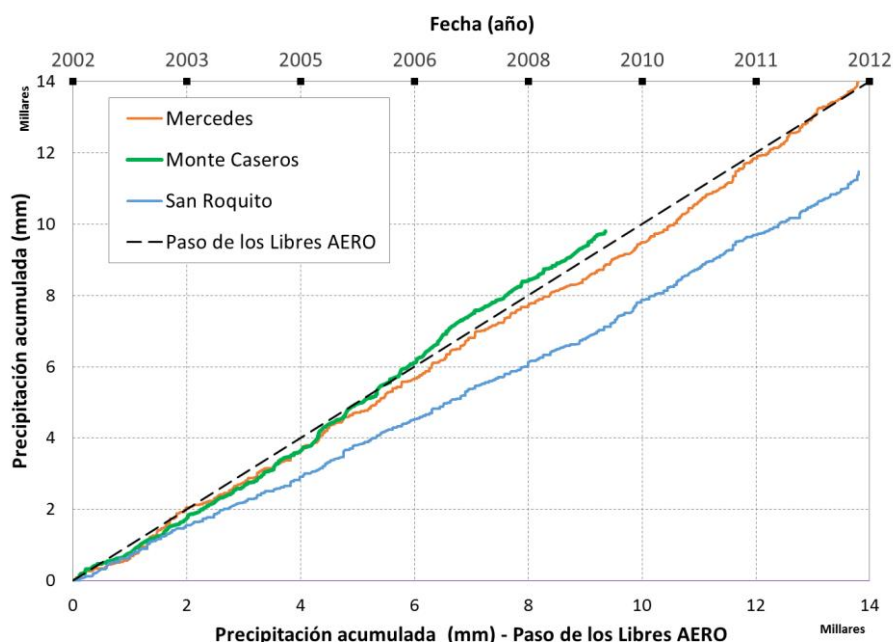
Se estableció el período 2002-2014 como ventana de tiempo de análisis para el presente estudio debido a que ya tiene incorporada la mayoría de los embalses, de modo que representa las condiciones actuales de la cuenca. Además, para ese período se dispone de los datos necesarios para el cálculo de evapotranspiración (ver próxima sección).

Se procedió a descartar varias de las series de datos de precipitaciones:

- Curuzú Cuatiá AERO, por la ausencia de datos los fines de semana.
- Paso Ledesma, por caer fuera de la ventana de tiempo de análisis.
- Paso de los Libres, ya que se dispone de la vecina Paso de los Libres AERO que está completa.
- Curuzú Cuatiá, porque su precipitación media anual(1170 mm) no es compatible con las isoyetas (que indican entre 1300 y 1400 mm).
- Concepción, ya que su zona de influencia sobre la cuenca (en términos de polígonos de Thiessen) es insignificante.

Si bien la precipitación media anual de Paso San Roquito (1210 mm) tampoco es compatible con las isoyetas (que indican entre 1400 y 1500 mm), se mantuvo por ser la que tiene la ubicación más representativa, prácticamente en el centro de la cuenca.

En la Figura 2.8 se muestran las curvas de doble masa para las estaciones restantes sobre la ventana de análisis, tomando como base la de Paso de los Libres AERO. Se observa que Mercedes y Monte Caseros muestran una relativamente buena consistencia con Paso de los Libres AERO, mientras que San Roquito indica aproximadamente un 25% menos de precipitación acumulada.



**Figura 2.8.** Curva de doble masa.

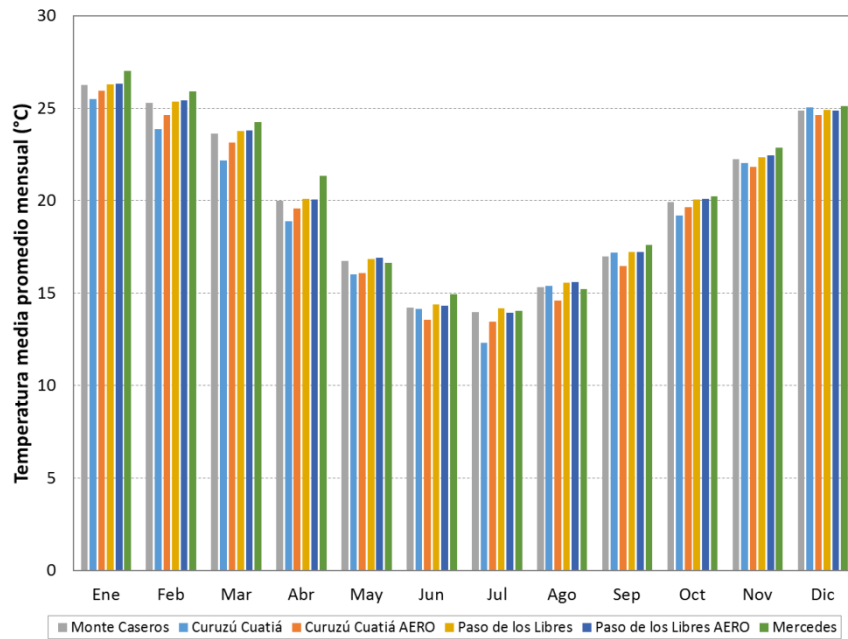
### 2.2.2 Evapotranspiración

Se dispuso de series temporales de temperaturas diarias en las estaciones indicadas en la Tabla 2.3, donde también se indican la fuente de los datos y el período de registro. La Figura 2.9 presenta los histogramas de temperatura media, mínima y máxima promedio mensual en todas las estaciones, para los períodos indicados en la Tabla 2.4. Se observa claramente la estacionalidad, con precipitaciones más bajas en los meses de mayo a setiembre.

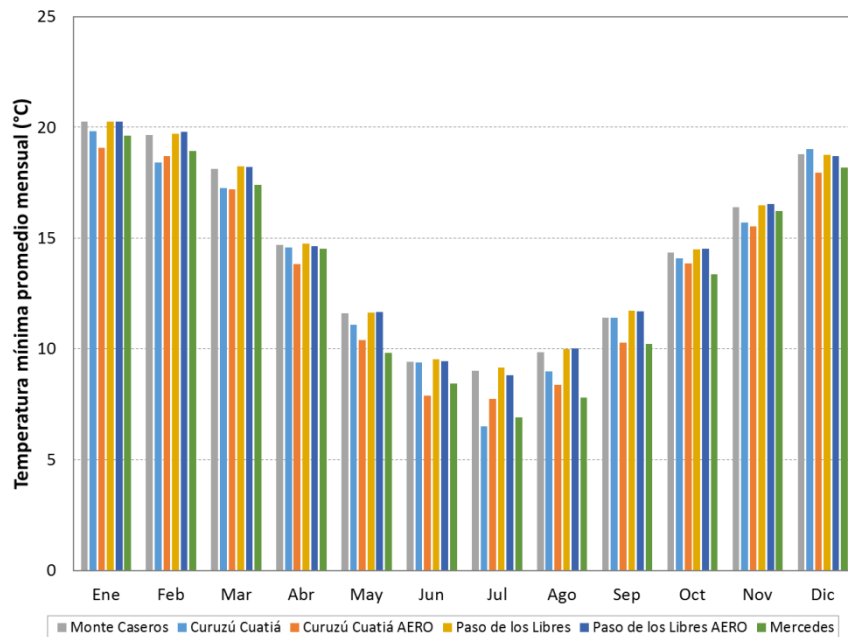
**Tabla 2.3.** Datos de temperatura

| Estación                | Fuente | Período           | Observaciones                         |
|-------------------------|--------|-------------------|---------------------------------------|
| CuruzúCuatiá            | CLARIS | Ene/1992-Ago/1999 | Baches intermitentes                  |
| CuruzúCuatiá AERO       | CLARIS | Abr/1977-Ene/2001 | Baches intermitentes                  |
| Mercedes                | INTA   | Jul/2002-Abr/2014 | Sin baches                            |
| Monte Caseros           | CLARIS | Ene/1961-May/2009 | Faltan May-Jun/63                     |
| Paso de los Libres      | CLARIS | Ene/1961-May/2009 | Baches en 1964, 1968 y 1970           |
| Paso de los Libres AERO | CLARIS | Feb/1956-Dic/12   | Baches en 1957-1960, 1964, 1968, 1970 |

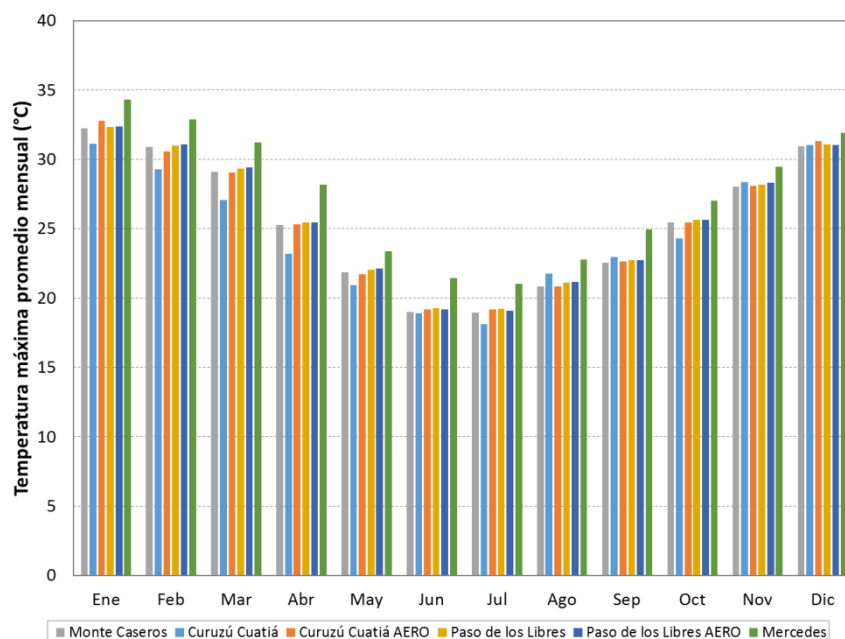




a) Media



b) Mínima



### c) Máxima

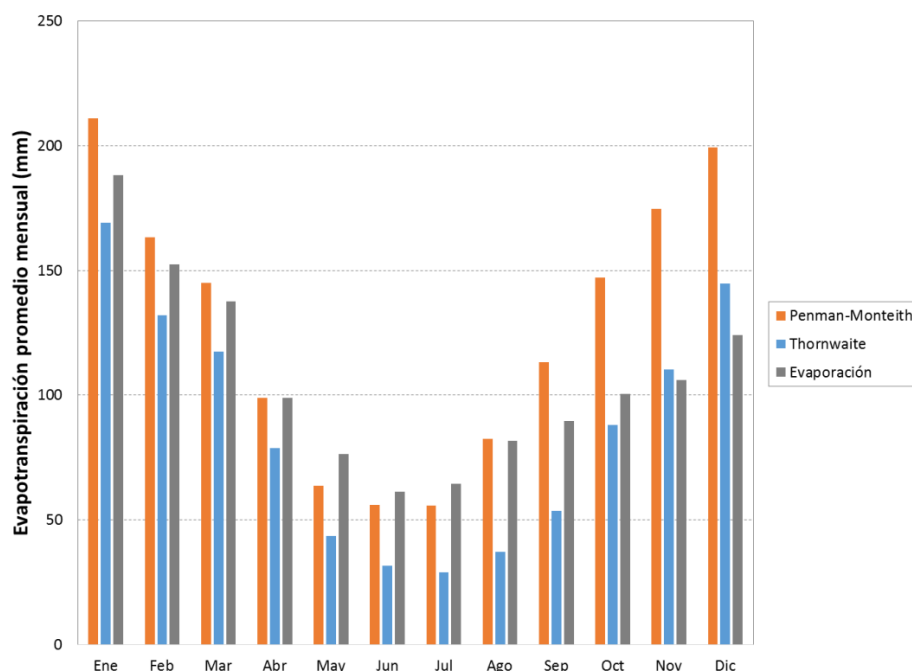
**Figura 2.9.** Histogramas de temperaturas promedio mensuales.

**Tabla 2.4.** Períodos de promediación de temperatura.

| Estación                | Período           |
|-------------------------|-------------------|
| CuruzúCuatí             | Feb/1992-Ago/1999 |
| CuruzúCuatí AERO        | Arb1977-Nov/2000  |
| Mercedes                | Jul/2002-Abr/2014 |
| Monte Caseros           | Ene/1961-May/2009 |
| Paso de los Libres      | Ene/1961-May/2009 |
| Paso de los Libres AERO | Feb/1956-Dic/2012 |

Para la estación Mercedes se dispuso, además, de los datos adicionales necesarios para calcular la evapotranspiración potencial mediante el método de Penman-Monteith (heliofanía efectiva y humedad). En la Figura 2.10 se presenta el histograma de evapotranspiración promedio mensual resultante. Allí también se muestra el histograma que surge de utilizar el método de Thornthwaite, más simple, que depende esencialmente de la temperatura; se observa que éste provee, en general, valores menores. Adicionalmente, se representa el histograma de evaporación determinado a partir de determinaciones directas en tanque en esa estación.





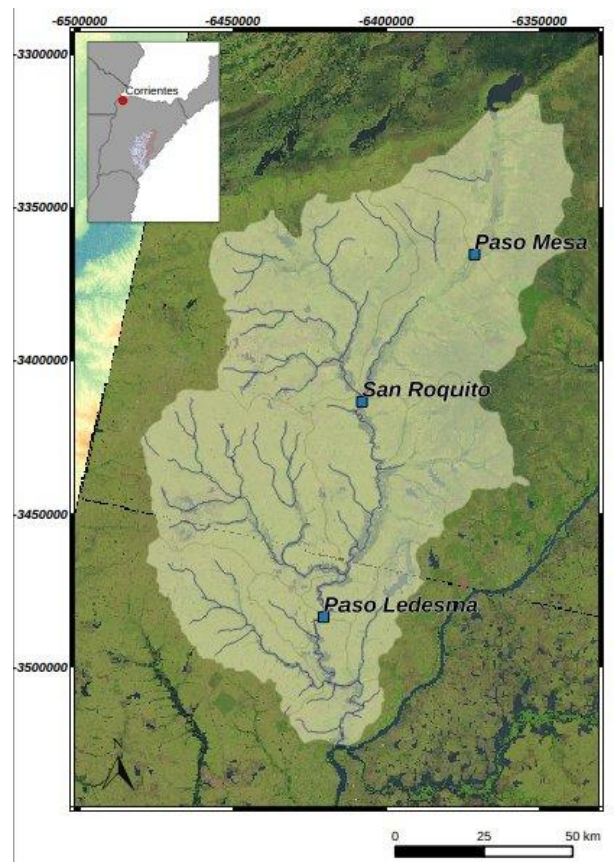
**Figura 2.10.** Histogramas de evapotranspiración potencial promedio mensual en la estación Mercedes.

### 2.2.3 Caudales

Se dispuso de series temporales de niveles medios diarios del río Miriñay en las estaciones Paso Mesa, Paso San Roquito y Paso Ledesma, cuyas ubicaciones se muestran en la Figura 2.11, y cuyos períodos de datos se indican en la Tabla 2.5. Los datos se representan en la Figura 2.12.

**Tabla 2.5.** Datos de caudal

| Estación         | Fuente | Período           | Observaciones                                     |
|------------------|--------|-------------------|---------------------------------------------------|
| Paso Mesa        | SSRH   | Ene/2011-Mar/2014 | Se toma esta ventana porque es la que tiene datos |
| Paso Ledesma     | SSRH   | Feb/1995-Mar/2014 | Se toma esta ventana porque no tiene baches       |
| Paso San Roquito | SSRH   | Feb/1993-Mar/2014 | Se toma esta ventana porque no tiene baches       |



**Figura 2.11.** Ubicación de estaciones hidrométricas.

De la misma fuente (SSRH) se obtuvieron datos de aforo en las tres estaciones. Estos se representan en la Figura 2.13, de donde surge las siguientes leyes de ajuste entre el caudal,  $Q$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ ), y la altura de escala,  $H$  (m), que también se representan en la Figura 2.12:

Paso Mesa:

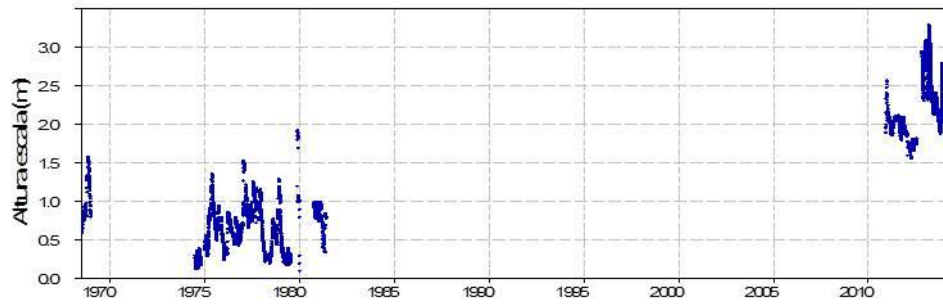
$$Q = 0.005 H^{8.2546}$$

Paso San Roquito:

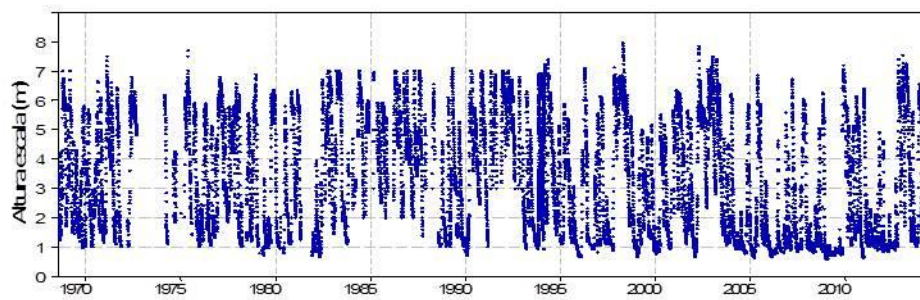
$$Q = \begin{cases} \text{si } H < 5.7 & 3.9697 * H^{2.1248} \\ \text{si } H > 5.7 & 0.0027 * H^{6.3222} \end{cases}$$

Paso Ledesma:

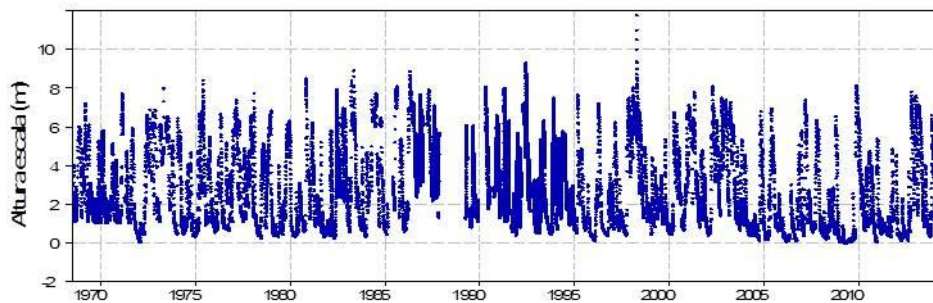
$$Q = \begin{cases} \text{si } H < 6.3 & 11.849 * H^{1.9584} \\ \text{si } H > 6.3 & 0.0218 * H^{5.3655} \end{cases}$$



a) Estación Paso Mesa

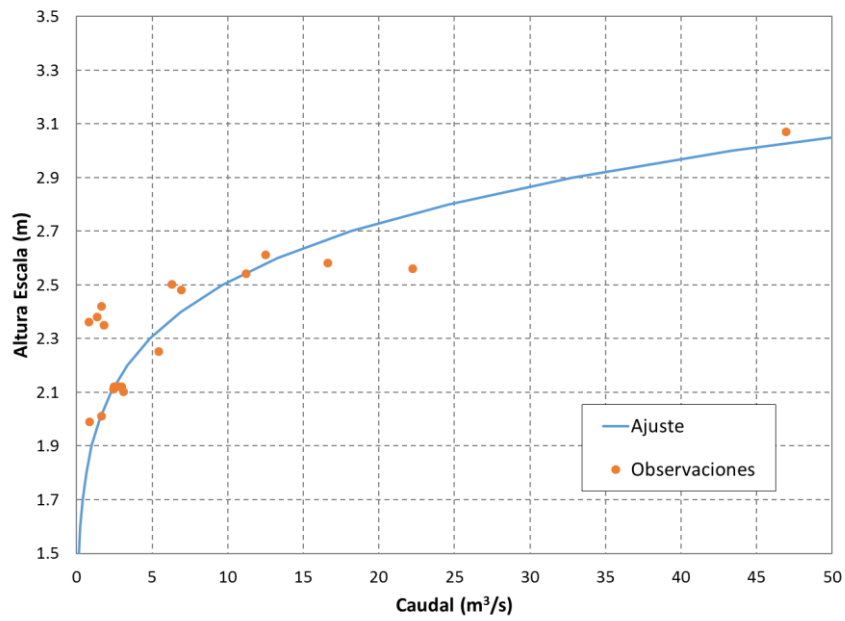


b) Estación Paso San Roquito

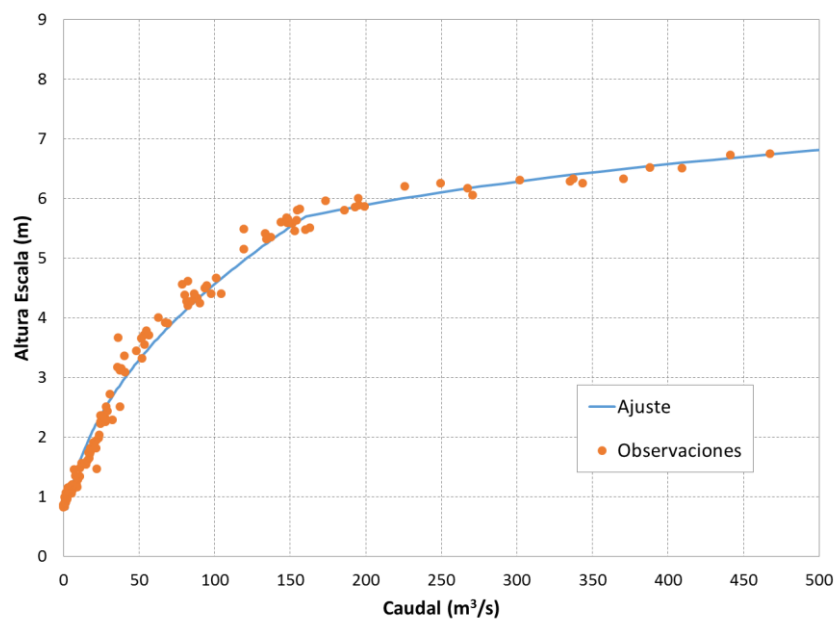


c) Estación Paso Ledesma

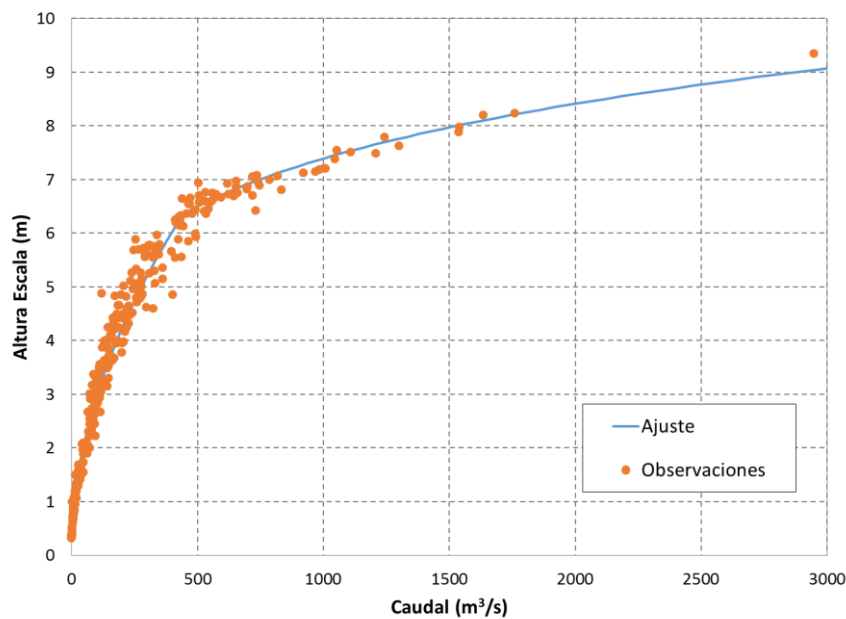
**Figura 2.12.** Series temporales de nivel de agua del río Miriñay.



a) Estación Paso Mesa



b) Estación Paso San Roquito



c) Estación Paso Ledesma

**Figura 2.13.** Relaciones altura-caudal para el río Miriñay.

Las series de niveles fueron transformadas a series de caudales, a partir de las cuales se obtuvieron los histogramas de valores medios mensuales en las tres estaciones (Figura 2.14). Comparando con los de precipitación (Figura 2.9), se observa estos correlacionan fuertemente con las precipitaciones, tal cual era de esperarse. El caudal en Paso San Roquito se incrementa, respecto de Paso Mesa, en un factor del orden de 5 durante los meses de estiaje, pasando a un factor del orden de 30 en los meses de crecida. Por su parte, la relación entre los caudales de Paso Ledesma y San Roquito está en el orden de 1,5 a 2.

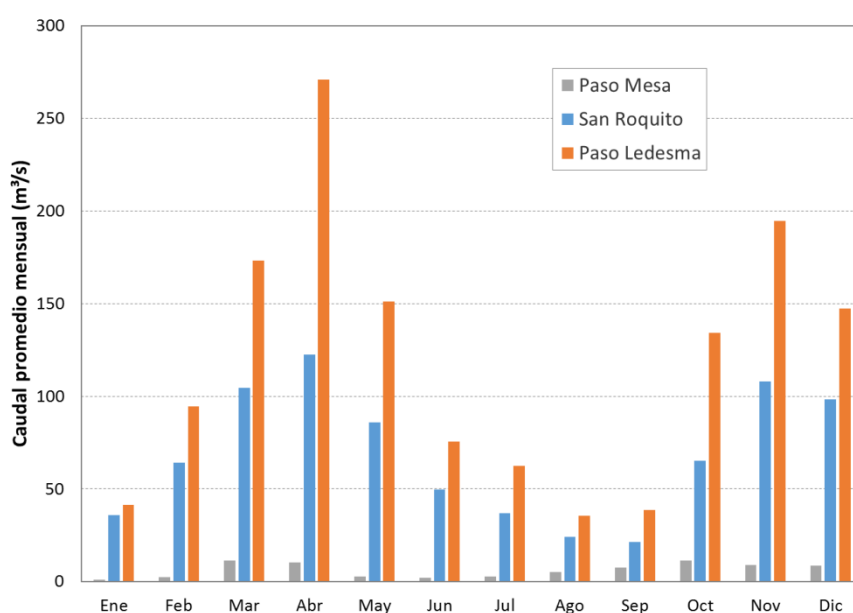


Figura 2.14. Histogramas de caudales medios mensuales del río Miriñay.

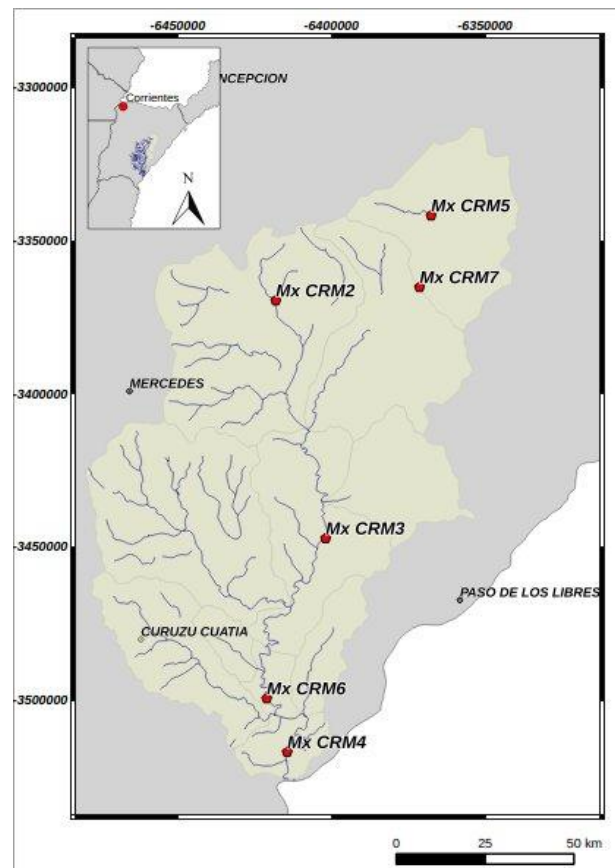
## 2.3 Calidad del agua

Como resultado del Convenio de colaboración entre la Asociación Correntina de Productores de Arroz (ACPA) y el ICAA (Setiembre 2006), se vienen efectuando el monitoreo de la calidad de agua en algunas cuencas arroceras; en particular, en 6 estaciones ubicadas sobre la cuenca del río Miriñay (Figura 2.15).

De acuerdo a lo informado por el ICAA<sup>2</sup>:

- No se han detectado hasta el momento situaciones problemáticas o alarmantes en relación a los niveles guía para actividad agropecuaria de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación, Cuenca del Plata y Decreto N° 831/83, reglamentario de la Ley Nacional N° 24.051 de Residuos Peligrosos.
- La información generada hasta diciembre de 2012 evidencia detecciones ocasionales de componentes biocidas de uso en actividades de arroceras. Las inferencias que expliquen estas presencias son por ahora inseguras dada la aleatoriedad de esas apariciones, que no permiten emitir juicios de valor severos en cuanto a la ocurrencia sistemática, a los responsables particulares de ellas y a la capacidad de asimilación de los cuerpos de aguas. La aparición de biocidas en todas las cuencas estudiadas, como consecuencia de la actividad agrícola, es esporádica, ocasional y discontinua en cada cuerpo de agua monitoreado.

<sup>2</sup>ICAA, "Indicadores de calidad de agua vinculados con la actividad arroceras en cuencas hídricas de la Provincia de Corrientes", XXIV Congreso Nacional del Agua, San Juan, 14-18 octubre, 2013



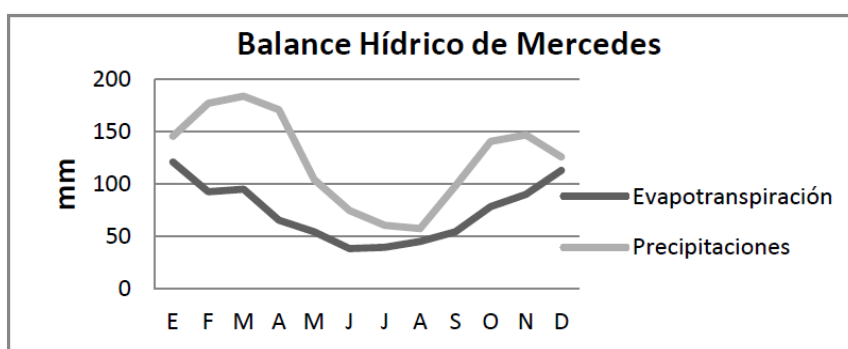
**Figura 2.15.** Estaciones de monitoreo en la cuenca del Miriñay.

- Aunque detectado, no se advierten concentraciones inadmisibles de Glifosato ni de su metabolito AMPA, teniendo como valor límite 280 µg/L, según la Ley Nacional de Residuos Peligrosos N° 24.051 y su Decreto reglamentario N° 831/93 - Anexo II.
- Los biocidas encontrados, que en algunos casos superan los límites permisibles, son: aldrin, alfaBHC, endosulfan I y II, y 2,4 D. La ocurrencia se da tanto en aguas como sedimentos, si bien no siempre de modo simultáneo, ni en el mismo sitio de muestreo.

## 2.4 Balance hídrico simplificado

El balance hídrico simplificado surge de comparar la precipitación con la evapotranspiración potencial.

Alarcón (2013) presenta el resultado de un balance hídrico simplificado para la cuenca del Miriñay efectuado en base a datos de la Estación Mercedes del INTA, el cual se muestra en la Figura 2.16. De él surge que no habría déficit a escala global de la cuenca, aún en los meses de menor precipitación.



**Figura 2.16.** Balance hídrico simplificado de la cuenca del río Miriñay (Alarcón 2013).

Pagliettini & Gil (2008) efectuaron el balance hídrico simplificado para subcuencas de la cuenca del Miriñay, las cuales se indican en la Figura 2.17a. Los resultados se presentan en la Tabla 2.6 y las Figuras 2.17b y c, donde se muestra tanto la diferencia a nivel anual (Diferencia A) como durante los meses de mayor demanda (Diferencia C). Se observa que, si bien no hay déficit sobre una base anual, sí se produce déficit para los meses de mayor demanda. Justamente, la estrategia de embalsar agua durante los meses de mayor precipitación apunta a compensar ese déficit.

**Tabla 2.6.** Balance hídrico simplificado por subcuenca del río Miriñay (Pagliettini & Gil 2008).

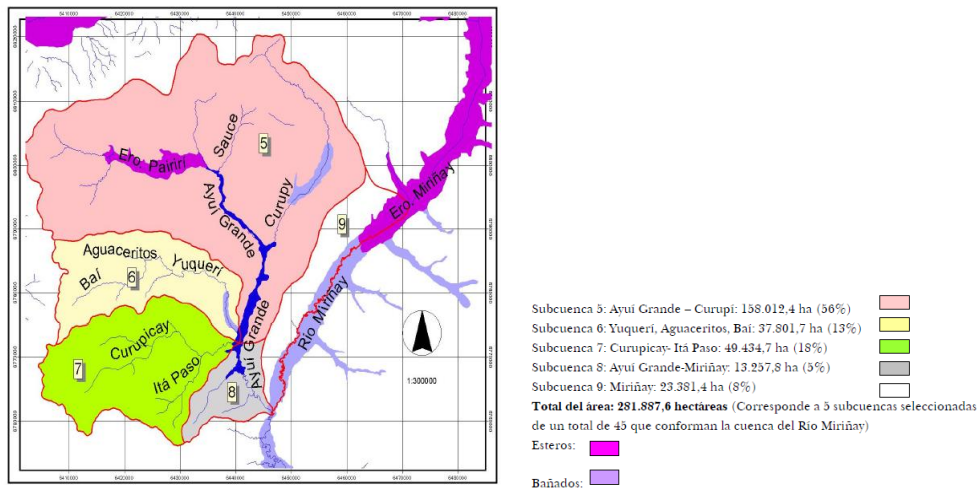
| Subcuenca | Oferta real          | Demanda              | Diferencia A         | Diferencia C         |
|-----------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|           | hm <sup>3</sup> /año | hm <sup>3</sup> /año | hm <sup>3</sup> /año | hm <sup>3</sup> /año |
| 5         | 564                  | 82                   | 482                  | 106                  |
| 6         | 135                  | 55                   | 80                   | -10,4                |
| 7         | 196                  | 78                   | 118                  | -12,3                |
| 8         | 47                   | 20                   | 27                   | -4,2                 |
| 9         | 125                  | 8                    | 117                  | 33,3                 |

Diferencia A: Oferta real – Demanda en el año

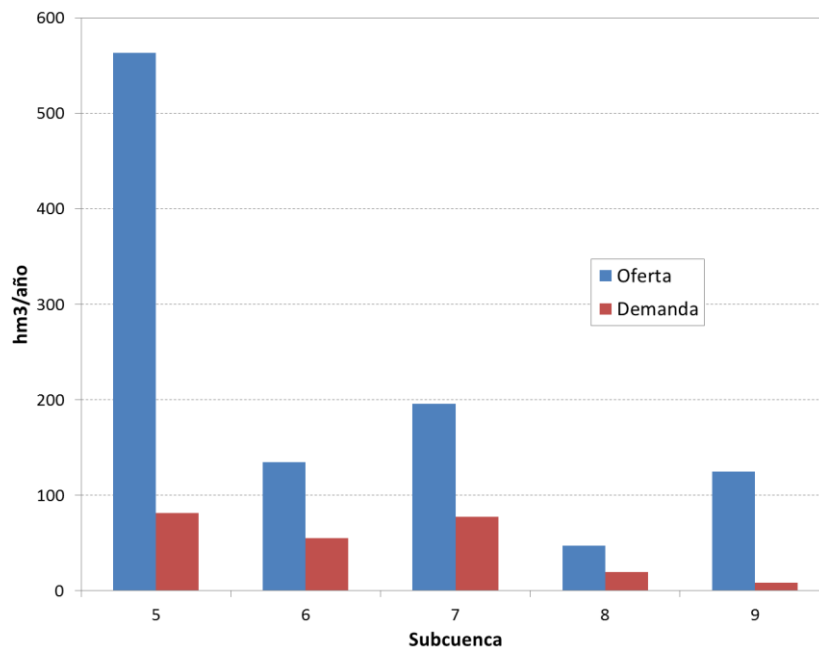
Diferencia B: Oferta real – Demanda en los meses de mayor demanda

Ruberto & Currie (1999) llevaron a cabo un balance hídrico simplificado para las 27 subcuencas de la cuenca del Miriñay (Figura 2.18). Sus resultados se presentan en la Tabla 2.7. Se observa que, sobre una base anual, no se registra déficit para ninguna de ellas.

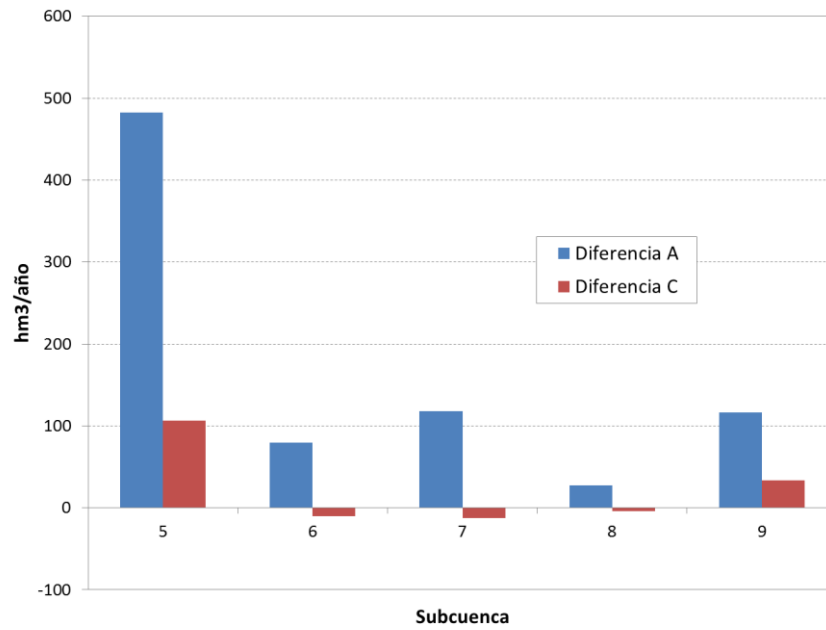




a) Subcuencas

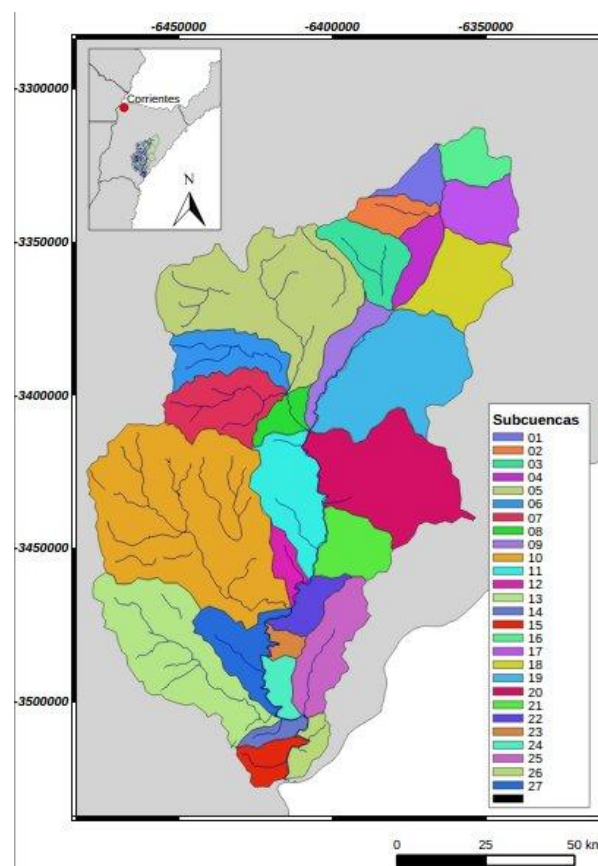


b) Oferta y Demanda



c) Diferencia

**Figura 2.17.** Balance hídrico simplificado de subcuencas del río Miriñay (Pagliettini & Gil 2008).



**Figura 2.18.** Subcuencas del río Miriñay (Ruberto & Currie1999).

**Tabla 2.7.** Balance hídrico simplificado por subcuenca del río Miriñay (Ruberto & Currie, 1999).

| N° | Subcuenca                                           | Superficie | Oferta          | Demanda         |
|----|-----------------------------------------------------|------------|-----------------|-----------------|
|    |                                                     | ha         | hm <sup>3</sup> | hm <sup>3</sup> |
| 1  | Area Laguna OvecháRaty                              | 16470      | 98              | -               |
| 2  | AoPairirí                                           | 19742      | 144             | -               |
| 3  | AoCavatý                                            | 34429      | 205             | -               |
| 4  | Area Paso Mesa                                      | 19580      | 72              | -               |
| 5  | Ao Ayuí Grande Sup. (Norte)                         | 153013     | 622             | 36              |
| 6  | Ao Yuquerí                                          | 38946      | 143             | 93              |
| 7  | Area Loma Siete Arboles                             | 21043      | 112             | 39              |
| 8  | AoCurupicay                                         | 49526      | 201             | 49              |
| 9  | Ayuí Grande Inferior (Norte) - Desemb               | 14154      | 58              | 40              |
| 10 | AoYaguay                                            | 223340     | 817             | 660             |
| 11 | Ao Irupé                                            | 50610      | 316             | -               |
| 12 | AoManduré                                           | 12599      | 83              | 63              |
| 13 | AoCuruzúCuatiá                                      | 105890     | 387             | 367             |
| 14 | AoCambá                                             | 8846       | 47              | -               |
| 15 | Ao Curupí                                           | 14104      | 75              | -               |
| 16 | Esteros del Cambá Trapo/YuquiCuá                    | 22119      | 161             | 141             |
| 17 | Esteros del OvechaRaty/CambyRetá                    | 33273      | 266             | -               |
| 18 | Esteros del Cabral Cué/Cuña Curuzú/Loma San Gabriel | 49542      | 396             | -               |
| 19 | AreaBañadoPirití Guazú                              | 104278     | 524             | -               |
| 20 | AoQuiyatí                                           | 103998     | 553             | 466             |
| 21 | Bañado Herrerito/AoMirungá                          | 34572      | 169             | 148             |
| 22 | Area EaRosbaco/Ea. Samite                           | 18747      | 71              | -               |
| 23 | Ao Sauce/Ao Sarandí Curá                            | 13070      | 58              | -               |
| 24 | AreaEa San Francisco                                | 6862       | 27              | -               |
| 25 | Ao Ayuí (Sur)                                       | 44214      | 162             | 63.3            |
| 26 | Complejo Ao Las Animas/Ao Marea                     | 10816      | 58              | -               |
| 27 | Ao Irupé                                            | 33870      | 124             | 95              |

## 2.5 Balance hídrico completo

### 2.5.1 Metodología

Para llevar a cabo un balance hídrico completo es necesario recurrir a la modelación hidrológica de la cuenca.

Se ha encarado esa modelación utilizando el software HEC-HMS, desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros de los EEUU<sup>3</sup>. Está diseñado para simular el proceso hidrológico completo de sistemas dendríticos. Incluye procedimientos de análisis hidrológicos

<sup>3</sup><http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/>

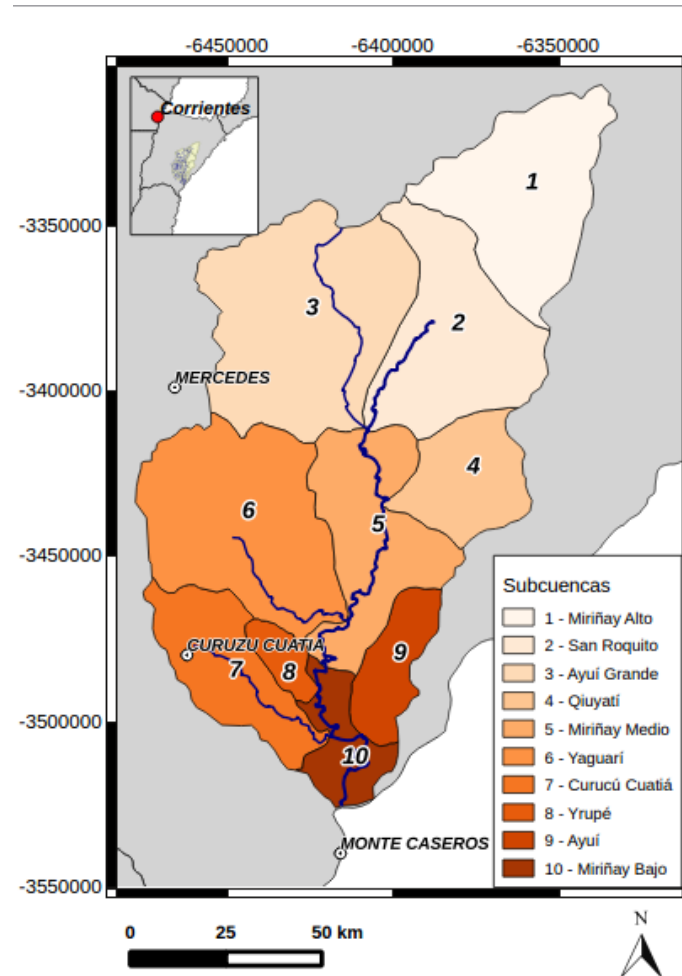
tradicionales, tales como infiltración por eventos, hidrograma unitario y traslado hidrológico. También contiene procedimientos para simulación continua, incluyendo evapotranspiración, fusión de nieve, y control de humedad del suelo.

### 2.5.2 Esquematización

Se tomaron como base las 8 subcuencas definidas por Alarcón (2013), y mostradas en la Figura 2.4. Dos de ellas fueron subdivididas en dos partes, de modo de generar cierres en las estaciones San Roquito y Paso Ledesma, donde se dispone de registros hidrométricos, y en consecuencia utilizar esas salidas de caudal para calibrar el modelo. Las 10 subcuencas resultantes se muestran en la Figura 2.19. En la Tabla 2.8 se indican las propiedades físicas respectivas que se utilizan para esquematizarlas.

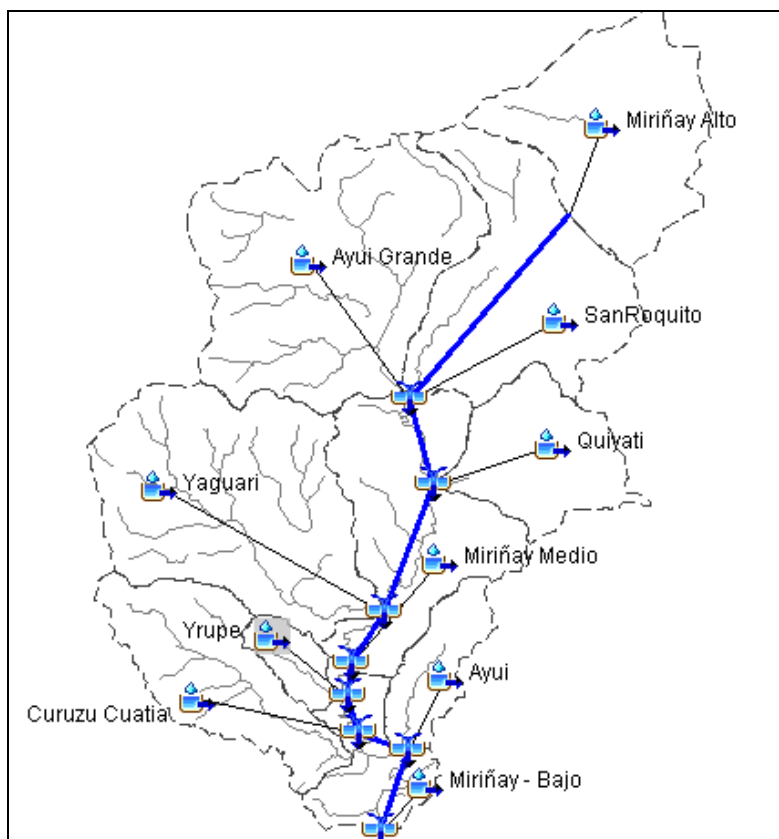
**Tabla 2.8.** Propiedades de subcuencas modeladas

| ID | Subcuenca     | Área (km <sup>2</sup> ) | Cota máx. (m) | Cota mín. (m) | Dif. nivel (m) | Long. flujo (km) | Pendiente (m/m) |
|----|---------------|-------------------------|---------------|---------------|----------------|------------------|-----------------|
| 1  | Miriñay Alto  | 1764                    | 74            | 64            | 10             | 38,3             | 0,00026         |
| 2  | San Roquito   | 1750                    | 82            | 54            | 28             | 68,2             | 0,00041         |
| 3  | Ayui Grande   | 2630                    | 84            | 56            | 28             | 69,2             | 0,00040         |
| 4  | Quiyati       | 861                     | 75            | 54            | 21             | 40,4             | 0,00052         |
| 5  | Yaguari       | 2189                    | 119           | 47            | 72             | 78,5             | 0,00092         |
| 6  | Miriñay Medio | 1441                    | 101           | 48            | 53             | 79,0             | 0,00067         |
| 7  | CuruzuCuatia  | 1025                    | 105           | 47            | 58             | 68,5             | 0,00085         |
| 8  | Ayui          | 544                     | 75            | 44            | 31             | 42,5             | 0,00073         |
| 9  | Yrupe         | 221                     | 77            | 47            | 30             | 23,5             | 0,00128         |
| 10 | Miriñay Bajo  | 514                     | 66            | 41            | 25             | 20,0             | 0,00125         |



**Figura 2.19.** Subcuencas de modelación del río Miriñay.

En la Figura 2.20 se presenta la topología de modelación, donde se observan los nodos de aporte de caudal de cada subcuenca al río Miriñay. Este se representa por tramos de canal, sobre los cuales se efectúa el traslado como onda cinemática. Estos tramos se caracterizan mediante los siguientes parámetros: (i) longitud a lo largo del cauce; los valores se presentan en la Tabla 2.9; (ii) pendiente longitudinal media (obtenida a partir del desnivel del MDE); se tomó un valor único de 0,1 ‰; (iii) coeficiente de rugosidad de Manning; se tomó el valor 0,030, correspondiente a un cauce rocoso; (iv) forma; se seleccionó una sección rectangular; (v) ancho; a partir de imágenes satelitales surgieron las estimaciones mostradas en la Tabla 2.9.



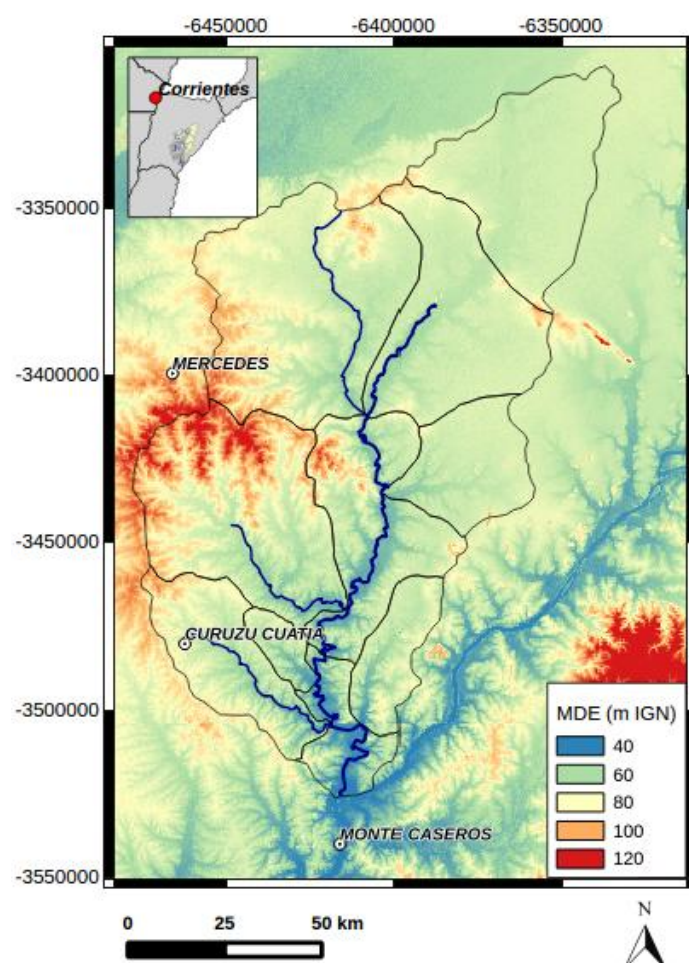
**Figura 2.20.** Topología del modelo hidrológico. En azul se representa al río Miriñay.

**Tabla 2.9.** Tramos del río Miriñay.

| Tramo                   | Longitud (m) | Ancho (m) |
|-------------------------|--------------|-----------|
| Paso Mesa - San Roquito | 52000        | 3         |
| San Roquito - Quiyati   | 27000        | 3         |
| Quiyati - Yaguari       | 33000        | 3         |
| Yaguari - Paso Ledesma  | 21000        | 3         |
| Paso Ledesma - Yrupe    | 90000        | 1         |
| Yrupe - CuruzuCuatiá    | 16000        | 1         |
| CuruzuCuatiá - Ayui     | 9000         | 1         |
| Ayui - Desembocadura    | 26000        | 1         |

### 2.5.3 Modelo Digital de Elevación

Para construir el Modelo Digital de Elevación (MDE) del terreno se utilizó como base de datos el SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*), que provee altitudes con una resolución espacial de 90 m. Este se ilustra en la Figura 2.21.



**Figura 2.21.** MDE de la cuenca del río Miriñay.

#### 2.5.4 Uso del suelo

La Figura 2.22 muestra el mapa de uso de suelo de la cuenca del río Miriñay para la situación actual (2014), cuya construcción se explica en otra parte de este Informe.

A los fines de la modelación, están se han agrupado en las siguientes categorías:

- *Agua*: agua, embalse
- *Bajos*: pajonal-bañado
- *Malezales*: malezal
- *Pastizales*: pastizal
- *Áreas transformadas*: arroz/pastura, otros cultivos, uso urbano, otros
- *Bosque Nativo*
- *Forestaciones*: forestación, tierra forestal

En la Tabla 2.10 se indican las fracciones de uso de suelo por subcuenca.



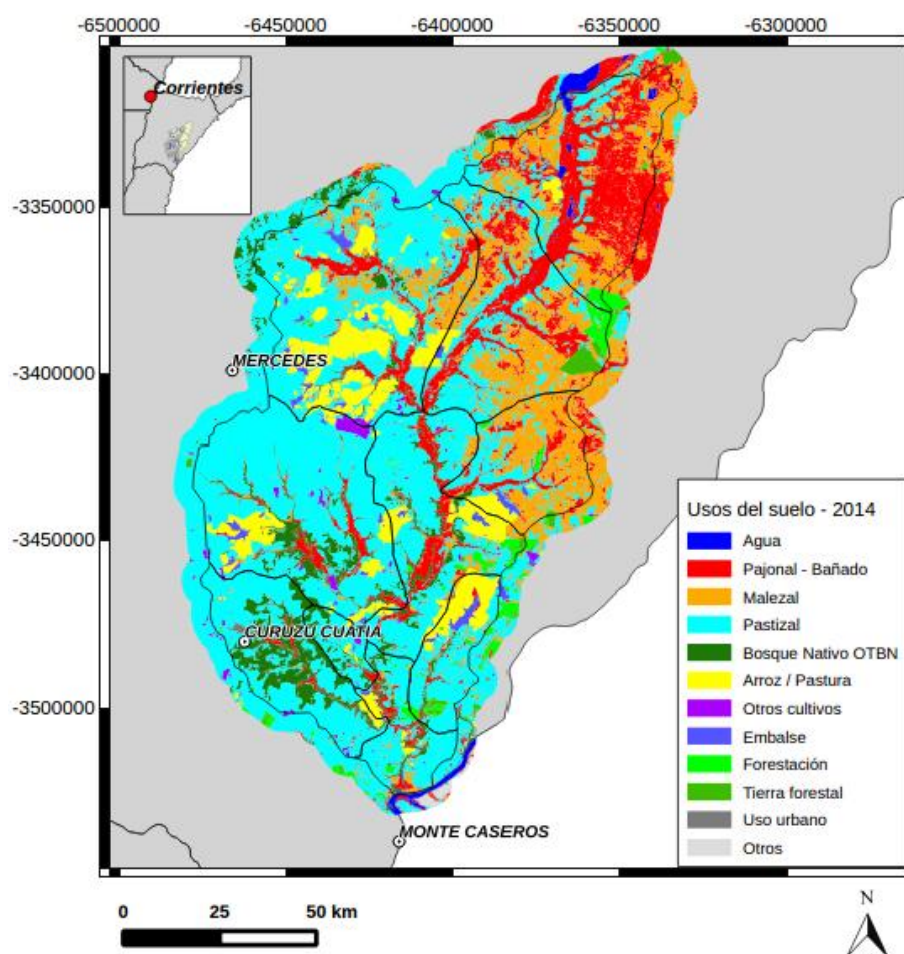


Figura 2.22. Mapa de uso del suelo en la cuenca del río Miriñay.

Tabla 2.10. Fracciones de uso del suelo por subcuenca

| ID | Nombre        | Agua (%) | Bajos (%) | Malezal (%) | Pastizal (%) | Bosque Nat. (%) | Forest. (%) | Transf. (%) |
|----|---------------|----------|-----------|-------------|--------------|-----------------|-------------|-------------|
| 1  | Miriñay Alto  | 2,1      | 47,7      | 30,5        | 17,2         | 0,1             | 1,3         | 1,2         |
| 2  | San Roquito   | 0,4      | 26,2      | 34,0        | 31,4         | 0,6             | 5,9         | 1,7         |
| 3  | Ayui Grande   | 1,9      | 10,4      | 11,2        | 49,5         | 3,3             | 0,2         | 23,4        |
| 4  | Quiyati       | 1,7      | 16,3      | 49,1        | 23,0         | 0,8             | 2,2         | 6,9         |
| 5  | Yaguari       | 1,6      | 5,9       | 1,1         | 68,6         | 10,0            | 0,1         | 12,7        |
| 6  | Miriñay Medio | 0,9      | 12,8      | 6,2         | 56,3         | 9,6             | 3,7         | 10,6        |
| 7  | CuruzuCuatia  | 0,0      | 4,5       | 1,3         | 60,5         | 31,2            | 0,4         | 2,1         |
| 8  | Ayui          | 5,4      | 5,2       | 2,7         | 46,5         | 3,5             | 7,0         | 29,9        |
| 9  | Yrupe         | 0,6      | 4,2       | 0,4         | 63,3         | 24,4            | 1,0         | 6,1         |
| 10 | Miriñay Bajo  | 1,6      | 12,0      | 7,0         | 59,3         | 10,5            | 3,7         | 5,9         |



### 2.5.5 Modelo de balance vertical

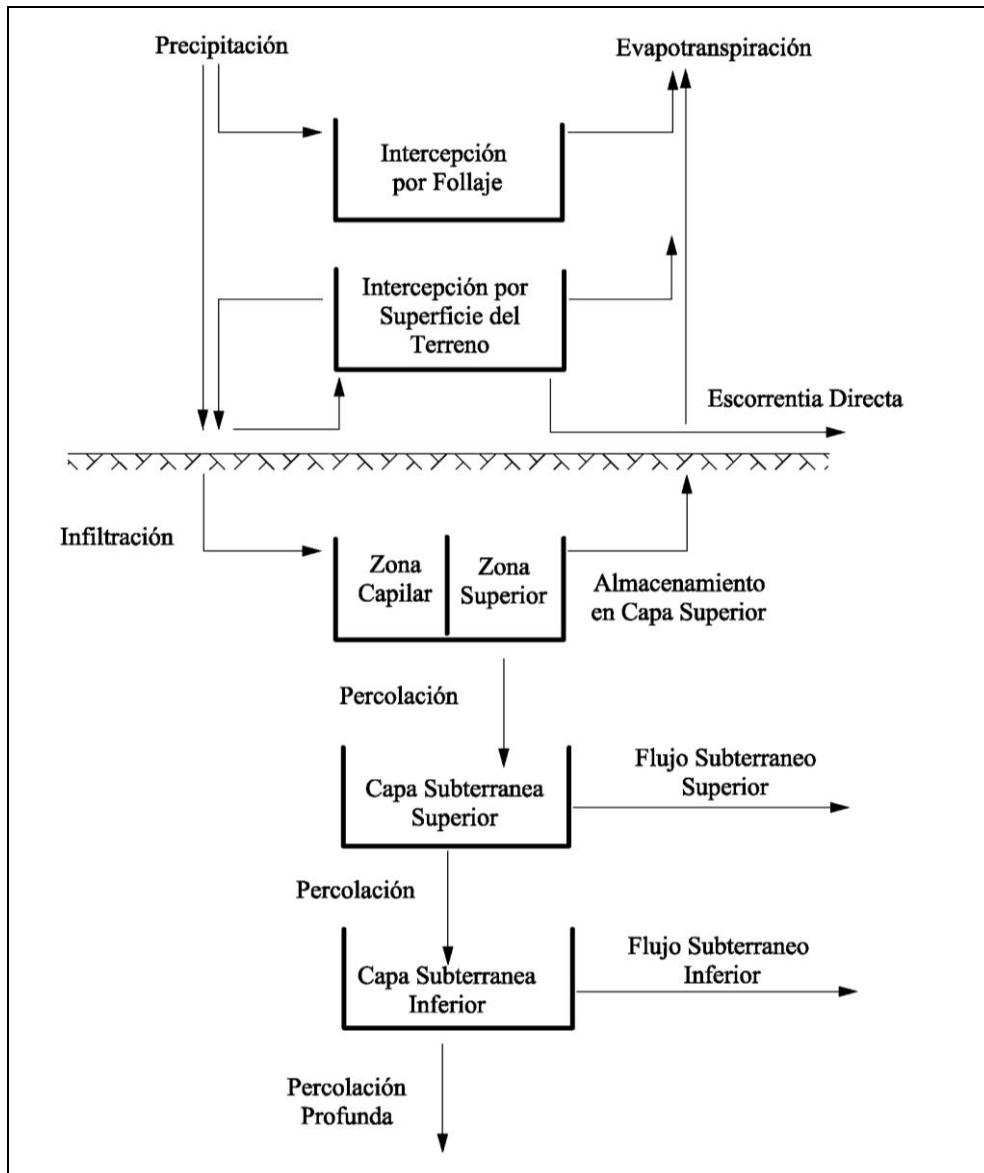
El balance vertical de agua se efectúa mediante el método SMA (*SoilMoisture Accounting*; Bennett & Peters 2000), que plantea una distinción entre 5 compartimientos, a saber (Figura 2.23):

- *Follaje*: Intercepta parte del agua de las precipitaciones, impidiendo su llegada a la superficie del terreno.
- *Superficie del terreno*: Almacena en sus depresiones parte del agua que cae sobre ella, impidiendo que escurra.
- *Capa superior de suelo*: Es la zona de raíces, donde puede haber extracción de agua por evapotranspiración. Consta, a su vez, de dos zonas; la denominada Zona Superior es la de agua libre, que también puede perderse por percolación, mientras que la Zona Capilar es la de agua capilar, que sólo puede extraerse por evapotranspiración. Hay infiltración de agua hacia esta capa desde la superficie del terreno, si es que esta capa no se encuentra saturada y si no se trata de una superficie impermeable.
- *Capas subterránea superior y subterránea inferior*: Se trata de las zonas de interflujo (ó flujo hipodérmico), el cual se desplaza relativamente rápido en relación al flujo de aguas subterráneas, y que produce un flujo de base a la salida de la subcuenca. Puede haber percolación desde la capa superior hacia la inferior.

Los siguientes son los datos necesarios para poder efectuar el balance vertical:

- *Almacenamientos iniciales*: Estos son los valores al principio del ciclo. En una simulación continua sólo influyen durante un transitorio, cuya duración es necesario estimar.
- *Almacenamientos máximos*: Son las capacidades máximas de cada compartimiento.
- *Infiltración/Percolaciones máximas*: Se trata de las máximas velocidades de flujo hacia cada uno de los tres compartimientos de suelo.
- *Tiempo de retardo subterráneo*: Representa la constante de tiempo con que se parametriza el interflujo, que constituye una medida del tiempo en el que el agua alcanza la salida de la subcuenca.
- *Impermeabilidad*: Indica la fracción de superficie en la que no se produce infiltración.

A continuación se explica cómo se establecieron los valores de estos parámetros para el presente problema.



**Figura 2.23.** Esquema conceptual del SMA.

### 2.5.6 Almacenamientos máximos

El almacenamiento máximo en follaje,  $h_f$ , depende del tipo de vegetación. En base a la Tabla 2.11, se seleccionaron los siguientes valores:

- *Áreas transformadas*:  $h_f = 1$  mm para arroz y maíz (asociado a cultivos agrícolas)  
 $h_f = 3$  mm para pasturas (asociado a herbazal)
- *Malezales*:  $h_f = 4$  mm (asociado a matorral)
- *Bosque Nativo y Forestación*:  $h_f = 9$  mm (asociado a bosque)
- *Pastizales*:  $h_f = 3$  mm (asociado a herbazal)
- *Bajos*:  $h_f = 4$  mm (asociado a matorral)
- *Aguas*:  $h_f = 0$  mm

Con ellos, se calcularon los almacenamientos máximos efectivos en follaje por subcuenca, ponderándolos en base al área ocupada por cada uno, resultando los valores indicados en la Tabla 2.12.

**Tabla 2.11.** Almacenamiento máximo en follaje por tipo de vegetación.

| Tipo de vegetación  | Intercepción [mm] |
|---------------------|-------------------|
| Bosque              | 9                 |
| Matorral            | 4                 |
| Herbazal            | 3                 |
| Urbano y baldío     | 0                 |
| Desnudo             | 0                 |
| Plantación forestal | 9                 |
| Parques urbanos     | 3                 |
| Cultivos agrícolas  | 1                 |

**Tabla 2.12.** Almacenamiento máximo en follaje por subcuenca.

| Subcuenca     | Almacenamiento [mm] |
|---------------|---------------------|
| Miriñay Alto  | 3,79                |
| San Roquito   | 3,96                |
| Ayui Grande   | 3,19                |
| Quiyati       | 3,72                |
| Yaguari       | 3,53                |
| Miriñay Medio | 3,87                |
| CuruzuCuatia  | 4,94                |
| Ayui          | 3,31                |
| Yrupe         | 4,50                |
| Miriñay Bajo  | 3,95                |

El almacenamiento máximo en depresiones,  $h_d$ , depende del tipo de superficie del suelo (pavimentada o no) y de la pendiente. En base a la Tabla 2.13, para el presente problema se tomó  $h_d = 50$  mm, ya que la máxima pendiente en toda la cuenca es del 1,3 ‰.

**Tabla 2.13.** Almacenamiento máximo en depresiones por tipo y pendiente.

| Descripción        | Pendiente (%) | Almacenamiento(mm) |
|--------------------|---------------|--------------------|
| Zonas Pavimentadas |               | 3,2 – 6,4          |
| Pendientes fuertes | >30%          | 1,0                |
| Pendientes suaves  | 10 - 30%      | 12,7 – 6,4         |
| Zonas llanas       | 0 - 5%        | 50,8               |

Se estimó un espesor de 0,50 m para la Capa Superior de suelo, valor típico del horizonte radicular. Ahora bien, el almacenamiento máximo en la Zona Superior de esa capa depende de la porosidad del medio. En la Tabla 2.14 se indican valores típicos por tipo de suelo. Se consideró que el suelo pertenece al grupo hidrológico D (muy baja permeabilidad, con lo cual puede asociarse a arcilla limosa (NRCS 1999), resultando una porosidad (efectiva) de 0,4. Entonces, el almacenamiento máximo en la Zona Superior de la Capa Superior de suelo resulta de 0,2 m.

**Tabla 2.14.** Porosidad para distintos tipos de suelos (Ven Te Chow 1994).

| Clase de Suelo        | Porosidad | Porosidad efectiva |
|-----------------------|-----------|--------------------|
| Arena                 | 0,437     | 0,417              |
| Arena margosa         | 0,437     | 0,401              |
| Marga arenosa         | 0,453     | 0,412              |
| Marga                 | 0,463     | 0,434              |
| Marga limosa          | 0,501     | 0,486              |
| Marga areno-arcillosa | 0,398     | 0,330              |
| Marga arcillosa       | 0,464     | 0,309              |
| Marga limo-arcillosa  | 0,471     | 0,432              |
| Arcilla arenosa       | 0,430     | 0,321              |
| Arcilla limosa        | 0,479     | 0,423              |
| Arcilla               | 0,475     | 0,388              |

Con respecto al almacenamiento máximo en la Zona Capilar de la Capa Superior de suelo, este fue estimado en 20 mm a partir de la regla de reconocimiento mostrada en la Tabla 2.15, que indica el rango de valores esperado en función de la frecuencia de aparición de escorrentía.

**Tabla 2.15.** Almacenamiento máximo en la Zona Capilar, de acuerdo a la frecuencia observada de eventos de escorrentía.

| Frecuencia de Escorrentía | Almacenamiento máximo en Zona Capilar (mm) |
|---------------------------|--------------------------------------------|
| En todos los eventos      | 10,2 – 15,2                                |
| En eventos moderados      | 15,2 – 25,4                                |
| Solo en eventos largos    | 25,4 – 40,6                                |
| Nunca                     | > 40,6                                     |

A partir de la observación en campo se comprobó que el techo de roca del subsuelo (manto basáltico) en muchos casos aflora, lo que indica que está a poca profundidad. Entonces, se consideró una Capa Subterránea Superior con un almacenamiento máximo de sólo 0,01 m, y una Inferior inexistente (espesor nulo).

### 2.5.7 Infiltración y percolaciones máximas

En base a la Tabla 2.16, teniendo en cuenta que se trata de suelo del grupo hidrológico D, se consideró un valor de infiltración máxima de 0,25 mm/h.

**Tabla 2.16.** Infiltración máxima por tipo de suelo (NRCS 1999).

| Grupo hidrológico de suelo | Infiltración Superficial (mm/hr) |
|----------------------------|----------------------------------|
| A                          | > 7,6                            |
| B                          | 3,8 – 7,6                        |
| C                          | 1,3 – 3,8                        |
| D                          | 0 – 1,27                         |

La percolación máxima desde la Capa Superior de suelo a la Capa Subterránea se tomó igual a la conductividad hidráulica. Para su estimación se tuvo en cuenta la Tabla 2.17, y se consideró que la infiltración es muy lenta, seleccionándose el valor 0,6 mm/h.

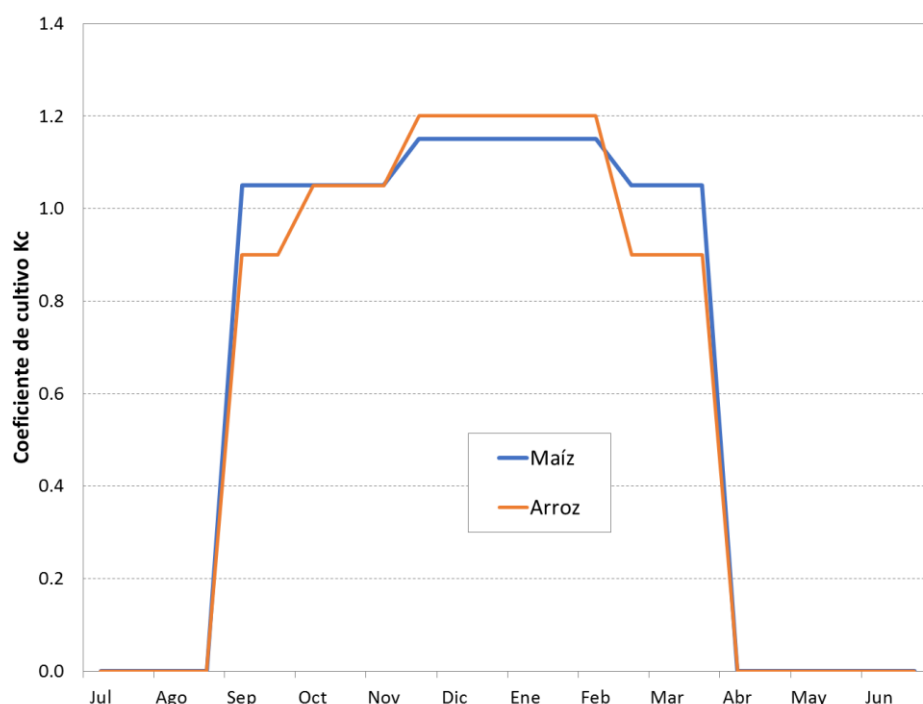
**Tabla 2.17.** Conductividad hidráulica de acuerdo a las características de filtración.

| Conductividad hidráulica [mm/h] | Características de filtración |
|---------------------------------|-------------------------------|
| < 0,8                           | Muy lenta                     |
| 0,8 – 5                         | Lenta                         |
| 5 – 20                          | Moderadamente lenta           |
| 20 – 60                         | Moderada                      |
| 60 – 120                        | Moderadamente rápida          |
| 120 – 180                       | Rápida                        |

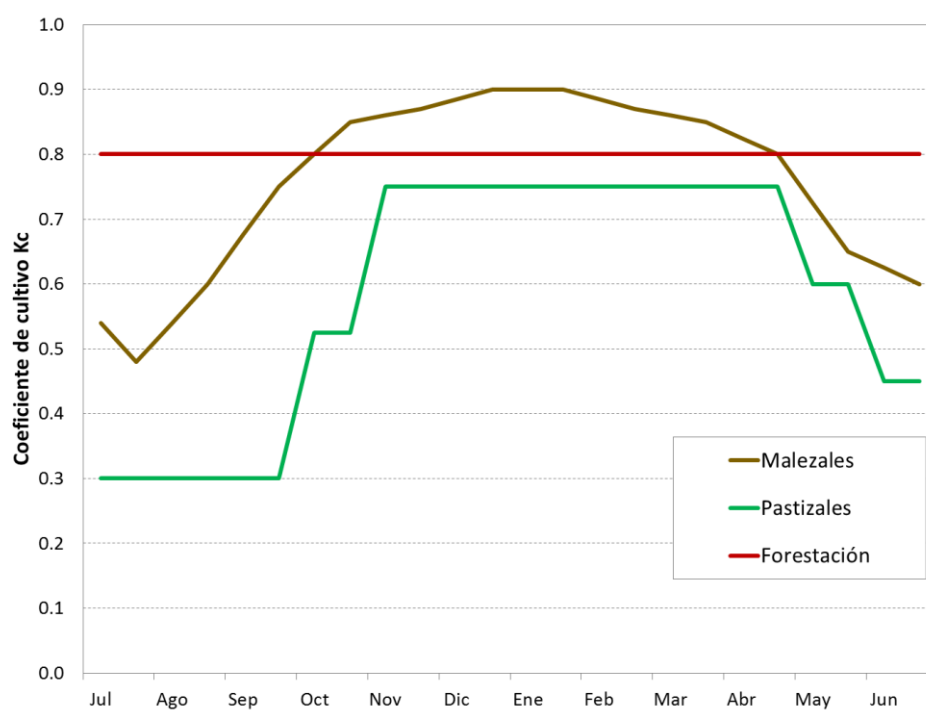
### 2.5.8 Evapotranspiración

La evapotranspiración potencial calculada con la fórmula de Penman-Monteith corresponde al valor de Referencia,  $ET_0$ , asociado a una cobertura del suelo con un cultivo hipotético de pasto, con una altura asumida de 0,12 m, con una resistencia superficial fija de  $70 \text{ s m}^{-1}$  y un albedo de 0,23. La superficie de referencia es muy similar a una superficie extensa de pasto verde, bien regada, de altura uniforme, creciendo activamente y dando sombra totalmente al suelo. La resistencia superficial fija de  $70 \text{ s m}^{-1}$  implica un suelo moderadamente seco que recibe riego con una frecuencia semanal, aproximadamente. Para tener en cuenta otra clase de cobertura, es necesario multiplicar  $ET_0$  por el coeficiente de cultivo,  $K_c$  (Allen et al. 2006). Este coeficiente tiene un valor máximo, uno mínimo, y una variación temporal de tipo estacional, dependiendo del tipo de cultivo.

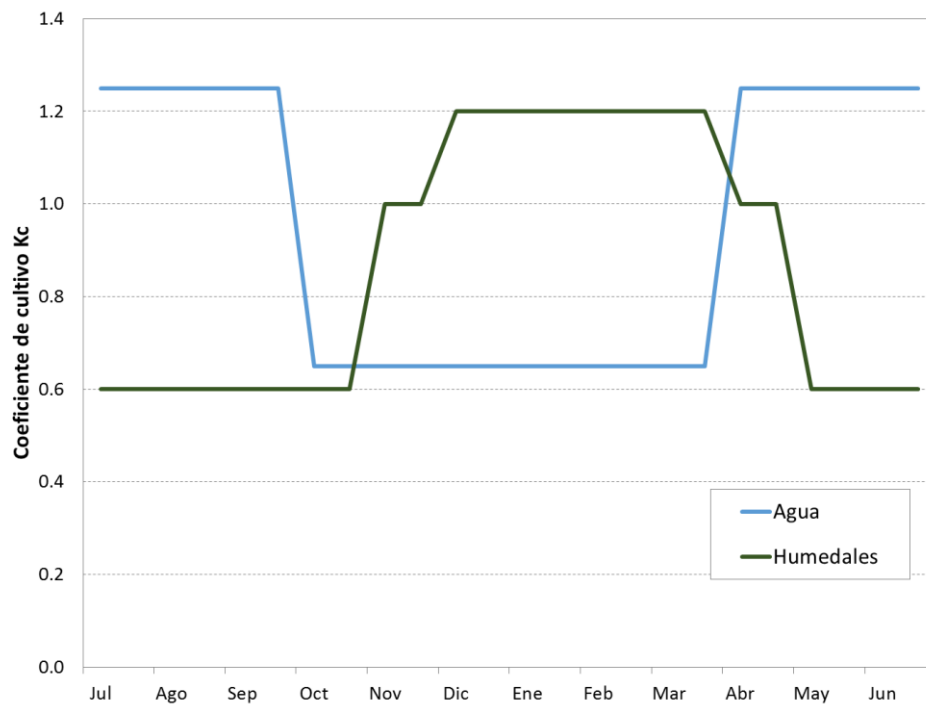
En la Figura 2.24 se muestran los ciclos estacionales de  $K_c$  construidos, en base a la información disponible, para maíz, arroz – presentes en las áreas transformadas –, pastizal – asociado a pastoreo intensivo – (Allen et al. 2006), malezal – asociado a pasto perenne – (López Avendaño 2007), forestación (Jorgensen et al. 1993), agua y humedales – que se asocia a bajos – (Allen et al. 2006). Efectuando un promedio pesado con las áreas respectivas, surgen los coeficientes de cultivo efectivos por subcuenca mostrados en la Figura 2.25.



a) Maíz y arroz

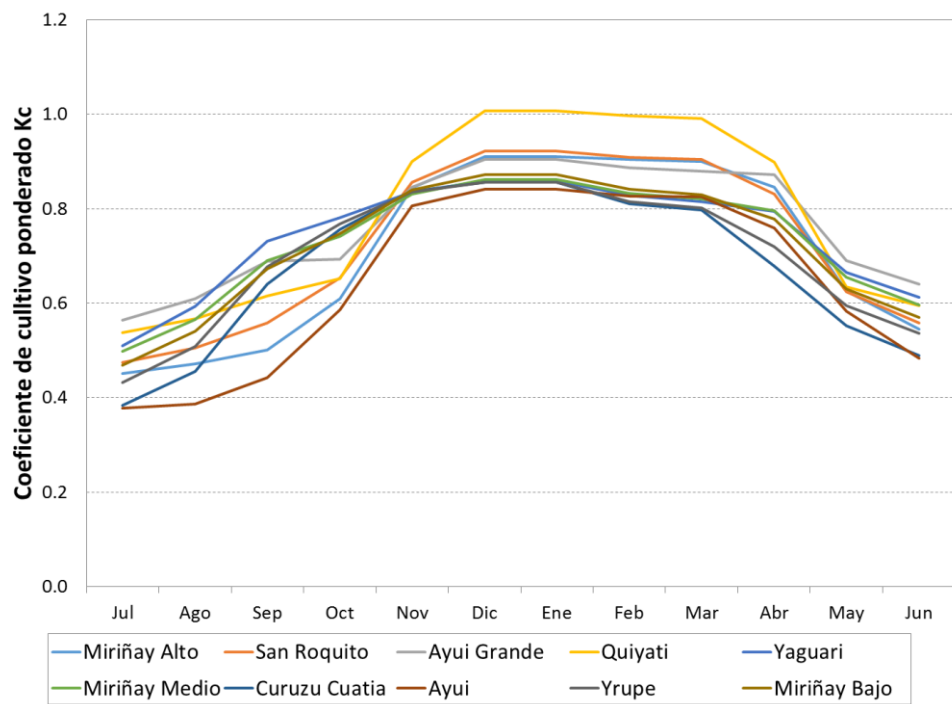


b) Malezales, pastizales y forestación



c) Agua y humedales

**Figura 2.24.** Coeficientes de cultivo para distintas coberturas.



**Figura 2.25.** Coeficientes de cultivo efectivos por subcuenca.

### 2.5.9 Escorrentía superficial

Para el transporte de la escorrentía superficial se utiliza el método del hidrograma unitario del SCS (Ven Te Chow 1994). Este requiere especificar el tiempo de retardo, sugiriendo su estimación como el 60% del tiempo de concentración de la cuenca. Este se calculó utilizando la fórmula de Kirpich (Ven Te Chow 1994), de donde surgieron los valores por subcuenca mostrados en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

**Tabla 2.18.** Escalas de tiempo de las subcuencas.

| ID | Subcuenca     | Tiempo de concentración (min) | Tiempo de retardo (min) |
|----|---------------|-------------------------------|-------------------------|
| 1  | Miriñay Alto  | 1448                          | 869                     |
| 2  | San Roquito   | 1885                          | 1131                    |
| 3  | Ayui Grande   | 1915                          | 1149                    |
| 4  | Quiyati       | 1166                          | 700                     |
| 5  | Yaguari       | 1550                          | 930                     |
| 6  | Miriñay Medio | 1751                          | 1051                    |
| 7  | CuruzuCuatia  | 1442                          | 865                     |
| 8  | Ayui          | 1066                          | 640                     |
| 9  | Yrupe         | 554                           | 333                     |
| 10 | San Roquito   | 1915                          | 1149                    |

### 2.5.10 Flujo de base

El transporte del flujo de base se efectúa mediante el método del reservorio lineal (Ven Te Chow 1994), que requiere la especificación del tiempo de retardo. Este se tomó igual al estimado para la relativamente vecina cuenca del Arroyo Zaimán, en Misiones (Sabarots Gerbec 2011), de 6 horas.

### 2.5.11 Forzantes

Los forzantes del modelo son la precipitación y la evapotranspiración potencial de referencia.

Tal como se indicó más arriba, se estableció el período 2002-2014 como ventana de tiempo de estudio, tomándosela como representativa de las condiciones actuales de la cuenca.

Si bien inicialmente se utilizaron las series temporales de precipitación diaria en las estaciones Mercedes, Monte Caseros, Paso de los Libres AERO y Paso San Roquito (con zonas de influencia establecidas en base a polígonos de Thiessen), durante la calibración se descartaron las tres primeras, adoptándose la de Paso San Roquito por proveer el mejor nivel de acuerdo (ver más abajo). A esta serie, además, se le aplicó un factor de abatimiento de 0,91, que corresponde a eventos de duración mayor a 24 horas y área de cuenca mayor a 1000km<sup>2</sup> (Zamanillo 2009).

Para la evapotranspiración potencial de referencia se utilizó la serie correspondiente a la estación Mercedes.



### 2.5.12 Tratamiento para agua embalsada

Se desarrolló una metodología aproximada para simular la operación de los embalses. Esta consiste en sustraerle a cada subcuenca el área que captura el volumen total embalsado.

Específicamente, en primer término se calcula con el modelo, para cada subcuenca, la serie temporal de caudal (sobre la ventana de tiempo 2002-2014),  $Q(t)$ , la cual se divide por el área de la subcuenca,  $A$ , para obtener la serie temporal de caudal específico por unidad de área de la cuenca,  $q(t) = Q(t)/A$ . Luego se calcula el volumen específico medio anual para esa subcuenca,  $H$ , integrando la serie temporal de caudal específico:

$$H = \frac{1}{N} \int_{2002}^{2014} q(t) dt$$

donde  $N$  es la cantidad de años (13). Entonces, si  $V$  es el volumen total embalsado en esa cuenca, el área que captura ese volumen es  $A_c = V / H$ . Se efectúa entonces una nueva corrida del modelo, pero reduciendo el área de cada subcuenca a  $A - A_c$ . En la Tabla 2.19 se indica el volumen embalsado en cada una de las subcuencas al año 2014, y la fracción de área capturada ( $A_c / A$ ).

La aplicación de esta metodología supone que el agua embalsada es consumida totalmente durante el riego, lo cual es exagerado, de modo que es de esperarse que se subestime la cantidad de agua escurrida. Además, no permite representar fielmente la evolución mensual del balance, lo cual no limita el alcance de este estudio, que apunta al balance medio anual.

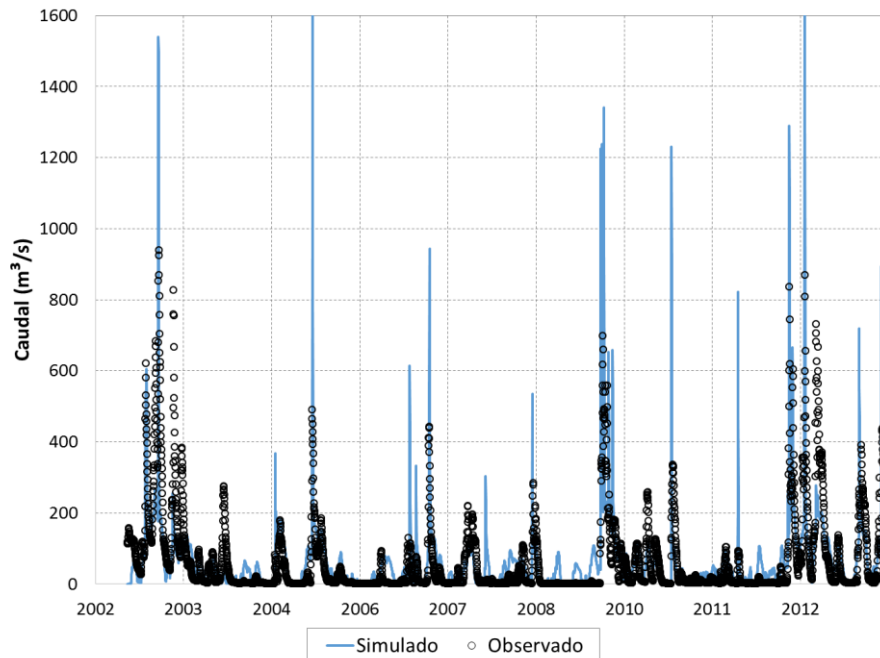
**Tabla 2.19.** Volúmenes embalsados y áreas capturadas en las subcuencas.

| ID | Subcuenca     | Volumen (hm <sup>3</sup> ) | Área capturada (%) |
|----|---------------|----------------------------|--------------------|
| 1  | Miriñay Alto  | 0                          | 0,0                |
| 2  | San Roquito   | 21                         | 3,4                |
| 3  | Ayui Grande   | 142                        | 13,5               |
| 4  | Quiyati       | 31                         | 10,2               |
| 5  | Yaguari       | 20                         | 2,3                |
| 6  | Miriñay Medio | 9                          | 1,6                |
| 7  | CuruzuCuatia  | 0                          | 0,0                |
| 8  | Ayui          | 35                         | 15,8               |
| 9  | Yrupe         | 0                          | 0,0                |
| 10 | San Roquito   | 0                          | 0,0                |

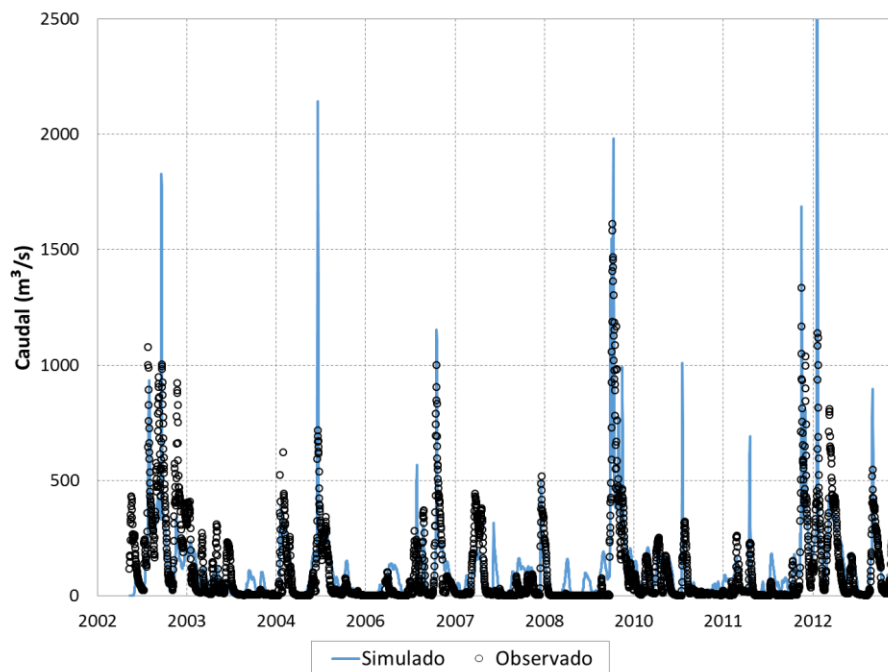
### 2.5.13 Calibración

La calibración consistió en ajustar algunos de los parámetros del modelo, dentro del rango justificable físicamente, para obtener el mejor acuerdo posible entre las series de caudal calculadas y medidas en Paso San Roquito y Paso Ledesma. Factores determinantes fueron la elección de la serie temporal de precipitación (explicado más arriba) y la tasa de infiltración.

En la Figura 2.26 se muestra la comparación con el modelo calibrado. Se observa un acuerdo general satisfactorio. Algunas de las desviaciones (exageración o no captura de algunos pulsos) están asociadas a la propia limitación de los datos (por ejemplo, representación de la precipitación como una distribución uniforme sobre toda la cuenca).



a) Paso San Roquito



b) Paso Ledesma

**Figura 2.26.** Comparación de caudales medidos y calculados.

### 2.5.14 Indicador de balance hídrico

El objetivo del modelo es proveer una medida cuantitativa del balance hídrico para cada subcuenca bajo diferentes escenarios de aprovechamiento, que incluyen combinaciones de usos del suelo y represamientos. Se adoptó como indicador el volumen medio anual escurrido a la salida de cada subcuenca, es decir

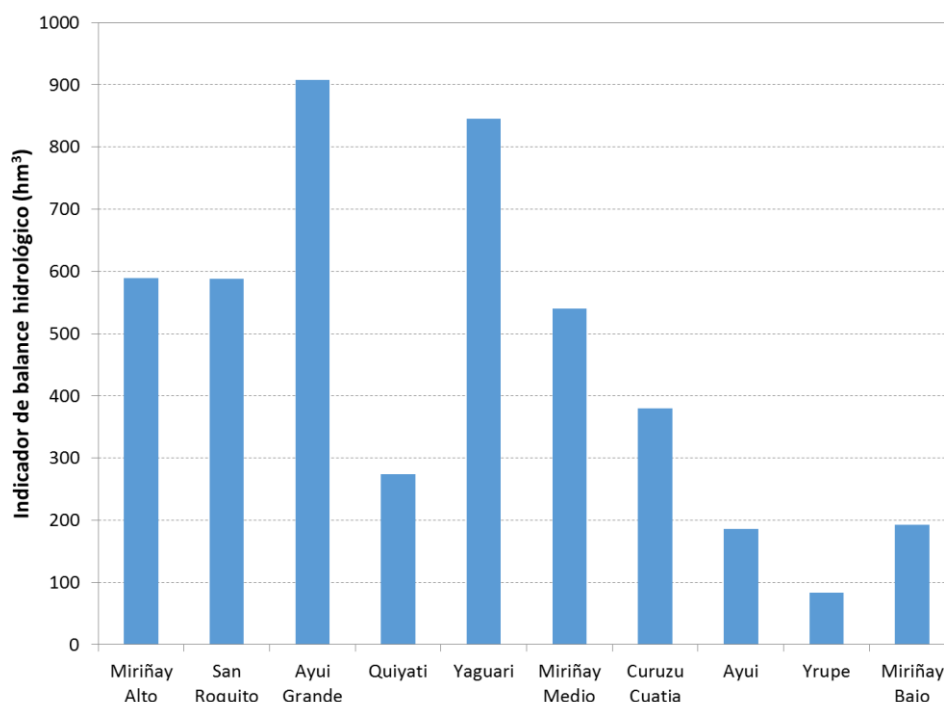
$$V_s = \frac{1}{N} \int_{2002}^{2014} Q(t) dt$$

En la Tabla 2.20 y la Figura 2.27 se muestran los valores por subcuenca de este indicador para el escenario actual. Se observa que las subcuencas que producen más agua son las de Ayuí Grande y Yaguari, en el rango 700/800 hm<sup>3</sup>; le siguen San Roquito y Miriñay Alto, en el rango 550/650 hm<sup>3</sup>; el tercer grupo es el de las subcuencas Miriñay Medio y Curuzú Cuatiá, en el rango 400/500 hm<sup>3</sup>; en un cuarto nivel aparece Quiyatí, en el rango 200/300 hm<sup>3</sup>; el resto (Ayuí, Irupé, Miriñay Bajo) producen menos de 200 hm<sup>3</sup>.

Como una forma de cuantificar el nivel de acuerdo alcanzado con la calibración, en la Tabla 2.21 se presentan los volúmenes medios anuales escurridos por el río Miriñay en la estaciones Paso San Roquito y Paso Ledesma, calculados en base a los datos observados, y se los compara con los correspondientes obtenidos con el modelo (suma de subcuencas 1 a 3 para Paso San Roquito, y de subcuencas 1 a 6 para Paso Ledesma). El acuerdo se considera satisfactorio a los fines del presente estudio, por lo que el modelo se utiliza en lo que sigue como un estimador confiable del balance hídrico medio anual.

**Tabla 2.20.** Indicador de balance hídrico para escenario actual.

| ID           | Subcuenca     | Volumen (hm <sup>3</sup> ) |
|--------------|---------------|----------------------------|
| 1            | Miriñay Alto  | 589                        |
| 2            | San Roquito   | 588                        |
| 3            | Ayui Grande   | 908                        |
| 4            | Quiyati       | 274                        |
| 5            | Yaguari       | 846                        |
| 6            | Miriñay Medio | 540                        |
| 7            | CuruzuCuatia  | 380                        |
| 8            | Ayui          | 186                        |
| 9            | Yrupe         | 84                         |
| 10           | Miriñay Bajo  | 193                        |
| <b>Total</b> |               | <b>4588</b>                |



**Figura 2.27.** Indicador de balance hídrico para escenario actual.

**Tabla 2.21.** Volúmenes medios anuales escurridos (hm³).

| Paso        | Registros | Modelo | Diferencia |
|-------------|-----------|--------|------------|
| San Roquito | 1959      | 2086   | 6,5%       |
| Ledesma     | 3330      | 3745   | 12%        |

## 2.6 Escenario Natural

La primera pregunta que puede responder el modelo es la siguiente: ¿cuál era el balance hídrico antes de que se cambiara el uso del suelo a agrícola/forestal?

Para responderla, se utilizó la misma ventana de tiempo climatológica (2002-2014), pero se redefinieron las zonas actualmente agrícolas (con la infraestructura asociada) o forestales a pastizales o malezales (en partes iguales), resultando las fracciones indicadas en la Tabla 2.22.A este escenario se lo denominó ‘Natural’. Estos cambios impactan sobre el almacenamiento máximo en follaje, que ahora tiene los valores mostrados en la Tabla 2.23, donde también se indica la variación que representa el escenario de 2014, denominado ‘Actual’, respecto del Natural. Además, se consideró ausencia de represas.

**Tabla 2.22.** Fracciones de uso del suelo por subcuenca para escenario Natural.

| ID | Nombre        | Agua (%) | Bajos (%) | Malezal (%) | Pastizal (%) | Bosque Nat. (%) | Forest. (%) | Transf. (%) |
|----|---------------|----------|-----------|-------------|--------------|-----------------|-------------|-------------|
| 1  | Miriñay Alto  | 2,1      | 47,7      | 31,7        | 18,4         | 0,1             | 0,0         | 0,0         |
| 2  | San Roquito   | 0,4      | 26,2      | 37,8        | 35,1         | 0,6             | 0,0         | 0,0         |
| 3  | Ayui Grande   | 1,9      | 10,4      | 23,0        | 61,3         | 3,3             | 0,0         | 0,0         |
| 4  | Quiyati       | 1,7      | 16,3      | 53,6        | 27,6         | 0,8             | 0,0         | 0,0         |
| 5  | Yaguari       | 1,6      | 5,9       | 7,4         | 74,9         | 10,0            | 0,0         | 0,0         |
| 6  | Miriñay Medio | 0,9      | 12,8      | 13,4        | 63,4         | 9,6             | 0,0         | 0,0         |
| 7  | CuruzuCuatia  | 0,0      | 4,5       | 2,5         | 61,7         | 31,2            | 0,0         | 0,0         |
| 8  | Ayui          | 5,4      | 5,2       | 21,1        | 64,9         | 3,5             | 0,0         | 0,0         |
| 9  | Yrupe         | 0,6      | 4,2       | 3,9         | 66,9         | 24,4            | 0,0         | 0,0         |
| 10 | Miriñay Bajo  | 1,6      | 12,0      | 11,8        | 64,2         | 10,5            | 0,0         | 0,0         |

**Tabla 2.23.** Almacenamiento máximo en follaje por subcuenca para escenario Natural

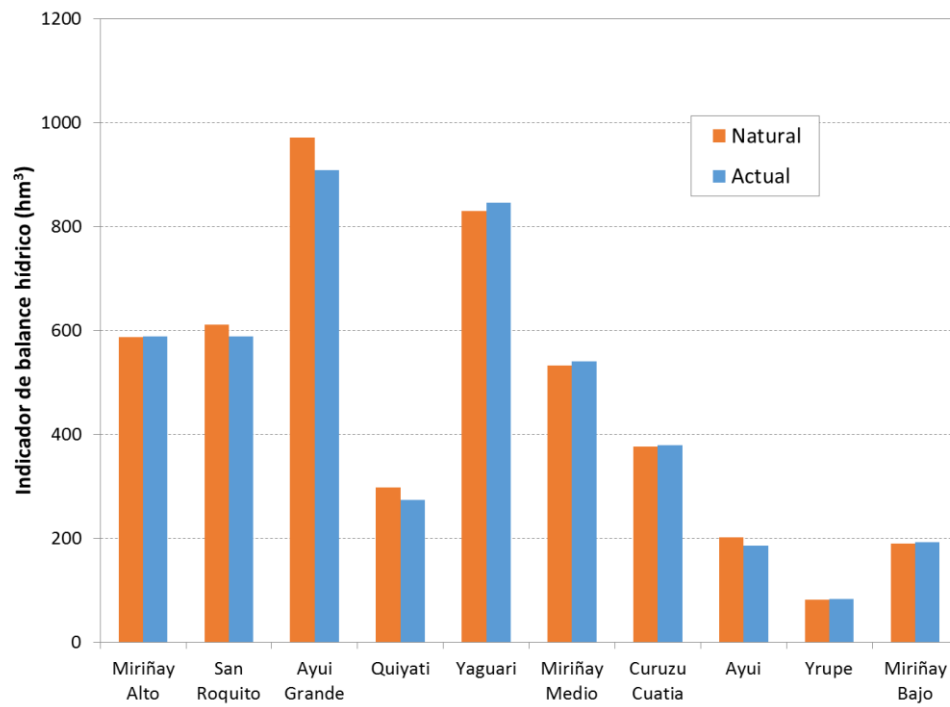
| ID | Subcuenca     | Almacenamiento [mm] | Variación Esc. Actual [%] |
|----|---------------|---------------------|---------------------------|
| 1  | Miriñay Alto  | 3,74                | 1,3                       |
| 2  | San Roquito   | 3,66                | 8,2                       |
| 3  | Ayui Grande   | 3,48                | -8,3                      |
| 4  | Quiyati       | 3,69                | 0,8                       |
| 5  | Yaguari       | 3,69                | -4,3                      |
| 6  | Miriñay Medio | 3,81                | 1,6                       |
| 7  | CuruzuCuatia  | 4,94                | 0,0                       |
| 8  | Ayui          | 3,31                | 0,0                       |
| 9  | Yrupe         | 4,53                | -0,7                      |
| 10 | Miriñay Bajo  | 3,82                | 3,4                       |

En la Tabla 2.24 y la Figura 2.28 se presentan los indicadores de balance hídrico para este escenario, junto con la variación que el escenario actual representa frente a él. Se observa que, debido al cambio de uso de suelo, se han producido variaciones de distinto signo y magnitud en las diferentes subcuencas. Esto sucede porque existen procesos contrapuestos: el embalsamiento de agua reduce el volumen escurrido; el reemplazo de pastizales o malezales por explotación agrícola conduce a una disminución del volumen anual evapotranspirado y, en consecuencia, a un aumento de la escorrentía; en cambio, el reemplazo de pastizales o malezales por forestación produce el efecto contrario, particularmente por el aumento del almacenamiento en el follaje. Para proceder al análisis de los resultados, en la Figura 2.29 se resumen los cambios operados entre los escenarios Natural y Actual, en términos de los aumentos relativos de área agrícola, de área forestal, de área capturada por los embalses (indicador del volumen embalsado), y de indicador de balance hídrico. Se observa que, debido a las intervenciones sobre la cuenca:

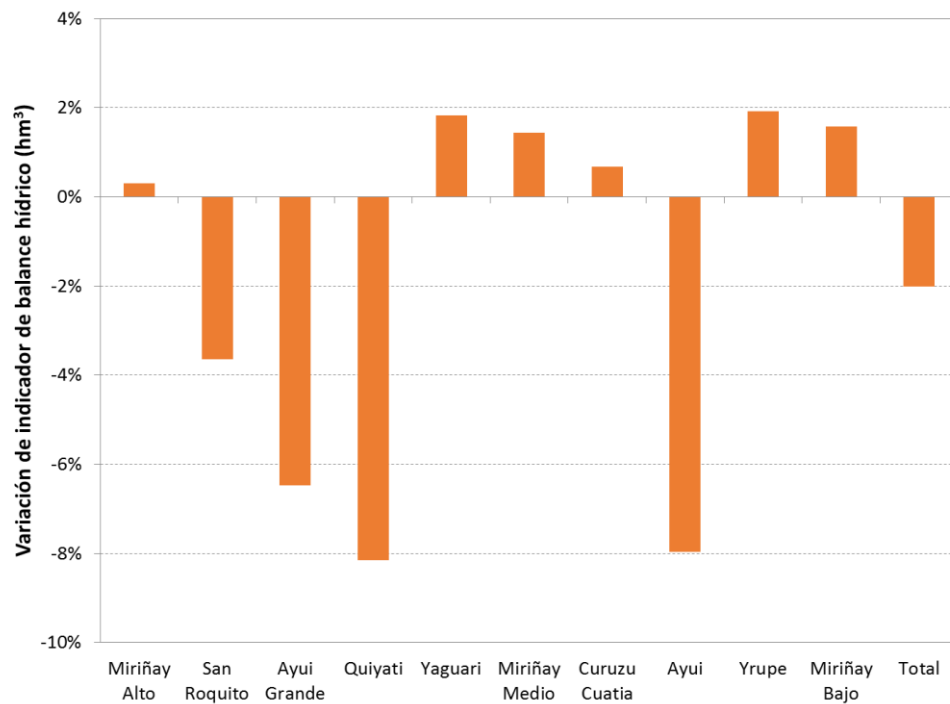
- Ha disminuido el indicador de balance hídrico en las subcuencas San Roquito, Ayuí Grande, Quiyati y Ayuí, y ha aumentado en el resto de las subcuencas.
- Las disminuciones han sido más significativas en magnitud que los aumentos.
- Las mayores disminuciones del indicador de balance hídrico, de más del 5%, se dieron en las subcuencas Ayuí Grande, Quiyati y Ayuí, debido principalmente a la gran cantidad de embalses construidos, con los que se captura no menos del 10% del área.
- La disminución en la subcuenca de San Roquito, de más del 3%, de debe en parte a la construcción de embalses, y en parte a la forestación.
- Donde se han producido incrementos del indicador de balance hídrico, éstos se deben al aumento de la agriculturización en la subcuenca (indicado por el aumento de área transformada), sin que ello haya sido acompañado de volúmenes embalsados significativos.

**Tabla 2.24.** Indicador de balance hídrico para escenario Natural.

| ID           | Subcuenca     | Volumen (hm <sup>3</sup> ) | Variación Esc. Actual |
|--------------|---------------|----------------------------|-----------------------|
| 1            | Miriñay Alto  | 587                        | 0.3%                  |
| 2            | San Roquito   | 611                        | -3.6%                 |
| 3            | Ayui Grande   | 971                        | -6.5%                 |
| 4            | Quiyati       | 299                        | -8.2%                 |
| 5            | Yaguari       | 830                        | 1.8%                  |
| 6            | Miriñay Medio | 533                        | 1.4%                  |
| 7            | CuruzuCuatia  | 377                        | 0.7%                  |
| 8            | Ayui          | 202                        | -8.0%                 |
| 9            | Yrupe         | 82                         | 1.9%                  |
| 10           | Miriñay Bajo  | 190                        | 1.6%                  |
| <b>Total</b> |               | 4682                       | -2.0%                 |

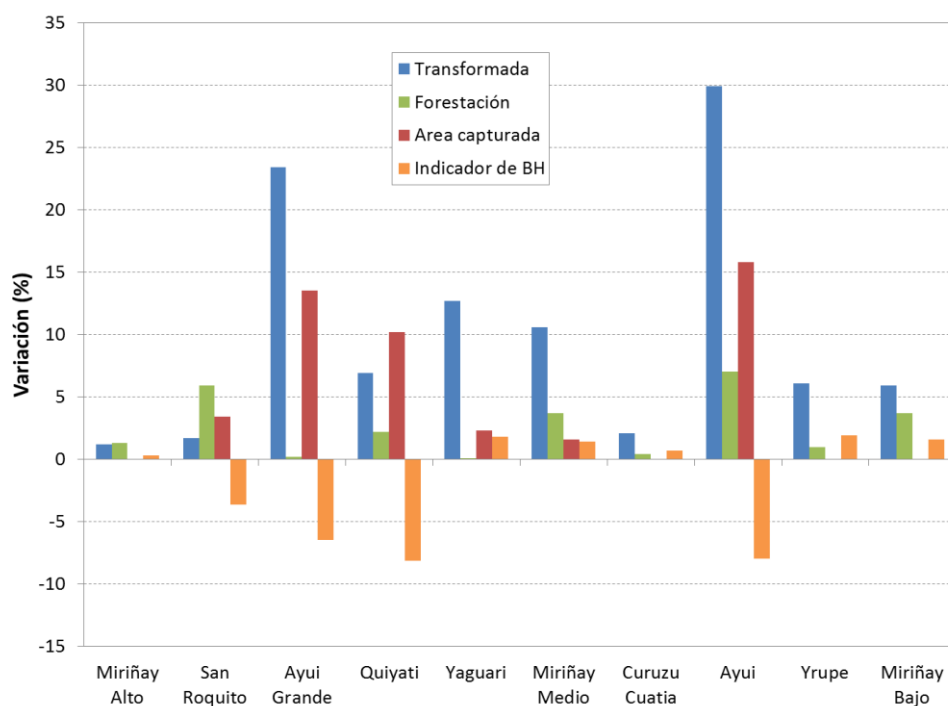


a) Indicador de balance hídrico.



b) Variación que representa el escenario Actual respecto del Natural.

**Figura 2.28.** Balance hídrico para escenario Natural.



**Figura 2.29.** Variaciones del escenario Actual respecto del Natural.



### 3 COBERTURAS DEL SUELO 2000-2014

---

En este apartado se analizan los mapas de coberturas del suelo y los cambios producidos entre los años 2000 y 2014, en la Cuenca del Río Miriñay. Puntualmente se evalúa la transformación de ambientes naturales debido a la expansión agropecuaria (cultivo de arroz y pasturas implantadas) y forestal.

#### 3.1 Metodología

Para la definición del área de estudio del presente trabajo, se tomó la delimitación de la Cuenca del Río Miriñay dada por el Ministerio de Trabajo y Turismo de la Provincia de Corrientes, Área de Cartografía y SIG (<http://www.geomat-maps.com.ar/mptt/map.phtml>).

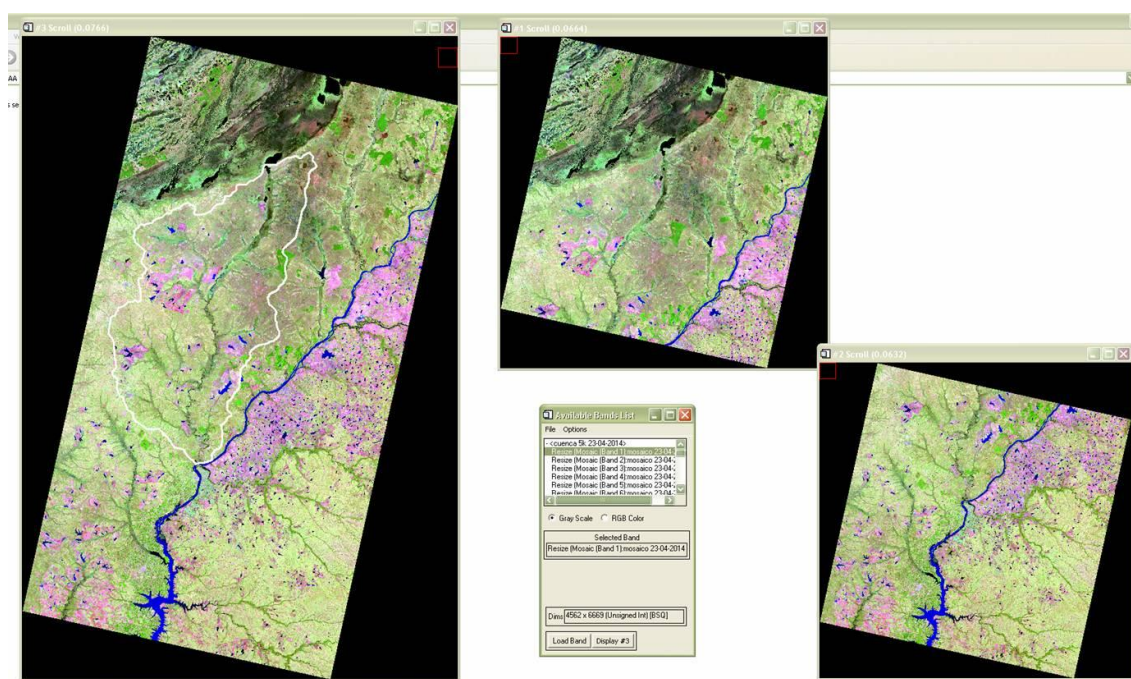
Seguidamente se procedió a la selección de las distintas imágenes satelitales de la cuenca. Por su versatilidad en este tipo de estudios (área cubierta, tamaño de píxel, continuidad en el tiempo, número de bandas del espectro electromagnético visible e IR, tiempo de revisita, etc.) se eligió trabajar con imágenes de la serie de satélites Landsat.

Para cubrir toda el área de la Cuenca del Miriñay es necesario trabajar con dos imágenes Landsat, siendo sus ubicaciones Path- Row, 225-80 la que abarca el centro y norte de la cuenca y 225-81 la del centro y sur (Tabla 3.1)

**Tabla 3.1.** Imágenes Landsat 8 utilizadas en el estudio de la Cuenca del Miriñay. Las imágenes fueron bajadas del sitio de la NASA (<http://earthexplorer.usgs.gov/>)

| Fecha      | Sensor    | Path | Rows    | Bandas            |
|------------|-----------|------|---------|-------------------|
| 18/11/2000 | Landsat 7 | 225  | 80 y 81 | 1; 2; 3; 4; 5 y 7 |
| 30/04/2005 | Landsat 5 | 225  | 80 y 81 | 1; 2; 3; 4; 5 y 7 |
| 28/04/2010 | Landsat 5 | 225  | 80 y 81 | 1; 2; 3; 4; 5 y 7 |
| 23/04/2014 | Landsat 8 | 225  | 80 y 81 | 2; 3; 4; 5; 6 y 7 |

Con el programa ENVI 3.5 se realizó el estaqueado de las distintas bandas para el armado unificado de cada imagen y posteriormente el mosaico de las imágenes de la misma fecha, para obtener una sola por cada fecha (Figura 3.1). Todas las imágenes están georreferenciadas por lo que fueron fácilmente incluidas en un Sistema de Información Geográfica (SIG). En dicho SIG se incluyó información complementaria del mismo sitio del Ministerio de Trabajo y Turismo, entre otras las capas de Departamentos, Hidrografía, Bosques Nativos, AICAS, Parques y Reservas, Rutas, Líneas eléctricas, etc.

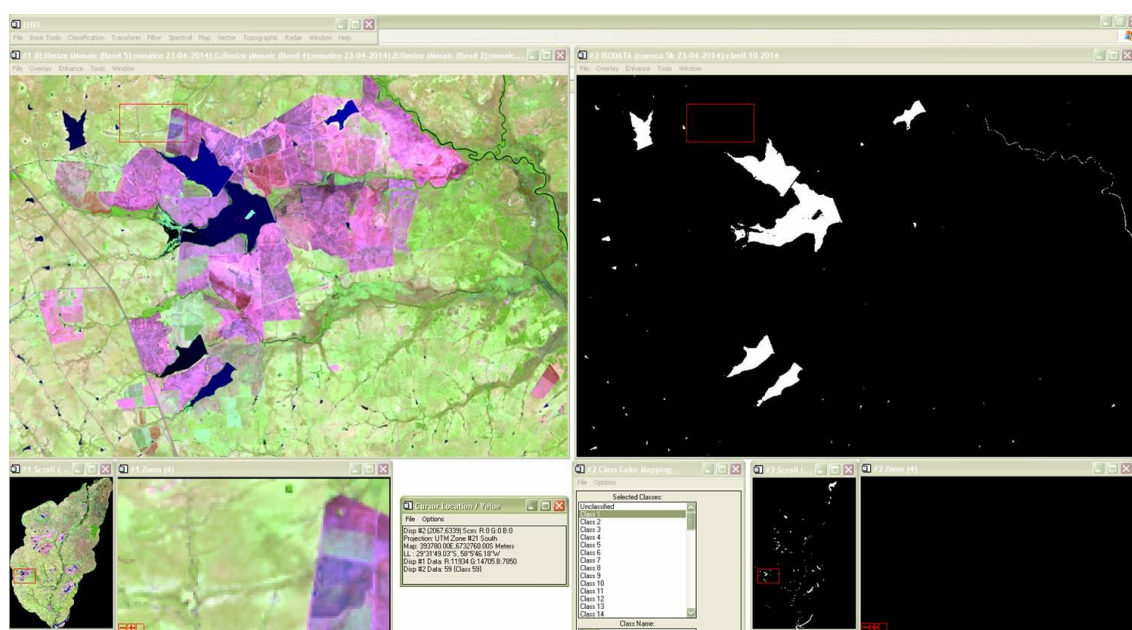


**Figura 3.1.** Imágenes Landsat 8 del 23 de abril del 2014 utilizadas para armar el mosaico; en blanco el área de la Cuenca del Río Miriñay.

Para la obtención de los mapas y coberturas del suelo se realizó una aproximación mixta de clasificación digital de imágenes (estadística de bandas) y de visualización y mapeo manual. Al área de la cuenca se le realizó un buffer de 5 km, lo que permitió considerar en determinados análisis la cobertura y actividades del entorno inmediato.

Las coberturas naturales (pastizales, malezales, pajonal-bañado, etc.) para los años 2000 y 2014 se obtuvieron a partir de clasificaciones digitales de las imágenes satelitales. Para realizar las clasificaciones digitales se utilizó el programa ENVI 3.5 (Figura 3.2). Se

procedió, para cada fecha considerada, a cortar el mosaico de imágenes por el límite de la cuenca del Río Miriñay, generando a su vez una máscara de clasificación para el área de la cuenca. La clasificación se realizó con 80 clases, 20 iteraciones y una convergencia del 98%, utilizando el algoritmo Isodata. Para ayudar en la evaluación y asignación de las distintas clases digitales a las unidades de ambiente y vegetación, se confeccionó un dendograma con la estadística de las clases, utilizando el programa Infostat (análisis multivariado de conglomerados). Aquellas clases de cobertura natural que no pudieron ser identificadas con precisión, se unificaron en “misceláneas”; el porcentaje que representa este grupo no es significativo para el área de la cuenca (0,7% para el año 2000 y 0,2% para el 2014). Finalmente, para quitarle el ruido producido por píxeles aislados, a la clasificación se le realizó el “clump de 5x5” y el “sieve de 10”.



**Figura 3.2.** Clasificación digital del mosaico del año 2014.

Para la obtención de las coberturas de usos antrópicos (cultivos agrícolas, pasturas implantadas, forestaciones, embalses y urbanizaciones) se realizó la interpretación visual de las imágenes, y la identificación y digitalización manual de dichas coberturas, a escala 1:100.000, utilizando el programa QGIS (Figura 3.3). Se. Dada la extensión de la cuenca, la escala de trabajo y la rotación de actividades que se da en un mismo lote, existe una única cobertura de arroz/pastura que abarca el área destinada al arroz, a las pasturas implantadas y su infraestructura. Para el mapeo de los embalses asociados a la producción arrocería, sólo se consideraron aquellos de superficies mayores a 20 hectáreas (no se consideraron los tajamares o los embalses menores a esa superficie). En el caso de las forestaciones, se mapearon aquellas plantaciones de superficies mayores a 10 ha, para incluir sólo a las asociadas la actividad forestal.

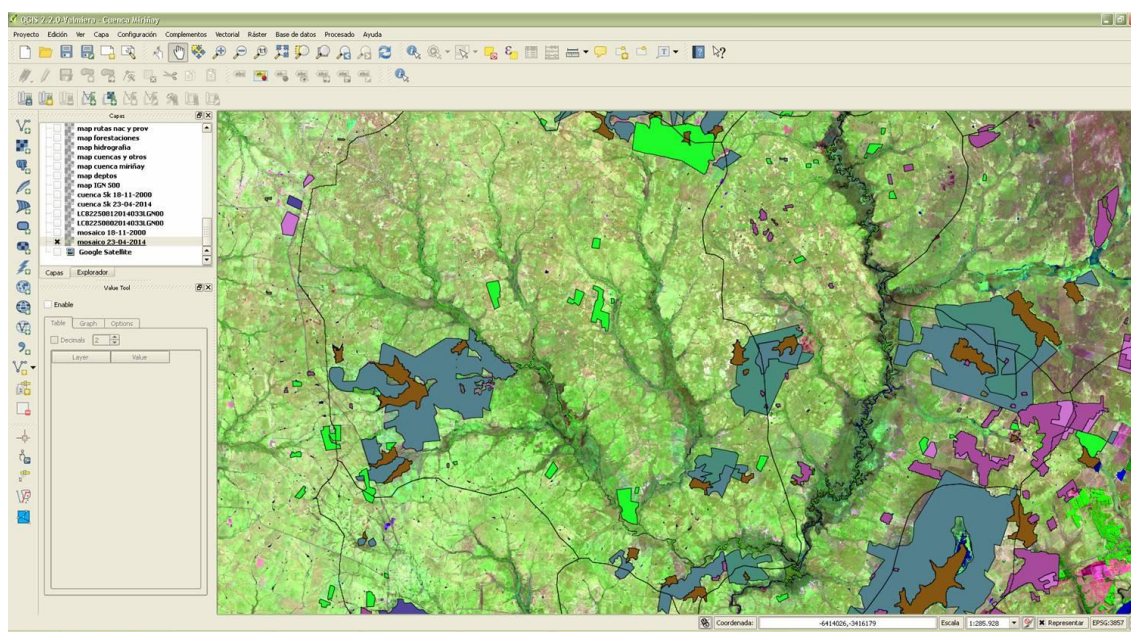
Para la cobertura de bosques nativos se utilizó información oficial provista por la Dirección de Bosques de la Provincia de acuerdo a la ley nacional 26.331.

La versión final de los mapas 2000 y 2014 se obtuvo cruzando estos productos (coberturas naturales y de usos antrópicos), convirtiendo previamente a formato raster las coberturas



de usos antrópicos y de bosques nativos. Por último se pasó el mapa completo de formato raster a vector. Para los años 2005 y 2010 se presenta el mapeo de las coberturas de usos antrópicos.

Para los cálculos de superficies de las distintas coberturas, y el análisis de los ambientes transformados, se utilizó el programa Q-Gis. Para evaluar la distribución de la expansión agropecuaria y forestal, se realizó un análisis por subcuencas.



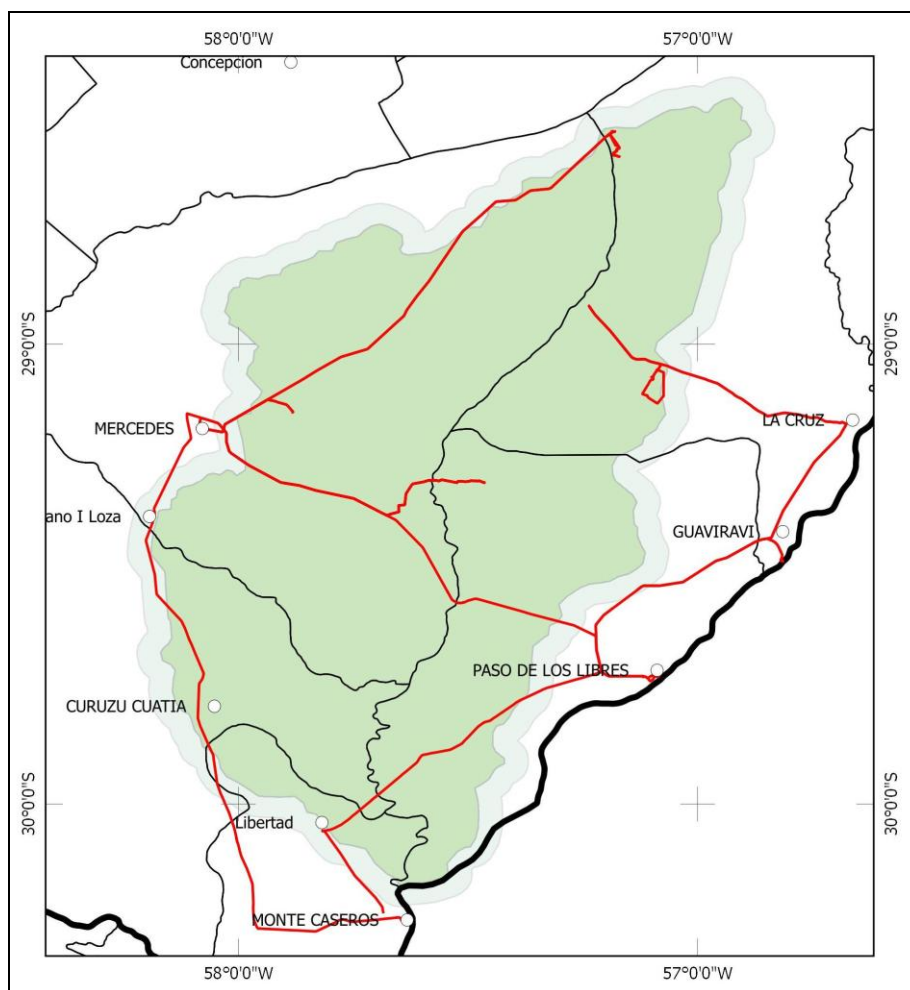
**Figura 3.3.** Mapeo manual de las coberturas de uso antrópico.

Para realizar un chequeo general del mapa 2014 y poder visitar ciertos sitios importantes y entrevistarse con actores estratégicos, se realizó un viaje de campo por el área de estudio entre los días 15 al 19 de septiembre de 2014 (Figura 3.4).

Dicha recorrida permitió además tener una mirada integral tanto del área de la cuenca como de las distintas actividades que se realizan. Durante el viaje se visitaron establecimientos agropecuarios (arroz y ganadería) y forestales, además de tener reuniones con actores clave de dichas actividades productivas.

Un dato a remarcar en cuanto al chequeo de las áreas transformadas con cultivos surge al considerar la superficie de arroz, otros cultivos, pasturas e infraestructura, estimada por la Asociación Correntina de Plantadores de Arroz (ACPA) para la cuenca en el orden de las 120.000 ha; en tanto la superficie que surge del mapa 2014 es de aprox. 123.700 ha, lo que muestra un ajuste muy bueno en estas capas.

Una vez chequeado el mapa del año 2014, este fue usado como fuente de información adicional y base para el mapa del 2000 y los mapeos de las coberturas de usos antrópicos.

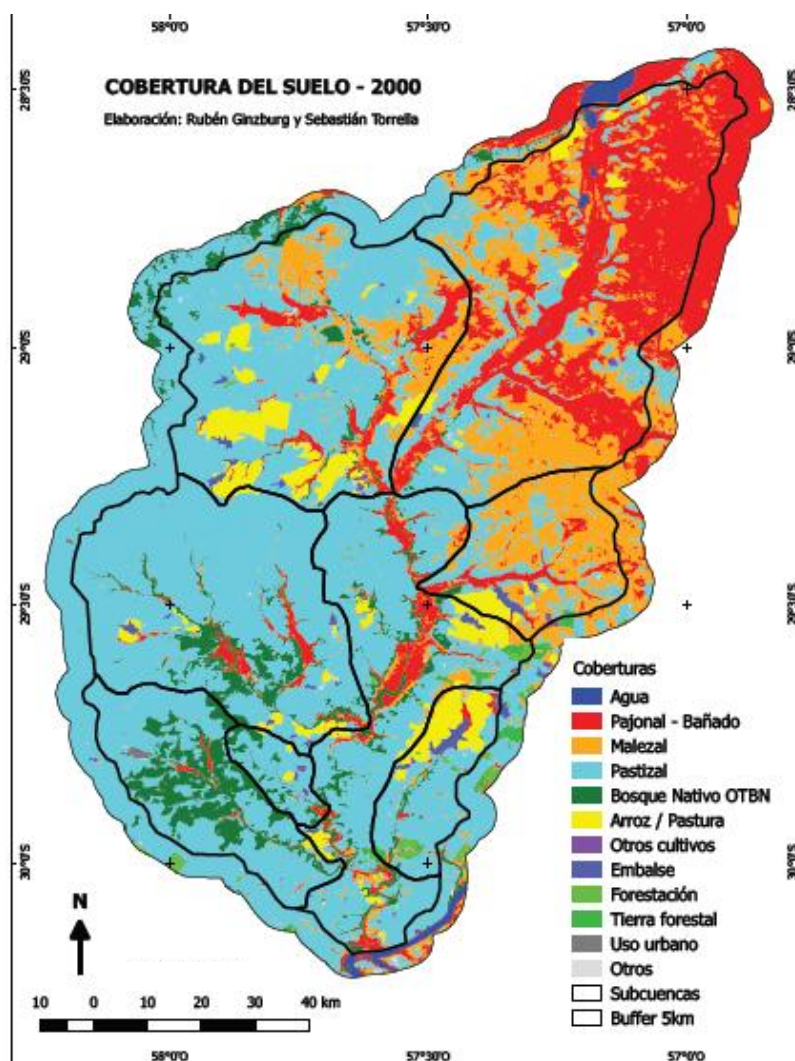


**Figura 3.4.** Viaje y chequeo de campo realizado por la cuenca.

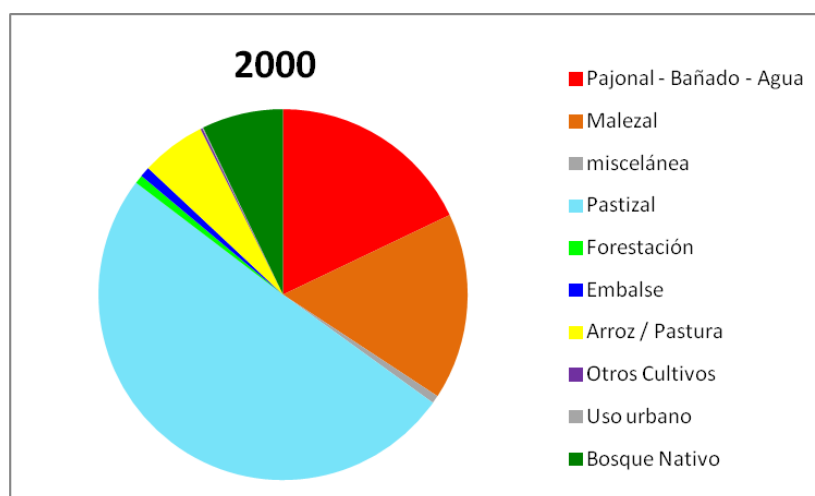
## 3.2 Mapas y coberturas del suelo de los años 2000-2014

### 3.2.1 Mapa y coberturas del suelo, año 2000

La figura 3.5 muestra el mapa de coberturas del suelo de la Cuenca del Miriñay, en el año 2000. Puede observarse la amplia distribución de los pastizales, ocupando principalmente la margen derecha del Miriñay y la parte centro-sur de la margen izquierda. El área de malezales abarca la porción noroeste de la cuenca (al norte de los esteros Pairirí y del Ayuí) y el sector centro-norte de la margen izquierda del Río Miriñay. Cabe aclarar que el sector más septentrional aparece como de pajonal-bañado, debido a la combinación de la escasísima pendiente que posee la zona y las condiciones de anegamiento que seguramente poseía el área al momento de la imagen, lo que hace que el malezal aparezca con una reflectividad muy similar (por contenido de agua) al pajonal-bañado. La unidad de pajonal-bañado abarca a las zonas de la planicie de inundación de los ríos (más angosta para el caso de pequeños cursos y de hasta algunos miles de metros de ancho para sectores del Río Miriñay) y a zonas muy planas y anegables como los esteros en las nacientes.



**Figura 3.5.** Mapa de coberturas del suelo de la Cuenca del Río Miriñay, año 2000.



**Figura 3.6.** Proporción de las distintas coberturas del suelo de la Cuenca del Río Miriñay, año 2000.

Los pastizales ocupan 50,4% del área total de la cuenca, los malezales 16,3%, pajonal-bañado 17,9% y los bosques nativos 7,1% (figura 3.6). Las áreas donde la cobertura natural ha sido transformada representan 7,6% del total.

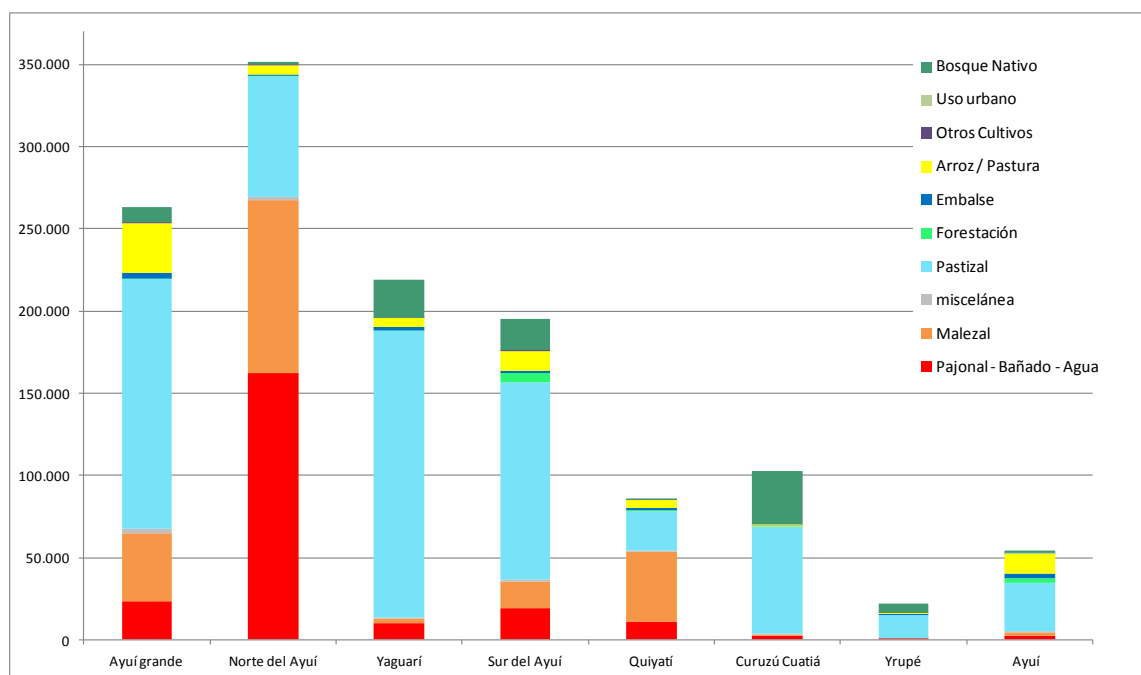
Al año 2000, las áreas transformadas alcanzan las 97.700 ha en la cuenca, siendo 73.150 ha de arroz y pasturas implantadas (y su infraestructura), 11.460 ha ocupadas por embalses y 9.660 ha por forestaciones (Tabla 3.2).

**Tabla 3.2.** Superficies (hectáreas) de las distintas coberturas del suelo, por subcuenca, año 2000.

|                         | Ayuí grande | Norte del Ayuí | Yaguari | Sur del Ayuí |
|-------------------------|-------------|----------------|---------|--------------|
| Pajonal - Bañado - Agua | 23.674      | 161.949        | 9.904   | 19.519       |
| Malezal                 | 41.124      | 105.435        | 2.989   | 15.997       |
| miscelánea              | 2.684       | 2.393          | 751     | 1.235        |
| Pastizal                | 151.959     | 73.183         | 174.561 | 120.005      |
| Forestación             | 483         | 33             | 90      | 5.298        |
| Embalse                 | 3.399       | 523            | 1.793   | 1.367        |
| Arroz / Pastura         | 30.335      | 5.906          | 5.868   | 12.464       |
| Otros Cultivos          | 534         | 613            | 21      | 470          |
| Uso urbano              | 0           | 137            | 0       | 0            |
| Bosque Nativo           | 8.787       | 1.166          | 22.922  | 19.159       |
| Total                   | 262.979     | 351.338        | 218.899 | 195.514      |

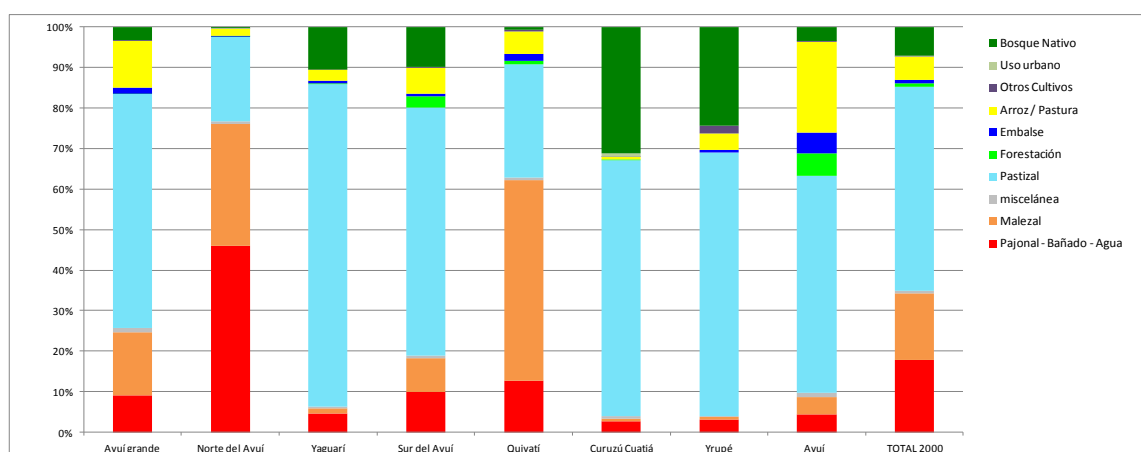
|                         | Quiyatí | Curuzú Cuatiá | Yrupé  | Ayuí   | TOTAL 2000 |
|-------------------------|---------|---------------|--------|--------|------------|
| Pajonal - Bañado - Agua | 11.039  | 2.686         | 668    | 2.350  | 231.789    |
| Malezal                 | 42.494  | 673           | 184    | 2.413  | 211.309    |
| miscelánea              | 561     | 736           | 39     | 568    | 8.967      |
| Pastizal                | 24.145  | 64.770        | 14.374 | 29.123 | 652.120    |
| Forestación             | 633     | 145           | 0      | 2.977  | 9.659      |
| Embalse                 | 1.494   | 0             | 125    | 2.758  | 11.459     |
| Arroz / Pastura         | 4.870   | 535           | 886    | 12.286 | 73.150     |
| Otros Cultivos          | 226     | 47            | 421    | 28     | 2.360      |
| Uso urbano              | 0       | 892           | 0      | 52     | 1.081      |
| Bosque Nativo           | 678     | 31.980        | 5.388  | 1.879  | 91.959     |
| Total                   | 86.140  | 102.464       | 22.085 | 54.434 | 1.293.853  |

Para el año 2000, la subcuenca del Ayuí Grande es la que posee mayor superficie destinada al arroz/pasturas, con más de 30.300 ha, y consecuentemente la de mayor superficie de embalses, 3.400 ha (Figura 3.7 y Tabla 3.2). Le sigue la subcuenca del Sur del Ayuí Grande, con 12.460 ha de arroz/pasturas y 1.367 ha de embalses; y la subcuenca del Ayuí (sobre la margen izquierda del Río) con 12.280 ha de arroz/pasturas y 2.758 ha de embalses. La actividad forestal presenta un mayor desarrollo en cuanto a superficies implantadas en las subcuencas del Sur del Ayuí Grande, con casi 5.300 ha de plantaciones, y del Ayuí con casi 3.000 ha.



**Figura 3.7.** Superficies (hectáreas) de las distintas coberturas del suelo, por subcuenca, año 2000.

Si bien el total de áreas transformadas en toda la Cuenca del Miriñay apenas supera el 7,5%, es importante atender lo que sucede puntualmente en la subcuenca del Ayuí (sobre la margen izquierda del Río Miriñay), donde este porcentaje alcanza 33% al año 2000. Porcentualmente esta subcuenca posee un desarrollo importante en cuanto a las superficies de embalses, de arroz/pasturas y de forestaciones (Figura 3.8).

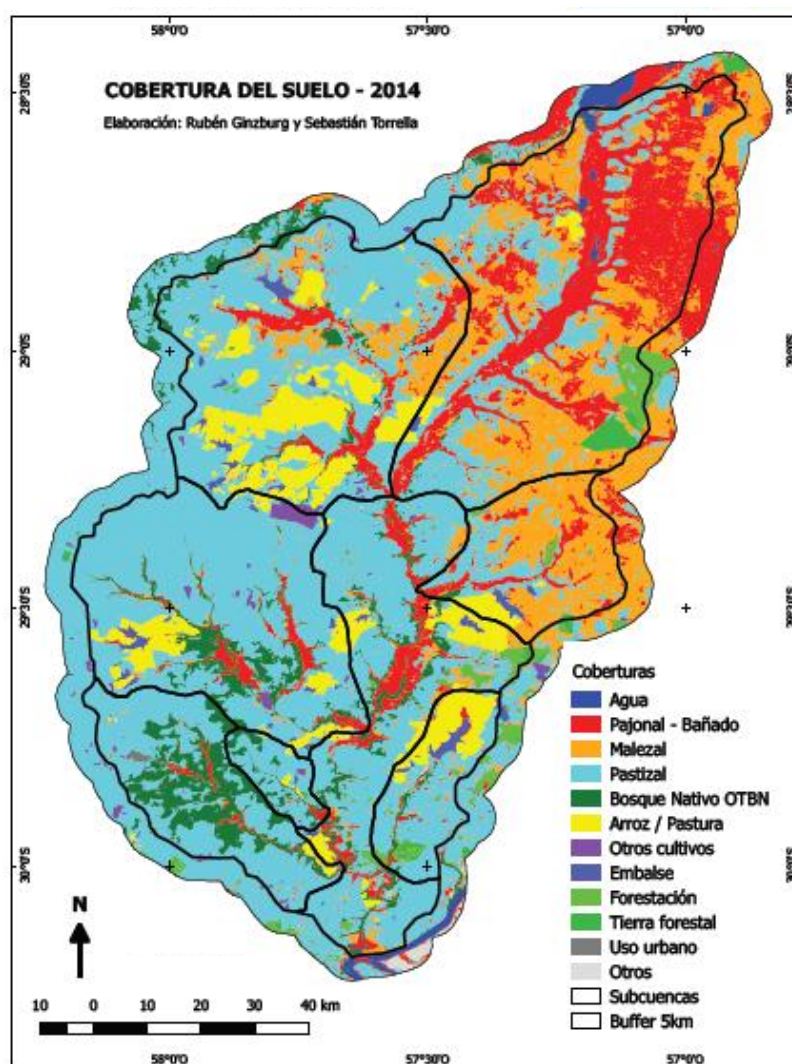


**Figura 3.8.** Porcentaje ocupado en cada subcuenca, por las distintas coberturas del suelo, año 2000.



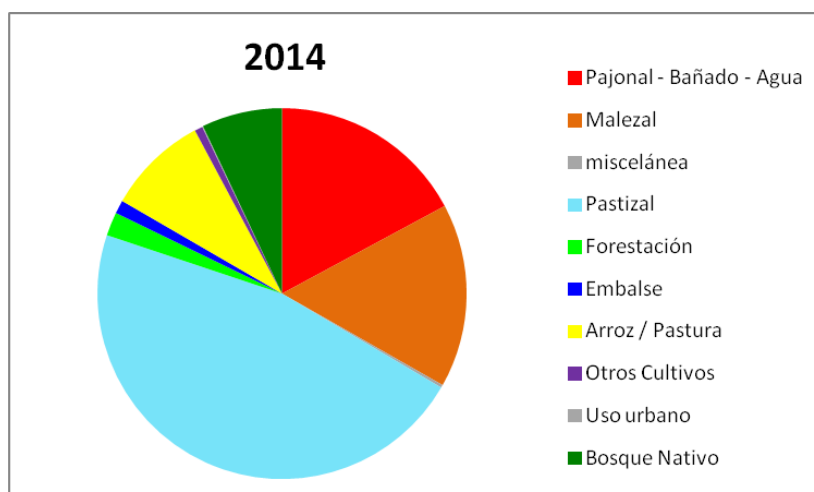
### 3.2.2 Mapa y coberturas del suelo, año 2014

En la figura 3.9 se muestra el mapa de coberturas del suelo de la cuenca, en el año 2014. Puede observarse una mayor superficie destinada a cultivos, sean estos arroz, pasturas implantadas o plantaciones forestales.



**Figura 3.9.** Mapa de coberturas del suelo de la Cuenca del Río Miriñay, año 2014.

Al año 2014 los pastizales ocupan 46,6% del área total de la cuenca, pajonal-bañado 17,1%, los malezales 16,1% y los bosques nativos 7% (figura 3.10). Las áreas transformadas representan 12,9% del total.



**Figura 3.10.** Proporción de las distintas coberturas del suelo de la Cuenca del Río Miriñay, año 2014.

El área ocupada con arroz/pasturas implantadas (y su infraestructura) al año 2014 es de 114.260 ha (Tabla 3.3), la de embalses de 15.058 ha y la de plantaciones forestales 26.745 ha, que sumadas a la de otros cultivos y de uso urbano, alcanzan un total de 166.260 ha.

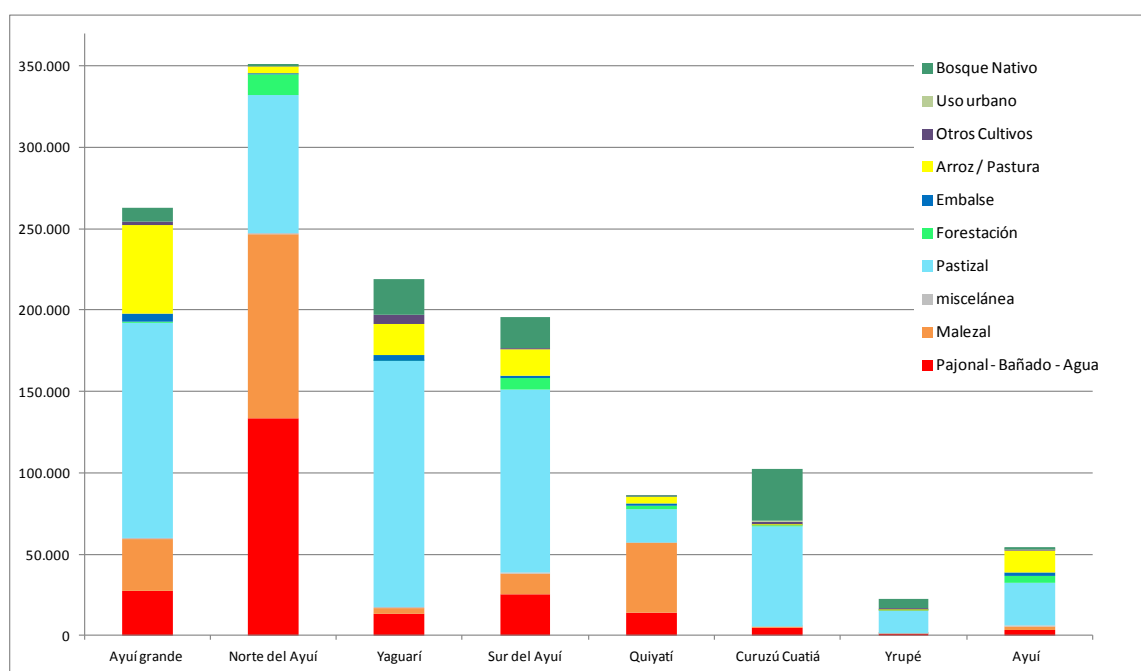
**Tabla 3.3.** Superficies (hectáreas) de las distintas coberturas del suelo, por subcuenca, año 2014.

|                         | Ayuígrande | Norte del Ayuí | Yaguarí | Sur del Ayuí |
|-------------------------|------------|----------------|---------|--------------|
| Pajonal - Bañado - Agua | 27.439     | 133.718        | 13.026  | 25.009       |
| Malezal                 | 31.448     | 113.073        | 3.986   | 13.115       |
| miscelánea              | 1.017      | 670            | 230     | 528          |
| Pastizal                | 132.112    | 85.039         | 151.745 | 112.205      |
| Forestación             | 649        | 12.494         | 131     | 7.179        |
| Embalse                 | 4.959      | 523            | 3.539   | 1.636        |
| Arroz / Pastura         | 54.872     | 4.159          | 19.113  | 16.052       |
| Otros Cultivos          | 1.695      | 360            | 5.158   | 631          |
| Uso urbano              | 0          | 137            | 0       | 0            |
| Bosque Nativo           | 8.787      | 1.166          | 21.973  | 19.159       |
| Total                   | 262.978    | 351.339        | 218.901 | 195.514      |

|                         | Quiyatí | Curuzú Cuatía | Yrupé  | Ayuí   | TOTAL 2014 |
|-------------------------|---------|---------------|--------|--------|------------|
| Pajonal - Bañado - Agua | 14.067  | 4.617         | 933    | 3.003  | 221.812    |
| Malezal                 | 42.925  | 811           | 139    | 2.608  | 208.105    |
| miscelánea              | 179     | 108           | 11     | 386    | 3.129      |
| Pastizal                | 20.491  | 61.460        | 14.043 | 26.445 | 603.540    |
| Forestación             | 1.853   | 432           | 215    | 3.792  | 26.745     |
| Embalse                 | 1.494   | 25            | 125    | 2.757  | 15.058     |
| Arroz / Pastura         | 4.429   | 1.232         | 917    | 13.486 | 114.260    |
| Otros Cultivos          | 24      | 907           | 314    | 26     | 9.115      |
| Uso urbano              | 0       | 892           | 0      | 52     | 1.081      |
| Bosque Nativo           | 678     | 31.980        | 5.388  | 1.879  | 91.010     |
| Total                   | 86.140  | 102.464       | 22.085 | 54.434 | 1.293.855  |

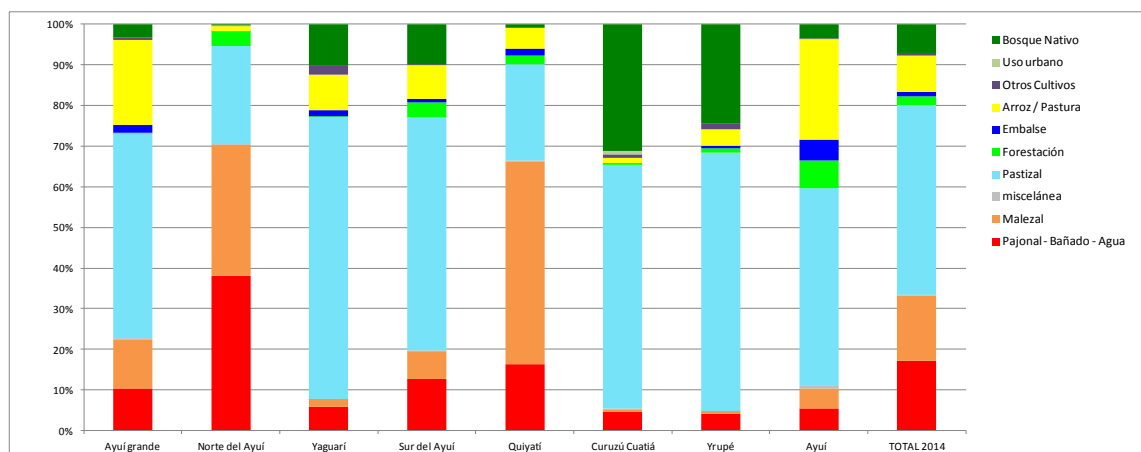
Como se puntualizó en la metodología, de las reuniones con profesionales de la ACPA, se sabe que la superficie sembrada con arroz para la campaña 2013/2014 (lo que se corresponde con el mapa 2014) es de aprox. 33.000 ha. En tanto el área sembrada con pasturas implantadas es de unas 66.200 ha, de las cuales se estima que 46.200 ha corresponden al sistema de chacra espejo. Por último, casi 16.000 ha están afectadas a la infraestructura arroceras y su rotación (canales de riego, desagües, caminos, etc.)

La subcuenca del Ayuí Grande sigue siendo la de mayor superficie destinada al arroz/pasturas, más de 54.800 ha, y de embalses, 4.960 ha (Figura 3.11 y Tabla 3.3). Al 2014 la subcuenca del Yaguarí es la que sigue en cuanto al grado de desarrollo de estas actividades, con 19.110 ha de arroz/pasturas y una superficie de embalses de 3.540 ha; y la subcuenca del Sur del Ayuí Grande, con 16.050 ha de arroz/pasturas y 1.636 ha de embalses. Para la actividad forestal, la subcuenca del Norte del Ayuí Grande surge como la de mayor relevancia en cuanto a la superficie implantada, casi 12.500 ha; seguida de 7.180 ha en la subcuenca del Sur del Ayuí Grande y 3.790 ha en la del Ayuí.



**Figura 3.11.** Superficies (hectáreas) de las distintas coberturas del suelo, por subcuenca, año 2014.

Al año 2014 el total de áreas transformadas en toda la Cuenca del Miriñay ronda el 13%. Sin embargo, nuevamente es importante atender lo que sucede puntualmente en las subcuencas del Ayuí y del Ayuí grande, donde este porcentaje alcanza 37% y 24%, respectivamente. Porcentualmente la superficie de arroz/pasturas representa casi el 25% del área en la subcuenca del Ayuí y 21% en la del Ayuí Grande (Figura 3.12).



**Figura 3.12.** Porcentaje ocupado en cada subcuenca, por las distintas coberturas del suelo, año 2014.

### 3.3 Expansión agropecuaria y forestal, entre los años 2000-2014

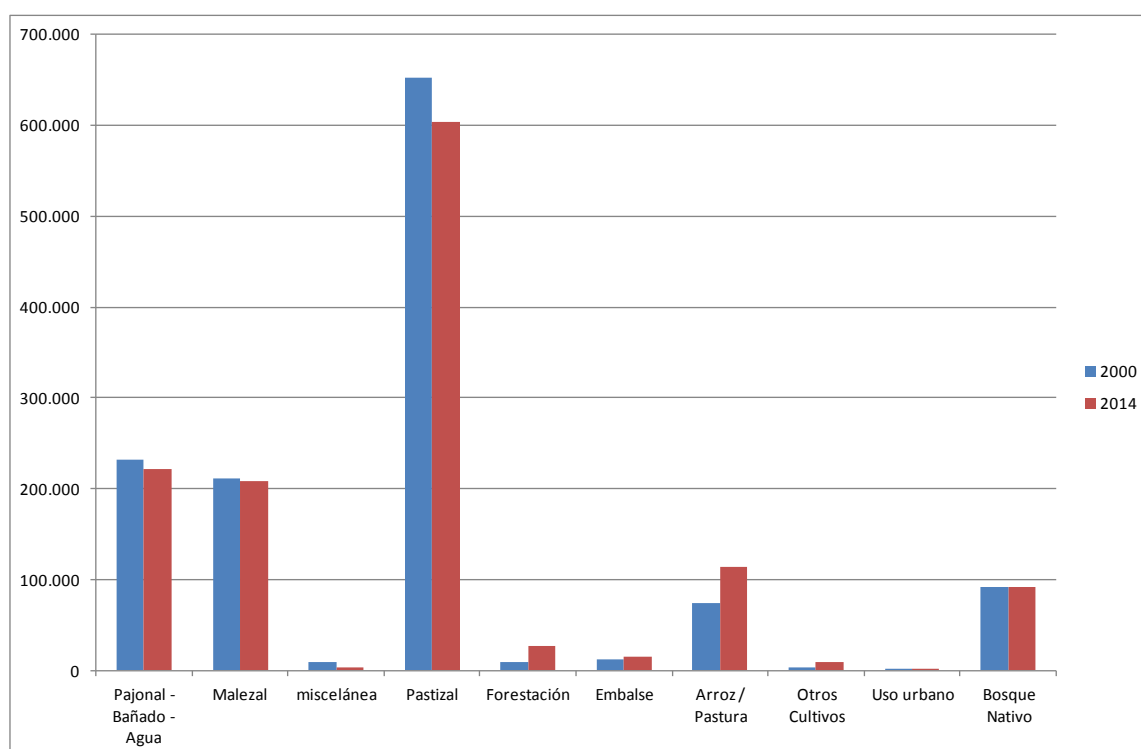
#### 3.3.1 Análisis a nivel de toda la Cuenca del Miriñay

A nivel de toda la Cuenca del Miriñay, las áreas transformadas (aquellas donde la cobertura natural ha sido reemplazada por otra de uso antrópico) aumentaron 70% en el período 2000-2014, pasando de 97.700 ha a 166.260 ha (Tabla 3.4 y Figura 3.13).

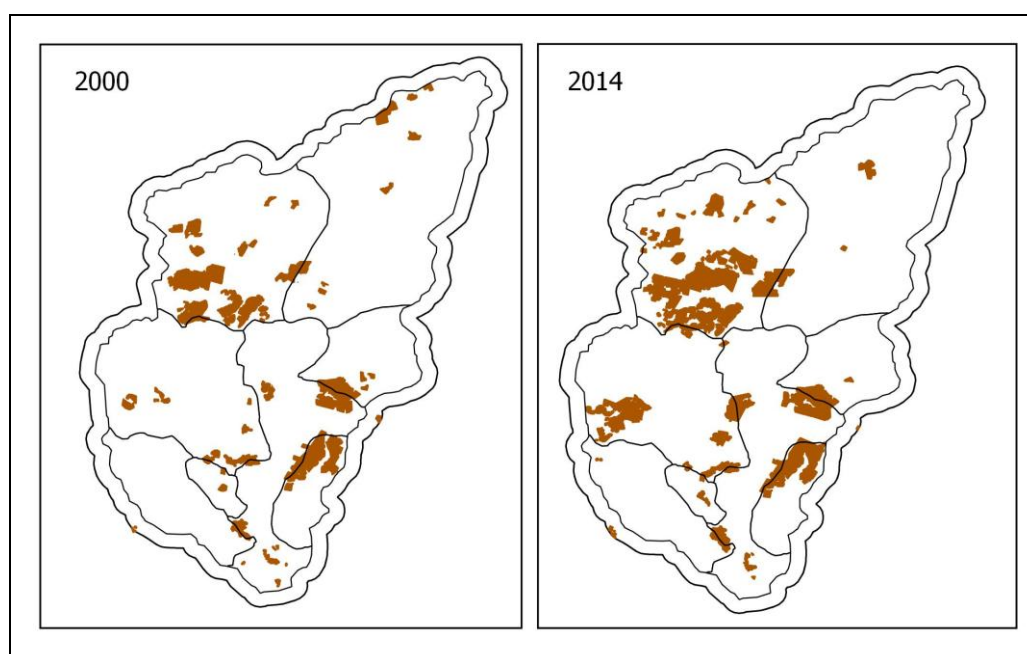
**Tabla 3.4.** Superficies y variación (hectáreas) de las coberturas del suelo en la Cuenca del Río Miriñay, entre los años 2000-2014.

|                         | 2000      | 2014      | Variación |
|-------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Pajonal - Bañado - Agua | 231.789   | 221.812   | -9.977    |
| Malezal                 | 211.309   | 208.105   | -3.204    |
| miscelánea              | 8.967     | 3.129     | -5.838    |
| Pastizal                | 652.120   | 603.540   | -48.580   |
| Forestación             | 9.659     | 26.745    | 17.086    |
| Embalse                 | 11.459    | 15.058    | 3.599     |
| Arroz / Pastura         | 73.150    | 114.260   | 41.110    |
| Otros Cultivos          | 2.360     | 9.115     | 6.755     |
| Uso urbano              | 1.081     | 1.081     | 0         |
| Bosque Nativo           | 91.959    | 91.010    | -949      |
| Total                   | 1.293.853 | 1.293.855 | 2         |

La expansión agropecuaria y forestal implicó a su vez una reducción del 5,7% de los ambientes naturales, siendo los pastizales los más afectados, 48.580 ha reemplazadas, aunque siguen siendo por lejos los más representados en la cuenca (Figura 3.13). Asimismo, se transformaron en conjunto 13.200 ha de malezales y de pajonal-bañado; nuevamente ambos tipos de ambiente se encuentran bien representados en la cuenca.



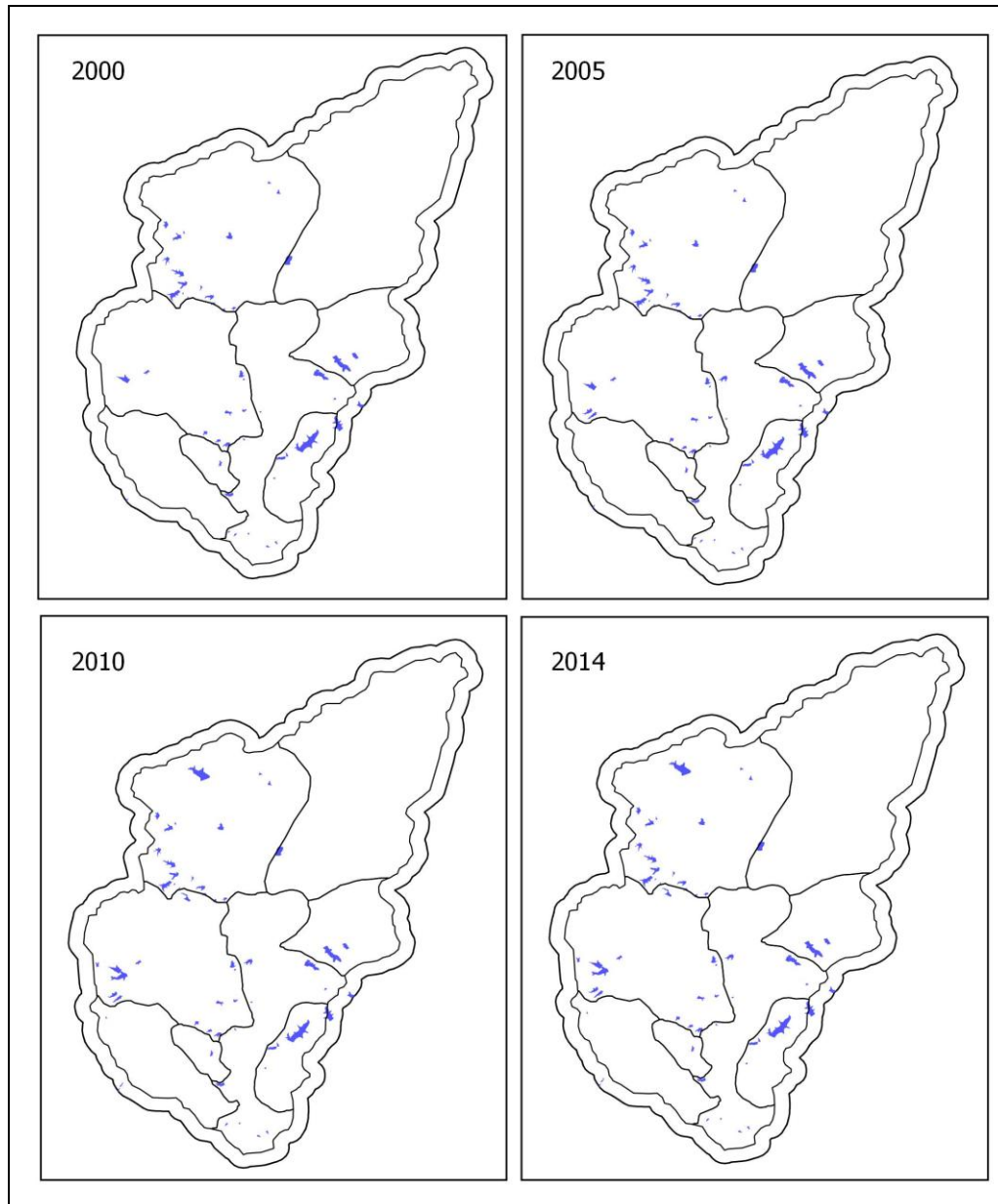
**Figura 3.13.** Superficies (hectáreas) de las distintas coberturas del suelo, entre los años 2000-2014.



**Figura 3.14.** Áreas cultivadas con arroz y pasturas implantadas en la Cuenca del Río Miriñay, en los años 2000-2014.

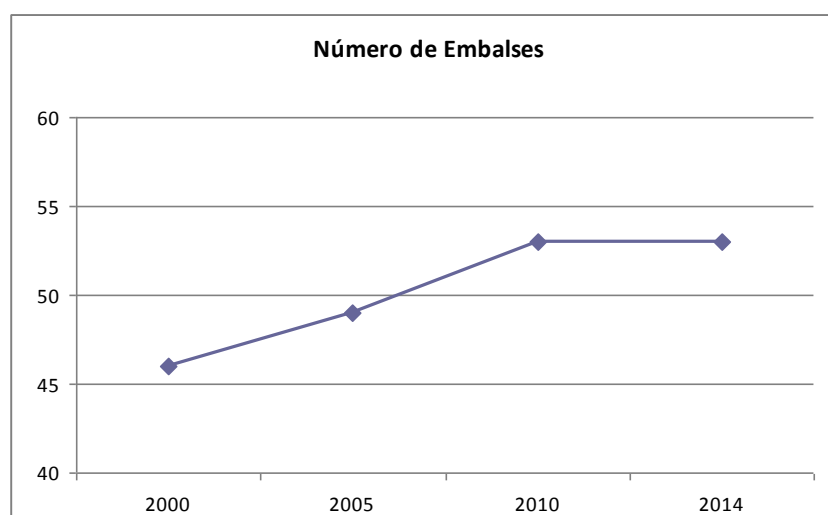
Esta expansión se explica principalmente por cambios en la superficie destinada a la producción de arroz en rotación con pasturas (Figura 3.14), que presentó un incremento de 41.100 ha (73.150 ha al año 2000 y 114.260 ha al 2014); pero también de la actividad forestal (Figura 3.17), ya que las plantaciones se incrementaron en más de 17.000 ha.

La construcción de nuevas represas (Figura 3.15) ha posibilitado la expansión arrocerá (y en gran medida la de pasturas implantadas, al realizarse en rotación con el arroz) en la Cuenca del Río Miriñay.



**Figura 3.15.** Embalses mayores a 20 hectáreas en la Cuenca del Río Miriñay, en los años 2000-2014.

Entre los años 2000 a 2014 se construyeron 7 nuevas represas en la Cuenca, alcanzando un total de 53 represas con embalses mayores a 20 hectáreas (Figura 3.16). En dicho período, la superficie de embalses aumentó 31,4%, pasando de 11.460 ha en el año 2000 a 15.060 en el 2014. La construcción de nuevas represas se produjo entre los años 2000 a 2010, no encontrándose nuevas después de este año a la fecha.

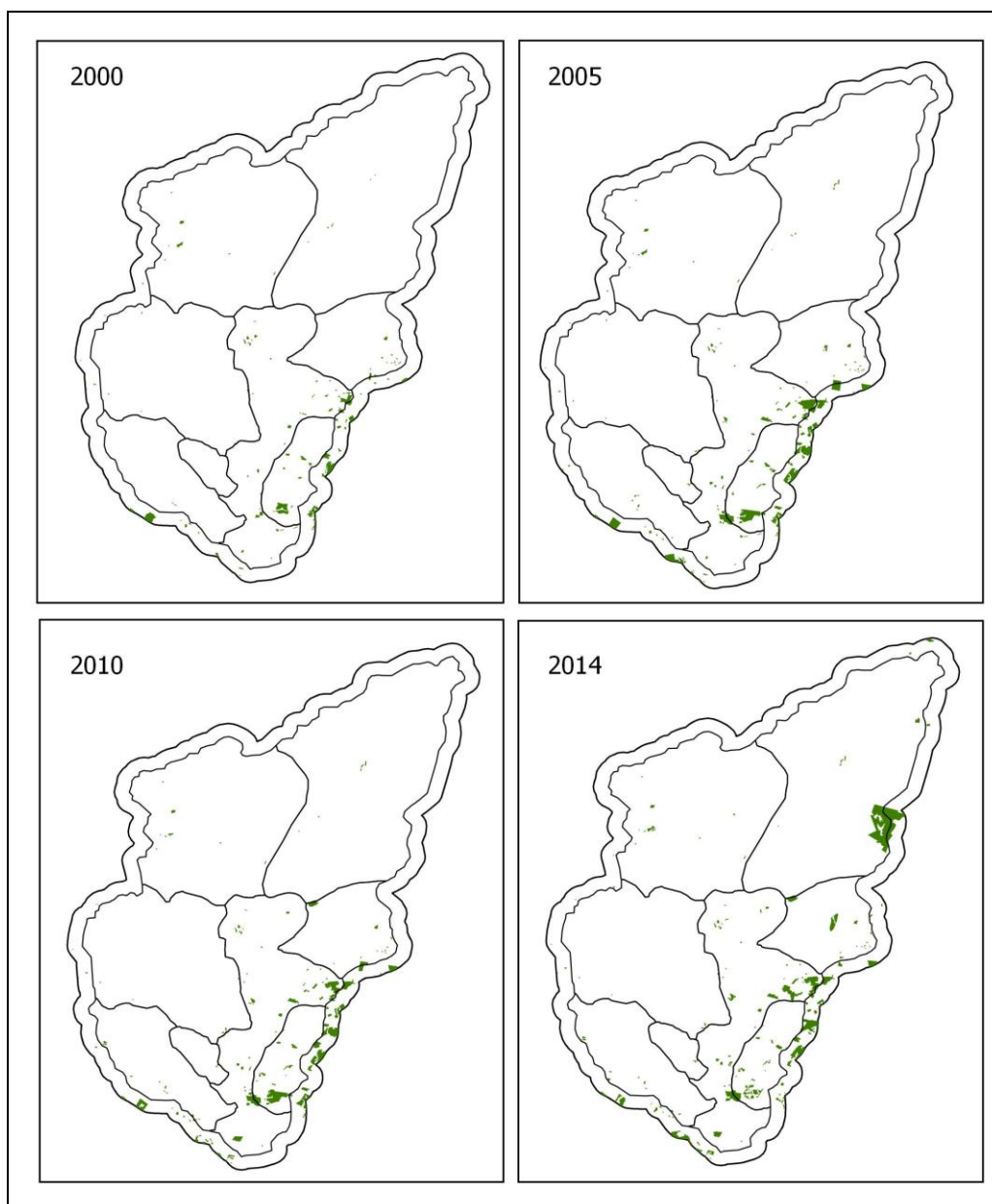


**Figura 3.16.** Número de presas en la Cuenca del Río Miriñay, en los años 2000-2014.

La actividad forestal es absolutamente insipiente en La Cuenca del Miriñay. Sólo basta considerar las actuales 26.745 ha presentes al día de hoy y compararlas con las 450.000 a 500.000 ha de forestaciones que posee la provincia. Sin embargo, su evolución entre los años 2000-2014 (figura 3.17) permite ver un crecimiento porcentual de 177% (se pasó de 9.660 ha en el 2000 a las mencionadas 26.745 ha al 2014).

Es importante en este caso incorporar el análisis de lo que sucede también en el área buffer, ya que permite observar con mayor claridad que la actividad forestal parece tener la tendencia a expandirse sobre la cuenca desde el este de la misma. La evolución temporal seguida por las forestaciones existentes en este pequeño borde de 5 km fue similar, pasando de 8.762 ha a 16.584 ha, respectivamente entre los años 2000 y 2014.

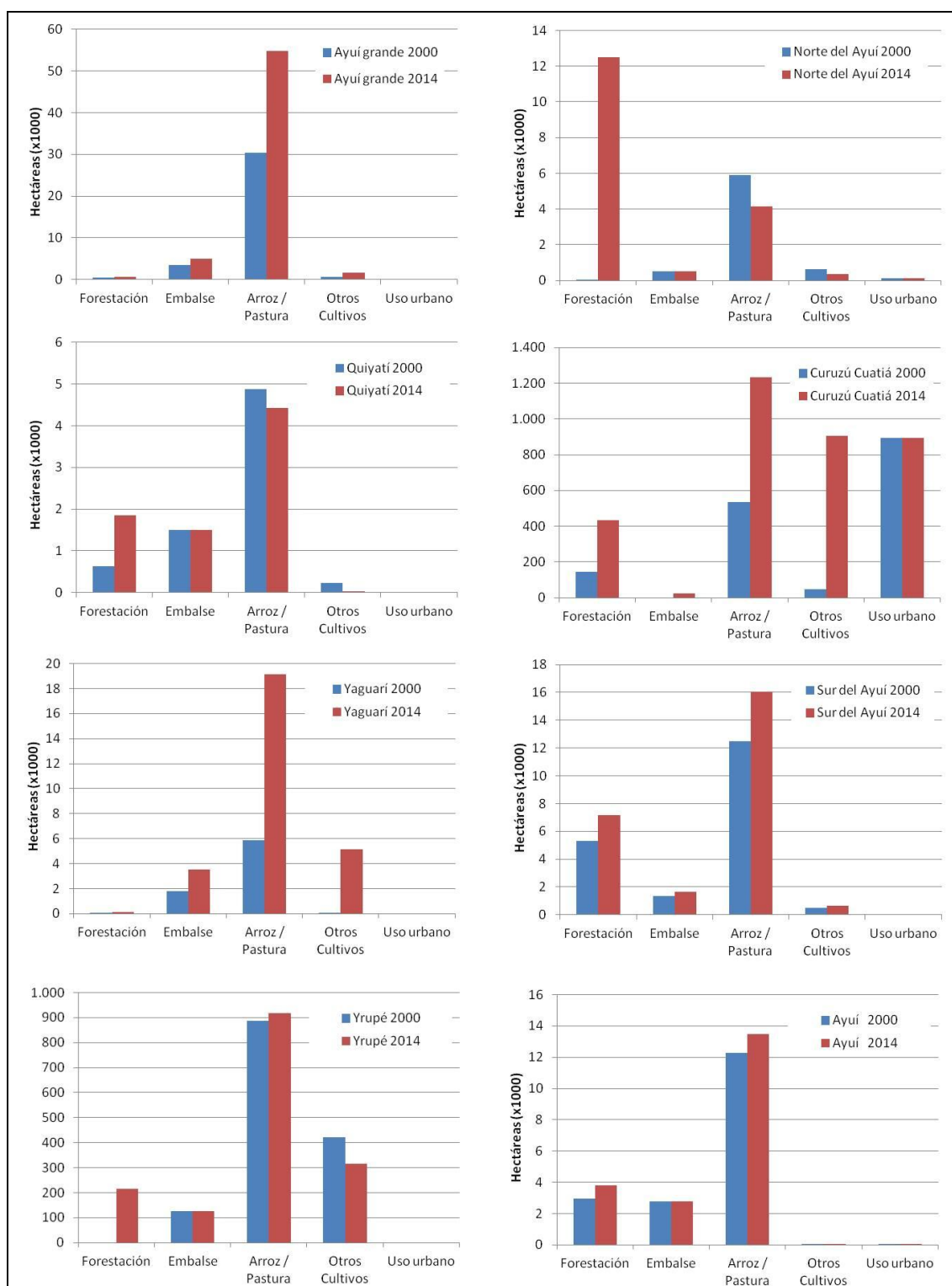




**Figura 3.17.** Forestaciones en la Cuenca del Río Miriñay, en los años 2000-2014. Se incluyen también aquellas forestaciones que se encuentran en un buffer de 5 km.

### 3.3.2 Distribución de la expansión por subcuencas

Al realizar el análisis de la evolución de las áreas transformadas por subcuencas se advierte que la expansión descrita no ha estado distribuida en forma homogénea dentro de la Cuenca del Río Miriñay (Tabla 3.5 y Figura 3.18). El 85% de la expansión detectada se concentra solamente 3 subcuencas: Ayuí grande, Yaguarí y Norte del Ayuí Grande.



**Figura 3.18.** Coberturas del suelo de las áreas transformadas (hectáreas) en la Cuenca del Río Miriñay, entre los años 2000-2014, por subcuencas. Adviértase que los gráficos de cada subcuenca presentan diferentes escalas.

La subcuenca del Ayuí Grande registró la mayor parte de la expansión de arroz y pasturas en rotación, con un aumento de 24.500 hectáreas para el período 2000-2014. En la subcuenca del Norte del Ayuí Grande se concentró la expansión de la actividad forestal, con un aumento de 12.500 ha correspondientes a un único proyecto. Por su parte, en la subcuenca del Yaguarí se dio un aumento importante en la superficie destinada a arroz/pasturas, 13.200 ha, y también un aumento significativo en superficie de otros cultivos, con 5.100 ha.

**Tabla 3.5.** Superficies (hectáreas) de las coberturas del suelo en la Cuenca del Río Miriñay, en los años 2000 y 2014, por subcuencas.

|                  | Ayuí grande |         | Norte del Ayuí |         | Yaguarí |         |
|------------------|-------------|---------|----------------|---------|---------|---------|
|                  | 2000        | 2014    | 2000           | 2014    | 2000    | 2014    |
| Pajonal - Bañado | 23.674      | 27.439  | 161.949        | 133.718 | 9.904   | 13.026  |
| Malezal          | 41.124      | 31.448  | 105.435        | 113.073 | 2.989   | 3.986   |
| Pastizal         | 151.959     | 132.112 | 73.183         | 85.039  | 174.561 | 151.745 |
| Bosque Nativo    | 8.787       | 8.787   | 1.166          | 1.166   | 22.922  | 21.973  |
| Forestación      | 483         | 649     | 33             | 12.494  | 90      | 131     |
| Embalse          | 3.399       | 4.959   | 523            | 523     | 1.793   | 3.539   |
| Arroz / Pastura  | 30.335      | 54.872  | 5.906          | 4.159   | 5.868   | 19.113  |
| Otros Cultivos   | 534         | 1.695   | 613            | 360     | 21      | 5.158   |
| Uso urbano       | 0           | 0       | 137            | 137     | 0       | 0       |
| miscelánea       | 2.684       | 1.017   | 2.393          | 670     | 751     | 230     |
| Total            | 262.979     | 261.961 | 351.338        | 350.669 | 218.899 | 218.671 |

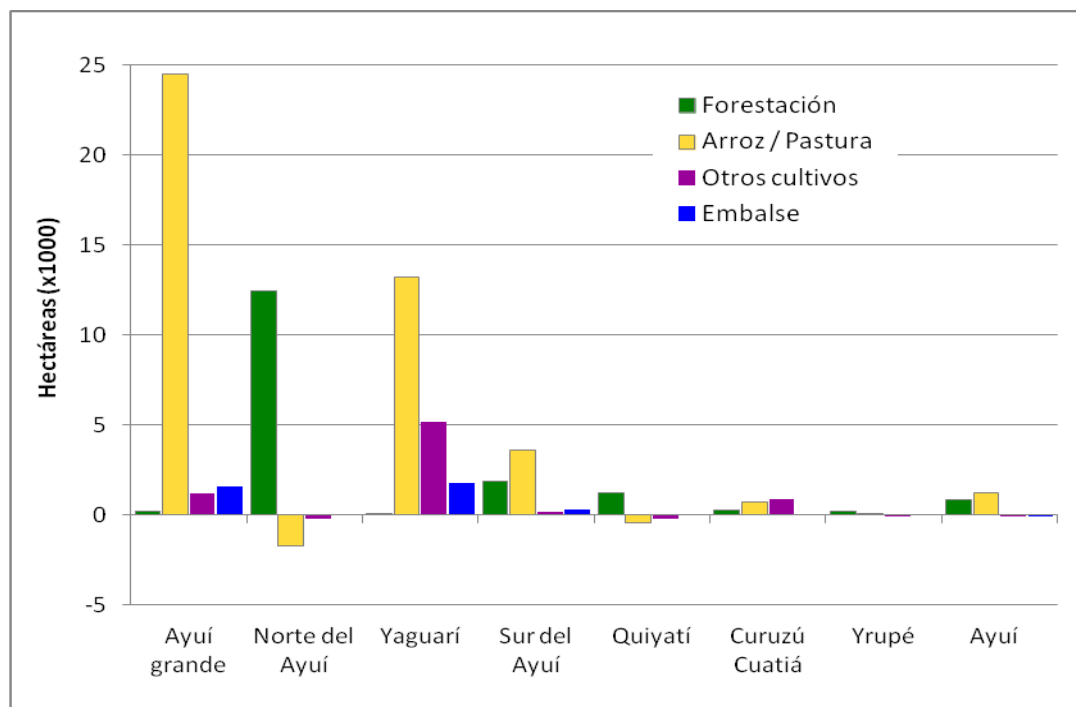
  

|                  | Sur del Ayuí |         | Quiyatí |        | Curuzú Cuatiá |         |
|------------------|--------------|---------|---------|--------|---------------|---------|
|                  | 2000         | 2014    | 2000    | 2014   | 2000          | 2014    |
| Pajonal - Bañado | 19.519       | 25.009  | 11.039  | 14.067 | 2.686         | 4.617   |
| Malezal          | 15.997       | 13.115  | 42.494  | 42.925 | 673           | 811     |
| Pastizal         | 120.005      | 112.205 | 24.145  | 20.491 | 64.770        | 61.460  |
| Bosque Nativo    | 19.159       | 19.159  | 678     | 678    | 31.980        | 31.980  |
| Forestación      | 5.298        | 7.179   | 633     | 1.853  | 145           | 432     |
| Embalse          | 1.367        | 1.636   | 1.494   | 1.494  | 0             | 25      |
| Arroz / Pastura  | 12.464       | 16.052  | 4.870   | 4.429  | 535           | 1.232   |
| Otros Cultivos   | 470          | 631     | 226     | 24     | 47            | 907     |
| Uso urbano       | 0            | 0       | 0       | 0      | 892           | 892     |
| miscelánea       | 1.235        | 528     | 561     | 179    | 736           | 108     |
| Total            | 195.514      | 194.986 | 86.140  | 85.961 | 102.464       | 102.356 |

|                  | Yrupé  |        | Ayuí   |        | TOTAL CUENCA |           |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------------|-----------|
|                  | 2000   | 2014   | 2000   | 2014   | 2000         | 2014      |
| Pajonal - Bañado | 668    | 933    | 2.350  | 3.003  | 231.789      | 221.812   |
| Malezal          | 184    | 139    | 2.413  | 2.608  | 211.309      | 208.105   |
| Pastizal         | 14.374 | 14.043 | 29.123 | 26.445 | 652.120      | 603.540   |
| Bosque Nativo    | 5.388  | 5.388  | 1.879  | 1.879  | 91.959       | 91.010    |
| Forestación      | 0      | 215    | 2.977  | 3.792  | 9.659        | 26.745    |
| Embalse          | 125    | 125    | 2.758  | 2.757  | 11.459       | 15.058    |
| Arroz / Pastura  | 886    | 917    | 12.286 | 13.486 | 73.150       | 114.260   |
| Otros Cultivos   | 421    | 314    | 28     | 26     | 2.360        | 9.115     |
| Uso urbano       | 0      | 0      | 52     | 52     | 1.081        | 1.081     |
| miscelánea       | 39     | 11     | 568    | 386    | 8.967        | 3.129     |
| Total            | 22.085 | 22.074 | 54.434 | 54.048 | 1.293.853    | 1.290.726 |

Además de lo mencionado para esas 3 subcuencas, se destaca un aumento de 3.500 ha de arroz/pasturas y 1.900 ha de forestaciones en la del Sur del Ayuí Grande, siendo que en el resto de las subcuencas los cambios son de magnitudes menores (Figura 3.19).



**Figura 3.19.** Variación de las coberturas del suelo de las áreas transformadas (hectáreas) en la Cuenca del Río Miriñay, entre los años 2000-2014, por subcuencas.

## 4 ESCENARIOS

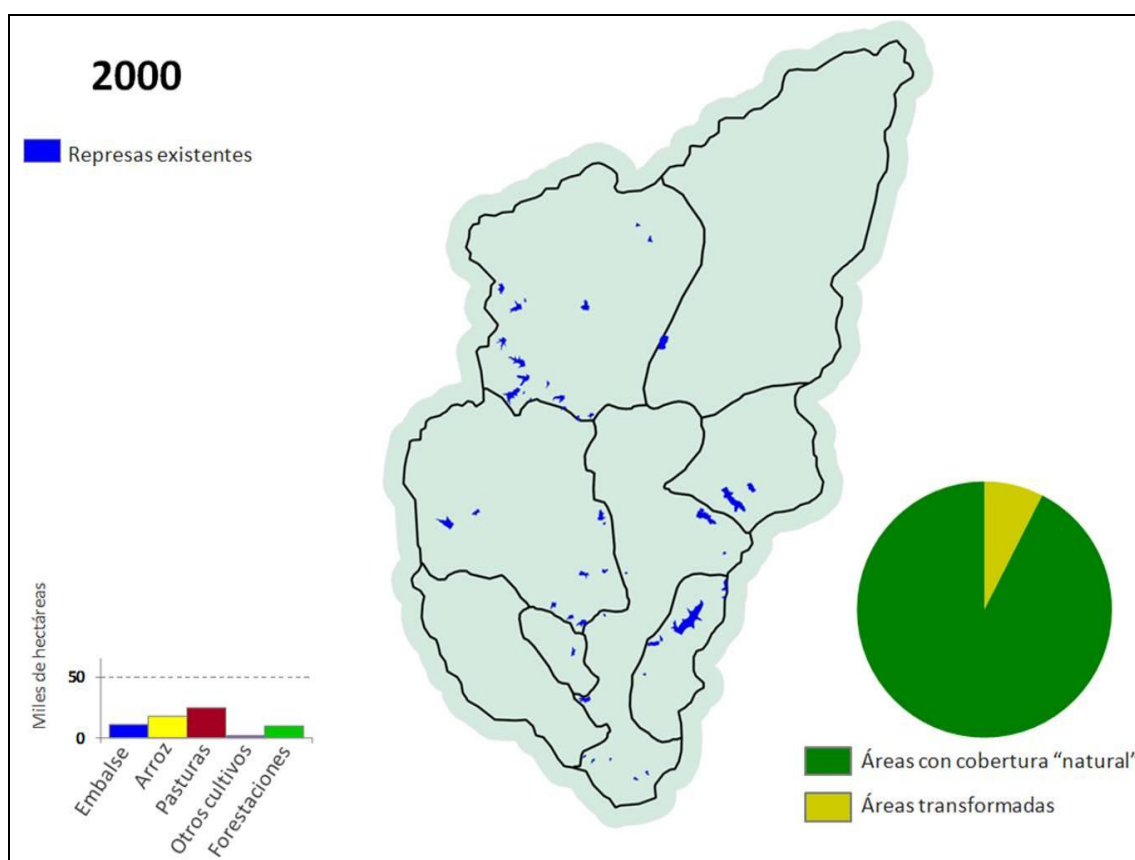
---

### 4.1 Expansión productiva y pérdida de ambientes naturales

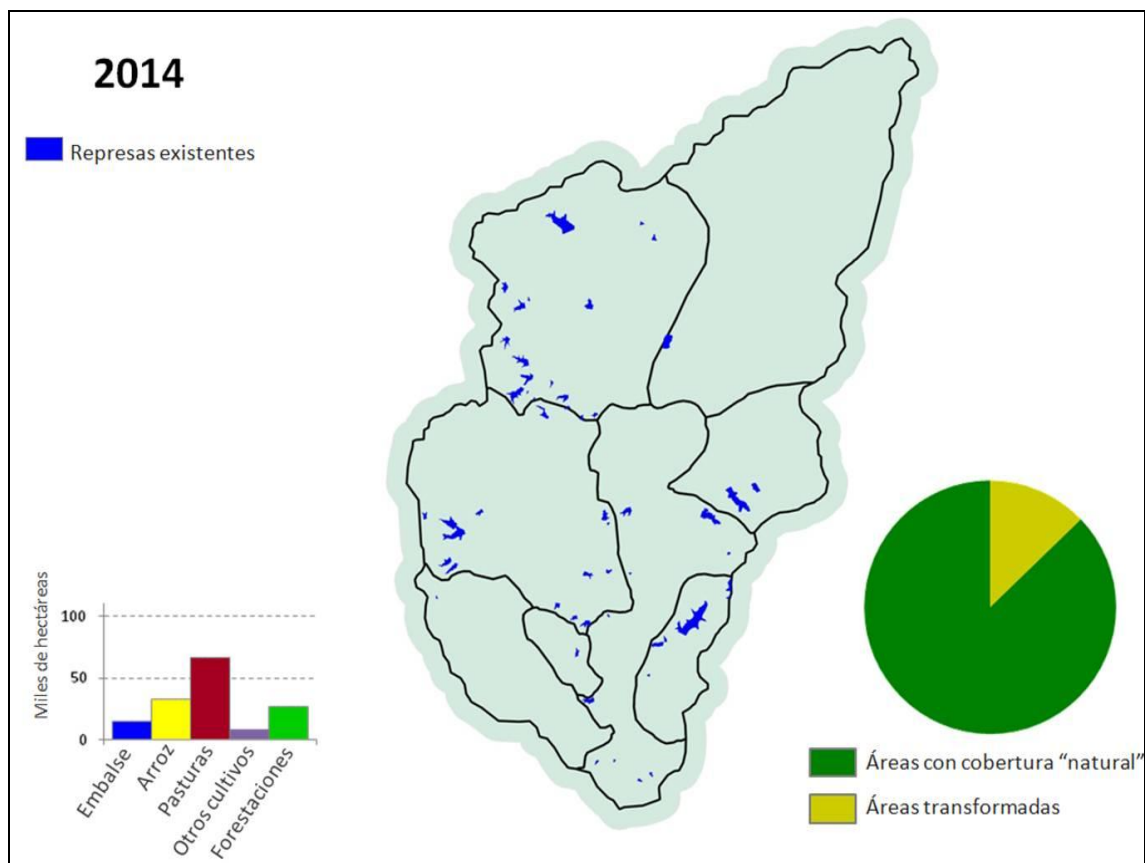
Para la evaluación acumulativa y estratégica en la Cuenca de los impactos del consumo de agua y del cambio de uso del suelo (CUS), se consideró lo sucedido en los últimos años (2000-2014) y se evaluaron 3 escenarios de expansión productiva, a corto, mediano y largo plazo.

Particularmente para la valoración del impacto de la expansión productiva y la pérdida de ambientes naturales asociada, se analizaron conjuntamente los CUS de los últimos años hasta el presente y los CUS producto de los distintos escenarios a futuro, en los que se consideró además de la producción arrocerá, otros cultivos agrícolas, la expansión de pasturas para ganadería y la actividad forestal.

De la información vertida en el apartado 3, COBERTURAS DEL SUELO 2000-2014, puede visualizarse rápidamente en las figuras 4.1.1 y 4.1.2 cómo se dio el crecimiento de las represas, cómo varió la superficie de las distintas actividades productivas y el porcentaje de la Cuenca con áreas con cobertura natural. Al año 2000 las áreas con cobertura natural superaban el 92%, en tanto que al año 2014 representaban 87% de la Cuenca del Río Miriñay.



**Figura 4.1.1.** Cuenca del Río Miriñay al año 2000. Representación de las represas existentes, superficie de las actividades productivas y porcentajes de la cuenca con áreas transformadas y con cobertura natural.



**Figura 4.1.2.** Cuenca del Río Miriñay al año 2014. Representación de las represas existentes, superficie de las actividades productivas y porcentajes de la cuenca con áreas transformadas y con cobertura natural.

Para poder estimar y evaluar la evolución a futuro, se realizó la simulación de 3 escenarios de expansión productiva en la Cuenca, considerando las transformaciones producto de la actividad arrocerá (embalses, superficie arrozable e infraestructura), forestal y de la implantación de pasturas para ganadería.

Para realizar escenarios mucho más confiables, y estimar con mayor precisión el desarrollo futuro de la actividad arrocerá en la Cuenca del Miriñay, se consideró la identificación de potenciales represas para riego de arroz que surge de los estudios realizados por el Ing. Raúl Fontán (Fontán 2011 y 2013): IDENTIFICACION DE EMPRENDIMIENTOS DE RIEGO, REGION CENTRO SUR DE LA PROVINCIA DE CORRIENTES, para los Departamentos de Curuzú Cuatiá, Mercedes, Monte Caseros, Paso de los Libres y San Martín (este último en elaboración). De estos estudios, sólo se tomaron aquellas represas potenciales identificadas que están incluidas en la Cuenca del Río Miriñay (74 represas en toda la cuenca).



Para la evolución de la actividad arrocerá bajo los distintos escenarios, se tuvieron en cuenta 3 criterios que modifican tanto la potencia de riego a alcanzar, así como la superficie arrozable asociada (lotes arroceros + lotes en rotación -sea esta con pasturas o en descanso-) sobre la que efectivamente se hará un CUS. Dichos criterios son:

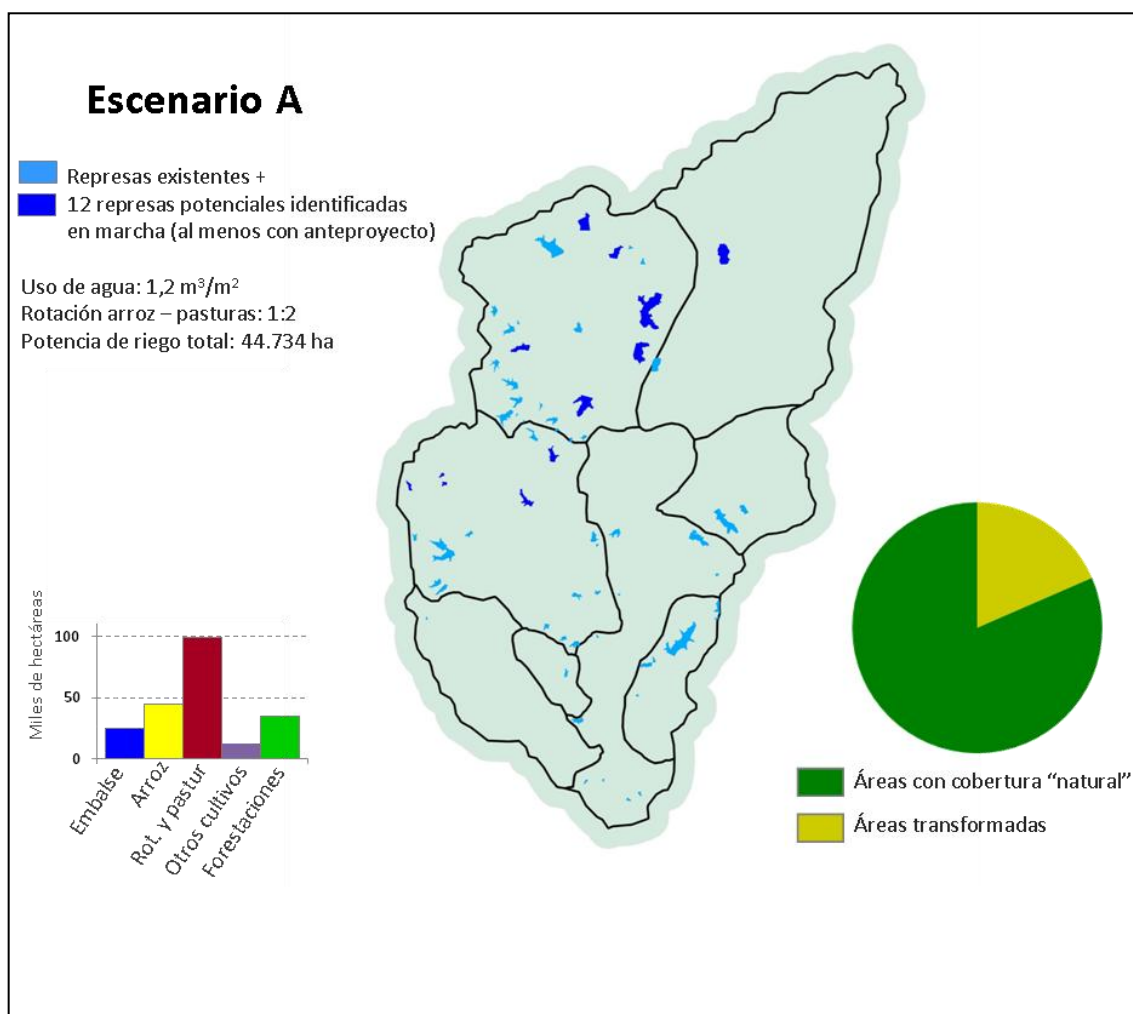
- Cantidad de represas potenciales identificadas (de aquí surge el volumen almacenado);
- Eficiencia en el uso del agua (se considera un promedio para toda la Cuenca);
- Rotación arrocerá (nuevamente se promedia para toda la cuenca).

Para la evolución de las pasturas implantadas para ganadería, se consideró por un lado la expansión que acompañará en parte a la rotación de los lotes arroceros y por otro se sumó la posible expansión de pasturas independientes de la producción arrocerá. Para la evolución de la actividad forestal y la agrícola no arrocerá, se consideró la tendencia ocurrida en los últimos años (2000-2014).

Se plantea primeramente el análisis a nivel de toda la Cuenca del Miriñay y luego cómo sería su distribución por subcuencas.

### **Escenario A, a corto plazo**

Para la simulación del escenario A (Figura 4.1.3), a corto plazo, se consideraron las 12 represas potenciales identificadas que están en marcha, al menos con anteproyecto. Se contempló una eficiencia promedio en el uso del agua, similar a la media actual, de 1,2 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. Y se consideró en promedio una superficie en rotación arrocerá de 1:2 (tendencia similar a la media actual en la cuenca), es decir, por cada 1 ha de arroz hay otras 2 ha en rotación -sean estas de pasturas o en descanso-.



**Figura 4.1.3.** Escenario A, de expansión a corto plazo, en la Cuenca del Río Miriñay.  
 Representación de las represas existentes y las potenciales identificadas, superficie de las actividades productivas y porcentajes de la cuenca con áreas transformadas y con cobertura natural.

Este escenario plantea alcanzar una potencia de riego total de 44.700 ha, lo que implica un incremento de más de 35% de la superficie cultivada con arroz en la Cuenca (Tabla 4.1.1). La superficie estimada en rotación -pasturas o descanso- asciende a 69.700 ha, que sumada a la de pasturas independientes de la producción arroceras (30.000 ha), alcanza casi las 100.000 ha. Los cultivos agrícolas no arroceros superan las 12.000 ha; en tanto que las forestaciones llegarían a 34.700 ha. A nivel de toda la Cuenca, las áreas con cobertura natural cubrirían el 81,5% de la superficie.

**Tabla 4.1.1.** Expansión planteada (en hectáreas) bajo el Escenario A, a corto plazo.

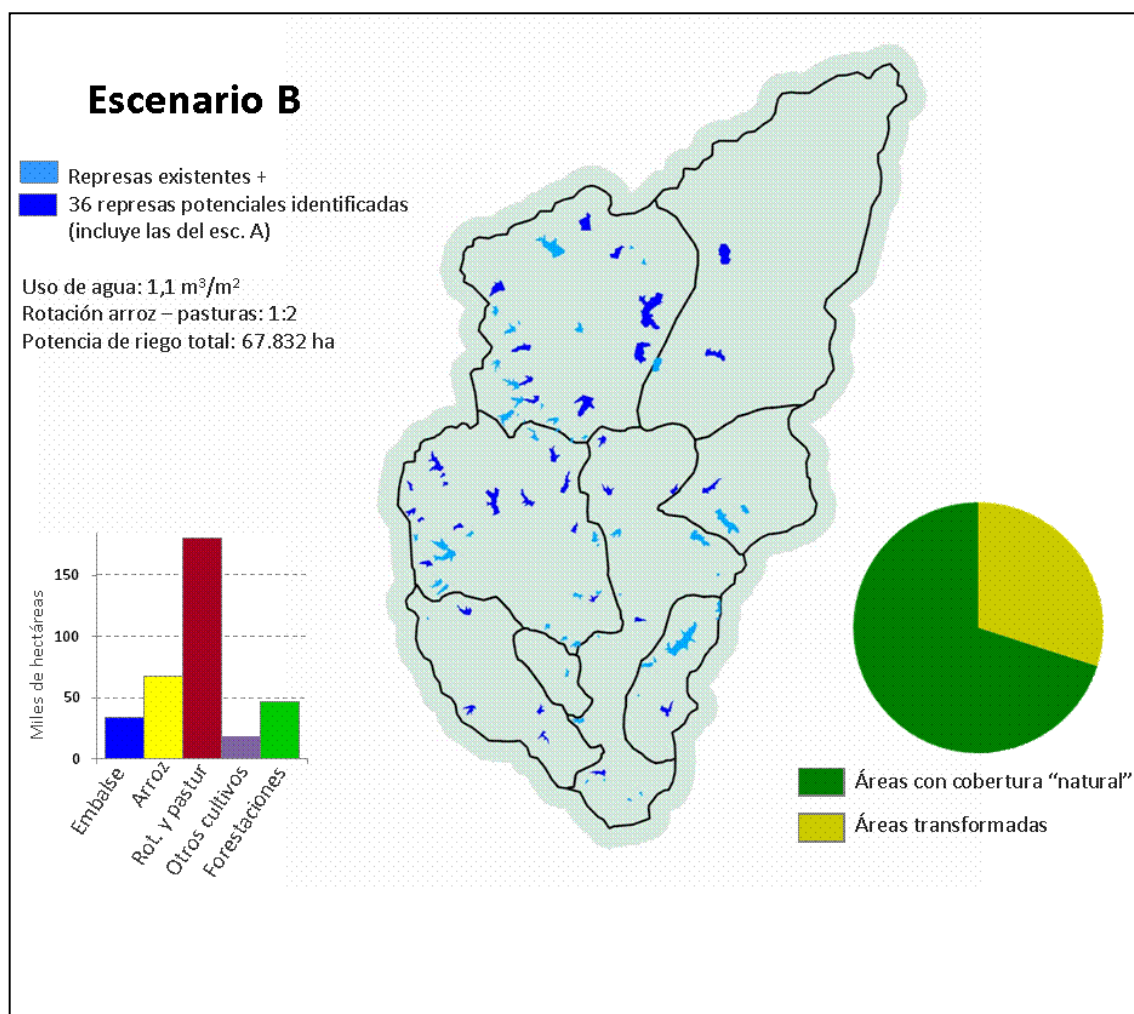
| Subcuencas     | Sup. Emalse   | Pot. Riego (arroz) | en Rotación   | Infraestr     |
|----------------|---------------|--------------------|---------------|---------------|
| Ayuí grande    | 11.931        | 25.191             | 36.872        | 12.411        |
| Norte del Ayuí | 1.687         | 1.783              | 3.156         | 987           |
| Yaguarí        | 4.830         | 9.285              | 13.520        | 4.560         |
| Sur del Ayuí   | 1.636         | 2.945              | 6.790         | 1.948         |
| Quiyatí        | 1.494         | 745                | 2.382         | 626           |
| Curuzú Cuatía  | 25            | 400                | 380           | 159           |
| Yrupé          | 125           | 250                | 360           | 121           |
| Ayuí           | 2.757         | 4.135              | 6.208         | 2.069         |
| <b>TOTAL</b>   | <b>24.486</b> | <b>44.734</b>      | <b>69.668</b> | <b>22.880</b> |

| Subcuencas     | Pastur indep  | Rot. y pastur | Otros cultiv  | Forestaciones | TOTAL AT       |
|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| Ayuí grande    | 13.200        | 50.072        | 2.985         | 649           | 103.238        |
| Norte del Ayuí | 1.700         | 4.856         | 50            | 16.094        | 25.457         |
| Yaguarí        | 5.500         | 19.020        | 7.100         | 131           | 44.927         |
| Sur del Ayuí   | 5.600         | 12.390        | 500           | 10.179        | 29.598         |
| Quiyatí        | 700           | 3.082         | 0             | 2.253         | 8.200          |
| Curuzú Cuatía  | 1.400         | 1.780         | 1.500         | 432           | 4.296          |
| Yrupé          | 300           | 660           | 200           | 215           | 1.571          |
| Ayuí           | 1.600         | 7.808         | 0             | 4.792         | 21.561         |
| <b>TOTAL</b>   | <b>30.000</b> | <b>99.668</b> | <b>12.335</b> | <b>34.745</b> | <b>238.848</b> |

### Escenario B, a mediano plazo

Para el escenario B (Figura 4.1.4), a mediano plazo, a las 12 represas potenciales con anteproyecto, se les sumaron otras 24, sumando así 36 potenciales represas identificadas. Para la elección de las 24 represas que se incorporan en este escenario, se tomó en cuenta dónde se produjo la incorporación de represas en el período 2000-2014, dónde se daría la incorporación de las 12 represas con anteproyecto y cómo es la tendencia general de distribución para la totalidad de las 74 represas identificadas.

Dado que se prevé que transcurra cierto tiempo, se consideró una mejoría en la eficiencia promedio en el uso del agua, pasando a 1,1 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. En cuanto a la rotación se consideró la misma tendencia promedio de 1:2, es decir, por cada 1 ha de arroz hay otras 2 ha en rotación -sean estas de pasturas o en descanso-.



**Figura 4.1.4.** Escenario B, de expansión a mediano plazo, en la Cuenca del Río Miriñay. Representación de las represas existentes y las potenciales identificadas, superficie de las actividades productivas y porcentajes de la cuenca con áreas transformadas y con cobertura natural.

Bajo este escenario se simula un aumento del 100% de la superficie cultivada con arroz en la Cuenca, alcanzando una potencia de riego total de 67.800 ha (Tabla 4.1.2). Los cultivos agrícolas no arroceros alcanzan las 18.300 ha y la superficie de forestaciones llega a 46.700 ha. La superficie en rotación -pasturas o descanso- se estima en 135.600 ha, la de pasturas independientes de la producción arroceras en 45.000 ha, totalizando en conjunto 180.600 ha. A nivel de la Cuenca, la superficie total transformada más que se duplica, en tanto que las áreas con cobertura natural comprenden el 70% de la superficie.

**Tabla 4.1.2.** Expansión planteada (en hectáreas) bajo el Escenario B, a mediano plazo.

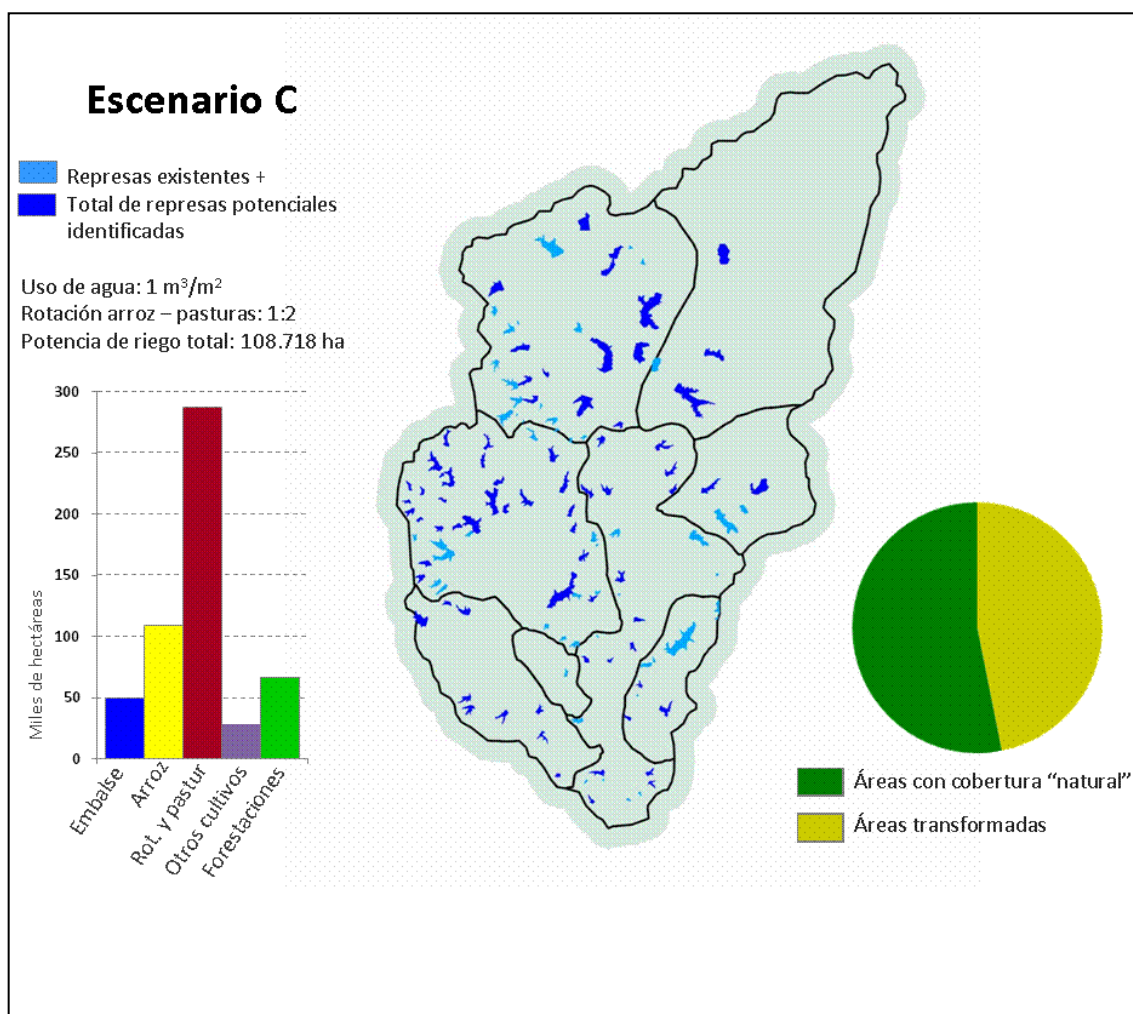
**TOTAL - ESCENARIO B**

| Subcuencas     | Sup. Emalse   | Pot. Riego (arroz) | en Rotación    | Infraestr     |
|----------------|---------------|--------------------|----------------|---------------|
| Ayuí grande    | 13.361        | 30.212             | 60.424         | 18.127        |
| Norte del Ayuí | 2.399         | 3.002              | 6.005          | 1.801         |
| Yaguarí        | 8.412         | 18.258             | 36.516         | 10.955        |
| Sur del Ayuí   | 2.965         | 6.407              | 12.814         | 3.844         |
| Quiyatí        | 1.992         | 1.662              | 3.323          | 997           |
| Curuzú Cuatía  | 1.172         | 2.760              | 5.520          | 1.656         |
| Yrupé          | 125           | 273                | 546            | 164           |
| Ayuí           | 3.193         | 5.258              | 10.515         | 3.155         |
| <b>TOTAL</b>   | <b>33.619</b> | <b>67.832</b>      | <b>135.664</b> | <b>40.699</b> |

| Subcuencas     | Pastur indep  | Rot. y pastur  | Otros cultiv  | Forestaciones | TOTAL AT       |
|----------------|---------------|----------------|---------------|---------------|----------------|
| Ayuí grande    | 17.200        | 77.624         | 4.485         | 849           | 144.658        |
| Norte del Ayuí | 3.700         | 9.705          | 550           | 20.894        | 38.352         |
| Yaguarí        | 10.300        | 46.816         | 9.600         | 131           | 94.172         |
| Sur del Ayuí   | 6.800         | 19.614         | 700           | 14.179        | 47.710         |
| Quiyatí        | 1.200         | 4.523          | 0             | 3.053         | 12.226         |
| Curuzú Cuatía  | 2.900         | 8.420          | 2.300         | 932           | 17.241         |
| Yrupé          | 800           | 1.346          | 700           | 415           | 3.022          |
| Ayuí           | 2.100         | 12.615         | 0             | 6.292         | 30.512         |
| <b>TOTAL</b>   | <b>45.000</b> | <b>180.664</b> | <b>18.335</b> | <b>46.745</b> | <b>387.893</b> |

**Escenario C, a largo plazo**

Para el escenario C (Figura 4.1.5), a largo plazo, se tomaron la totalidad de las 74 represas potenciales identificadas. Nuevamente se consideró una mejoría en la eficiencia promedio en el uso del agua, pasando a 1 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. Se consideró una rotación con la misma tendencia promedio de 1:2, es decir, por cada 1 ha de arroz hay otras 2 ha en rotación -sean estas de pasturas o en descanso-.



**Figura 4.1.5.** Escenario C, de expansión a largo plazo, en la Cuenca del Río Miriñay. Representación de las represas existentes y las potenciales identificadas, superficie de las actividades productivas y porcentajes de la cuenca con áreas transformadas y con cobertura natural.

En este escenario se plantea el desarrollo de todo el potencial arrocero para la Cuenca, lo que implica alcanzar una potencia de riego total de 108.700 ha (Tabla 4.1.3), con un incremento del 230% de la superficie cultivada con arroz en la Cuenca. La superficie en rotación -pasturas o descanso- (217.400 ha), sumada a la de pasturas independientes de la producción arrocera (70.000 ha), alcanza 287.400 ha. Las forestaciones se estiman en 66.700 ha, en tanto la superficie de otros cultivos agrícolas se estima en 28.300 ha. A nivel de toda la Cuenca, el escenario C implica que las áreas transformadas superen las 600 mil hectáreas, ocupando las áreas con cobertura natural el 53.1% de la superficie de la Cuenca del Miriñay.

**Tabla 4.1.3.** Expansión planteada (en hectáreas) bajo el Escenario C, a largo plazo.

| Subcuencas     | Sup. Emalse   | Pot. Riego (arroz) | en Rotación    | Infraestr     |
|----------------|---------------|--------------------|----------------|---------------|
| Ayuí grande    | 16.274        | 37.936             | 75.871         | 22.761        |
| Norte del Ayuí | 4.130         | 6.766              | 13.531         | 4.059         |
| Yaguarí        | 14.851        | 33.994             | 67.988         | 20.396        |
| Sur del Ayuí   | 5.434         | 12.989             | 25.977         | 7.793         |
| Quiyatí        | 2.988         | 3.174              | 6.348          | 1.904         |
| Curuzú Cuatía  | 2.779         | 7.216              | 14.431         | 4.329         |
| Yrupé          | 125           | 300                | 600            | 180           |
| Ayuí           | 3.444         | 6.344              | 12.689         | 3.807         |
| <b>TOTAL</b>   | <b>50.024</b> | <b>108.718</b>     | <b>217.435</b> | <b>65.231</b> |

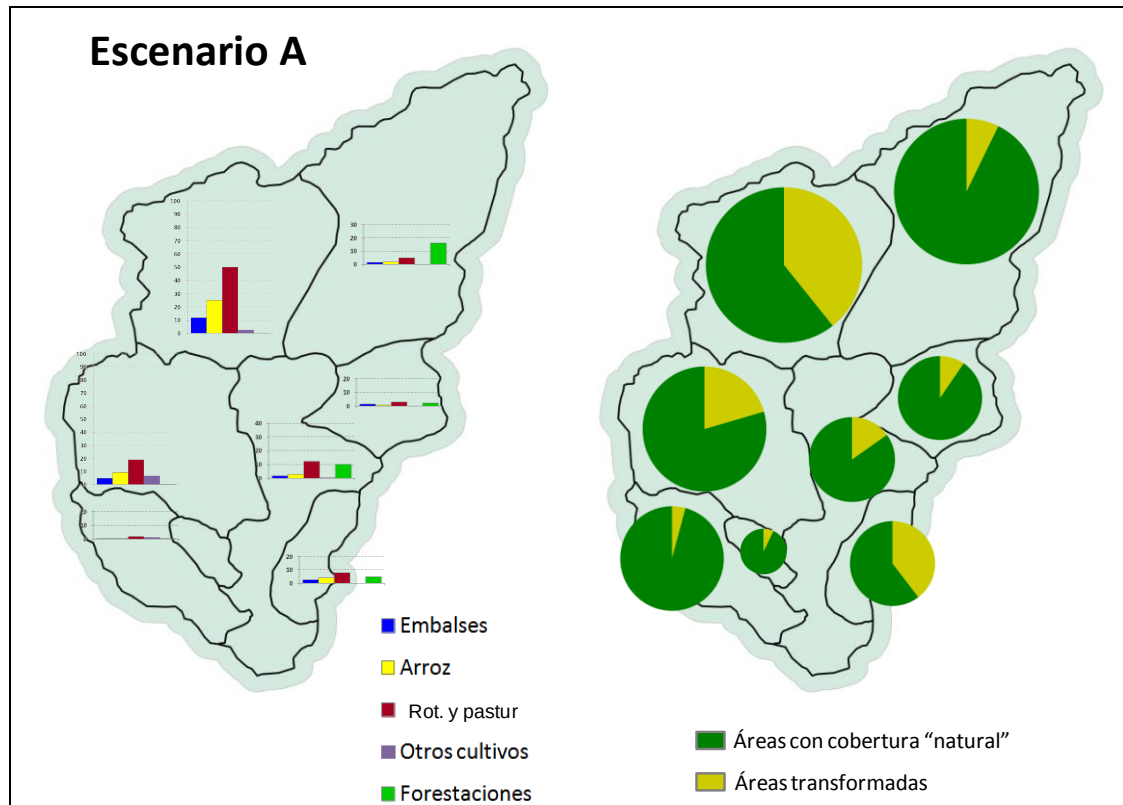
| Subcuencas     | Pastur indep  | Rot. y pastur  | Otros cultiv  | Forestaciones | TOTAL AT       |
|----------------|---------------|----------------|---------------|---------------|----------------|
| Ayuí grande    | 21.200        | 97.071         | 6.485         | 1.049         | 181.576        |
| Norte del Ayuí | 9.200         | 22.731         | 1.050         | 29.494        | 68.230         |
| Yaguarí        | 16.300        | 84.288         | 13.100        | 331           | 166.959        |
| Sur del Ayuí   | 10.800        | 36.777         | 1.700         | 21.179        | 85.872         |
| Quiyatí        | 2.200         | 8.548          | 500           | 4.253         | 21.367         |
| Curuzú Cuatía  | 5.900         | 20.331         | 3.800         | 1.432         | 39.887         |
| Yrupé          | 1.300         | 1.900          | 1.200         | 715           | 4.420          |
| Ayuí           | 3.100         | 15.789         | 500           | 8.292         | 38.176         |
| <b>TOTAL</b>   | <b>70.000</b> | <b>287.435</b> | <b>28.335</b> | <b>66.745</b> | <b>606.488</b> |

### Análisis de los escenarios a nivel de subcuencas

De las doce represas que se incorporan en el escenario A, a corto plazo, 11 se ubican en las cuencas de Ayuí Grande y Yaguarí (la restante en la cuenca del Miriñay al Norte del Ayuí Grande); de manera que se acrecienta la concentración de la producción arroceras en estas dos subcuencas. En términos de porcentaje de área transformada, la subcuenca del Ayuí Grande en este escenario alcanza el nivel de la subcuenca del Ayuí, rondando el 39%, mostrando en esta instancia los valores más altos de la cuenca para este parámetro (Figura 4.1.6).

Por otra parte, las forestaciones previstas se distribuyen exclusivamente en las subcuencas del este, concentrándose mayormente en las del Miriñay al Norte del Ayuí Grande y Miriñay al Sur del Ayuí Grande).

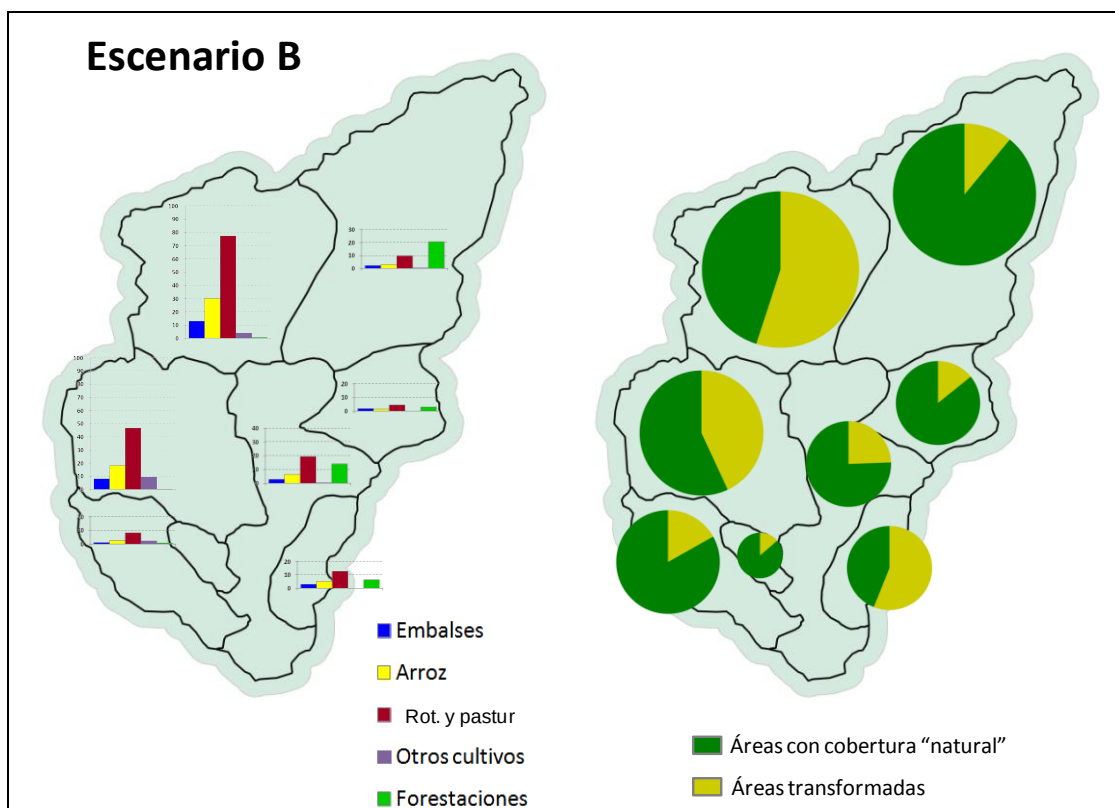




**Figura 4.1.6.** Superficies destinadas a cada actividad y porcentaje de áreas transformadas y con cobertura "natural" en el escenario A, a corto plazo, a nivel de subcuenca.

En el escenario B (Figura 4.1.7), a mediano plazo, la expansión arrocera mantiene su tendencia a concentrarse en las dos subcuencas destacadas en el escenario A: 23 de las 36 represas que se incorporan se ubican allí; pero además se observa participación en el resto de las subcuencas, con excepción de Yrupé, que no tiene represas potenciales identificadas.

En este escenario, las áreas transformadas en las subcuencas del Ayuí y del Ayuí Grande ya superan el 50%, y en la del Yaguarí se alcanza un valor cercano (43%).



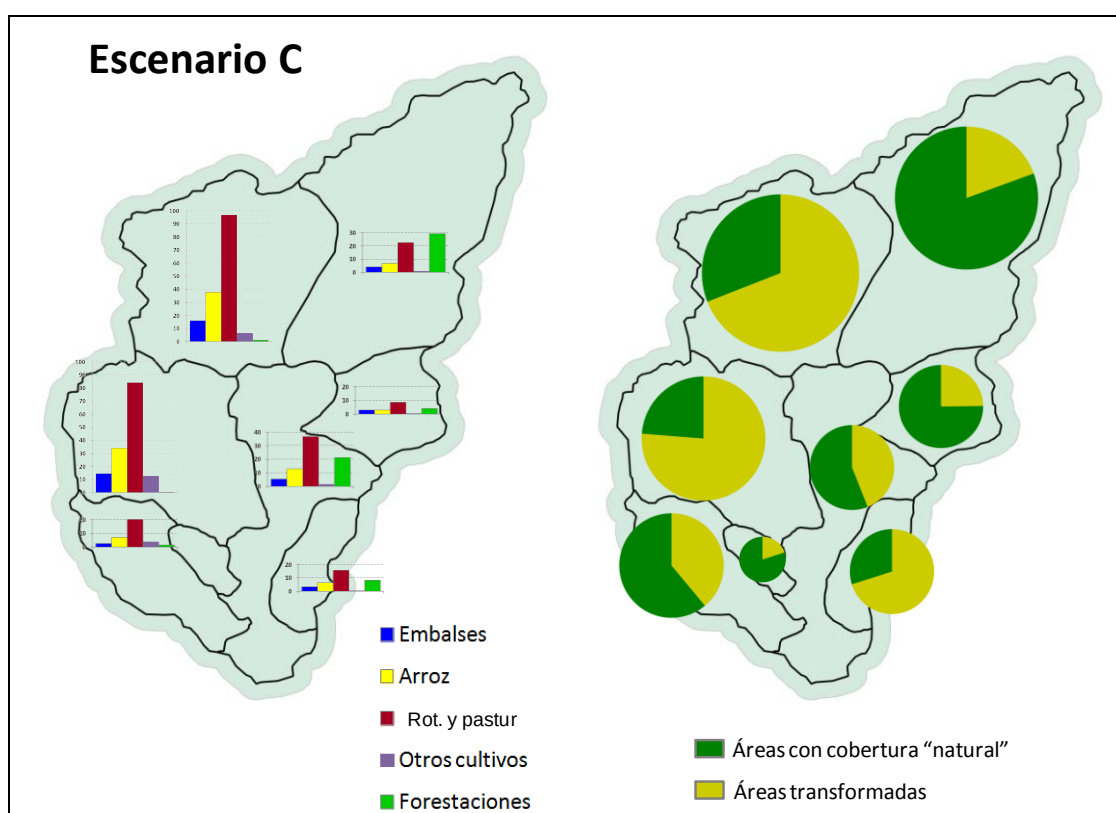
**Figura 4.1.7.** Superficies destinadas a cada actividad y porcentaje de áreas transformadas y con cobertura "natural" en el escenario B, a mediano plazo, a nivel de subcuenca.

En el escenario C (Figura 4.1.8), a largo plazo, se plantea el desarrollo de todo el potencial arrocero para la Cuenca. A nivel de subcuencas, la del Yaguarí es una de las que más cambios registraría, ya que alcanzaría una potencia de riego cercana a la subcuenca del Ayuí Grande. Al mismo tiempo, la subcuenca del Miriñay al Sur del Ayuí Grande también tendría una expansión relativa muy importante, y se ubicaría en el tercer lugar entre las subcuencas con mayor superficie destinada a la producción de arroz, desplazando de ese lugar a la del Ayuí.

Más allá de estas observaciones y cambios relativos, la producción arrocera en la cuenca mantendría la tendencia que ya se observa hoy, de estar fuertemente concentrada en las subcuencas del Ayuí Grande, Yaguarí, Sur del Ayuí Grande y Ayuí. En este escenario, estas 4 subcuencas concentran el 91% de la potencia de riego para el cultivo de arroz.

Algo análogo ocurre con las forestaciones, para las que se prevé una expansión importante pero manteniéndose concentrada en las 4 subcuencas del este: Norte del Ayuí Grande, Sur del Ayuí Grande, Quiyatí y Ayuí, que presentan el 95% de la superficie destinada a esta producción.

Bajo este escenario a largo plazo, la expansión productiva implicaría un fuerte aumento en los porcentajes de áreas transformadas, alcanzando los niveles más altos en las subcuencas de Ayuí Grande, Ayuí y Yaguarí (69, 70 y 76 % respectivamente). El panorama es aún más complicado al considerar que un alto porcentaje de los pastizales de la Provincia, y en particular de la Cuenca, se encuentran sobrepastoreados y degradados, de manera que en estas tres subcuencas, los porcentajes de áreas naturales sin sobrepastoreo apenas alcanzarían valores cercanos al 10%. Un cambio de uso del suelo de esta magnitud provocaría un elevado impacto ambiental, que debe ser tenido en cuenta en la planificación del desarrollo de la Cuenca del Miriñay. Incluso las subcuencas con menor porcentaje de áreas transformadas en la actualidad, como Norte del Ayuí Grande, Quiyatí, Yrupé y Curuzú Cuatiá alcanzarían en este escenario valores cercanos al 25%, el nivel que al día de hoy sólo alcanzan Ayuí Grande y Ayuí, las dos subcuencas con mayor tradición arroceras.



**Figura 4.1.8.** Superficies destinadas a cada actividad y porcentaje de áreas transformadas y con cobertura "natural" en el escenario C, a largo plazo, a nivel de subcuenca.

## 4.2 Balance Hídrico. Representación de escenarios futuros

Los escenarios planteados para el desarrollo futuro de la cuenca incluyen uno de corto plazo (A), uno de mediano plazo (B), y dos de largo plazo (C y C Alternativo). Para representarlos, los incrementos en el Área Transformada para estos escenarios futuros se hicieron a costa de la disminución del uso Pastizal, mientras que los incrementos en la forestación fueron a costa del área de Malezal y Pastizal.

Se incorporaron las combinaciones de aumento de represamientos y cambios de uso de suelo al modelo para representar cada uno de esos escenarios, manteniendo la misma ventana de tiempo climatológica (2002-2014). Las Tablas 4.2.1 a 4.2.4 muestran el uso del suelo para cada escenario. En la Tabla 4.2.5 se presenta el almacenamiento máximo en follaje para cada escenario, incluyendo el escenario actual como referencia. Los volúmenes represados y las áreas capturadas se indican en las Tablas 4.2.6 y 4.2.7, respectivamente. En la Figura 4.2.1 se representan las áreas relativas intervenidas en cada escenario, incluyendo el Actual como referencia. Se observan los incrementos en las áreas transformadas y forestadas, y en las áreas efectivas capturadas por embalsamiento.

**Tabla 4.2.1.** Fracciones de uso del suelo por subcuenca para escenario A

| ID | Nombre        | Agua (%) | Bajos (%) | Malezal (%) | Pastizal (%) | Bosque Nat. (%) | Forest. (%) | Transf. (%) |
|----|---------------|----------|-----------|-------------|--------------|-----------------|-------------|-------------|
| 1  | Miriñay Alto  | 2,1      | 47,7      | 30,3        | 16,2         | 0,0             | 1,6         | 2,2         |
| 2  | San Roquito   | 0,4      | 26,2      | 34,0        | 29,9         | 0,5             | 6,0         | 3,1         |
| 3  | Ayui Grande   | 1,9      | 10,4      | 11,2        | 33,9         | 3,3             | 0,2         | 39,0        |
| 4  | Quiyati       | 1,7      | 16,3      | 49,1        | 23,0         | 0,3             | 2,6         | 6,9         |
| 5  | Yaguari       | 1,6      | 5,9       | 1,1         | 60,8         | 10,0            | 0,1         | 20,5        |
| 6  | Miriñay Medio | 0,9      | 12,8      | 6,2         | 55,7         | 9,6             | 3,7         | 11,2        |
| 7  | CuruzuCuatia  | 0,0      | 4,5       | 1,3         | 58,8         | 31,2            | 0,4         | 3,8         |
| 8  | Ayui          | 5,4      | 5,2       | 2,7         | 45,5         | 1,6             | 8,8         | 30,8        |
| 9  | Yrupe         | 0,6      | 4,2       | 0,4         | 63,3         | 24,4            | 1,0         | 6,1         |
| 10 | Miriñay Bajo  | 1,6      | 12,0      | 7,0         | 59,0         | 4,3             | 9,9         | 6,3         |

**Tabla 4.2.2.** Fracciones de uso del suelo por subcuenca para escenario B

| ID | Nombre        | Agua (%) | Bajos (%) | Malezal (%) | Pastizal (%) | Bosque Nat. (%) | Forest. (%) | Transf. (%) |
|----|---------------|----------|-----------|-------------|--------------|-----------------|-------------|-------------|
| 1  | Miriñay Alto  | 2,1      | 47,7      | 25,9        | 14,2         | 0,0             | 5,9         | 4,2         |
| 2  | San Roquito   | 0,4      | 26,2      | 34,0        | 27,3         | 0,5             | 6,0         | 5,8         |
| 3  | Ayui Grande   | 1,9      | 10,4      | 11,2        | 18,2         | 3,3             | 0,3         | 54,7        |
| 4  | Quiyati       | 1,7      | 16,3      | 48,5        | 19,3         | 0,0             | 3,5         | 10,6        |
| 5  | Yaguari       | 1,6      | 5,9       | 1,1         | 38,3         | 10,0            | 0,1         | 43,0        |
| 6  | Miriñay Medio | 0,9      | 12,8      | 6,2         | 47,5         | 8,3             | 4,9         | 19,4        |
| 7  | CuruzuCuatia  | 0,0      | 4,5       | 1,3         | 46,7         | 30,7            | 0,9         | 15,9        |
| 8  | Ayui          | 5,4      | 5,2       | 1,5         | 31,8         | 0,0             | 11,6        | 44,5        |
| 9  | Yrupe         | 0,6      | 4,2       | 0,4         | 57,7         | 23,5            | 1,9         | 11,8        |
| 10 | Miriñay Bajo  | 1,6      | 12,0      | 7,0         | 54,4         | 0,4             | 13,8        | 10,8        |

**Tabla 4.2.3.** Fracciones de uso del suelo por subcuenca para escenario C

| ID | Nombre        | Agua (%) | Bajos (%) | Malezal (%) | Pastizal (%) | Bosque Nat. (%) | Forest. (%) | Transf. (%) |
|----|---------------|----------|-----------|-------------|--------------|-----------------|-------------|-------------|
| 1  | Miriñay Alto  | 2,1      | 47,7      | 23,5        | 9,1          | 0,0             | 8,4         | 9,3         |
| 2  | San Roquito   | 0,4      | 26,2      | 32,0        | 20,2         | 0,0             | 8,4         | 12,8        |
| 3  | Ayui Grande   | 1,9      | 10,4      | 11,2        | 4,2          | 3,2             | 0,4         | 68,6        |
| 4  | Quiyati       | 1,7      | 16,3      | 47,1        | 10,1         | 0,0             | 4,9         | 19,9        |
| 5  | Yaguari       | 1,6      | 5,9       | 1,1         | 5,1          | 9,9             | 0,2         | 76,1        |
| 6  | Miriñay Medio | 0,9      | 12,8      | 6,2         | 29,5         | 5,9             | 7,3         | 37,4        |
| 7  | CuruzuCuatia  | 0,0      | 4,5       | 1,3         | 25,0         | 30,2            | 1,4         | 37,5        |
| 8  | Ayui          | 5,4      | 5,2       | -2,2        | 21,4         | 0,0             | 15,2        | 54,9        |
| 9  | Yrupe         | 0,6      | 4,2       | 0,4         | 52,7         | 22,1            | 3,2         | 16,8        |
| 10 | Miriñay Bajo  | 1,6      | 12,0      | 0,6         | 44,4         | 0,0             | 20,6        | 20,9        |

**Tabla 4.2.4.** Fracciones de uso del suelo por subcuenca para escenario C alternativo

| ID | Nombre        | Agua (%) | Bajos (%) | Malezal (%) | Pastizal (%) | Bosque Nat. (%) | Forest. (%) | Transf. (%) |
|----|---------------|----------|-----------|-------------|--------------|-----------------|-------------|-------------|
| 1  | Miriñay Alto  | 2,1      | 47,7      | 23,5        | 11,1         | 0,0             | 8,4         | 7,3         |
| 2  | San Roquito   | 0,4      | 26,2      | 32,0        | 22,9         | 0,0             | 8,4         | 10,1        |
| 3  | Ayui Grande   | 1,9      | 10,4      | 11,2        | 21,5         | 3,2             | 0,4         | 51,3        |
| 4  | Quiyati       | 1,7      | 16,3      | 47,1        | 14,5         | 0,0             | 4,9         | 15,4        |
| 5  | Yaguari       | 1,6      | 5,9       | 1,1         | 23,8         | 9,9             | 0,2         | 57,5        |
| 6  | Miriñay Medio | 0,9      | 12,8      | 6,2         | 38,5         | 5,9             | 7,3         | 28,4        |
| 7  | CuruzuCuatia  | 0,0      | 4,5       | 1,3         | 33,5         | 30,2            | 1,4         | 29,1        |
| 8  | Ayui          | 5,4      | 5,2       | -2,2        | 35,4         | 0,0             | 15,2        | 40,9        |
| 9  | Yrupe         | 0,6      | 4,2       | 0,4         | 54,3         | 22,1            | 3,2         | 15,1        |
| 10 | Miriñay Bajo  | 1,6      | 12,0      | 0,6         | 49,4         | 0,0             | 20,6        | 15,8        |

**Tabla 4.2.5.** Almacenamiento máximo en follaje por subcuenca para escenarios futuros.

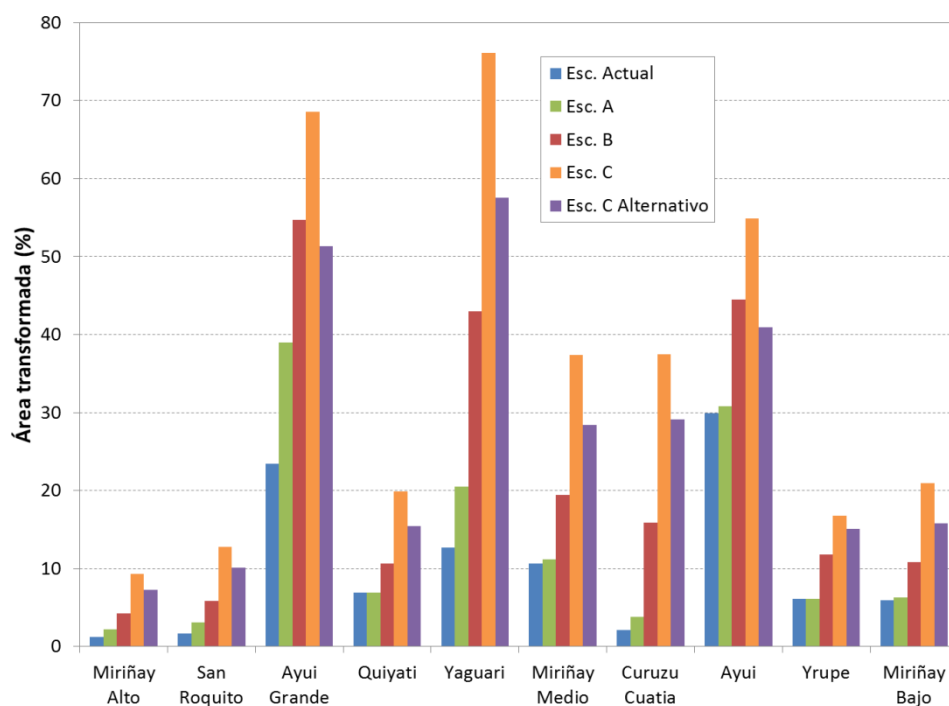
| ID | Subcuenca     | Almacenamiento [mm] |        |        |        |                    |
|----|---------------|---------------------|--------|--------|--------|--------------------|
|    |               | Esc. Actual         | Esc. A | Esc. B | Esc. C | Esc. C Alternativo |
| 1  | Miriñay Alto  | 3,79                | 3,94   | 4,00   | 4,09   | 4,09               |
| 2  | San Roquito   | 3,96                | 3,95   | 3,94   | 3,99   | 3,99               |
| 3  | Ayui Grande   | 3,19                | 3,09   | 3,02   | 2,93   | 2,93               |
| 4  | Quiyati       | 3,72                | 3,73   | 3,74   | 3,75   | 3,74               |
| 5  | Yaguari       | 3,53                | 3,48   | 3,35   | 3,13   | 3,13               |
| 6  | Miriñay Medio | 3,87                | 3,87   | 3,83   | 3,71   | 3,71               |
| 7  | CuruzuCuatia  | 4,94                | 4,93   | 4,85   | 4,71   | 4,70               |
| 8  | Ayui          | 3,31                | 3,32   | 3,31   | 3,43   | 3,43               |
| 9  | Yrupe         | 4,50                | 4,51   | 4,47   | 4,44   | 4,42               |
| 10 | Miriñay Bajo  | 3,95                | 3,95   | 3,93   | 4,18   | 4,18               |

**Tabla 4.2.6.** Volumen almacenado en embalses por subcuenca para escenarios futuros.

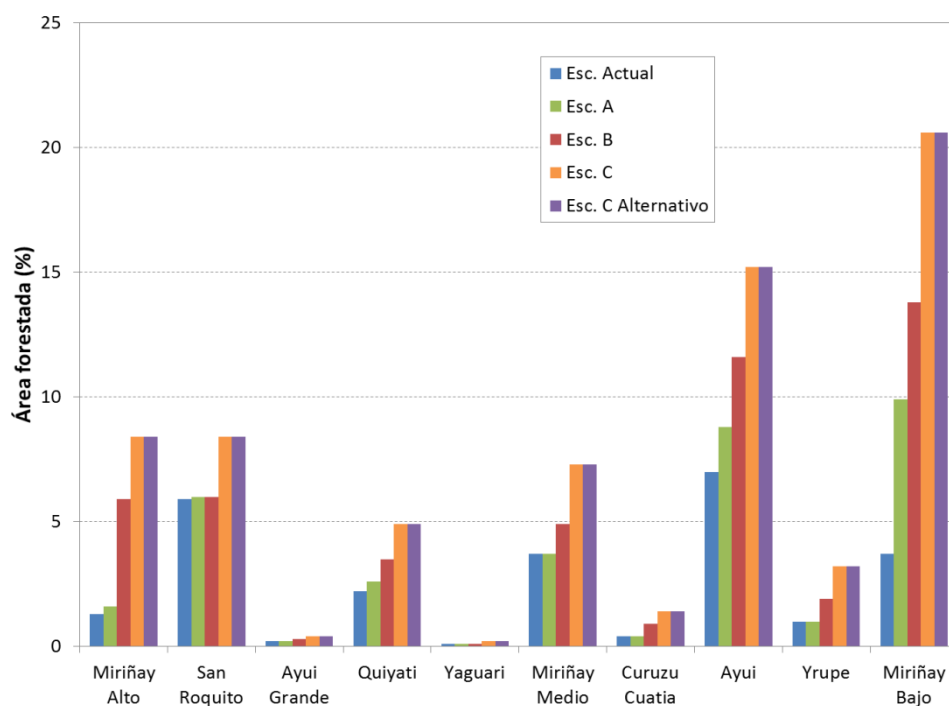
| ID | Subcuenca     | Volumen (hm <sup>3</sup> ) |        |        |        |                    |
|----|---------------|----------------------------|--------|--------|--------|--------------------|
|    |               | Esc. Actual                | Esc. A | Esc. B | Esc. C | Esc. C Alternativo |
| 1  | Miriñay Alto  | 0                          | 0      | 0      | 0      | 0                  |
| 2  | San Roquito   | 21                         | 30     | 42     | 87     | 87                 |
| 3  | Ayui Grande   | 142                        | 244    | 276    | 325    | 325                |
| 4  | Quiyati       | 31                         | 31     | 41     | 55     | 55                 |
| 5  | Yaguari       | 20                         | 57     | 154    | 298    | 298                |
| 6  | Miriñay Medio | 9                          | 9      | 39     | 88     | 88                 |
| 7  | CuruzuCuatia  | 0                          | 0      | 26     | 67     | 67                 |
| 8  | Ayui          | 35                         | 35     | 44     | 56     | 56                 |
| 9  | Yrupe         | 0                          | 0      | 0      | 0      | 0                  |
| 10 | Miriñay Bajo  | 0                          | 0      | 7      | 21     | 21                 |

**Tabla 4.2.7.** Área capturada por subcuenca para escenarios futuros.

| ID | Subcuenca     | Área capturada (%) |        |        |        |                    |
|----|---------------|--------------------|--------|--------|--------|--------------------|
|    |               | Esc. Actual        | Esc. A | Esc. B | Esc. C | Esc. C Alternativo |
| 1  | Miriñay Alto  | 0,0                | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0                |
| 2  | San Roquito   | 3,4                | 5,0    | 6,8    | 13,9   | 13,9               |
| 3  | Ayui Grande   | 13,5               | 22,4   | 24,4   | 27,8   | 27,8               |
| 4  | Quiyati       | 10,2               | 10,2   | 13,2   | 17,4   | 17,4               |
| 5  | Yaguari       | 2,3                | 6,4    | 16,5   | 29,7   | 29,7               |
| 6  | Miriñay Medio | 1,6                | 1,6    | 7,0    | 14,9   | 14,9               |
| 7  | CuruzuCuatia  | 0,0                | 0,0    | 6,5    | 16,3   | 16,3               |
| 8  | Ayui          | 15,8               | 15,8   | 19,0   | 23,7   | 23,7               |
| 9  | Yrupe         | 0,0                | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0                |
| 10 | Miriñay Bajo  | 0,0                | 0,0    | 3,4    | 10,3   | 10,3               |

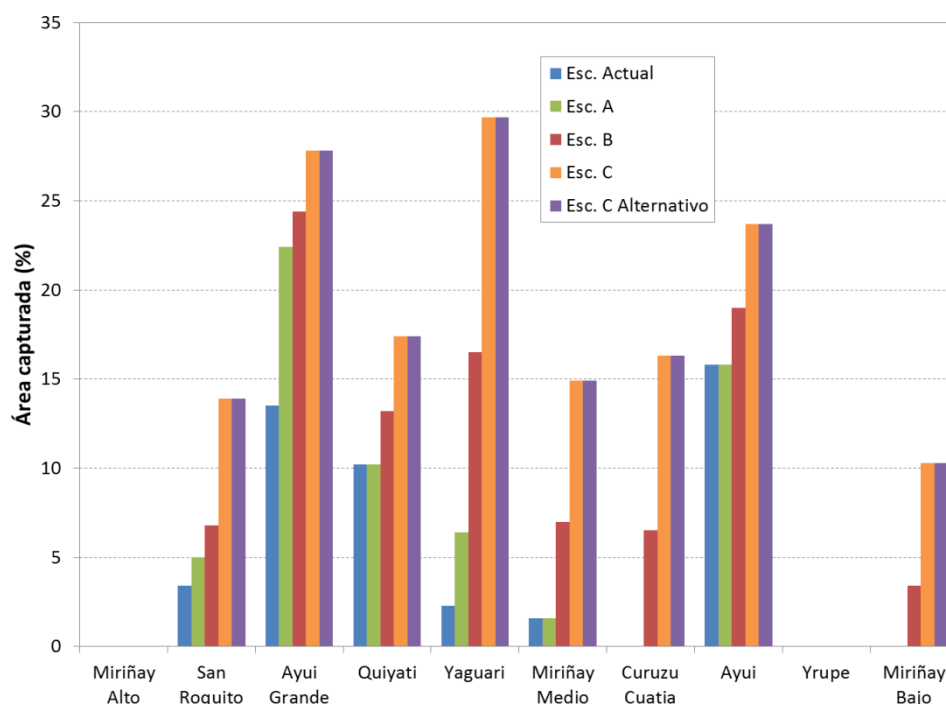


a) Área transformada.



b) Área forestada.





c) Área capturada por embalsamiento.

**Figura 4.2.1.** Áreas relativas intervenidas para escenarios futuros.

## Resultados del balance hídrico a futuro

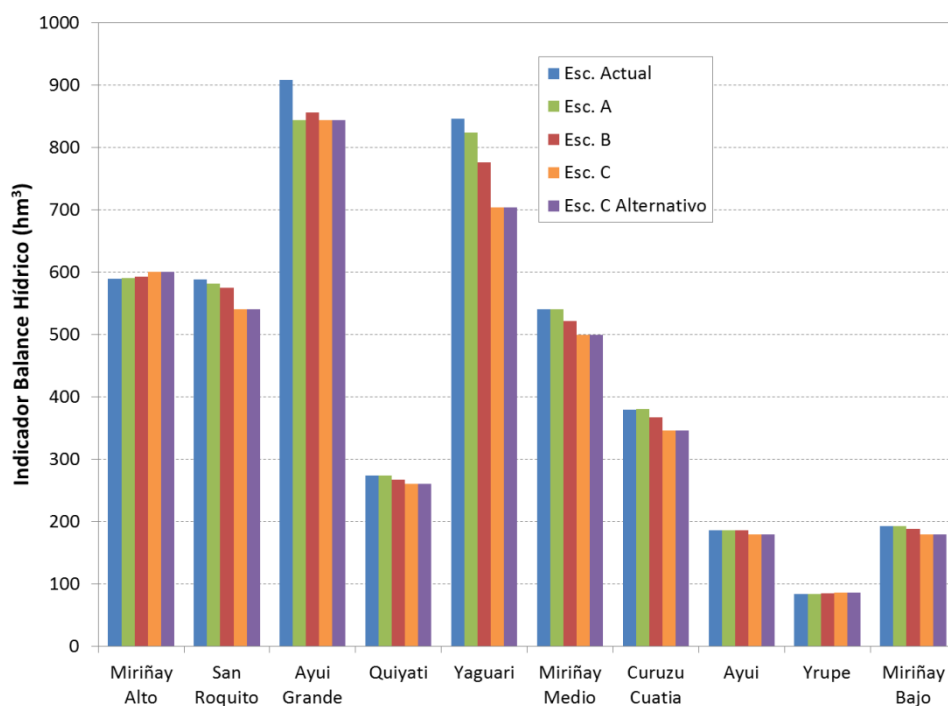
La Tabla 4.2.8 muestra los indicadores de balance hídrico para los cuatro escenarios, mientras que la Tabla 4.2.9 indica la variación que esos escenarios representan frente al actual. Ambos se grafican en la Figura 4.2.2. Se observa que, debido a los cambios previstos en el uso del suelo, habría una merma de los caudales producidos para la mayoría de las subcuencas, salvo para las de Miriñay Alto e Irupé, siendo más significativas las disminuciones en la subcuenca del Yaguari. No se nota diferencia entre los resultados correspondientes a los escenarios C y C Alternativo, dado que se ha considerado que las pasturas y los pastizales tienen propiedades similares de evapotranspiración.

**Tabla 4.2.8.** Indicador de balance hídrico por subcuenca para escenarios futuros.

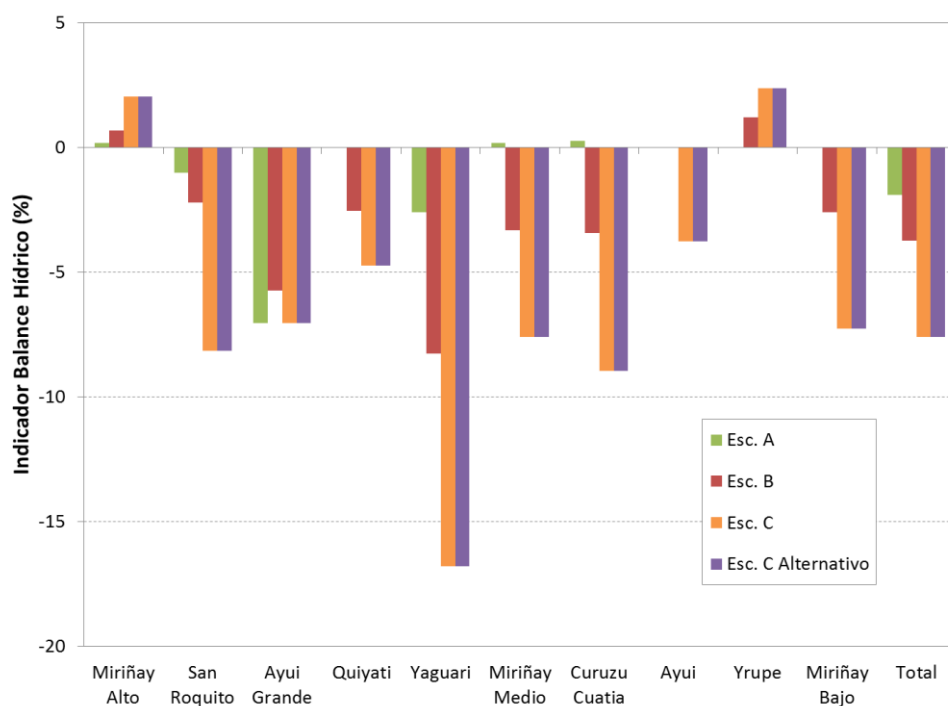
| ID           | Subcuenca     | Volumen (hm <sup>3</sup> ) |        |        |        |                    |
|--------------|---------------|----------------------------|--------|--------|--------|--------------------|
|              |               | Esc. Actual                | Esc. A | Esc. B | Esc. C | Esc. C Alternativo |
| 1            | Miriñay Alto  | 589                        | 590    | 593    | 601    | 601                |
| 2            | San Roquito   | 588                        | 582    | 575    | 540    | 540                |
| 3            | Ayui Grande   | 908                        | 844    | 856    | 844    | 844                |
| 4            | Quiyati       | 274                        | 274    | 267    | 261    | 261                |
| 5            | Yaguari       | 846                        | 824    | 776    | 704    | 704                |
| 6            | Miriñay Medio | 540                        | 541    | 522    | 499    | 499                |
| 7            | CuruzuCuatia  | 380                        | 381    | 367    | 346    | 346                |
| 8            | Ayui          | 186                        | 186    | 186    | 179    | 179                |
| 9            | Yrupe         | 84                         | 84     | 85     | 86     | 86                 |
| 10           | Miriñay Bajo  | 193                        | 193    | 188    | 179    | 179                |
| <b>Total</b> |               | 4588                       | 4500   | 4416   | 4239   | 4239               |

**Tabla 4.2.9.** Variación del indicador de balance hídrico por subcuenca para escenarios futuros.

| ID           | Subcuenca     | Variación respecto de escenario actual |        |        |                    |
|--------------|---------------|----------------------------------------|--------|--------|--------------------|
|              |               | Esc. A                                 | Esc. B | Esc. C | Esc. C Alternativo |
| 1            | Miriñay Alto  | 0.2%                                   | 0.7%   | 2.0%   | 2.0%               |
| 2            | San Roquito   | -1.0%                                  | -2.2%  | -8.2%  | -8.2%              |
| 3            | Ayui Grande   | -7.0%                                  | -5.7%  | -7.0%  | -7.0%              |
| 4            | Quiyati       | 0.0%                                   | -2.6%  | -4.7%  | -4.7%              |
| 5            | Yaguari       | -2.6%                                  | -8.3%  | -16.8% | -16.8%             |
| 6            | Miriñay Medio | 0.2%                                   | -3.3%  | -7.6%  | -7.6%              |
| 7            | CuruzuCuatia  | 0.3%                                   | -3.4%  | -8.9%  | -8.9%              |
| 8            | Ayui          | 0.0%                                   | 0.0%   | -3.8%  | -3.8%              |
| 9            | Yrupe         | 0.0%                                   | 1.2%   | 2.4%   | 2.4%               |
| 10           | Miriñay Bajo  | 0.0%                                   | -2.6%  | -7.3%  | -7.3%              |
| <b>Total</b> |               | -1.9%                                  | -3.8%  | -7.6%  | -7.6%              |



a) Indicador de balance hídrico.



b) Variación respecto del escenario Actual.

**Figura 4.2.2.** Balance hídrico para escenarios futuros.

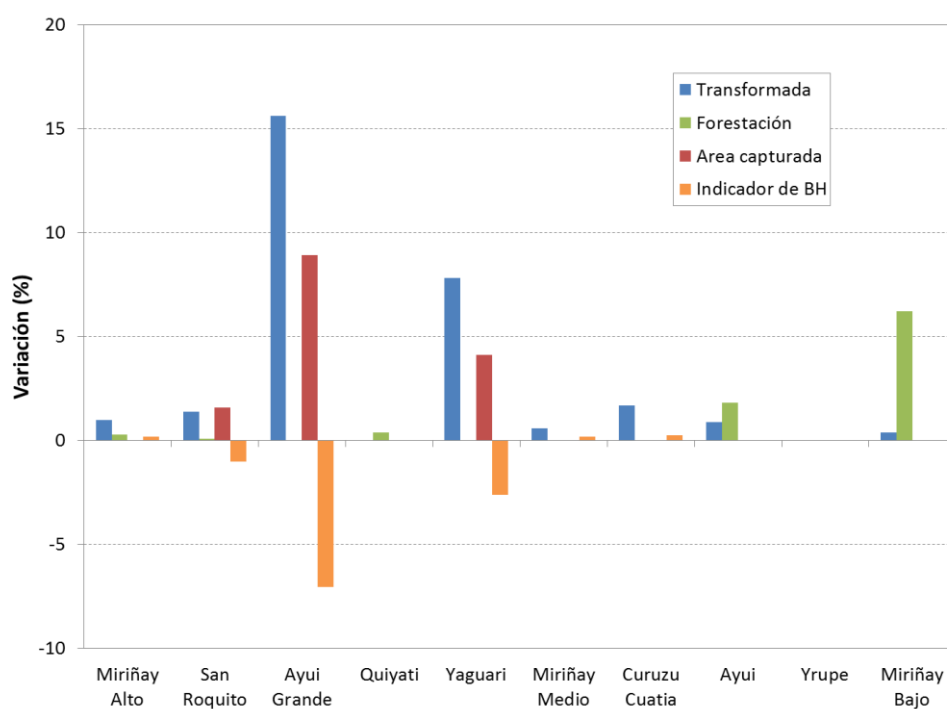
La Figura 4.2.3 resume los cambios operados entre los escenarios Actual y futuros, en términos de los aumentos relativos de área agrícola, de área forestal, de área capturada por los embalses (indicador del volumen embalsado), y de indicador de balance hídrico. Para el escenario A (Figura 4.2.3a) se observa que:

- Las disminuciones del indicador de balance hídrico para las subcuencas de San Roquito, Ayuí Grande y Yaguarí se deben al incremento de la cantidad de presas.
- Los pequeños incrementos para las subcuencas Miriñay Alto, Miriñay Medio y Curuzú Cuatía se deben al incremento del área agrícola.
- En las subcuencas Ayuí y Miriñay Bajo, los efectos contrapuestos de la agriculturización y la forestación se compensan.
- El incremento de la forestación en la subcuenca Quitayí no es suficiente como para producir un cambio notable en el indicador de balance hídrico.

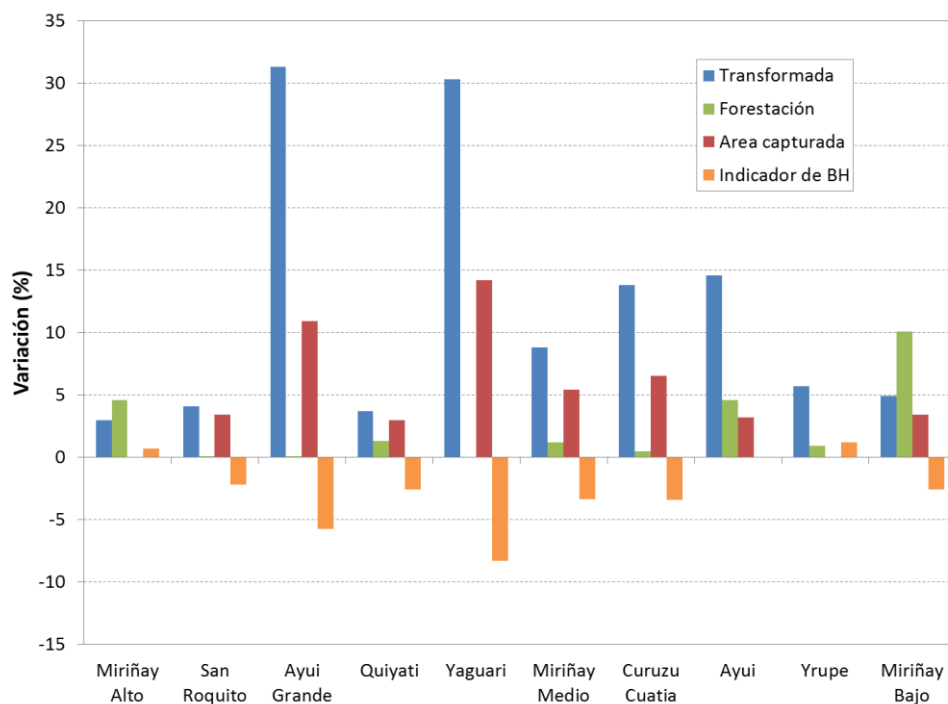
Para el escenario B (Figura 4.2.3b) se observa que:

- Las disminuciones del indicador de balance hídrico para las subcuencas de San Roquito, Ayuí Grande, Quiyatí, Yaguarí, Miriñay Medio, Curuzú Cuatía y Miriñay Bajo se deben al incremento de la cantidad de presas y, en algunas, al aumento del área forestada.
- Los incrementos, algo menores en magnitud, para las subcuencas Miriñay Alto e Yrupé se deben al incremento del área agrícola.

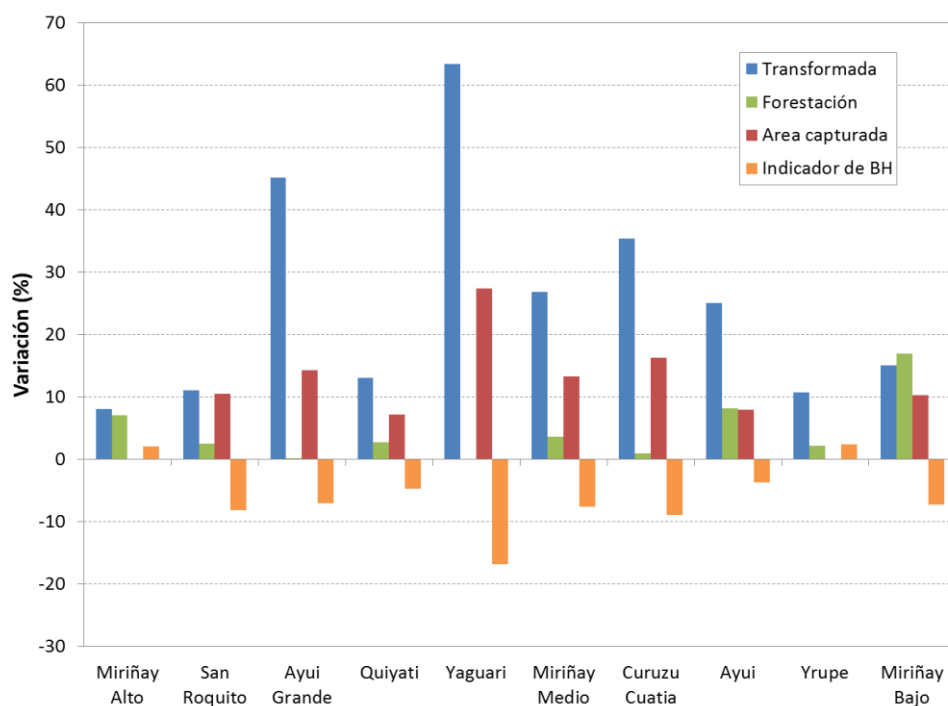
Para los escenarios C y C Alternativo (Figura 4.2.3c) se observa una respuesta cualitativamente igual que para el escenario B, sólo que más intensa.



a) Escenario A.



b) Escenario B.



c) Escenarios C y C Alternativo.

**Figura 4.2.3.** Variaciones de los escenarios futuros respecto del Actual.

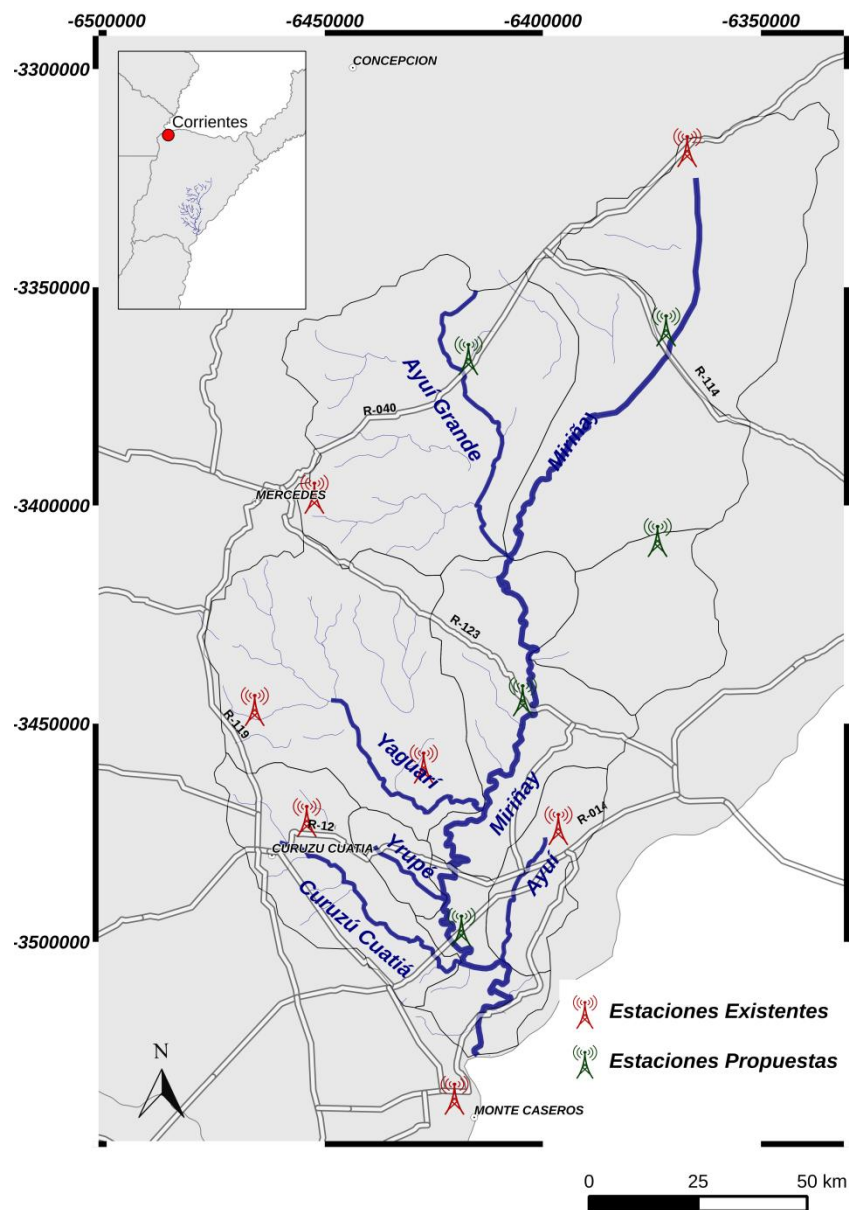
## 5 PROPUESTAS DE GESTIÓN

---

A continuación se describen las propuestas de gestión ambiental asociadas a los tres impactos ambientales potenciales de mayor relevancia en el análisis de la Cuenca del Río Miriñay:

1) Consumo de agua y la afectación del balance hidrológico. Es importante poder realizar periódicamente mediciones y calibraciones que permitan ajustar el modelo hidrológico, y así poder corroborar sus resultados e incrementar la certidumbre y ampliar sus alcances.

En ese sentido, en relación a las estaciones meteorológicas automáticas del Ministerio de la Producción, actualmente se encuentran operativas 7 sobre la cuenca del Miriñay (Figura 5.1). En el marco de una futura expansión de la red, en la Figura 5.1 se recomiendan ubicaciones aproximadas para 5 estaciones adicionales, de modo de cubrir más homogéneamente la cuenca.

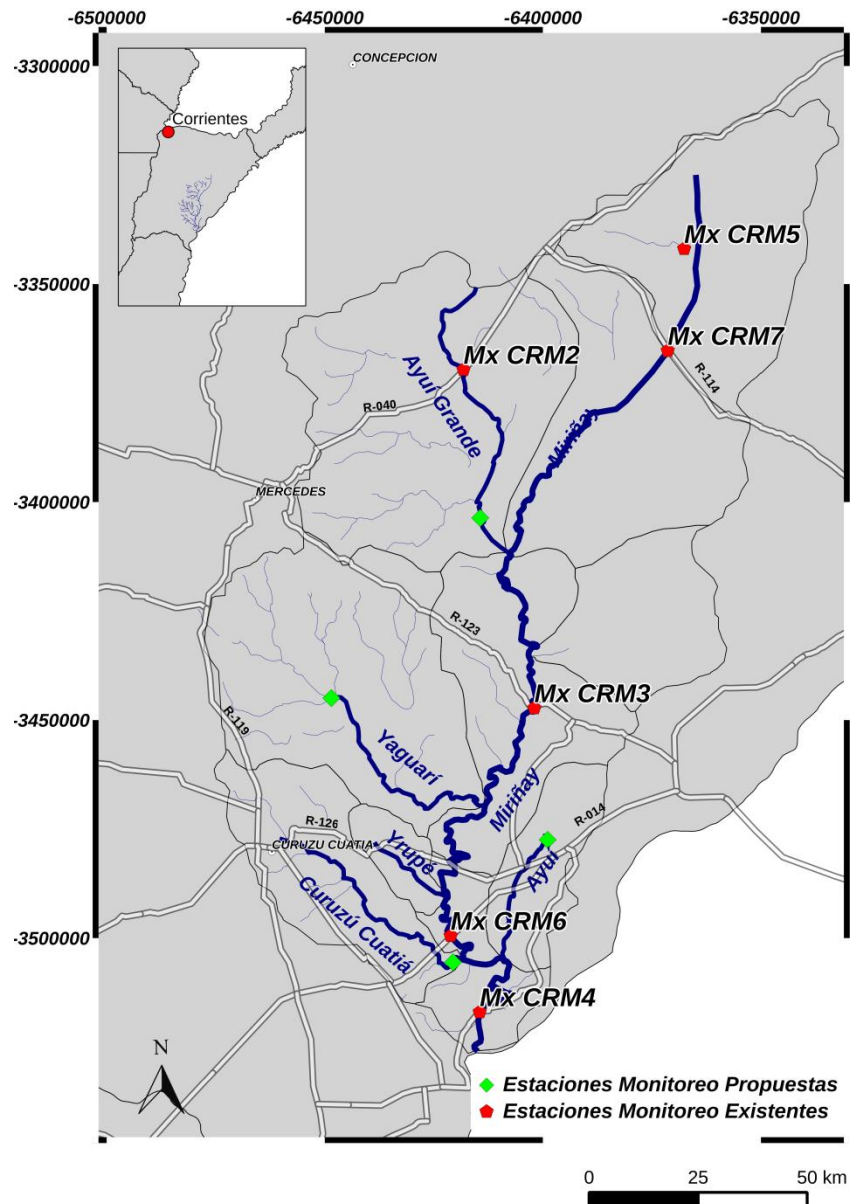


**Figura 5.1.** Estaciones meteorológicas adicionales propuestas para la Cuenca del Miriñay.

2) Contaminación del recurso hídrico. Al respecto, es importante continuar con el monitoreo de la calidad de agua, incrementando el número de estaciones de muestreo de forma proporcional al aumento de la superficie cultivada.

Con respecto a las actividades de monitoreo de calidad de agua en ejecución en la cuenca, actualmente se llevan a cabo en 6 estaciones (Figura 5.2): 5 sobre el río Miriñay (CRM3 en Ruta 123, CRM4 en Paso Barca, CRM5 en Laguna Merceditas, CRM6 en Ruta 14, CRM6 en Paso Mesa) y 1 sobre el arroyo Ayuí (CRM2 en Ruta 40). Se recomienda incrementar la cantidad de estaciones de monitoreo, adicionando 4 sobre tributarios del Miriñay, en secciones cercanas a, y aguas abajo de, zonas de actividad arrocerá significativa. En la Figura 5.2 se sugieren ubicaciones tentativas: 1 adicional sobre el Ayuí Grande, 1 sobre el

Yaguarí, 1 sobre el Curuzú Cuatía y 1 sobre el Ayuí. La ubicación precisa de estas estaciones debería ser ajustada en función de consideraciones de accesibilidad.



**Figura 5.2.** Estaciones de monitoreo adicionales propuestas para la Cuenca del Miriñay.

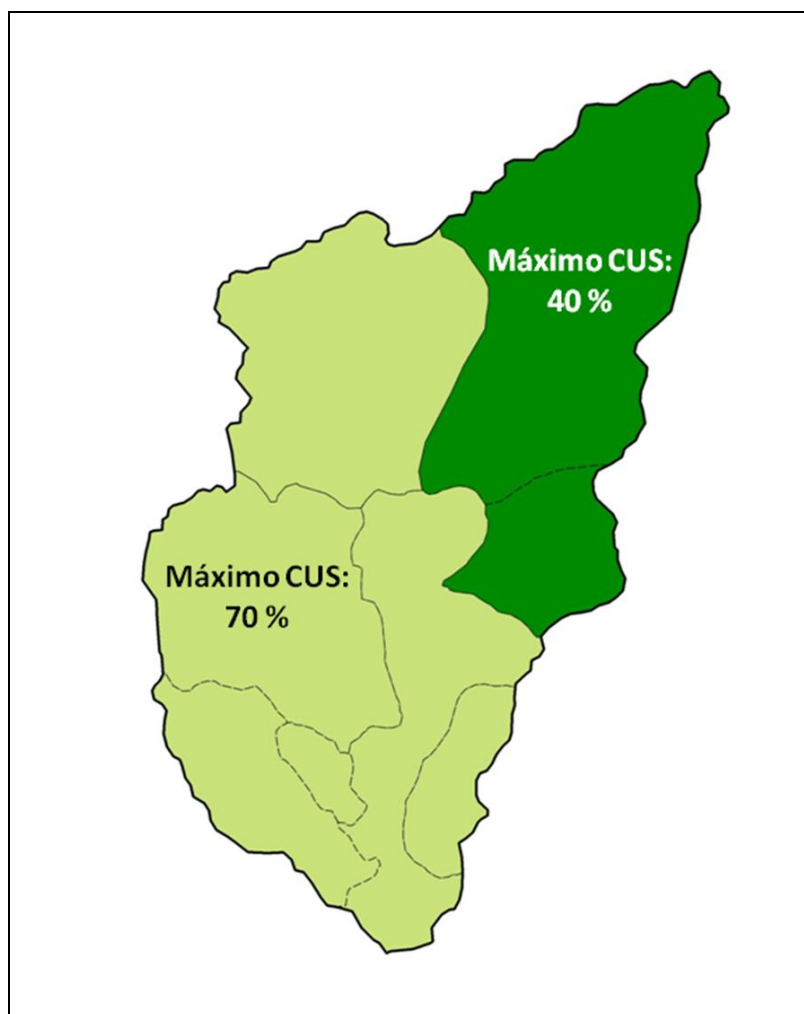
3) Expansión productiva y pérdida de ambientes naturales. En el análisis realizado se pudo observar que si bien a nivel de toda la cuenca no pareciera superarse un límite crítico, 3 subcuencas llegan a muy altos niveles de transformación en el Escenario C de máxima expansión: Ayuí Grande, Yaguarí y Ayuí. Hay que considerar además que este escenario sólo representa el máximo potencial para la producción de arroz con el sistema de riego dominante hoy en la cuenca, pero las otras actividades podrían expandirse aún más, elevando entonces también el nivel de cambio de uso del suelo y la magnitud del impacto ambiental ocasionado.



En este sentido, con el objetivo de mitigar el impacto de la pérdida de ambientes naturales, ubicando este impacto dentro de un rango admisible, se propone promover el desarrollo planificado y sustentable, sin comprometer las potencialidades productivas de la cuenca y al mismo tiempo sin poner en riesgo la conservación de los ambientes naturales.

Se entiende que la mejor medida es la regulación del porcentaje del Cambio de Uso del Suelo (%CUS) a nivel de subcuencas, aplicable de forma predial. Se establecen dos zonas con diferente %CUS según subcuencas (Figura 5.1), atendiendo a su grado de desarrollo productivo actual y potencial, y a sus características ambientales:

- a) Máximo CUS 70%. Subcuencas de Ayuí Grande, Yaguarí, Yrupé, Curuzú Cuatía, Sur de Ayuí Grande y Ayuí.
- b) Máximo CUS 40%. Subcuencas de Quiyatí y Norte de Ayuí Grande.



**Figura 5.1.** Zonas con diferente %CUS en la Cuenca del Río Miriñay, según subcuencas.

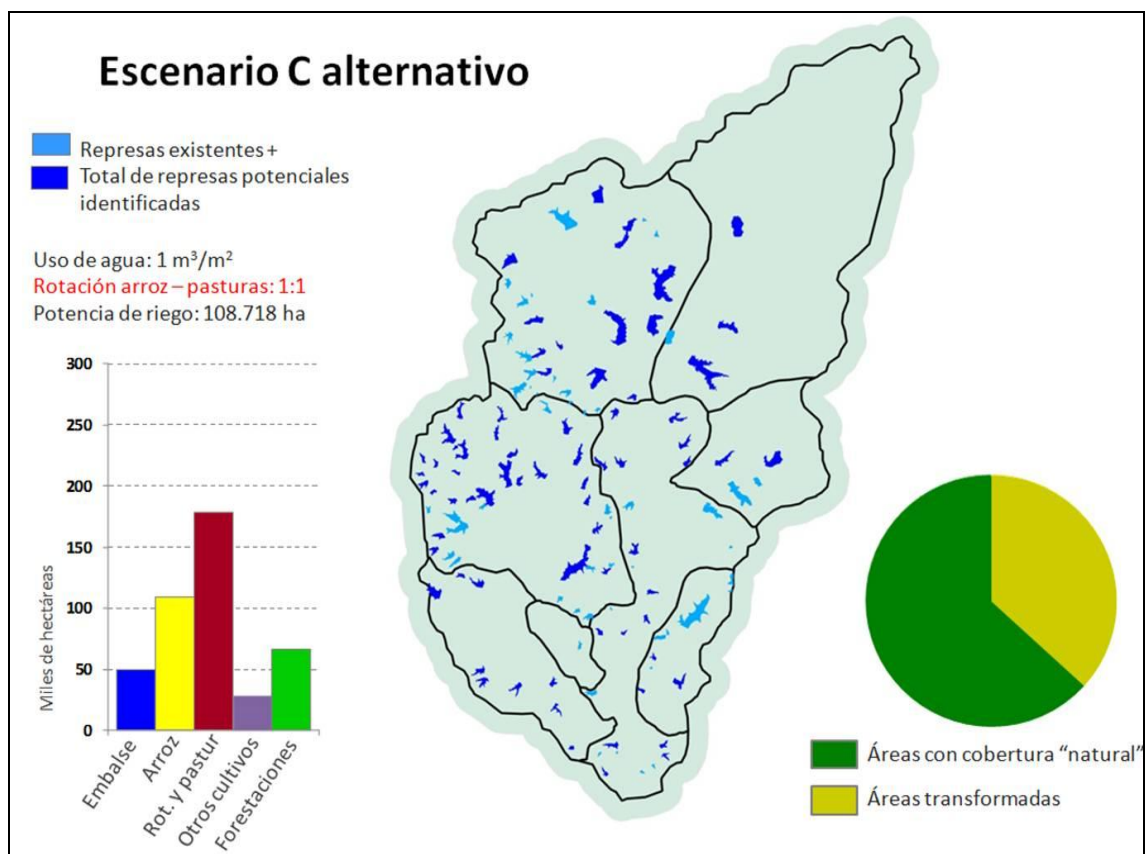
Hay que destacar la importancia de promover esta medida en el corto plazo, cuando aún se está lejos de alcanzar los niveles de CUS evaluados en los escenarios. Esto implicaría el establecimiento de reglas claras y equitativas para todos los actores involucrados, en un contexto de planificación y ordenamiento territorial, sin que se establezcan asimetrías, con zonas beneficiadas productivamente por haberse desarrollado antes, y zonas que queden relegadas con nulo desarrollo.

La medida de gestión, al comprender dos zonas y ser de bajada predial, simplifica mucho su aplicación. Un predio puede desarrollar un cambio de uso del suelo como máximo del 70% de su superficie, o del 40%, según en la zona en que se encuentre. Para hacerlo más gráfico y tomar un ejemplo, un predio de 2.000 ha ubicado en la zona de máximo CUS del 70%, podrá transformar hasta 1.400 ha de su superficie; en las 600 ha restantes no se podrá realizar transformación alguna de la cobertura natural.

Como área transformada debe considerarse a todo CUS de la cobertura natural, es decir, se incluyen lotes agrícolas, arroceros, de pasturas, infraestructura de caminos, canales, embalses, etc. En el área que no podrá ser transformada, la cobertura natural debe mantenerse como tal, sí pudiéndose realizar por ejemplo ganadería en campos naturales (no una pastura implantada) con una adecuada carga animal.

Lo interesante es que con una medida de este tipo que regula el %CUS se logra un compromiso al asegurar la conservación de los ambientes naturales y permitir un desarrollo planificado de las distintas actividades productivas. La regulación con los porcentajes planteados, posibilita adicionar a nivel de toda la Cuenca un máximo de 600 mil hectáreas a las ya transformadas en 2014, asegurando el potencial de arroz con las represas identificadas y permitiendo además una fuerte expansión de otras actividades. Esta posibilidad de expansión, al plantearse organizada en las distintas subcuencas, asegura la preservación de al menos 520.000 ha de ambientes naturales, con la ventaja además de tener mayor representación en las zonas mejor conservadas (zonas de malezales y bañados del NE de la cuenca) y de garantizar que los distintos ríos y arroyos con sus planicies y bañados aledaños sigan funcionando como corredores naturales para la fauna.

Como una manera de expresar las implicancias que posee la medida de gestión ambiental aquí propuesta, se analizó un nuevo escenario futuro que contempla y está inserto bajo esta regulación. Se evaluó un cuarto escenario de expansión a largo plazo, Escenario C Alternativo (Figura 5.2), en donde se consideraron los mismos criterios en cuanto a la totalidad de represas potenciales identificadas (74 represas en toda la cuenca) y a la eficiencia en el uso del agua de 1 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>; pero se consideró una rotación del tipo chacra espejo 1:1, es decir, 1 ha de arroz y 1 ha de pasturas.



**Figura 5.2.** Escenario C Alternativo, de expansión a largo plazo y planificada, en la Cuenca del Río Miriñay.

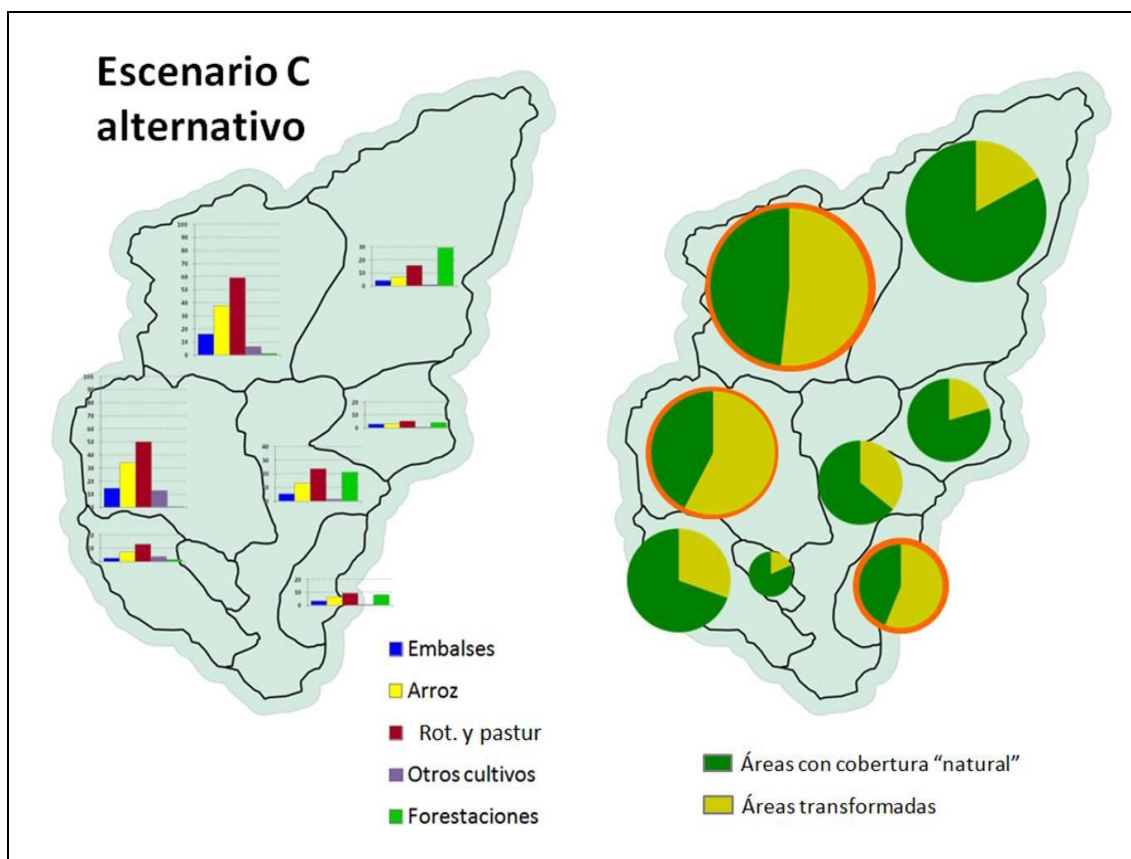
La Tabla 5.1 muestra los resultados obtenidos de la expansión planteada bajo el Escenario C Alternativo. Dicho escenario, posibilita desarrollar todo el potencial productivo arrocerero de la Cuenca, alcanzando una potencia de riego de 108.700 ha de arroz; pero a su vez se pueden alcanzar superficies importantísimas para todas las actividades productivas de la cuenca: 66.700 ha de forestaciones, 28.300 ha de otros cultivos agrícolas y un total de 178.700 ha entre la superficie de pasturas independientes, pasturas en rotación y lotes en descanso. A nivel de toda la Cuenca, este escenario implica casi triplicar la superficie productiva transformada actualmente al 2014 y garantizar al mismo tiempo que las áreas naturales sean más del 63% de la superficie de la Cuenca del Miriñay.

**Tabla 5.1.** Expansión planteada (en hectáreas) bajo el Escenario C Alternativo, a largo plazo y planificada.

| Subcuencas     | Sup. Emalse   | Pot. Riego (arroz) | en Rotación    | Infraestr     |
|----------------|---------------|--------------------|----------------|---------------|
| Ayuí grande    | 16.274        | 37.936             | 37.936         | 15.174        |
| Norte del Ayuí | 4.130         | 6.766              | 6.766          | 2.706         |
| Yaguarí        | 14.851        | 33.994             | 33.994         | 13.598        |
| Sur del Ayuí   | 5.434         | 12.989             | 12.989         | 5.195         |
| Quiyatí        | 2.988         | 3.174              | 3.174          | 1.270         |
| Curuzú Cuatía  | 2.779         | 7.216              | 7.216          | 2.886         |
| Yrupé          | 125           | 300                | 300            | 120           |
| Ayuí           | 3.444         | 6.344              | 6.344          | 2.538         |
| <b>TOTAL</b>   | <b>50.024</b> | <b>108.718</b>     | <b>108.718</b> | <b>43.487</b> |

| Subcuencas     | Pastur indep  | Rot. y pastur  | Otros cultiv  | Forestaciones | TOTAL AT       |
|----------------|---------------|----------------|---------------|---------------|----------------|
| Ayuí grande    | 21.200        | 59.136         | 6.485         | 1.049         | 136.054        |
| Norte del Ayuí | 9.200         | 15.966         | 1.050         | 29.494        | 60.111         |
| Yaguarí        | 16.300        | 50.294         | 13.100        | 331           | 126.167        |
| Sur del Ayuí   | 10.800        | 23.789         | 1.700         | 21.179        | 70.286         |
| Quiyatí        | 2.200         | 5.374          | 500           | 4.253         | 17.558         |
| Curuzú Cuatía  | 5.900         | 13.116         | 3.800         | 1.432         | 31.228         |
| Yrupé          | 1.300         | 1.600          | 1.200         | 715           | 4.060          |
| Ayuí           | 3.100         | 9.444          | 500           | 8.292         | 30.563         |
| <b>TOTAL</b>   | <b>70.000</b> | <b>178.718</b> | <b>28.335</b> | <b>66.745</b> | <b>476.026</b> |

Al tener en cuenta las particularidades de la expansión del escenario analizado en cada subcuenca (Figura 5.3) puede observarse que en las Subcuencas de Yrupé, Curuzú Cuatía, Sur de Ayuí Grande, Quiyatí y Norte de Ayuí Grande, las áreas con cobertura natural son netamente dominantes; en tanto que en las Subcuencas de Ayuí Grande, Yaguarí, y Ayuí, si bien predominan las áreas transformadas, estas nunca superan el 58% (Tabla 5.2).



**Figura 5.3.** Escenario C Alternativo, de expansión a largo plazo y planificada, en las distintas subcuencas del Río Miriñay.

**Tabla 5.2.** Superficies (en hectáreas) de las Subcuencas y de las áreas transformadas (AT) bajo el Escenario C Alternativo. % ACN: porcentaje de áreas con cobertura natural.

| Subcuencas     | Superf.          | TOTAL AT       | % AT        | % ACN       |
|----------------|------------------|----------------|-------------|-------------|
| Ayúí grande    | 262.978          | 136.054        | 51,7        | 48,3        |
| Norte del Ayúí | 351.339          | 60.111         | 17,1        | 82,9        |
| Yaguarí        | 218.901          | 126.167        | 57,6        | 42,4        |
| Sur del Ayúí   | 195.514          | 70.286         | 35,9        | 64,1        |
| Quiyatí        | 86.140           | 17.558         | 20,4        | 79,6        |
| Curuzú Cuatía  | 102.464          | 31.228         | 30,5        | 69,5        |
| Yrupé          | 22.085           | 4.060          | 18,4        | 81,6        |
| Ayúí           | 54.434           | 30.563         | 56,1        | 43,9        |
| <b>TOTAL</b>   | <b>1.293.855</b> | <b>476.026</b> | <b>36,8</b> | <b>63,2</b> |

## 6 CONCLUSIONES

---

Las principales conclusiones en relación al balance hídrico son las siguientes:

- El desarrollo agro-forestal proyectado a corto, mediano y largo plazo en la cuenca del río Miriñay tendrá consecuencias relativamente menores en el balance hídrico anual.
- En general, habrá una disminución en los volúmenes medios anuales escurridos desde cada subcuenca, con reducciones relativas que, en general, no alcanzarán el 10%. Ellas no pondrán en riesgo la sustentabilidad de los ambientes naturales en torno al cauce del río Miriñay.
- El cambio en el balance hídrico también ha sido relativamente menor debido al desarrollo agro-forestal actual respecto de la situación natural.

En relación a la metodología de análisis del balance hídrico, se concluye que:

- La implementación de un modelo hidrológico de la Cuenca del Miriñay ha permitido cuantificar el efecto que el cambio de uso de suelo genera sobre el balance hídrico anual.
- En particular, el modelo ha permitido determinar el impacto acumulado de distintas intervenciones, capturando eventuales efectos cascada.
- El modelo se ha aplicado tomando como representativa del clima la ventana de tiempo 2002-2014. Podrían generarse eventualmente series temporales de precipitación y evapotranspiración potencial representativas de escenarios de Cambio Climático.
- El modelo admite ajustes en las hipótesis y aproximaciones, de modo de avanzar hacia versiones con las cuales incrementar la certidumbre de los resultados, y/o ampliar sus alcances (por ejemplo, para determinar impactos sobre el balance hídrico mensual).

Respecto a la expansión productiva y pérdida de ambientes naturales:

En los últimos años, en la Cuenca del Río Miriñay se viene produciendo un importante desarrollo productivo, particularmente de expansión del área arrocerá y de pasturas para ganadería.

Asimismo, del análisis de las posibilidades de expansión de estas actividades, evaluadas en el presente estudio bajo distintos escenarios a futuro, se puede observar que la cuenca posee los recursos hídricos necesarios para sostener este desarrollo.

Sin embargo, el cambio de uso del suelo asociado a este desarrollo, siguiendo las tendencias actuales (lo que fuera evaluado bajo el Escenario C), provocaría un elevado impacto ambiental; por lo que se deben tomar medidas de gestión que mitiguen el impacto del CUS de esta expansión sobre los ambientes naturales.

Surge así que la principal herramienta de gestión es regular los porcentajes de CUS que pueden realizarse en las distintas subcuencas. La forma más sencilla e imparcial de hacerlo, es aplicar dicha medida a nivel predial, esto es que un predio en cuestión transforme como máximo el porcentaje asociado a la subcuenca que pertenece.

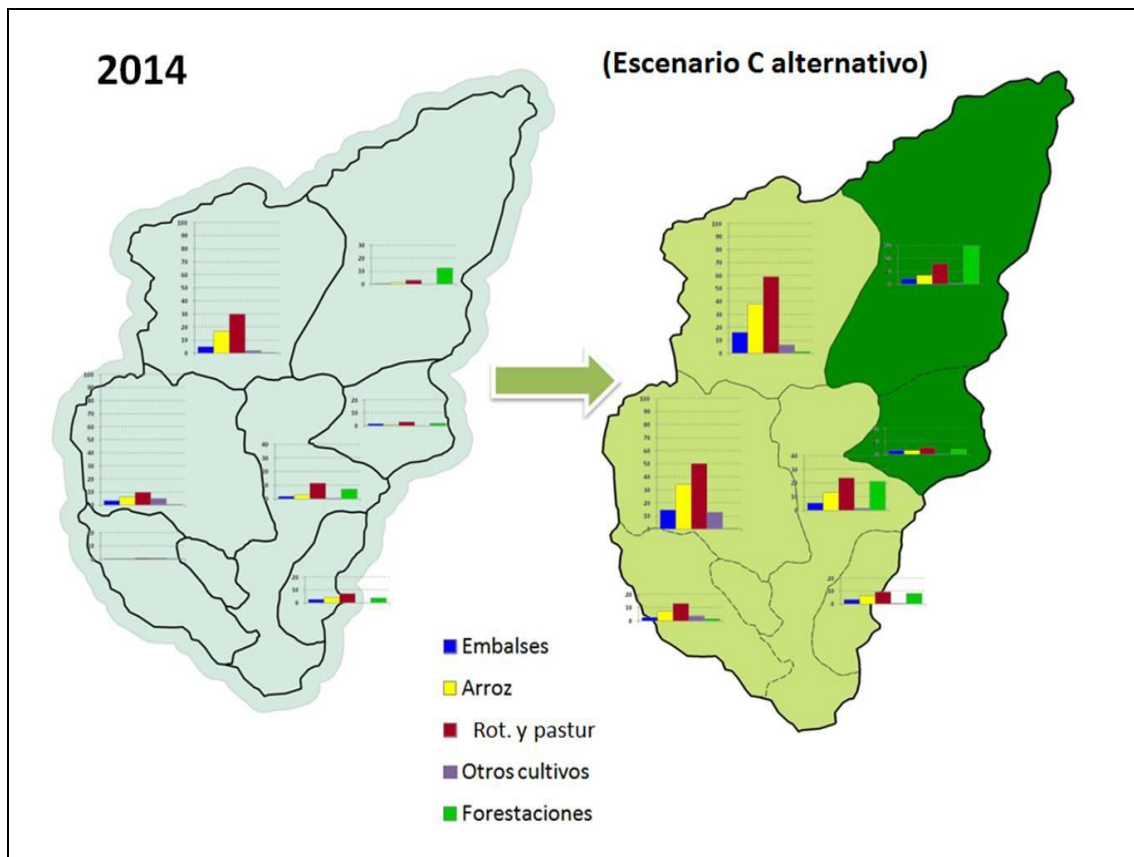
Será importante también que se fomenten las Buenas Prácticas Ganaderas y la Ganadería Sustentable en los ambientes naturales, para revertir el alto grado de degradación y sobrepastoreo que presentan particularmente los pastizales nativos.

Es de destacar en este punto, lo logrado de forma análoga con la adopción para la gestión ambiental en la producción arrocerá, de la Guía de Buenas Prácticas Agrícolas para el cultivo de arroz en la Provincia de Corrientes (Resolución 167 del 11 de marzo de 2009).

Se debe continuar con la política de monitoreo de calidad de agua, medida de gran relevancia que permitirá seguir en el tiempo la evolución del desarrollo de la actividad productiva y su influencia o no sobre la calidad de los recursos hídricos.

Por último, sólo la planificación integrada y el ordenamiento territorial de la Cuenca del Río Miriñay posibilitarán conciliar los intereses de desarrollo de las distintas actividades productivas con los de conservación de la biodiversidad.





La Cuenca del Río Miriñay nos presenta una oportunidad invaluable para desarrollar una experiencia de desarrollo sustentable. La Provincia de Corrientes está en condiciones de gestionar hoy para evitar problemas mañana, estableciendo reglas claras para todos los actores de la cuenca, planificando un desarrollo ordenado de las distintas actividades, sin coartar las posibilidades productivas de ningún sector y asegurando la conservación de los distintos ambientes naturales.



## 7 BIBLIOGRAFÍA

---

Alarcón, M.F., Insaurrealde, J.A., 2011, “Recursos hídricos y aprovechamiento de la cuenca del río Miriñay, provincia de Corrientes, Argentina”, Contribuciones Científicas GÆA (Sociedad Argentina de Estudios Geográficos), Vol. 23. 21-36.

Alarcón, M.F., 2013, “Aproximación al análisis de la capacidad de acogida del territorio para el desarrollo de la actividad agrícola: el caso de la cuenca del río Miriñay, provincia de Corrientes (Argentina)”, XIV EGAL, Perú.

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 2006, “Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos”, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma.

Bennett, T.H. and Peters, J.C., 2000, “Continuous Soil Moisture Accounting in the Hydrologic Engineering Center Hydrologic Modeling System (HEC-HMS)”, Joint Conference on Water Resource Engineering and Water Resources Planning and Management 2000, Water Resources 2000, Rollin H. Hotchkiss, Michael Glade - Editors, July 30 – August 2, Minneapolis, Minnesota, USA.

Fontán, Raúl, 2011, “Identificación de emprendimientos de riego, Región Centro Sur de la Provincia de Corrientes, 1º etapa, Departamentos Curuzú Cuatiá y Sauce”, Provincia de Corrientes, Consejo Federal de Inversiones.

Fontán, Raúl, 2013, “Identificación de emprendimientos de riego, Región Centro Sur de la Provincia de Corrientes, 2º etapa, Departamentos Mercedes, Monte Caseros y Paso de los Libres”, Provincia de Corrientes, Consejo Federal de Inversiones.

ICAA, 2013, “Indicadores de calidad de agua vinculados con la actividad arrocerá en cuencas hídricas de la Provincia de Corrientes”, XXIV Congreso Nacional del Agua, San Juan, 14-18 octubre.

- Jorgensen, G.S., Solomon, K.H. and Cervinka, V., 1993, “Agroforestry systems for on-farm drain water management”, Fresno, CA: California State University, Center for Irrigation Technology.
- López Avendaño, J.M., 2007, Irrigación y Drenaje. Unidad III: Necesidades Hídricas de los Cultivos. Facultad de Agronomía. Universidad Autónoma de Sinaloa.
- Pagliettini, L., Gil, G., 2008, “El Valor del Agua en el Proceso Productivo. Análisis en la Cuenca del Río Miriñay”, RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Volume 13, n.3, Jul/Set, 165-175.
- Ruberto, A., Currie, H., 1999, “Oferta y Demanda de los Recursos Hídricos en la Cuenca del Río Miriñay (Pcia. de Corrientes)”, Arandú, Publicación Técnica, Resistencia (Chaco).
- Rujana, M.R., Currie, H.M., Bartra Vásquez, L., Sosa, O.M., 2010, “Las Presas de Tierra en la Provincia de Corrientes”, VI Congreso Argentino de Presas y Aprovechamientos Hidroeléctricos, Neuquén, Argentina.
- Sabarots Gerbec, M., 2011. Estudio de la influencia del embalse de Yacyretá sobre la hidrología del Arroyo Zaimán – Posadas – Misiones, tesis de graduación, Facultad de Ingeniería, UBA, diciembre.
- Ven Te Chow, 1994, “Hidrología Aplicada”, MaidmentMays.
- NRCS (Natural Resource Conservation Service), 1999, “Urban Hydrology for Small Watersheds”, Engineering Division, Department of Agriculture, USA, Technical Release–55.
- Zamanillo, E.A., 2009. Tormentas de diseño para la Provincia de Entre Ríos, Dirección de Hidráulica de Entre Ríos y Facultad Regional Concordia de la Universidad Tecnológica Nacional.

## 8 LÁMINAS

---

Lamina 1. Mapa de coberturas del suelo de la Cuenca del Río Miriñay, año 2000.

Lamina 2. Mapa de coberturas del suelo de la Cuenca del Río Miriñay, año 2014.