



Organización
de las Naciones Unidas
para la Educación,
la Ciencia y la Cultura



Programa Hidrológico Internacional

La ecohidrología como desafío: experiencias y estudios de caso

Editores:

Marcelo Gaviño Novillo
Ramiro Sarandón

phi-LAC

Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO
para América Latina y el Caribe

PHI-VII / Documento Técnico N° 23



eco/hidrología
Maestría en evaluación
ambiental de sistemas
hidrológicos



Organización
de las Naciones Unidas
para la Educación,
la Ciencia y la Cultura



Programa Hidrológico Internacional

La Ecohidrología como desafío: experiencias y estudios de caso

PHI-VII / Documento Técnico N° 23

Editor:

**Marcelo Gaviño
Novillo
Ramiro Sarandón**



eco/hidrología/

Maestría en evaluación
ambiental de sistemas
hidrológicos

Publicado en el 2010 por el Programa Hidrológico Internacional (PHI) de la Oficina Regional de Ciencia para América Latina y el Caribe de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO)

ISBN 978-92-9089-148-2 - Documento Técnico N° 23: La ecohidrología como desafío: experiencias y estudios de caso

© UNESCO 2010

Las denominaciones que se emplean en esta publicación y la presentación de los datos que en ella figura no suponen por parte de la UNESCO la adopción de postura alguna en lo que se refiere al estatuto jurídico de los países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, no en cuanto a sus fronteras o límites. Las ideas y opiniones expresadas en esta publicación son las de los autores y no representan, necesariamente, el punto de vista de la UNESCO.

Se autoriza la reproducción, a condición de que la fuente se mencione en forma apropiada, y se envíe copia a la dirección abajo citada. Este documento debe citarse como:

UNESCO, 2010. La ecohidrología como desafío: experiencias y estudios de caso
Documentos Técnicos del PHI-LAC, N°23

Dentro del límite de la disponibilidad, copias gratuitas de esta publicación pueden ser solicitadas a:

Programa Hidrológico Internacional para
América Latina y el Caribe (PHI-LAC)
Oficina Regional de Ciencia para América
Latina y el Caribe
UNESCO
Dr. Luis P. Piera 1992, 2º piso
11200 Montevideo, Uruguay
Tel.: + 598 2 413 2075
Fax: + 598 2 413 2094
E-mail: phi@unesco.org.uy
<http://www.unesco.org.uy/phi>

PREFACIO

Como una recomendación de la Conferencia Internacional sobre la Agua y Medio Ambiente (Dublín, 1992), reconocida mundialmente por los principios que allí se adoptaron para la gestión integrada de los recursos hídricos, surgió la **ecohidrología** en tanto una nueva ciencia cuyo nombre surge de la fusión de los términos "hidrología" y "ecología", y que propone una nueva metodología de enfoque para una gestión sustentable del agua basada en evidencia científica proveniente de ambos campos disciplinarios.

El Programa Hidrológico Internacional PHI de la UNESCO incluyó este nuevo enfoque en su Quinto Plan Estratégico (1996-2001), y desde entonces ha dado un gran impulso a su desarrollo a nivel mundial. Si bien desde su inicio nuestra Región ha participado de sus actividades, fue recién en septiembre de 2003 cuando se creó el Programa Regional de Ecohidrología para América Latina y el Caribe (PRELAC) cuyo objetivo es apoyar la implementación de las directivas de su Comité Asesor (Steering Committee). Desde entonces ha organizado sus actividades en base a tres ejes programáticos: proyectos de investigación-acción en diversos campos de trabajo, el fortalecimiento de las capacidades y la difusión.

Entre las actividades de formación apoyadas desde el PRELAC se cuenta a la Maestría en Ecohidrología de la Universidad Nacional de La Plata, primera en su tipo a nivel mundial, la cual es organizada por la Facultad de Ingeniería y la Facultad de Ciencias Naturales y Museo, cuyo dictado comenzó en agosto de 2004.

Desde entonces se han formado como maestrandos cinco cohortes de estudiantes de diversa extracción profesional provenientes de Argentina y de otros países de América Latina, y se han integrado prestigiosos profesores invitados de otras universidades.

Es dable mencionar que desde su lanzamiento la maestría cuenta con un Seminario Inaugural auspiciado por PRELAC, el PHI/UNESCO y el Comité Nacional Argentino para el PHI, en cuyo marco se han tratado los temas emergentes que forman parte de la agenda mundial del Programa tales como los sitios demostrativos, la gestión de humedales, los riesgos naturales, las aguas subterráneas, y los instrumentos de la ecohidrología entre otros.

Sin lugar a dudas, como surge de las conclusiones de estos Seminarios, la aplicación del enfoque ecohidrológico en nuestra Región es aun un gran desafío, no obstante lo cual existen experiencias que demuestran los avances logrados en la gestión del agua desde una visión ecosistémica. En este contexto, algunos profesores, investigadores y maestrandos aceptaron el desafío de presentar en esta publicación de manera integrada los avances que van logrando en la implementación del enfoque ecohidrológico. Es ejemplificador que para ello se presenten estudios de caso prácticos y concretos como referencia para los tomadores de decisión.

Se espera que este Documento Técnico, con ello, ayude a allanar el desafío que representa la aplicación de la ecohidrología en la práctica y en nuestra Región.

Marcelo Gaviño Novillo

Profesor - Maestría en Ecohidrología - UNLP
Coordinador Regional PRELAC

LA ECOHIDROLOGÍA COMO DESAFÍO: EXPERIENCIAS Y ESTUDIOS DE CASO

Marcelo Gaviño Novillo ^{1 3}, Ramiro Sarandón ^{2 3}

1 Departamento de Hidráulica Universidad Nacional de La Plata - 47 N° 200 - La Plata - (1900) - Argentina - Tel (+54) 221 4236691 - e-mail: marcelo.g@ing.unlp.edu.ar

2 Facultad de Ciencias Naturales y Museo - Universidad Nacional de La Plata Avenida 60 y 122 La Plata - (1900) - Argentina - e-mail: sarandon@fcnym.unlp.edu.ar

3 Maestría en Ecohidrología - www.ing.unlp.edu.ar/ecohidrologia

I. LOS DESAFÍOS PARA UNA GESTIÓN SUSTENTABLE DEL AGUA Y LA APLICACIÓN DEL ENFOQUE ECOHIDROLÓGICO

El Siglo XX se ha caracterizado por una toma de decisiones que privilegió enfáticamente el crecimiento económico como la mejor manera para incrementar la calidad de vida y reducir la pobreza en el mundo. Ello ha justificado un incremento en el consumo de los bienes que provee la naturaleza, y en particular de los recursos naturales para sustentar la actividad económica. Si bien la sociedad y los tomadores de decisión han mostrado un incremento en la preocupación sobre el agotamiento y deterioro creciente de los recursos naturales, aún no se tiene una verdadera dimensión de las consecuencias que ello puede acarrear en el largo plazo (Gaviño Novillo, 1999; 2000).

Tanto en el informe Brundtland (WCED, 1986), editado en 1987, como en las Conferencias Internacionales de Río de Janeiro (1992) y Johannesburgo 2002 organizadas por las Naciones Unidas, se alertó tempranamente esta situación, así como las consecuencias ambientales que acarrea un estilo de desarrollo basado exclusivamente en dicho crecimiento económico, reclamando un desarrollo que privilegie el mantenimiento de las oportunidades de manera equitativa para las generaciones actuales y futuras. Ello sólo será posible si se promueve al mismo tiempo, y en el largo plazo, el crecimiento económico, la redistribución equitativa y ampliación de los beneficios al conjunto de la sociedad, y el mantenimiento del capital ecológico.

En particular la gestión del agua en América Latina y el Caribe enfrenta una crisis debida a la superación de cuatro desafíos que comienzan a ocupar un lugar cada vez más preponderante en la agenda de los tomadores de decisión en cualquier campo de actividades. En primer lugar el desafío resultante de cubrir la *falta de acceso al agua potable* de una importante proporción de la sociedad. Esto incluye la incapacidad de proporcionar la infraestructura básica para captar, almacenar, tratar y suministrar agua a la población; pese a que desde 2002 el acceso al agua segura es considerado un derecho humano.

El segundo desafío surge de remediar la *contaminación del agua*, en gran parte debida a la carencia o insuficiencia de sistemas de tratamiento de los subproductos derivados de su uso, así como de la disposición de los recursos económico-financieros para su construcción. El tercer desafío es surge de la necesidad de superar la *escasez* frente a un recurso finito y en términos de la expectativa de vida de una persona no renovable debido al agotamiento de los recursos hídricos, lo cual comienza a generar un temor análogo al que surge del agotamiento del petróleo, llegando inclusive a una nueva dimensión de delitos como el robo del agua. El cuarto y último desafío surge en implementar una *gestión integrada de los recursos hídricos* a nivel de cuencas y de largo plazo.

Desde esta perspectiva, la gestión de los recursos hídricos y del resto de los recursos naturales asociados a ellos, adquiere un rol preponderante, pues para ampliar la cobertura de abastecimiento del agua será necesario aprovechar de manera incremental aún mayores fracciones de los recursos hídricos disponibles, de por sí ya escasos; implementar estrategias de control y remediación de la contaminación; y lograr una integración de los diversos instrumentos de gestión en pos de ello. Ello requiere de marcos teóricos y conceptuales que orienten a los decisores acerca de las múltiples dimensiones de la gestión del agua.

Durante la Conferencia Internacional sobre la Agua y Medio Ambiente (Dublín, 1992), reconocida mundialmente por los principios que allí se adoptaron para la gestión integrada de los recursos hídricos, surgió la *ecohidrología* en tanto una nueva ciencia cuyo nombre surge de la fusión de los términos "hidrología" y "ecología", que propone precisamente una nueva metodología de enfoque para una gestión sustentable y de largo plazo de los recursos hídricos. Se basa en la aplicación de los siguientes principios (Zalewski, 1997):

- Restablecer y mantener los procesos evolutivos de circulación del agua, nutrientes y energía a escala de cuenca,
- Amplificar la capacidad de carga (solidez) de los ecosistemas frente a la

presión antrópica, y

-Usar las propiedades de los ecosistemas como herramientas de gestión del agua (ingeniería ecológica).

Su aplicación implica una regulación dual de los ecosistemas mediante la cual: la hidrología puede ser empleada para regular la biota (H1); la manipulación de la biota puede convertirse en un instrumento para la regulación de los procesos hidrológicos (H2); y a su vez, ambas regulaciones se integran (H1 y H2) en una nueva ingeniería ecológica ("blanda") que permita alcanzar finalmente una gestión sustentable de los recursos hídricos y el mantenimiento de los servicios ambientales provistos por los ecosistemas. Este enfoque fue adoptado por el Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO a partir de la Quinta Fase del su Plan Estratégico en 1996, y desde entonces se ha difundido tanto a nivel mundial como en América Latina y el Caribe, promoviendo actividades que tratan de incidir en la aplicación de estos tres principios.

La cuenca, desde la ecohidrología, es considerada como un "macrosistema ecológico" en el cual se establecen mutuas interacciones (ecológicas, hidrológicas y sociales) y cuya fisiología debe ser entendida como la de un sistema complejo, sujeto al conocimiento de la dinámica de los "hidrosistemas" y sus relaciones con el clima, la hidroquímica, la hidrobiología, la ecotoxicología, la biología, la geología, la física, así como los procesos biológicos y sociales que tienen lugar en ella como el uso del territorio entre otros. Bajo estas premisas, el desafío de aplicar el **enfoque ecohidrológico** requiere pensar en términos interdisciplinarios, orientando el proceso de toma de decisiones en base a evidencia científica proveniente de ambos campos disciplinarios, complementado con las ciencias sociales y del comportamiento.

En este marco, a partir del año 2003, la Universidad Nacional de La Plata organizó y comenzó el dictado de la Maestría en Ecohidrología (Evaluación Ambiental de Sistemas Hidrológicos) por intermedio de las Facultades de Ingeniería y de Ciencias Naturales y Museo con docentes de la propia universidad, de otras universidades de Argentina, así como mediante la participación de docentes y expertos internacionales de intensa actividad en el Programa Hidrológico Internacional (PHI) de la UNESCO y bajo el auspicio del mismo. Complementariamente comenzó a desarrollar trabajos de investigación y extensión a escala de Argentina y América Latina buscando enfrentar

de manera complementaria el desafío que implica implementar los principios de la Ecohidrología en la práctica, lo cual es objeto de otras publicaciones de UNESCO en esta misma serie. Estos esfuerzos recientemente han sido reconocidos a nivel internacional y permitido que la Universidad Nacional de La Plata se sume al dictado de la Maestría Internacional en Ecohidrología ERASMUS MUNDUS que se inicia en el presente año 2010.

En el contexto de estos esfuerzos, en el presente documento se han integrado una serie de trabajos preparados por docentes de la Maestría en Ecohidrología que muestran los esfuerzos que se hacen para superar el desafío que implica la implementación de los principios de la ecohidrología en la práctica. Sin duda es un punto de partida para que se sumen nuevos esfuerzos en el seno del propio PHI de la UNESCO, pero que a su vez anime a otros grupos de investigación, gestión y docencia a sumarse a la aplicación de este nuevo paradigma para la gestión del agua.

2. LOS NUEVOS MARCOS NORMATIVOS PARA LA GESTIÓN DEL AGUA Y EL ENFOQUE ECOHIDROLÓGICO

El *enfoque ecohidrológico* está en total sintonía con los nuevos marcos normativos para la gestión de los recursos hídricos a nivel global, como lo es la Directiva 2000/60/CE de política de aguas; la Directiva 2007/60/CE de evaluación y gestión de los riesgos de inundación, y la Directiva 2006/118/CE contra la contaminación, cuya convergencia obliga en la actualidad a los países de la Comunidad Europea a adaptarlas a los propios marcos normativos nacionales, iniciando una verdadera re-ingeniería en materia de gestión del agua. Y poco a poco orientando a otros países alrededor del mundo a que sigan este proceso y adapten sus propios marcos regulatorios.

La Directiva de Política de Aguas (2000/60/CE), en particular, establece la necesidad de prevenir y reducir la contaminación, fomentar un uso sostenible, proteger y mejorar los ecosistemas acuáticos, y mitigar los efectos de las inundaciones y las sequías. Para ello, se prevé la elaboración de Planes de Gestión y un Programa de Medidas en cada cuenca con objeto de:

-Prevenir el deterioro, mejorar y restaurar el estado de los cuerpos de agua superficiales, lograr el "buen estado químico y ecológico" ("good status") y

reducir la contaminación debida a los vertidos y emisiones de sustancias peligrosas;

-Proteger, mejorar y restaurar las aguas subterráneas, prevenir su contaminación y deterioro y garantizar un equilibrio entre su captación y su renovación; preservar las zonas protegidas.

Es dable mencionar que la elaboración de planes de este tipo son una oportunidad para aplicar los principios de la ecología y lograr finalmente el "buen estado de las aguas" (good status) a que se hace mención en la Directiva en base a una combinación simultánea del mantenimiento de la morfología fluvial (restaurando las canalizaciones, derivaciones, cortas de meandros entre otros), manteniendo la cantidad de agua (asignando un caudal ambiental) y la calidad del agua (química, física y biológica). Ello permitirá en la medida de lo posible restaurar el hábitat fluvial original (Ver **Fig.Nº1**).

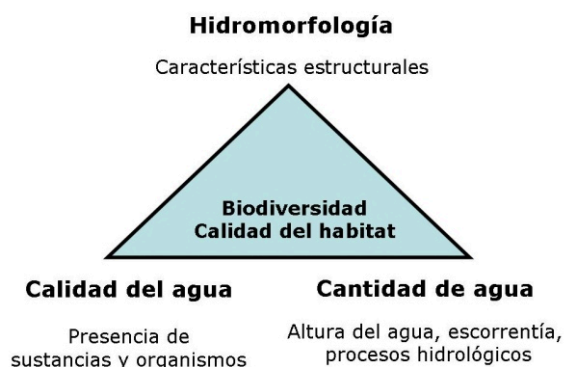


Figura Nº1: Elementos que caracterizan un "buen estado" de las aguas

3. CONTENIDO DE ESTE DOCUMENTO

En el presente documento se han integrado dos grupos de trabajos que muestran los avances llevados a cabo por docentes y alumnos que ha completado el cursado de la Maestría en Ecología de la Universidad Nacional de La Plata para enfrentar el desafío que implica la aplicación del enfoque ecológico y el mantenimiento de un buen estado del agua en diversos estudios de caso.

En el primer grupo se incluye un grupo de trabajos de muestran una serie de casos en los cuales se trata de incluir una visión ecosistémica y una regulación dual de los recursos hídricos a nivel de planificación, mientras que el segundo incluye una serie de estudios de caso de la aplicación de herramientas e instrumentos específicos de la

ecología para el logro de un buen estado de los recursos hídricos.

3.1. La ecología en el contexto de la planificación de los recursos hídricos

En el Cap. 2, Gaviño y col. proponen una zonificación del territorio elaborada en base a los principios de la ecología. Dicha zonificación tiene como principal objetivo definir los objetivos de manejo de un área determinada como parte de un Plan de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos a escala local. Para ello se delimitan unidades en base a un análisis integrado de las características ecológicas, hidrológicas y sociales. La zonificación finalmente se presenta en forma de mapas temáticos los cuales se convierten en instrumentos de apoyo a la sistematización, el ordenamiento y la optimización del uso del territorio. En el estudio de caso se lleva a cabo la zonificación empleando criterios ecológicos de manera integrada con objeto de aprovechar las potencialidades y las limitaciones que presentan las diferentes zonas de una cuenca o ecosistema fluvial respecto a la disponibilidad, el uso y la preservación de los recursos hídricos y los recursos naturales asociados.

El caso corresponde al incremento del volumen de agua del almacenamiento de la obra hidroviaria existente en coincidencia de la Ruta Provincial Nº 28 en el tramo Las Lomitas-Posta Cambio Salazar que surca el Bañado "La Estrella", y cuyas aguas provienen de la Alta Cuenca del Río Pilcomayo. Se espera con dichas intervenciones permitan mejorar la distribución del agua con fines agro-productivos a lo largo de la época seca en base a una zonificación que oriente los usos e intensidad de uso del territorio implementando estrategias de sustentabilidad y mantenimiento del capital ecológico.

En el Cap. 3, Sarandón y col., presentan un ejemplo de aplicación de estrategias y enfoques ambientales en la planificación territorial relacionada con el manejo de los recursos hídricos, tanto para regular los procesos de inundación como para asegurar el mantenimiento de la calidad del agua para consumo humano. En dicho trabajo, se plantea que el reconocimiento de que el manejo del territorio tiene consecuencias sobre los procesos naturales (geomorfológicos, ecológicos) y antrópicos (usos de la tierra, desarrollo económico, cambios demográficos, etc.), ha dado lugar a la necesidad de incluir explícitamente a la variable ambiental en la planificación territorial. Tal es así que desde hace más de una década, se vienen desarrollando y, actualmente ya se han

formalizado, herramientas de gestión ambiental específicas para estos fines, como son las Evaluaciones Ambientales Estratégicas (EAE).

Más allá de los procedimientos formales para exigir o realizar una EAE, la efectiva implementación de las cuestiones ambientales en la planificación (regional, territorial, sectorial, estratégica, etc.), depende del enfoque adoptado para la planificación misma. En este sentido, es necesario reconocer que se está interviniendo en un sistema ambiental complejo, que incluye componentes y procesos, tanto naturales como antrópicos, cuyas interacciones no son siempre lineales; que existen cuestiones ligadas a las escalas espaciales y temporales; que cada sistema tiene singularidades y especificidades que limitan las generalizaciones y que hacen necesario incorporar los conocimientos y vivencias propias de los actores locales en la definición de las metas y objetivos; y en el que siempre existe una cuota de incertidumbre dada por la carencia de conocimiento, de modelos o de información. Como toda intervención en el territorio repercute sobre el funcionamiento del sistema ambiental, es esencial incorporar este enfoque, especialmente las interrelaciones entre las actividades humanas y los procesos naturales, en la planificación y manejo del territorio.

En el marco del Plan Estratégico y Participativo para el control de inundaciones en el Municipio de Gral. Lavalle (Pcia. de Buenos Aires), y a fin de elaborar pautas de manejo territorial los autores incorporaron este enfoque ambiental que tuvo por objeto vincular los procesos ecológicos y antrópicos que intervienen en la dinámica territorial, específicamente aquellos asociados al manejo del agua. Tomando como referencia, la tríada conformada por los recursos, los riesgos y la fragilidad (tanto natural como antrópica); así como el análisis de los factores y causas naturales (geomorfológicas, hidrológicas o ecológicas) o antrópicas (usos del suelo, obras hidráulicas, caminos); y utilizando un enfoque espacialmente explícito por medio de un Sistema de Información Geográfica, se elaboraron modelos de funcionamiento que permitieron desarrollar las medidas prioritarias. Por otro lado, el análisis comparativo de imágenes satelitales correspondiente a una época normal y otra de excesos hídricos, y la superposición digital de distintos mapas temáticos, permitió la identificación de los sectores más afectados por las inundaciones y los factores involucrados. Este análisis permitió definir una estrategia no estructural de intervención en el territorio basada en el mantenimiento funcional de las vías de escurrimiento principal y el condicionamiento de

otras intervenciones estructurales (canales y obras hidráulicas) a la efectividad de las mismas. En el Cap. 4, Sarandón y col., presentan un análisis de la vulnerabilidad ambiental frente a un proyecto de forestación a escala regional. Tal como sostienen los autores, si bien se espera que los proyectos de forestación, realizados en el marco del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), presenten beneficios ambientales a una escala global, es necesario analizar las consecuencias ambientales que pudiera tener la modificación de la cobertura y uso del suelo a una escala local.

A tal fin, se ha planteado la necesidad de analizar la vulnerabilidad ambiental de un área piloto, ubicada en el Partido de Coronel Dorrego (provincia de Buenos Aires, R. Argentina). El área de estudio corresponde el frente costero del partido de Coronel Dorrego (345 Km²), conformado por un extenso campo de dunas activas y fijas, playas amplias y continuas, y diversos arroyos y cuerpos de agua temporales y permanentes intercalados entre las dunas. Entre las principales amenazas actuales se identifican las actividades turísticas y recreativas no reguladas, el sobrepastoreo, las plantaciones de especie forestales potencialmente invasivas o con mal manejo, o aquellas fijadoras de dunas. Entre las amenazas potenciales se encuentran la urbanización, tanto por crecimiento de los centros urbanos existentes como por la creación de nuevos centros turísticos y la extracción de arena.

Los autores sostienen que, desde un punto de vista ecológico, la vulnerabilidad se asocia al riesgo de afectación de los rasgos estructurales y/o funcionales esenciales de un ecosistema frente a algún tipo de perturbación, generalmente, de origen antrópico. En este contexto, el Modelo Forestal Tradicional suele desarrollarse como plantaciones monoespecíficas, monoetarias y de estructura uniforme. Este tipo de intervención, determina un cambio en la cobertura vegetal dominante y una serie de riesgos asociados: alteración de la biodiversidad regional, disminución de la diversidad fisonómica y del paisaje local, alteración de la dinámica hídrica (superficial y subterránea), alteración de la dinámica costera regional y cambios en la estructura y propiedades del suelo.

Los indicadores desarrollados para evaluar la vulnerabilidad frente a este tipo de intervención están referidos a la vulnerabilidad de la biodiversidad; de la dinámica costera; del suelo; del sistema hidrológico y del paisaje. Finalmente, se elabora un Índice de Vulnerabilidad Ambiental que sintetiza para cada sector, la vulnerabilidad combinada de los cinco indicadores elaborados

frente a un modelo de intervención forestal tradicional. Se desarrollaron 4 escenarios diferentes en función a la importancia relativa de los diferentes indicadores calculados. Los resultados indican que los distintos mapas de vulnerabilidad específica, para los cinco indicadores considerados, muestran cierta complementariedad, por lo que la vulnerabilidad de un área depende del indicador considerado. Esto dificulta la generación de un índice combinado de vulnerabilidad ambiental, ya que al promediar entre ellos, los indicadores pueden compensarse mutuamente y ocultar la heterogeneidad existente. Finalmente se elaboran recomendaciones para implementar una forestación en aquellos sectores que muestran menores valores de vulnerabilidad, para lo cual será necesario tomar en cuenta ciertas consideraciones referidas al modelo de forestación. Debe resaltarse el hecho que, modificando el esquema de forestación es posible disminuir los impactos potenciales y riesgos asociados a esta actividad.

En el Cap. 5, Gaviño y Sarandón, presentan los resultados de la Evaluación Ambiental Regional (EAR) del Estudio de Riesgos de Inundaciones del Noroeste Argentino (NOA), cuyo principal objetivo consistió en interpretar y evaluar las características ambientales con relación al fenómeno aluvional en toda la región, identificando las áreas de mayor vulnerabilidad.

El área del proyecto (NOA) está integrada por las provincias de Jujuy, Salta, Tucumán, Catamarca, Santiago del Estero y La Rioja, cuya superficie alcanza 560.000 Km² y cuenta con alta heterogeneidad ecológica y gran diversidad cultural. En el contexto de la EAR se analizaron y sintetizaron las variables ambientales más significativas del ambiente, tratando de identificar sus rasgos más vulnerables. Como resultado de ello se sintetizan las características ambientales (fisiográficas, biogeográficas, culturales, económicas y territoriales) en una serie de mapas temáticos a escala 1:1.000.000. Esta información fue volcada en formato digital en una base georeferenciada, de manera que pueda ser empleada en combinación con otros resultados del proyecto. También se analizan las distintas amenazas naturales y se identifican los impactos, evaluando sus consecuencias sobre la población, la infraestructura y las actividades productivas, así como la magnitud de sus alcances espaciales con objeto de proponer medidas tendientes a prevenir la ocurrencia de daños como resultado de los procesos aluvionales. Finalmente de manera complementaria se efectúa una clasificación de las cuencas hidrográficas del NOA mediante el desarrollo de un modelo de

inestabilidad territorial basado en el uso de un método multicriterio.

3.2. La ecohidrología y algunas herramientas específicas

En el Cap. 6, Sarandón y col. presentan una síntesis de los estudios y trabajos realizados durante los últimos 20 años en la Cuenca del lago Lacar (que constituye uno de los 8 sitios demostrativos del Programa de Ecohidrología de la UNESCO-PHI). En ese trabajo, se presenta un ejemplo de la aplicación del enfoque ecohidrológico al manejo integrado de una cuenca hidrográfica representativa de la Ecorregión Andino Patagónica de la R. Argentina mediante una serie de herramientas específicas y la aplicación concreta de la "ingeniería blanda". El objetivo principal del Sitio Demostrativo de Ecohidrología del Lago Lacar (SDL) es el manejo sustentable de una cuenca hidrográfica representativa de la región andina patagónica en la cual el mayor conflicto se relaciona con el impacto de la transformación del paisaje y del uso del suelo sobre la calidad del agua y los servicios ambientales. En particular las actividades llevadas adelante en el SDL tuvieron como objeto la reducción de la erosión del suelo, la mitigación de las inundaciones en áreas urbanas y la mejora de los sistemas ecosistémicos sobre la base de ideas y principios ecohidrológicos y aplicando fitotecnologías. Se presentan los avances realizados en el SDL que muestran que la regulación de la hidrología de superficie (escurrimiento superficial, carga de nutrientes y sedimentos) a escala de la cuenca hidrográfica, a través del uso del suelo, la cobertura vegetal y las fitotecnologías, mejora los procesos ecológicos y los servicios ambientales (calidad del agua, valores estéticos del paisaje).

En el Cap.7, Lucino y col aborda la problemática de un complejo energético actualmente en operación, en el cual no fueron tenidos en cuenta desde su concepción algunos aspectos ambientales y que en consecuencia requiere modificaciones en particular en las normas de manejo de los caudales. En el estudio de caso se analizan los impactos resultantes de la alteración de los procesos ecohidrológicos y la posible afectación de las actividades económicas (pesca comercial y el turismo), como también a la provisión de los servicios ambientales prestados por el cuerpo de agua. Por otra parte, la necesidad de satisfacer la demanda de energía para hacer frente a la crisis del sector en nuestro país, plantea desafíos para el caso de los aprovechamientos hidroeléctricos que podrían aportar mayor volumen de energía al sistema a expensas de limitar la disponibilidad del recurso para otras necesidades.

En los análisis llevados a cabo se busca comprender el significado ecológico de los atributos de la serie hidrológica, para diseñar una metodología de toma de decisión de los caudales a erogar, sobre una base diaria, que incorpora el valor, en términos de energía no generada, de la satisfacción de necesidades no energéticas. La metodología propuesta propone un criterio adaptativo para su implementación, ya que requiere seguir avanzando en la comprensión de los aspectos ecohidrológicos que caracterizan al río Paraná en esta zona, a partir del monitoreo y registrar en forma sostenida los cambios que se operan a nivel cultural en el área de estudio para evaluar su influencia sobre el medio natural.

En el Cap. 8, Hernández y col. presentan resultados de las primeras experiencias en el país sobre el seguimiento de la atenuación natural de incidentes de contaminación de agua subterráneas por hidrocarburos y metales. Como resultado de las actividades industriales, la minería de hidrocarburos origina impactos importantes en sus diferentes etapas (exploración, explotación, transporte, transformación, comercialización), sobre el régimen de las aguas subterráneas. Estos impactos pueden ser prevenidos y revertidos aplicando la relación dosis-efecto basada en la identificación y evaluación cuantitativa de los riesgos reales y potenciales que puedan afectar a elementos vulnerables: salud humana, ecosistemas y otros bienes (generalmente recursos). En ese marco, el método Risk-Based Corrective Action, conocido generalmente como RBCA, brinda una muy buena herramienta para sistematizar la toma de decisiones en el campo de los suelos y aguas contaminadas, no sólo para decidir cuando iniciar acciones correctivas, sino también para valorar la urgencia, el objetivo y las tecnologías de remediación más adecuadas. Califica el riesgo y la urgencia en emprender medidas según cinco clases. En el estudio de caso se presenta trata un incidente ocurrido en un oleoducto del cual se derramaron casi 1000 metros cúbicos de petróleo crudo situación para la cual se aplicaron técnicas de remediación que permitieron recuperar prácticamente la totalidad del producto derramado.

En el Cap. 9, Mariñelarena y Di Giorgi realizan una revisión crítica de las técnicas tradicionales y otras tecnologías extensivas disponibles para el tratamiento de las aguas residuales domésticas, urbanas e industriales de pequeña y mediana escala frente a la necesidad de preservar las fuentes de agua, ahorrar energía y disminuir los costos constructivos y operativos, tanto de las redes de alcantarillado como de las plantas de tratamiento. Este desafío para la ingeniería

sanitaria obliga desarrollador y mejorar tecnologías extensivas, no convencionales que ocupan más espacio pero que requieren menores costos de inversión y ofrecen condiciones de explotación mucho más económicas, sencillas y sostenibles sin necesidad de personal altamente capacitado

Entre estas técnicas extensivas se encuentran los humedales artificiales o construidos que son ecosistemas artificiales que se diseñan imitando a los humedales naturales para que retengan y metabolicen los materiales que arrastra el agua que circula por ellos. Una vez construidos se plantan una o más especies vegetales y se hacen circular las aguas residuales. Estos humedales construidos constituyen una biotecnología natural y un ejemplo clásico del uso de las fitotecnologías para depurar no sólo aguas residuales domiciliarias o municipales, sino también industriales y efluentes no puntuales como escorrentías pluviales urbanas o agrícolas. En el trabajo se describen las actividades y resultados de experimentos llevados a cabo en invernáculo, tendientes a dilucidar el papel que juegan distintas especies de plantas arraigadas en sustratos porosos de diferente composición química. Los resultados obtenidos muestran un potencial promisorio señalando la necesidad de ampliar las investigaciones para valorar los alcances y limitaciones de este método de tratamiento alternativo.

En el Cap.10, finalmente, García Romero presenta el caso de un megaemprendimiento urbano y la forma de abordar los riesgos resultantes de la eutrofización de lagos artificiales. Según se muestra, la tendencia del crecimiento urbano en la zona periférica a Buenos Aires ha generado la creación de innumerables cuerpos de agua artificiales (lagos y lagunas) como fuentes de material de relleno de terrenos bajos, los cuales quedan insertos en una estructura urbana densa y cuya calidad de agua es necesario preservar. En el trabajo se presenta el contenido, objetivos y actividades de un Programa de Gestión Integral de lagos que establece medidas como el manejo de la vegetación acuática, la circulación forzada del agua para activar flujos en los sistemas cerrados, oxigenación de zonas profundas, así como la implementación de sistemas de decantación y retención de nutrientes. En el estudio de caso presentado se muestran los resultados resultantes de la aplicación del plan que incluye el manejo de macrófitas a fin de disminuir el fósforo disuelto que es el objeto básico de manejo de la eutrofia.

4. ENSEÑANZAS Y DESAFÍOS

Los estudios incluidos en este Documento Técnico muestra la heterogeneidad de situaciones en las cuales es posible y deseable la aplicación de un **enfoque ecohidrológico** para el manejo de los recursos hídricos a una escala regional y local. La diversidad de situaciones y sistemas ambientales involucrados, así como los objetivos específicos de cada uno de ellos, brindan un panorama de las potencialidades existentes para una concepción y aplicación de soluciones alternativas. En todos casos mostrados se ha optado, en mayor o menor medida, por un enfoque holístico para el planteo del problema o para el análisis del conflicto subyacente. Del mismo modo, la mayoría de ellos adopta una visión ecosistémica poniendo énfasis en los procesos e interacciones actuales o potenciales entre los componentes del sistema a intervenir. Parten de la identificación de los componentes clave del sistema, así como de los procesos naturales y/o antrópicos (sociales, económicos, institucionales) sobre los cuales se elaboran lineamientos de acción específicos.

En todos los trabajos se muestra que el desafío ha sido tanto teórico o conceptual (la ecohidrología como ciencia en desarrollo), como práctico, ya que en ellos se desarrollan respuestas concretas a problemas reales. En todos los casos se intentan superar las limitaciones tradicionales en el manejo de los recursos hídricos (fundadas en una priorización de los aspectos económicos) y se promueve la incorporación de los aspectos ecológicos, hidrológicos y sociales desde una visión integradora del ciclo hidrológico y el resto de los ciclos biogeoquímicos.

Los ejemplos de la primera parte plantean claramente la necesidad de abordar las situaciones reales, así como las posibles soluciones, desde una perspectiva de planificación territorial, integrando las intervenciones en los sistemas ambientales con el objeto de mejorar la calidad de vida de la población, en un marco de sustentabilidad regional y a largo plazo. Este enfoque permite superar las limitaciones y conflictos asociados a las intervenciones prevalecientes que suelen estar enmarcadas en un contexto local y de corto plazo.

Los ejemplos de la segunda parte, a su vez, muestran aplicaciones concretas del enfoque ecohidrológico para resolución de conflictos en diversas escalas espaciales y temporales los que requieren una tercer dimensión: la interdisciplina. Como surge en todos los estudios de caso ninguno de ellos pudo haber sido resuelto desde

una sola disciplina y en todos los casos se apela a evidencia científica proveniente al menos de la ecología, la hidrología y las ciencias sociales. Por ello otro gran desafío sigue siendo el logro de una mayor integración de los enfoques para la resolución de problemas asociados a la gestión del agua. Claramente son necesarios equipos interdisciplinarios y una mentalidad abierta para identificar, evaluar y desarrollar soluciones creativas a problemas complejos.

Por otro lado, es importante incluir explícitamente la valoración económica de los servicios ambientales asociados a los recursos hídricos, a fin de evaluar integral y adecuadamente las distintas estrategias de intervención. Esto es aún más crítico si reconocemos la importancia que tiene el recurso agua en el presente, tanto en relación a una asignación eficiente entre usos alternativos (riego, industria, consumo humano, vida silvestre), como para el control de los riesgos naturales (inundaciones, deslizamientos de ladera).

Puede parecer utópico y lejano para los países latinoamericanos proponer el mantenimiento de un buen estado del agua (incluyendo la conservación de sus propiedades físicas, químicas y biológicas en forma integral), como ya ocurre en Europa. Sin embargo, es ese el desafío que tenemos que afrontar si queremos asegurar la disponibilidad en cantidad y calidad de nuestros recursos naturales para las generaciones futuras.

Finalmente, de nada serviría todo este andamiaje teórico, conceptos, y casos prácticos si no llega a la mesa de los tomadores de decisión quienes son los responsables en elegir aproximaciones alternativas para la gestión del agua. Ello plantea en consecuencia otro desafío: acercar cada vez más las evidencias científicas y el avance tecnológico para apoyar a las decisiones de rutina. El objeto final de este Documento Técnico es cerrar esa brecha creciente día a día.

**LA ECOHIDROLOGÍA EN EL CONTEXTO DE LA
PLANIFICACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS**

LA ZONIFICACIÓN ECOHIDROLÓGICA COMO BASE PARA LA GESTIÓN SUSTENTABLE E INTEGRADA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS: ESTUDIO DE CASO

Marcelo Gaviño Novillo¹, Ramiro Sarandón², Verónica Guerrero Borges¹

1 Departamento de Hidráulica Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de La Plata (marcelo.g@ing.unlp.edu.ar)
2 Facultad de Ciencias Naturales y Museo - Universidad Nacional de La Plata (sarandon@fcnym.unlp.edu.ar)

1. INTRODUCCIÓN

Como consecuencia de la decisión de brindar un fuerte impulso a las áreas de menor desarrollo relativo en el Oeste de la Provincia de Formosa, sus autoridades decidieron promover una intensificación de las actividades agrícola-ganaderas y asignar un carácter estratégico al agua. Y si bien esos sectores cuentan con una importante oferta de recursos hídricos provenientes tanto de la cuenca del río Bermejo como de los desbordes del río Pilcomayo, su desigual distribución temporal restringe en gran parte la disponibilidad del recurso, lo que obliga a contar con estrategias de gestión destinadas a mitigar su variabilidad a lo largo del año.

Estas estrategias integran por una parte medidas estructurales constituidas por obras hidráulicas de almacenamiento, conducción y distribución del agua y complementariamente planes de manejo del agua, por la otra. Entre las primeras se identificó el mejoramiento de la obra hidrovial existente en coincidencia de la Ruta Provincial N° 28 en el tramo Las Lomitas-Posta Cambio Salazar, que surca el Bañado "La Estrella" aumentando la capacidad del embalse allí existente, así como el mejoramiento de la transitabilidad de la ruta en ese tramo. Estas obras se localizan en el centro oeste de la Provincia sobre la actual traza de la Ruta Provincial N° 28 desde su intersección con la Ruta Nacional N° 81, extendiéndose aproximadamente 50 Km. hacia el Norte de la Localidad de Las Lomitas. El área dista aproximadamente 300 Km. de la ciudad de Formosa. (Ver **Fig. N°1**). Entre las medidas no estructurales para este caso en particular se decidió la elaboración de un Plan de Manejo del Agua en tanto un instrumento de gestión consensuado para el área de influencia directa e indirecta del proyecto.

En este marco, docentes de la Maestría en Ecohidrología de la Universidad Nacional de La Plata fueron convocados para dicha tarea y en consecuencia se contó con una oportunidad para diseñar un Plan de Manejo de Aguas (PMA) basado en los principios de la ecohidrología y desde un enfoque de gestión integrada de los recursos hídricos en el área de influencia de las mismas, promoviendo la participación de la

población. La formulación del plan respondió también a las expectativas de las autoridades en contar con una experiencia modelo que pudiera ser replicada en otros sectores de la provincia (Gaviño Novillo & Sarandón, 2005).

En el presente trabajo, en particular, se hace una síntesis de los estudios llevados a cabo para la elaboración de una zonificación ecohidrológica en el área de influencia de la Ruta Provincial N° 28 en tanto una herramienta que oriente o facilite un manejo integrado y sustentable del agua y del territorio. Para ello se hizo un análisis integrado de las características ecológicas, hidrológicas y sociales del área y se llevó a cabo una zonificación del territorio en sectores o áreas más o menos homogéneas que presentan similares características ambientales, y como consecuencia de ello pueden asignarse usos o actividades con objetivos de manejo específicos

La zonificación llevada a cabo en base a los principios de la ecohidrología implicó la definición de los criterios de zonificación en sintonía con los objetivos y alcances del Plan de Manejo del Agua; la definición de los objetivos de manejo; la delimitación de las unidades sobre la base de la información sistematizada en un Sistema de Información Territorial (SIT) organizado en un Sistema de Información Geográfico (SIG); y una caracterización y asignación de los objetivos de manejo específico.

2. CONTEXTO TERRITORIAL

2.1. Escalas de análisis

Todo sistema ambiental para ser analizado debe ser descompuesto en una serie de escalas de aproximación a fin de lograr niveles de precisión compatibles con el objeto de estudio y una economía de esfuerzos y recursos. Para ello en este estudio se han definido tres áreas específicas que orientan las estrategias del PMA y un contexto regional correspondiente a la cuenca del Río Pilcomayo.

Área de influencia directa (AID): Corresponde al área ocupada por la obra de almacenamiento, las obras complementarias y caminos de acceso, las

áreas de servicio, y la traza de la Ruta en general. Corresponde a la escala local.

Área de Influencia Indirecta (AI): Corresponde al sector formoseño de la Cuenca del río Pilcomayo, el Bañado La Estrella y especialmente el sector hacia aguas abajo que sigue hacia el Sistema de la laguna La Salada; el subsistema del arroyo El Porteño; y el subsistema del riacho He He, lo que deberá buscar un efecto multiplicador con las actividades de planificación en marcha para este sector de la cuenca. Corresponde a la escala regional.

Área de Manejo del Agua (AMA): Es el área en la cual se brindan mayormente los beneficios de las obras y en consecuencia, donde el agua tendrá múltiples usos. Está definida por una poligonal que nace en la Localidad de Las Lomitas, sigue por la Ruta Provincial N° 32 en dirección a Fortín Soledad hasta la Ruta Nacional N° 86, de ahí por dicha Ruta Nacional hasta la localidad de Posta Cambio Salazar, abarcando el área de la cuenca inmediata de aportes al almacenamiento resultante de la reconstrucción de la Ruta N° 28. Hacia la zona Sur la poligonal sigue desde Posta Cambio Salazar por la Ruta Nacional N° 86 hasta llegar a la Ruta Provincial N° 24, desde ahí hacia el Sur hasta la Localidad de Estanislao del Campo y desde ahí hacia el Noroeste por la Ruta Nacional N° 81 hasta Las Lomitas. Esta área ha sido elegida mediante límites claramente identificados y referenciados sobre el terreno y para la cual fue realizada la zonificación ecohidrológica (Ver **Fig. N° 2**).

2.2. El contexto regional

Las obras de reconstrucción de la R.PN° 28 se localizan dentro del macrosistema denominado Bañado La Estrella, el cual constituye una planicie de inundación a través de la cual discurren los desbordes que se producen sobre margen derecha del Río Pilcomayo, aguas arriba de la localidad de María Cristina hasta encauzarse en una serie de riachos paralelos que finalmente desembocan en el río Paraguay. Este humedal constituye un ambiente fluvio-lacustre con microclima propio subtropical en el centro-oeste semiárido de la provincia de Formosa, con una vegetación característica de las zonas subtropicales húmedas.

La cuenca del Pilcomayo nace en la Cordillera de los Andes, parte en la República de Bolivia y parte en la República Argentina. Posee una cuenca de aporte de 68.000 Km² la cual se extiende hasta la localidad de Villa Montes, desde donde emerge el cauce principal que penetra en el Gran Chaco Americano. El área de análisis en particular se

ubica en el sector denominado *Pilcomayo Inferior* que nace a la altura de la localidad paraguaya de General Delgado y que difiere totalmente del Pilcomayo Superior, pues no tiene una conexión física con él. Posee un cauce bien definido, menor caudal y es mucho más estable. Acarrea escaso volumen de sedimentos y drena únicamente las aguas de escorrentía producto de las lluvias de verano en su cuenca de aporte, así como la contribución de las aguas subterráneas. Unos 20 Km. antes de su desembocadura recibe aguas del riacho El Porteño, que constituye su único afluente.

2.3. El Área de Influencia Indirecta

El área de influencia indirecta se ubica en la Eco-región del Chaco Seco (Burkart y col, 1999), en la subregión del Chaco Semiárido. Corresponde a una planicie de suave pendiente hacia el este resultado del relleno sedimentario de la gran fosa tectónica chaco-pampeana, tanto por procesos eólicos como, y especialmente por procesos fluviales asociados al aporte de materiales provenientes del sector montañoso andino.

El proceso de retroceso del cauce del río Pilcomayo trae aparejado un cambio total de la fisiografía de su valle de inundación, situación que ha derivado en un profundo cambio de las numerosas cañadas, esteros y lagunas que existían antes de esta profunda metamorfosis, y que ya no se encuentran en la actualidad, como por ejemplo el caso del Estero Patiño que se secó definitivamente en el año 1972. A su vez los cambios generan la aparición de nuevos cursos, cañadas y humedales como el Bañado La Estrella, de cuya presencia se tiene conocimiento desde la década del 50 (**Fig. N° 3**). Este bañado tiene sus orígenes en los periódicos desbordes del río Pilcomayo sobre la margen derecha, entre las localidades de Sombrero Negro y La Primavera, los que conformaron inicialmente el Bañado denominado Grande Argentino. En el año 1955 se inició el desborde en Sombrero Negro llegando sus aguas al Guandacarí, a la altura de la Posta Km. 45 entre Las Lomitas y Posta Cambio Salazar.

El fenómeno de formación de este bañado se debe a partir de la alimentación de las aguas de desborde durante un período aproximado de 4 meses al año, que luego disminuye debido a fenómenos de infiltración y evaporación, convirtiendo así a la zona en una pradera cubierta con abundante pastura natural. Esto conllevó a ambos lados del bañado oportunamente al desarrollo de una importante población dedicada a la cría de vacunos, y una limitada variedad de cultivos con características seminómadas. Con el

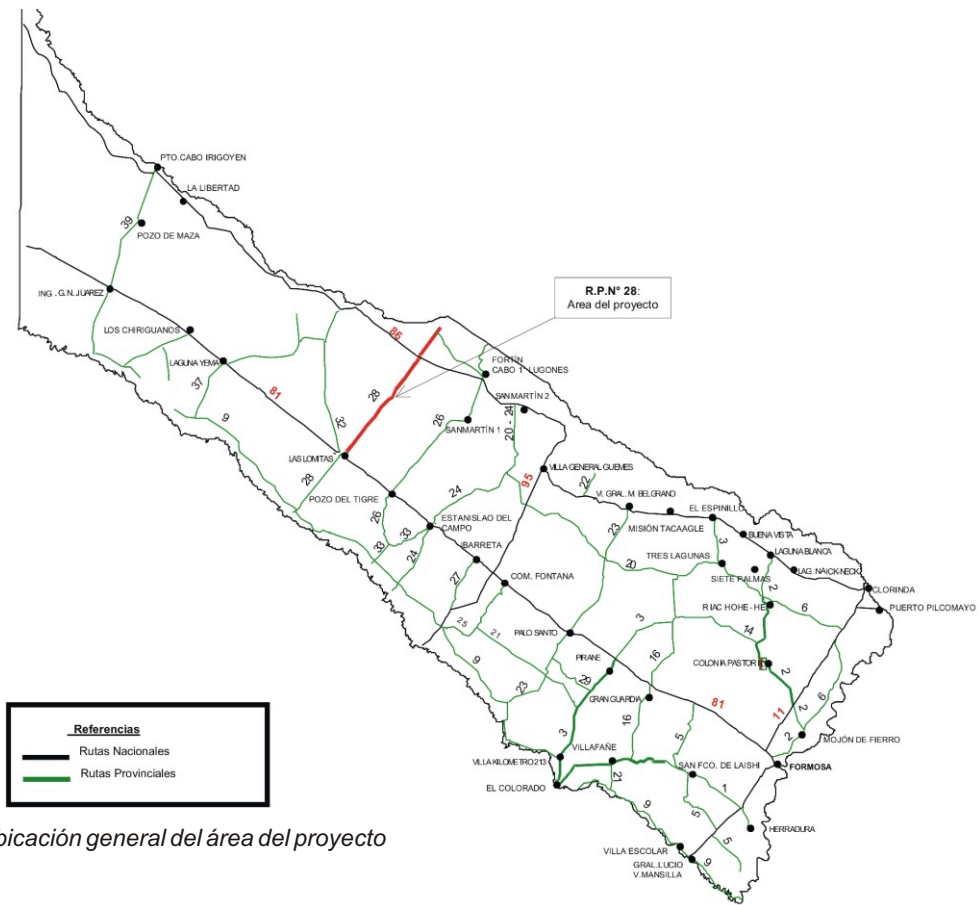


Figura N°1: Ubicación general del área del proyecto

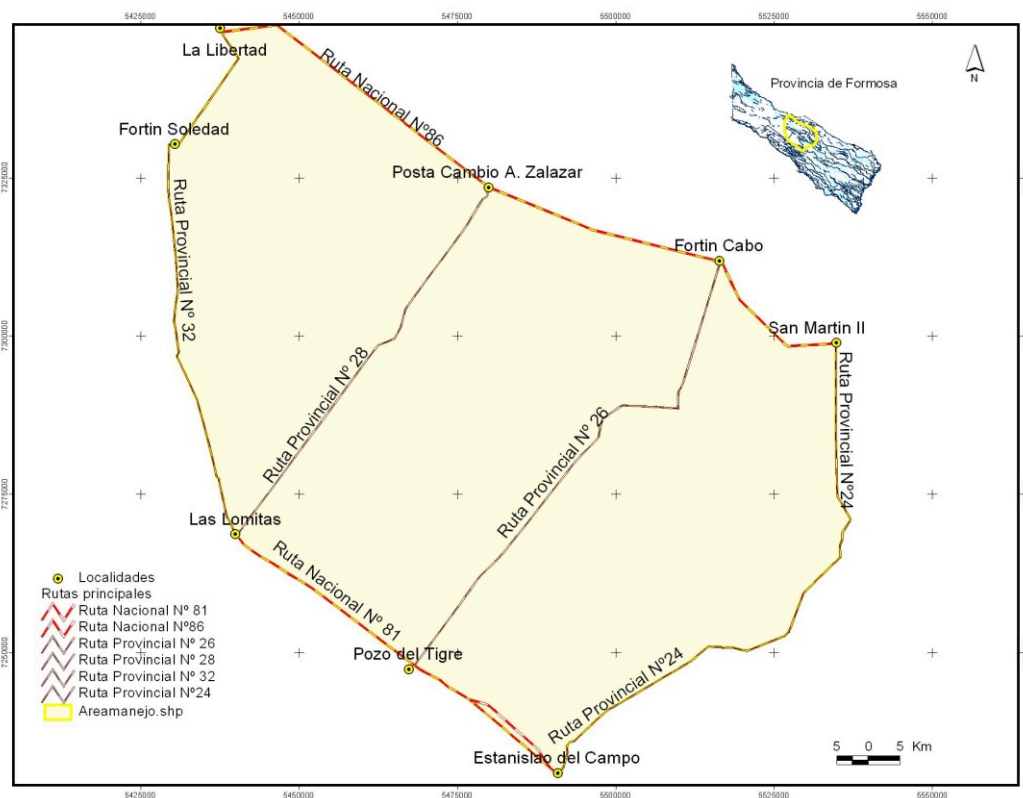


Figura N°2: Área de Manejo del Agua (AMA)

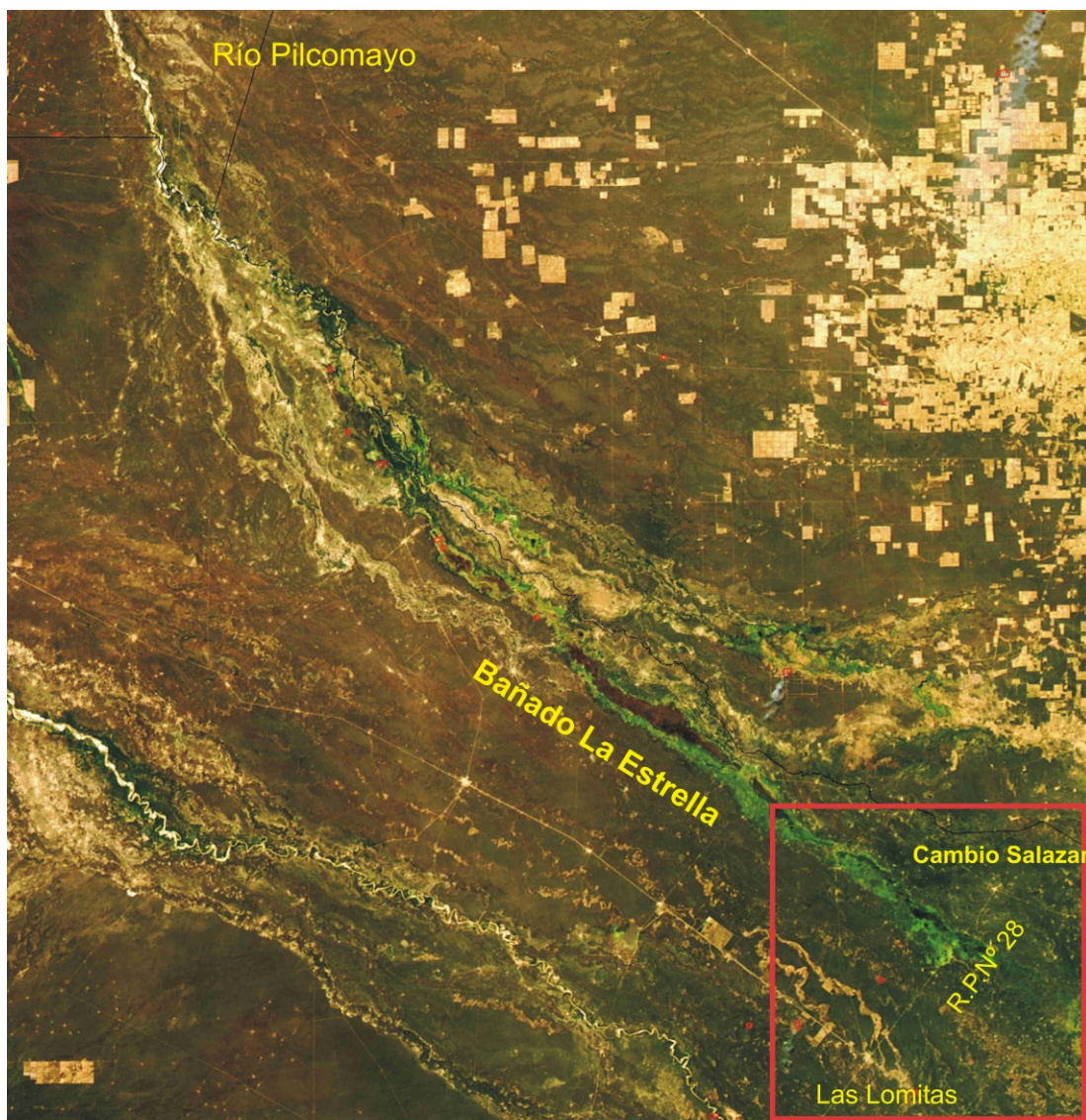


Figura N° 3: Bañado La Estrella y Área del proyecto

devenir del tiempo la zona ocupada por las aguas desbordadas del río Pilcomayo se fue extendiendo, y poco a poco se fue conformando en lo que hoy se conoce como *Bañado La Estrella*.

El bañado en la actualidad cuenta con una longitud aproximada de 400 Km. y un ancho variable entre 3 y 10 km. y una pendiente promedio de 2,86 m. cada 10 Km. de recorrido. Inunda en su período de creciente una superficie que se extiende en alrededor de 500.000 Ha., provocando la desaparición de una superficie similar de bosques naturales. Se constituye además en una barrera infranqueable que condiciona la adecuada transitabilidad y accesibilidad de la de la Ruta Provincial N° 28 entre las localidades de Las Lomitas y Posta Cambio Zalazar, generando además una situación de aislamiento social y económico entre los ejes de desarrollo conformados por las Rutas Nacionales N° 81 y N° 86.

Hidrodinámicamente el bañado se comporta como un estero contando con un escurrimiento laminar y escasa velocidad debido a las condiciones topográficas de la zona. El régimen de crecida del bañado resulta dependiente del río Pilcomayo con períodos de creciente estivo-otoñal, al que le sucede el estiaje invierno-primaveral. Entre ambos períodos queda definida una franja periférica al bañado que constituye un ambiente favorable para el desarrollo de la actividad agropecuaria, ya que la dinámica de sus pastizales naturales, influida por la humedad residual, permite el aprovechamiento forrajero de contraestación. En vísperas al ciclo de crecientes la hacienda se traslada hacia terrenos no inundables (bordes) en coincidencia con el crecimiento vegetativo de las principales especies forrajeras naturales que allí proliferan, influidas por las precipitaciones pluviales. Sobre esta dinámica pastoril se asienta la estrategia productiva ganadera de la región.

El escenario actual exhibe al río Pilcomayo prácticamente dentro del territorio formoseño, aportando casi todo su caudal al *Bañado La Estrella* (a partir de la construcción del Canal Farías, componente argentino del emprendimiento bilateral denominado "Proyecto Pantalón"). Esto acrecienta su extraordinaria capacidad de reserva hídrica, potencial que permite el desarrollo de obras de objetivos múltiples como los contemplados en el proyecto de Reconstrucción de la Ruta Provincial N° 28. Cabe destacar no obstante que cualquier escenario de aprovechamiento de las aguas debe basarse en una distribución equitativa del caudal en porcentajes equivalentes al 50% para cada país.

El área del Bañado La Estrella y Área de Influencia indirecta de las obras, es reconocido desde el punto de vista ecológico como uno de los humedales más intactos del país y una de las áreas de biodiversidad sobresaliente del Chaco Argentino, considerando todas las Ecoregiones del Chaco (Húmeda, Seco y Serrano) (Bertonatti y Corcuera, 2001). Debido a ello la provincia de Formosa, ha reconocido la importancia estratégica del Bañado La Estrella por medio de la sanción de la Ley Provincial N° 1.471

(Sancionada el 12 de mayo de 2005), por la cual se declara "Área de dominio público y reserva natural de utilidad pública las aguas y las tierras ocupadas por el bañado la Estrella, situadas en la Provincia de Formosa". En la misma se determina que el uso de las aguas en la reserva natural del Bañado La Estrella se regirá por las disposiciones del Código de Aguas Provincial (Ley 1246).

El área tiene una baja densidad de ocupación humana, que se encuentra concentrada en pequeños poblados sobre el eje vial Este-Oeste correspondiente al Ferrocarril y la RP N° 81. La población del Departamento de Patiño es de 64.775 (INDEC, 2001) habitantes, de los cuales el 21% se concentra en la localidad de Las Lomitas, que constituye el centro prestador de servicios rurales más importante en la región. Es importante mencionar la presencia del pueblo originario Pilagá, constituida por unos 11.000 miembros nucleados en 2.600 familias. La actividad productiva principal es la ganadería extensiva, acompañada con una actividad forestal poco relevante, y algunas unidades productivas dedicadas a la agricultura (sandía, melón, zapallo, algodón).

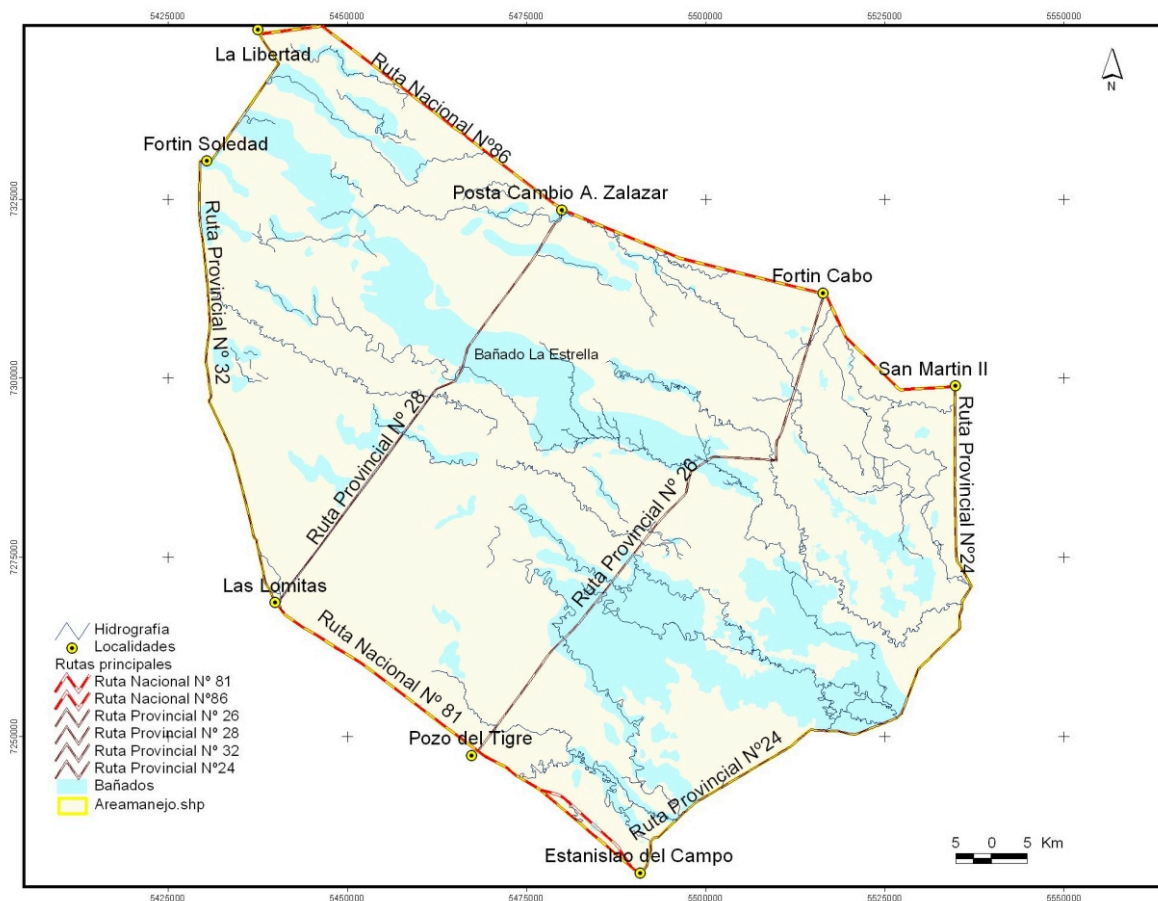


Figura N° 4: Rasgos generales del Área de Manejo del Agua (AMA)

3. CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DEL ÁREA DE MANEJO DEL AGUA (AMA)

3.1. Caracterización del medio físico

El AMA se encuentra ubicada en la ecoregión del Chaco Seco caracterizada por un relieve de llanura de baja pendiente, con una cota máxima de 154 m. al NW y una mínima de 100 m. al SE. La fisiografía general presenta ligeras depresiones y cauces de ríos, en su mayoría alóctonos, constituyendo una gran cuenca sedimentaria correspondiente a la llanura aluvial de los ríos que bajan del Oeste en dirección al Río Paraguay (Ver **Fig. N°4**).

Los cauces muestran un comportamiento cambiante, debido a los fenómenos de crecidas y a los procesos de erosión y sedimentación asociados, que dan origen a paleocauces y meandros abandonados en los que se forman bañados y "madrejones" con una importante flora y fauna acuática. Las crecidas de los ríos constituyen un importante aporte de nutrientes a los ecosistemas acuáticos y terrestres afectados por las mismas. Por otro lado, tanto en los cauces, como en los paleocauces, el agua es de bajos tenores salinos, estando la napa freática cercana a la superficie, situación que cambia en los sectores alejados de los mismos en donde el agua tiende a ser salobre y la freática se encuentra a una mayor profundidad.

Dentro de esta región ecológica, la zona de estudio se ubica en la subregión del Chaco semiárido, aunque cercana al límite del Chaco subhúmedo ubicada al Este de la misma. El clima es cálido, con una temperatura media anual de 20° a 22° C y precipitaciones anuales menores a 850 mm., existiendo un gradiente de disminución de las precipitaciones de E a W. La distribución mensual de las precipitaciones medias indica que el mes mas lluvioso es marzo y el menos lluvioso es julio (Ver **Fig. N°5**).

La continentalidad es bien marcada, con temperaturas promedios de 28° C en verano y de 16° C en invierno, veranos húmedos e inviernos secos, durante los cuales pueden ocurrir heladas. Los suelos son generalmente sedimentarios, de origen fluviolacustre, mostrando una alta variabilidad en relación a los fenómenos de crecida y divagación de los cauces, así como por la posición topográfica. En las posiciones bajas predominan los materiales finos (arcillas) producto del arrastre y deposición de los ríos y arroyos, dando lugar a salinas o bañados, dependiendo del balance entre los aportes (por precipitaciones o frecuencia de inundación) y la evapotranspiración local.

Los rasgos geomorfológicos dominantes en el área corresponden a una gran llanura afectada por procesos fluviales pasados y actuales vinculados con la dinámica del río Pilcomayo y en

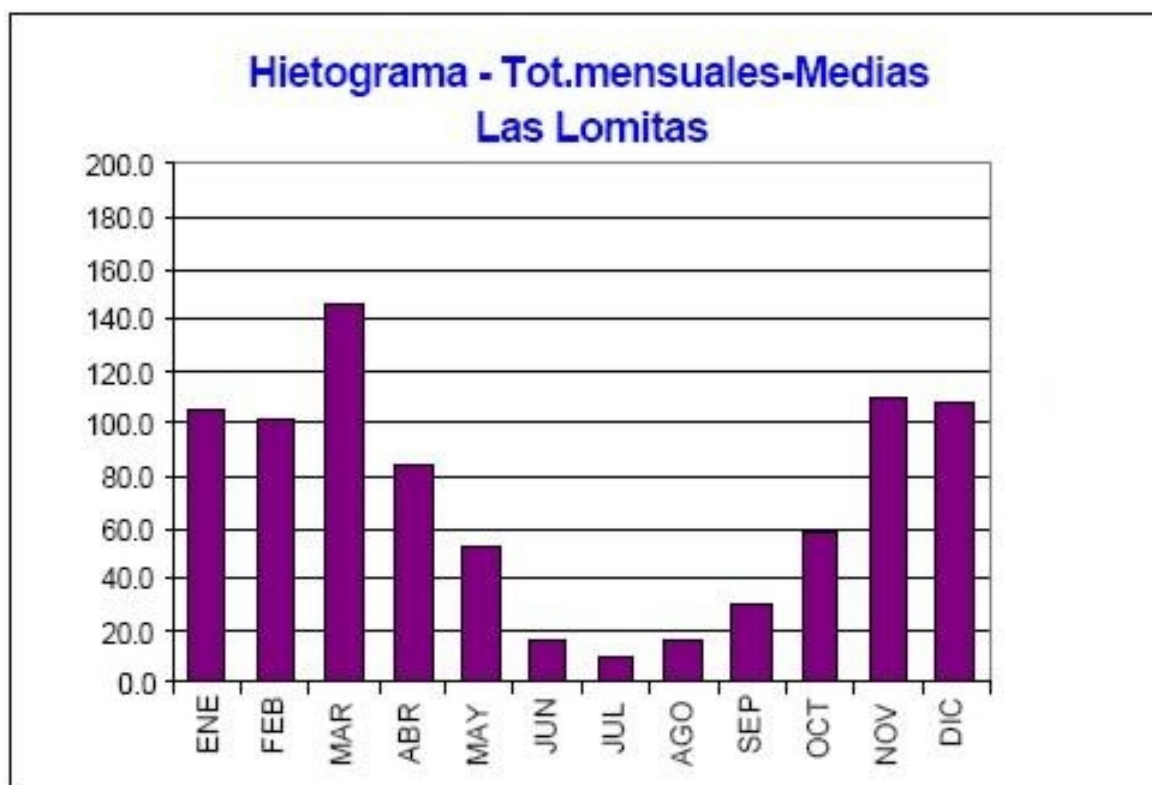


Figura N° 5: Distribución de precipitaciones medias mensuales

parte del Río Bermejo. Esta planicie se desarrolló bajo un clima cálido subtropical en la que actualmente pueden reconocerse una diversidad de unidades geomorfológicas (Ferreiro, 1983). (Ver **Fig. N°6**).

La planicie aluvial subactual y actual del río Pilcomayo, desarrollada sobre la anterior, está caracterizada por numerosos cauces aluviales de dirección E-ESE siguiendo la línea de drenaje principal del río Pilcomayo. Los depósitos sedimentarios son arenas y limo-arenas de color pardo a pardo-amarillento, evidenciando una excavación lineal del río en épocas de mayores caudales. Los paleocauces identificados en el AMA corresponden a este período. Esta unidad ha sido afectada por exhondaciones de los cauces existentes con una fuerte erosión (pero de menor importancia que la anterior), determinando pequeñas incisiones en "v" dentro de los paleocauces y que se corresponden con las precipitaciones locales.

En la planicie baja aluvial se desarrolla un gran cauce que constituye el área del bañado del río Pilcomayo, que desagua hacia el Riacho El Porteño; y los arroyos Salado-Pavao y Tatú Piré. Este bañado no es un cauce de funcionamiento

actual sino que es un vestigio de las antiguas condiciones de drenaje, mucho más activas que las actuales, y que constituye una amplia cañada con arenas y limos de desborde, con zonas hidromórficas y vegetación de zonas bajas y pantanosas.

Los explanados aluviales subactuales y actuales formados por los derrames de materiales sedimentarios transportados por el río Pilcomayo son producto de la erosión y redepositación de los sedimentos aluviales constituidos por limos pardos grisáceos. Están acompañados lateralmente por numerosos bañados y esteros. Los bajos aluviales hidromorfos y halomorfos actuales acompañan el drenaje superficial a lo largo de los cauces e incluyen cañadas, peladares, bañados y madrejones. También se evidencian grandes cauces aluviales subactuales cañadas, paleocauces, peladares; áreas con escurrimiento hídrico superficial no encauzado y/o semiencauzado actual y áreas con retención temporaria del escurrimiento hídrico superficial no encauzado y/o semiencauzado. Finalmente se identifican claramente en el AMA, los cuerpos de agua actuales y los cursos de agua temporarios actuales.

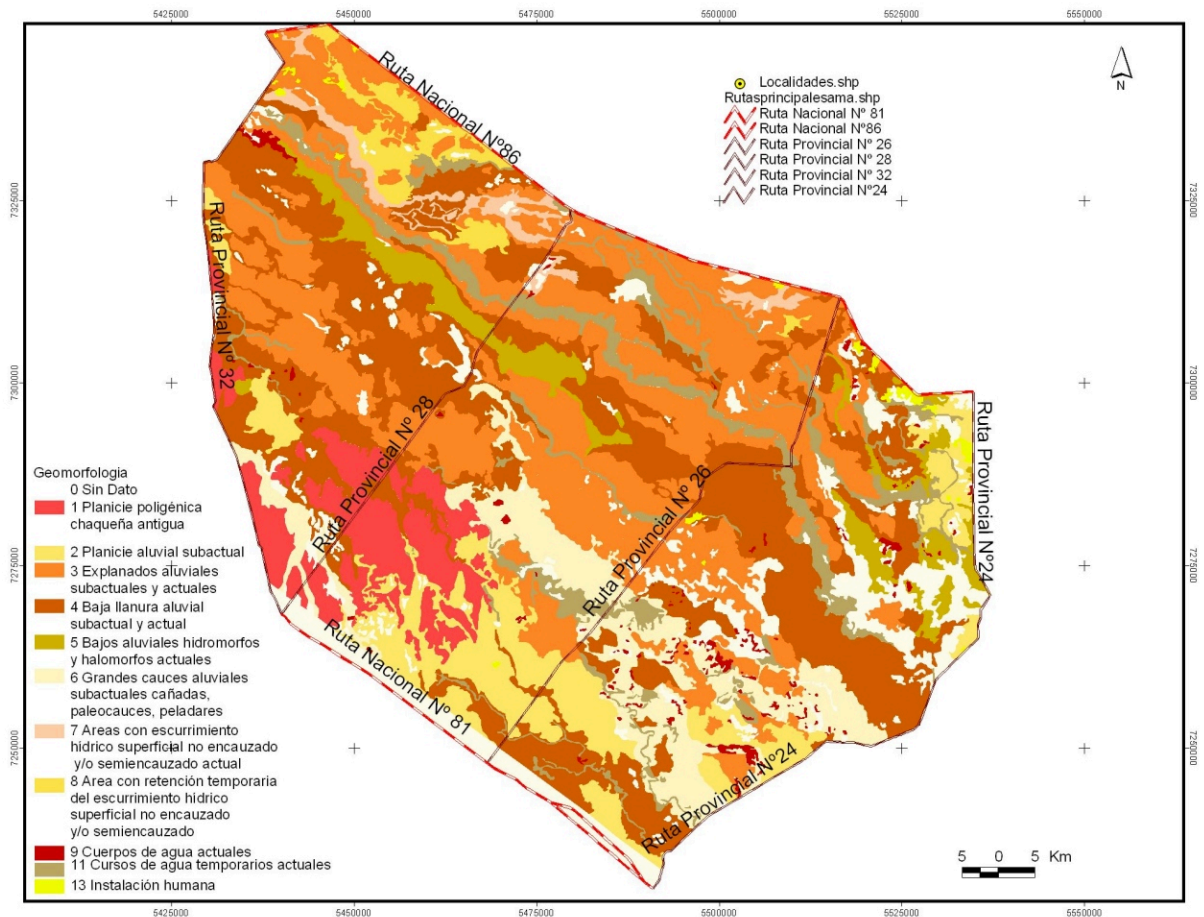


Figura N° 6: Mapa geomorfológico

Al final del Pleistoceno, el río Pilcomayo removió y transportó el abundante material acumulado en las áreas montañosas, diseñando la red de drenaje actual que no corresponde a las condiciones de escurrimiento actuales, sino a paleocauces en los que, las actuales condiciones climáticas (precipitaciones), han labrado cortes en "v" en sus bases. Los bañados y esteros, por el contrario, son rasgos actuales, aunque condicionados regionalmente a fenómenos de obstaculización e impedimentos pasados.

Sobre esta matriz de unidades geomorfológicas se han desarrollado diversos tipos de suelo que responden estrechamente a las condiciones topográficas, climáticas y a la dinámica hídrica regional. Tomando en consideración los objetivos del PMA, se ha elaborado una caracterización y mapeo de los suelos del AMA según su capacidad o aptitud de uso (Gester, 2005; **Fig. N°7**). Este mapa, junto al de uso actual del suelo se ha incluido en el SIT para su utilización en la zonificación del AMA.

La clase de aptitud de uso surge de la interpretación de las características del suelo, en la que se considera, tanto el riesgo de degradación del recurso como el tipo y grado de limitación para su uso agropecuario. Sobre esta base pueden reconocerse 8 clases (I a VIII) de aptitud. Las clases I a IV son aptas para la labranza; las clases V a VII son aptas para un uso pastoril y/o forestal; mientras que la VIII es sólo para conservación de la fauna, recreación, provisión de agua y protección de tierras. En el AMA se han identificado suelos con aptitud de clases IV, correspondientes a suelos ubicados en pendientes moderadas, poco profundos, con riesgo de degradación (erosión) y limitaciones moderadas (salinidad) que requieren prácticas de manejo específicas. Los suelos predominantes pertenecen a las clases VI y VII, correspondientes a suelos con fuertes limitaciones de uso y riesgo mayor de degradación (erosión), con fuertes limitaciones de uso (anegamiento, salinidad, textura fina), y útiles para pasturas y plantaciones forestales, o alguna especie de cultivo muy adaptado. También se encuentran en el AMA

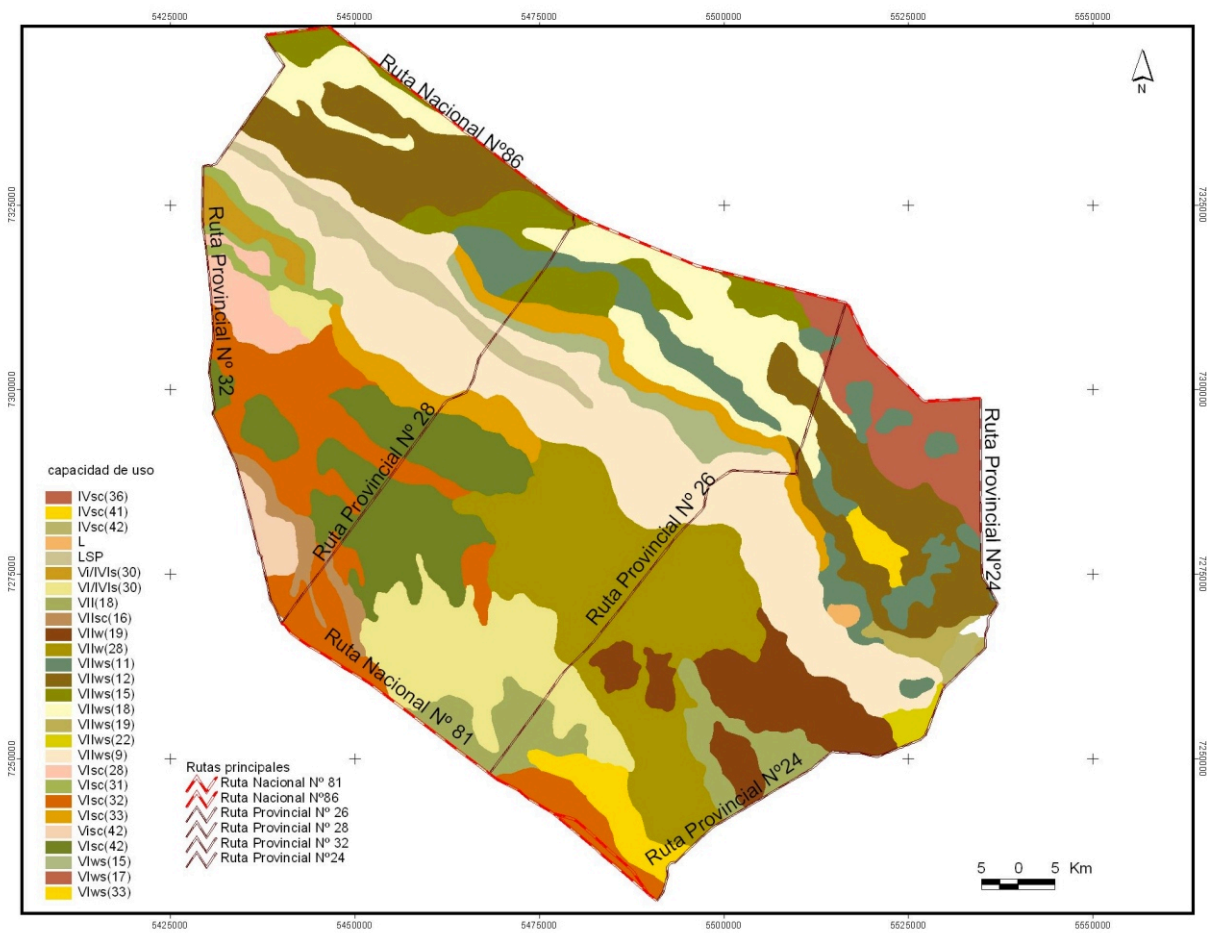


Figura N° 7: Mapa de capacidad de uso del suelo.



(a) Carpeta vegetal de lentejas y repollitos



(b) Ejemplares de Prosopis



© Bosque de leñosas en el balado



(d) Macrófitas

Fotos 1: Vegetación en el AMA

suelos de clase VIII, que presentan severas limitaciones (erosión, etc.) para su uso y que debieran manejarse para fines no agropecuarios.

3.2. Caracterización biótica

El AMA presenta características subtropicales húmedas, aunque rodeada de vegetación típica de la subregión ecológica denominada Chaco Leñoso. En el área se presenta una dominancia de vegetación leñosa, particularmente montes de quebracho colorado (*Schinopsis balansae*), quebracho blanco (*Aspidosperma* spp.), y palo santo (*Bulnesia sarmientoi*), destacándose entre las herbáceas varias especies de enredaderas como la pasionaria (*Passiflora coerulea*), margarita del bañado (*Senecio bonaeriensis*), y espina del bañado (*Citharexylum montevidense*), entre otras.

Entre la vegetación acuática se registraron varias especies de macrófitas como los camalotes (*Eichhornia crassipes*, *Pontederia rotundifolia*), juncos (*Schoenoplectus californicus*) y totoras

(*Typha latifolia*), presentando mayor desarrollo como especies flotantes los helechitos (*Azolla filiculoides*), lentejitas (*Lemna gibba*), y repollitos (*Pistia striatoides*) de agua (Ver **Fotos 1**).

A fin de caracterizar la vegetación y sobre la base del análisis de imágenes satelitales se elaboró un mapa de cobertura actual del suelo en el AMA. Los tipos de cobertura vegetal fueron caracterizados en función de la estructura y composición florística, acompañando la descripción con su ubicación topográfica, grado de inundación y características edáficas. Como resultado de ello se pueden identificar distintos tipos vegetales, incluyendo el bosque xerófilo caducifolio, que corresponde a la comunidad climática de quebracho (colorado y blanco) actualmente modificada por el hombre, con un estrato arbóreo inferior conformando un bosque ralo de abundantes espinas y hojas pequeñas, sobre suelos pobres en humus, destacan varias leguminosas como Guayacán, Itín, Chañar, Mitsol y Sombra de Toro. Sobre suelos más secos y algo salinos aparece el Algarrobo blanco y el negro. En

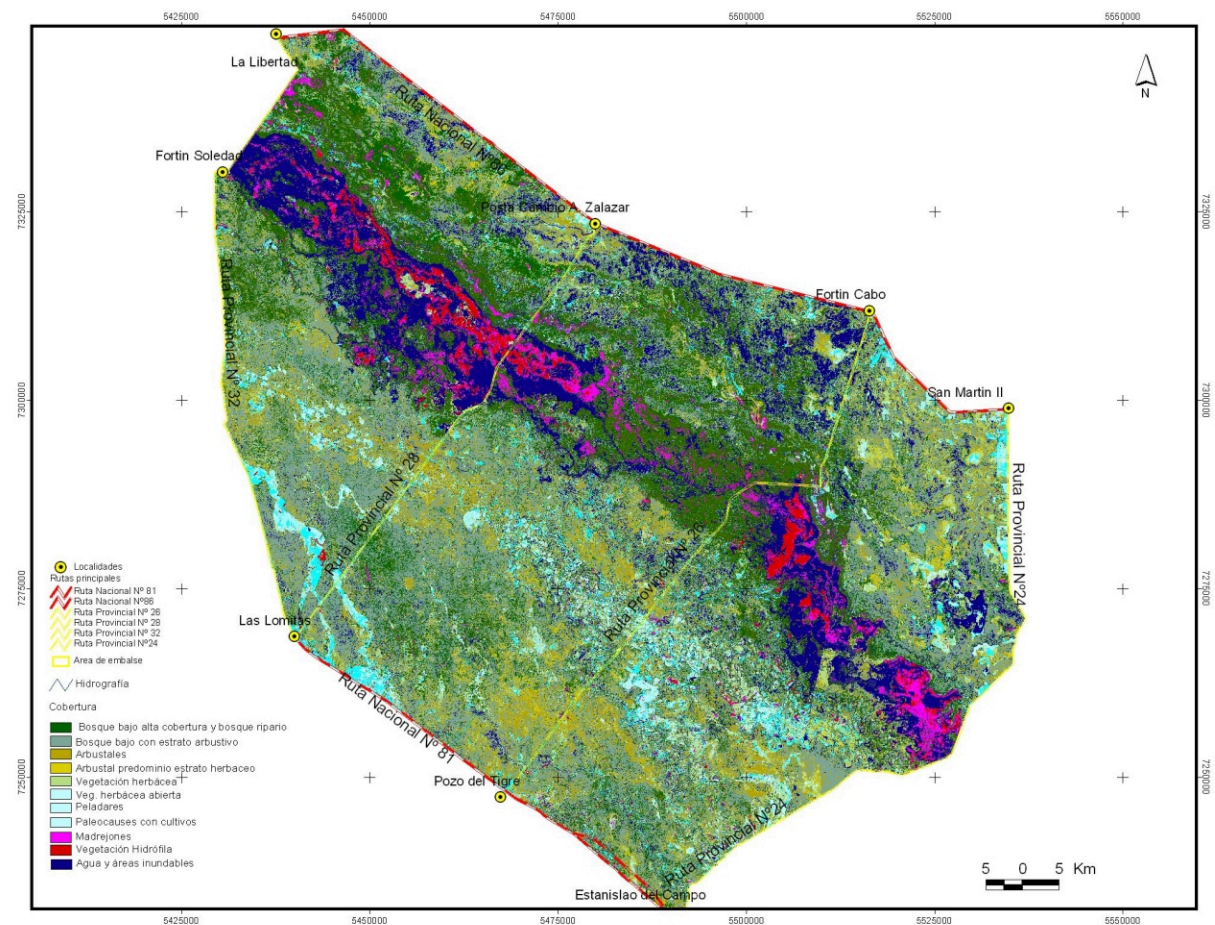


Figura N° 8: Mapa de cobertura vegetal.

el estrato arbustivo, donde predominan los “algarrobales” y “vinalares” se ven favorecidos por la tala de los grandes árboles y modificaciones debidas al exceso de pastoreo. El bosque húmedo, incluye a un conjunto de otras especies que requieren condiciones menos adversas (el Urunday, Viraró, Lapacho negro), acompañadas de bromeliáceas, epifitas y algunas orquídeas trepadoras y una mayor abundancia de gramíneas. En los sectores bajos, en los que la salinidad y las restricciones de drenaje condicionan el desarrollo de la vegetación aparecen las comunidades vegetales dominadas por el Palo Santo, los Algarrobos y el Chañar, mientras que en los sectores más salinos son suplantados por pastizales de especies halófilas, con algunos arbustos dispersos. En los antiguos cauces colmatados (“paleocauces”), predomina la vegetación herbácea (pastizales), sin un estrato arbustivo conspicuo. Aparecen además “peladares” (con predominio de suelo desnudo) y cultivos (áreas de cultivos generalmente ubicadas dentro de los paleocauces) (Ver **Fig. N° 8**)

Cabe señalar que en el AMA se observa gran diversidad de avifauna, como el pato criollo (*Cairina moschata*), y varias especies acuáticas

como la garza mora (*Ardea cocoi*), la garza blanca (*Egretta alba*), el chajá (*Chauna torquata*), el biguá (*Phalacrocorax olivaceus*), y el pato sirirí (*Dendrocygna bicolor*). También carpinchos (*Hydrochaeris hydrochaeris*), coipos (*Myocastor coypus*) y yacarés como el overo (*Caiman latirostris*) y el yacaré negro (*Caiman cocodrilus*), son otras de las especies que habitan las zonas costeras del bañado.

La fauna ictícola constituye otro de los recursos de mayor riqueza específica en la región, destacándose entre otras, especies migradoras como el sábalo (*Prochilodus platensis*), la boga (*Leporinus obtusidens*), el pacú (*Colossoma mitrei*) y diversas especies de surubí (*Platysoma spp.*). (Ver **Fotos 2**).

3.3. Dinámica ecohidrológica

Los ecosistemas presentes en la zona de estudio muestran un gran dinamismo relacionado con la estacionalidad climática y el régimen hídrico asociado a las crecidas del río Pilcomayo. Por un lado, la estacionalidad de las lluvias determina dos períodos marcados de productividad biológica en los ambientes terrestres. Por otro lado, las crecidas de los ríos condicionan la



(a) Avifauna típica del bañado



(b) Ejemplares de peces capturados (Bagre y Pacú)

Fotos 2: Fotos de fauna en el área del bañado

dinámica de los ambientes acuáticos, la superficie que ocupan, sus características hidrológicas, su estado trófico, etc. Además, generan cambios en los ecosistemas terrestres asociados (mayor humedad ambiente, incremento de la humedad del suelo, aportes de materia orgánica). Tanto las características físico-químicas del agua, como de los sedimentos que ella acarrea, son variables determinantes de las características ecológicas de los ecosistemas lóticos y lénticos de la región. Junto con los sedimentos se transportan nutrientes (fosforo, nitrógeno), materia orgánica en suspensión, contaminantes (hidrocarburos, metales pesados, agroquímicos). Por otro lado, el agua es vehículo de movilidad de los organismos y de sus propágulos (larvas de invertebrados, juveniles de peces, organismos del plancton, semillas de especies terrestres, etc.). Durante la fase de

sequía, los cuerpos de agua se desarrollan y evolucionan en forma independiente unos de otros, generando una mayor diversidad ecológica regional. Durante las épocas de excesos hídricos los cuerpos de agua se conectan entre sí favoreciendo el intercambio de materiales y organismos entre ellos, produciéndose una homogeneización ecológica.

Es importante resaltar la interdependencia entre la dinámica del sistema hídrico del Bañado La Estrella con la dinámica de los ambientes acuáticos que funcionan como áreas de alimentación, reproducción, cría y refugio de especies. En las planicies anegadizas, la oferta de hábitat (alimentación, refugio, cría, reproducción) está estrechamente vinculada a la demanda resultante de la complejidad y características de las poblaciones animales y a la



Figura N° 9: Síntesis de la información ambiental para el AMA.

TEMAS	CAUSAS	CONFLICTOS	LINEAMIENTOS GENERALES
Inundaciones y sequías	Variabilidad climática intra e interanual	Incertidumbre Pérdida de inversiones productivas Condicionante del desarrollo	Monitoreo hidrológico (caudales, niveles del agua, precipitaciones). Protección de los recursos hídricos y ecosistemas de humedales Operación y mantenimiento del sistema hídrico (estructuras de control, regulación y medición). Programas de contingencia (alerta hidrológico)
Contaminación de los recursos hídricos	Minería en la Alta Cuenca Actividad petrolera en cuenca media	Baja disponibilidad de agua para consumo humano o animal Riesgo a la salud Degradación de recursos naturales (agua, suelos, biota)	Monitoreo de la calidad de agua Usos del agua adecuados a su calidad Manejo diferenciado del agua según su calidad Información a los usuarios y la población
Colmatación de cauces	Erosión en Alta Cuenca Dinámica fluvial de baja energía y alta carga de sedimentos	Colmatación de cauces, humedales y embalses. Inestabilidad del patrón de drenaje Limitada duración e ineficiencia de las obras hídricas ejecutadas	Monitoreo de la erosión y sedimentación. Mantenimiento de la infraestructura hidráulica
Heterogeneidad de paisajes Biodiversidad regional	Historia geomorfológica Procesos fluviales Sistemas productivos extensivos Variabilidad climática Heterogeneidad de hábitat Aislamiento e inaccesibilidad	Demanda de estrategias productivas diversificadas Pérdida de diversidad biológica por alteración del hábitat, sobre explotación o degradación de ecosistemas	Aprovechamiento de los recursos paisajísticos o escénicos por medio del turismo Preservación de los ecosistemas sensibles y promoción de la protección. Implementación de usos sustentables del suelo Ordenamiento territorial (zonificación) Monitoreo de especies clave
Ecosistemas sensibles Ecosistemas degradados	Procesos biológicos limitados por estacionalidad Sobreexplotación del bosque Sobrecarga ganadera Contaminación Eutrofización	Degradación por prácticas de manejo inadecuadas Degradación de suelos Pérdida de productividad Pérdida de biodiversidad Empobrecimiento Migración	Aprovechamiento diferencial de los ecosistemas con prácticas adecuadas a sus condicionantes Monitoreo integral de los recursos hídricos Recuperación de la capacidad productiva potencial por medio de estrategias multipropósito (agro-silvo-pastoral)
Diversidad étnica y cultural	Historia de ocupación del territorio Patrones migratorios recientes y actuales	Incomprensión intercultural Sometiminto, discriminación y confinamiento de pueblos originarios Pérdida de valores y pautas culturales Pérdida de patrimonio cultural regional	Reconocimiento de derechos de pueblos originarios Asignaciones de zonas y usos sustentables en territorios comunales Revalorización de la diversidad cultural por medio de su incorporación al sistema económico diversificado
Distribución de la tierra	Historia de ocupación y tenencia de la tierra Baja capacidad productiva de los suelos	Sistemas productivos extensivos Baja demanda de mano de obra Ineficiencias en el manejo de los sistemas productivos	Diferenciar sistemas productivos según aptitudes y capacidades naturales Diversificar sistemas productivos

Tabla N° 1: Matriz de síntesis diagnóstica

variabilidad espacial y temporal de los ecosistemas, está última dependiente además del régimen hidrosedimentológico pulsátil. Las aguas libres y las áreas de vegetación hidrófila presentan una oferta importante a las aves adaptadas al medio acuático. Los camalotales y canutillares por extensión permiten encontrar además de refugio, nidificación dormideros y alimentos (EslA, 2005).

La mayor riqueza se da en condiciones de máxima heterogeneidad espacial, cuando la diversidad de ambientes permite la presencia simultánea de los distintos grupos ecológicos. Por el contrario, las grandes bajantes o las grandes crecientes constituyen las situaciones extremas responsables de drásticos reemplazos secuenciales y de la ausencia de grupos funcionales. Las aves, debido a su capacidad de vuelo responden a cada situación desplazándose a áreas alternativas. Todas las situaciones extremas de inundación como las de sequía producen restricciones drásticas de la oferta de hábitat en la planicie de inundación, que se traducen en modificaciones cuali y cuantitativas de la comunidad de especies (EslA, 2005).

3.4. Sistema de Información Territorial

Sobre la base del análisis de antecedentes, de imágenes satelitales y del reconocimiento a campo, se ha efectuado una caracterización del área de manejo del agua que comprende una superficie de 751.661 hectáreas. La caracterización se acompaña con algunos de los mapas temáticos generados en el presente estudio e incorporados al Sistema de Información Territorial (SIT). El mismo tuvo como objetivo contar con los insumos para efectuar la zonificación ecohidrológica del AMA. (Ver **Fig. N° 9**).

Cabe señalarse que en el marco de los estudios llevados a cabo se efectuó una detallada caracterización de los aspectos sociales, económicos y culturales que no son incluidos en este trabajo orientado exclusivamente a la zonificación ecohidrológica del AMA.

4. SÍNTESIS DIAGNÓSTICA

Del análisis de los aspectos biofísicos y de la interpretación de la situación ambiental del AMA en base a una detallada verificación a campo se ha elaborado una matriz que contiene una Síntesis Diagnóstica de los aspectos ambientales en el Área de Manejo del Agua (AMA) (Ver **Tabla N° 1**). En ella se han volcado los principales conflictos, sus causas, y las principales directrices para la elaboración del Plan de Manejo de Agua (PMA).

Entre los temas críticos identificados, se brinda a continuación una descripción conceptual de cada uno de ellos:

I. Inundaciones y sequías

Uno de los rasgos distintivos en las tres escalas de análisis de la región es la ocurrencia de períodos de inundación y sequía. La gran variabilidad climática estacional, así como las variaciones entre años más y menos húmedos o secos, genera una situación de incertidumbre que incrementa los riesgos y condiciona las inversiones productivas, siendo una importante restricción o condicionante para el desarrollo.

Ante la imposibilidad de modificar esta situación climática, la estrategia de manejo debe basarse en la disminución de la incertidumbre por medio de la generación de una adecuada base de información a través del monitoreo de las condiciones hidrometeorológicas e hidrológicas (precipitaciones, caudales, niveles del agua, otros), actividad que deberá ser acompañada por la protección de los recursos hídricos críticos y de los ecosistemas de humedales que están estrechamente vinculados entre sí. El manejo adecuado de las nuevas obras de control y regulación posibilitará el manejo de las aguas y la adecuada asignación del recursos para diversos usos alternativos.

II. Contaminación de los recursos hídricos

La actividad minera en la alta cuenca (Bolivia) junto con la actividad petrolera en la cuenca media (Formosa y Salta), son fuentes de contaminación de los recursos hídricos que determinan una menor disponibilidad de agua de buena calidad para consumo humano o animal. Esta situación genera, por un lado, un riesgo a la salud de la población de la cuenca media y baja, y por otro, es causante de la degradación de los recursos naturales (agua, suelos, biota). La estrategia local (más allá de las que se puedan implementar por medio de convenios internacionales e interprovinciales, en el marco del manejo integrado de la cuenca del río Pilcomayo), deberá basarse en el monitoreo de los parámetros que se relacionan con la calidad de los recursos hídricos, a fin de posibilitar que los usos del agua se basen no solamente en aspectos cuantitativos sino también cualitativos. A tal fin, es necesario incorporar en los procedimientos de toma de decisiones sobre usos y asignaciones del recurso agua, el concepto de manejo diferenciado del agua según su calidad, complementado con una adecuada campaña de información a la población.

III. Colmatación de cauces

La dinámica fluvial de baja energía y alta carga de sedimentos propia del río Pilcomayo, ya reseñada anteriormente, asociada a una importante tasa de erosión y eventos de deslizamiento en la Alta Cuenca, generan la colmatación de cauces y cuerpos de agua (embalses y lagunas), condicionando la estabilidad del patrón de drenaje y modificando el paisaje fluvial. Esto determina una fuerte limitación para las obras hídricas, tanto en la vida útil (duración) como en la eficiencia de su funcionamiento. La estrategia a ser incorporada en el PMA debe contemplar medidas que pudieran tomarse en la alta cuenca tendientes a la reducción de la carga sólida transportada y el monitoreo integral de los recursos hídricos a fin de posibilitar un adecuado mantenimiento de las obras hidráulicas.

IV. Heterogeneidad de paisajes

La historia geomorfológica y los procesos fluviales propios del río Pilcomayo condicionan una importante dinámica en las geoformas, lo cual se traduce en una importante heterogeneidad en el paisaje. Esta heterogeneidad, que repercute en la distribución de suelos y en la productividad vegetal, requiere la implementación de estrategias productivas diversificadas en función de las características, potencialidad, aptitud y vulnerabilidad de los distintos recursos naturales frente a una determinada actividad o acción humana. Por otro lado, esta situación ofrece un importante recurso paisajístico o escénico que puede ser aprovechado por medio del turismo.

V. Biodiversidad regional

La heterogeneidad regional, junto con la presencia de sistemas productivos de tipo extensivo, la variabilidad climática y el aislamiento e inaccesibilidad de la región, han posibilitado el desarrollo de una importante heterogeneidad ecológica que se traduce en una diversidad del hábitat y de formas de vida animal o vegetal. Los procesos de transformación en el territorio pueden dar lugar a la pérdida de diversidad biológica (por alteración del hábitat, sobreexplotación o degradación de los ecosistemas). Esto plantea la necesidad de identificar aquellos ecosistemas más sensibles y promover su protección, implementando usos alternativos que favorezcan la sustentabilidad de los recursos (suelo, pastizales, fauna, paisajes). Por lo anterior, la estrategia esencial del PMA debe basarse en el **ordenamiento territorial del área de manejo del agua** **través de la zonificación y asignación de usos potenciales.**

VI. Ecosistemas sensibles

Los procesos biológicos (crecimiento vegetal, ciclos de vida, migraciones) están condicionados a un régimen de estacionalidad climática marcada (especialmente en cuanto a humedad), por cuanto la aplicación de prácticas de manejo inadecuadas pueden resultar en la degradación del recurso (desertización y salinización de los suelos, deforestación y erosión de márgenes, sobreexplotación de especies ícticas). La estrategia a implementar implica el aprovechamiento diferencial de los ecosistemas por medio de prácticas adecuadas o ajustadas a sus condicionantes y potencialidades.

VII. Ecosistemas degradados

La sobreexplotación del bosque (deforestación, extracción de especies maderables), la sobrecarga ganadera o la intensificación de la agricultura, junto con los procesos asociados a la contaminación de suelos y aguas, y a la potencial eutrofización de cuerpos de agua temporarios o permanentes, determina la degradación de los suelos, la pérdida de productividad, la pérdida de biodiversidad, el deterioro de la economía regional, con empobrecimiento de las poblaciones humanas y el incremento de los procesos de emigración poblacional. La recuperación de la capacidad productiva potencial puede lograrse aplicando estrategias de aprovechamiento de los recursos naturales multipropósito ya sea por medio de sistemas productivos complejos (agro-silvo-pastoril) diversificando los sistemas productivos y complementándolos con actividades alternativas (ecoturismo).

VIII. Escasez de infraestructura vial

La dinámica de ocupación de la tierra, junto a la presencia de sistemas productivos de tipo extensivo y la accesibilidad condicionada a los fenómenos de inundación, han determinado el aislamiento relativo de las poblaciones, generando un fuerte impedimento para el desarrollo, condicionando el intercambio de información y la pérdida de vínculos con el resto del territorio. La implementación de obras viales de manera complementaria al proyecto de reconstrucción va a promover el desarrollo regional, incentivando las inversiones y potenciando el aprovechamiento de los recursos naturales de la región.

IX. Diversidad étnica y cultural

La historia de ocupación del territorio, incluyendo los fenómenos migratorios pasados y actuales,

han determinado la presencia y coexistencia de diversos grupos étnicos (pueblos originarios, criollos, colonos). Como resultado de la incompreensión intercultural, y la desigualdad de oportunidades y habilidades o conocimiento para insertarse en contextos económicos o productivos cambiantes, algunos de ellos (grupos de pueblos originarios) han sido sometidos, discriminados y confinados en sus territorios, lo cual los ha llevado a la pérdida de valores y pautas culturales propias. Esta pérdida del patrimonio cultural regional está siendo mitigada a partir del reconocimiento legal de los derechos de los pueblos originario sobre sus territorios, sus costumbres y valores. Esto se traduce también en cambios territoriales ocasionados por la asignación de zonas y usos tradicionales en las propiedades comunales, con revalorización de la diversidad cultural por medio de su incorporación al sistema económico diversificado.

X. Distribución de la tierra

Las prácticas de asignación de las tierras junto a la baja capacidad productiva relativa de los suelos de la región, así como la presencia de sistemas productivos de tipo extensivo (ganadería) caracterizados por una baja demanda de mano de obra, ha resultado en un patrón de distribución de la tierra que genera ineficiencias en el manejo de los sistemas productivos. La estrategia del PMA debe apuntar a la diversificación de los sistemas productivos, diferenciándolos según la aptitud y capacidad natural de cada sitio del Área de Manejo del Agua (AMA).

5. ZONIFICACIÓN ECOHIDROLÓGICA

5.1. La zonificación como instrumento de gestión

La zonificación territorial en general es un instrumento de gestión clave para el logro de una gestión sustentable de los recursos disponibles pues permite orientar una gestión integrada del agua y del territorio. Ello implica conlleva a la subdivisión del territorio en sectores o áreas más o menos homogéneas que presentan similares características ambientales, y como consecuencia de ello pueden asignarse usos o actividades con objetivos de manejo específicos. El grado de homogeneidad de cada unidad o zona dependerá de la escala de análisis y de las características propias del territorio (Gaviño Novillo & Sarandó, 2005; Gaviño Novillo, 2009).

A fin de implementar adecuadamente el PMA, tomando como base la información analizada e

integrada en el SIT, y como resultado de la síntesis diagnóstica, se ha elaborado una propuesta de zonificación en base al análisis ecológico e hidrológico del Área de Manejo del Agua (AMA) en base a los siguientes pasos:

- I) Selección de criterios ecohidrológicos: que guardan relación con los objetivos y alcances del PMA;
- II) Definición de los objetivos de manejo: considerando conjuntamente los criterios definidos y las características del AMA;
- III) Delimitación de las unidades: sobre la base de la información disponible,
- IV) Caracterización y asignación de los objetivos de manejo específico.

5.2. Criterios de zonificación

Se han definido criterios de zonificación basados en la interpretación de los rasgos ecológicos e hidrológicos y los procesos que tienen como resultado de la relación dinámica entre ellos:

-Riesgo hídrico: asociado a la probabilidad de ocurrencia de inundaciones estimadas sobre la base del análisis de la cobertura de agua en las imágenes satelitales de épocas secas y húmedas. Este criterio ha permitido delimitar la zona del bañado propiamente dicho que está sujeta a inundaciones según la situación extrema de mayo de 2006.

-Rasgos geomorfológicos: asociado a la presencia de las geoformas que guardan vinculación con la dinámica del paisaje. Este criterio permite diferenciar áreas con distinto grado de dependencia en relación a la dinámica hídrica (pasada o actual) que en forma predominante ha modelado el paisaje regional.

-Aptitud de uso del suelo: asociado a la naturaleza y a las características de los suelos que determinan la potencialidad, las limitaciones o restricciones para un uso agropecuario. Este criterio permite identificar aquellos sectores con limitaciones y posibilidades de uso productivo.

-Fisonomía de la vegetación: asociado con la estructura de la vegetación que sintetiza el estado de conservación del ecosistema terrestre. Este criterio ha permitido diferenciar aquellos sectores con mayor valor para la conservación de sus cualidades ecológicas.

Los criterios de zonificación tienen una estructura jerárquica por lo que su importancia relativa va cambiando a medida que se procede con la zonificación y delimitación de áreas. Por otro lado, ellos se corresponden con rasgos del medio natural que están relacionados funcionalmente entre sí, debido a la interrelación o interdependencia existente entre topografía, geomorfología, riesgo hídrico, tipo de suelo y tipo de vegetación. Por esta razón, la delimitación de las unidades o zonas aplicando estos criterios muestran una cierta unicidad funcional, lo que posibilita la **asignación de objetivos de manejo a las mismas**. Esto es así a pesar de que algunas zonas muestran cierto grado de heterogeneidad debido a la naturaleza del patrón de variación espacial de las características naturales y a la escala de trabajo adoptada.

5.3. Objetivos de manejo del AMA

Los objetivos de manejo identificados para las distintas zonas de manejo del AMA están relacionados con los objetivos del PMA y las características de los distintos ambientes presentes en el territorio que abarca el AMA. Los objetivos considerados y las características de cada uno son los siguientes:

-Protección: Aquellos sectores que han sufrido poca alteración, y que incluyen ecosistemas relevantes o frágiles, y que requieren un cuidado especial para asegurar el funcionamiento del ecosistema, la conservación de la biodiversidad regional y el mantenimiento de los procesos naturales. Suelen ser sitios de anidación; zonas críticas de alimentación y/o descanso de aves o refugio de fauna silvestre. Corresponde a zonas en las que se intenta mantener el ambiente en su estado natural y limitar el grado de intervención de las actividades humanas. Serán compatibles de estas zonas los usos no consultivos tales como la investigación, el monitoreo, la educación ambiental, las visitas supervisadas por guías certificados y un ecoturismo controlado.

-Aprovechamiento sustentable de los recursos naturales: Sectores que han sido aprovechados de manera continua y en las que, por motivos de uso y conservación del Bañado la Estrella, es necesario que las actividades productivas se efectúen bajo esquemas de aprovechamiento sustentable, para lo

cual deberán contar con instrumentos de gestión debidamente aprobados (planes, programas y proyectos). En estas zonas se permitirán la continuidad de las actividades productivas fomentando su sustentabilidad. Asimismo, se buscará generar en ellas modelos de desarrollo y de utilización de los recursos naturales en beneficio de las comunidades locales y de los propietarios, que sean compatibles con los objetivos de conservación del área y que puedan servir de base a otros sectores de la Provincia mediante su replicabilidad.

-Uso tradicional: Son sitios que han sido utilizados tradicionalmente por pequeños productores y/o por los pueblos originarios, especialmente el pueblo Pilagá, para el aprovechamiento económico de los recursos naturales del área, y otras que podrán ponerse en producción en base a los beneficios que brinden las medidas estructurales.

-Aprovechamiento intensivo: Sectores con elevada potencialidad productiva que son esenciales para el desarrollo económico y social, cuyos recursos naturales pueden ser aprovechados sin deteriorar el ambiente ni causar impactos irreversibles en los elementos naturales que la conforman. En estas áreas podría emplearse el riego complementario mediante sistemas presurizados o donde es posible el desarrollo de un ecoturismo u otras actividades económicas intensivas.

-Recuperación: Sectores que por diversas causas han llegado a una situación de degradación que justifica implementar estrategias de recuperación buscado al menos el cambio de categoría a alguna de las anteriormente descriptas.

En la **Tabla Nº 2** se reseñan los objetivos, situaciones ambientales y usos potenciales definidos para la zonificación territorial del AMA

5.2. Delimitación y caracterización de las zonas en el AMA

Metodología

Para la delimitación de las zonas en el AMA se utilizó la información incluida en el Sistema de Información Territorial (SIT). Específicamente se emplearon los mapas temáticos correspondientes a las variables biofísicas del paisaje correspondientes a los rasgos

OBJETIVO	AMBIENTES	USOS POTENCIALES
PROTECCIÓN	Sectores DENTRO del Bañado La Estrella (BLE) que correspondan a: Ambientes acuáticos permanentes (100 m. a cada lado de los cursos de agua permanentes, cuerpos de agua permanentes: lagunas); Bosques nativos en buen estado de conservación (Bosque alto). Áreas de valor histórico, arqueológico, étnico. Sectores DENTRO O FUERA del BLE: 100 m a cada lado de los cursos de agua permanentes.	Actividades de baja intensidad (Ecoturismo y turismo cultural). Educación ambiental. Investigación científica. <i>Nota: en ningún caso se admiten infraestructuras permanentes, alteración de la topografía, del drenaje o del paisaje.</i>
APROVECHAMIENTO SUSTENTABLE	Sectores FUERA del Bañado La Estrella (BLE) que correspondan a: Ambientes acuáticos permanentes (cursos de agua, lagunas); Bosques bajos inundables. Pastizales inundables. Áreas de valor paisajístico (uso para ecoturismo)	Ganadería extensiva. Cría de especies de fauna silvestre. Pesca comercial. Cotos de caza. Actividades de ecoturismo. Recolección de fibras, especies, etc. <i>Nota: Todas las actividades bajo supervisión.</i>
USO TRADICIONAL	Sectores dentro de territorio de pueblos originarios con cobertura de: Pastizales inundables; Bosques bajos; Cuerpos de agua (permanente y no permanente)	Ganadería extensiva. Actividades de caza tradicional. Recolección de fibras, especies, etc. supervisada. Pesca artesanal. Actividades de ecoturismo (sin infraestructura permanente).
APROVECHAMIENTO INTENSIVO	Sectores de suelos con buena aptitud y con cobertura de: Bosques bajos NO inundables; Pastizales NO inundables.	Ganadería intensiva Agricultura en secano con riego complementario. Turismo masivo. Infraestructura para ecoturismo.
RECUPERACIÓN	Sectores inundables con cobertura de <u>vinales</u> .	Actividades de restauración de ecosistemas nativos.

Tabla N° 2: Objetivos, ambientes y usos potenciales definidos para la zonificación territorial del AMA.

geomorfológicos, el tipo de suelo, la cobertura de la vegetación y la dinámica hídrica del área (estos dos últimos a partir de la interpretación de imágenes satelitales actualizadas).

Para el análisis de las áreas inundables o anegables se procesaron imágenes satelitales LANDSAT para tres épocas diferentes: Seca (marzo de 1989 y enero de 1992), crecida (abril y julio de 2001) y crecida extraordinaria (mayo de 2006 - Información provista por las autoridades de la Provincia de Formosa). Las imágenes fueron procesadas digitalmente y se elaboraron mapas binarios categorizados en presencia de agua-no agua. De esta forma se delimitó el Área del Bañado La Estrella (**BLE**) cuyos límites se definieron en función de las líneas de máxima crecida sobre la imagen del 2006; el resto del área (AMA-BLE) se clasificó como Área Externa al Bañado (**AEBLE**). A través de álgebra de mapas el área BLE quedó sustraída de la imagen,

pudiendo trabajarla en forma independiente del resto.

La superposición o combinación de los mapas temáticos se llevo a cabo a partir del desarrollo de un modelo sencillo implementado en un Sistema de Información Geográfico ("modeler builder" del software Arc-View). Los mapas fueron llevados a formato "raster" con un valor de tamaño del píxel de 30 m. respondiendo a la resolución espectral de las imágenes LANDSAT empleadas. Las categorías de cada capa temática fueron reagrupadas (reclasificadas) teniendo en cuenta la posición topográfica y la dinámica hídrica del sitio. Las clases resultantes de cada mapa reclasificado fueron combinadas entre si quedando definidas las nuevas categorías a partir de las cuales finalmente se definió la zonificación resultante.

ZONA	SUBZONA	IDENTIFICACIÓN
Área del Bañado La Estrella BLE	1.a	Embalse
	1.b	Pastizales inundables
	1.c	Bosques inundables
Área Externa al Bañado La Estrella AEBLE	2	Bajos <u>semi</u> -permanentes actuales
	3	Cursos encausados actuales
	4	<u>Paleocauces</u> con matorrales anegables
	5	Planicies de bosques bajos y matorrales anegables
	6	Planicies de bosque chaqueño seco
	7	Planicies de bosque chaqueño húmedo

Tabla N° 3: Zonificación del área de manejo del agua (AMA) (Ver Fig.N° 10)

Siguiendo la estrategia y los criterios definidos, el modo de combinar los mapas siguió un esquema jerárquico. En primer lugar se definió el área dentro y fuera del bañado. En el primer caso (**BLE**) se definieron zonas altas y bajas, con pastizales inundables y bosques inundables, y por fuera del bañado (**AEBLE**) se definieron las zonas por combinación de la geomorfología, tipo de suelo y vegetación.

Resultados obtenidos:

Como resultado de la aplicación de la metodología y los criterios preestablecidos a la información incluida en el SIT, se identificaron siete zonas de manejo dentro del AMA (Ver **Tabla N° 3; Fig. N° 10**). Las zonas 1 a 4 corresponden a sectores topográficamente bajos, con rasgos geomorfológicos asociados a la dinámica hídrica actual o pasada, con un riesgo hídrico alto a medio, suelos pobremente drenados y cobertura vegetal diversa. Las zonas 5 a 7 corresponden a las planicies y llanuras ubicadas en porciones topográficas más elevadas, con suelos bien drenados, aunque con mayores o menores limitaciones de uso, y una cobertura vegetal de bosque xerófilo.

Zona 1: Zona del Bañado

Corresponde al Área del Bañado La Estrella (**BLE**) dentro de los límites del AMA. Son ambientes bajos que presentan un riesgo hídrico alto debido a que permanecen con agua durante las crecidas anuales. Las geoformas dominantes son cursos y cuerpos de agua permanentes o semipermanentes, cañadas y bajos hidromórficos de la baja planicie aluvial actual del río Pilcomayo. Presenta suelos de baja aptitud (VII-VIII), con serias limitaciones por distinto grado de anegamiento y tenores salinos, con una abundante y diversa vegetación entre las que se diferencian fisonomías dominadas por leñosas (bosques, matorrales), gramíneas y graminiformes (vegetación palustre, pastizales, pajonales) y vegetación acuática (flotante, arraigada o sumergida), cuyas características fisonómicas y composición florística son función de la profundidad y permanencia del agua. Representan ambientes con gran heterogeneidad ecológica y paisajística tanto espacial como temporal en función de la variabilidad estacional en la dinámica hídrica regional.

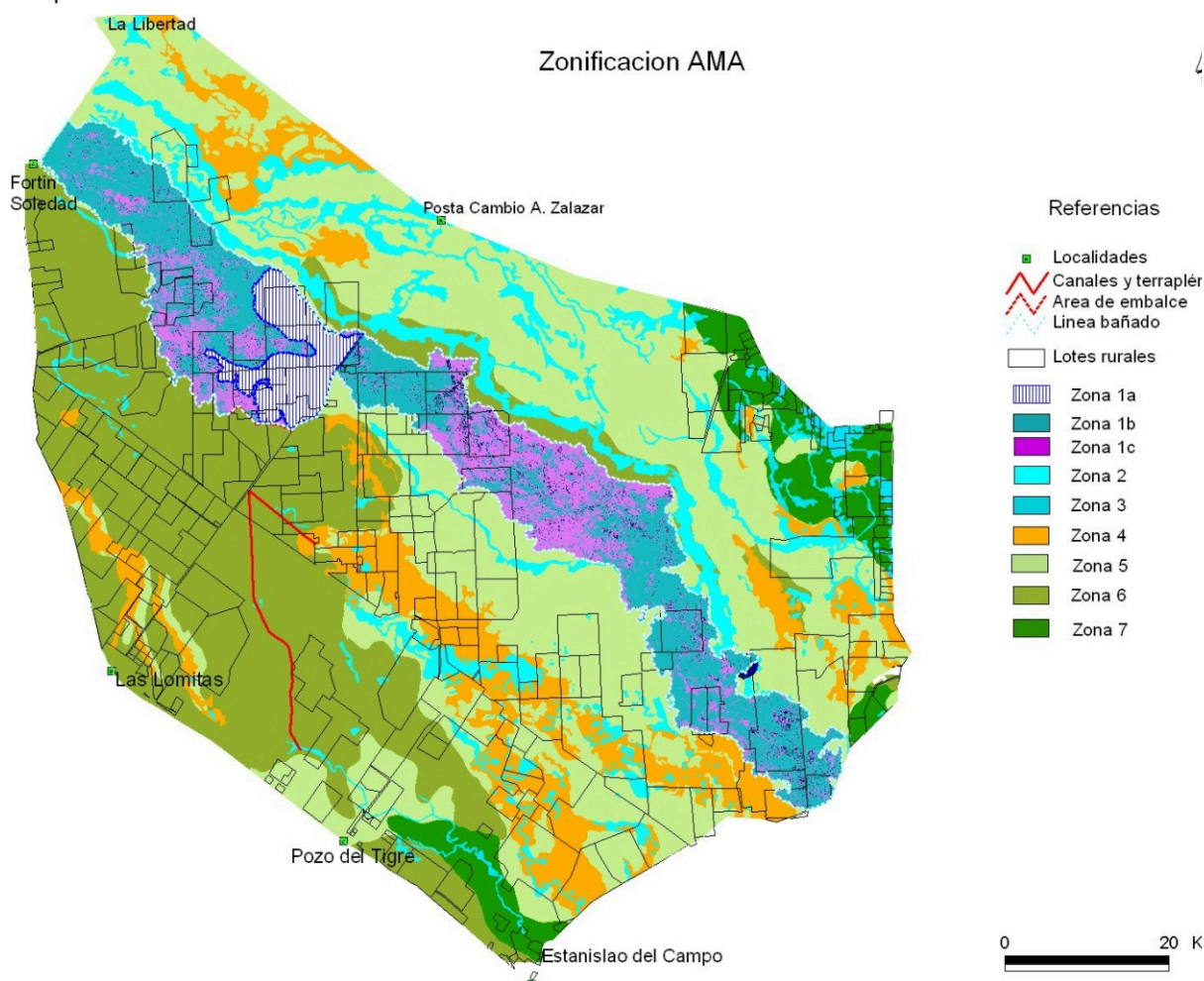


Tabla N° 10: Zonificación ecohidrológica del área de manejo del agua (ver Tabla N° 3)

Dentro de los límites de la zona del Bañado se definieron tres sub-zonas:

Zona 1.A. Embalse: corresponde al área del embalse generado por la reconstrucción de la Ruta Provincial N° 28, definido por el área a ser ocupada por un cuerpo de agua de tipo léntico, y cuyas características (área y volumen del embalse, tiempo de residencia) determinadas por las operaciones de erogación y mantenimiento (limpieza) y regulación de caudales erogados.

Zona 1.B. Pastizales inundables: corresponde a las zonas dominadas por una vegetación de gramíneas y graminiformes (pastizales y pajonales inundables), ubicados en las áreas topográficas más bajas entre las que se entremezclan cuerpos y cursos de agua permanentes o semipermanentes, sujetos a las inundaciones anuales. Son importantes áreas de pastoreo estacional, especialmente al inicio de la estación seca, ya que la permanencia del agua en estos sectores extiende el ciclo productivo (de 2 a 3 meses dependiendo el año). Es una zona importante para la dinámica del humedal, siendo el sector en donde se depositan los sedimentos y nutrientes (nitratos, fosfatos), se metaboliza la materia orgánica y se mejora la calidad del agua. Es además un área de importancia para el desarrollo de la fauna íctica (crecimiento y reproducción de distintas especies de peces) así como de nidificación y alimentación de aves acuáticas.

Zona 1.C. Bosques inundables: corresponde a las zonas dominadas por bosques y comunidades de leñosas, ubicados en posiciones topográficas relativamente más elevadas, aunque sujetas al anegamiento permanente o temporario con una frecuencia anual, con coberturas semidensas o semiabiertas, dominadas por diversas especies de árboles, palmeras y arbustos higrófilos, sobre suelos con serias limitaciones por anegamiento y a menudo algo salobres; son áreas inundables por aguas de lluvia o por desborde fluvial. Es un ambiente con una gran diversidad biótica, en especial de aves, así como reptiles y anfibios, representando uno de los sitios con mayor valor para la conservación de la biodiversidad regional. Dada su posición topográfica relativamente alta sirve de refugio para la fauna silvestre durante las fases de crecida anual.

Los objetivos de manejo de las actividades y usos potenciales para las Zona 1 son de protección y conservación. Por un lado la subzona del Embalse debiera manejarse con el objetivo de asegurar su funcionamiento como reserva de agua, para lo cual deberá controlarse la sedimentación, la eutrofización y la limpieza de la

vegetación palustre y acuática. Las otras subzonas (1B y 1C) son importantes para la conservación de la biodiversidad regional. En el sector 1B el objetivo de manejo debiera ser la conservación, con un uso controlado tendiente al mantenimiento de la cobertura vegetal, siendo admisible el aprovechamiento de los pastizales inundables que tradicionalmente han utilizado las poblaciones locales. La Zona 1C, está repartida en dos sectores que debieran ser protegidos bajo alguna forma legal (reserva natural, etc.), ya que constituyen las áreas más valiosas desde el punto de vista de la diversidad y más vulnerables al uso.

Zona 2: Bajos semipermanentes actuales:

Corresponde a los cuerpos de agua lénticos (lagunas, bañados) y cursos de agua semipermanentes actuales sujetos a inundación estacional anualmente, por lo que presentan un riesgo hídrico alto. Se ubican sobre geofomas de cauces actuales, cañadas y bajos hidromórficos de las terrazas aluviales o llanuras aluviales recientes o sub-recientes de baja planicie aluvial del río Pilcomayo fuera de la zona del Bañado La Estrella propiamente dicha. Se inserta en la matriz definida por la zona 5 (ver abajo). Presenta suelos de baja aptitud (VII-VIII) generalmente no anegables pero que presentan niveles freáticos oscilantes altos la mayor parte del año, y accesibles a las raíces de los árboles. La fisonomía de la vegetación corresponde a pastizales húmedos (en los bajos) y bosques riparios semidensos a semiabiertos (ubicados en los albardones que delimitan los cursos de agua). Los cuerpos de agua y los bosques riparios debieran ser protegidos bajo un manejo sustentable de los recursos, ya que contribuyen a la estabilidad de los cursos, controlan la erosión de las márgenes, constituyen un importante aporte de materia orgánica a los cuerpos de agua y funcionan como corredores biológicos para la flora y fauna terrestre. Los pastizales húmedos pueden ser aprovechados en forma tradicional o sustentable.

Zona 3: Cursos encausados actuales:

Es una zona con un desarrollo restringido en el AMA, que se inserta en la matriz constituida por la zona 7 (ver abajo), correspondiente a las áreas de escurrimiento superficial encausado a semiencausado actual, con un riesgo hídrico medio, ubicados en áreas topográficamente altas (planicies y llanuras), con suelos bien drenados, de moderada aptitud de uso, aptos para la labranza, pero con algunas limitaciones por anegamiento (correspondientes a la categoría de uso IV). En las márgenes de los cursos de agua se desarrollan bosques riparios que son

dependientes de la dinámica hídrica y contribuyen a la estabilidad de la geoforma. Al igual que en la zona 2, estos bosques (en un área de 100 m. a cada lado del cauce) debieran tener un objetivo de protección ya que son importantes como corredores biológicos para la flora y fauna terrestre, especialmente de los ecosistemas boscosos húmedos del distrito Paranaense (bosques en galería de los grandes ríos Paraguay/Paraná).

Zona 4: *Paleocauces con matorrales anegables*

Corresponde a aquellas áreas con presencia y/o retención temporaria del agua, sobre geoformas de cañadas y paleocauces desactivados, por lo que presentan un riesgo hídrico medio. Presentan suelos mal drenados con baja aptitud para la agricultura (clase VII). Presenta una fisonomía de la vegetación dominada por arbustales y matorrales secundarios desarrollados sobre los cauces abandonados del río. Son áreas que, si bien presentan restricciones de uso por limitaciones en la aptitud, pueden reconvertirse a usos agropecuarios con aportes de tecnología (pasturas, riego, fertilizantes, etc.), ser aprovechados en forma sustentable o en forma tradicional.

Zona 5: *Planicies de bosques bajos y matorrales anegables*

Corresponde a áreas de planicies y llanuras, ubicadas en posiciones topográficas relativamente elevadas, con riesgo hídrico bajo a medio (en aquellos sectores topográficamente más bajos), ubicados en geoformas que corresponden a un paisaje de llanura aluvial antigua, con suelos pobres de baja aptitud (clase VII), limitados por agua o por salinidad. La fisonomía de la vegetación corresponde a la vegetación típicamente chaqueña, dominada por bosques xerófilos, incluye varias especies de tipos florísticos, con estratos bajos (5 a 7 m. de altura), relativamente densos, y estratos emergentes dispersos regularmente (de 15 a 20 m. de altura) con las especies dominantes (Quebrachos, Palo Santo). En las áreas de paleocauces recientes, se entremezcla una vegetación más rala correspondiente a matorrales y arbustales. Estas zonas pueden ser aprovechadas en forma sustentable o tradicional, siendo aptas para la ganadería extensiva o las prácticas forestales.

Zona 6: *Planicie de bosque chaqueño seco*

Corresponden a la áreas de planicies y llanuras ubicados en posiciones topográficamente altas,

con bajo riesgo hídrico, con suelos de tipo con algunas restricciones (clase VI). Presentan una vegetación típicamente chaqueña del distrito Chaco Seco, caracterizada por bosques con un estrato bajo (de 5 a 7 m. de altura), relativamente denso y un estrato emergente disperso regularmente, con una altura de 15 a 20 m. dominado por las especies típicamente chaqueñas (Quebracho, Palo Santo). Este bosque xerofítico, constituye la vegetación clímax zonal de los suelos medianamente drenados hasta algo imperfectamente drenados, con texturas dominantes desde franco-limosas, franco-arcillosas a areno-limosas y limo-arcillosas. Además presenta una vegetación secundaria constituida por bosques ralos y arbustales, que se desarrollan después de la perturbación humana por fuego, tala o sobrepastoreo, sobre suelos mal drenados hasta estacionalmente anegados, de carácter algo salobre hasta moderadamente salino, que incluye varias asociaciones con diferente composición florística en función del grado de drenaje, anegamiento y salinidad de los suelos. Las asociaciones dominadas por el Vinal (*Prosopis ruscifolia*) son de carácter invasivo, extendiéndose rápidamente en zonas perturbadas con mal drenaje. Estas zonas pueden ser aprovechadas en forma sustentable o tradicional, siendo aptas para la ganadería extensiva o para las prácticas forestales.

Zona 7: *Planicie de bosque chaqueño húmedo*

Corresponde a las áreas de planicies y llanuras, ubicados en posiciones topográficamente altas, con bajo riesgo hídrico, con suelos de aptos para algunas actividades agrícolas (Clase IV), medianamente bien drenados, y asociados a sistemas de bosques de la provincia biogeográfica del Chaco Húmedo con interdigitaciones de bosques con influencia del Distrito Paranaense en las zonas bajas. También podemos encontrar bosques caducifolios secundarios abiertos (entre 5 a 8 m de altura), alternando con sabanas arbustivas, bosques altos y sabanas. Los dos primeros desarrollados sobre suelos pobremente drenados; las sabanas y bosques altos sobre suelos francos limo-arenosos y decididamente arenosos. Los bosques secundarios ocupan antiguos humedales sobrepastoreados y sus bordes evolucionados a partir de la supresión de las inundaciones y del fuego recurrente. El sobrepastoreo elimina los incendios, mientras que las fluctuaciones de la red hídrica, han restringido las inundaciones periódicas. Ambos procesos (fuego e inundaciones) permiten la supervivencia del pastizal en los humedales y sus

bordes y la coexistencia de pastizal y bosque en los altos. Es una zona apta para el aprovechamiento intensivo, especialmente para las plantaciones forestales y cultivos perennes, complementado en forma sustentable o tradicional, por medio de la ganadería extensiva.

La **Tabla N° 4** sintetiza los rasgos diagnósticos de cada una de las zonas y subzonas identificadas.

6. CONCLUSIONES

Metodológicamente establecer una zonificación ambiental implica la subdivisión del territorio en sectores o áreas más o menos homogéneas que presentan similares características ambientales, y como consecuencia de ello, pueden asignarse usos o actividades con objetivos de manejo específicos. El grado de homogeneidad de cada unidad o zona así determinada depende de la escala de análisis y de las características propias del territorio. Las zonificaciones ambientales finalmente se presentan en forma de mapas temáticos los cuales se convierten en instrumentos de apoyo a la sistematización, el ordenamiento y la optimización del uso del territorio, permitiendo una gestión ambiental (Gaviño Novillo & Sarandón, 2005).

En particular, las zonificaciones empleando criterios ecohidrológicos permiten resumir de una forma sencilla las potencialidades y las limitaciones que presentan las diferentes zonas de una cuenca o ecosistema fluvial respecto a la disponibilidad, el uso y la preservación de la calidad de los recursos hídricos y los recursos

naturales asociados. En esos mapas, se sale del marco tradicional de la delimitación de cuencas para llegar a un ordenamiento sistemático no solo de los recursos hídricos, sino también de todos los elementos físicos que determinan la calidad y la cantidad de éstos (geomorfología, vegetación, suelos, clima, nutrientes, otros).

Si bien existen innumerables experiencias en materia de zonificación ambiental, no son tantas aquellas que han sido desarrolladas para la zonificación de los recursos hídricos en base a un enfoque ecohidrológico que incorpora conceptos ecológicos e hidrológicos en el diseño de las estrategias de gestión del agua en su relación con los demás recursos naturales de manera integrada.

El estudio de caso nos demuestra que es imprescindible contar con una muy buena información de base para apoyar la delimitación de las unidades ecohidrológicas y que la misma sea compatible de manera de integrar variables, indicadores e índices ambientales. Complementariamente, la superposición o combinación de los mapas temáticos requiere de criterios de amalgamamiento claros y destreza en el manejo de un Sistema de Información Geográfico (“modeler builder”).

Entonces las clases resultantes surgen de una reclasificación de mapas que son combinados entre sí, definiendo nuevas categorías a partir de las cuales finalmente se definen las zonas ecohidrológicas. El mapa de la zonificación resultante muestra las limitaciones y el potencial que posee el sistema ambiental como resultado del análisis de sus características intrínsecas y

ZONA		RASGOS DIAGNÓSTICOS				
		RIESGO HÍDRICO	GEOFORMA	APTITUD DEL SUELO	VEGETACIÓN	OBJETIVOS DE MANEJO
1	Bañado	Alto a moderado	Diversas, asociadas a dinámica hídrica actual	Muy baja	Diversa (pastizales, bosques, vegetación acuática)	Protección y conservación
1.A	Embalse	Alto. Dinámica hídrica regulada	Cuenca del embalse (cauces, cañadas, cuerpos de agua, etc.)	Baja a muy baja (variable)	Vegetación acuática (flotante, sumergida, arraigada)	Mantenimiento de la funcionalidad del embalse
1.B	Pastizal inundable	Alto. Inundable anualmente	Bañados, cañadas.	Muy baja (VII a VIII)	Pastizales y pajonales	Conservación (uso tradicional)
1.C	Bosque inundable	Moderado a Alto. Anegable anualmente	Albardones, terraplenes	Muy baja (VII)	Bosque inundable, bosque ripario.	Protección de la biodiversidad.
2	Bajos semipermanentes actuales	Alto	Bajos, cursos y cañadas actuales	Muy baja VII	Bosques riparios y pastizales inundables	Protección (bosque) y Conservación (uso tradicional de pastizales inundables)
3	Cursos encausados actuales	Moderado a alto	Cursos y cañadas actuales	Moderado (Clase IV)	Bosques riparios sobre albardón	Protección del bosque de albardón
4	Paleocauces con matorrales anegables	Moderado	Cursos y cañadas desactivados (paleocauces)	Muy baja a baja (VI - VII)	Matorrales y bosques bajos	Aprovechamiento intensivo y uso sustentable (forestación)
5	Planicies de bosques bajos y matorrales anegables	Moderado a bajo	Llanura aluvial antigua	Muy baja (VII)	Bosques xerófilos bajos y matorrales	Aprovechamiento sustentable (ganadería, forestación)
6	Planicie de bosque chaqueño seco	Bajo	Llanura aluvial antigua	Baja (VI)	Bosque Chaqueño Seco	Aprovechamiento sustentable o tradicional (ganadería, forestación)
7	Planicie de bosque chaqueño húmedo	Bajo	Llanura aluvial antigua	Moderado (Clase IV)	Bosque Chaqueño Húmedo	Aprovechamiento intensivo (forestación, plantaciones), y uso sustentable o tradicional (ganadería)

Tabla N° 4: Rasgos diagnósticos de las zonas del área de manejo del agua.

aquellas impuestas predominantemente por la dinámica hídrica.

Finalmente, la zonificación permite orientar los usos del territorio y su intensidad de uso, lo cual permite a su vez implementar estrategias de sustentabilidad y mantenimiento del capital ecológico en un sitio dado. La asignación de usos finalmente debería estar condicionada a la demostración fehaciente de las hipótesis mediante un programa de monitoreo y acompañamiento que permita un monitoreo ecohidrológico y la implementación de eventuales ajustes y mejoras. La elaboración e implementación de buenas prácticas ambientales y el desarrollo de actividades de capacitación y educación ambiental basadas también en los principios ecohidrológicos son dimensiones concurrentes para que las zonificaciones sean útiles para la gestión ambiental en la práctica.

BIBLIOGRAFÍA

Bilos, C. Colombo, J. Rodríguez Presa, M. 1998. Trace metals in suspended particles, sediments and Asiatic clams (*Corbicula fluminea*) of the Río de la Plata Estuary, Argentina. *Environmental Pollution* Vol. 99: 1-11.

Centro de Estudios Regionales para el desarrollo de Tarija, Bolivia (CER-DET). 1997. Talleres de contaminación y salud. Estudios sobre la concentración de Plomo y otros metales pesados en músculo, vísceras, huesos y cuerpo entero del sábalo. Contaminación del río Pilcomayo y el pez sábalo, con metales pesados.

CIMA. 1999. Resultados preliminares del contenido de metales pesados en tejidos de sábalos (*Prochilodus lineatus*) del Río Pilcomayo, Misión La Paz, Salta. Relación con vertidos de la industria minera. Carolina Rosenberg, Bruno Carpinetti, Carina Apartin. Centro de Investigaciones del Medio Ambiente. Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de LA Plata. Pags. 1-6.

Colombo, J. Bilos, C. Remes Lenicov, M. Colautti, N. Landoni, P. Brochu, C. 2000. Detritivorous fish contamination in the Río de la Plata estuary, a critical accumulation pathway in the cycle of anthropogenic compounds. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 57: 1139-1150.

Delegación Argentina Comisión Trinacional para el desarrollo de la cuenca del Río Pilcomayo. 1999. El Río Pilcomayo en Misión La Paz (Salta, Argentina). Caracterización físico-química de las aguas y resultados ictiológicos y toxicológicos. Campaña 1997-1998. Coordinación Científica a cargo de la fundación Miguel Lillo.

INA. 2003. Protocolos de Análisis. Centro de Tecnología del uso del agua. Laboratorio experimental de calidad de agua.

INCYTH. 1978. Paleocauces del Oeste Formoseño. Estudio de sus posibilidades para la captación y utilización del agua. Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídrica. Delegación Formosa. 1978 Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación-Provincia de Formosa.

Gaviño Novillo, M; Sarandón, R. 2005/2006. Plan de Manejo de Aguas, Ruta Provincial N° 28. Informes 1, 2, 3. UCAP/UPCA. Formosa. Inéditos.

Gaviño Novillo, M. 2009. El mapa hidroambiental de la Vega Plana y los Faldeos, Municipalidad de San Martín de los Andes, Informe Final, Inédito.

Ley Nacional de Residuos Peligrosos N° 24051. Decreto Reglamentario N° 831/93 sobre régimen de desechos peligrosos, Niveles guía. Anexo II Tablas 1, 2, 5, 6, 7 y 9.

OCDE). 1993. Environment Monograph N° 65, Risk Reduction Monograph N° 1. Organisation for Economic Co-operation and Development (Secretaría de Recursos Hídricos. 1987. Cuenca del Plata. Selección de niveles guía de calidad de agua en función a los diferentes usos del recurso. Documento 021.

Servicio Provincial de Agua Potable y Saneamiento. 2003. Anexo: Análisis de datos del Río Pilcomayo-Muestras 2003. Departamento Control de Calidad y medio ambiente. Gerencia de Saneamiento.

Servicio Provincial de Agua Potable. Especificaciones para aguas de bebida. Características físicas y bacteriológicas para la provincia de Formosa. Normas de calidad para aguas de suministro público. (SPAP).

Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación. 2003. Niveles guía nacional de calidad de agua. Subsecretaría de Recursos Hídricos 2004. Evaluación de datos de calidad de agua del Río Pilcomayo, correspondiente a muestreos efectuados en la estación Misión La Paz, provincia de Salta, en agosto y octubre de 2003. Programa de calidad de agua. Dirección Nacional de Políticas, Coordinación y Desarrollo Hídrico. Marzo.

UCAP. 2004. Muestreo Preliminar de Peces en el Bañado La Estrella.

UCAP. 2005. Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto "Reconstrucción de la Ruta Provincial N° 28-Tramo Las Lomitas-Posta Cambio Salazar", Informe Final

UCAP. 2005. Términos de Referencia para la elaboración del Plan de Manejo de Aguas "Reconstrucción de la Ruta Provincial N° 28-Tramo Las Lomitas-Posta Cambio Salazar", provincia de Formosa. UCAP. Provincia de Formosa

Villar, C. Stripeikis, J. Colautti, D. D' Huicque, H. Tudino, M & Bonetto, C. 2001 Metals contents in two fishes of different feeding behaviour in the Lower Paraná River and de Río de la Plata Estuary. *Hidrobiología* 00: 1-9.

PLANIFICACIÓN TERRITORIAL APLICANDO ESTRATEGIAS Y ENFOQUES AMBIENTALES

Sarandón, Ramiro; Verónica Guerrero Borges; Daniela Muschong y Julio I. Cotti A.

Gabinete de Ecometría, Facultad de Ciencias Naturales y Museo; Universidad Nacional de La Plata; Calle 122 y 64 (1900) La Plata. E-mail: sarandon@fcnym.unlp.edu.ar.

El reconocimiento de que el manejo del territorio tiene consecuencias sobre los procesos naturales (geomorfológicos, ecológicos) y antrópicos (usos de la tierra, desarrollo económico, cambios demográficos, etc.), ha dado lugar a la necesidad de incluir explícitamente a la variable ambiental en la planificación territorial. Tal es así que desde hace más de una década, se vienen desarrollando y, actualmente ya se han formalizado, herramientas de gestión ambiental específicas para estos fines, como son las Evaluaciones Ambientales Estratégicas (EAE), similares a las Evaluaciones de Impacto Ambiental, pero aplicables a planes y programas.

Más allá de los procedimientos formales para exigir o realizar una EAE, la efectiva implementación de las cuestiones ambientales en la planificación (regional, territorial, sectorial, estratégica, etc.), depende del enfoque adoptado para la planificación misma. En este sentido, es necesario reconocer que se está interviniendo en un sistema ambiental complejo, que incluye componentes y procesos, tanto naturales como antrópicos, cuyas interacciones no son siempre lineales; que existen cuestiones ligadas a las escalas espaciales y temporales; que cada sistema tiene singularidades y especificidades que limitan las generalizaciones y que hacen necesario incorporar los conocimientos y vivencias propias de los actores locales en la definición de las metas y objetivos; y en el que siempre existe una cuota de incertidumbre dada por la carencia de conocimiento, de modelos o de información. Como toda intervención en el territorio repercute sobre el funcionamiento del sistema ambiental, es esencial incorporar este enfoque, especialmente las interrelaciones entre las actividades humanas y los procesos naturales, en la planificación y manejo del territorio.

En el marco del Plan Estratégico y Participativo para el control de inundaciones en el Municipio de Gral. Lavalle (Pcia. de Buenos Aires), y a fin de elaborar pautas de manejo territorial se incorporó este enfoque ambiental que tuvo por objeto vincular los procesos ecológicos y antrópicos que intervienen en la dinámica territorial, específicamente aquellos asociados al manejo del agua. Tomando como referencia, la tríada

conformada por los recursos, los riesgos y la fragilidad (tanto natural como antrópica); así como el análisis de los factores y causas naturales (geomorfológicas, hidrológicas o ecológicas) o antrópicas (usos del suelo, obras hidráulicas, caminos); y utilizando un enfoque espacialmente explícito por medio de un Sistema de Información Geográfica, se elaboraron modelos de funcionamiento que permitieron desarrollar las medidas prioritarias. Por otro lado, el análisis comparativo de imágenes satelitales correspondiente a una época normal y otra de excesos hídricos, y la superposición digital de distintos mapas temáticos, permitió la identificación de los sectores más afectados por las inundaciones y los factores involucrados. Este análisis permitió definir una estrategia no estructural de intervención en el territorio basada en el mantenimiento funcional de las vías de escurrimiento principal y el condicionamiento de otras intervenciones estructurales (canales y obras hidráulicas) a la efectividad de las mismas.

¹ Trabajo presentado en el III Seminario Internacional: La Interdisciplina en el Ordenamiento Territorial. CÍFOT-FFyL (UNC, 2005).

PLANIFICACIÓN TERRITORIAL APLICANDO ESTRATEGIAS Y ENFOQUES AMBIENTALES

Sarandón, Ramiro; Verónica Guerrero Borges; Daniela Muschong y Julio I. Cotti A.

Gabinete de Ecometría, Facultad de Ciencias Naturales y Museo; Universidad Nacional de La Plata; Calle 122 y 64 (1900) La Plata. E-mail: sarandon@fcnym.unlp.edu.ar.

1. INTRODUCCIÓN

El reconocimiento de que el manejo del territorio tiene consecuencias sobre los procesos naturales (geomorfológicos, ecológicos) y antrópicos (usos de la tierra, desarrollo económico, cambios demográficos, etc.), ha dado lugar a la necesidad de incluir explícitamente a la variable ambiental en la planificación territorial (Banco Mundial, 1991; Cantú, 1995; Treweek, 1999).

En este contexto, y a fin de asegurar que un plan de ordenamiento territorial contribuya a un desarrollo regional sustentable, se deben considerar al menos tres aspectos clave:

- La sustentabilidad ecológica (referida a la conservación de los ecosistemas, de los procesos naturales y de los servicios ambientales);
- La equidad social (referida al mejoramiento de las condiciones de vida de la población afectada directa e indirectamente); y
- El crecimiento económico (referido al incremento de los valores productivos, la generación de empleo y la productividad del área).

Dada la importancia de incorporar la variable ambiental en las instancias de planificación regional, desde hace más de una década, se vienen desarrollando y, actualmente ya se han formalizado, herramientas de gestión ambiental específicas para estos fines, como son las Evaluaciones Ambientales Estratégicas (EAE), similares a las Evaluaciones de Impacto Ambiental (EIA), pero aplicables a políticas, planes y programas (BM, 1991; Oñate y col, 2002). Más allá de los procedimientos formales para exigir o realizar una EAE, la efectiva implementación de las cuestiones ambientales en la planificación (regional, territorial, sectorial, estratégica, etc.), depende del enfoque adoptado para la planificación misma.

2. PLANIFICACIÓN Y AMBIENTE

2.1. El proceso de planificación

El proceso de planificación está inserto en un proceso de toma de decisiones que debe definir qué se hace (objetivo) frente a un problema específico, además de definir el cómo (métodos, acciones) y cuándo (cronograma) debe intervenir. Cuanto antes o más temprano se incorpore la variable ambiental en el proceso de toma de decisiones, más eficientes y efectivos serán los ajustes y las medidas adoptadas para evitar la degradación del ambiente y optimizar el aprovechamiento de los recursos ambientales (Canter, 1998; EPA, 1998).

En este sentido, las EIA han demostrado varias limitaciones debido a que ellas se concentran en el proyecto bajo evaluación, por lo que las medidas suelen estar limitadas por el contexto en que se realizan (Morris & Therivel; 1995; Porter & Fittipaldi, 1998). Por el contrario, las EAE apuntan a evaluar el contexto en el que se desarrollan los proyectos, incluyendo no solo las variables biofísicas y socioeconómicas del mismo, sino, y especialmente, los impactos acumulativos y sinérgicos, la interacción con otros planes y programas, y el marco institucional y legal (Oñate y col.; 2002). Es por esto que en las EAE, se considera sumamente importante la participación pública y la opinión de los actores e involucrados directos ("stakeholders") para definir lo que se espera del plan y su estrategia de implementación. Para la incorporación de la variable ambiental en la formulación de planes y programas con un fuerte enfoque territorial o espacial, existen excelentes herramientas para procesar y sintetizar información (Muschong y col, 2005); así como para orientar procesos de toma de decisiones (Guerrero y Sarandón, 2005).

2.2 Elementos y procesos ambientales

La planificación de un territorio puede realizarse desde enfoques o aproximaciones diferentes según sean los objetivos prioritarios que se deseen alcanzar en el mismo. En todas ellas, sin embargo, se hace necesario incorporar la variable ambiental a fin de asegurar la sustentabilidad del mismo, evitar la degradación

de la calidad ambiental y optimizar el aprovechamiento y conservación de los recursos ambientales. El concepto de ambiente a ser utilizado implica una visión sistémica que incluye el subsistema biofísico o natural y el subsistema humano o socioeconómico (Westman, 1985; Wathern 1988; Sarandón, 2000).

Si bien el ambiente es un concepto multidimensional, la evaluación del territorio con el objeto de planificar una intervención sustentable puede basarse en el reconocimiento de los siguientes elementos ambientales: Recursos, Peligros y Fragilidad.

-Recursos: Incluye los elementos, componentes o procesos actual o potencialmente útiles para el desarrollo humano. Incluye tanto los recursos naturales (renovables y no renovables) como antrópicos (infraestructura, población).

-Peligros: Incluye las amenazas naturales de naturaleza física (terremotos, aluviones, huracanes) o biótica (enfermedades, vectores, animales ponzoñosos), los que pudieran generarse o incrementarse como consecuencia de la intervención, riesgos antrópicos o tecnológicos (explosiones, derrames), y la combinación de ellos (incendios).

-Fragilidad: La fragilidad se refiere a la vulnerabilidad o posibilidad de verse afectados ciertos elementos o procesos naturales o culturales de un área frente a intervenciones específicas. Los elementos pueden ser de carácter ecológico (especies vulnerables, zonas sensibles) o cultural (sitios arqueológicos); mientras que los procesos suelen ser a nivel de ecosistema (erosión y sedimentación) o de escala regional (procesos migratorios).

A fin de asegurar la sustentabilidad de un plan de desarrollo regional, el proceso de planificación debiera orientarse al aprovechamiento de los recursos existentes en el territorio; a la prevención de los peligros y riesgos; y al cuidado de los elementos y procesos frágiles. Por otro lado, la incorporación de la variable ambiental en la planificación exige reconocer que:

-Se está interviniendo en un sistema ambiental complejo, que incluye componentes y procesos, tanto naturales

como antrópicos, cuyas interacciones no son siempre lineales;

-Existen cuestiones ligadas a las escalas espaciales y temporales;

-Cada sistema tiene singularidades y especificidades que limitan las generalizaciones, y que hacen necesario incorporar los conocimientos y vivencias propias de los actores locales en la definición de las metas y objetivos; y

-Siempre existe una cuota de incertidumbre dada por la carencia de conocimiento, de modelos o de información.

2.3 Estrategias ambientales

Además de reconocer y considerar los elementos y procesos ambientales, es posible y necesario considerar estrategias y criterios de naturaleza ambiental, que pueden ser utilizados en un proceso de planificación del territorio, tanto en la fase de planificación como en la de implementación.

I. Fase de planificación:

Se refiere a los criterios generales y estratégicos utilizados para evaluar las condiciones territoriales y ambientales del área, analizar los escenarios de desarrollo y elaborar la propuesta (mapa de ordenamiento territorial y/o ambiental). Un Plan de Ordenamiento Territorial, debe considerarse un elemento estructural estratégico (a largo plazo) para el logro de la sustentabilidad del proceso de desarrollo propuesto. En la formulación de un plan es conveniente incorporar algunos de los siguientes criterios:

-Consideración del ambiente integral: incluyendo tanto los aspectos biofísicos como socio-productivos del territorio en el contexto regional y, eventualmente nacional.

- Manejo de cuencas: identificando todos los conflictos y opciones potenciales de uso de los recursos naturales y servicios ambientales existentes en esta unidad funcional.

-Conservación de RRNN: incluyendo la protección y el aprovechamiento racional (sustentable) de los recursos agua, suelo, bióticos y paisajísticos presentes en la región.

-Mantenimiento de los servicios ambientales clave: incluyendo los servicios hidrológicos (regulación del suministro de agua en cantidad y calidad del agua), con el objeto de satisfacer las demandas actuales y futuras de agua para consumo humano y el eventual desarrollo de otras actividades productivas (riego, agroindustrias).

-Recuperación de las áreas degradadas: incluyendo hábitat terrestres (suelos erosionados) o acuáticos (cuerpos de agua contaminados).

-Diversificación de las actividades: considerando distintas actividades agrícolas, pecuarias, turismo, etc.; a fin de brindar opciones y alternativas a la población local que sean adecuadas a las potencialidades de la región.

II. Fase de implementación:

Se refieren a los criterios a utilizar para implementar la propuesta en el terreno, ajustarla y monitorearla. La exitosa implementación del plan propuesto requiere la utilización de un enfoque de gerenciamiento integral del plan, que incorpore los siguientes criterios:

-Gradualidad: la implementación debe hacerse en forma gradual, tanto en tiempo como espacio, a escala regional y predial (a nivel de parcela). Esto implica adoptar un cronograma secuencial e incremental de aplicación de la propuesta, considerando la realidad ecológica y sociocultural existente en el área.

-Participación comunitaria: el éxito del plan suele depender de un cambio de actitudes y costumbres de la población local que deberá incorporar la lógica del plan (enfoque, estrategia, objetivos) y apropiarse del mismo a fin de lograr su adecuación a los lineamientos del mismo. Esta participación puede implicar un cambio cultural que requerirá de un proceso de participación, consenso y negociación con las comunidades y población locales. El plan puede incluir instancias de asesoramiento técnico y capacitación necesarias para la implementación del mismo.

-Gestión adaptativa: dada la naturaleza estratégica de un Plan de Ordenamiento Territorial, su implementación demanda

generalmente décadas, por lo que necesariamente demandará ajustes y cambios. Es necesario tener un esquema de intervención basada en los resultados obtenidos (ver abajo monitoreo y control) sobre los cuales realizar los cambios necesarios para el logro del objetivo definido.

-Monitoreo y control: a fin de confirmar que la implementación se está realizando acorde a los lineamientos del plan es necesario establecer mecanismos claros de seguimiento y control, que incluyan tanto a las variables biofísicas (erosión, sedimentación, contaminación, cobertura vegetal, áreas conservadas), como a las variables socioeconómicas (producción agropecuaria y forestal, población, calidad de vida).

Como toda intervención en el territorio repercute sobre el funcionamiento del sistema ambiental, es esencial incorporar este enfoque, especialmente las interrelaciones entre las actividades humanas y los procesos naturales, en la planificación y manejo del territorio.

3. EJEMPLO DE APLICACIÓN

En el marco del Plan Estratégico y Participativo para el control de inundaciones en el Municipio de Gral. Lavalle (Pcia. de Buenos Aires; R. Argentina), y a fin de elaborar pautas de manejo territorial se incorporó un enfoque ecohidrológico que tuvo por objeto vincular los procesos ecológicos y antrópicos que intervienen en la dinámica territorial, específicamente aquellos asociados al fenómeno de la inundación y al manejo del agua (Zalewski y Robarts, 2003).

3.1. Diagnóstico regional

El partido de Gral. Lavalle presenta inundaciones recurrentes que abarcan prácticamente todo su territorio (**Fig. N°1**; Foto 1). Ellas son debidas a la ocurrencia de un ciclo húmedo, y a un conjunto de factores naturales que determinan una baja capacidad de evacuación natural, entre ellos: rasgos geomorfológicos antiguos (canales de marea) que determinan un diseño de drenaje complejo; su relieve plano y de baja energía; y su ubicación territorial en cuenca baja que la hace receptora de aguas que provienen de una cuenca de aporte relativamente extensa (**Fig. N° 2**).

Por otro lado, la intervención humana ha incrementado el ingreso de caudales al área, por

medio de canales que aportan aguas de otros sectores, por ejemplo el Canal 2 que proviene de las zonas serranas del sistema de Tandilia. Del mismo modo, las obras hidráulicas inoperables (compuerta del Palenque inutilizada), permiten el ingreso de agua desde la Bahía Samborombón en época de mareas altas. Por otro lado, un inadecuado diseño y mantenimiento de caminos y canales, así como la construcción de terraplenes clandestinos, ha limitado el escurrimiento superficial (**Foto N° 2 y 3**).

Finalmente, los aportes de nutrientes (por ingreso de efluentes cloacales y por la actividad ganadera) incrementan los procesos de eutrofización y de sucesión secundaria que limitan aún más el escurrimiento superficial e incrementan la sedimentación, generando una obturación de las vías de escurrimiento superficial (**Fig. N°2; Foto 4**).

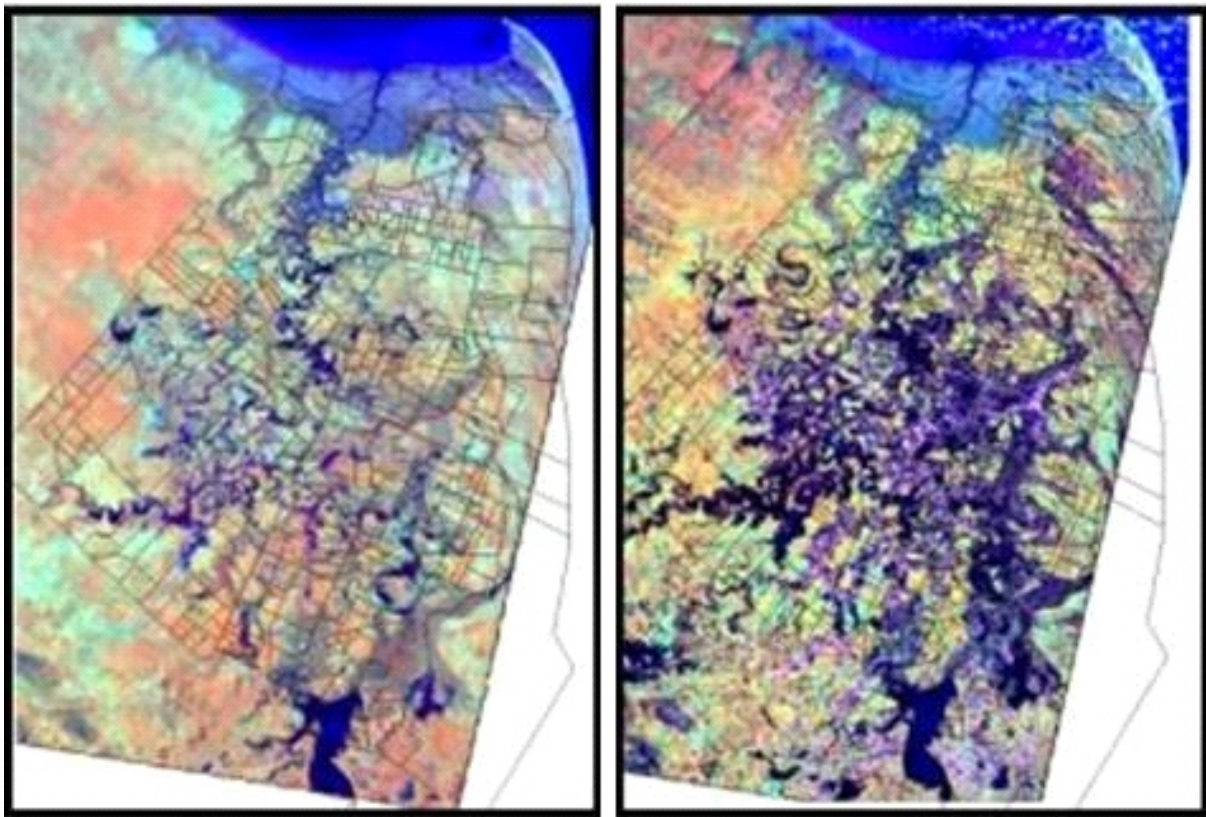


Figura N° 1: Imagen satelital del área de estudio (partido de Gral. Lavalle) en época normal (izquierda) e inundada (derecha). Al norte se observa la Bahía de Samborombón y Punta Rasa; al este el Mar Argentino.

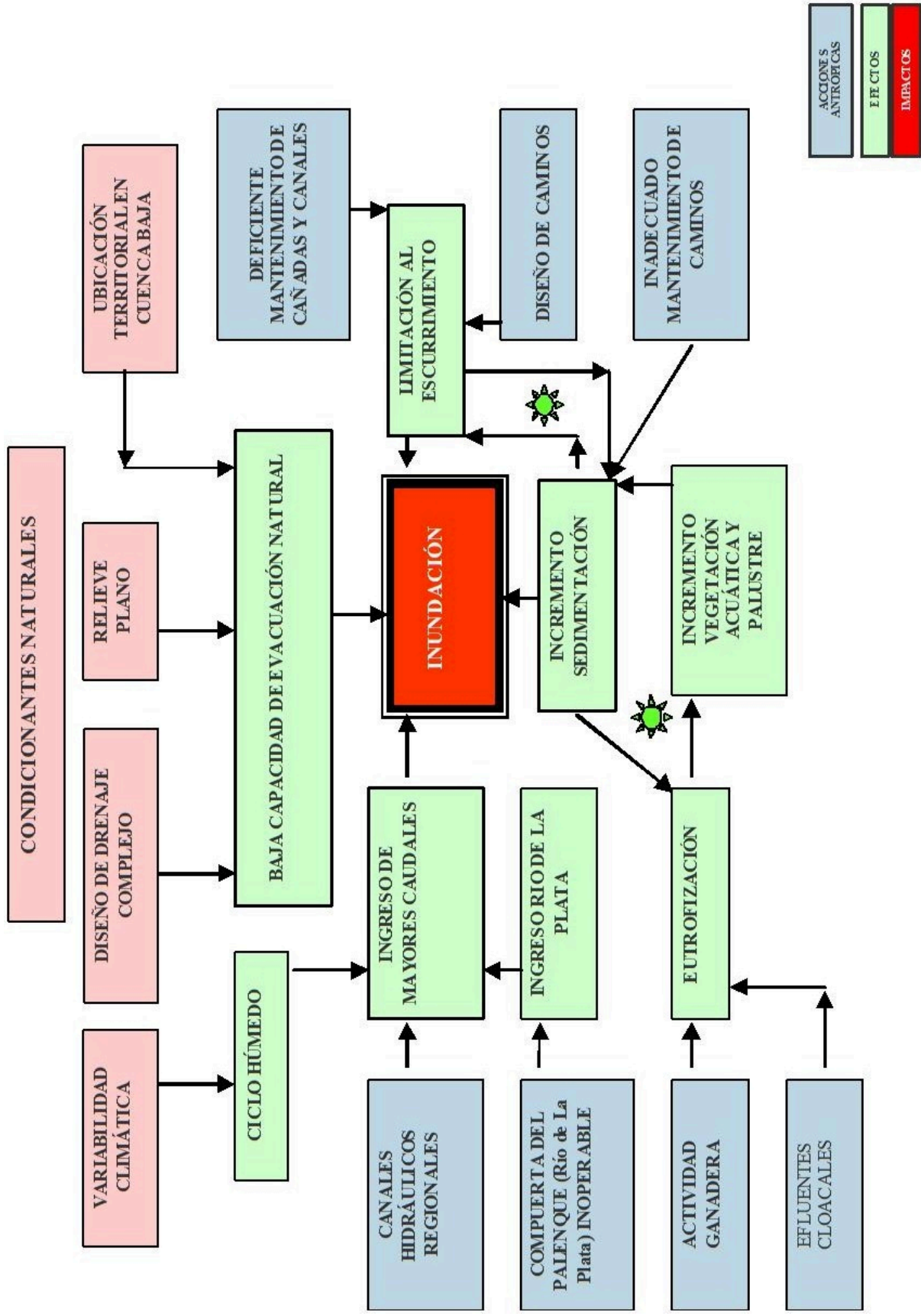


Figura N° 2: Condicionantes naturales (rosa) y factores antrópicos (celeste), cuyos efectos (verde), cuyos efectos (verde) que contribuyen a incrementar el fenómeno de la inundación (rojo) en el partido de Gral. Lavalle. Las estrellas indican círculos viciosos que potencian efectos negativos.



Fotos N° 1 y N°2: Inundaciones en el partido de Gral. Lavalle, Pcia. de Buenos Aires (R. Argentina). Desborde de canales (izq.) e interrupción de las vías de comunicación (der.) (Fotos: PR, UNLP, 2002).



Fotos N° 3 y N° 4: Inundaciones en el partido de Gral. Lavalle, Pcia. de Buenos Aires (R. Argentina). Obras de control (izq.) inefectivas y canales secundarios colmatados por sedimentos y vegetación palustre (der.) (Fotos: PR; RS, UNLP, 2002).

3.2 Estrategia metodológica adoptada

Tomando como referencia, la tríada conformada por los recursos, los riesgos y la fragilidad (tanto natural como antrópica); así como el análisis de los factores y causas naturales (geomorfológicas, hidrológicas; ecológicas) y antrópicas (usos del suelo, obras hidráulicas, caminos); y utilizando un enfoque espacialmente explícito por medio de un Sistema de Información Geográfica (Clarke, 2003), se elaboraron modelos de funcionamiento que permitieron desarrollar las medidas prioritarias.

Se analizó la relación entre geomorfología, hidrografía, cobertura vegetal y riesgo de inundación. Sobre la base del análisis de aerofotografías (1965) se generó un mapa geomorfológico con unidades y subunidades morfológicas, se identificó el patrón hidrodinámico regional y se definieron las Vías de Esguerrimiento Principal (VEP).

El análisis comparativo de imágenes satelitales correspondiente a una época normal y otra de excesos hídricos (2000, 2001; Landsat TM), facilitó la identificación de los sectores más afectados por las inundaciones y la generación de un mapa de cobertura vegetal. La superposición digital de los distintos mapas permitió identificar las VEP que se encontraban obturadas por la vegetación hidrófila ("Totoraes"). Los sectores más afectados por las inundaciones se ubican aguas arriba de estos sectores, poniendo en evidencia el efecto de dicha vegetación sobre el patrón de esguerrimiento superficial regional. Este análisis permitió definir una estrategia no estructural de intervención en el territorio basada en el mantenimiento funcional de las VEP (concentrando la limpieza de los canales en aquellos sectores clave), siendo complementaria de otras intervenciones estructurales o "duras" (obras hidráulicas: compuertas, canales, terraplenes).

3.1. Resultados obtenidos y estrategias de intervención

Sobre la base del diagnóstico elaborado se definieron diversas estrategias de intervención (**Fig. N° 3**).

Una de las principales estrategias apunta a mejorar la capacidad de evacuación de los excesos hídricos locales y regionales, estructurando el patrón de escurrimiento superficial en función de las Vías de Escurrimiento Principal (VEP). Ellas pueden definirse como aquellas vías de escurrimiento que se mantienen activas durante las épocas de aguas medias y bajas; y que pueden ser identificadas en el mapa geomorfológico y en la imagen satelital en baja (**Fig. N° 4**).

Las VEP se encuentran parcial o totalmente obturadas por efecto de la vegetación acuática y palustre que incrementa el depósito de sedimentos y materia orgánica (Foto 4). Los sectores más críticos pueden identificarse por superposición del mapa geomorfológico y el de vegetación obtenido a partir de imágenes Landsat (**Fig. N° 4**). Los sectores más afectados por las inundaciones se ubican aguas arriba de estos sectores, poniendo en evidencia el efecto de dicha vegetación sobre el patrón de escurrimiento superficial regional. La vegetación acuática es

indicadora de los sitios en que las intervenciones humanas (caminos, alcantarillas) han incrementado los procesos naturales de sedimentación y sucesión ecológica (hidrosere).

La definición de las Vías de Escurrimiento Principal (VEP), sobre la base de los rasgos geomorfológicos, permite recuperar el patrón de escurrimiento "natural". Es necesario y conveniente mejorar e incrementar su funcionalidad por medio de una adecuada tarea de mantenimiento y limpieza de la vegetación higrófila. Las VEP no interfieren con la infraestructura existente, ni condicionan los usos actuales del suelo. Además, permiten conservar las áreas anegables que constituyen ecosistemas valiosos y productivos (humedales).

Otra de las estrategias elaboradas, apuntó a la conservación de las fuentes de agua potable para la población de la cabecera del partido, la localidad de Gral. Lavalle (2.800 habitantes). Si bien el agua es abundante en el partido, su calidad es relativamente mala, debido a los altos tenores de sales que imposibilitan su uso para consumo humano o animal. La población de la localidad de Gral. Lavalle obtiene este recurso del Canal 2, que trae las aguas de drenaje de la sierra (Tandil), con valores de conductividad menores a 1.200 uS/s (apta para consumo). Una de las alternativas evaluadas para disminuir el riesgo de

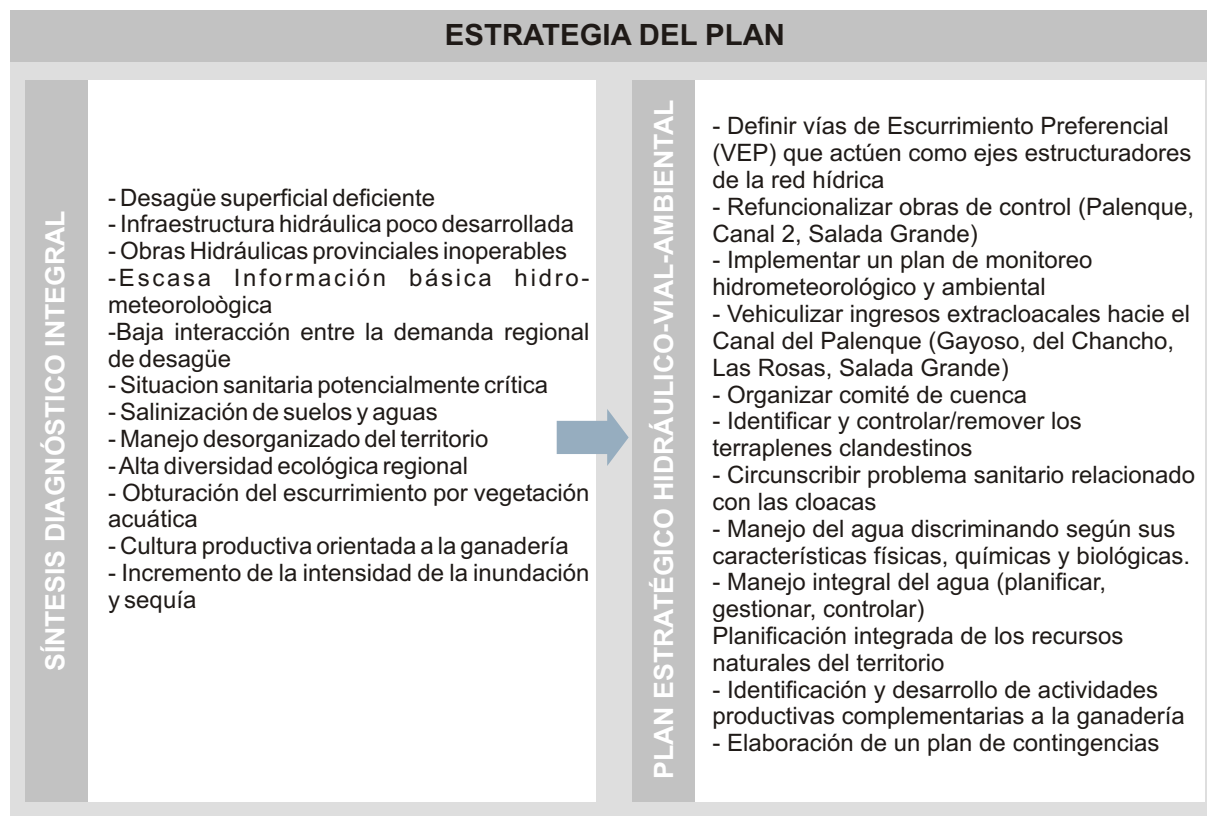


Figura N° 3: Estrategias elaboradas para los distintos problemas identificados.

inundación fue el desvío de las aguas de los canales “Gayoso” y “del Chanchó”, provenientes de los partidos de Maipú y Madariaga hacia el Canal 2. Al analizar el contenido de sales de las aguas de dichos canales se constató que superaban ampliamente los valores de salinidad aptas para consumo humano o animal (se obtuvieron valores de más de 5.000 uS/s), por lo que se recomendó que las mismas NO fueran evacuadas hacia el Canal 2, ya que ello ocasionaría la degradación de la calidad de este recurso crítico.

escurrimiento superficial, previniendo la degradación de aquellos sectores de fragilidad ecológica (humedales) cuyos usos potenciales se mantienen inalterados.

Por otro lado, la consideración de los recursos críticos regionales (escasez de agua de buena calidad) en el manejo del agua para minimizar el riesgo de inundación, permitió definir patrones de escurrimiento que aseguren la conservación del mismo. Ello se basó en medidas preventivas que condicionan el drenaje artificial a las

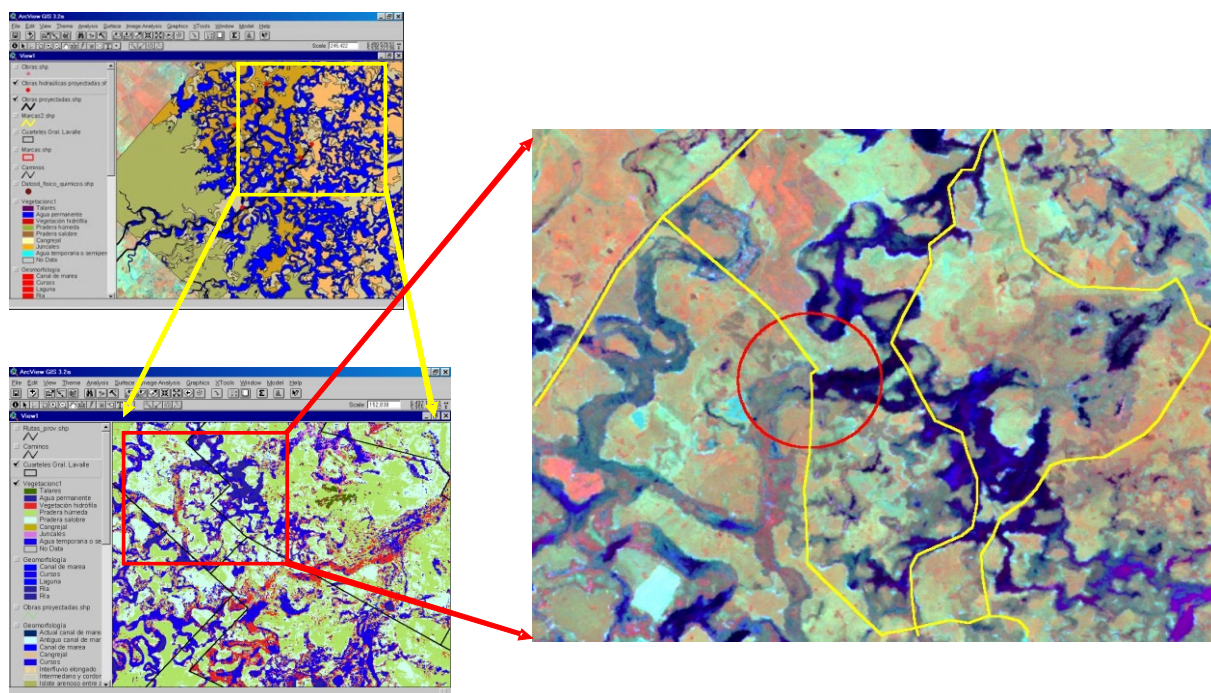


Figura N° 4: Identificación de aquellas vías de escurrimiento principal (VEP) obturados por vegetación acuática. 4.a: VEP en negro. 4.b: sector ampliado y 4.c: sector con VEP obturados por vegetación acuática en el círculo rojo.

4. CONCLUSIONES

La aplicación de un enfoque que incorpore explícitamente las variables ambientales en la planificación de usos y manejo del territorio ha permitido incluir variaciones estructurales importantes, sin desmerecer el objetivo del plan que apuntaba a controlar el efecto de las inundaciones en el territorio.

Por un lado, se pudo definir una estrategia NO estructural de intervención en el territorio basada en el mantenimiento funcional de las Vías de Escurrimiento Principal (VEP), concentrando la limpieza de los mismos en aquellos sectores clave, siendo complementaria de otras intervenciones estructurales o “duras” (la construcción de canales y obras hidráulicas de regulación y control). Esta estrategia, no solo reduce el costo de las intervenciones, sino que minimiza las alteraciones al patrón natural de

características físico-químicas del agua, con el objeto de conservar su cualidad y usos potenciales.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Banco Mundial, 1991. Libro de consulta de evaluación ambiental. Vol. I y II. Departamento de Medio Ambiente, Trabajo Técnico No. 139.
- Canter, L., 1998. Manual de evaluación de impacto ambiental. Mac Graw Hill, Madrid, 841 pags.
- Cantú, M. P. (Ed). 1995. Problemática geoambiental y desarrollo sustentable. Actas de la Primera Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio. Univ. Nac. de Río Cuarto. Tomo I y II.
- Clarke, K. 2003. Getting Started with Geographic Information Systems. Cuarta Edición. Editorial Prentice

may. 340 Págs.

EPA (United States Environmental Protection Agency), 1998. Principios de evaluación del impacto ambiental. Washington.

Guerrero Borges, V. y R. Sarandón; (2005) Implementación de sistemas de información y sistemas soporte de decisiones en el ordenamiento territorial de áreas críticas para la conservación natural. Actas del III Seminario Internacional: La Interdisciplina en el Ordenamiento Territorial. CIFOT-FFyL (UNC).

Morris, P. and R. Therivel (Ed), 1995. Methods of Environmental Impact Assessment. UCL Press Ltd.; London. 378 pgs.

Muschong, D.; R. Sarandón y J. M. Gaviño N.; (2005). Las evaluaciones ambientales regionales aplicadas a unidades de gestión territorial. Actas del III Seminario Internacional: La Interdisciplina en el Ordenamiento Territorial. CIFOT-FFyL (UNC).

Oñate, J. J.; D. Pereira; F. Suárez; J. J. Rodríguez y J. Cachón. 2002. Evaluación Ambiental estratégica. La evaluación ambiental de Políticas, Planes y Programas. Ed. mundiprensa. Madrid. 382 pags.

Porter, A. L & J. J. Fittipaldi (Eds.) 1998. Environmental Methods Review: Retooling Impact Assessment for the New Century. Army Environmental Policy Institute (AEPI) and International Association for Impact Assessment (IAIA); Fargo, North Dakota, USA; The Press Club: 309 pags.

Sarandón, R. 2000. Fundamentos y estrategias para el análisis del ambiente en los estudios de impacto ambiental. Maestría en Gestión Ambiental, UN del Litoral. 17 págs.

Treweek, J. 1999. Ecological Impact Assessment. Blackwell Science Ltd. Oxford 351 pgs.

Wathern, P. (Ed.) 1988. Environmental Impact Assessment. Theory and practice. Routledge, London & New York; 332 págs.

Westman, W. E.; 1985. Ecology, Impact Assessment and Environmental Planning. John Wiley & Sons.; 530 pags.; USA.

Zalewski, M. y R. Robarts. 2003. Ecohidrología: un nuevo paradigma para la gestión integrada de los recursos hídricos. Sesión especial UNESCO/UNEP en Ecohidrología y Fitotecnologías. Buenos Aires, 7 Págs.

ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD AMBIENTAL FRENTE A INTERVENCIONES A ESCALA REGIONAL

Ramiro Sarandón; Verónica Guerrero Borges, Mirta Cabral, Federico Kacoliris, Eduardo Kruse y Daniela Muschong

Gabinete de Ecometría. Cátedra de Estadística - Facultad de Ciencias Naturales y Museo - Universidad Nacional de La Plata

1. INTRODUCCIÓN

En este trabajo se presentan algunos de los resultados alcanzados en el estudio de vulnerabilidad ambiental frente a una intervención de desarrollo forestal en un área costera argentina. El mismo se desarrolla en el marco del proyecto de "Fortalecimiento de capacidades para el desarrollo de proyectos de Forestación y Reforestación dentro del Mecanismo para un Desarrollo Limpio (MDL) en la República Argentina" que forma parte de las actividades de cooperación entre la República Argentina y la República de Japón, con la asistencia técnica de la Japan International Cooperation Agency (JICA), y la participación de varias instituciones argentinas, entre ellas, la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (SAyDS), y el Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible (OPDS) de la provincia de Buenos Aires. El proyecto apunta a identificar las actividades de forestación y reforestación dentro del MDL en la República Argentina y fortalecer las capacidades institucionales locales para la formulación de estos proyectos en el marco de los MDL.

Si bien se espera que los proyectos de MDL presenten beneficios ambientales significativos a una escala global, vinculados por ejemplo a su función de sumideros de gases de efecto invernadero (específicamente de dióxido de carbono), es necesario analizar las consecuencias ambientales que pudiera tener la modificación de la cobertura y uso del suelo, vinculada directamente con la forestación, a una escala regional. Esto es así debido a que los proyectos de forestación, dependiendo de la modalidad de su intervención (especies vegetales, patrón espacial, etc.), pueden ocasionar alteraciones en aspectos ambientales esenciales del ecosistema intervenido, como cambios en la biodiversidad local, en la dinámica

hídrica, en los procesos de erosión edáfica o en la calidad del paisaje regional, sobre todo en aquellos casos en los que los ambientes a estudiar, carecen de forestaciones naturales.

En este marco, se ha planteado la necesidad de analizar la vulnerabilidad ambiental de un área piloto de trabajo de unas 35.000 hectáreas, ubicada en el Partido de Coronel Dorrego (provincia de Buenos Aires, R. Argentina) a partir de parámetros establecidos por el grupo de trabajo interinstitucional del Proyecto.

Son objetivos particulares del estudio:

- Identificar dentro del área de trabajo las zonas o unidades de ambiente más frágiles sobre la base de cinco (5) indicadores ambientales (biodiversidad; dinámica costera; suelo; sistemas hidrológicos y paisaje natural y visual); y

- Mapear la elegibilidad ambiental y estimar la superficie de cada categoría de aptitud potencial para el desarrollo de actividades de forestación y reforestación en el área.

El área de estudio corresponde a una faja costera de (47 Km de longitud por 7 Km de ancho), que presenta distintas unidades geomorfológicas propias de la costa marítima de la llanura pampeana, con un escaso uso recreativo debido a la ausencia de poblaciones litorales cercanas comparado con lo que ocurre al norte de la costa marítima bonaerense. Las principales limitantes en el área son la dinámica costera, la salinidad de los acuíferos superficiales, la erosión eólica actual y la baja capacidad de retención de humedad, aunque los cordones arenosos en las costas dificultan el drenaje y facilita la formación de bañados y cuerpos lagunares permanentes y transitorios los que constituyen importantes humedales y ecosistemas costeros, con hábitats especiales para el desarrollo de especies nativas.

Se espera que como resultado de este estudio se identifiquen aquellos sectores de mayor vulnerabilidad o fragilidad, y la superficie con potencialidades para su incorporación en el proyecto de forestación, así como la generación

Estudio realizado por un equipo interdisciplinario de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo de la Universidad Nacional de La Plata (FCNyM-UNLP) en el marco de un contrato con el Mitsubishi International Research Institute (MIRI) de Japón.

de mapas de vulnerabilidad, incluyendo instancias formales de participación de los actores locales incorporando los enfoques y preocupaciones de las diferentes instituciones involucradas.

2. ACTIVIDADES REALIZADAS

Durante el desarrollo del estudio las actividades se orientaron a i) la recopilación y análisis de la información antecedente; ii) la elaboración del diagnóstico preliminar; iii) la elaboración de cartografía temática, incluyendo el procesamiento y análisis digital de imágenes satelitales y la organización de un Sistema de Información Geográfica (SIG); iii) la caracterización de los hábitat de especies claves de la fauna; iv) el trabajo de campo para el ajuste del diagnóstico y de los mapas temáticos; v) la elaboración del modelo de indicadores; vi) la presentación en talleres interinstitucionales, el ajuste de los resultados y la elaboración de conclusiones y recomendaciones.

La recopilación y análisis de la información incluyó referencias bibliográficas e informes técnicos, cartografía, fotografías aéreas, imágenes satelitales y datos aportados por informantes calificados. Igualmente, se consultaron los estudios realizados en el marco del Proyecto Costas Bonaerenses que lleva adelante la Fundación de Historia Natural Félix de Azara, la Universidad Maimónides y la UBA-CONICET (Montserrat y Celsi, 2006a; www.fundacionazara.org); y las publicaciones de los centros regionales de estudios costeros como el Centro de Geología de Costas y del Cuaternario (UNMDP; <http://www.mdp.edu.ar/exactas/geologia/cgcyc>) y el Laboratorio de Ecología Marina, Departamento de Ecología, Genética y Evolución de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.

En el procesamiento digital para la elaboración de la cartografía temática se utilizaron las siguientes fuentes de información:

- Cartas Topográficas del Instituto Geográfico Militar a escala 1:50.000;
- Fotos aéreas (a escala 1:20.000), nomenclatura: 3960 - 13 - 4 - 2 y 4; 3960 - 14 - 3 - 1, 2, 3 y 4; 3960 - 14 - 4 - 1, 2, 3 y 4 de las cartas del IGM, Dirección de Geodesia de la Prov. de Bs. As. (año 1982).
- Mosaicos aerofotográficos del INTA (Escala 1:20.000; año 1966).

- Imágenes Landsat ETM 7 (30/OCT/2002) correspondiente a una época húmeda;
- Imagen Landsat TM 5 (JUL/2008), correspondiente a una época seca.
- Imagen de Radar del SRTM provistas por la NASA (para topografía).

Sobre la base del análisis de la información obtenida se elaboró un diagnóstico general del área de estudio, orientado a los aspectos clave del sistema ambiental en relación o de importancia para la definición de los indicadores de vulnerabilidad frente al proyecto de MDL. El diagnóstico general es acompañado por diversos mapas temáticos que fueron incluidos en el Sistema de Información Geográfica (SIG), y que permitió el análisis espacial de la vulnerabilidad ambiental del área de estudio través de la aplicación de los indicadores de vulnerabilidad y el mapeo de las áreas respectivas. Los mapas temáticos elaborados e incluidos en el SIG son:

- Mapa de Catastro (a partir de información digitalizada);
- Mapa Topográfico y Modelo Digital de Terreno (MDT), (a partir de la imagen SRTM de la NASA);
- Mapa de Geomorfología (a partir de la fotointerpretación de los mosaicos aerofotográficos);
- Mapa de Uso y cobertura del suelo (a partir del procesamiento digital de las imágenes 2002 y 2008);
- Mapa de Áreas Inundadas (en épocas húmedas, secas y la diferencia entre ellas);

Con el fin de confeccionar el mapa de vulnerabilidad de sectores del terreno en función de su valor como hábitat para las distintas especies de la biota presente en el área de estudio, se procedió a caracterizar la fauna de los distintos tipo de uso y cobertura obtenidos del análisis digital de las imágenes satelitales, en función de rasgos claves de la fauna y la flora.

El trabajo de campo consistió en un viaje de reconocimiento al área de estudio cuyo objetivo fue ajustar el diagnóstico preliminar, validar la información e interpretación de las imágenes satelitales y los mapas temáticos; y caracterizar el hábitat de la fauna silvestre.

Se realizaron observaciones puntuales y específicas respecto a los rasgos, elementos y formas en el terreno con el objeto de mejorar la interpretación lograda por medio de sensores remotos, permitiendo el ajuste de los distintos mapas temáticos, la caracterización de usos y

coberturas del suelo y la caracterización de la vegetación y de la fauna silvestre. Las observaciones y registros fotográficos fueron adecuadamente georeferenciados (utilizando un Geo-Posicionador Satelital, GPS). Se realizaron además, muestreos puntuales de vegetación y análisis expeditivos de la calidad del agua con un multisensor Horiba (específicamente temperatura, turbidez, conductividad y salinidad del agua).

Finalmente, se procedió a elaborar un conjunto de indicadores ambientales referidos a la vulnerabilidad de distintos aspectos del medio natural frente a la intervención proyectada, y que puedan ser adecuadamente mapeados a la escala requerida (aprox. 1:20.000). Las variables simples utilizadas para definir cada uno de los indicadores, se desarrollaron a partir de la utilización de información bibliográfica, interpretación de fotografías aéreas, satelitales y mapas disponibles tanto en formato digital como papel, además de la información de campo relevada a partir de una evaluación ecológica rápida del área de estudio y la elaborada por cada componente del presente estudio.

Sobre la base del diagnóstico elaborado, y el análisis de los proyectos de forestación, se definieron los riesgos asociados a las distintas cuestiones ambientales, analizándose su relación con la intervención proyectada sobre el ecosistema existente. Este análisis permitió orientar la definición del modelo de indicadores de vulnerabilidad ambiental.

Se desarrollaron los siguientes índices específicos: i) Índice de vulnerabilidad de la biodiversidad; ii) Índice de vulnerabilidad de la dinámica costera; iii) Índice de vulnerabilidad del suelo; iv) Índice de vulnerabilidad de los sistemas hidrológicos; v) Índice de vulnerabilidad del paisaje. Tanto para la generación de los indicadores de vulnerabilidad específicos como para la combinación de los mismos en un indicador combinado de vulnerabilidad ambiental, se siguió una estrategia metodológica específica. Esta estrategia aprovecha las potencialidades inherentes a los SIG para la generación de sistemas soportes para las decisiones (SSD).

Una vez definido un modelo preliminar de indicadores (tanto específicos como combinado o integral), se realizaron presentaciones en una serie de talleres interinstitucionales y con grupos locales en los cuales se expuso para su análisis y discusión. Esto constituyó una instancia formal de discusión interdisciplinaria e interinstitucional que posibilitó la incorporación de enfoques y preocupaciones propios de las distintas

instituciones involucradas. Sobre la base estos talleres interinstitucional se procedió a ajustar el diagnóstico y el modelo de indicadores, así como las interpretaciones, conclusiones y recomendaciones del estudio.

3. RESULTADOS

3.1. Diagnóstico general del área de estudio

-Caracterización general:

El partido de Coronel Dorrego se ubica en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, entre los Partidos de Tres Arroyos y Monte Hermoso (**Fig. N°1**). Presenta un frente costero sobre el Mar Argentino de aproximadamente 50 Km. de extensión, conformado por un extenso campo de dunas activas y fijas, playas amplias y continuas, y diversos arroyos y cuerpos de agua temporales y permanentes intercalados entre las dunas. Los ríos Quequén Salado y Sauce Grande flanquean el área de estudio al este y oeste respectivamente. El ancho total de la franja de dunas varía entre 5 y 8 Km. desde el mar hacia el continente, limitando al sur con el Océano Atlántico y al norte con campos agrícolas.

El único poblado en la zona costera es el Balneario Marisol, ubicado en la margen derecha del río Quequén Salado (al E del área de estudio). Se trata de una localidad balnearia con poco desarrollo urbano, unos 80 habitantes estables que llegan a casi 2.000 durante las temporadas de verano. Marini y Píccolo (2000, 2005) estudiaron diversos aspectos hidrológicos y geomorfológicos de la cuenca del río Quequén Salado. Mientras, que Grill (2003) y Grill y Lamberto (2006) efectuaron análisis palinológicos en la cuenca inferior del mismo río. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, son escasas las publicaciones científicas respecto de la flora, fauna o aspectos ecológicos específicos del frente costero del partido, lo cual pone de manifiesto un amplio vacío de información ecológica local.

La zona costera de Coronel Dorrego abarca una superficie de 345 Km² aproximadamente. Menos del 1.5 % de la superficie se encuentra visiblemente modificada (5 Km²) y alrededor del 10% del sistema de dunas corresponde a dunas activas (Monserrat y Celsi, 2006a). El paisaje costero es heterogéneo en cuanto a su patrón espacial de geomorfología, suelos y vegetación, preservando, en su fisonomía y estructura, sus características naturales (**Fig. N° 2**).

La franja costera del distrito se sitúa sobre la barrera medanosa austral, descrita por Isla et al. (2001), quien reconoce una dominancia de vientos del oeste y oeste-noroeste que favorecerían la formación de médanos transversales. Cabrera (1941) se refiere a la composición florística de las dunas costeras bonaerenses distinguiendo dos floras que encuentran su zona de transición entre las localidades de Miramar y Claromecó: las asociaciones del litoral norte y las asociaciones de la costa austral. Según este autor, la fisonomía de la vegetación en los sistemas de dunas es similar a lo largo de todo el litoral bonaerense, pero se pone de manifiesto un gradual reemplazo de especies de norte a sur.

Entre las principales amenazas actuales podemos nombrar, al igual que en el resto de los sectores naturales de dunas en la Provincia de Buenos Aires: las actividades turísticas y recreativas no reguladas (principalmente vehículos todo terreno), el sobrepastoreo, las plantaciones de especie forestales exóticas (pinos, eucaliptos) y fijadoras de dunas (acacias, tamariscos). Entre las amenazas potenciales se encuentran la urbanización, tanto por crecimiento de los centros urbanos existentes como por la creación de nuevos centros turísticos y la extracción de suelos (arena) (Bilencia y Miñarro, 2004).

-Características del medio físico:

El área presenta un clima subhúmedo a seco y mesotermal. De acuerdo con la clasificación de Thornwaite, el clima de esta región pertenece al tipo sub-húmedo seco, con valores medios anuales de temperatura y precipitación de 14,1 °C y 850 mm respectivamente (Buckland y col., 1951). La amplitud media anual es de 15.2° C, siendo el mes más caluroso enero y el más frío junio. La distribución de lluvias es bastante uniforme a lo largo del año, salvo una disminución en los meses invernales. La precipitación media anual en la localidad de Coronel Dorrego es de 716 mm.

En el área predominan las dunas que se extienden en forma paralela a la costa con un ancho variable con altitudes que pueden alcanzar los 20 m.s.n.m y que, desde un punto de vista hidrogeológico corresponde a lo que se conoce como Región Costera. Las dunas muestran variaciones morfológicas significativas producto de una sucesión temporal de distintos eventos eólicos que se reflejan en una alternancia compleja de altos y bajos topográficos.

En este ambiente se localizan lentes de agua subterránea dulce, limitados hacia el oeste, por el agua de mayor salinidad existente en la llanura continental, de escasa pendiente; y hacia el este por el agua de mar. Las arenas de estas dunas son de grano fino a muy fina, redondeado a subredondeado, de tamaño uniforme y muy bien seleccionadas. Son sedimentos porosos de alta permeabilidad y cubiertos por un manto vegetal ralo; factores estos que evitan en parte la evaporación permitiendo a su vez una rápida infiltración. Se estima una permeabilidad mayor a 10 m/día y una porosidad eficaz de 0.15.

La cantidad de agua que alojan estas acumulaciones arenosas cuyo espesor medio es de 8 m depende directamente de los excesos de agua en el balance hídrico. Desde el punto de vista de su contenido en sales, el agua es bicarbonatada cálcico magnésica, con un residuo seco de 400 mg/L. En el núcleo poblado de Monte Hermoso (20 Km. al O del área de estudio) el acuífero freático se haya contaminado observándose en los análisis químicos cantidades importantes de nitritos y nitratos. El acuífero libre de la planicie loessica se encuentra a una profundidad promedio de 15 m y contiene normalmente aguas sulfato cloruradas de elevado contenido salino. Los resultados obtenidos en los muestreos a campo indican un alto contenido de sales y altos valores de conductividad en todos los cuerpos de agua, indicando el déficit regional de agua apta para consumo humano y, en algunos casos, incluso para el ganado.

Los recursos hídricos superficiales están representados por los cursos de agua citados, que constituyen los límites del área, y por pequeños arroyos que drenan el ambiente continental situado al nor-oeste, pero que naturalmente ven dificultado su drenaje hacia el mar por la barrera de dunas. Estos son los arroyos Los Gauchos y El Perdido, destacándose que sólo el primero de ellos por obras de canalización alcanza a descargar en el océano. Existen depresiones que están cubiertos por pequeñas lagunas. El escurrimiento superficial en el ambiente de dunas, como consecuencia de las características morfológicas, de la inexistencia de una red de drenaje y de la alta permeabilidad de los sedimentos, tiende a un valor muy bajo, de escasa significación en el balance hídrico. Las condiciones del medio físico indican un predominio de los movimientos verticales del agua (evapotranspiración infiltración) sobre los horizontales (escurrimientos).

En la dinámica hídrica subterránea se debe considerar el agua alojada en el acuífero libre de

cordón de dunas costeras. El ascenso de los niveles freáticos coincide con mayores excesos de agua que favorecen la infiltración y da lugar a una disminución en la capacidad de almacenamiento subterráneo. En las partes bajas (bajos interdunales) esta capacidad tiende a 0 y provoca que el agua ocupe las partes bajas, conformando cuerpos con aguas en superficie. El agua almacenada en estos bajos interdunales puede superar naturalmente su capacidad de almacenamiento superficial, produciéndose la transferencia de sus aguas entre los bajos.

El cálculo del balance de agua diarios, realizado de acuerdo a los datos de precipitaciones de la localidad de Oriente permitió reconocer las variaciones de los excesos hídricos lo cual representa una base para una valoración de infiltración y las consecuentes variaciones de los niveles freáticos. La transformación del área actual en un área forestada daría lugar a fuertes modificaciones en los excesos de agua del balance hídrico modificando la dinámica hidrológica. La mayor evapotranspiración se compensará con una menor infiltración y una menor recarga. Por lo tanto se profundizarán los niveles freáticos en las partes altas de las dunas y disminuirán las reservas de agua dulce. A su vez la profundización de los niveles freáticos puede generar la disminución o desaparición del agua que periódicamente ocupa los sectores interdunales. Del análisis digital de las imágenes de las dos fechas analizadas, correspondientes a una época seca (2008) y otra húmeda (2002), se pudo observar que dentro del área de estudio casi no existen cuerpos de agua permanentes, ya que en las situaciones de seca las áreas más bajas o bajos locales se secan por completo.

El relieve del área de estudio es relativamente bajo, no superando los 20 msnm, y presentando un declive muy gradual de sur a norte, es decir desde el interior hacia la costa. El frente costero se encuentra ocupado por una franja de dunas activas de ancho variable, por detrás de la cual se extiende un amplio sector de dunas vegetadas. En este último sector, las dunas fijas y semi-fijas se alternan con bajos interdunales y pequeños cuerpos de agua temporales. Por detrás del cordón de dunas se encuentra el ambiente de planicie loésica compuesta por limos arcillosos arenosos con capas de tosca. Un corte perpendicular tipo de la zona, desde la costa marítima hasta la llanura pampeana permite reconocer las distintas unidades geomorfológicas (Fig. 3). La playa en general presenta un perfil característico de playa distal, playa frontal y cara de playa (Spalleti 1980) respaldada por médanos frontales, que en algunas zonas están parcialmente fijados por vegetación y en otros

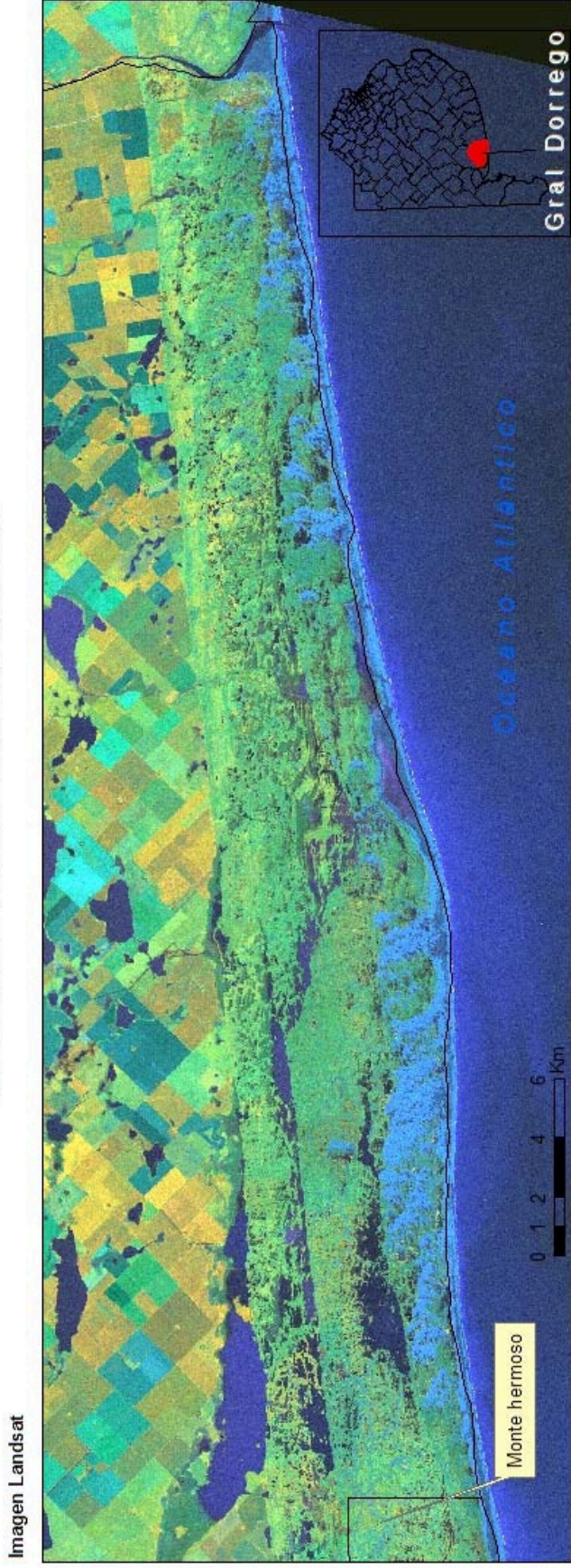
fueron invadidas por la urbanización.

Las mareas son mesomareales con régimen semidiurno, con desigualdades diurnas cuya amplitud media es de 2,45 m y de máxima 6,61 m (sicigias). Las playas están expuestas a la acción directa del oleaje con dos direcciones principales de incidencia de los trenes de ola provenientes del S y SE, lo que origina una corriente de deriva litoral neta hacia el NO. Las mayores influencia sobre la playa están dadas por las ondas de tormenta que no tienen recurrencia periódica, pero que generalmente suceden en verano (Fernández et al. 2003). Las olas provenientes del SO se caracterizan por ser de mayor altura que las otras direcciones de procedencia. Estas son las olas que más afectan a las obras de infraestructura y viviendas (Calo et al. 2005).

El área de aporte clástico de los sistemas de dunas proviene de la acción del oleaje sobre las playas bonaerenses. Estas fajas de dunas costeras, representan distintos episodios eólicos a lo largo del tiempo y muestran como los sistemas dunales han estado avanzando hacia el mar, lo que se ve claramente en el mapa geomórfico. Las dunas, en forma de parábolas, son estructuradas por los vientos actuales que provienen desde el cuadrante Oeste Sur Oeste, aunque en los mosaicos aerofotográficos del año 1965, también se pueden apreciar dunas formadas por vientos dirección sudeste, provenientes del mar.

Otro de los aspectos a considerar en el análisis geodinámico de la región es la compleja trama de entradas de agua al sector costero y la íntima relación existente entre el agua dulce y el agua salada. En la zona de estudio, sólo el Río Sauce Grande y el Quequén Salado llegan a descargar en el mar por sus propios medios, ya que el Arroyo los Gauchos, requirió una canalización a través de las dunas para llegar al mar. Otros con menos potencial, quedan en las lagunas formadas en la zona de contacto entre el material continental y las arenas costeras (Laguna el Cajón). El agua salada por su parte penetra en la porción costera a partir de las mareas y las sudestadas, aunque también influye la presencia de agua proveniente de la elevación del acuífero freático de alta salinidad, y que se evidencia en toda esta región topográficamente deprimida. Otra relación con la dinámica marina está asociada con el efecto "spray", característico de las zonas costeras, consistente en la condensación de pequeñas gotas de agua salada que, por el efecto del viento son transportadas hacia el interior del continente, depositándose y salinizando áreas deprimidas.

Ubicación del Área de Estudio dentro del partido de Gral Dorrego



Imágenes Google earth



Figura N°1: Ubicación del área de estudio.



Figura N° 2: Paisajes naturales, vegetación y usos del suelo en la zona de estudio.

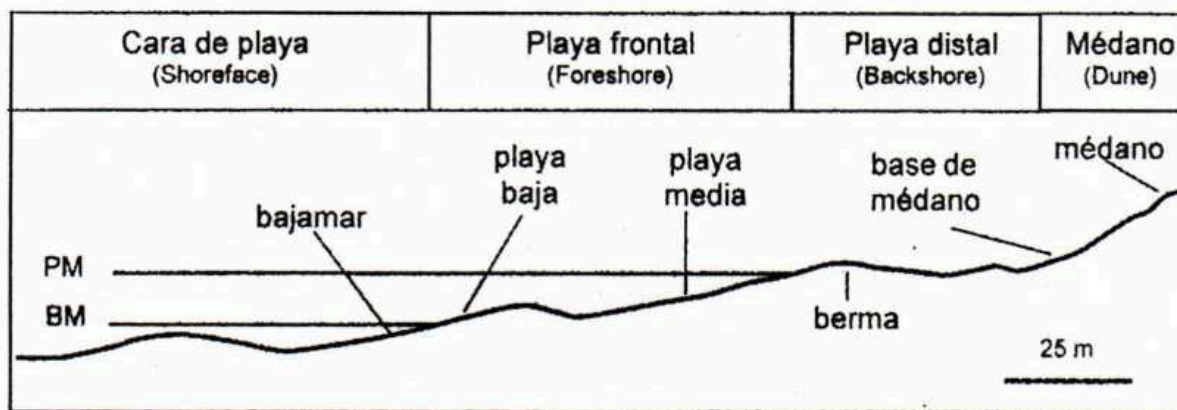


Figura N° 3: Perfil tipo de la playa en las proximidades de Monte Hermoso (extraído de Fernández et al 2003).

-Ecología regional:

La zona costera pampeana presenta vegetación y rasgos geomorfológicos naturales que dan origen a un mosaico de ambientes diversos: pastizales, estepas, matorrales, y ambientes desérticos. En el sector comprendido entre Punta Rasa y Punta Alta se suceden dos distritos fitogeográficos: el Pampeano Oriental y el Pampeano Austral (Cabrera, 1971). Las comunidades vegetales varían a lo largo de este gradiente latitudinal, identificándose las asociaciones del litoral norte, con elementos que provienen de la costa sur de Brasil y Uruguay, y las asociaciones de la costa austral, compuestas por elementos que también se encuentran en las dunas mediterráneas desde el noroeste del país hasta Río Negro (Cabrera, 1941).

En la costa bonaerense se reconocen, desde un punto de vista geomorfológico, dos barreras medanosas: la barrera oriental, que se extiende desde Punta Rasa hasta Mar Chiquita, y la barrera austral, desde las inmediaciones de Miramar hasta Pehuen-có (Isla et al., 2001). La biota costera de la Provincia de Buenos Aires se ve afectada hoy en día por la intervención antrópica. La expansión de los centros urbanos turísticos, especialmente en el sector norte, produce un creciente aislamiento, modificación y reducción de la superficie de los remanentes del paisaje natural. Estos cambios se manifiestan además en la vegetación a través del ingreso de especies exóticas, la pérdida de especies autóctonas y alteraciones en la composición y estructura de las comunidades. Sin embargo en el sector sur de Buenos Aires, entre Necochea y Punta Alta, el nivel de antropización ha sido hasta el momento considerablemente menor y, consecuentemente, también ha sido menor la pérdida de hábitats naturales.

Las dunas del sudeste bonaerense son distinguidas como un "Áreas Vainosas de Pastizal"

(AVP; Bilenca y Miñarro, 2004). En esta zona se conserva el ambiente de los médanos costeros que integra una diversidad biológica importante, entre la que se destacan especies endémicas, raras o amenazadas. Constituye además una zona de importancia para muchas especies de aves migratorias. Se trata de un ecosistema de especial interés científico y recreativo, útil para la divulgación y educación de la naturaleza. Además, el lugar adquiere un alto valor por la presencia de importantes yacimientos paleontológicos. Esto significa que representa un mosaico de hábitats dominados por pastizales, en relativamente buen estado y que, debido a su importancia, resulta un área clave para la conservación de los pastizales en general y de las pampas en particular. La escasa presión de uso histórico en el lugar y la ausencia de desarrollo productivo así como su aislamiento respecto de centros urbanos con alta densidad de población y la inexistencia de obras humanas que generen barreras artificiales en el paisaje, son factores que han contribuido a resguardar el valor ecológico de esta zona.

En lo que respecta a biodiversidad, el área ha sido poco explorada y esto puede evidenciarse en la escasa cantidad de estudios realizados a escala local (Celsi & Monserrat, 2007; Monserrat & Celsi, 2006a; Kacoliris, et al. 2006; Cej, 1980; Cej, 1986; Narosky & Izurieta, 1987; Narosky & Di Giacomo, 1993; Celsi et al. 2008). Predominan las comunidades psamófilas de tupe (*Panicum racemosum*) y redondilla (*Hydrocotyle bonariensis*). En las depresiones intermedanasas se encuentran plumerillales (*Cortaderia selloana*), hunquillares (*Juncus acutus*) y praderas húmedas (*Bothriochloa laguroides*), y en las cañadas juncales (*Schoenoplectus californicus* var. *californicus*) y totorales (*Typha latifolia*). Se destacan algunos endemismos locales como *Neosparton darwinii*, *Noticastrum sericeum*, *Baccharis triangularis* y *Senecio quequensis* entre la flora y el tuco-tuco costero

(*Ctenomys australis*) y una lagartija de las dunas (*Liolaemus multimaculatus*) entre la fauna.

En el contexto fitogeográfico, el área de estudio se ubica en el extremo sur de la Provincia Pampeana, Distrito Pampeano Austral, lindante hacia el oeste con la Provincia del Espinal (Cabrera, 1971). La franja costera del distrito se sitúa sobre la barrera medanosa austral, descrita por Isla et al. (2001), quien reconoce una dominancia de vientos del oeste y oeste-noroeste que favorecerían la formación de médanos transversales. En el contexto zoogeográfico el área se encuentra en la ecorregión pampeana, con elementos faunísticos característicos de las pampas y humedales de esta región, cuyos rangos de distribución en general se extienden hasta otras ecorregiones del país (Ringuelet, 1961). El área ha sido pobremente relevada en cuanto a su componente faunístico (Kacoliris et al. 2006; Celsi et al. 2008).

Sobre la base del análisis digital de las imágenes satelitales se han definido distintas unidades de uso y cobertura del área de estudio (Tabla 1) y se ha obtenido el mapa respectivo. Las clases incluidas corresponden a categorías que se han considerado importantes para el análisis de vulnerabilidad ambiental, ya sea desde un punto de vista de la biodiversidad, de la cobertura del suelo, etc.

3.2. Análisis de la vulnerabilidad.

-Modelo de indicadores

Sobre la base del diagnóstico regional elaborado, y el análisis de los proyectos de forestación se han identificado los riesgos asociados para las distintas cuestiones ambientales. En este sentido se ha analizado las eventuales consecuencias que pudiera tener la intervención proyectada sobre el ecosistema existente. Este análisis

Nº	COBERTURA	CARACTERÍSTICAS	Ha	%
I	AGUA	Cuerpos de agua permanente, incluye ríos, arroyos y lagunas con agua permanente	283,1	0,8
II	HUMEDALES/ BAÑADOS	Cuerpos de agua semipermanentes (lagunas, charcas, bajos) que se secan periódicamente, la mayoría con suelos salobres y poca vegetación, predominio de suelo desnudo en un 90%	4.997,0	14,5
III	PAJONALES LAXOS	Ambientes bajos anegables de baja cobertura vegetal, con juncales, totorales y <u>cortaderales</u> pero con abundante suelo desnudo y especies arbustivas, asociados a cuerpos de agua <u>interdunales</u> .	1.774,1	5,16
IV	PAJONALES DENSOS	Ambientes bajos anegables de alta cobertura, con juncales, totorales y <u>cortaderales</u> , con abundante cobertura vegetal y baja proporción de suelo desnudo.	6.465,0	18,8
V	PASTIZALES MIXTOS LAXOS	Pastizales mixtos, dominados por gramíneas y acompañados por arbustos, con una baja cobertura vegetal y una alta proporción de suelo desnudo (>50%), generalmente asociados a crestas de dunas, en sectores más expuestos a la acción marina.	11.667,0	33,9
VI	PASTIZALES MIXTOS DENSOS	Pastizales mixtos, dominados por gramíneas y acompañados secundariamente por arbustos, con una alta cobertura vegetal y una baja proporción de suelo desnudo (<50%), asociados a los sectores de dunas bajas interiores cercanas al continente.	2.440,3	7,1
VII	PLANTACIÓN	Bosques implantados, alta cobertura, <u>monoespecífica</u> , estructura simple (pinos, eucaliptos, acacias, tamarindos)	344,5	1,0
VIII	SUELO DESNUDO	Sectores con predominio de suelos desnudo (>90%), sobre sustrato de arena, incluyendo dunas vivas (no vegetadas) y sectores de playa.	6.246,5	18,2
IX	AGRO - ECOSISTEMA	Cobertura variable según la estación (suelo desnudo, cultivo, rastrojo), incluye parcelas agrícolas, caminos y otras <u>áreas</u> con <u>infraestructura</u> (galpones, etc.).	151,8	0,4
TOTAL ÁREA DE ESTUDIO			34.369	100

Tabla N° 1: Características de las distintas unidades de uso y cobertura identificadas en la zona de Estudio.

permite orientar la definición del modelo de indicadores de vulnerabilidad ambiental a ser utilizados.

Genéricamente la vulnerabilidad es el grado de resistencia, exposición o susceptibilidad (física, natural, cultural, social, política, económica, etc.) de un elemento o conjunto de elementos que se encuentran en riesgo (vidas humanas, patrimonio natural y/o cultural, servicios vitales, infraestructura, áreas agrícolas, etc.), como resultado de la ocurrencia de un peligro. Conceptualmente, es la facilidad con que un elemento expuesto a un fenómeno peligroso sufre daño. De esto se desprende que existen dos tipos de vulnerabilidad: una por constitución o vulnerabilidad estructural y otra solamente por exposición.

Desde un punto de vista ecológico, la vulnerabilidad se asocia al riesgo de afectación de los rasgos estructurales y/o funcionales esenciales de un ecosistema frente a algún tipo de perturbación, generalmente, de origen antrópico. La misma depende tanto de la fragilidad intrínseca del sistema ecológico como del modo como se ejerce la acción potencialmente impactante.

El análisis de la vulnerabilidad de un ecosistema debe ser considerado frente a una intervención específica. Esto es así debido a que NO son iguales los riesgos asociados a distintos tipos de intervención, por ejemplo, por la introducción de especies exóticas; la construcción de obras de infraestructura (canales, caminos, escolleras) o el desarrollo urbano.

-Riesgos asociados a la forestación

En general la forestación suele desarrollarse como plantaciones monoespecíficas (de una única especie y variedad botánica), monoetarias (de la misma edad y estadio de crecimiento) y de estructura uniforme (equidistancia entre individuos, similar forma de crecimiento, masa vegetal continua). Este tipo de intervención, que podría denominarse modelo forestal tradicional, determina un cambio en la cobertura vegetal dominante, que en el caso específico del área de estudio, tendría las siguientes consecuencias: i) El reemplazo de las especies nativas por especies exóticas (una o varias) altera la composición de la flora local y la fauna asociada a la misma (tanto a través de la trama trófica como por cambios en el hábitat de la fauna); ii) Disminución de la diversidad fisonómica o estructural (número de formas de vida, patrón de distribución espacial y vertical) que disminuye la disponibilidad de hábitats para el desarrollo de

especies nativas y homogeniza el paisaje local y regional; iii) Alteración de la dinámica hídrica, tanto superficial (modificación del escurrimiento superficial) como subterránea (cambio en la profundidad de enraizado, cambios en la profundidad y dinámica del nivel freático), y del ciclo hidrológico local (cambios en la evapotranspiración, en la humedad relativa del aire, etc.); iv) Alteración de la dinámica costera regional, ya que la forestación de sectores de médanos y dunas vivas, restringe el movimiento de materiales y partículas que son parte de procesos regionales de dinámica costera.; v) Cambios en la estructura y propiedades del suelo, dependiendo de las especies utilizadas, ciertas propiedades del suelo (acidez, contenido de materia orgánica, salinidad, anegamiento) pueden verse alteradas.

Debe resaltarse el hecho que, modificando el esquema de forestación es posible disminuir los impactos potenciales y riesgos asociados a esta actividad. Por ejemplo, utilizando especies autóctonas, implementando un diseño ajustado a la topografía local, incrementando la diversidad estructural combinando distintas especies y variedades botánicas, etc.

Por otro lado, y como resultado del diagnóstico regional se han identificado los siguientes aspectos destacables del área de estudio: i) Amplia variabilidad climática regional; ii) Intensa dinámica costera; iii) Importantes procesos de dinámica eólica generadores de un paisaje de dunas; iv) Heterogeneidad geomorfológica y de ambientes; v) Dinámica hídrica predominantemente vertical; vi) Variabilidad en la salinidad de cuerpos de agua y acuíferos superficiales; vii) Numerosos bañados y cuerpos lagunares interdunales (permanentes y transitorios); viii) Importantes humedales y ecosistemas costeros con una alta heterogeneidad de hábitats especiales para especies nativas; ix) Importante biodiversidad regional y muy buen estado de conservación y naturalidad; y x) Bajo nivel de antropización y potencialidad de uso recreativo.

-Indicadores específicos

1. Índice de vulnerabilidad de la biodiversidad (VULNEBIO):

Definición: sintetiza la vulnerabilidad de la biodiversidad de cada sector frente a una intervención forestal en función de su diversidad específica y la importancia como hábitat para la conservación de la fauna silvestre nativa.

VARIABLES INVOLUCRADAS:

- Diversidad vegetal específica (estimada a partir de los tipos de cobertura vegetal);
- Importancia del hábitat para la conservación de especies de la fauna silvestre (grado de endemismo; especies vulnerables o amenazadas, estimado a partir del cálculo del SUMIN).

Modelo conceptual: Se estima que una intervención forestal tradicional generará una homogeneidad en la cobertura vegetal, disminuyendo la diversidad específica de especies vegetales y, al mismo tiempo, la heterogeneidad del hábitat para la fauna. Este efecto será más sensible (mayor vulnerabilidad) en aquellos sectores que muestren una mayor diversidad específica y constituyen hábitats de mayor valor para la conservación de la fauna silvestre asociada.

Espacialización: Sobre esta base se generó el Mapa de Vulnerabilidad de la Biodiversidad (Fig. 4). En el mapa se ha incluido la definición del indicador, los mapas correspondientes a las variables básicas (diversidad específica e importancia del hábitat), y un diagrama de barras con la superficie de cada una de las categorías de vulnebio.

Interpretación: El mapa final de Vulnebio se realizó en base al producto de los valores obtenidos a través de los índices SUMIN y de biodiversidad para cada pixel. De esta manera se obtuvo un mapa que refleja las características combinadas de vulnerabilidad tanto de la vegetación (variable cobertura) y de aquellas especies de la fauna que por su estado de conservación, representan indicadores ambientales de salud del ecosistema. Debido a que la cobertura vegetal, como indicadora de la biodiversidad de la vegetación, no siempre se corresponde con el valor de conservación de la fauna obtenido a través del índice SUMIN, algunos sectores con alto índice de vulnerabilidad en los mapas particulares (tanto de los mapas SUMIN y biodiversidad) pueden quedar enmascarados en el mapa final de vulnerabilidad, debido a que son resultado del producto de un sector de alta vulnerabilidad con un sector de baja vulnerabilidad. A pesar de que la opción de realizar un mapa final combinado resulta ser la más adecuada y objetiva, debido a que sintetiza las características de ambos componentes de la biota (animal y vegetal), puede atenuar algunos aspectos relevantes para la conservación del área y consecuentemente, para un manejo racional de la misma. Sobre la base de este planteo, se decidió realizar un análisis detallado de aquellos aspectos más relevante a considerar,

en lo que respecta a biota, planteando los riesgos que se pueden observar claramente en el mapa final de vulnerabilidad, como aquellos, que por las cuestiones ya planteadas, puedan quedar ocultos.

2. Índice de vulnerabilidad de la dinámica costera (VULNECOS):

Definición: sintetiza la vulnerabilidad de la dinámica costera de cada sector frente a una intervención forestal en función de su dinamismo eólico o marino

VARIABLES INVOLUCRADAS:

- Dinamismo eólico (estimado por la cobertura vegetal)
- Dinamismo marino (estimado por los rasgos geomorfológicos)

Modelo conceptual: se estima que una intervención forestal tradicional modifica la cobertura vegetal, alterando el potencial dinamismo del sector. Esto será más importante en aquellos sectores que muestren menor cobertura vegetal (suelo desnudo, pastizales laxos), o se encuentren en geformas asociadas específicamente a la dinámica costera (dunas, playa), cuya dinámica podrá verse disminuida o restringida completamente teniendo consecuencias regionales a lo largo de la costa.

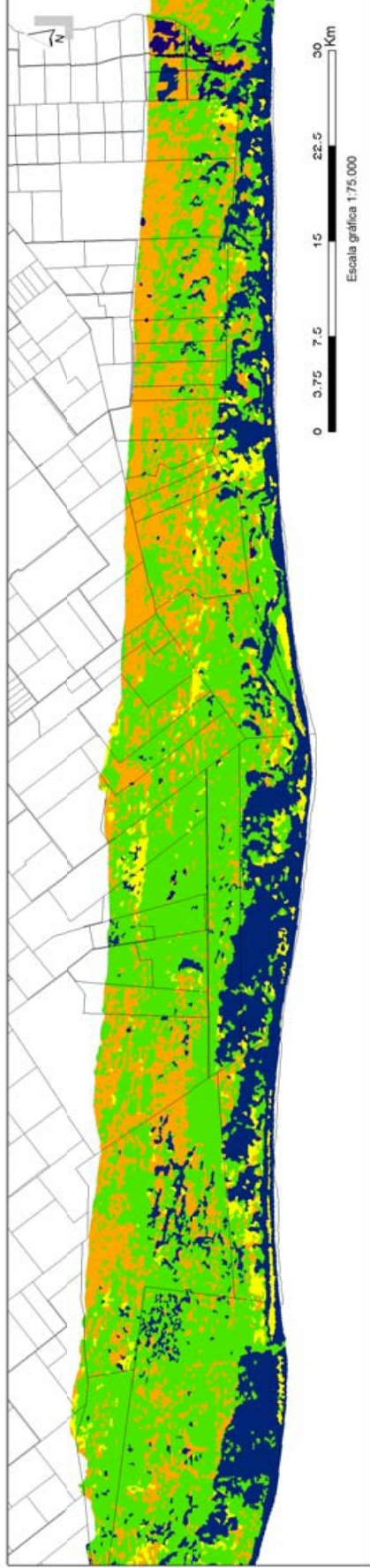
Cálculo: El valor de VulneCOS surge del producto del valor de dinamismo eólico y del dinamismo marino. El valor del dinamismo eólico está referido al tipo de cobertura vegetal dominante mientras que el de dinamismo marino está referido a la unidad geomorfológica en la que se encuentra.

Espacialización: Sobre esta base se generó el Mapa de Vulnerabilidad de la Dinámica Costera (Fig. 5). En el mapa se ha incluido la definición del indicador, los mapas correspondientes a las variables básicas (dinamismo eólico y dinamismo marino), y un diagrama de barras con la superficie de cada una de las categorías de vulneCOS.

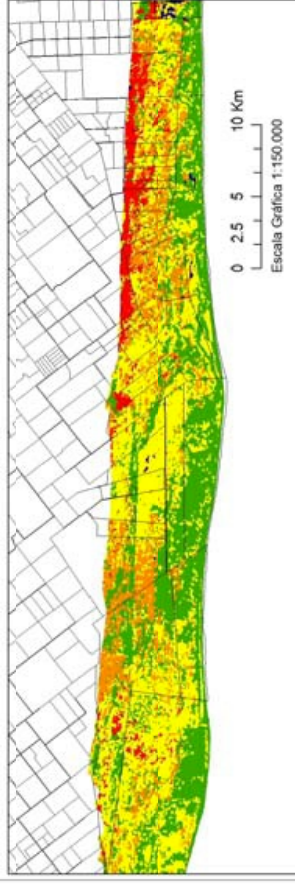
3. Índice de vulnerabilidad del suelo (VULNESUE):

Definición: Sintetiza la vulnerabilidad del suelo de cada sector frente a una intervención forestal en función de la complejidad de la cubierta vegetal y la estabilidad edáfica. Esta última es función del relieve y consecuentemente de la unidad geomorfológica en la que se encuentra.

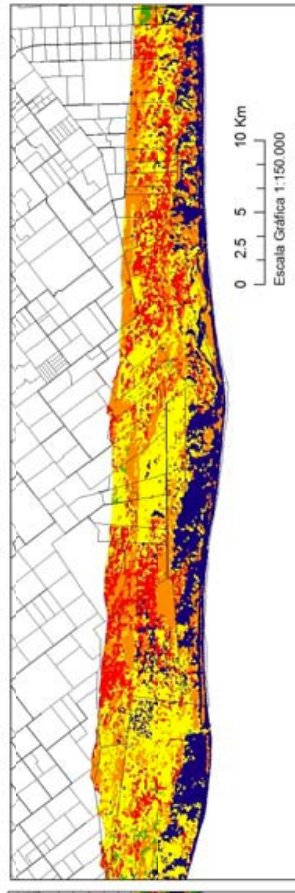
Índice de Vulnerabilidad de la Biodiversidad (VULNEBIO)



SUMIN



Diversidad Específica



Definición: sintetiza la vulnerabilidad de la biodiversidad de cada sector frente a una intervención forestal en función de su diversidad específica y la importancia para su conservación.

Variables involucradas:

- Diversidad vegetal específica (estimada a partir de los tipos de cobertura vegetal);
- importancia del hábitat para la conservación de especies de la fauna silvestre (grado de endemismo);
- especies vulnerables o amenazadas, estimado a partir del cálculo del SUMIN (Suma de Indicadores, ver texto).

Modelo conceptual. Se estima que una intervención forestal tradicional generará una homogeneidad en la cobertura vegetal, disminuyendo la diversidad específica de especies vegetales y, al mismo tiempo, la heterogeneidad del hábitat para la fauna. Este efecto será más sensible (mayor vulnerabilidad) en aquellos sectores que muestren una mayor diversidad específica y constituyen hábitats de mayor valor para la conservación de la fauna silvestre asociada.

Estudio de elegibilidad ambiental en un área público – privada costera del Partido de Coronel Dorrego, Pcia. De Buenos Aires, en el marco del proyecto Fortalecimiento de Tecnologías para la Aplicación del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) de la Forestación y Reforestación en la República Argentina

Fuente: Interpretación de imágenes satelitales Landsat TM (ETM+ 2002), 2008. Resolución espacial: 30m. Tecnología: ArcView/MapInfo. Elaboración: Integración Agrícola y Rural (INAGRA).
 Instituto de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIA).
 Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (FCAF).
 Universidad Nacional de Mar del Plata (UNMDP).

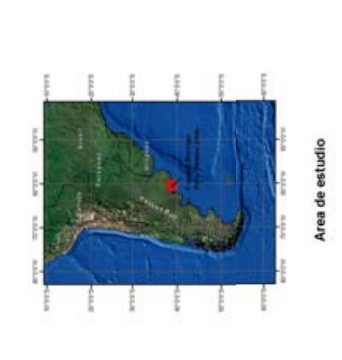
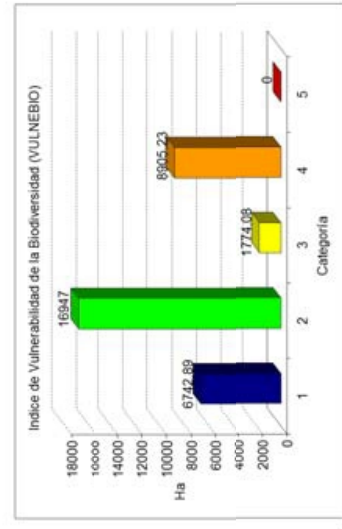
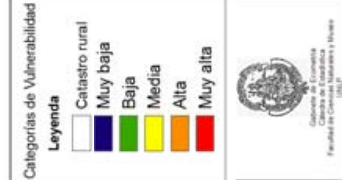


Figura N° 4: Mapa de Vulnerabilidad de la biodiversidad (Vulnebio).

Figura 12: Índice de Vulnerabilidad de la Dinámica Costera (VULNECOS)

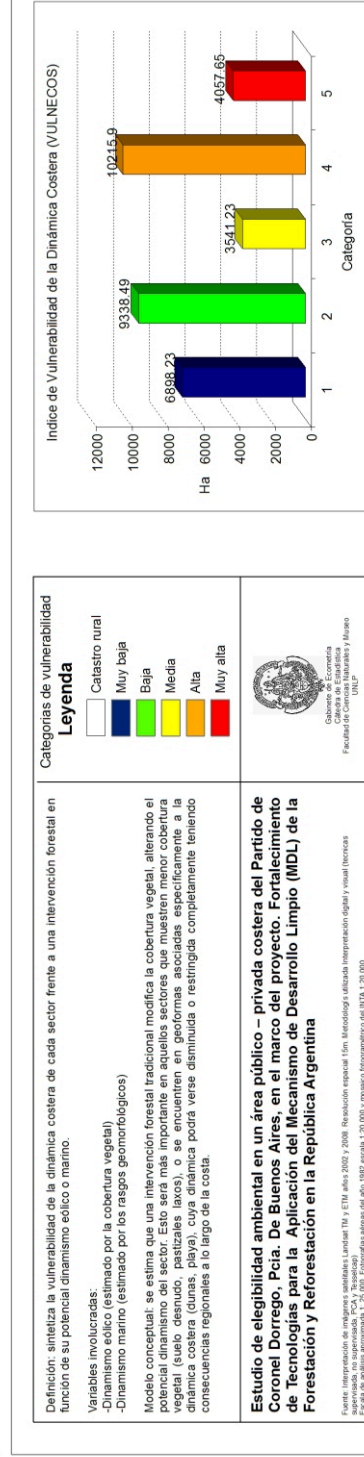
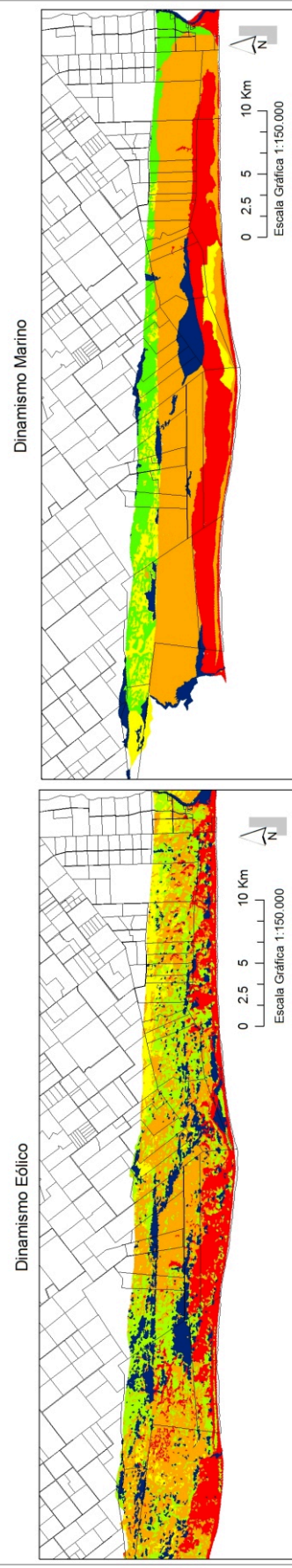
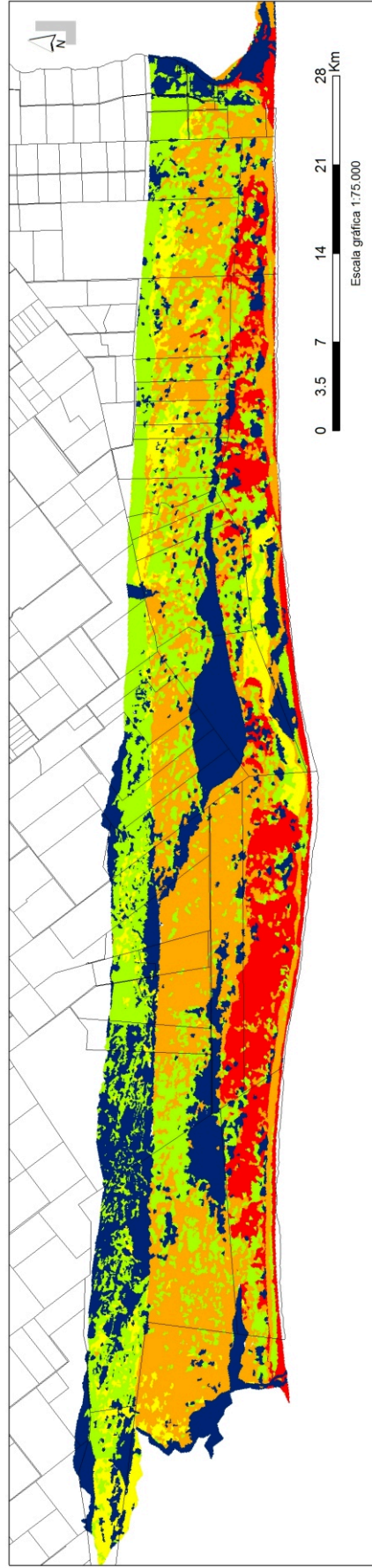


Figura N° 4: Mapa de Vulnerabilidad de la biodiversidad (Vulnebio).

VARIABLES INVOLUCRADAS:

- Complejidad de la cubierta vegetal.
- Estabilidad edáfica (antigüedad del sustrato)

Modelo conceptual: Se estima que las distintas unidades geomorfológicas tienen distinto grado de evolución o desarrollo edáfico que implica una diferente estabilidad, la cual será mayor a medida que aumente la cobertura de vegetación, implicando menores riesgos de degradación por erosión eólica, salinización o acidificación. Además, una cubierta vegetal más compleja brinda una mayor estabilidad al sustrato frente a distintos tipos de procesos degradativos. Los procesos de edafización se tornan más importantes, en tanto se encuentren en zonas de relieve deprimido, protegidos de la acción eólica y colectoras de las aguas pluviales, además de las fluviales provenientes del continente. Esto permite la acumulación del material más fino en suspensión, que reduciendo el tamaño de los poros, retarda la infiltración en mayor medida que las arenas, y por consiguiente presentan mayor permanencia de humedad, mayor incorporación de materia orgánica y nutrientes que posibilitan el desarrollo de una cubierta vegetal.

Cálculo: El valor de Vulnerabilidad surge del producto entre el valor de complejidad de la cubierta vegetal y la estabilidad edáfica. Por su parte, el valor de complejidad de la cobertura vegetal está referido a las unidades de uso y cobertura identificadas, mientras que la estabilidad edáfica está referida a la unidad geomorfológica en la que se encuentra.

Espacialización: Sobre esta base se generó el Mapa de Vulnerabilidad del Suelo (Fig. 6). En el mapa se ha incluido la definición del indicador, los mapas correspondientes a las variables básicas (complejidad de la cubierta vegetal y estabilidad edáfica), y un diagrama de barras con la superficie de cada una de las categorías de Vulnerabilidad.

Interpretación: Los valores más altos (4 y 5) del índice de vulnerabilidad del suelo comprenden unas 12.534 has. (36,7 % del área), ubicándose en sectores costeros que muestran una baja estabilidad edáfica (médanos, playas, etc.) y bajo una cubierta vegetal escasa (suelo desnudo, pastizales laxos). Por su parte, los sectores que muestran menores valores de vulnerabilidad (1 y 2), comprenden unas 13.177 has. (38,6 % del área), y se ubican cernas a la zona continental.

4. Índice de vulnerabilidad del sistema hidrológico (VULNEHIDRO):

Definición: sintetiza la vulnerabilidad del sistema hidrológico local de cada sector frente a una intervención forestal en función de la manifestación en superficie de las condiciones de recarga/descarga subterránea asociado a la profundidad del nivel freático (espesor de la zona no saturada; ZNS) y la influencia de la cobertura y complejidad vegetal en las variables del ciclo hidrológico.

VARIABLES INVOLUCRADAS:

- Condiciones recarga/descarga (profundidad del nivel freático = espesor de la ZNS);
- Cobertura vegetal (profundidad de enraizado, densidad; estructura)

Modelo conceptual: Las características del medio (pendientes topográficas, alta permeabilidad y prácticamente inexistente red de drenaje) indican el predominio de los movimientos verticales del agua (evapotranspiración infiltración) sobre los horizontales (escurrimientos) y una fuerte interrelación entre el agua de las lagunas y el agua freática. En la dinámica hidrológica adquieren importancia las variaciones en la superficie de las lagunas y las variaciones en la profundidad de los niveles freáticos, que representan a la zona no saturada. En la Figura 7 se ha esquematizado el modelo conceptual de funcionamiento hidrológico.

Las crestas de las dunas, presentan el nivel freático a mayor profundidad y constituyen áreas de recarga local. La implantación de una forestación implica un aumento en la interceptación del agua precipitada y de la evapotranspiración con consiguiente disminución en la infiltración. Ello da lugar a una mayor profundización del nivel freático, lo cual significará una disminución de las reservas de agua dulce disponibles en la región.

Los ambientes ubicados en una posición topográfica relativa baja (bajos intermédanos), que presentan un nivel de agua (freática) en superficie (en forma permanente o temporaria), constituyen zonas de afloramiento o descarga de la capa freática. Son menos vulnerables a los efectos de un cambio en la dinámica hídrica como consecuencia de la incorporación de nuevas formas de vida (árboles) que tienen una mayor evapotranspiración, mayor profundidad de enraizado, y mayor cobertura del suelo.

Por su lado, respecto a la cobertura y complejidad vegetal: el cambio de la cobertura actual por una

Figura 12: Índice de Vulnerabilidad de la Dinámica Costera (VULNECOS)

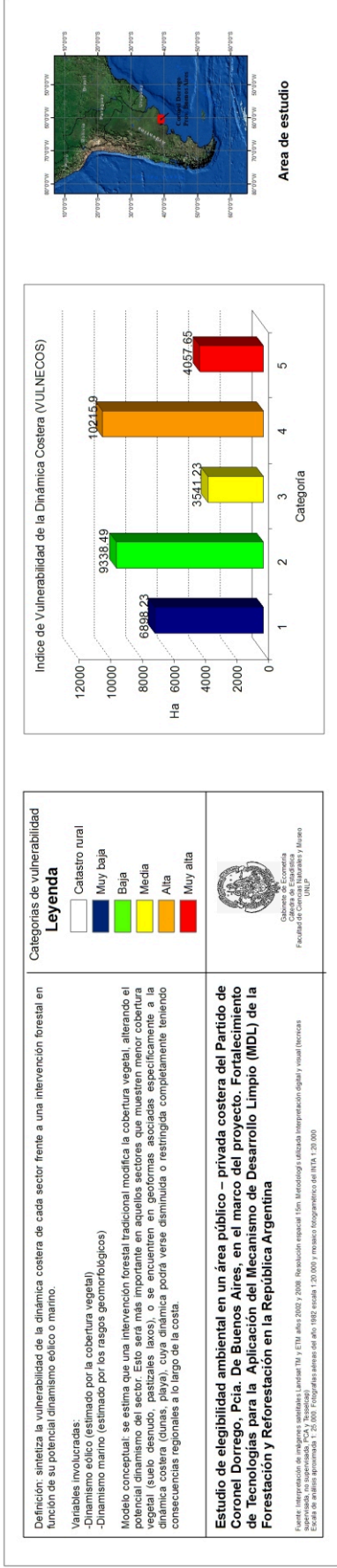
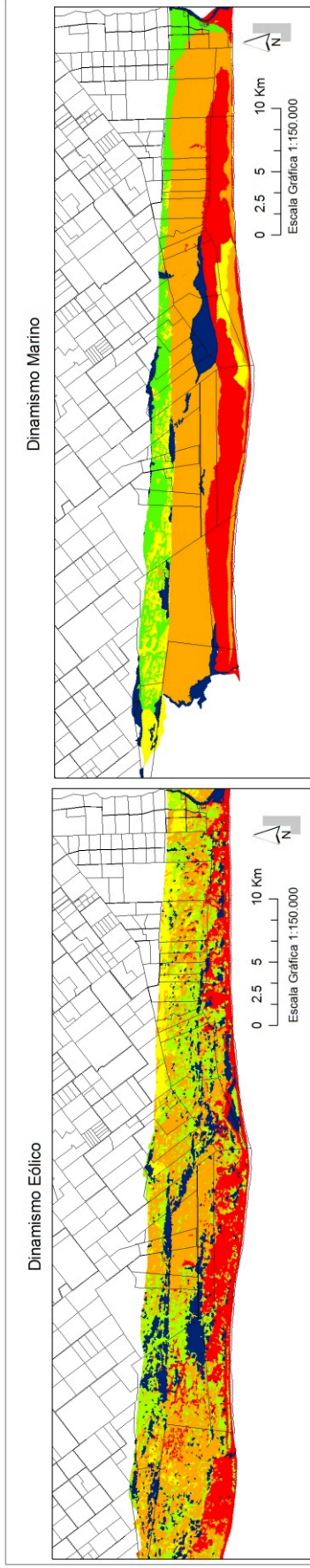
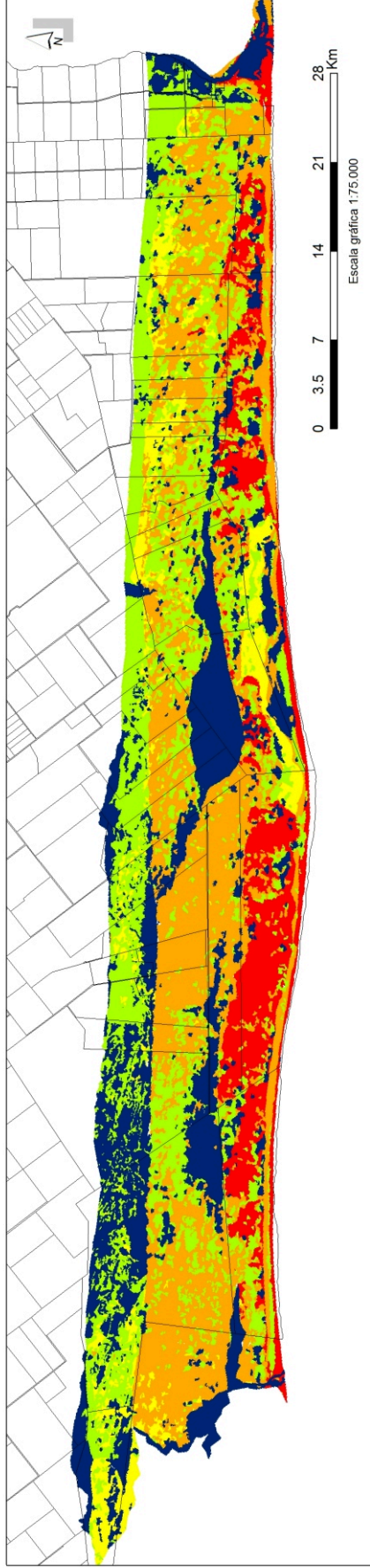
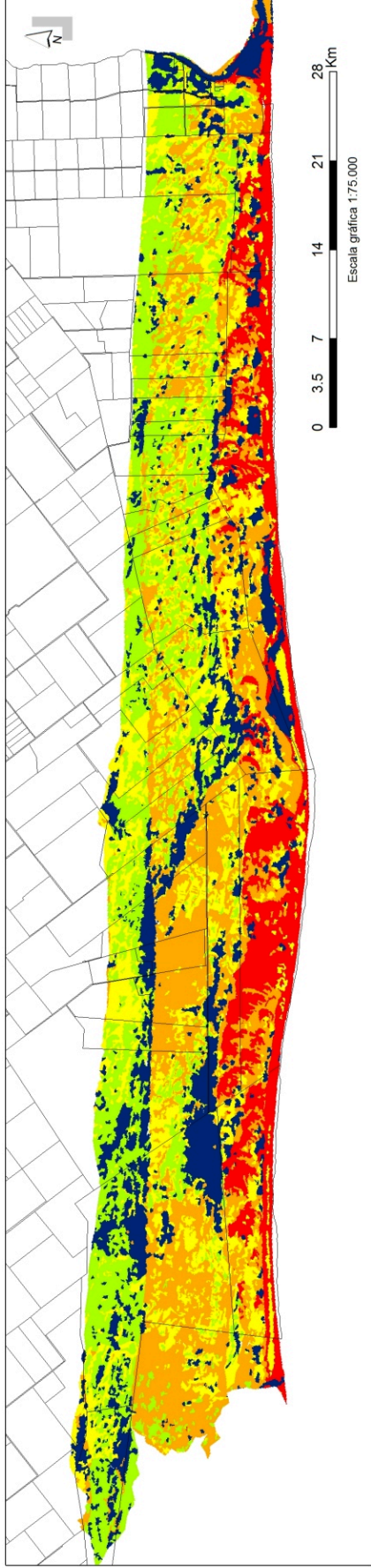
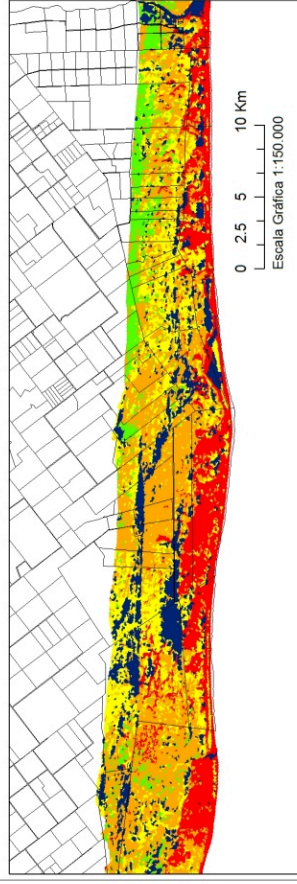


Figura N° 6: Mapa de Vulnerabilidad del suelo (Vulnesue).

Figura 13: Índice de Vulnerabilidad del Suelo (VULNESUE)



Complejidad de la Cobertura Vegetal



Estabilidad Edáfica

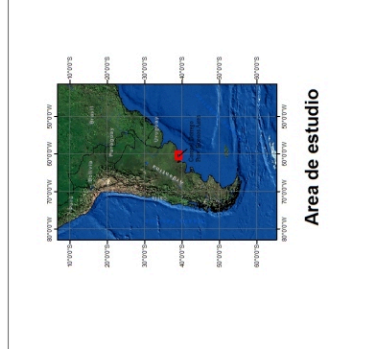
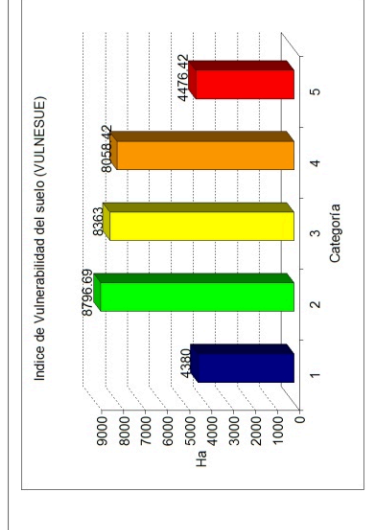
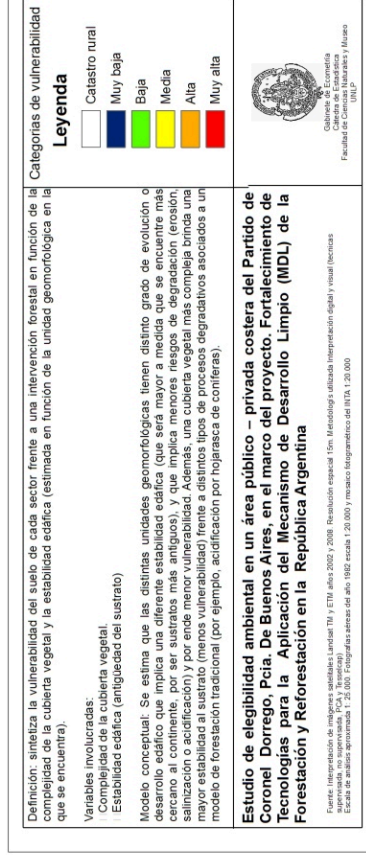
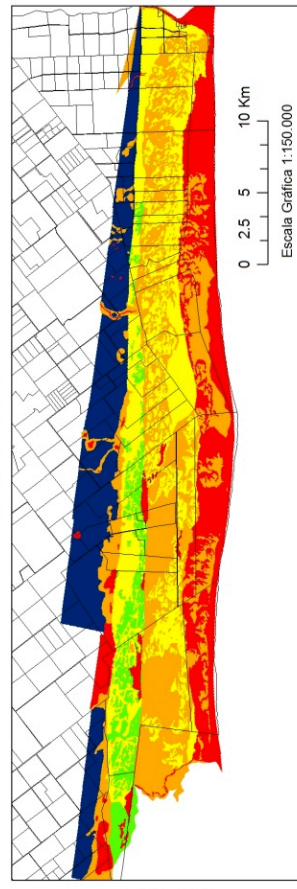


Figura N° 6: Mapa de Vulnerabilidad del suelo (Vulnesue).

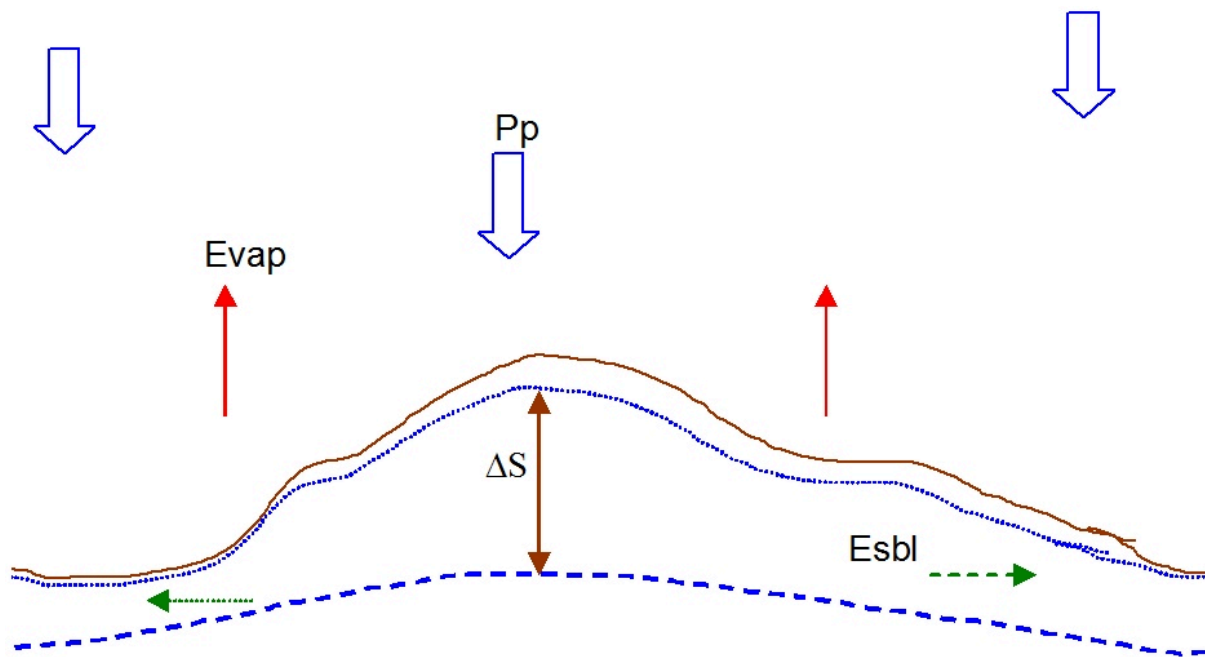


Figura N°7: Esquema conceptual de funcionamiento hidrológico. Donde: P_p : precipitación; $Evap$: Evapotranspiración evaporación; $Esbl$: Escurrimiento subterráneo; y ΔS : Variación de la profundidad del nivel freático.

cobertura dominada por árboles implica menores modificaciones en las variables hidrológicas (intercepción y evapotranspiración) en los sectores que ya tienen componentes leñosos con raíces profundas (arbustos, plantaciones) comparado con ambientes sin vegetación (suelo desnudo, con mayor infiltración y menor evapotranspiración).

Cálculo: el valor de Vulnehidro surge del producto entre el valor correspondiente a las condiciones de recarga (nivel freático) y el de la complejidad de la cubierta vegetal. En relación a la influencia de la vulnerabilidad relacionada con las condiciones de recarga/ descarga (profundidad del nivel freático) se han definido distintos índices, que cubren el rango de 1 a 5, según el orden creciente de vulnerabilidad. Por su parte, el valor de las condiciones de recarga (nivel freático). Para considerar la cobertura y complejidad vegetal también se han fijado índices entre 1 y 5, de acuerdo a su condición de menos a más vulnerables.

Espacialización: Sobre esta base se generó el Mapa de Vulnerabilidad Hídrica (Fig. 8). En el mapa se ha incluido la definición del indicador, los mapas correspondientes a las variables básicas (condición de recarga/descarga (nivel freático) y complejidad de la cubierta vegetal), y un diagrama de barras con la superficie de cada una de las categorías de vulnehidro.

Interpretación: Los índices de vulnerabilidad hidrológica (zonas de recarga/descarga) y cobertura vegetal) permiten integrar un mapa en que el sistema muestra una vulnerabilidad muy alta (6.246 has.; 18,2%) vinculada especialmente con las dunas más recientes (más próximas a la costa). Ello está asociada a zonas de recarga con suelo desnudo. La mayor parte de la región de estudio es ocupada por un grado de vulnerabilidad media (26.004 has.; 75,7%), donde se relacionan áreas de recarga/ descarga con distintas características de la vegetación. Sectores muy restringidos corresponden a vulnerabilidad muy baja (344 has.; 1,0 %) en sectores donde existe la presencia de cuerpos de agua permanentes (zona de descarga).

5. Índice de vulnerabilidad del paisaje (VULNEPAIS)

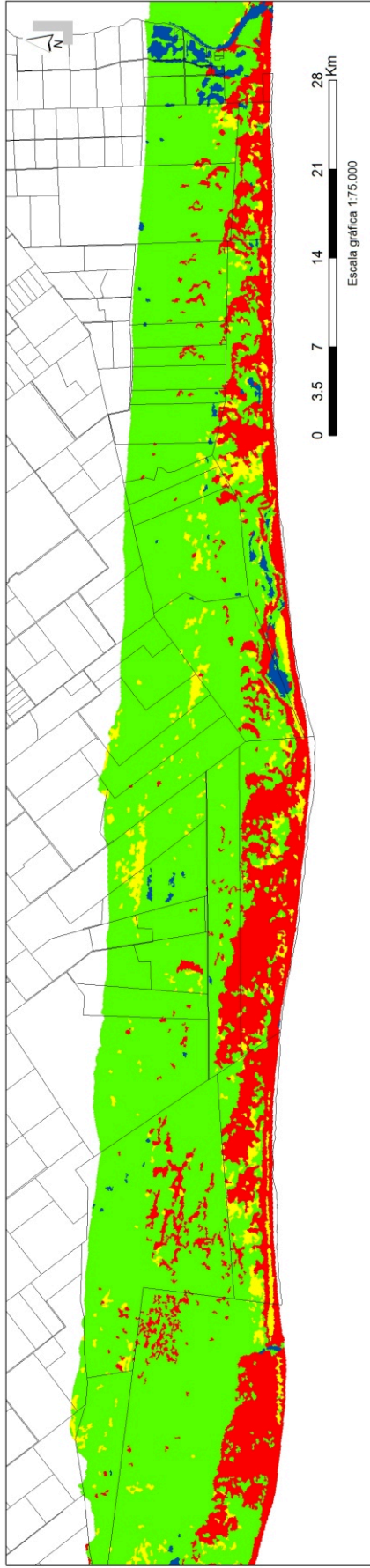
Definición: sintetiza la vulnerabilidad del paisaje de cada sector frente a una intervención forestal en función de su heterogeneidad espacial y de la representatividad de cada tipo de cobertura en el paisaje regional.

VARIABLES INVOLUCRADAS:

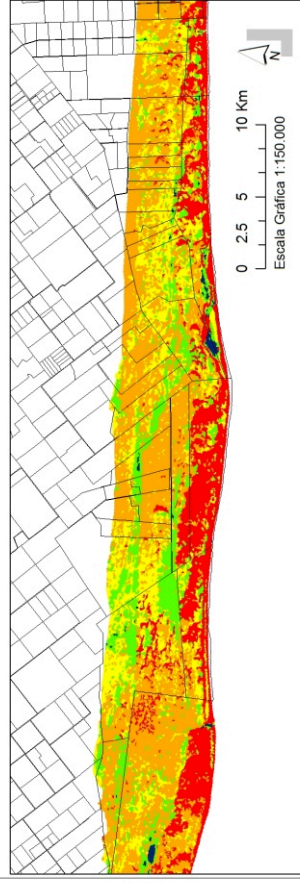
- Heterogeneidad espacial
- Representatividad en el paisaje regional.

Modelo conceptual: La heterogeneidad de un

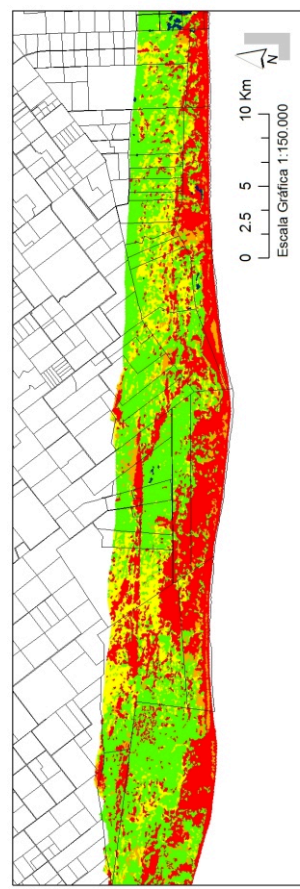
Figura 15: Índice de Vulnerabilidad del Sistema Hidrológico (VULNEHIDRO)



Nivel freático/posición topográfica



Cobertura y complejidad vegetal



Definición: síntesis la vulnerabilidad del sistema hidrológico local frente a una intervención forestal en función de la manifestación en superficie de las condiciones de recarga/escarga subterránea asociado a la profundidad del nivel freático (espesor de la zona no saturada, ZNS) y de la influencia de la cobertura y complejidad vegetal en las variables del ciclo hidrológico.

Variables involucradas:
 -Cobertura vegetal (profundidad de enraizamiento, densidad, estructura)
 -Modelo conceptual. Se estima que, en relación con las condiciones de recarga/escarga (profundidad del nivel freático), los ambientes permanente o temporales, representan a zonas de almacenamiento o descarga de la capa freática y serán menos vulnerables a los efectos de un cambio en la dinámica hídrica como consecuencia de la incorporación de nuevas formas de vida (árboles) que tienen una mayor capacidad de almacenamiento de agua.
 -Estructura de la cobertura vegetal. La mayor complejidad de las sumas, preserva en el tiempo el agua infiltrada a precipitación y de la evapotranspiración con consiguiente disminución de la infiltración lo cual da lugar a una mayor profundización del nivel freático. Lo cual significa una disminución de las reservas de agua dulce disponibles en la región, por su lado, respecto a la cobertura y complejidad de la cobertura vegetal, se estima que, en relación con las condiciones de recarga/escarga (profundidad del nivel freático) en las variables hidrológicas (intercepción y evapotranspiración) en los sectores que ya tienen componentes leñosos con raíces profundas (árboles, plantaciones) comparado con ambientes sin vegetación (suelo desnudo, con mayor infiltración y menor evapotranspiración).

Estudio de elegibilidad ambiental en un área pública - privada costera del Partido de Coronel Donregio, Pcia. De Buenos Aires, en el marco del proyecto. Fortalecimiento de Tecnologías para la Aplicación del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) de la Forestación y Reforestación en la República Argentina

Fuente: Adaptación de los datos satelitales Landsat TM y ETM+ años 2005 y 2008. Resolución espacial 15m. Metodología: software Imagenet digital y visual (recursos apropiados, no supervisados, PCA y K-means) Escala de análisis: aproximada 1:20.000

Categorías de vulnerabilidad

Legenda

- Catastro rural
- Muy baja
- Baja
- Media
- Alta
- Muy alta

Gobierno de Entre Ríos
 Facultad de Ciencias Naturales y Museo
 UNLP

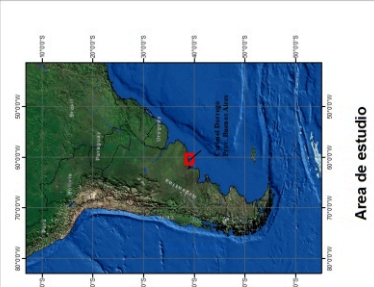
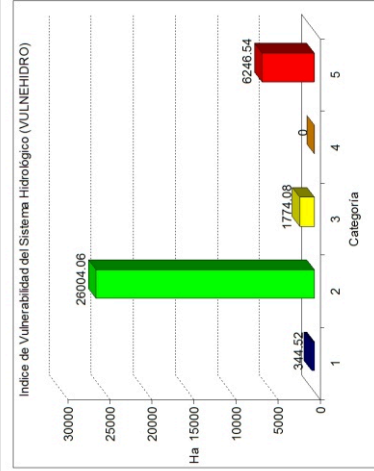


Figura N° 8: Mapa de Vulnerabilidad Hídrica (Vulnehidro).

paisaje se presenta como un conjunto de elementos más o menos fragmentados o conectados, que se reconoce como un conjunto espacial heterogéneo. La heterogeneidad (H) tiene dos componentes, la diversidad de los elementos paisajísticos (coberturas) y la complejidad de sus relaciones espaciales.

En el presente modelo conceptual, partimos de la premisa que una intervención forestal (considerando un modelo tradicional), causaría una homogenización del paisaje. Por lo que, un paisaje con alto grado de heterogeneidad espacial natural sería más perturbado o modificado frente a una intervención forestal (más vulnerable que un paisaje más homogéneo). Por su lado, la representatividad en el paisaje contempla el las proporciones relativas de cada cobertura en el paisaje regional analizado: a medida que su cobertura esté más pobremente representada mayor será su vulnerable (y viceversa). Este concepto tiene en cuenta la disponibilidad de hábitat presente en las áreas de estudio independientemente de su importancia para la conservación.

Cálculo: el valor de Vulnepais surge del producto entre el valor correspondiente a la heterogeneidad del paisaje y el de la representatividad del tipo de cobertura vegetal. El valor de heterogeneidad corresponde al valor del Índice de diversidad de Shanon y Weaver (H), calculado para celdas hexagonales de 5 has. cada una.

Espacialización: Sobre esta base se generó el Mapa de Vulnerabilidad del Paisaje (Fig. 9). En el mapa se ha incluido la definición del indicador, los mapas correspondientes a las variables básicas (heterogeneidad y representatividad), y un diagrama de barras con la superficie de cada una de las categorías de vulnepais.

Interpretación: Las áreas de vulnerabilidad muy baja ocupan una superficie casi despreciable (72 has., 0.21% del área total) en el mapa. Las áreas de vulnerabilidad baja representan unas 5.192 ha (15 % del área total), corresponden principalmente a sectores que presentan bajos valores de heterogeneidad espacial y pocas coberturas distribuidas homogéneamente en el paisaje. Los valores de representatividad de las coberturas involucradas en esta categoría es alto, en su mayoría representados por los pastizales mixtos laxos. Las áreas de vulnerabilidad media representan la mayor parte del área analizada (12.518 has, 36 % del área total). Se corresponden con áreas de humedales y bañados, dunas no vegetadas y pajonales densos, los cuales se pueden presentar en

unidades del paisaje con una heterogeneidad baja a intermedia y alta. Las áreas de vulnerabilidad alta ocupa una superficie de 1.0876 has (31 % del área total), correspondiendo a valores altos y muy altos de heterogeneidad y coberturas de baja representatividad en el paisaje analizado. Finalmente, las áreas de vulnerabilidad muy alta representan unas 5.730 has. (16 % del total del área de estudio), se encuentran distribuida espacialmente y relacionada con las categorías de alta vulnerabilidad. Son zonas con condiciones de micro topografía la cual se ve reflejada en la diversidad de coberturas que responden a condiciones de diversidad en la humedad y la topografía relativa.

Índice de Vulnerabilidad Ambiental (VULNEAMB):

Definición: La vulnerabilidad ambiental sintetiza para cada sector, la vulnerabilidad combinada de los cinco indicadores elaborados frente a un modelo de intervención forestal tradicional.

Variables involucradas:

- Índice de vulnerabilidad de la biodiversidad (Vulnebio).
- Índice de vulnerabilidad de la dinámica costera (Vulnecos).
- Índice de vulnerabilidad del suelo (Vulnesue).
- Índice de vulnerabilidad del sistema hidrológico (Vulnehidro).
- Índice de vulnerabilidad del paisaja (Vulnepais).

Modelos de combinación

Existen distintos modos de combinar la información de los indicadores a fin de sintetizar dicha información en un índice. A tal fin se establecieron 4 escenarios diferentes en función a la importancia relativa de los diferentes indicadores calculados (lo que define una diferente ponderación en la fórmula algebraica de combinación). La vulnerabilidad estará dada por la sumatoria ponderada del valor de cada uno de los indicadores multiplicado por el peso asignado al mismo:

$$V = \sum w_i x_i$$

Donde V = Vulnerabilidad
 w_i = peso del índice i
 x_i = valor del índice i

De modo que la sumatoria de los pesos tiene que ser igual a 1 (uno). Los diferentes escenarios planteados son:

Figura 16: Índice de Vulnerabilidad del Paisaje (VULNEPAIS)

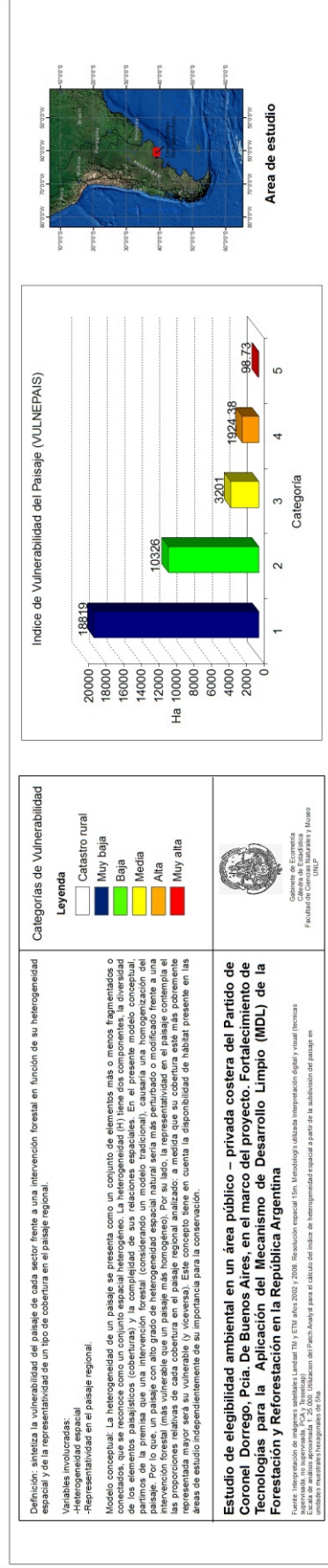
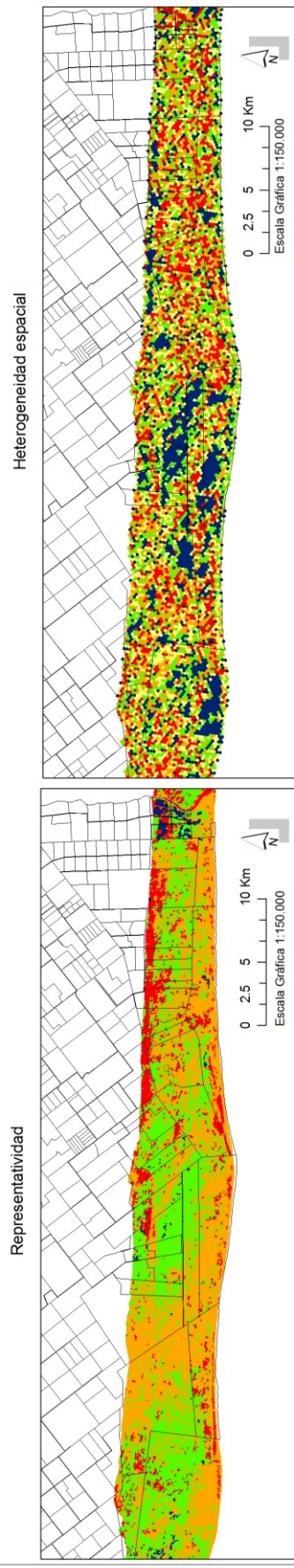
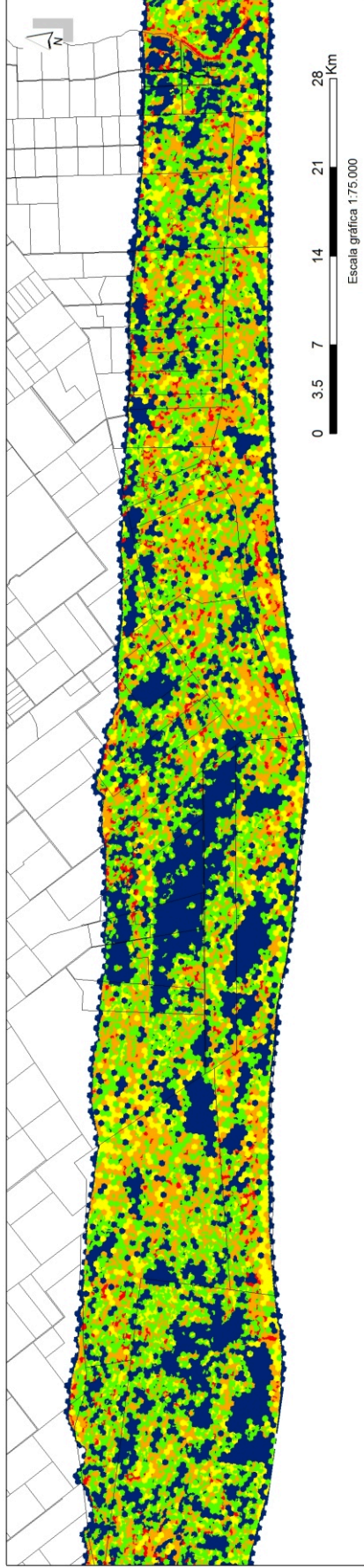


Figura N° 9: Mapa de Vulnerabilidad del Paisaje (Vulnepais)

Escenario 1 (Equilibrado): todos los indicadores tienen la misma importancia relativa, por lo que se combinan con un mismo peso o ponderación en la fórmula algebraica.

$$\text{VULNERAMB} = \text{BIO} \cdot 0.20 + \text{COS} \cdot 0.20 + \text{SUE} \cdot 0.20 + \text{PAIS} \cdot 0.20 + \text{HIDRO} \cdot 0.20$$

Los Escenarios 2 y 3: establecen pesados diferenciales para cada uno de los índices que se calculan en función del vector propio ("eigenvector") que surge del análisis de la matriz de comparación (matriz de doble entrada en donde se compara la importancia relativa de pares de índices). Para cada uno de ellos se calcula un índice de consistencia para la matriz (en todos los escenarios analizados las matrices resultaron con valores de consistencia aceptables).

Escenario 2 (Mayor importancia al indicador de vulnerabilidad de la dinámica costera): el indicador Vulnecos (dinámica costera) tiene mayor importancia relativa que el resto, por lo que se combinan con distintos pesos en la fórmula algebraica.

$$\text{VULNERAMB} = \text{BIO} \cdot 0.26 + \text{COS} \cdot 0.51 + \text{SUE} \cdot 0.06 + \text{PAIS} \cdot 0.03 + \text{HIDRO} \cdot 0.13$$

Escenario 2 (Costero - Biodiversidad): los indicadores Vulnecos (dinámica costera) y Vulnebio (biodiversidad) tienen mayor importancia relativa que el resto, por lo que se combinan con distintos pesos en la fórmula algebraica.

$$\text{VULNERAMB} = \text{BIO} \cdot 0.35 + \text{COS} \cdot 0.35 + \text{SUE} \cdot 0.12 + \text{PAIS} \cdot 0.05 + \text{HIDRO} \cdot 0.12$$

Escenario 4 (Máxima vulnerabilidad combinada): Se considera el valor más alto de la combinación de los 5 índices.

Debido a que los indicadores específicos muestran cierta complementariedad espacial, la suma o el producto de ellos puede generar un efecto de compensación que determine un balance o promedio de los valores. En casos extremos esto puede generar que todo el territorio muestre valores de vulnerabilidad combinadas medias (es lo que pareciera suceder en algunos de los escenarios analizados). Sin embargo, esto puede resultar engañoso debido al hecho que, efectivamente los distintos sectores pueden presentar valores de vulnerabilidad alta o muy alta cuando se considera un aspecto o indicador específico. En relación a la previsión de intervención con un modelo forestal tradicional es importante tener en cuenta si alguno de los

indicadores muestra valores altos o muy altos en un sector dado. Esto podrá dar lugar a la decisión de no intervenir o a la necesidad de hacerlo tomando las precauciones del caso.

Por este motivo se planteó un cuarto escenario en el cual se utiliza un criterio de máxima vulnerabilidad combinada, en donde para cada pixel en el mapa, la combinación de los indicadores considera el máximo valor de los indicadores (esto se calcula con el operador booleano "o"). En este sentido, para que un pixel dado tenga el valor más alto (5) de vulnerabilidad deberá presentar al menos un índice con el valor más alto (5).

Resultados: La **Fig.N° 10** muestra los Mapas de Vulnerabilidad Ambiental combinada resultantes de los distintos escenarios analizados (1 a 4).

Los resultados indican que, en el **Escenario 1** (pesos similares para todos los indicadores específicos), la mayoría (81,7%) de la zona de estudio muestra valores entre bajos y medios (11.122 y 16.769 has. respectivamente), mientras que los valores extremos (1 y 5) no llegan al 1,5%. Los sectores con valores altos (16,9%) se encuentran sobre la zona costera, abarcando las dunas vivas y la zona de playa.

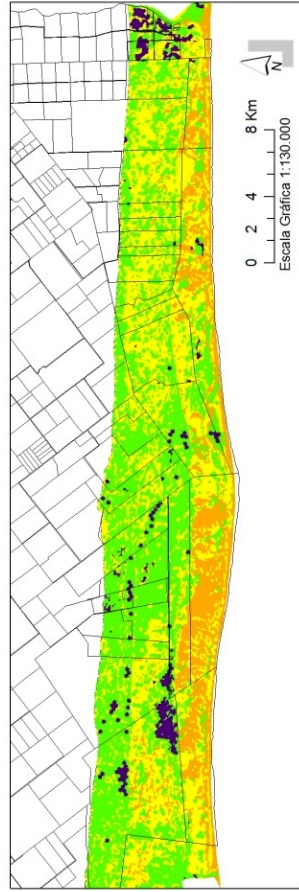
En el **Escenario 2** (con mayor peso en la dinámica costera), el resultado es muy similar, casi un 75% corresponde a valores bajos o medios, solamente un 20,4% a valores altos y menos de un 5% a valores extremos (todos ellos muy bajos).

El **Escenario 3** (mayor peso de dinámica costera y de la biodiversidad), es aún menos discriminador de la heterogeneidad existente en la zona de estudio, ya que unas 29.592 has. (el 86,8% del área) corresponde a valores bajos o medios (2 y 3), y unas 4.064 has. muestran valores de vulnerabilidad ambiental altos (no habiendo valores muy altos).

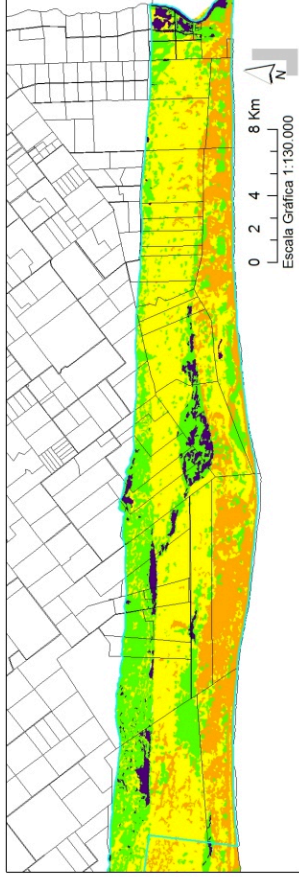
El **Escenario 4**, finalmente, muestra una distribución de valores mas amplia, aunque con un predominio de valores altos (unas 19.748 has.), y muy altos (7.336 has.), abarcando en forma conjunta una 79,4% del área de estudio. Los sectores con valores medios, bajos o muy bajos ocupan un total de 7.031 has (20,6% de la zona de estudio).

Este último escenario es claramente el más conservador o restrictivo, pero es a la vez el que puede ser utilizado con más confianza al momento de decidir sobre la conveniencia de realizar una intervención forestal, en dónde

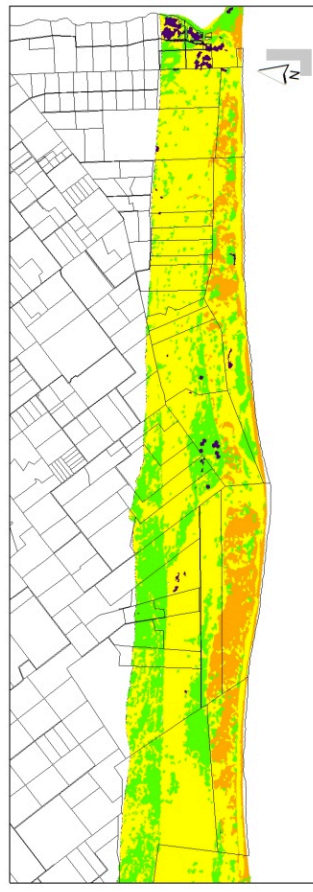
Indice de vulnerabilidad con pesados equivalentes escenario 1



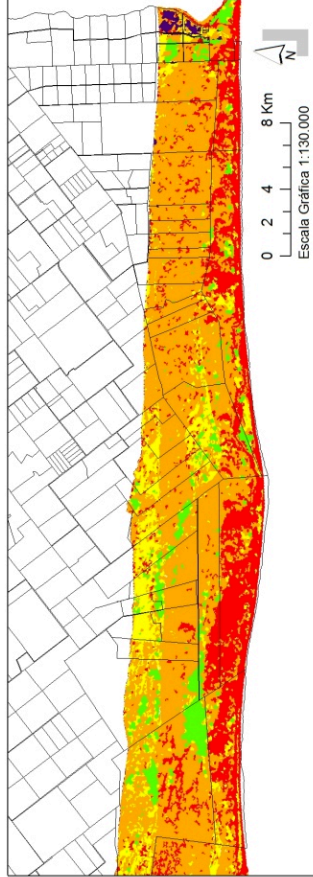
Indice de vulnerabilidad con pesados escenario 2



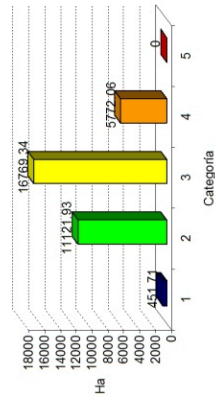
Indice de vulnerabilidad con pesados escenario 3



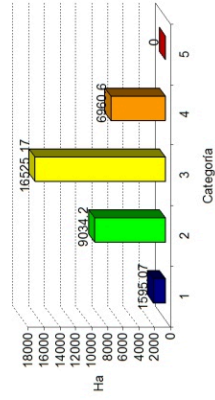
Indice de vulnerabilidad con pesados escenario 4



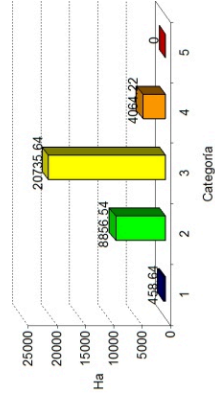
Indice de Vulnerabilidad Escenario 1



Indice de Vulnerabilidad Escenario 2



Indice de Vulnerabilidad Escenario 3



Indice de Vulnerabilidad Escenario 4

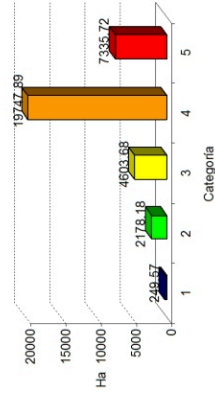


Figura 19: Mapas de vulnerabilidad ambiental resultantes de los distintos escenarios analizados

Estudio de elegibilidad ambiental en un área público – privada costera del Partido de Coronel Dorrego, Pcia. De Buenos Aires, en el marco del proyecto. Fortalecimiento de Tecnologías para la Aplicación del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) de la Forestación y Reforestación en la República Argentina

- Leyenda**
- Catastro rural
 - Muy baja
 - Baja
 - Media
 - Alta
 - Muy alta

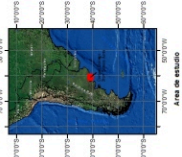


Figura N° 10: Mapas de vulnerabilidad ambiental resultantes de los distintos escenarios analizados.

conviene hacerlo, y qué cuidados debieran tomarse. Lo interesante del Escenario 4, es que en todos sectores con ciertos valores de vulnerabilidad, se puede estar seguro que ningún aspecto o criterio (indicador específico) muestra valores mayores al considerado. Por el contrario, los otros escenarios son más complejos y confusos, ya que un sector que muestre valores combinados medios o bajos, puede que presente una alta vulnerabilidad para algún aspecto o indicador específico que requiera un cuidado especial.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los distintos mapas de vulnerabilidad específica, para los cinco indicadores considerados, muestran cierta complementariedad, por lo que la vulnerabilidad de un área depende del indicador considerado. Un área con alta vulnerabilidad para un indicador muestra una baja vulnerabilidad para otros indicadores, y viceversa. Esto dificulta la generación de un índice combinado de vulnerabilidad ambiental, ya que al promediar entre ellos, los indicadores pueden compensarse mutuamente y ocultar la heterogeneidad existente.

A tal fin, se han definido, calculado y espacializado cuatro opciones o versiones alternativas del Índice de Vulnerabilidad Ambiental, considerando distintas combinaciones de los indicadores específicos. Los resultados (**Fig.N° 10**), muestra distintos mapas de vulnerabilidad ambiental para la zona de estudio. El escenario 4 (máxima vulnerabilidad combinada) es claramente el más conservador o restrictivo, pero es a la vez el que puede ser utilizado con más confianza al momento de decidir sobre la conveniencia de realizar una intervención forestal, en dónde conviene hacerlo, y qué cuidados debieran tomarse. Tomando en consideración este escenario (4), puede concluirse que los sectores de mayor vulnerabilidad ambiental (valores combinados de 4 y 5) comprenden 27.084 hectáreas y constituyen el 79,4 % del área de estudio. Complementariamente, los sectores de menor vulnerabilidad relativa (valores de 1, 2 y 3 combinados), comprenden 7.031 hectáreas y constituyen el 20.6 % del área de estudio. Estos resultados ponen en evidencia que toda el área muestra una relativamente alta vulnerabilidad frente a una intervención forestal tradicional (grandes superficies forestales homogéneas).

Esto puede estar relacionado con el hecho que, naturalmente esta área presenta una vegetación

dominada por especies herbáceas (pastizales y pajonales), con algunos sectores en los cuales pueden encontrarse manchones de arbustos, y con una clara ausencia de árboles. Una intervención forestal tradicional implicará necesariamente un cambio en la forma de vida vegetal dominante (desde hierbas a leñosas arbóreas), lo que implica cambios significativos en la diversidad biológica, en el ciclo hidrológico local, en los procesos edáficos, en la dinámica costera y en el paisaje. Un ejemplo claro, acerca del efecto negativo de este tipo de intervenciones sobre ecosistemas costeros, puede apreciarse en los estudios realizados en Cabo Polonio, Uruguay. En este sector, la necesidad de frenar la degradación de los ecosistemas nativos concluyó en un plan de manejo orientado a remover totalmente las plantaciones exóticas. En el caso de la provincia de Buenos Aires, otro aspecto importante a tener en cuenta es la existencia de especies endémicas y amenazadas, como es el caso de la Lagartija de las Dunas (*Liolaemus multimaculatus*) y los Tuco-tuco (*Ctenomys talarum* y *Ctenomys australis*), altamente especializadas para la vida en este tipo de ecosistemas. Estudios previos han demostrado que al menos en el caso de las lagartijas, las forestaciones provocan extinciones locales, debido a que rechazan totalmente este tipo de hábitats. Nuestros estudios en Dorrego demostraron que este sector alberga una población saludable de esta lagartija, lo cual no representa un aspecto menor a tener en cuenta, considerando que la protección de esta especie se encuentra avalada por la Resolución 1030/04 de la Dirección de Fauna de la Nación.

En caso de decidir implementar una forestación en aquellos sectores que muestran menores valores de vulnerabilidad será necesario tomar en cuenta las siguientes consideraciones (ver Tabla 2):

- Seleccionar cuidadosamente los sitios y desarrollar intervenciones forestales ajustadas a las condiciones locales;
- Evitar los sectores de mayor dinamismo eólico y costero (dunas, áreas de baja o nula cobertura vegetal);
- Evitar la alteración del sistema hídrico (cuerpos de agua, arroyos, bajos), asegurando el mantenimiento del escurrimiento hídrico superficial y sub-superficial;
- Asegurar la funcionalidad de los corredores biológicos entre hábitats, especialmente entre aquellos sectores paralelos a la costa;
- Evitar las masas forestales continuas (estableciendo manchones separados

-
- entre sí al menos entre 500 y 1.000 m);
 - Implementar modelos productivos mixtos (p.e.j: silvopastoriles), a fin de mantener superficies dominadas por pastizales naturales.
 - Considerar en la selección de especies vegetales a implantar, el grado de invasividad o colonización de las especies forestales, evitando aquellas con marcada tendencia de naturalizarse o asilvestrarse.
 - Considerar la posibilidad de definir áreas de reserva en cada uno de los tipos de uso y cobertura a fin de que sirvan de reservorio de especies vegetales y hábitat para la fauna silvestre.
 - Elaborar un plan de manejo de las plantaciones que incorpore medidas específicas de monitoreo de la invasividad o colonización de las especies;
 - Elaborar un plan de monitoreo y control de incendios forestales, especialmente en aquellos sectores que se habiliten para un uso recreativo o turístico (en los cuales se incrementará significativamente el riesgo de inicio de un fuego, intencional o no).

Desde un punto de vista antrópico, relacionado con el uso actual del territorio, la implementación de una actividad forestal implicará una importante tarea de extensión y capacitación a los actuales productores acostumbrados al manejo de un agro-ecosistema esencialmente de producción ganadera extensiva.

Finalmente, es aconsejable recomendar también, áreas degradadas como potenciales sitios de forestación con el objeto de rehabilitar las mismas, por ejemplo: áreas asociadas a actividades de minería; rellenos sanitarios; suelos decapitados, etc. Si bien los suelos degradados no suelen ser aptos para actividades productivas, pueden forestarse y aunque muestran una tasa de crecimiento menor que los suelos con horizonte húmico, permiten rehabilitar importantes pasivos ambientales de difícil manejo. Este tipo de áreas representan la opción más prudente si se plantea una forestación con especies exóticas, considerando que una intervención de este tipo inevitablemente provocará efectos negativos (en mayor o menor grado) en ecosistemas nativos. Este aspecto se acentúa sobre todo en la Provincia de Buenos Aires en donde los ecosistemas autóctonos se encuentran en general, altamente degradados y aquellos que lo están en menor grado, representan relictos que deberían conservarse en estado natural.

Tomando en cuenta el alto valor regional del área de estudio desde una perspectiva del medio natural (aspectos geomorfológicos, hidrológicos, ecológicos), y su valor como área de conservación de ecosistemas y paisajes, que en general han sido alterados profundamente en otros sectores costeros, debería considerarse la posibilidad de establecer una Ordenanza de zonificación de usos en el marco de las atribuciones que las leyes vigentes (Ley 8.912) le confieren al municipio. Esta zonificación debiera establecer limitaciones y restricciones a la ocupación de aquellos sectores que han sido puestos en evidencia presentan una mayor vulnerabilidad ambiental y que debieran excluirse de eventuales desarrollos urbanísticos y/o turísticos.

Complementariamente al punto anterior, debería considerarse la posibilidad de implementar formalmente un Área Natural Protegida en los sectores correspondientes a los predios fiscales existentes en la zona bajo estudio (actualmente ya existe una propuesta de creación de una ANP en ese sector). En este sentido, es potencialmente útil considerar para toda la zona de estudio, un esquema de intervención territorial como se utiliza en las Reservas de la Biosfera de la UNESCO, en las cuales se incluyen zonas núcleos (cuyo objetivo es la conservación, investigación, educación), zonas de amortiguación (uso sustentable) y zonas de transición (usos más intensivos controlados). Un ejemplo que avala esta sugerencia es la Reserva de Biósfera Parque Atlántico Mar Chiquito (declarada en el año 1996), la cual ha demostrado resultados positivos en el marco de este tipo de manejo. En caso de considerarse esta opción, se estaría contando con dos áreas protegidas costeras, enmarcadas con este tipo de manejo, representando las dos grandes barreras medanosas de la provincia de Buenos Aires: 1) la Reserva Mar Chiquita como representante de la Barrera Medanosa Norte, y; 2) la Reserva de la zona costera de Dorrego (potencial), como representante de la Barrera Medanosa Austral.

5. BIBLIOGRAFÍA

BILENCA, D. & F. MIÑARRO. 2004. Identificación de Áreas Valiosas de Pastizal (AVP) en las Pampas y Campos de Argentina, Uruguay y sur de Brasil. Fundación Vida Silvestre, Buenos Aires. 323 p.

BUCKLAND, S. T., D. R. ANDERSON, K. P. BURNHAM, J. L. LAAKE, D. L. BURGOS J. & A. L. VIDAL. 1951. Los climas de la República Argentina según la nueva clasificación de Thorntwaite. *Meteoros* (1):1-32.

VULNERABILIDAD AMBIENTAL	CARACTERIZACIÓN	RECOMENDACIÓN
MUY ALTA	Sectores en los cuales alguno de los indicadores presenta valores de muy alta vulnerabilidad.	No son aconsejables intervenciones antrópicas (forestaciones) bajo ninguna condición o modelo. Áreas sensibles sin vocación productiva que requieran una protección estricta.
ALTA	Sectores en los cuales alguno de los indicadores presenta valores de alta vulnerabilidad.	No son aconsejables intervenciones antrópicas que alteren sustancialmente la cobertura vegetal (modelo forestal tradicional). Áreas de uso productivo ganadero de muy baja densidad que requieren un manejo racional de la cobertura vegetal con el objeto de su conservación.
MEDIA	Sectores en los cuales ninguno de los indicadores presenta valores de alta o muy alta vulnerabilidad.	Es factible desarrollar proyectos de forestación con modelos de intervención específicamente desarrollados, evitando sectores sensibles, que incluyan sistemas productivos mixtos (silvopastoriles), ajustados a las condiciones locales, seleccionando las especies de baja invasividad y con planes de manejo.
BAJA	Sectores en los cuales ninguno de los indicadores presenta valores de media, alta o muy alta vulnerabilidad.	Es factible desarrollar proyectos de forestación en sistemas productivos mixtos (silvopastoriles), ajustados a las condiciones locales, seleccionando las especies de baja invasividad y con planes de manejo.
MUY BAJA	Sectores en los cuales todos los indicadores presentan valores muy bajos de vulnerabilidad.	Es factible desarrollar proyectos de forestación ajustado a las condiciones locales, seleccionando las especies de baja invasividad y con planes de manejo.

Tabla N°2: Síntesis de vulnerabilidad ambiental y recomendaciones para una intervención forestal (corresponde al escenario

-
- CABRERA, A. L. 1941. Las comunidades vegetales de las dunas costaneras de la Provincia de Buenos Aires. D. A. G. I. Publicaciones técnicas 1(2):5-44.
- CABRERA, A. L. 1971. Fitogeografía de la República Argentina. Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica 14(1-2):1-12.
- CEI, J. M. 1980. Amphibians of Argentina. *Monitore Zoologico Italiano*, Monografía 2: 1-609.
- CEI, J. M. 1986. Reptiles del centro, centro-oeste y sur de la Argentina. *Herpetofauna de las zonas áridas y semiáridas*. Museo Regionale di Scienze Naturali, Torino, 4: 527 pp.
- CALÓ, J., FERNÁNDEZ, E., MARCOS, A. y ALDACOUR, H. 2005. Observaciones litorales ambientales de olas, corrientes y vientos de la playa de Monte Hermoso entre 1996 y 1999. *Geoacta* 30: 27-38. ISSN 0326-7237.
- CELSI, C. E. & A. L. MONSERRAT. 2007. Zona costera del Partido de Coronel Dorrego. Sector Arroyo Los Gauchos. Informe. Fundación de Historia Natural Félix de Azara, Buenos Aires. 14 p.
- CELSI, C. E., A. L. MONSERRAT, & F. P. KACOLIRIS. 2008. Reptilia, Colubridae, *Phylodrias aestivus*: Distribution extension. *Check List* 4:12-14.
- FERNÁNDEZ, E., CALO, J. y ALDACOUR, H. 2003. Interrelación de los ambientes eólico y marino a través del análisis textural y mineralógico de las arenas de Monte Hermoso, Argentina. *AAS Revista* 10 (2):151-161.
- GRILL, S. C. 2003. Análisis palinológico de sedimentos cuaternarios en la cuenca inferior del río Quequén Salado, Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Polen* 12:37-52.
- GRILL, S. C. & S. LAMBERTO. 2006. Análisis palinofacial de sedimentos actuales en la cuenca inferior del río Quequén Salado, prov. de Bs As. : primeros resultados. *Revista española de micropaleontología* 38(1):77-92.
- ISLA, F. I., L. C. CORTIZO & H. A. TURNO ORELLANO. 2001. Dinámica y evolución de las barreras medianosas, Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista Brasileira de Geomorfología* 2(1):73-83.
- KACOLIRIS, F. P., N. HORLENT, & J. D. WILLIAMS. 2006. Herpetofauna, Coastal Dunes, Buenos Aires Province, Argentina. *Check List* 2:15-21.
- MARINI, M. F. & M. C. PÍCCOLO. 2000. El balance hídrico en la cuenca del río Quequén Salado, Argentina. *Papeles de Geografía* 31:39-53.
- MARINI, M. F. & M. C. PÍCCOLO. 2005. Hidrogeomorfología de la cuenca del río Quequén Salado, Argentina. *Investigaciones Geográficas* 37:59-71.
- MONSERRAT, A. L. & C. E. CELSI. 2006a. Valor ecológico de la zona costera de Coronel Dorrego y su potencial para el establecimiento de un área protegida. Informe. Fundación de Historia Natural Félix de Azara, Buenos Aires. 24 p.
- NAROSKY, T. & D. IZURIETA. 1987. Guía para la identificación de las aves de Argentina y Uruguay. Vasquez Massini Editor, Buenos Aires, 345 pp.
- NAROSKY, T. & A. DI GIACOMO. 1993. Las Aves de la Provincia de Buenos Aires: Distribución y Estatus. AOP, Vázquez Manzini, L.O.L.A.
- RINGUELET, R. 1961. Rasgos fundamentales de la zoogeografía de la Argentina. *Physis* 22: 151-170.
- SPALLETTI, L. 1980. Paleoambientes sedimentarios en secuencias silicoclásticas. *Asociación Geológica Argentina, Serie B, Didáctica y Complementaria* 8, 99p.

EVALUACIÓN AMBIENTAL REGIONAL

Metodologías utilizadas en el estudio regional de riesgos de inundaciones del Noroeste Argentino

Marcelo Gaviño Novillo (1), Ramiro Sarandón (2)

1. Departamento de Hidráulica Universidad Nacional de La Plata - 47 N° 200 - La Plata - (1900) - Argentina - Tel (+54) 221 4236691 - e-mail: magavino@gmail.com

2. Facultad de Ciencias Naturales y Museo - Universidad Nacional de La Plata Calle 60 y 122 La Plata - (1900) - Argentina - e-mail: rsarandon@fcnym.unlp.edu.ar

RESUMEN

En el presente trabajo se sintetizan los resultados de la Evaluación Ambiental Regional (EAR) del Estudio de Riesgos de Inundaciones del Noroeste Argentino (NOA), cuyo principal objetivo consistió en interpretar y evaluar las características ambientales con relación al fenómeno aluvional en toda la región, identificando las áreas de mayor vulnerabilidad.

El área del proyecto (NOA) está integrada por las provincias de Jujuy, Salta, Tucumán, Catamarca, Santiago del Estero y La Rioja, cuya superficie alcanza 560.000 Km² y cuenta con alta heterogeneidad ecológica y gran diversidad cultural. En el contexto de la EAR se analizaron y sintetizaron las variables ambientales más significativas del ambiente, tratando de identificar sus rasgos más vulnerables. Como resultado de ello se sintetizan las características ambientales (fisiográficas, biogeográficas, culturales, económicas y territoriales) en una serie de mapas temáticos a escala 1:1.000.000. Esta información fue volcada en formato digital en una base georeferenciada, de manera que pueda ser empleada en combinación con otros resultados del proyecto.

También se analizan las distintas amenazas naturales y se identifican los impactos, evaluando sus consecuencias sobre la población, la infraestructura y las actividades productivas, así como la magnitud de sus alcances espaciales con objeto de proponer medidas tendientes a prevenir la ocurrencia de daños como resultado de los procesos aluvionales.

Finalmente de manera complementaria se efectúa una clasificación de las cuencas hidrográficas del NOA mediante el desarrollo de un modelo de inestabilidad territorial basado en el uso de un método multicriterio.

Palabras claves: evaluación ambiental regional riesgo vulnerabilidad - impactos ambientales-cuencas.

1. INTRODUCCION

1.1. Los procesos geohidrológicos en el NOA

La gestión de los riesgos naturales, y en particular de las inundaciones, debe ser entendido como un problema aún no resuelto del desarrollo en la Argentina. Por ello, los desastres debido a los procesos geohidrológicos son un problema en aumento en el Noroeste argentino (NOA), y su impacto es cada vez mayor debido a los estilos o modelos de desarrollo imperantes en la región. El crecimiento poblacional y los procesos de urbanización, las tendencias de utilización del territorio, el empobrecimiento de importantes segmentos de la población, las formas de los sistemas de organización, y la presión sobre los recursos naturales han hecho aumentar en forma continua la vulnerabilidad general frente a una amplia diversidad de peligros geohidrológicos.

Cuando estos fenómenos se presentan, su impacto recae principalmente en:

- Población urbana y rural
- Áreas urbanas
- Infraestructura
- Sistemas productivos

Ellos conllevan enormes consecuencias sociales, económicas y ambientales directas e indirectas, que se ven agravados tanto por el desconocimiento de las relaciones funcionales del régimen hidrológico de las cuencas de la región, así como de sus características ambientales. Ello se hace evidente tanto en los procesos de toma de decisiones que asignan inversiones en infraestructura y regulan la ocupación del territorio; como en la falta de continuidad de las iniciativas tendientes a enfrentar sistemáticamente los fenómenos geohidrológicos en el NOA.

Los fenómenos geohidrológicos que afectan a esta región tienen diferente origen, pudiéndose esquematizar los siguientes tipos dominantes a lo largo del desarrollo de la mayoría de las cuencas del área:

- A. Inundaciones debido a procesos torrenciales: se producen en los valles de

las regiones montañosas en los que los excedentes líquidos escurren con importantes aportes de sedimentos en suspensión debido al tipo de régimen del escurrimiento.

B. Inundaciones fluviales por desborde: se producen en todos los valles fluviales y sectores con bajas pendientes ante la incapacidad de conducción de los caudales máximos por el cauce principal, expandiéndose las aguas al valle de inundación lateral.

C. Inundaciones por falta de una red de drenaje: se producen en las llanuras de baja pendiente, debidas a encharcamientos por carencia de una red de drenaje definida resultante de la baja energía para evacuar los excedentes.

D. Remoción en masa: deslizamientos de laderas y flujos de barro que se producen en las laderas de las cuencas de grandes pendientes.

1.2. El ciclo de gestión del riesgo

El ciclo de la gestión integrada del riesgo de inundaciones implica considerar al menos tres etapas generales: evaluación, delimitación y mitigación (Gaviño Novillo, 2001). El proceso de toma de decisiones basado en la comprensión de este ciclo permite la implementación de medidas que atenúen su impacto. En comparación con otros riesgos, aquellos que son debidos a fenómenos geohidrológicos pueden ser identificados rápidamente, se conocen medidas de mitigación probadas; y los beneficios logrados al reducir la vulnerabilidad pueden, en gran parte, ser mayores que los costos que ocasionan sus consecuencias. Más aún, la experiencia demuestra que el impacto de los eventos naturales puede ser reducido (OEA; 1991). A fin de prevenir, mitigar o corregir los impactos que surgen de la ocurrencia de los procesos citados existen combinaciones de medidas estructurales y no estructurales, mediante cuya implementación es posible atenuar la magnitud de los mismos (Ver Figura 1).

La primer etapa del ciclo corresponde a la evaluación del riesgo, y ello implica la determinación del conjunto de factores que intervienen en su cuantificación. Para ello existen distintas aproximaciones, siendo la más adecuada para el caso de los riesgos geohidrológicos la que fuera propuesta por las Naciones Unidas y UNESCO (Varnes, 1984)

$$R_s = H.V (1)$$

donde:

R_s : (riesgo específico): indica el grado esperado de pérdidas debidas a un fenómeno natural,

H : (peligro): indica la probabilidad de ocurrencia de un evento natural en un determinado período de tiempo y en un área dada potencialmente sujeta a dicho fenómeno,

V : (vulnerabilidad): indica el grado esperado de pérdidas de un elemento o conjunto de elementos determinados sujetos a riesgo resultante de la ocurrencia de un fenómeno natural de una determinada magnitud.

Todos estos factores son adimensionales y varían entre 0 y 1. A su vez, el riesgo total puede ser evaluado como:

$$R_T = R_s .E = H.V.E (2)$$

donde:

R_T : (riesgo total): corresponde al número de vidas perdidas, personas damnificadas, daños a la propiedad, etc., debidas a un fenómeno natural específico.

R_s : (riesgo específico): indica el grado esperado de pérdidas debidas a un fenómeno natural,

E : (elementos bajo riesgo): indica la población, propiedades, actividad económica, incluyendo los servicios en riesgo en un área determinada,

La evaluación del peligro (H) implica la determinación de los factores exógenos (variaciones térmicas extremas, precipitaciones intensas, variaciones de radiación, vientos fuertes), que son función de la probabilidad de ocurrencia de los distintos tipos de eventos extremos; pero también de los factores endógenos (físicos, biológicos, socio-económicos), que son función de las propiedades intrínsecas del sitio donde se verifica dicho evento, puesto que éstas últimas actúan como un factor multiplicador. La combinación de ambos factores permite la evaluación integrada del peligro, que puede ser entendido como la fuerza dinamizadora del sistema (Gaviño Novillo & Sarandón, 2001a).

La vulnerabilidad (V) es una medida de la susceptibilidad o predisposición intrínseca de los elementos expuestos a un peligro a sufrir un daño o una pérdida. Estos elementos pueden ser: la población, las infraestructuras, los centros

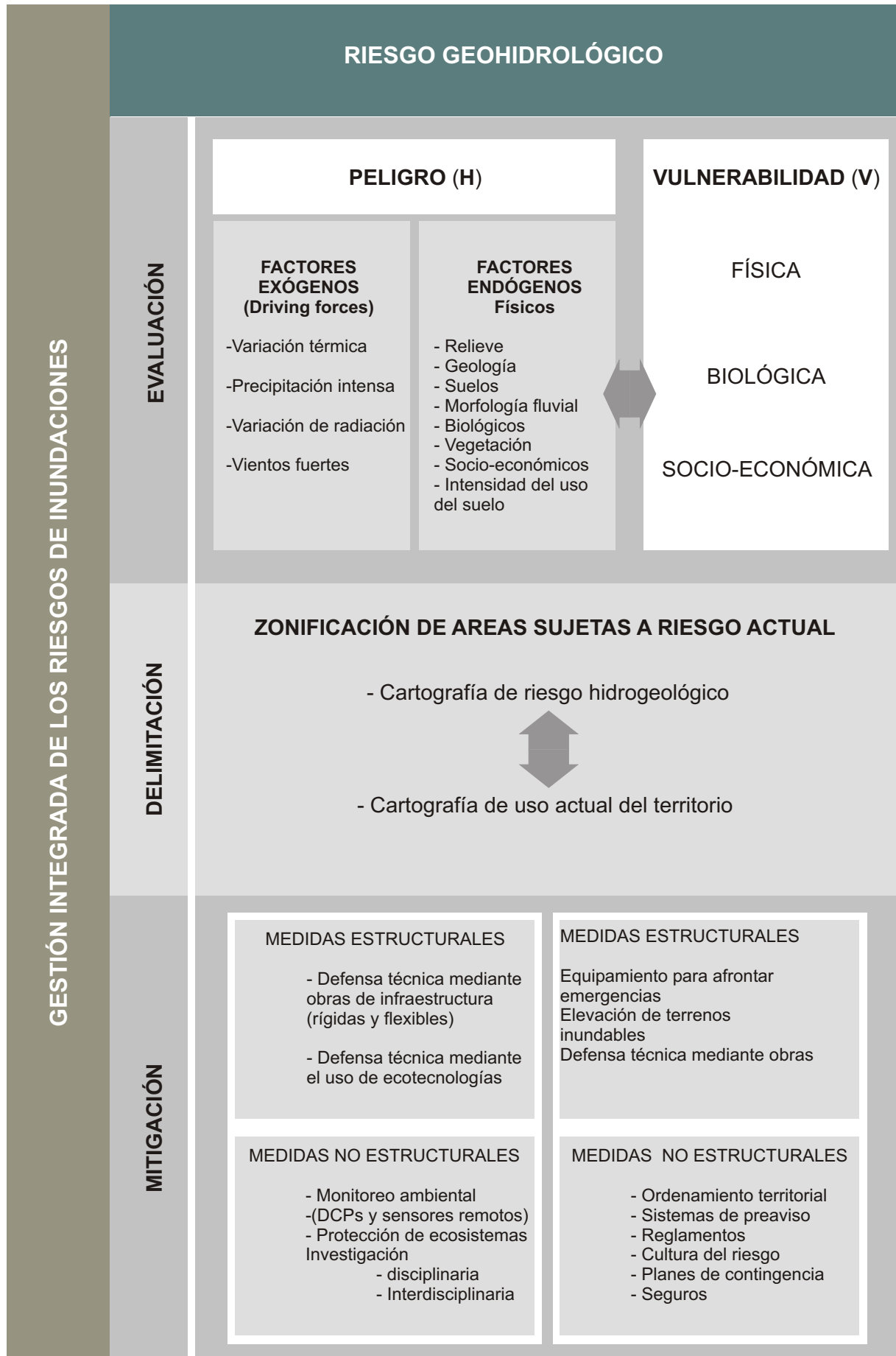


Figura N° 1: Ciclo de la gestión integrada del riesgo de inundaciones

urbanos, el sistema productivo, el patrimonio natural, etc., y por tanto es posible evaluar la vulnerabilidad por medio del análisis de sus componentes físicas, biológicas y socio-económicas de manera separada.

El riesgo (RS o RT), finalmente como se ha visto no es más que la probabilidad de que se presenten pérdidas o consecuencias económicas y sociales debido a la ocurrencia de un fenómeno peligroso, como resultado del grado de vulnerabilidad frente al mismo. La vulnerabilidad y el riesgo, por tanto, están directamente relacionados entre sí en función del grado de peligro de un fenómeno extremo.

La evaluación del riesgo geohidrológico al final de esta primer etapa, por tanto, surge de la combinación de los peligros y la vulnerabilidad, lo cual puede lograrse por la superposición de los mapas temáticos respectivos (integrado o por componentes)

La segunda etapa implica la delimitación de las áreas sujetas a riesgo actual, lo que surge de la superposición de la cartografía de riesgo resultante de la primer etapa y del mapa de uso actual del suelo para un lugar determinado (cuencas hidrográficas). Ello permite obtener la distribución espacial de aquellos sectores del territorio que están sujetos a distintos grados de riesgo actual.

Esta tarea se ve ampliamente facilitada por el uso de sistemas de información geográfica que permiten la gestión de datos y metadatos de una manera integrada.

La tercer etapa, y la de mayor desafío creativo, es la de mitigación. En ella se analizan las diversas medidas estructurales y no estructurales que pueden ser aplicadas tanto para reducir el peligro como la vulnerabilidad. En la Figura 1 se dan algunos ejemplos para el caso de los riesgos geohidrológicos (Gaviño Novillo, M.; Sarandón, R. 2001b).

2. EVALUACIÓN AMBIENTAL REGIONAL

2.1. Objetivos y alcances

Las Evaluaciones Ambientales Regionales (EAR) son estudios ambientales que se realizan cuando existen propuestas de varias actividades de desarrollo en una región determinada. Son útiles para definir el área natural de estudio; para seleccionar modelos de desarrollo entre distintas alternativas; para la identificación de impactos ambientales acumulados o cruzados (entre

proyectos simultáneos en la misma zona), y definición de medidas para evitarlos o atenuarlos; para la identificación de interacciones ambientales o conflictos entre varios proyectos, en los cuales los impactos de un proyecto podrían reducir los beneficios de otros; para la formulación de criterios a incluir en los proyectos particulares, permitiendo la identificación de áreas sensibles; y para la selección de sitios y lineamientos para la planificación del uso de la tierra (Banco Mundial, 1991; CEPAL/ILPES/PNUMA, 1986). Sirven además para la identificación de vacíos de información, la definición de programas de seguimiento y control ambiental y la identificación de elementos políticos e institucionales para lograr el desarrollo sustentable en la región en análisis.

La Evaluación Ambiental Regional (EAR) desarrollada en la primera etapa del Estudio de Riesgos Geohidrológicos, tuvo por objeto interpretar y evaluar las características ambientales de la región del NOA en el contexto y con relación a los riesgos geohidrológicos a una escala regional (1:1.000.000), e identificar las áreas de mayor vulnerabilidad, siguiendo un ciclo de evaluación del riesgo de inundaciones.

Los objetivos particulares fueron:

- Caracterizar el estado ambiental actual a nivel regional
- Evaluar los principales componentes ambientales que resultan pasibles de sufrir efectos y modificaciones respecto de su evolución natural ante eventos de riesgo geohidrológico.
- Identificar las consecuencias ambientales que implicaría la no ejecución de los programas de desarrollo previstos en el Plan.
- Sentar las bases técnicas para la ejecución de los estudios de impacto ambiental
- Desarrollar recomendaciones generales que permitan ser incorporadas en los distintos instrumentos de gestión de los riesgos a fin de mitigar sus impactos.

El área del proyecto (NOA) corresponde a una división regional de la Argentina que comprende las Provincias de Catamarca, Jujuy, La Rioja, Salta, Santiago del Estero y Tucumán con una superficie total cercana a los 560.000 Km² (Ver Figura 2). La región está ubicada en la franja ubicada entre los paralelos 21° 46' y 32° S y los meridianos 61° 43' y 70° W (Tabla 1) y una superficie equivalente al 20.0 % del total de la Argentina.

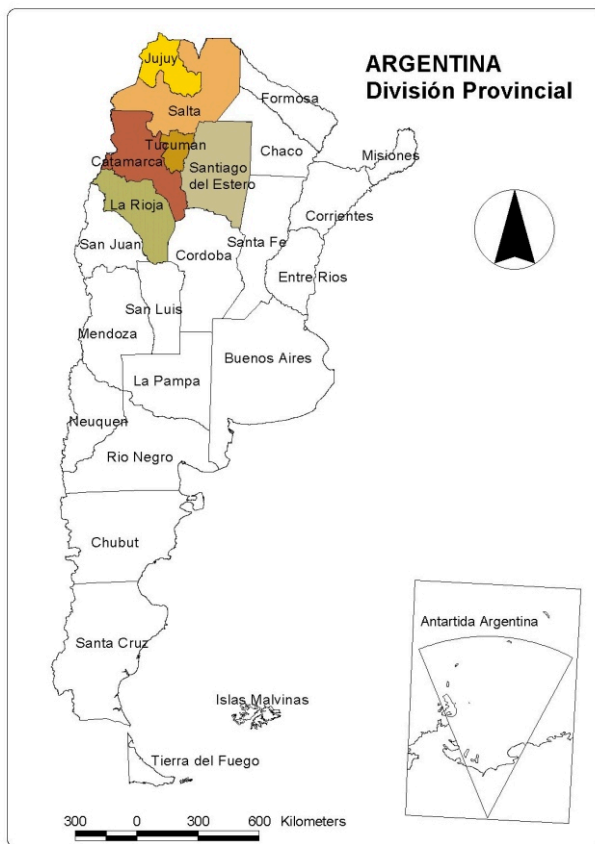


Figura N 2: Región NOA de Argentina

Debido a que esta región presenta una importante heterogeneidad ecológica y diversidad cultural, la EAR se ajustó y orientó a los objetivos del proyecto. Ello llevó a plantear una estrategia metodológica que implicó el estudio de las variables ambientales más significativas del ambiente del NOA.

Provincia	Capital	Superficie (Km ²)	%
Catamarca	San Fernando del Valle de Catamarca	102.602	18.3
Jujuy	San Salvador de Jujuy	53.219	9.5
La Rioja	La Rioja	89.680	16.0
Salta	Salta	155.488	27.8
Santiago del Estero	Santiago del Estero	136.351	24.4
Tucumán	San Miguel de Tucumán	22.524	4.0
Total		559.864	100.0

La EAR no se realizó sobre un conjunto de proyectos sino sobre un conjunto de fenómenos geohidrológicos naturales e inducidos que representan un riesgo para la región, y ante los cuales es necesario elaborar un plan integral de prevención y acción. Para la determinación de su alcance se elaboró una lista de chequeo "ad-hoc" que sirviera para ajustar su contenido (Ver ANEXO A) (Gaviño Novillo, M; Sarandón, R.

2001; Banco Mundial, 1996). Sobre la base del resultado de ello se elaboró una caracterización ambiental regional de utilidad para el proyecto a largo plazo en el que se identificaron las limitantes y oportunidades en el NOA, las áreas vulnerables, frágiles o valiosas, y se evaluó el contexto institucional y legal relevante para el proyecto en el ámbito regional. La meta final es promover la sustentabilidad ambiental de los programas de mitigación del riesgo debida a fenómenos aluvionales.

La EAR se desarrolló a nivel preliminar (screening) empleando fuentes de información secundarias, entrevistas a informantes calificados, consultas a expertos con experiencia en gestión en proyectos en el NOA o investigadores de distintos aspectos ambientales de la región. El estudio se realizó en el marco de la Directriz Operacional 4.00 y 4.01 del Banco Mundial y sus actualizaciones (Banco Mundial, 1991; 1996).

2.2. Flujo metodológico

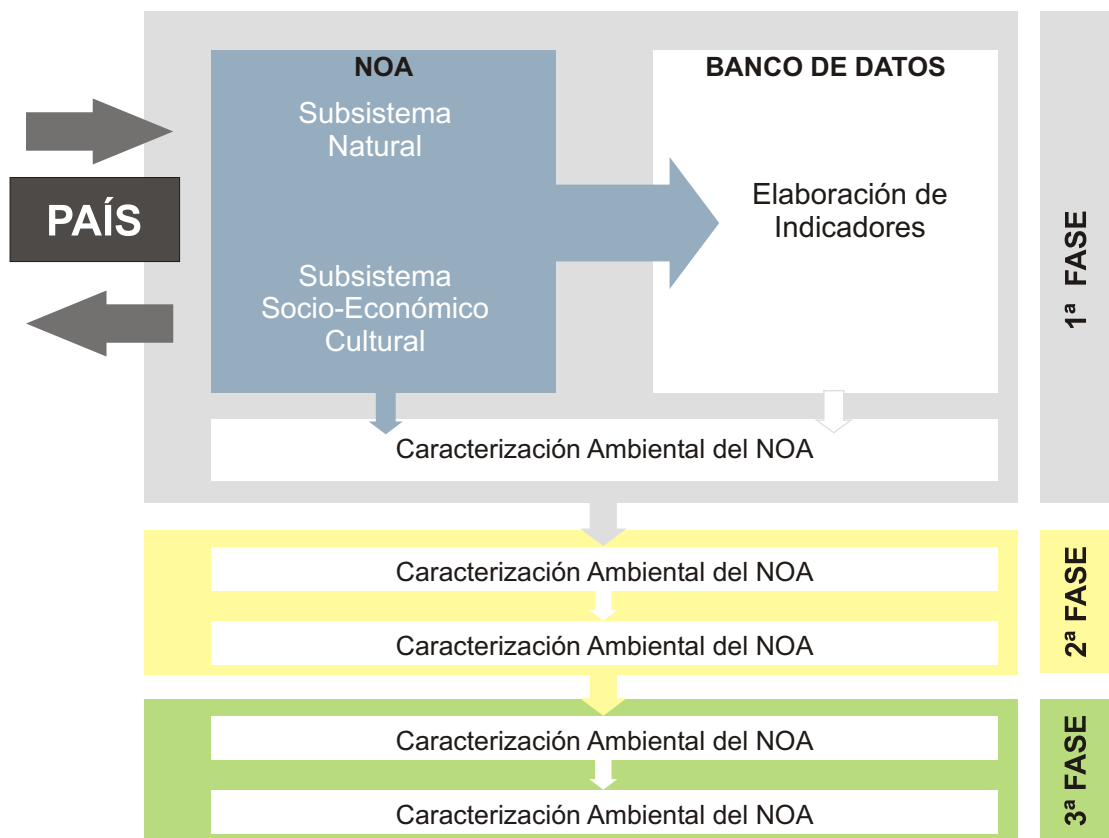
Las evaluaciones ambientales regionales (EAR) implican un análisis estratégico con fines de planificación en un contexto de desarrollo sustentable. Para aplicar ello en el presente caso, para el presente estudio se desarrolló un flujo metodológico (Ver Figura 3) que incluyó 3 fases:

- I - Una caracterización ambiental del NOA y de los proyectos de desarrollo previstos;
- II - Un análisis de la vulnerabilidad frente

a fenómenos geohidrológicos potencialmente peligrosos;

- III - La determinación de un conjunto de recomendaciones para la implementación de la EAR

La Evaluación Ambiental Regional incluyó, además de los aspectos ecológicos o



ambientales propiamente dichos, algunos aspectos relacionados a los asentamientos humanos presentes en el área de estudio. En particular aquellos aspectos de la planificación en el ámbito regional, tales como la evolución y dinámica de los asentamientos humanos, la legislación existente en el tema de prevención y mitigación de los riesgos geohidrológicos, y los programas de desarrollo regional eventualmente existentes tanto en el sector público como en el sector privado. Entre los resultados de la evaluación ambiental regional se han identificado los sectores con distinto grado de vulnerabilidad frente al mayor riesgo hidrogeológico.

3. RESULTADOS ALCANZADOS

1 Fase: Caracterización ambiental del NOA

Esta fase implicó el estudio de las variables ambientales más significativas de los ecosistemas del NOA, a fin de identificar aquellos rasgos más alterables del mismo en función de las intervenciones potenciales de los proyectos de desarrollo previstos en un contexto de riesgos geohidrológicos. Se puso especial énfasis en el inicio de procesos degradatorios (i.e., erosión, eutroficación, colmatación, defaunación), como producto de una actividad dada (i.e., deforestación, modificación de cauces, contaminación), dado que ellas representan

alteraciones significativas del ecosistema. Por ello se analizaron los rasgos el mismo que permitan caracterizar su susceptibilidad frente a intervenciones antrópicas específicas en un contexto de riesgos geohidrológicos es una medida de su vulnerabilidad (Ver Figura 4).

Operativamente se desarrolló una síntesis diagnóstica del NOA y se procedió a sintetizar la información del ecosistema en "mapas temáticos" (i.e., infraestructura, uso del suelo actual, vegetación, patrimonio cultural, etc.). Los resultados ponen en evidencia que la región NOA constituye una región geográfica que muestra una cierta unicidad funcional fundada en un proceso de desarrollo histórico común. Es, sin duda alguna, la que muestra la mayor heterogeneidad ambiental de las regiones naturales argentinas, debido a la interacción en el espacio y en el tiempo de distintos componentes naturales y antrópicos que incluyen factores:

Fisiográficos: relacionados con la constitución geológica y el tipo de relieve que tiene marcados efectos sobre el clima, los procesos geomorfológicos y edáficos, condicionando diversos paisajes naturales.

Biogeográficos: derivados de la historia evolutiva de esta porción del continente y la adecuación ecológica de los distintos linajes filogenéticos a la oferta de biotopos generados por la

heterogeneidad de paisajes naturales, condicionando distintas regiones o unidades ecológicas (Ecorregiones).

2 Fase: Análisis de la vulnerabilidad frente a fenómenos hidrológicos potencialmente peligrosos

Culturales: dependientes de una larga historia de ocupación del territorio por distintos grupos humanos con disímiles características étnicas como casi en ninguna otra región Argentina; ya que se remonta a períodos prehispánicos, se transforma a través de un largo proceso de colonización hispánica y permanece actualmente en la coexistencia de culturas modernas globalizadas y grupos aborígenes que habitan sectores marginales de la región.

La vulnerabilidad de un área es función tanto de factores naturales como antrópicos y se refieren a ciertas condiciones que incrementan la susceptibilidad a sufrir daños frente a un evento de naturaleza hidrogeológica (Tabla 2). Estos factores contribuyen a que los eventos sean más intensos, más frecuentes o más extendidos en el territorio.

Económicos: relacionados la forma de utilización de los recursos naturales y las diversas actividades productivas que incluyen agricultura, ganadería, forestación, industria y minería.

Territoriales: relacionados con los patrones de ocupación del espacio histórico y actual, incluyendo el patrón de asentamiento poblacional y el desarrollo de los distintos medios de transporte y vías de comunicación.

Complementariamente se elaboró una Base de Datos georeferenciada con la cartografía temática a escala 1:1.000.000 en los que se ha volcado la información disponible surgida de la síntesis diagnóstica de la región para aspectos ambientales específicos. Esta información en formato digital se organizó en un Sistema de Información Geográfica.

FACTORES CONDICIONANTES DEL EVENTO		EVENTO
NATURALES	<ol style="list-style-type: none"> 1. Características climáticas (intensidades de precipitación) 2. Características geológicas (litología) 3. Relieve abrupto o plano (pendientes) 4. Ubicación topográfica (exposición y altitud) 5. Características edáficas (suelos muy erosionables) 6. Cobertura vegetal (escasa) 	
ANTRÓPICOS	<ol style="list-style-type: none"> 1. Degradación de la cobertura vegetal natural (por sobrepastoreo, deforestación o agricultura). 2. Ocupación de terrenos aluviales (por expansión urbana, o expansión de la frontera agrícola). 3. Deficiente infraestructura (por diseño inadecuado, falta de mantenimiento). 4. Deficiente organización institucional frente a eventos (prevención, mitigación o contingencia). 	

Tabla N° 2: Factores naturales y antrópicos que condicionan la vulnerabilidad hidrogeológica del NOA.

Las condiciones naturales se refieren esencialmente a las características fisiográficas del área, que como se ha desarrollado en la primera fase, son en general y en especialmente

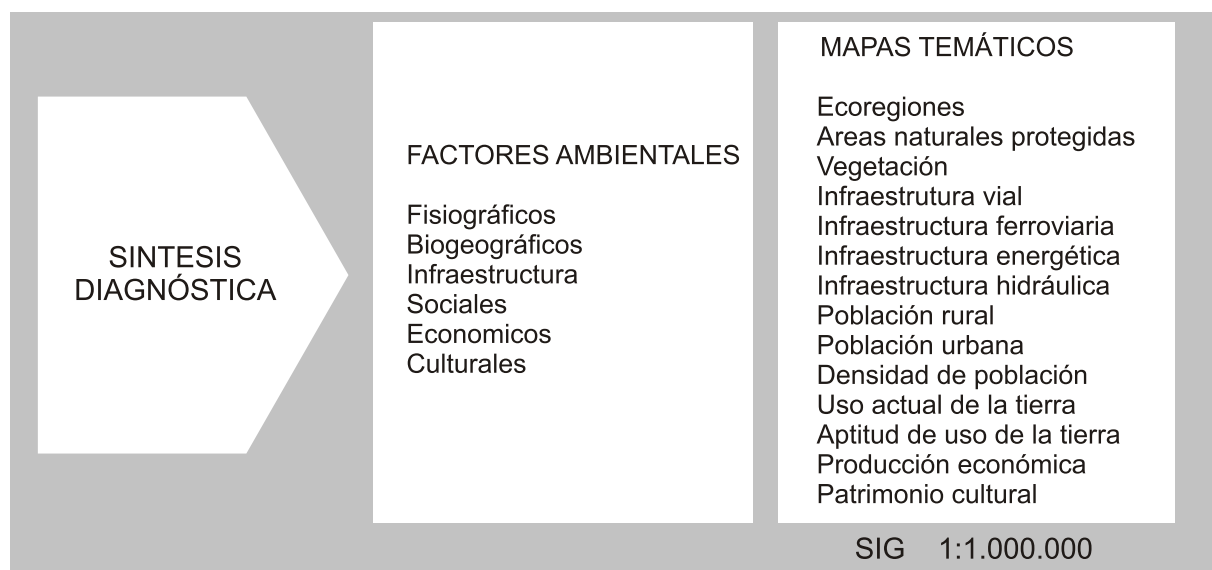


Figura N° 4: Síntesis de la caracterización ambiental del NOA

en ciertos sectores del territorio, favorables para la ocurrencia de eventos geohidrológicos de importancia. Por otro lado, la modalidad de ocupación del territorio en el NOA, así como las actividades que allí se desarrollan, también confluyen a generar un incremento de la probabilidad de ocurrencia de eventos. Existe un cierto sinergismo entre los factores, sean naturales o antrópicos, en condicionar eventos de mayor gravedad.

Para evaluar ello, los resultados de esta fase se lograron mediante el desarrollo de un modelo de vulnerabilidad que busca identificar cualitativamente los sectores más críticos frente a la potencial ocurrencia de distintos peligros geohidrológicos presentes en el NOA. Para ello se definen un conjunto de indicadores sobre la base de los resultados de la caracterización ambiental obtenidos (resultados 1 Fase), y se los integra mediante funciones de transformación con la ayuda de un sistema de información geográfico en escala 1:1.000.000. La combinación de los distintos indicadores permitió definir áreas vulnerables en base a la identificación de la mayor susceptibilidad relativa (i.e., áreas sensibles).

El esquema predictivo del Modelo Espacial de Vulnerabilidad Regional está basado, por un lado, en los lineamientos teóricos existentes sobre desastres naturales, especialmente el concepto de vulnerabilidad y su relación e interdependencia con los de peligro y riesgo (DDRMA, 1991); y por otro, con los factores condicionantes o causales de los eventos geohidrológicos existentes en el NOA. La implementación del modelo utiliza indicadores para sintetizar la información existente de un modo explícito, sobre la base de la selección de aquellas variables relacionadas con los factores condicionantes de la vulnerabilidad hidrogeológica en el NOA.

El modelo espacial de vulnerabilidad espacial

define 4 Indices mediante los cuales se identifican y categorizan los elementos presentes en el territorio del NOA (Ver Tabla 3) , susceptibles de ser afectados por algún evento hidrogeológico y que han sido valorados en función de su importancia patrimonial, estructural o funcional, dando lugar a los siguientes indices a: (ver tabla N°3)

Debe recalarse que las valoraciones son relativas y útiles en el contexto del NOA, ya que ellos surgen como resultado de la interpretación de aquellos rasgos fundamentales de la región tal como se han sintetizado la primer fase de la EAR. La aplicación de este modelo al territorio del NOA permite generar cuatro mapas de vulnerabilidad referidos a los distintos componentes ambientales (IVE, IVSE, IVI y IVSP).

1. Indice de vulnerabilidad ecológica (IVE):

1.a. Biodiversidad por ecoregión (BE): valora las distintas ecoregiones del NOA en función de su importancia para conservación basada en la diversidad ecológica y de especies, grado de

CLASE	VALOR
Chaco	6
Yungas	8
Monte	8
Puna y prepuna	6
Altos andes	4

endemismo y singularidad biogeográfica. Los valores se han ajustado de (Bertonatti y Corcuera, 2000 y Vides-Almonacid y col.; 1998).

1.b. Areas especiales de conservación (AEC): valora aquellos sectores del territorio que han sido definidos como Parques nacionales,

INDICE DE VULNERABILIDAD	INDICADORES	A
1. ECOLÓGICA	1.a. Biodiversidad por ecoregiones. 1.b. Areas especiales de conservación.	IVE
2. SOCIAL	2.a. Densidad poblacional departamental. 2.b. NBI departamental. 2.c. Producto bruto provincial per cápita. 2.d. Patrimonio cultural.	IVSE
3. DE LA INFRAESTRUCTURA	3. Infraestructura existente en el territorio.	IVI
4. DEL SISTEMA PRODUCTIVO	4.a. Aptitud productiva de las tierras. 4.b. Actividades de minería y petróleo.	IVSP

Tabla N° 3: Modelo espacial de vulnerabilidad hidrogeológica regional del NOA. A: abreviatura.

reservas provinciales, áreas prioritarias de conservación y humedales (varios autores, especialmente Bertonatti y Corcuera, 2000 y APN).

CLASE	VALOR
ANP nacional o internacional	10
ANP provincial	9
Áreas prioritarias	7
Humedales	7

El Índice IVE se calcula según el siguiente modelo (Ver Figura 5)

$$IVE = BE \times 0,4 + AEC \times 0,6$$

ÍNDICE DE VULNERABILIDAD ECOLÓGICA

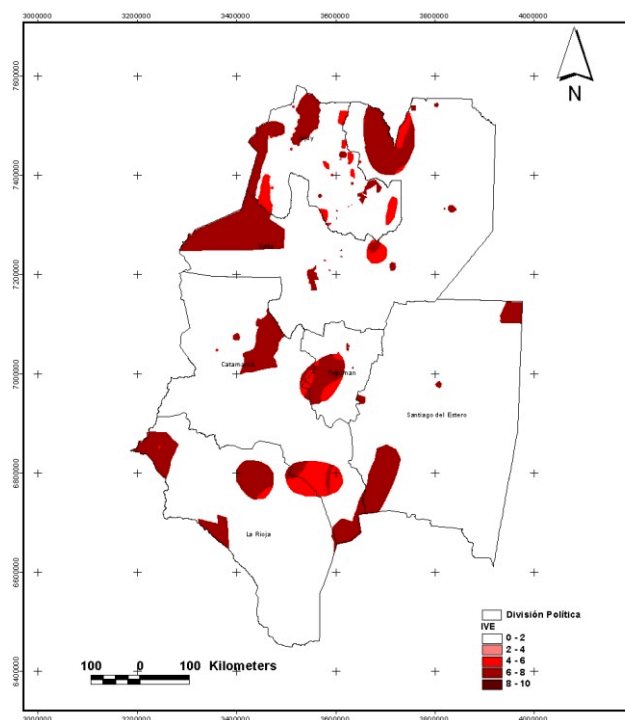


Figura N° 5: Modelo de vulnerabilidad espacial: Índice de vulnerabilidad ecológica (IVE).

Valores altos de IVE identifican aquellos sectores del territorio valiosos desde un punto de vista de su importancia para la conservación de la biodiversidad regional. Debe considerarse que los eventos geohidrológicos son disturbios naturales que contribuyen a mantener una cierta estructura y funcionamiento de los ecosistemas naturales en el territorio. Sin embargo, debido a la gran modificación del territorio debido a las distintas actividades humanas, los sistemas

naturales son porciones relativamente pequeñas y aisladas entre sí, por lo que la dinámica natural a escala regional está condicionada por los factores antrópicos. Es por esto que las áreas naturales protegidas, y otras áreas de importancia para la conservación de la diversidad, se ha considerado vulnerables a ciertos eventos que pudieran afectarlos en su estructura o funcionamiento.

2. Índice de vulnerabilidad socioeconómica (IVSE):

2.a. Densidad poblacional departamental (DPD): Valora los departamentos en función de la densidad de la población en habitantes por Km².

CLASE	VALOR
< 50	2
50 a 100	5
> 100	10

2.b. NBI departamental (NBID): Valora a los departamentos de cada provincia del NOA en función del porcentaje de la población con necesidades básicas insatisfechas (NBI).

CLASE	VALOR
< 5	2
5 a 10	5
> 10	10

2.c. Producto bruto provincial per cápita (PBIC): Valora cada provincia según su producto bruto per cápita.

CLASE	VALOR
< 2.500	10
2.500 a 5.000	5
> 5.000	2

2.d. Patrimonio cultural (PC): valora la presencia de sitios históricos o grupos aborígenes (por departamento) en la región del NOA.

CLASE	VALOR
Existe	10
No existe	0

El Índice IVSE se calcula según el siguiente modelo:

$$IVSE = DPD \times 0,25 + NBID \times 0,50 + PBIC \times 0,15 + PC \times 0,10$$

Valores altos de IVSE identifican aquellos sectores del territorio en donde una mayor

proporción de la población residente es susceptible de ser afectada por un evento hidrogeológico (Ver **Figura N° 6**).

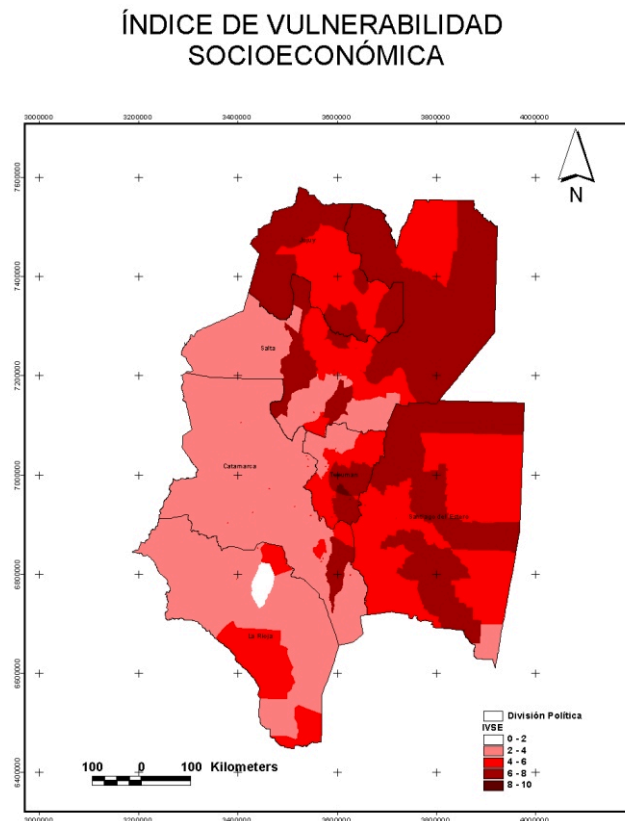


Figura N°6: Modelo de vulnerabilidad espacial: Índice de vulnerabilidad socioeconómica (IVSE).

3. Índice de vulnerabilidad de la Infraestructura (IVI): Altos valores de I corresponden a aquellos sectores del territorio cuya infraestructura es muy importante para el funcionamiento regional o tiene una mayor susceptibilidad de ser afectada (i.e., perder su funcionalidad) por un evento hidrogeológico (Ver **Figura N° 7**).

CLASE	VALOR
Rutas Nacionales	7
Rutas provinciales	5
Caminos secundarios	2
FFCC	2
Gasoductos	5
Oleoductos	5
Infraestructura urbana	10
Presas	10

4. Índice de vulnerabilidad del sistema productivo (IVSP): Altos valores de IVSP corresponden a aquellos sectores del territorio con una mayor aptitud productiva o con una

ÍNDICE DE VULNERABILIDAD DE LA INFRAESTRUCTURA

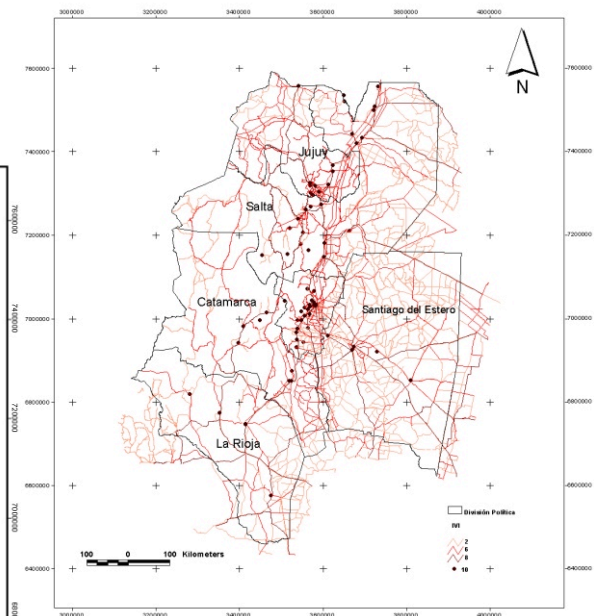


Figura N° 7: Modelo de vulnerabilidad espacial: Índice de vulnerabilidad de la infraestructura (IVI).

infraestructura rural económicamente más valiosa y de mayor importancia regional (Ver **Figura 8**).

Los mapas elaborados muestran los sectores del

CLASE	VALOR
I. Tierras con riego	10
A. Agrícola	8
Minería	8
Petroleo	8
AG/GA. Agrícola ganadera	6
F. Forestal	6
G1 y G2. Ganadera alta carga	4
G3 y G4. Ganadera baja carga	2
L. Laguna	2
Sa. Salinas	2
R. Roca	1

territorio que presentan los elementos más susceptibles frente a un evento hidrogeológico. Obviamente no todos ellos están igualmente expuestos frente a los peligros existentes en la región. El rápido crecimiento demográfico, la migración urbana, los patrones de tenencia de la tierra, la falta de educación, la agricultura de subsistencia en tierras marginales, y otros factores conducen a condiciones vulnerables tales como la ubicación insegura de asentamientos humanos, hogares inseguros, deforestación, marginalidad económica y bajos niveles de educación. La interconexión entre estas condiciones vulnerables y los peligros geohidrológicos generan un efecto sinérgico que

ÍNDICE DE VULNERABILIDAD DEL SISTEMA PRODUCTIVO

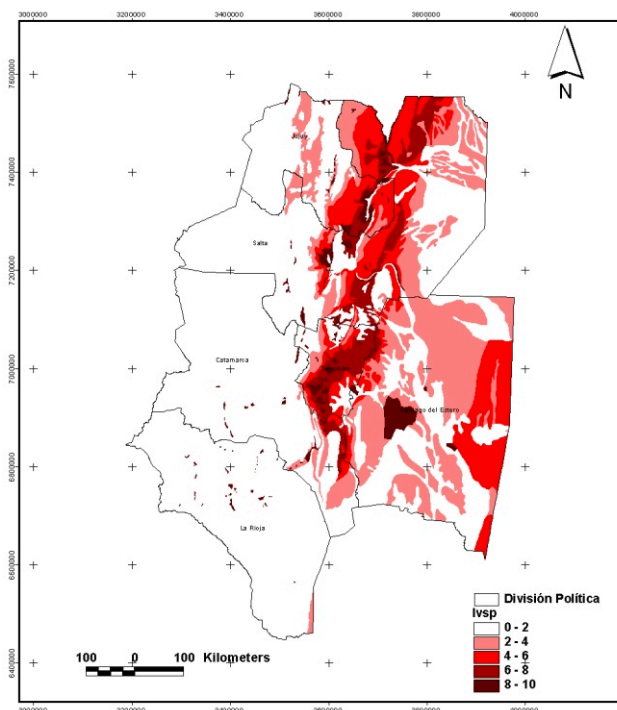


Figura N°8: Modelo de vulnerabilidad espacial: Índice de vulnerabilidad del sistema productivo (IVSP).

potencia la magnitud de los desastres

Complementariamente durante esta fase se desarrolló una evaluación ambiental de los riesgos geohidrológicos en el NOA, considerando por un lado sus características, y por otro, sus consecuencias ambientales.

La Tabla 4 presenta la síntesis de la evaluación de las características de los distintos eventos geohidrológicos según su Intensidad (I), Extensión (E), Duración de sus efectos (D), Probabilidad de ocurrencia (P) y Reversibilidad (R). Valores altos indican una mayor gravedad debido a las consecuencias que el evento tiene sobre la población, sus bienes y sus actividades.

EVENTO		CARACTERIZACIÓN DEL EVENTO				
		I	E	D	P	R
IT	INUNDACIÓN TORRENCIAL	8	5	2	5	10
IF	INUNDACIÓN FLUVIAL	5	8	8	5	5
ID	INUNDACIÓN POR DERRAME	2	10	10	5	2
RM	REMOCIÓN EN MASA	10	2	2	2	10

Tabla N°4: Caracterización de los distintos eventos geohidrológicos presentes en el NOA. Intensidad (I), Extensión (E), Duración (D), Probabilidad de ocurrencia (P) y Reversibilidad (R)

La Tabla 5, en cambio, resume los Impactos ambientales de un evento geohidrológico sobre el medio biofísico, sobre el sistema social, el medio construido y el sistema productivo. Dependiendo de la naturaleza del evento, estos impactos tendrán una mayor importancia, ya sea por su intensidad, extensión, duración, etc.; que se traducirá en mayores pérdidas eventuales de vidas, daño a la propiedad, interrupción de actividades, secuelas psicológicas y sociales, etc.

Dependiendo de la naturaleza del evento, estos impactos tendrán una mayor importancia, ya sea por su intensidad, extensión, duración, etc.; que se traducirá en mayores pérdidas eventuales de vidas, daño a la propiedad, interrupción de actividades, secuelas psicológicas y sociales, etc. La Tabla 6, resume la evaluación del impacto de los distintos tipos de eventos que pueden tener lugar sobre los distintos componentes ambientales (medio natural o biofísico, sociocultural, infraestructura y sistema productivo) identificados en la Tabla 5.

3 Fase: Recomendaciones para la implementación de instrumentos de gestión ambiental:

El conjunto de recomendaciones para cada área y subárea, constituyen los lineamientos generales de un Plan de Gestión Ambiental para el NOA, que incluye aspectos institucionales, gerenciales, técnicos, educativos, de comunicación y participación, etc. Esto incluye estrategias de gestión ambiental tendientes a mitigar, controlar o corregir las consecuencias negativas, así como promover y desarrollar aquellos aspectos positivos que surjan del proyecto. Este plan de gestión incluye especificaciones para la elaboración de un conjunto de programas de gestión de riesgos geohidrológicos.

El manejo de las cuencas y las actividades que allí se realicen (uso del suelo, deforestación, ganadería, minería) pueden intensificar los procesos erosivos, el movimiento de materiales,

	IMPACTO AMBIENTAL	EVENTO			
		IT	IF	ID	RM
N	Modificación de la red de drenaje.	8	5	2	10
N	Recarga de humedales.	5	8	10	2
N	Modificación del paisaje local.	10	5	8	10
N	Modificación del hábitat ecológico.	10	5	8	8
N	Rejuvenecimiento ecosistemas acuáticos.	5	10	8	2
N	Incremento de la diversidad ecológica.	5	10	2	2
N	Pérdida de patrimonio natural.	10	2	2	8
S	Pérdida de vidas.	10	2	2	8
S	Conmoción social.	8	2	10	5
S	Pérdida de bienes personales y sociales.	8	5	10	2
S	Incremento de enfermedades hídricas.	5	8	10	2
S	Incomunicación física y por telecomunicación.	8	5	10	2
S	Deterioro de la economía local.	8	5	10	2
S	Pérdida de patrimonio cultural.	10	2	5	8
C	Daño a la infraestructura rural.	10	2	8	5
C	Daño a infraestructura urbana.	10	2	8	5
P	Pérdida de productos (cosechas, animales).	10	2	8	5
P	Inconvenientes funcionamiento productivo.	8	5	10	5
P	Deterioro o pérdida de productividad del suelo.	8	2	10	2
P	Deterioro de equipamiento rural.	8	5	10	2

Tabla N° 6: Evaluación ambiental de los distintos eventos geohidrológicos en el NOA.

N: Medio natural; **S:** sistema social; **C:** medio construido; **P:** sistema productivo. **IT:** Inundación torrencial; **IF:** Inundación fluvial; **ID:** Inundación por derrame; **RM:** Remoción en masa. **Nota:** los N son ++; los demás son . Muy alto (10); Alto (8); Medio (5); bajo (2).

el tiempo de descarga, etc. y modificar las consecuencias ambientales de los episodios de inundación. Esto se utilizó como insumo para la elaboración de las medidas no estructurales de los planes de manejo y para las estrategias del Plan de Gestión Ambiental que incluya medidas de mitigación, programas de monitoreo y el fortalecimiento institucional. Estas medidas son de carácter genérico y a escala regional.

Se ha puesto de manifiesto que existen factores naturales y antrópicos que afectan la vulnerabilidad. Es evidente que deben potenciarse las medidas de control sobre los factores antrópicos, a fin de reducir al mínimo estas causales. Los factores naturales pueden ser considerados, en este contexto, en la planificación de medidas preventivas, por ejemplo, evitando ocupar territorios con una alta vulnerabilidad frente a ciertos eventos. En este sentido, se han elaborado tres escenarios posibles en los cuales se pueda desarrollar la gestión de los riesgos geohidrológicos. A partir del año 2005 las tendencias podrán encuadrarse en los siguientes escenarios: 1: Tendencial: no tomar medidas y seguir como hasta ahora; 2: estructural: basado esencialmente en medidas estructurales (i.e., obras); y 3: No estructural: centrado en la creación de una cultura del riesgo,

con soluciones estructurales complementarias y un cambio de comportamiento y estilos de uso del territorio (Gaviño Novillo, 2000).

La Tabla 7 presenta una síntesis de las causas, factores y medidas para reducir la vulnerabilidad antrópica frente a los riesgos geohidrológicos en el NOA.

4. CLASIFICACIÓN DE CUENCAS DEL NOA

La metodología empleada para la clasificación de la tipología de las cuencas del NOA se realizó en base a la estimación de algunos factores endógenos del peligro (Ver Figura 1). Para ello se desarrolló un modelo de inestabilidad territorial (Primera etapa del Ciclo) subdividiendo el territorio en cuencas y subcuencas hidrográficas significativas, y estimando para cada una de ellas un conjunto de indicadores.

Para la clasificación de las cuencas se han aplicado dos enfoques diferentes:

- a) un análisis multicriterio basado en el método de la ponderación simple que evalúa la inestabilidad territorial por una parte, y

CONSECUENCIAS AMBIENTALES (IMPACTOS)				
EVENTO	MEDIO BIÓFÍSICO	SISTEMA SOCIAL	MEDIO CONSTRUIDO	SISTEMA PRODUCTIVO
	<ul style="list-style-type: none"> • Modificación de la red de drenaje. • Recarga de humedales. • Modificación del paisaje local. • Modificación de la estructura del hábitat ecológico. • Rejuvenecimiento de ecosistemas acuáticos. • Alteración de la calidad de las aguas • Incremento de la diversidad ecológica (ecosistemas y paisajes). • Pérdida de patrimonio natural (afectación ANP) (-) <p>(En general NO son + ni -, son propios del funcionamiento natural).</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de vidas. • Conmoción social (impacto psicológico). • Pérdida de bienes personales y sociales. • Incremento de enfermedades hídricas. • Incomunicación física y por telecomunicación. • Deterioro de la economía local. • Pérdida de patrimonio cultural (histórico, arqueológico) • Incremento de la pobreza. 	<ul style="list-style-type: none"> • Daño a la infraestructura rural, caminos, ferrocarriles • Puentes, presas, embalses • canales de riego y acequias • líneas de alta tensión • tuberías (gasoductos, oleoductos) presas y azudes • Daño a infraestructura urbana: redes de agua potable, redes cloacales, desagües pluviales, líneas eléctricas de baja y media tensión, telecomunicaciones 	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de productos (cosechas, acopios, animales). • Inconvenientes en el funcionamiento productivo (labores agrícolas; movimiento de vehículos, de maquinarias, de la producción). • Deterioro o pérdida de productividad del suelo por: anegamiento, sedimentación, salinización. • Deterioro de equipamiento rural (maquinarias, silos, alambrados, etc.) • Pérdida de mercados (por no cumplimiento de compromisos comerciales).

Tabla N° 5: Impactos ambientales de un evento hidrogeológico sobre el medio biofísico, sobre el sistema social, el medio construido y el sistema productivo

CAUSAS		FACTORES ANTRÓPICOS DE VULNERABILIDAD	MEDIDAS Y RECOMENDACIONES	
GENERAL	ESPECÍFICAS		ESPECÍFICAS	GENERALES
DEFICIENTE CAPACIDAD DE LOS GOBIERNOS (LOCAL/PROVINCIAL Y NACIONAL) PARA LA GESTIÓN TERRITORIAL Y EL CONTROL DE LAS ACTIVIDADES HUMANAS	Prácticas de manejo o aprovechamiento de los recursos naturales no sustentables	DEGRADACIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL NATURAL	Manejo Integrado de cuencas Tecnologías de uso sustentable (i.e., agroforestal) Zonificación ecológica Estrategias de conservación en cabeceras de cuenca.	PLANIFICAR Y EJECUTAR EN COORDINACIÓN CON CENTROS LOCALES ESTUDIOS AMBIENTALES (HIDROLÓGICOS, ECOLOGICOS, ETC.) A LARGO PLAZO (5 A 10 AÑOS).
	Carencia o deficiencia de planes de ordenamiento territorial	OCUPACIÓN DE TERRENOS ALUVIALES	Planes de Ordenamiento territorial a escala de municipios o departamento. Planificación del desarrollo productivo sustentable (agropecuario y forestal) a escala provincial. Relocalización de viviendas hacia áreas menos peligrosas.	IMPLEMENTAR LA EVALUACIÓN AMBIENTAL ESTRATÉGICA DE LAS POLÍTICAS, PLANES Y PROGRAMAS DE DESARROLLO PRODUCTIVO, DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL O USO DEL SUELO Y DE INFRAESTRUCTURA
	Carencia o deficiencia en incluir consideraciones ambientales en el desarrollo de onfraestructura	DEFICIENCIAS EN INFRAESTRUCTURA	Implementación de los resultados de las evaluaciones de Impacto ambiental de proyectos. Desarrollo de infraestructura para control de inundaciones en áreas de riesgo. Planificación integrada y coordinación de obras hidráulicas (riego, drenaje). Desarrollo de planes de supervisión y mantenimiento de obras hidráulicas.	FOMENTAR LA CONCIENTIZACIÓN, EL COMPROMISO Y LA PARTICIPACIÓN PÚBLICA A TRAVÉS DE PROGRAMAS DE EDUCACIÓN PARA EL RIESGO HIDROGEOLOGICO.
	Deficiente coordinación institucional	DEFICIENCIAS EN ORGANIZACIÓN INSTITUCIONAL FRENTE A EVENTOS	Desarrollo de mecanismos de cooperación interinstitucional y acuerdos interjurisdiccionales. Creación de agencia regional para inundaciones. Disponibilidad de recursos económicos y humanos. Desarrollo de un sistema de información, monitoreo y alarma.	FORTALECER LA CAPACIDAD INSTITUCIONAL DEL GOBIERNO LOCAL Y PROVINCIAL EN LA PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN DEL TERRITORIO.

Tabla N° 7: Síntesis de las causas, factores y medidas para reducir la vulnerabilidad antrópica frente a los riesgos geohidrológicos en el NOA

b) la aplicación de un método específico que evalúa la susceptibilidad a la erosión de cada cuenca y que es tratado en forma separada.

En el primer caso, el modelo para el análisis de la inestabilidad territorial se basa en la determinación de dos grupos de indicadores agrupados según dos componentes:

- Componente ecológica: que integra las características de la cobertura de la cuenca y la intensidad del uso del suelo actual (Ver Fig.9).

- Componente fisiográfica: que integra los aspectos inherentes la inestabilidad geológica y a las características del relieve (Fig.10).

El análisis y cruce de dicha información se ha desarrollado en una escala de 1:1.000.000 en base al procesamiento de datos provisto por el SIG ya implementado. De esta manera, la matriz de decisión para el análisis multicriterio fue elaborada en base a indicadores compuestos, asignando un peso del 70 % para la componente fisiográfica, y de 30% para la ecológica.

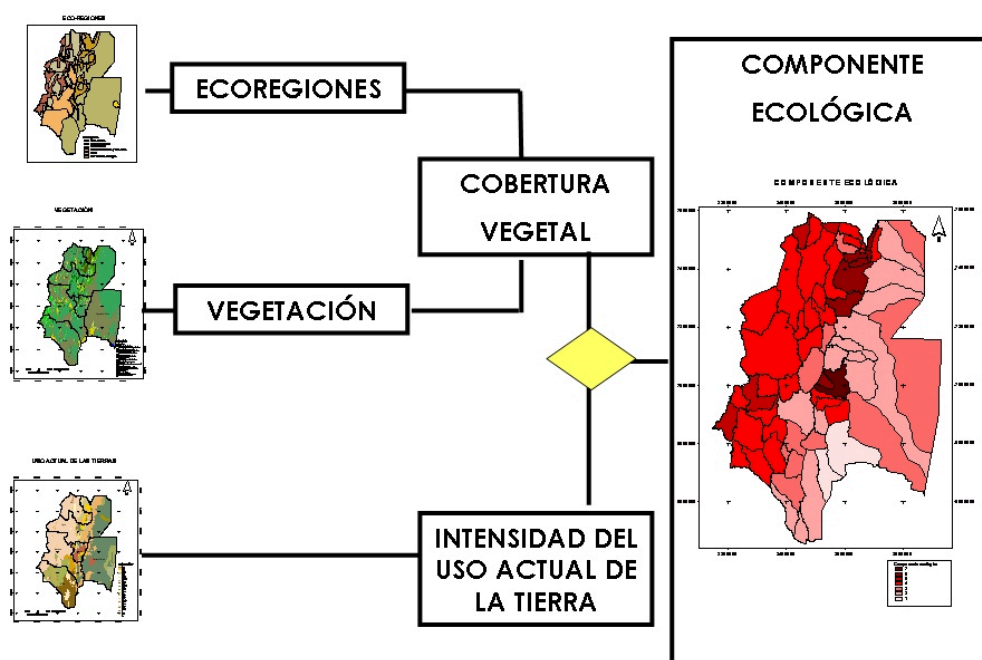


Figura N° 9: Esquema conceptual para la construcción de la componente ecológica

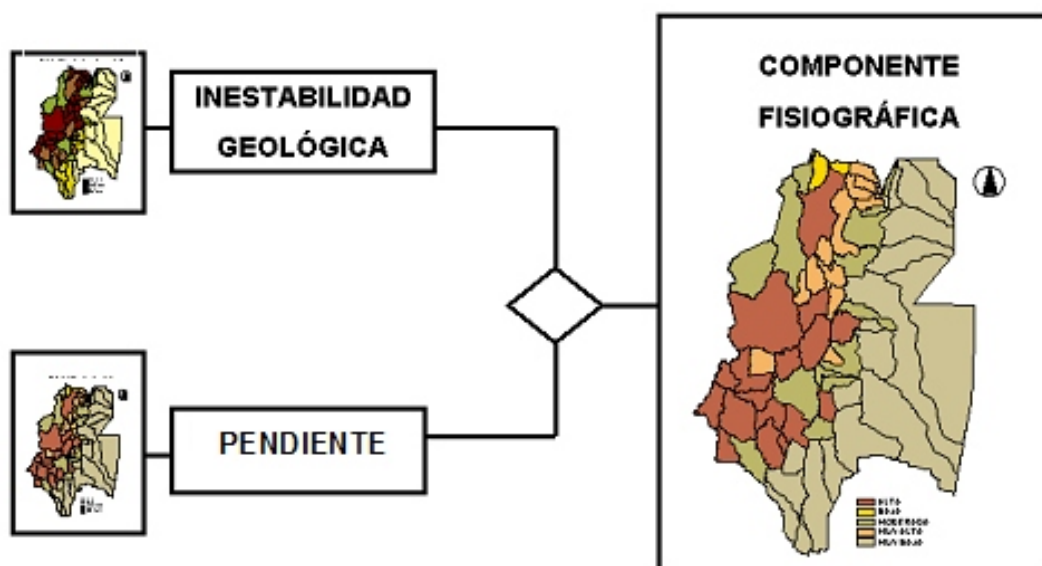


Figura N° 10: Esquema conceptual para la construcción de la componente fisiográfica

		Componente ecológica (30%)				
		Muy baja	Baja	Moderada	Alta	Muy alta
Inestabilidad fisiográfica	Muy baja	1,00	1,45	1,90	2,35	2,80
	Baja	2,80	3,25	3,70	4,25	4,70
	Moderada	4,2	4,70	5,00	5,60	6,20
	Alta	5,60	6,20	6,80	7,20	7,80
	Muy alta	7,80	8,40	9,00	9,60	10,00

cuencia se ha calculado un valor SE (susceptibilidad a la erosión). El valor de SE estaría indicando la posibilidad que existe en cada una de las cuencas de que se produzcan procesos erosivos (Ver **Figura N°12**)

El mapa resultante (Ver **Figura N°11**) permite evidenciar los diferentes tipos de cuencas en el NOA, desde una perspectiva de los peligros geohidrológicos en cada una de las 64 subcuencas y únicamente a efectos de una comparación relativa entre las mismas según el siguiente criterio:

Tipo de Cuenca	Inestabilidad territorial
A	Cuencas de muy baja inestabilidad o estables
B	Cuencas de baja inestabilidad
C	Cuencas de moderada inestabilidad
D	Cuencas de alta inestabilidad
E	Cuencas de muy alta inestabilidad

A esta clasificación posteriormente se suma la resultante del análisis de la susceptibilidad a la erosión para lograr una caracterización tipológica complementaria.

La información empleada surgió de las siguientes cartas temáticas: mapa hipsográfico; modelo digital del terreno; mapa de pendientes; mapa de las características geológicas; mapa de la red hidrográfica, mapa de precipitaciones medias anuales, mapa de la cobertura vegetal y ecoregiones, y mapa de uso actual del suelo.

Complementariamente al análisis de la inestabilidad territorial, se analizó la totalidad del peligro (factores exógenos y endógenos) a fin de considerar las precipitaciones para la clasificación de las 64 subcuencas. Para ello se utilizó una simplificación de la expresión de Gavrilovic (Gavrilovic, S., 1959; Gavrilovic, Z., 1988) que corresponde a un método empírico que se compone de dos partes: la producción media anual de sedimento por erosión superficial (W) y el coeficiente de redepositación o de retención de sedimentos (R), calculando para cada

Las diferencias que surgen de ambos modelos claramente se deben a la consideración o no de las precipitaciones. No obstante ello, es importante tener en consideración que un importante sector del NOA en la Puna posee una gran inestabilidad intrínseca, y que los fenómenos hidrogrogeológicos son menos relevantes debido a las bajas precipitaciones que en esos sectores se manifiestan. Pero debe considerarse que con un criterio preventivo se debe prestar especial atención a estos sectores frente a la definición de estrategias de minimización de los riesgos geohidrológicos.

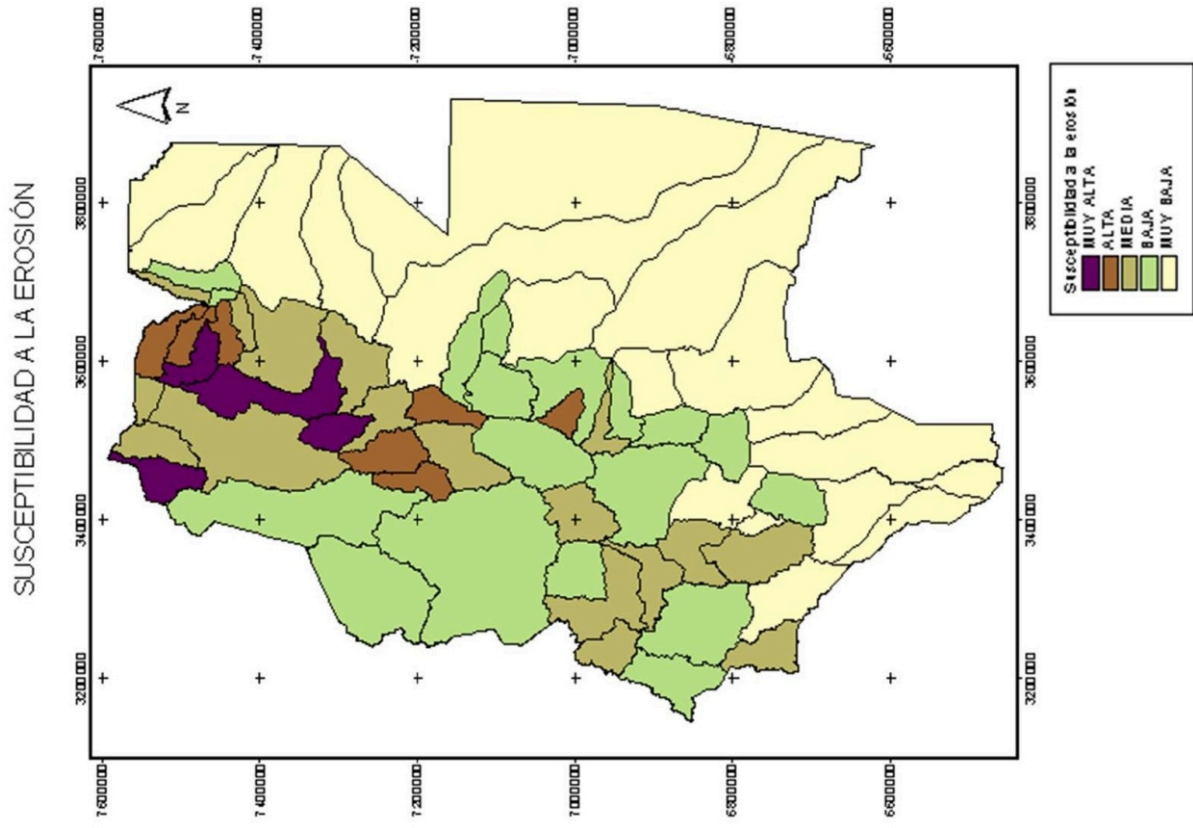


Figura N° 12: Susceptibilidad a la erosión de las cuencas del NOA

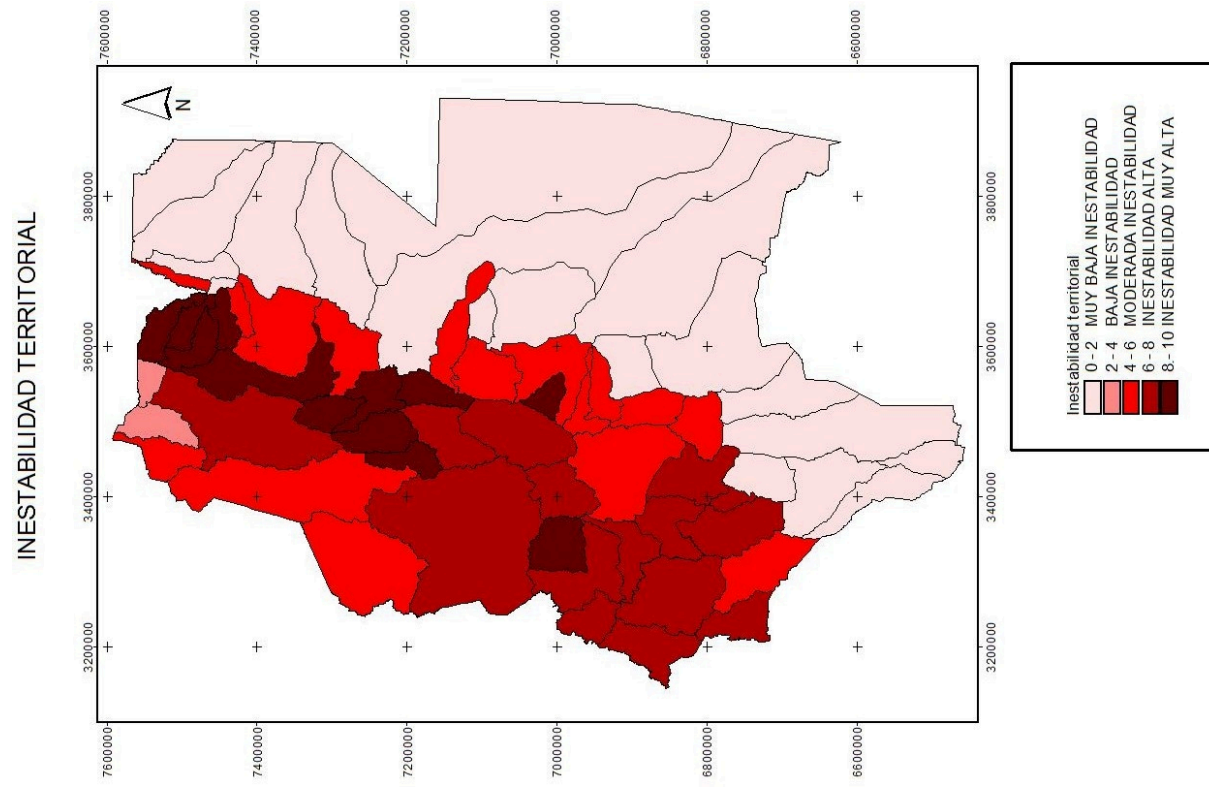


Figura N° 11: Inestabilidad territorial de las cuencas del NOA

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

En el contexto de la evaluación ambiental regional (EAR) del NOA se ha desarrollado una síntesis diagnóstica y se han identificado tanto los factores naturales como antrópicos que incrementan la vulnerabilidad potencial del NOA frente a eventos geohidrológicos. El modelo conceptual evidencia que tanto la peligrosidad como la vulnerabilidad contribuyen a incrementar el riesgo.

En el caso de fenómenos naturales la peligrosidad está dada esencialmente por el comportamiento (errático o incierto) de los procesos naturales causantes de los eventos (geohidrológicos o de otra naturaleza). Si bien se pueden y deben desarrollar mecanismos e instrumentos par incrementar nuestra capacidad predictiva, a fin de prevenir mayores daños debido a estos fenómenos, es claro que pueden obtenerse importantes resultados en el control y mitigación de desastres, disminuyendo la vulnerabilidad frente a ellos. Este es incluso necesario y efectivo, frente a la eventual situación del incremento de la peligrosidad de los fenómenos geohidrológicos debido a procesos de cambio climático global o regional (como la dinámica del fenómeno del Niño).

A la vez, se ha puesto de manifiesto que existen factores naturales y antrópicos que afectan la vulnerabilidad. Es evidente que deben potenciarse las medidas de control sobre los factores antrópicos, a fin de reducir al mínimo estas causales. Los factores naturales pueden ser considerados, en este contexto, en la planificación de medidas preventivas, por ejemplo, evitando ocupar territorios con una alta vulnerabilidad frente a ciertos eventos.

Incorporar proyectos regionales para lograr una reducción de la vulnerabilidad y enfrentar las consecuencias ambientales de los riesgos geohidrológicos, implica la definición de un conjunto de objetivos específicos, tales como lograr:

- Una amplia adopción de los criterios de prevención y mitigación en los asentamientos humanos, fortaleciendo a las instituciones responsables del sector.
 - La diseminación de una eficiente y oportuna alerta temprana para agilizar la respuesta de los servicios de emergencia.
 - El fortalecimiento de los mecanismos de coordinación a nivel regional, provincial, municipal y de la comunidad.
- Potenciar las capacidades existentes en

cada Provincia.

- Difundir experiencias adquiridas en proyectos pilotos de mitigación y preparación mediante el empleo de medidas estructurales y no estructurales.
- El fortalecimiento continuo de la planificación en preparativos para casos de desastre frente a la ocurrencia de eventos geohidrológicos extremos.
- Fortalecer la capacidad institucional de respuesta y de reducción de la vulnerabilidad de las instituciones provinciales y otras entidades del sector a través de un Programa Regional de Mitigación, Preparación y Respuesta frente a riesgos geohidrológicos.
- Reducir la vulnerabilidad frente a desastres en los proyectos de rehabilitación y reconstrucción de la infraestructura básica de saneamiento (agua, cloacas y residuos) afectada por inundaciones, así como promover entre la población la creación de una cultura de prevención de riesgos
- Contribuir a reducir la vulnerabilidad de los asentamientos humanos y de la infraestructura mediante el establecimiento de instrumentos efectivos de ordenación y regulación del territorio.
- Contribuir a la capacitación de las comunidades locales frente a los preparativos, atención y mitigación de riesgos geohidrológicos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Banco Mundial, 1991. Libro de consulta de evaluación ambiental. Vol. I y II. Departamento de Medio Ambiente, Trabajo Técnico No. 139.
2. Banco Mundial, 1996, Regional environmental assessment, Update Environmental Assessment Sourcebook N 15, Washington.
3. Bertonatti, C. y J. Corcuera, 2000. Situación Ambiental Argentina 2000. 2da. Ed., Fundación Vida Silvestre Argentina, Buenos Aires, R. Argentina. 435 pags.
4. Brown, A. D. y H. R. Grau. 1993. La naturaleza y el hombre en la selva de montaña. Proyecto GTZ Desarrollo Agroforestal en Comunidades Rurales del Noroeste Argentino. Salta, R. Argentina. 143 pags.
5. CEPAL/ILPES/PNUMA, 1986. La dimensión

ambiental en la planificación del desarrollo, Tomo 1. Grupo editor latinoamericano, Buenos Aires.

6. DDRMA (Departamento de Desarrollo Regional y Medio Ambiente), 1991. Desastres, planificación y desarrollo: manejo de amenazas naturales para reducir los daños. Organización de los Estados Americanos. Washington, DC, 80 pags.

7. Díaz, D., Samudio, R., Mora, H. 2000 Determinación de la Vulnerabilidad y Estimación de Daños Ante los Desastres Naturales en los Centros Educativos en la República de Panamá; Afilación: Universidad Tecnológica de Panamá, Centro de Proyectos.

8. Gaviño Novillo, J.M. 1996. La proyectación de planes de manejo de cuencas. Un caso en la República Argentina. Acti del Corso Sviluppo e Gestione dei bacini idrografici, ILLA, Roma.

9. Gaviño Novillo, M., Sarandón, R; 1997) Evaluación Ambiental Regional de la Normativa de Usos para Tierra Mayor y Rio Olicia. CFI. Informe Final. Bs.As.

10. Gaviño Novillo, M., Sarandón, R; 1998. Evaluación de Impacto Ambiental. Apuntes de clases. PRODIA-BID. Bs.As.

Gaviño Novillo, M. 2000. Visión del agua para América del Sur, Documentos básicos elaborados para JVP Consultores, Buenos Aires.

11. Gaviño Novillo, J.M. 2001. Apuntes del Curso de Gestión Integrada de Cuencas Hidrográficas con particular énfasis en Zonas Áridas y Semiáridas, Catamarca 5 al 8 de noviembre de 2001, Universidad Nacional de Catamarca.

12. Gaviño Novillo, M., Sarandón, R; 2001^a. El uso de indicadores ambientales y de intervención en la gestión ambiental, Actas del V Seminario Ingeniería y Ambiente: Indicadores ambientales, Documentos del Departamento de Hidráulica, H.Doc.N 3, Universidad Nacional de La Plata, La Plata

13. Gaviño Novillo, M., Sarandón, R; 2001b. Evaluación ambiental regional, Estudio Regional de Riesgos Geohidrológicos del Noroeste Argentino, Estudio E3 para BETA Studio-ENEL Hydro, Inédito

14. Gavrilovic S. (1959) Methode de la classification des bassins torrentiels et equations nouvelles pour le calcul des hautes eaux et du debit solide, Vadoprivreda, Belgrado, 1959

15. Gavrilovic Z (1988) The use of an empirical

method (Erosion Potential Method) for calculating sediment production and transportation in unstudied or torrential streams, Wallingford, England.

16. Morris, P. and R. Therivel (Ed), 1995. Methods of Environmental Impact Assessment. UCL Press Ltd.; London. 378 pgs.

17. Munn, R. E. (Ed.), 1975. Environmental Impact Assessment: Principles and Procedures. SCOPE No.5. UNESCO.

18. Organización Panamericana de la Salud. Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud. "Mitigación de Desastres en las Instalaciones de la Salud. Aspectos Generales. Volumen 1".

19. Schnack, J. y col.; 1995. Estudios ambientales regionales para el proyecto de control de inundaciones. Informe Final. Ministerio del Interior. Sub Unidad de Coordinación para la emergencia. 149 pags. + Anexos.

20. Varnes, D. (1984) Landslide hazard zonation, A review of principles and practice, Natural hazards N° 3, UNESCO, Paris.

21. Wathern, P. (Ed.), 1990. Environmental Impact Assessment. Theory and Practice. Routledge, London, England. 332 pp.

22. Weitzenfeld, H. (Ed.), 1990. Manual básico sobre evaluación del impacto en el ambiente y la salud de proyectos de desarrollo. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud, Programa de Salud Ambiental, OPS, OMS, Metepec, México, 198 págs.

LA ECOHIDROLOGÍA Y ALGUNAS HERRAMIENTAS ESPECÍFICAS

SITIO DEMOSTRATIVO LAGO LÁCAR: APLICACIÓN DEL ENFOQUE ECOHIDROLÓGICO EN EL MANEJO INTEGRADO DE UNA CUENCA (NEUQUÉN, R. ARGENTINA)

Ramiro Sarandón¹, J. Marcelo Gaviño Novillo²; Daniela Muschong¹, Verónica Guerrero Borges¹

¹Gabinete de Ecometría - Facultad de Ciencias Naturales y Museo - Universidad Nacional de La Plata (sarandon@fcnym.unlp.edu.ar)

²Departamento de Hidráulica - Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de La Plata (marcelo.g@ing.unlp.edu.ar)

1. INTRODUCCIÓN

El Sitio Demostrativo del Lago Lacar (SDL) es uno de los ocho sitios seleccionados por el Programa de Ecohidrología del Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO a escala mundial en los cuales se cuenta con experiencias demostrables de la aplicación de los principios del enfoque ecohidrológico a nivel de cuenca en la práctica. El sitio se ubica en el sector argentino de la cuenca del Río Huahum-Valdivia ubicada en la Provincia del Neuquén (R. Argentina) entre los 40°00' - 40°20' S y los 71°11' - 71°50' W.

La cuenca hidrográfica del río Huahum, en la cual domina la presencia del Lago Lácar, es una de las cuencas de recursos hídricos compartidos entre Chile y Argentina (**Fig. N° 1**). Tiene sus nacientes en la Provincia del Neuquén y luego atraviesa el límite internacional para drenar finalmente hacia el Océano Pacífico con el nombre de río Valdivia. Esta cuenca, es una de las más importantes desde un punto de vista socioeconómico de la Ecorregión Andino Patagónica (Burkart et al. 1999), siendo un buen ejemplo de las condiciones naturales y socioeconómicas reinantes de la misma, lo que ha llevado a seleccionarla como una de dos cuencas prioritarias para una gestión integrada en el marco del Protocolo Adicional de Recursos Hídricos compartidos entre la República Argentina y la República de Chile (DNRH-UNLP 1997; Gaviño Novillo, Cielli 1997; Gaviño Novillo, 1999; Sarandon et al. 2006).

El mayor desafío que se enfrenta en el SDL es el manejo sustentable de una cuenca representativa de la Ecorregión Andino Patagónica. Esto implica un mejoramiento sensible de las políticas de uso del territorio y los recursos naturales para que se apoyen en evidencia científica, aplicando el enfoque ecohidrológico (Zalewski et al. 1997); los principios de la gestión integrada de cuencas; las teorías de la ecología del paisaje; la evaluación ambiental estratégica, todo ello empleando herramientas modernas como los sensores remotos y los Sistemas de Información Geográfica; y la planificación regional participativa. (Sarandon et al. 2006).

El proyecto fue diseñado e implementado inicialmente de manera conjunta por la entonces Dirección Nacional de Recursos Hídricos y la Municipalidad de San Martín de los Andes para contribuir a la mitigación de inundaciones en el área urbana de San Martín de los Andes (la mayor localidad dentro del SDL), la reducción de la erosión y la restauración de algunos servicios ecosistémicos (calidad del agua y del paisaje regional), sobre la base de los principios de la ecohidrología, pero por sobre todas las cosas para demostrar que es posible llevar a cabo una reducción del riesgo de las inundaciones mediante el uso de "ingeniería blanda" por medio de una combinación del uso de las fitotecnologías y medidas no estructurales (Gaviño Novillo, 2010). Las fitotecnologías son soluciones técnicas de bajo costo basadas en el uso de la vegetación nativa (plantas, pasturas), y otros recursos locales (rocas, leña) (Gaviño Novillo 2003; Sarandon et al. 2006). Los servicios ecosistémicos son los beneficios que la sociedad obtiene de los ecosistemas naturales (sus componentes o procesos) tales como purificación del agua y del aire, la regeneración de la fertilidad del suelo, la mitigación de sequías e inundaciones, la polinización de cultivos, la regulación del clima, la provisión de sitios de belleza natural y motivación espiritual entre otros (Daily et al. 1997).

El enfoque ecohidrológico asume que el control de los procesos biocenóticos es posible a través de la regulación de la hidrología por la biota y viceversa (Zalewski 2000). En el caso del SDL el control de los procesos de erosión puede mejorar la calidad del agua en la red de drenaje y el propio lago Lacar debido a una menor carga de sedimentos y nutrientes arrastrados hacia los ríos y el lago que podría resultar en la eutrofización del ecosistema acuático y la contaminación del agua usada para consumo humano. Por otro lado el mantenimiento de la cobertura forestal en sectores específicos de la cuenca además de reducir la erosión, contribuye a mejorar la calidad estética del paisaje y el desarrollo de las actividades económicas asociadas (turismo).

En este trabajo, se presenta una revisión sintética de las principales características, actividades e intervenciones llevadas a cabo en el SDL

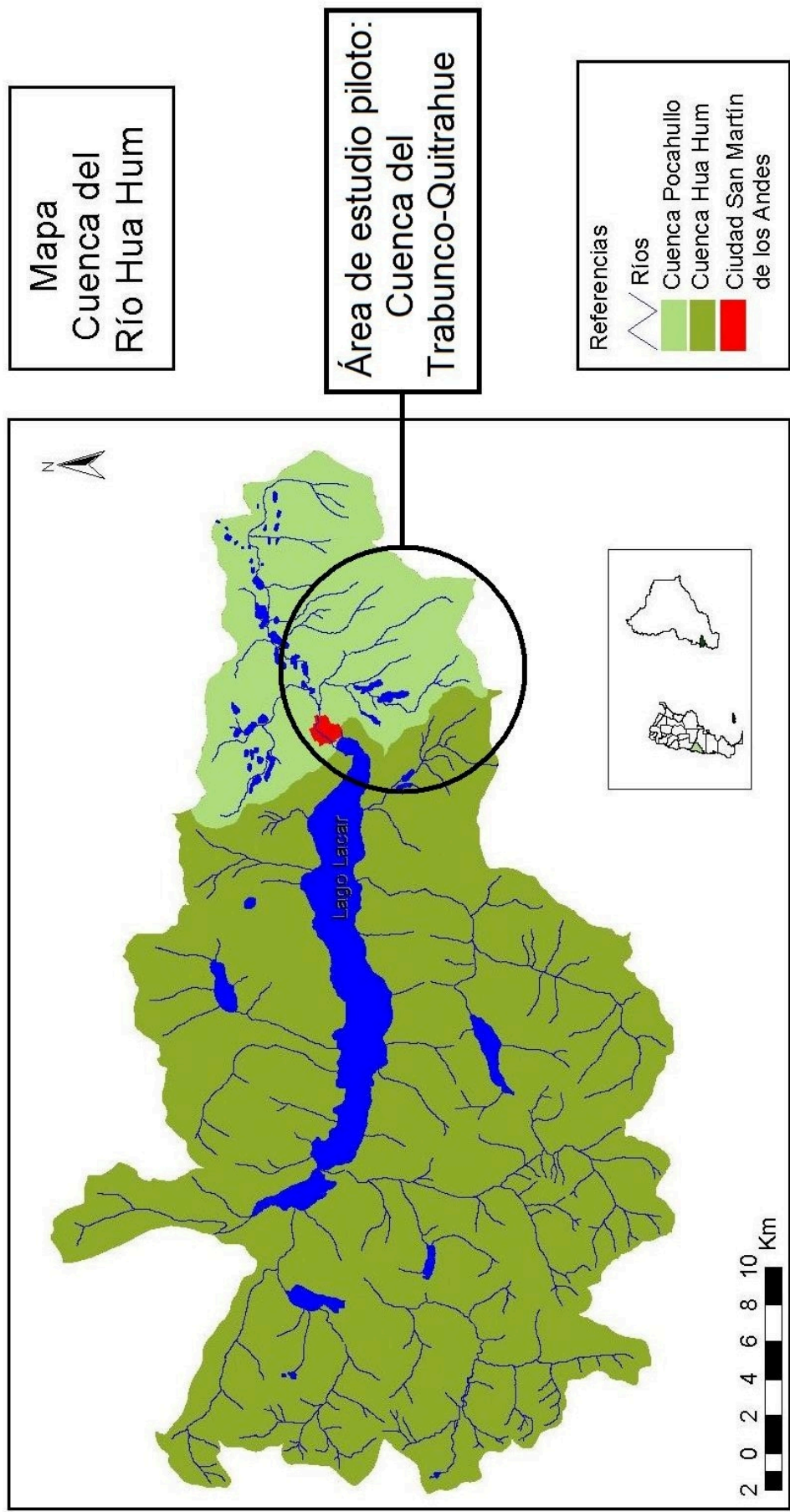


Figura N° 1. Cuenca hidrográfica del Río Huahum, con el Lago Lacar en el centro de la misma, se indica el área de estudio piloto de la cuenca de los Arroyos Trabunco y Quitrahue.

mediante intervenciones basadas en evidencia científica. En dichas actividades participaron numerosos profesionales e investigadores provenientes de varias instituciones a lo largo de los últimos 20 años (Gaviño Novillo 2003; Sarandon et al. 2006), incluyendo autoridades gubernamentales, instituciones académicas y actores locales ("stakeholders"). Entre ellos vale mencionar al gobierno municipal de San Martín de los Andes; la Administración de Parques Nacionales (Delegación Técnica e Intendencia del Parque Nacional Lanín); la Dirección General de Recursos Hídricos de la Provincia de Neuquén; la Dirección Provincial de Medio Ambiente; la Subsecretaría Nacional de Recursos Hídricos de la Nación y el Comité Nacional para el Programa Hidrológico Internacional de la Argentina (CONAPHI); habitantes de San Martín de los Andes (propietarios, turistas, pescadores); comunidades de pueblos originario; la Universidad Nacional de La Plata (Facultad de Ingeniería y Facultad de Ciencias Naturales y Museo) así como la Universidad Nacional del Comahue por medio del Centro Regional Universitario Bariloche (CRUB, Bariloche; Río Negro, R. Argentina) y el Agrupamiento Universitario San Martín de los Andes (AUSMA).

2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA

El SDL está localizado en la Ecorregión Andino Patagónica que se desarrolla a través del borde oriental de los Andes cubriendo una superficie de 36.189 km² (Burkart et al. 1999; Di Pace 1992). La Ecorregión es considerada como un gran ecosistema definido sobre la base de las condiciones climáticas y topográficas prevalentes que comparten una historia geomorfológica y presentan similares comunidades bióticas y ecológicas que las distinguen de otras regiones (Burkart et al. 1999). A pesar de su extensión latitudinal, la ecorregión Andino patagónica muestra cierta uniformidad en sus rasgos naturales y en el uso del suelo, y es afectada por similares eventos climáticos que generan episodios de inundaciones con diversas consecuencias sobre el ambiente natural y socioeconómico.

Las condiciones climáticas regionales son templadas, con una temperatura media anual de 10.1 °C (630 m.s.n.m.), variando desde 3.6 °C en julio a 16.2 °C en enero (DNRH-UNLP 1997). Existe un importante gradiente desde el Oeste hacia el Este. La precipitación anual varía de 4.000 mm cerca del borde con Chile a menos de

800 mm en la parte oriental de la cuenca. El paisaje ha sido modelado por procesos glaciares durante la era cuaternaria, modificado posteriormente por procesos fluviales y eólicos. La mayor parte de los suelos se originan en cenizas volcánicas, con colores oscuros y una baja capacidad de retención de agua (UNC 1995). Ecológicamente el área pertenece al Distrito Subantártico de Bosques Templados Deciduos de Valdivia dominado por diferentes especies del género *Nothofagus*. La vegetación leñosa cubre las zonas montañosas hasta una altura de 1.600 m.s.n.m., en donde comienzan los pastizales de altura (Gaviño Novillo, Castañeda 1995; Muschong, Sarandón 2006).

La cuenca del Lago Lacar/Río Huahum hasta la frontera tiene una superficie de 1056 km², con un rango de altitudes que varían de entre 2.394 y 630 m.s.n.m. (Gaviño Novillo, Cielli 1997). Numerosos arroyos y ríos bajan de las zonas montañosas de la cuenca hacia el Lago Lacar para de allí drenar a través del río Huahum hacia Chile, con un caudal medio anual estimado en 50 m³ seg⁻¹. Durante el verano la temperatura media anual en el lago varía entre 14 °C y 4.4 °C a una profundidad de 70 m. El Lacar es un Lago monomictico, templado, ultraoligotrofico a oligomesotrofico, con tiempo de residencia de 5.8 años (SSRH 1995).

En la cuenca del Lago Lacar hay dos sectores bien definidos con diferentes características tanto en sus aspectos ecológicos como socioeconómicos (Muschong et al. 2005). La mayor parte del sector occidental de la cuenca del Huahum (80%) está bajo jurisdicción de los Parques Nacionales Lanín y Nahuel Huapi. El manejo en este sector se orienta a la protección de la naturaleza, incluyendo prácticas de manejo forestal, extracción de madera y cría de ganado en ciertos sectores definidos. La Administración de Parques Nacionales es la responsable de la implementación del plan de manejo del parque, siendo una institución clave para la implementación de cualquier resultado del proyecto del SDL.

El resto del área (20%) está ubicada directamente en cercanías de la desembocadura del río en el Lago Lacar, en la ciudad de San Martín de los Andes. Esta Ciudad de (25.000 habitantes) posee una economía basada en el turismo de invierno (práctica de esquí) y verano (caminatas, campamentos, caza, pesca, navegación) y como otras ciudades de la Ecorregión Andino Patagónica se encuentra en pleno crecimiento (duplicando su población cada 10 años) lo cual promueve la expansión de las áreas urbanas y consecuentemente de la construcción de

infraestructura de servicios tanto para la población permanente como para los turistas (Muschong, Sarandón 2006). El uso del suelo en la cuenca incluye actividades rurales (plantaciones forestales y ganadería extensiva), áreas residenciales y uno de los más importantes complejos de esquí de la Argentina (Chapelco). Las comunidades originarias de Mapuches se dedican a la cría de ganado sobre pastizales naturales en tierras de las cuales son propietarios bajo una modalidad comunitaria. Estas actividades han promovido especialmente intensos cambios en el uso del suelo en las subcuencas de los arroyos Trabunco-Quitrahue (Ver **Fig. N° 1 y 2**).

El mayor impacto se relaciona por tanto por la expansión urbana sobre los bosques nativos (deforestación), las actividades constructivas sobre áreas frágiles (ocasionando erosión y deslizamientos de tierra), incremento en la densidad poblacional (que aumenta el consumo de agua) y la contaminación del agua (por aportes de materia orgánica y nutrientes). Todo esto afecta la calidad del agua en el área protegida (incluyendo el lago), y genera conflictos sociales debido a la escasez periódica de agua para las poblaciones nativas.

3. PRINCIPALES CONFLICTOS Y OBJETIVOS DEL SDL

La principal hipótesis para el Sitio Demostrativo del Lacar es "La regulación de la hidrología de superficie (escurrimiento superficial, aportes de nutrientes y sedimentos) a escala de la cuenca, a través del uso del suelo, la cobertura vegetal y las fitotecnologías que mejora los procesos limnológicos y los servicios ecosistémicos (calidad del agua, valor estético del paisaje)" (Sarandon et al. 2006).

El sector costero del Lago Lacar, adyacente al casco urbano de San Martín de Los Andes, ha sido seriamente afectado por procesos de eutrofización asociados con la descarga de efluentes cloacales a los ríos que drenan directamente hacia el lago y la pobre circulación superficial del agua en ese sector que no contribuye a la autodepuración de las aguas. Esta área, tradicionalmente utilizada por la población residente y los turistas, fue cerrada a las actividades recreacionales debido al deterioro de las condiciones sanitarias. La implementación de políticas sistemáticas de restauración ambiental impulsadas esencialmente por el Municipio, pero acompañadas por el Estado Nacional y la Provincia en la cuenca permitió una integración

de intervenciones estructurales tendientes a la reducción de la contaminación del agua, como la planta de tratamiento de líquidos cloacales y otras intervenciones basadas en los principios de la ecología por medio del uso de las fitotecnologías y el control de los procesos de erosión que disminuyen los aportes de sedimentos y la carga de nutrientes a los ríos y al lago (causantes de la eutrofización y la contaminación del cuerpo de agua) lo cual permitió la recuperación de la calidad del agua y de manera posterior las actividades recreativas (Ver Sección 4)

La formulación de políticas y/o estrategias de manejo alternativo constituye sin duda un resultado esperado clave que permite aprender una serie de lecciones. No obstante ello el proyecto del SDL enfrenta temas relevantes tanto para el manejo sustentable del agua a escala de la cuenca como el manejo integrado de los ecosistemas para lo cual es necesario conocer la clara relación existente entre el uso del territorio y la respuesta de la cuenca hidrográfica. En este contexto, un aspecto particularmente importante es conocer los efectos de la erosión del suelo sobre la calidad del agua; y de la carga de nutrientes y sedimentos desde sectores naturales y disturbados hacia los cuerpos de agua. Tanto la eutrofización debido al aumento de la carga de nutrientes y la turbidez debida al aumento de la carga de sedimentos generan una degradación de la calidad del agua y la consiguiente pérdida de calidad recreativa del agua (olores, transparencia), un mayor riesgo sanitario (concentración de bacterias del grupo Coli en el agua), y un aumento del costo de tratamiento para potabilizarla. Estos temas son útiles para el desarrollo de estrategias de manejo y la implementación de políticas de uso del suelo para toda la cuenca de aporte (Brea et al. 1999; Gaviño Novillo 2001).

El proyecto SDL en síntesis apunta al desarrollo y difusión (demostración) e implementación del enfoque ecología y al uso de fitotecnologías para el manejo de los recursos hídricos a escala de cuenca, reduciendo los conflictos institucionales y de manejo. El objetivo principal de proyecto es "demostrar el uso de la ecología como herramienta para el manejo preventivo del agua, mejorando los servicios provistos por la cuenca y la calidad del agua, reduciendo los impactos ambientales debido al uso del suelo". Esto puede ser logrado, por ejemplo, identificando aquellos sectores del bosque y otras coberturas de vegetación nativa más importantes para el control de erosión (bosques riparios) o la capacidad de absorción de nutrientes (vegetación palustre natural),

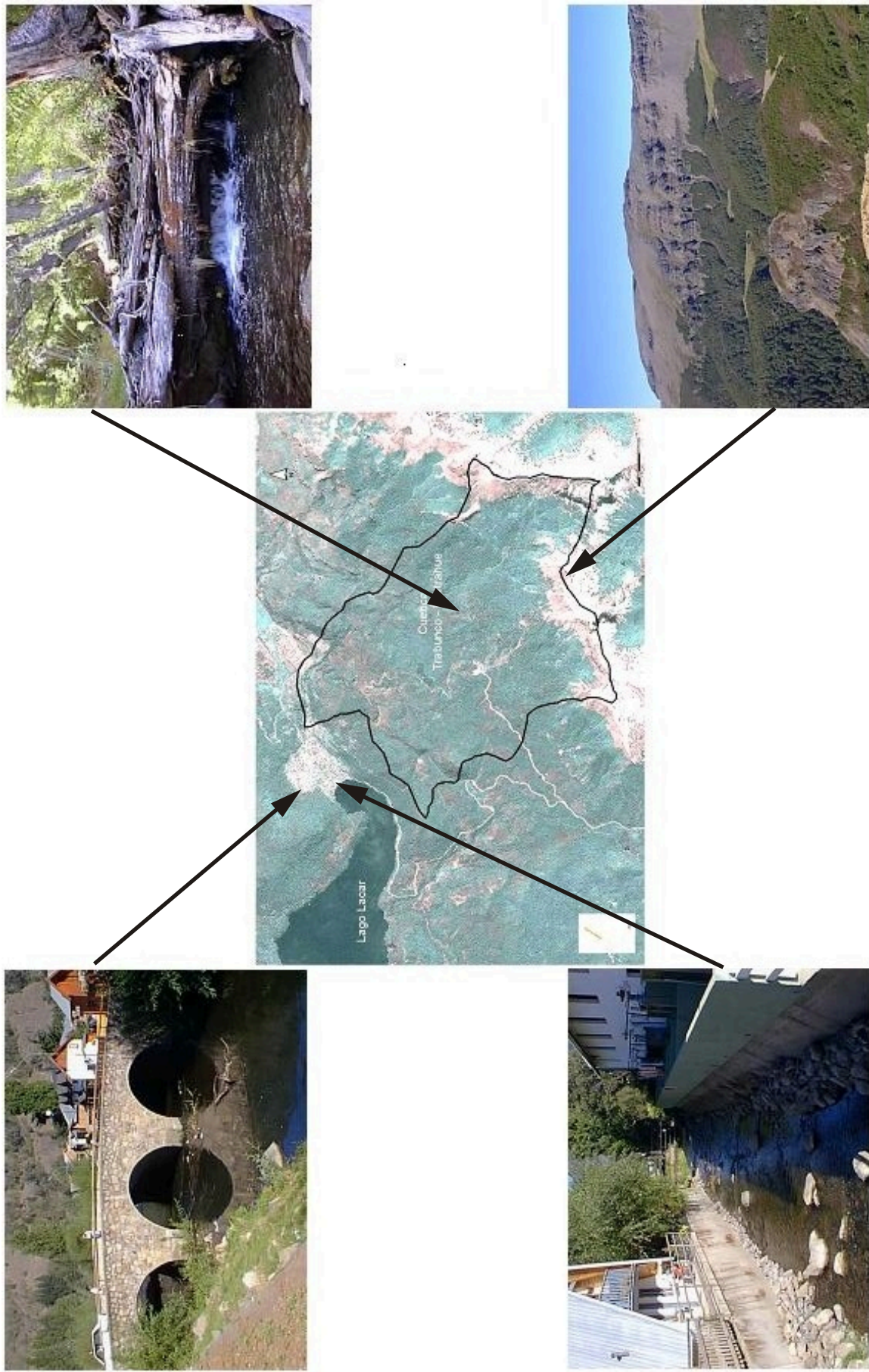


Figura N° 2: Vista general distintas secciones de la cuenca del Ao. Trabunco-Quitrahue (Fotos: Gaviño Novillo and Filippi Gilli).

proponiendo medidas específicas para el manejo y conservación a través de la regulación del uso del suelo (Ver Sección 4).

Durante la primera fase del proyecto se organizaron 2 talleres de trabajo con la población local incluyendo investigadores, tomadores de decisión (a nivel nacional, provincial y municipal), y actores locales clave ("stakeholders"), con el objetivo de priorizar los principales desafíos en la cuenca y selección potenciales intervenciones basadas en la ecología. Como resultado se identificaron las acciones críticas y los mayores conflictos (**Tabla N° 1**).

4. PRINCIPALES RESULTADOS ALCANZADOS

El objetivo de las actividades realizadas en el SDL ha sido mejorar el conocimiento científico sobre el manejo integrado de los recursos hídricos para el desarrollo sustentable del sistema de la cuenca del Lago Lacar. En los últimos años las investigaciones se orientaron a evaluar la vulnerabilidad en la provisión de los servicios ambientales provistos por los ecosistemas en la cuenca, tanto bajo las condiciones actuales como distintos escenarios de manejo (Sarandon et al. 2006).

Actividades	Conflictos
Sobrepastoreo	Erosión del suelo
Construcción de caminos	Deforestación y erosión del suelo
Expansión del complejo de esquí	Deslizamientos de suelo
Fuego	Destrucción del bosque
Contaminación del agua	Riesgos a la salud
Expansión urbana	Inundaciones, alteración del transporte y depositación de sedimentos
Deficiente manejo del agua	Conflictos por sobreuso
Uso insustentable del suelo	Conflictos sociales y económicos
Educación tradicional	Deficiente concientización sobre temas ambientales

Tabla N° 1. Conflictos seleccionados en la Cuenca del Trabunco-Quitrahue (Gaviño 1995).

Algunos conflictos clave en el SDL (DNRH-MSA 1994; Gaviño Novillo 1996; Sarandon et al. 2006) son:

- Conflictos institucionales: falta de mecanismos coherentes de manejo en diferentes áreas de la cuenca (ya sea bajo propiedad pública o privada).
- Conflictos socio-económicos entre el dinámico desarrollo de áreas para el turismo de altos ingresos y las comunidades de aborígenes que habitan los sectores bajos de la cuenca.
- Desarrollo turístico insustentable en áreas sin protección de la Cuenca (residencias, esquí, infraestructura).
- Escasez de agua en cantidad y calidad para consumo humano y actividades agrícolas en verano.
- Deterioro de la calidad del agua en áreas naturales protegidas ocasionando la degradación de su estado ecológico.

Algunos de estos temas han sido abordados en el área de estudio piloto del SDL: la cuenca de los arroyos Trabunco-Quitrahue (**Fig. N°1 y 2**; Gaviño Novillo 1996; 2001; Sarandon et al. 2006).

El análisis de las características ecológicas actuales de la cuenca del Trabunco-Quitrahue y del Lago Lacar (UNC 2006a; 2006b) indica un estado trófico ultra-oligotrófico a oligotrófico, con una fuerte variabilidad estacional en las características físicas y químicas siguiendo el régimen de precipitación y con un evidente efecto de dilución y un aumento de la carga de sedimentos en primavera (durante el deshielo). Esta condición natural es compartida por otros lagos y cuencas de la ecorregión (UNC 2006a; 2006b; Burkart et al. 1999). Las variables físicas, químicas y biológicas (fitoplancton, clorofila a, bacteriología) en 11 puntos de muestro a lo largo del río Pocahullo (que desemboca en el Lago Lacar), así como en 8 puntos de muestreo en el lago mismo, muestran un ambiente acuático típico de la Ecoregion Aandino Patagónica (UNC 2006a; 2006b). Existe un claro aumento de la carga de nutrientes (P y N) en aquellos sectores cercanos a las principales actividades antrópicas (complejo de esquí, áreas residenciales), los cuales tienen un marcado efecto sobre las condiciones ecológicas del Lago Lacar (eutrofización, turbidez, calidad recreativa del agua, degradación del agua), asociadas con el ingreso de sedimentos, nutrientes y otros contaminantes a través de la cuenca de los ríos

Trabunco y Quitrahue afluentes del Pocahullo que desemboca en el Lago Lácar.

Como parte de una Evaluación Ambiental Regional de la Cuenca del arroyo Trabunco-Quitrahue se organizó un Sistema de Información Geográfica (SIG). El SIG incluyó 19 mapas temáticos con información espacial sobre suelos, geomorfología, geología, hidrología, vegetación, uso del suelo, etc. (Muschong, Sarandón 2007; Muschong et al. 2007). El análisis de la cobertura-uso del suelo en esta área muestra un patrón de uso heterogéneo que incluye infraestructura para el turismo, áreas residenciales, actividades rurales y deportivas y las áreas naturales protegidas del Parque Nacional de Lanín. El análisis composicional multitemporal del uso del suelo muestra una marcada degradación del bosque: la superficie de bosques nativos disminuyó de 3.835 ha. en 1987 a 1.610 ha. en 2001. Este cambio fue debido a la degradación de los bosques nativos que se transformaron en bosques abiertos (disminuyendo la densidad del bosque), y la deforestación, cobertura forestal que se transformó en suelo desnudo debido al desarrollo turístico, recreacional y urbano. La superficie total deforestada fue de 888 ha. Para el período analizado (1987 a 2001), correspondiendo al 17% de la superficie de la cuenca. Los procesos involucrados incluyen al aumento de la población, al desarrollo de actividades turísticas y a la urbanización en el casco urbano de San Martín de los Andes.

Con el objeto de evaluar distintos escenarios de conservación del bosque en la cuenca del Trabunco-Quitrahue se realizó complementariamente una evaluación ecológica (Muschong 2006; Muschong et al. 2006). Se aplicó un análisis multicriterio de los remanentes de bosque utilizando distintas variables: superficie forestal, distancia a cuerpos de agua, pendiente, distancia a centros urbanos y caminos y tipo de suelo. Los criterios se especializaron, estandarizaron, pesaron y combinaron en un índice que permitió la definición de 9 escenarios diferentes (A a I). El escenario A identificó 2.891 ha. de bosque (59% de la cuenca) con cierto grado de vulnerabilidad a alguno de los criterios, mientras que el escenario B identificó solamente 18 ha. (<1%) con máxima vulnerabilidad a todos los criterios, los demás escenarios mostraron situaciones intermedias. El escenario A tiene 8.698 parches de bosque con un tamaño promedio de 0,33 ha., un índice de proximidad medio (MPI) de 13,99 y una densidad de borde (ED) de 392,44 m/ha. Los escenarios permiten la identificación de sectores de bosque con diferente grado de vulnerabilidad para los factores considerados en el análisis, siendo

complementarios unos con otros en una estrategia de conservación integral para toda la cuenca.

A fin de elaborar finalmente un mapa de vulnerabilidad de la cuenca del Trabunco-Quitrahue se desarrolló un modelo soporte para las decisiones espacialmente explícito utilizando el SIG (Muschong 2006; Muschong et al. 2006). Se utilizó una técnica de evaluación multicriterio para identificar las áreas ecológicamente vulnerables con prioridad de conservación dentro de la cuenca (Ver **Fig. N° 3**). Se utilizaron distintos criterios y factores: conservación de la biodiversidad, presión antrópica y protección del suelo y agua. Todos los criterios se especializaron y combinaron en un mapa simple de sectores prioritarios (4 categorías) para la conservación de bosques y recursos naturales. Las áreas con bosques nativos, cercanos a cuerpos de agua, en laderas pronunciadas y sobre suelos degradados o deforestados son los de mayor prioridad para su conservación.

5. ESTRATEGIAS DE MANEJO PARA EL SDL

Como se citara previamente, el principal problema del SDL, así como en muchas otras partes del mundo, es el impacto de la transformación del uso del suelo sobre la calidad del agua y los servicios ecosistémicos (DNRH-MSA, 1994; Gaviño Novillo, Castañeda 1995; Gaviño Novillo 2001; Baron et al. 2003; Sarandon et al. 2006). El aumento de la densidad poblacional, el desarrollo urbano sin una planificación a largo plazo adecuada, y la construcción de infraestructura para las actividades y servicios turísticos durante los últimos 30 años, son los principales factores que gobiernan el cambio en el uso del suelo y en la ecología del paisaje en el SDL.

Las estrategias de manejo y los proyectos de intervención implementados en el SDL (Fig. 5) para el control de la erosión, deslizamientos de suelo y restauración del río han utilizado un enfoque innovador basado en la ecohidrología y fitotecnologías (utilizando vegetación nativa, materiales locales y tecnologías de bajo costo). La Fig. 5 muestra las principales intervenciones implementadas en el SDL con el objetivo de reducir los riesgos naturales y geohidrológicos a través del control de los detritos leñosos en los ríos (por medio de presas selectivas para grandes rocas y restos leñosos), la restauración de deslizamientos de ladera, el control de la carga de sedimentos y de la erosión por medio de trampas

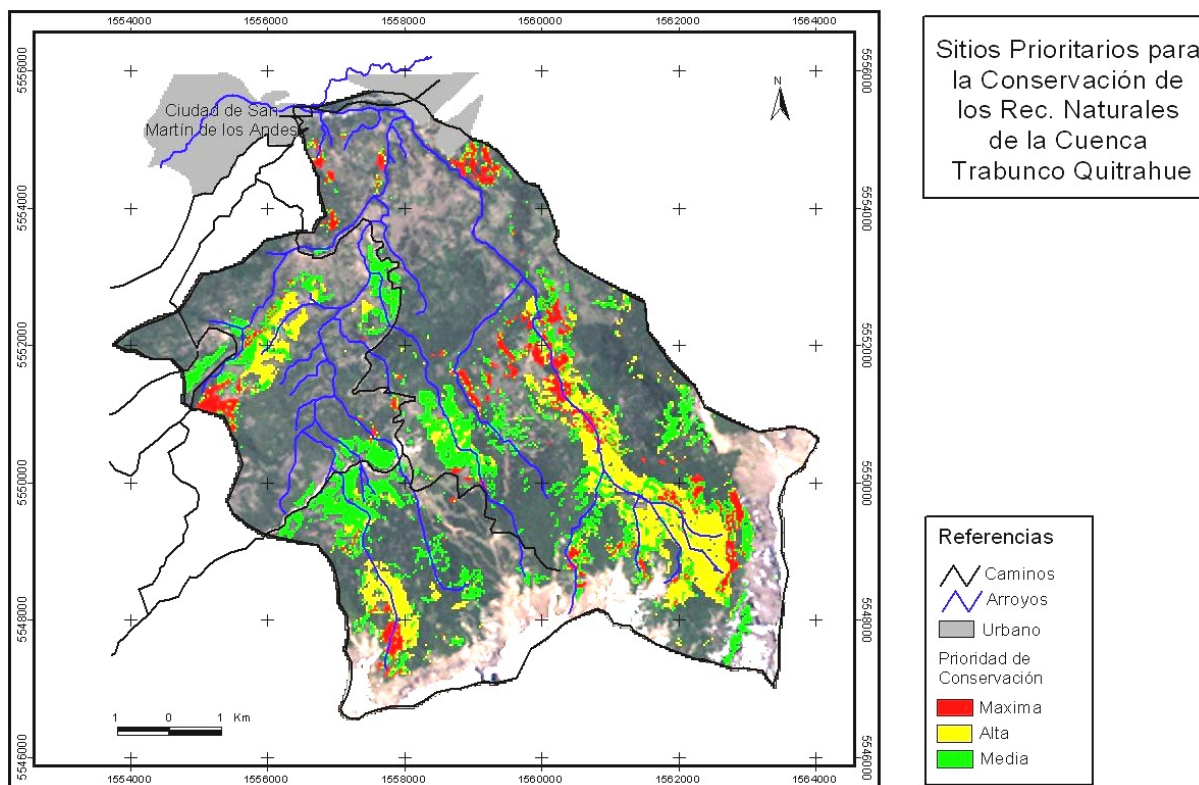


Figura N° 3: Mapa de sitios prioritarios para la conservación de los recursos naturales de la Cuenca Trabunco Quitrahue.

de sedimentos y el manejo de la vegetación, y la captura de nutrientes a través de la restauración de las márgenes del río. Los beneficios ambientales incluyen mejoras en la seguridad contra riesgos naturales, mejoras en la calidad del agua, promoción de los valores estéticos del paisaje y conservación de la biodiversidad. Estas medidas son complementarias a las plantas de tratamiento de las aguas servidas existentes y en implementación a fin de reducir la carga de materia orgánica y nutrientes hacia el Lago Lacar (Fig. 5). Más aún, estos beneficios ambientales han sido complementarios de otros beneficios socioeconómicos relacionados con las actividades turísticas, el empleo y el desarrollo económico.

Similares estrategias y enfoques pueden ser aplicadas en otras áreas de la Ecorregión Andino Patagónica, desde Villa la Angostura (Provincia de Neuquén), y San Carlos de Bariloche (Provincia de Río Negro) en el norte de la Patagonia hasta El Calafate (Provincia de Santa Cruz) y la zona de bosque de Tierra del Fuego, en la porción más austral de la misma (Sarandon et al. 2006; Di Pace 1992; Bathurst et al. 2008). Esta ecorregión comparte tanto sus rasgos naturales (áreas montañosas, modelada por procesos glaciarios de la era cuaternaria, un paisaje heterogéneo cubierto de bosques estacionales, lagos y ríos), y el desarrollo de procesos de transformación del paisaje relacionados con un

rápida aumento demográfico (mayormente por inmigración), expansión urbana, deforestación para la construcción de infraestructura (camino, edificios, servicios públicos) y una importante actividad de turismo estacional (Burkart et al. 1999; Di Pace 1992; Bathurst et al. 2008).

Otros megaproyectos, tales como minería y energía (construcción de diques y embalses) pueden incrementar la tasa de transformación e incorporar nuevas situaciones conflictivas sobre la disponibilidad o la calidad del agua. Existen varios conflictos potenciales por el agua, entre diferentes actores y usuarios, tanto a nivel local como regional. Algunos de ellos serán por la asignación en el uso del agua entre los megaproyectos de importancia nacional (minería, energía), versus demanda local para el desarrollo urbano, el turismo, la industria local, las actividades agropecuarias (riego) o el consumo humano (agua potable para las poblaciones).

6. CONCLUSIONES

En los últimos 20 años de investigación e implementación en el SDL, se han aprendido varias lecciones, las más importantes son:

La implementación de nuevas tecnologías en el campo requiere la

comprensión previa y la adquisición del enfoque que sustenta las estrategias (fundamento teórico) por parte de los investigadores y autoridades locales.

-El involucramiento de los actores locales ("stakeholders") tiene que ser planificado desde el inicio de las actividades de investigación debido a que ellos necesitan tiempo para comprender y aceptar nuevos métodos de manejo del territorio y pueden contribuir al desarrollo de ellos.

-Las autoridades locales deben ser parte del proceso de desarrollo a fin de ajustar los resultados de las investigaciones a las condiciones locales.

-Una experiencia es exitosa si, una vez que la implementación ha sido ejecutada,

las autoridades y actores locales se apropian de ella.

-La incorporación de los aspectos sociales tiene que ser hecho a través del desarrollo de actividades específicas (y no como subproducto de otras actividades), y debe estar basado en la activa participación y liderazgo de los actores locales ("stakeholders").

El mayor desafío que enfrenta la aplicación de la Ecohidrología a situaciones reales está en definir la forma y oportunidad de transferir información y conocimientos desde las instituciones académicas a los actores y autoridades locales ("stakeholders") que debiera ser en un formato o esquema adecuado a los tomadores de decisión. Una buena comunicación y colaboración en el

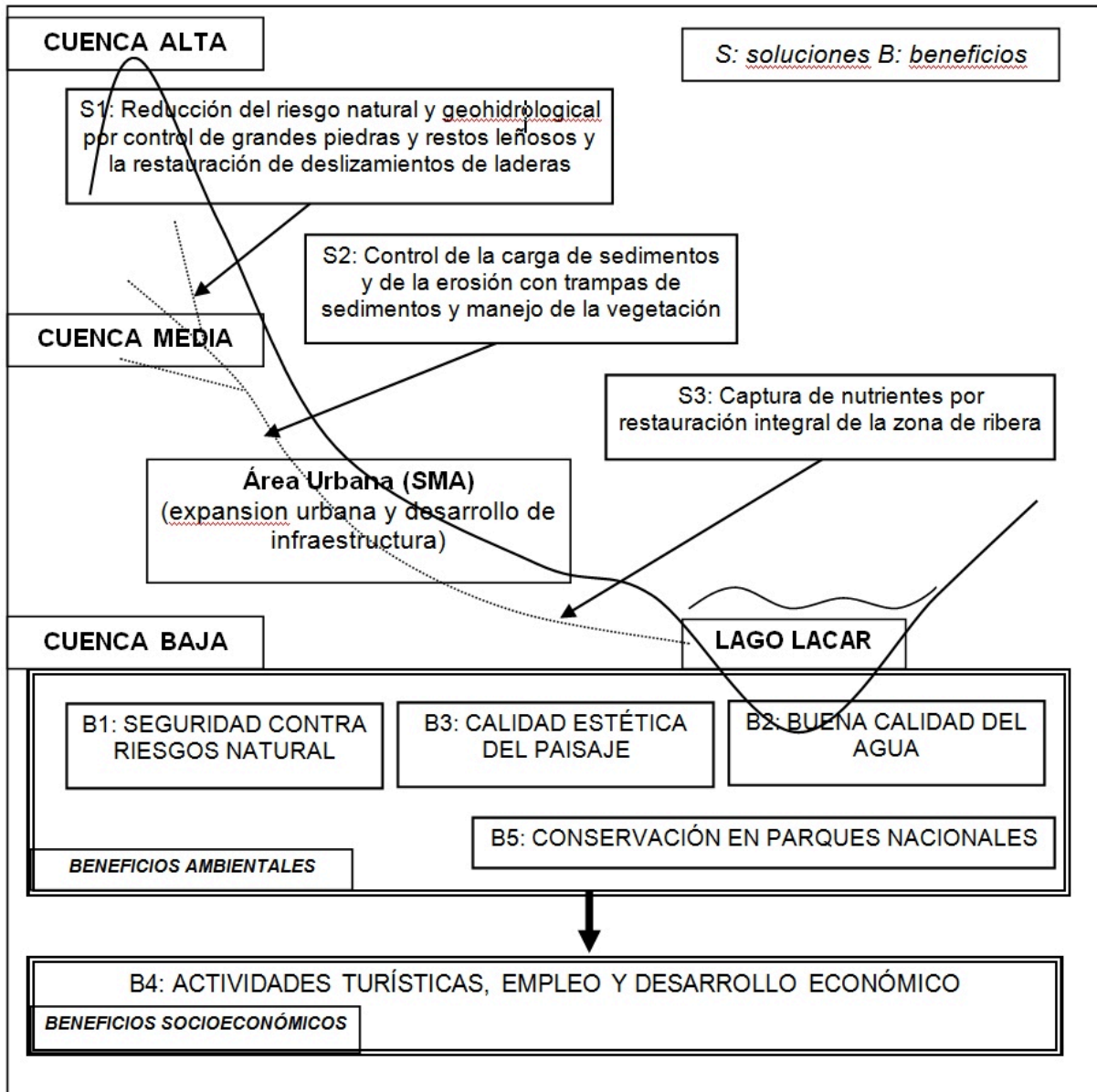


Figura N° 4: Modelo conceptual del Sitio Demostrativo del Lago Lacar (Neuquén, R. Argentina) mostrando las soluciones y beneficios de la intervención Ecohidrológica (Modificado de Sarandon y col, 2009).



Figura 5.1: Restauración de deslizamientos, antes (1996; izquierda) y después (2001; derecha) de la implementación.



Figura 5.2: Restauración íntegra del Río Pocahullo.

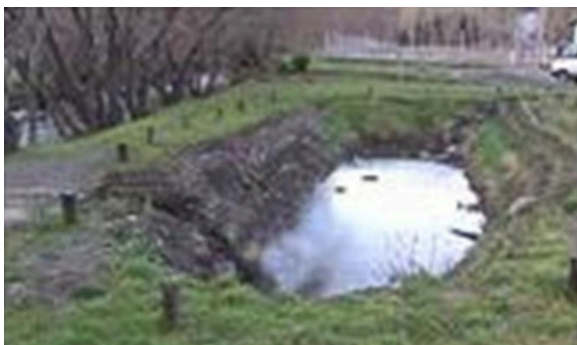


Figura 5.3: Humedal artificial para el control de los sedimentos y de la calidad del agua.



Figura 5.4: Presa selectiva para la retención de grandes piedras y restos leñosos (izq.) y área de retención de sedimentos aguas abajo (der.)

Figura N° 5: Implementación de la Ecohidrología y fitotecnologías en el Sitio Demostrativo del Lago Lacar (Fotos Gaviño Novillo)

trabajo de campo, con desarrollo de seminarios y actividades educativas, es un buen punto de partida para una mejor interacción. La percepción ambiental de las comunidades locales es esencial para la implementación exitosa de las medidas concretas en el mundo real.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo permanente de la población y autoridades locales de San Martín de los Andes (provincia del Neuquén), y el apoyo financiero de la UNESCO - PHI (Programa Regional de Ecohidrología) y de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP, Programa de Investigación de la Secretaría de Ciencia y Tecnología).

7. BIBLIOGRAFÍA

- Baron, J.S., LeRoy Poff, N., Angermeier, P.L., Dahm, C.N., Gleick, P.H., Hairston, N.G., Jr., Jackson, R.B., Johnston, C.A., Richter, B.D., Steinman, A.D. 2003. Sustaining Healthy Freshwater Ecosystems. *Issues in Ecology 10*; Ecological Society of America, Washington, USA, 18 pp.
- Bathurst, J.C., Amezaga, J., Cisneros, F., Gaviño Novillo, M., Iroumé, A., Lenzi, M.A., Mintegui Aguirre, J., Miranda, M., Urciuolo, A. 2008. *Forests and Floods in Latin America: Science, Management and the Epic Force Project. EPIC FORCE (Evidence-based Policy for Integrated Control of Forested River Catchments in Extreme Rainfall and Snowmelt)*. INCO-CT2004-510739. <http://www.ceg.ncl.ac.uk/epicforce/>
- Brea, D., Gaviño N. J.M.; Spalletti, P. 1999. Erosion risk assessment in a Southern Patagonian basin. *International Symposium EROSLOPE, European Union, University of Padova, Italy.*
- Burkart, R., Bárbaro, N.O., Sánchez, R.O., Gómez, D.A. 1999. *Eco-regiones de la Argentina, Secretaría de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable, Buenos Aires, 42 pp.*
- Daily, G.C., Alexander, S., Ehrlich, P.R., Goulder, L., Lubchenco, J., Matson, P.A., Mooney, H.A., Postel, S., Schneider, S.H., Tilman, D., Woodwell, G.M. 1997. *Ecosystem Services: Benefits Supplied to Human Societies by Natural Ecosystems. Issues in Ecology 2*; Ecological Society of America, Washington, USA, 18 pp.
- Di Pace, M. 1992. *Las Utopías del Medio Ambiente. Desarrollo Sustentable en la Argentina. Bibliotecas Universitarias. Centro Editor de América Latina. Bs.As. 42 pp.*
- DNRH-UNLP (Dirección Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos - Laboratorio de Hidrología). 1997. *Estudio y caracterización de los recursos hídricos compartidos con la República de Chile. Convenio Secretaría de Obras Públicas y Comunicaciones del Ministerio de Economía y Obras Públicas de la Nación - Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata. La Plata.*
- DNRH-MSA (Dirección Nacional de Recursos Hídricos - Municipalidad de San Martín de Los Andes). 1994. *Plan de ordenamiento de la cuenca de los arroyos Trabunco-Quitrahue. Diagnóstico preliminar. Convenio Secretaría de Obras Públicas y Comunicaciones de la Nación - Municipalidad de San Martín de los Andes. Primer documento, San Martín de los Andes.*
- Gaviño Novillo, J.M. 1995. *Plan Director de las subcuencas de los arroyos Trabunco - Quitrahue Conclusiones del Taller. Informe de Avance IV. San Martín de los Andes. 3, 4 & 5, Mayo, 1995.*
- Gaviño Novillo, J.M. 1996. *La proyectación de planes de manejo de cuencas. Un caso en la República Argentina. Acti del Corso Sviluppo e Gestione dei Bacini Idrografici. Cuadernos IILA. Serie Cooperación N° 6. Roma, 1996.*
- Gaviño Novillo, J.M. 2001. *The use of eco-hydrology in a watershed management program in southern Patagonia, Ecohydrology & Hydrobiology, 2, 105-112.*
- Gaviño Novillo, J.M. 2003. *The complexity of participation in watershed management, UNEP International Conference on Integrated Watershed Management, 3 World Water Forum, Kyoto, Japan.*
- Gaviño Novillo, J.M., Castañeda, S. 1995. *Plan director de las subcuencas de los arroyos Trabunco - Quitrahue. IV Jornadas Forestales Patagónicas. San Martín de los Andes, 24 al 27 de octubre.*
- Gaviño Novillo, J.M., Cielli, P. 1997. *Land Information System for lake management in shared water resources between Argentina and Chile, 7° International Conference on Lakes Management, ILEC, San Martín de los Andes, October.*
- Muschong, D. 2006. *Elaboración de un sistema espacializado soporte para las decisiones para la cuenca del Trabunco-Quitrahue (Neuquén, R. Argentina). In: Sarandón et al., Unesco-PHI. Part B: 15 pp.*
- Muschong, D., Sarandón, R. 2006. *La cuenca de los arroyos Trabunco-Quitrahue: Evaluación ambiental regional. In: Sarandón et al., UNESCO-PHI. Part B: 14 pp.*
- Muschong, D., Sarandón, R. 2007. *Análisis de los cambios en el uso del suelo de las cuencas de los Arroyos Trabunco-Quitrahue entre 1987 y 2001. XII Congress of Spanish Teledetection Association. Mar del Plata, R. Argentina.*
- Muschong, D., Sarandón, R., Gaviño Novillo, J.M. 2005. *Evaluación ambiental regional aplicada a unidades de manejo del territorio. Third International*

Conference on "Interdisciplinary approach for Regional Planning (CIFOT-FFyL, UNC). Mendoza.

Muschong, D., Guerrero Borges, V., Sarandón, R. 2006. Evaluación ecológica de escenarios de conservación en la cuenca del Trabunco-Quitrahue, provincia de Neuquén, R. Argentina. Resúmenes de la Reunión Argentina de Ecología, Mendoza, R. Argentina.

Muschong, D, Sarandón, R., Gaviño Novillo, J.M. 2007. Cambios en el uso del suelo en dos subcuencas de la Ecoregión de los Andes Patagónicos – provincia de Neuquén, R. Argentina. Sixth National University Scholars Meeting (VI Expouniversidad), La Plata, R. Argentina.

Sarandón, R.; J. M. Gaviño N.; D. Muschong; V. Guerrero Borges. 2009. Lacar Lake Demonstration Project for Ecohydrology: Improving land use policy at Lacar Lake Watershed based on an Ecohydrological approach (San Martín de los Andes – Neuquén – R. Argentina). Ecohydrology and Hydrobiology: Sarandon, R., Gaviño Novillo, J.M., Muschong, D. 2006. Integrated Management of the Lacar Lake Watershed Lacar Lake Demonstration Project UNESCO Program – PHI of Ecohydrology.

SSRH (Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación). 1995. Catálogo de Lagos y Embalses de la Argentina. Buenos Aires.

UNC (Universidad Nacional del Comahue). 1995. Mapa de suelos. Cuenca Trabunco-Quitrahue. Convenio con UNC - AUSMA y Municipalidad de San Martín de los Andes - Dirección Nacional de Recursos Hídricos.

UNC (Universidad Nacional del Comahue). 2006a. Análisis del agua de los Arroyos Quitrahue y Trabunco (San Martín de los Andes, Pcia. del Neuquén, R. Argentina). Universidad Nacional del Comahue (CRUB – GECAyRA; May/06), pp. 9.

UNC (Universidad Nacional del Comahue). 2006b. Estado trófico actual del Lago Lacar y el Arroyo Pocahullo y sus principales afluentes (San Martín de los Andes, Pcia. del Neuquén). Universidad Nacional del Comahue (CRUB – GECAyRA; October/06). pp. 23.

Zalewski, M. 2000. Ecohydrology-the scientific background to use ecosystem properties as management tools toward sustainability of water resources. Guest Editorial, Ecological Engineering 16, 1-8.

Zalewski, M., Janauer, G.A., Jolankai, G. [Eds] 1997. Ecohydrology: A new paradigm for the sustainable use of aquatic resources. International Hydrological Programme UNESCO, Paris, Technical Document in Hydrology 7.

Trabajo basado en Sarandón, R. et al, 2009.

(Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura)

BRAZO AÑA CuÁ: ENFOQUE ECOHIDROLÓGICO PARA DEFINIR EL RÉGIMEN DE CAUDALES

Cecilia LUCINO, Sergio LISCIA, Mercedes DEL BLANCO, Mauricio ANGULO

Laboratorio de Hidromecánica Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP), Argentina
clucino@ing.unlp.edu.ar,
soliscia@ing.unlp.edu.ar,
mercedes.delblanco@ing.unlp.edu.ar,
mauricio.angulo@ing.unlp.edu.ar

RESUMEN

La necesidad de satisfacer la demanda de energía para hacer frente a la crisis del sector en nuestro país, plantea desafíos para el caso de los aprovechamientos hidroeléctricos que podrían aportar mayor volumen de energía al sistema a expensas de limitar la disponibilidad del recurso para otras necesidades. En este contexto, el presente trabajo aborda la problemática de un complejo energético actualmente en operación, en el cual algunos aspectos ambientales no fueron tenidos en cuenta desde su concepción y que, por ende, requirió de una modificación en las normas de manejo de los caudales erogados posteriormente a su puesta en operación. En particular, en el caso que motiva este trabajo, los impactos están vinculados a la alteración de los procesos ecológicos naturales en los medios acuático y terrestre y a la posible afectación de la pesca comercial y el turismo, así como a los servicios ambientales que presta el cuerpo de agua en cuestión, en su condición de proveedor de agua potable y receptor de las descargas cloacales y tributarios que aportan su caudal proveniente del lavado de suelos cultivados. El enfoque con el cual se ha encarado el problema consiste en considerar el significado ecológico de los atributos de la serie hidrológica, para diseñar una metodología de toma de decisión de los caudales a erogar, sobre una base diaria, que incorpora el valor, en términos de energía no generada, de la satisfacción de necesidades no energéticas. La metodología propuesta propone un criterio adaptativo para su implementación, ya que requiere seguir avanzando en la comprensión de los aspectos ecohidrológicos que caracterizan al río Paraná en esta zona, a partir del monitoreo y registrar en forma sostenida los cambios que se operan a nivel cultural en el área de estudio para evaluar su influencia sobre el medio natural.

1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El estudio que dio lugar a este trabajo se ha realizado en el marco del asesoramiento que las Universidades Nacionales de La Plata (UNLP) y Misiones (UNAM) llevan a cabo para la Entidad Binacional Yacyretá, de las Repúblicas Argentina y Paraguay. El Laboratorio de Hidromecánica de la Facultad de Ingeniería (UNLP) y el Centro de Estudio para la Energía y el Desarrollo (UNAM), son las unidades ejecutoras de un proyecto que tiene como objetivo la ampliación del parque de generación de la Central Hidroeléctrica existente y contempla otros aspectos referidos al equipamiento hidromecánico existente.

El Complejo Hidroeléctrico Yacyretá es una central "de paso", emplazada en la cuenca media del río Paraná, en un tramo en el que este río es compartido entre Paraguay, en margen derecha y Argentina en margen izquierda. Su brazo Principal (BP) es la restitución de la central hidroeléctrica, donde descargan los caudales de las veinte turbinas y del vertedero principal. El brazo Aña Cuá (BAC), es receptor de los caudales erogados a través del vertedero secundario. En el BP además de la central y del vertedero principal se alojan dos ascensores de peces y una esclusa de navegación. La potencia instalada de la central existente es 3200 MW, con un equipamiento de 20 turbinas tipo Kaplan. Esta potencia máxima podrá entregarse cuando el salto sea de 22.5 m, operando con el embalse en cota 83 m, valor de diseño que aún no ha sido alcanzado desde su puesta en marcha a pleno, en el año 1998.

La energía media anual que produce este complejo es de 20.800 GWh/año aproximadamente, siendo el caudal módulo del río Paraná de 14.300 m³/s (tomando la serie de caudales del período 1970-2006). La magnitud de los valores de generación en juego y su relevancia para el sistema interconectado argentino (principal receptor), hacen que cualquier cambio en las consignas de operación de este Complejo, que optimice la capacidad instalada de su equipamiento, represente un impacto significativo sobre el volumen de generación anual. Esta es la razón por la cual se impone la necesidad de plantear y evaluar distintos escenarios de operación a partir de un

1 Proyecto realizado en colaboración con el Centro de Estudio para la Energía y el Desarrollo (CEED) de la Universidad Nacional de Misiones (UNAM), Argentina, para la Entidad Binacional de Yacyretá (EBY) República Argentina República del Paraguay.

adecuado conocimiento del comportamiento hidrológico del sistema.

El brazo Aña Cuá se encuentra ubicado íntegramente en territorio paraguayo. Este tramo tiene una longitud aproximada de 25 Km y un ancho medio de 2 km, extendiéndose desde el vertedero secundario hasta la confluencia con el brazo San José-Mí, donde encuentra al brazo principal. Ver Figuras N° 1 y 2. La reconstrucción de la serie de caudales de este brazo, realizada como parte de los estudios hidrológicos llevados a cabo, dio como resultado un caudal módulo del brazo de 3114 m³/s (período 1901-1970).

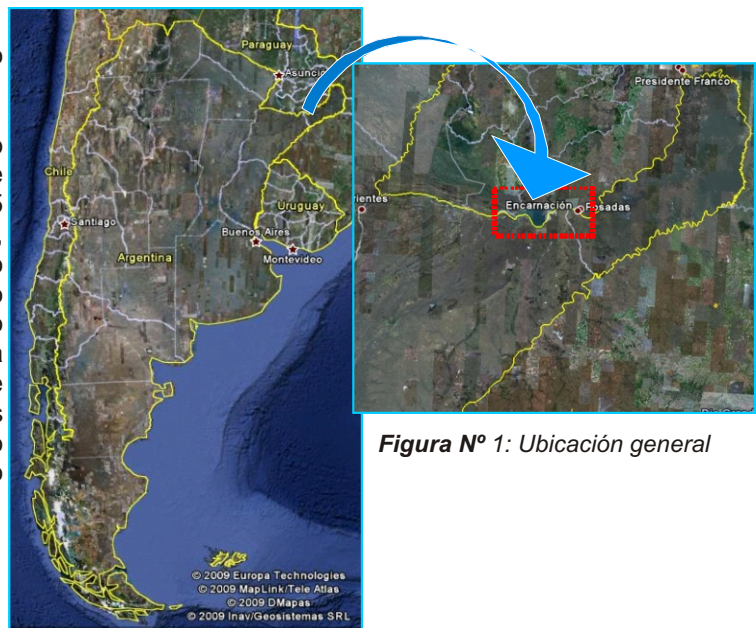


Figura N° 1: Ubicación general



Figura N° 2: Zona de estudio

2. PLANTEO Y ANÁLISIS DEL PROBLEMA

El problema que se plantea en este caso es que si se propusiera la premisa de aprovechar la mayor energía anual disponible, el BAC quedaría frecuentemente sin aporte de caudal, inhabilitando la continuidad del medio acuático y afectando también la conectividad río planicie por la alternancia de estos períodos secos. Ésta fue la concepción que orientó el proyecto original, de manera que el vertedero secundario tendría como función erogar los caudales en función de maximizar la energía generada y de manejar las crecidas, junto con el vertedero principal. Es decir, el secado temporario del BAC maximizaría la función energética de la central Yacyretá, al permitir obtener más energía sustrayendo caudal al brazo. El Complejo nunca operó de este modo,

pues ya en su puesta en marcha se definió un "caudal mínimo ecológico" de 1500 m³/s.

El enfoque adoptado consiste en proponer un criterio de erogación de los caudales por el brazo (BAC) que mitigue los impactos de la sustracción de caudales del brazo. Este enfoque básicamente consiste en tener en cuenta el significado ecológico de los atributos hidrológicos, descriptivos del régimen natural de caudales, al diseñar el manejo de los mismos a través del vertedero. Esto supone entender al régimen de caudales de un río como variable clave para diseñar alternativas de manejo que aprovechen de manera eficiente la capacidad de generación del equipamiento existente y a la vez atiendan necesidades ambientales y sociales básicas del medio local.

La información de base utilizada para conocer el área bajo estudio proviene de distintas fuentes, entre las cuales las de mayor relevancia son: los informes producidos por un panel de expertos sobre el problema en cuestión (García Lozano, L. C. et al., 1999), la información complementaria producida en el marco de este estudio en los últimos dos años referida a la fauna íctica, a la morfología de la planicie aluvial (relevamientos topográficos) y estudios hidrológicos a partir de la reconstrucción de la serie histórica en base a datos diarios del caudal del río Paraná del período 1901 - 1994 (Laboratorio de Hidromecánica, CEED). Por otra parte, se ha conceptualizado el problema desde el punto de vista ecológico a partir de la teoría del flood pulse (Junk W. et al., 1989) y del "pulso hidrosedimentológico" (Neiff J.J., 1990), cuyos conceptos básicos han sido verificados a partir de relevamientos y análisis realizados en distintos tramos del río Paraná.

Propuestas de manejo de grandes ríos, como la de Lipkin R. et al.(2000) en el Missisipi, entre otras, se apoyan en los atributos de la dinámica natural de los ríos para definir las normas operativas. El concepto que subyace en estos criterios es el acuñado como "paradigma del régimen natural" (Poff et al. 1997), que establece que "el régimen natural de virtualmente todos los ríos es inherentemente variable y esta variabilidad es crítica para las funciones del ecosistema y para la biodiversidad nativa". Las variables descriptivas de esta dinámica de los ríos son: frecuencia, amplitud, estacionalidad, duración y recurrencia, así como el gradiente de cambio de los caudales. Cada una de estas componentes tiene una cierta influencia en la diversidad de hábitats, en la conectividad longitudinal, transversal y vertical, lo cual tiene su correlato en la diversidad de especies de los ecosistemas que constituyen el sistema bajo estudio. En el caso del BAC, el patrón de variabilidad estacional seleccionado se adopta a partir del conocimiento y análisis de la variabilidad natural histórica de 100 años, aproximadamente.

3. CRITERIO DE MANEJO PROPUESTO

El criterio de manejo propuesto para definir los caudales a erogar por el brazo, se basa en recuperar la estacionalidad, la variabilidad interanual y la periodicidad de diversos rangos de caudales del régimen natural. Se ha procurado que la serie de caudales sintética reproduzca los caudales de subsistencia, de base, los pulsos de caudal y los caudales de desborde que inundan la planicie (NRC, 2005), aún cuando la duración de

los mismos resulta menor en relación con los valores históricos. Según estas características y atendiendo al significado energético que tiene la sustracción de volumen del brazo, los caudales fueron diferenciados en distintos tipos: Caudal Mínimo Garantizado Estacional (CMGE), en base a límites de mínima impuestos por los registros históricos, Caudales Excedentes Normales (CEN) y Caudales de Inundación de la Planicie (CIP). Éstos son presentados esquemáticamente en la Figura N° 3 y son obtenidos como se describe a continuación:

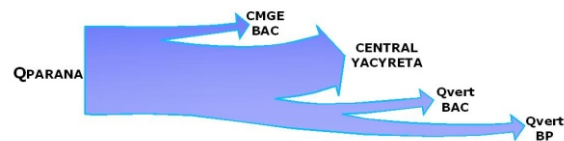


Figura N°: Esquema del criterio de manejo de caudales

La operación del aprovechamiento hidroeléctrico se realiza dando prioridad al "caudal mínimo garantizado estacional" destinado al BAC, CMGE. Luego, como segunda prioridad, se decide cuánto caudal turbinar, llevando a las 20 turbinas al máximo de su disponibilidad. Si aún hubiera un excedente de caudal, se eroga por el BAC, permitiendo superar el CMGE, esto último con un límite superior del orden de 8000 m³/s. Finalmente si el caudal excede a este límite, la diferencia se eroga por el vertedero del brazo principal (BP).

En la Figura N°4 se presentan los rangos de valores de los caudales mencionados.

Los Caudales Mínimos Garantizados Estacionalmente CMGE quedan definidos atendiendo la necesidad de mantener la variabilidad estacional característica del BAC previa a la obra, con las siguientes premisas: a) valores mínimos absolutos no inferiores a su correspondiente de la serie histórica y b) valores máximos correspondientes con una reducción determinada de la energía producida en la central del BP, que se propondrá como consigna.

Los Caudales Excedentes Normales CEN, son los que cumplen con las siguientes condiciones: a) no puede ser aprovechados para incrementar la generación porque las turbinas ya están saturadas y b) son caudales altos aún encauzados, que no producen desbordes hacia la planicie de inundación.

Los Caudales de Inundación de la Planicie CIP, son los caudales que superan el caudal de desborde del BAC. Por las características del vertedero, que tiene una capacidad de 40000 m³/s, la propia obra podría crear artificialmente una crecida que inunde la planicie, con solo realizar un manejo de caudales normales. Sin

mbargo, la lógica operativa del complejo hace que se conserve el patrón de ocurrencia natural de los desbordes, aspecto de vital importancia para que la conectividad transversal mantenga su patrón de ocurrencia natural.

4. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

La serie mencionada fue procesada para obtener los estadísticos típicos que describen el régimen, entre los cuales se presentan en la Figura Nº 5 los valores de caudales con duraciones características de 0%, 5%, 25%, 50%, 75%, 95% y 100%.

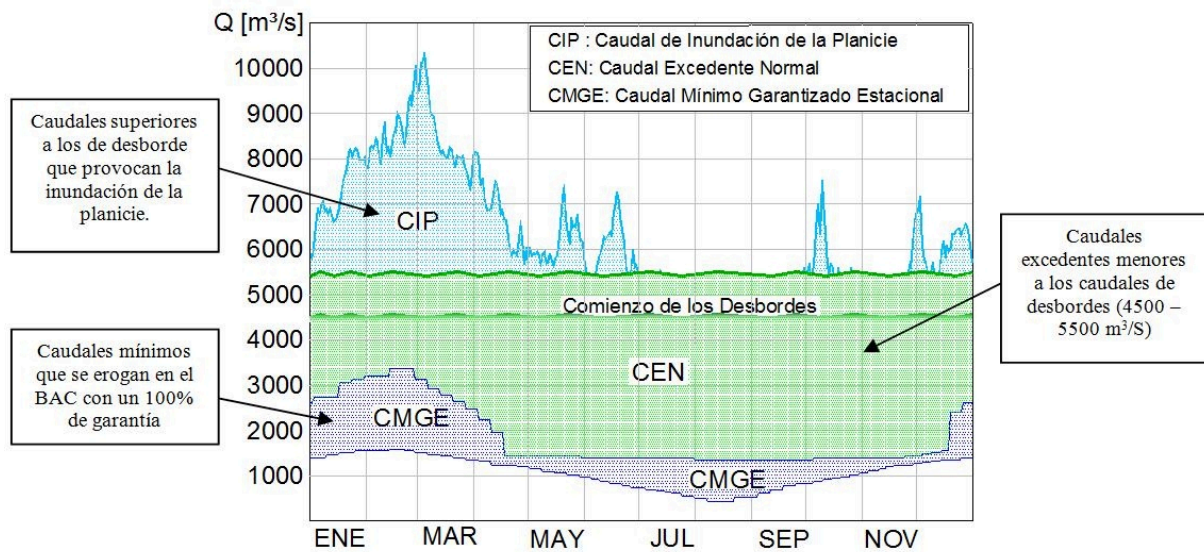


Figura Nº 4: Clasificación de caudales

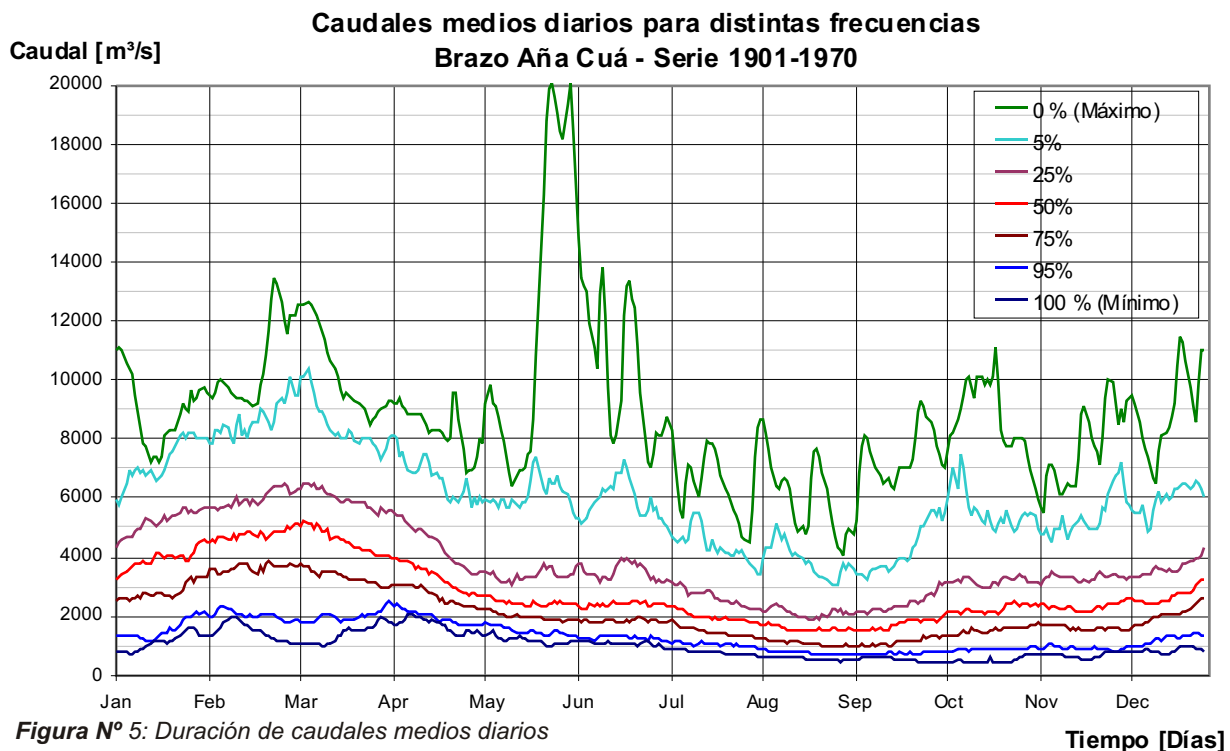


Figura Nº 5: Duración de caudales medios diarios

Tiempo [Días]

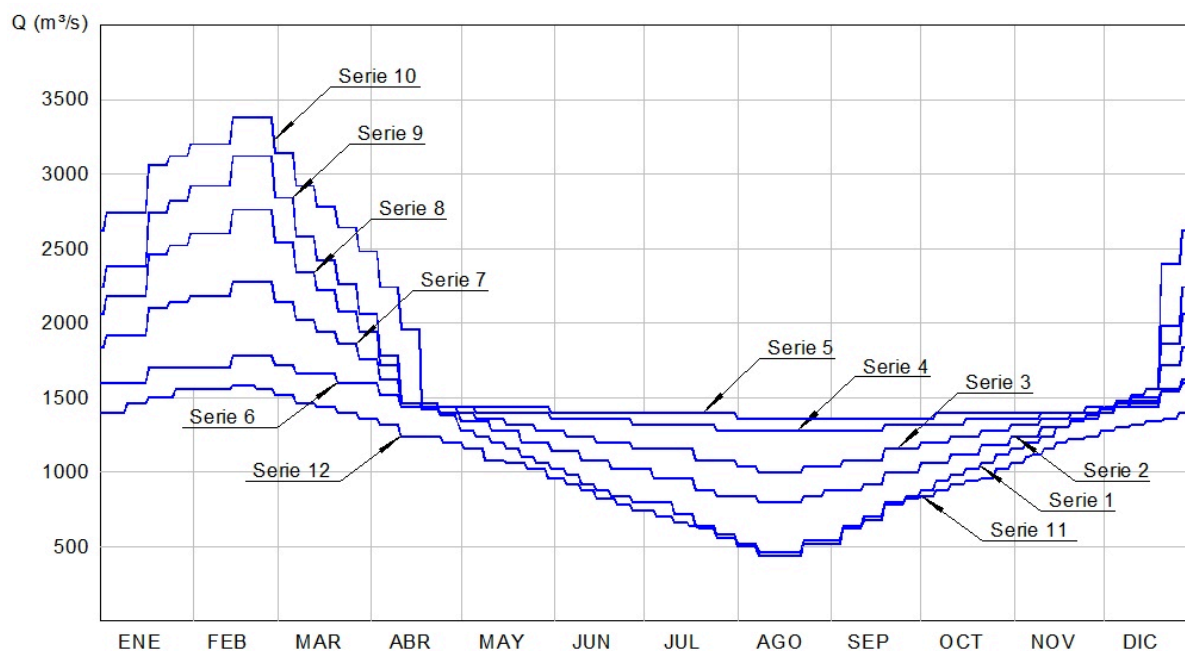


Figura N° 6: Series de Caudales Mínimos Garantizados Estacionales

En el marco del presente estudio se consideró adecuado adoptar la variabilidad estacional correspondiente a la serie anual de caudales medios diarios históricos de duración 50%, al que se define como Caudal Mínimo Garantizado Estacional (CMGE). El escenario de CMGE con menor caudal absoluto a proveer al BAC se define como aquel que tiene como propósito:

“Mantener la variabilidad seleccionada pero igualando el valor mínimo absoluto a su correspondiente de la serie histórica”.

El escenario de CMGE, con mayor caudal absoluto a proveer al BAC se define como aquel que tiene como propósito:

“Mantener la variabilidad seleccionada e incrementar el caudal hasta que se produzca una reducción determinada (consigna) de la energía producida por la central Yacyretá, del BP”.

Ambos criterios definen la zona ó sub área para seleccionar el caudal mínimo del BAC, en un periodo o día determinado.

El escenario de CMGE, con mayor caudal absoluto a proveer al BAC se analizó profundizando el conocimiento hidrológico de la serie de caudales del río Paraná utilizando el período de datos medios diarios 1971 - 2006, a fin de poder justificar la derivación de una parte de los mismos al BAC, en virtud de reducciones de energía cuantificables en el BP. Para este análisis

se realizó una clasificación de los valores medios de los caudales estacionales, abarcando dos períodos claramente diferenciados, tanto para las características hidrológicas, como para las características del mercado energético. Estos periodos abarcan las aguas altas (período de verano del ciclo energético Noviembre-Abril) y aguas bajas (período de invierno, ciclo energético Mayo-Octubre), referenciado al valor medio del ciclo 1971 2006 de los mismos meses.

Se consideraron doce curvas de erogación para el BAC, que mantienen la variabilidad adoptada, cambiando su valor medio y amplitud. Las curvas que se definieron se muestran en la Figura N° 6, identificadas como S1, S2, S3, S4, S5, y S11, que definen las variaciones correspondientes al periodo de aguas bajas, y S6, S7, S8, S9, S10 y S12 las correspondientes al periodo de aguas altas. Ambas permiten evaluar el comportamiento de la energía cedida por la central del Brazo Principal a través de los caudales derivados al BAC.

El resultado de este análisis pone en evidencia la posibilidad de seleccionar la curva a utilizar según las características del ciclo en los períodos de aguas altas y de aguas bajas. Esto permite también vincular la recurrencia natural del comportamiento hidrológico con el manejo que se propone realizar, cuantificando la energía “cedida” por la central del BP con el propósito de atender requerimientos ambientales. Visto de otra manera, se puede asociar cada modalidad de manejo con una recurrencia o probabilidad de ocurrencia de los caudales, lo cual permite cumplir con la consigna de “variación interanual”.

Siguiendo estos criterios, se evaluó la energía generada, considerando la disponibilidad de 20 turbinas, utilizando para ello un modelo matemático de simulación de embalses operado con paso de tiempo diario, al que se le incorporaron las consignas de operación dispuestas en la Central Hidroeléctrica y las de descarga en el BAC.

Para poder sintetizar la información de todas las corridas del modelo matemático se han elaborado gráficos que permiten apreciar con claridad los valores posibles de CMGE para evaluar la operación más conveniente en función de las condiciones presentes de disponibilidad hídrica. Para ello se toma como dato el caudal entrante al embalse en un momento dado y la pérdida de generación admitida como límite en la central Yacretá.

En primer lugar, se realizó un análisis estadístico de la serie histórica de caudales del río Paraná, en la sección Posadas-Encarnación (período 1971-2006), del que surgieron los valores medios de caudales para periodos de aguas altas (AA, indicado como período de verano) y periodos de aguas bajas (AB, indicado como periodos de invierno). Los valores medios de éstos son considerados "caudales de referencia"

Qmedio Aguas Altas (noviembre-abril) = 15.211 m³/s (Período 1971-2006)
 Qmedio Aguas Baja (mayo-octubre) = 13.413 m³/s (Período 1971-2006)

La modelación del embalse se realizó para el período 1971-2006. Para cada uno de estos años se calculó el caudal medio de los periodos de AA y de AB, expresándolos luego como desvío porcentual respecto de la media histórica para el correspondiente período en análisis.

$$\%Q_{promedio_AA} = \frac{Q_{medio_AA_año_i} - Q_{medio_AA}}{Q_{medio_AA}}$$

$$\%Q_{promedio_AB} = \frac{Q_{medio_AB_año_i} - Q_{medio_AB}}{Q_{medio_AB}}$$

Donde:

AA: Período de Aguas Altas
 AB: Período de Aguas Bajas

El caudal medio histórico del río Paraná en aguas altas es, como se indicó anteriormente, de 15.211 m³/s. La media del año 1971 en aguas altas fue 10.655 m³/s. El desvío resulta entonces -4555 m³/s, ó -29.9 % expresado como porcentaje del caudal medio histórico para ese periodo.

En cuanto a la energía generada, la consigna de operación de referencia es que la central Yacretá tenga prioridad total, estando el resto de los usos, en particular el BAC, subordinado a la disponibilidad de caudales "sobrantes" de la

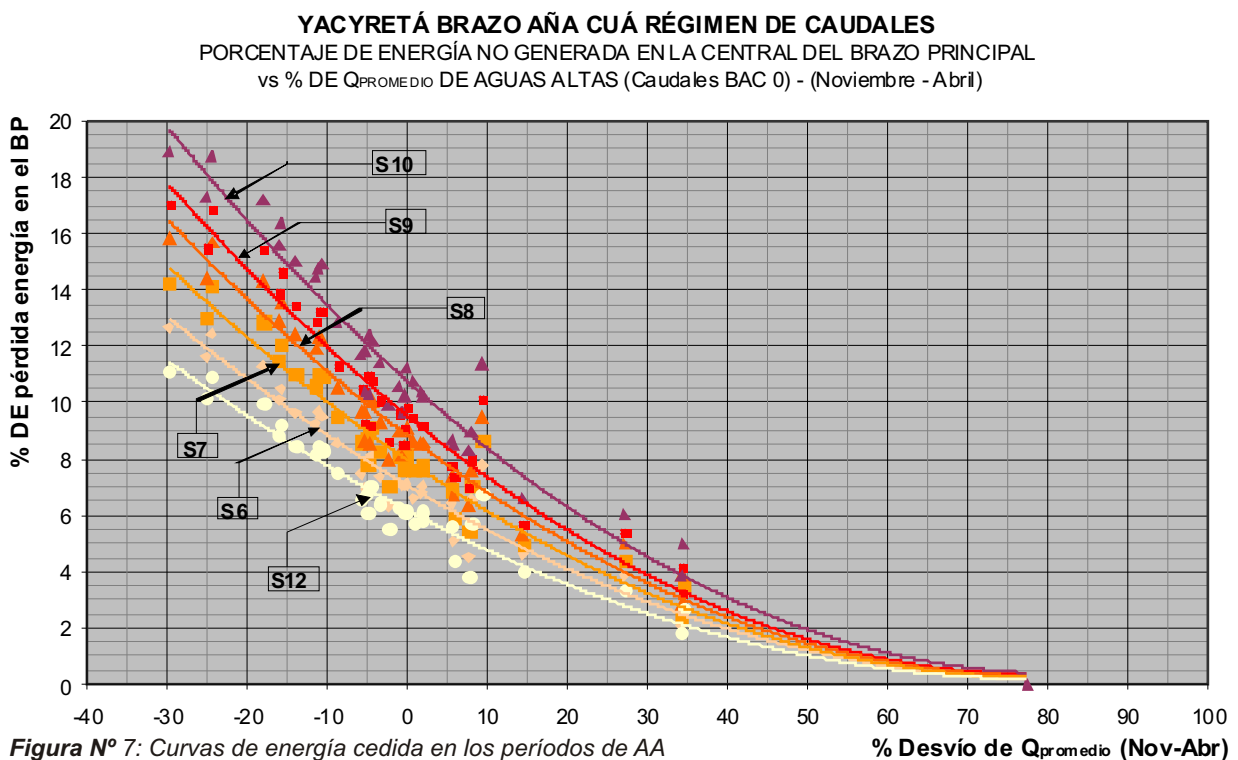


Figura N° 7: Curvas de energía cedida en los periodos de AA

% Desvío de Q_{promedio} (Nov-Abr)

central hidroeléctrica. Esta situación da el valor de generación máxima posible de la central Yacyretá en los períodos de aguas altas y bajas para cada año de la serie. Desde el punto de vista de los caudales del BAC, esta situación corresponde a la consigna:

“Caudal mínimo garantizado de forma constante al BAC = 0 m³/s”

Los valores de energía así calculados para cada año y período (aguas altas o bajas), son los valores de energía de referencia.

A partir de estos valores iniciales, se vuelve a modelar la operación para el mismo período, pero esta vez la consigna impuesta es un CMGE dado por las series S6 a S11, para el período de AA y S1, S2, S3, S4, S5 y S12, para el de AB. Así se obtienen los valores de energía generada en ambos períodos y para cada una de las series propuestas. El resultado se expresa como "la pérdida de energía referida a los valores de energía máxima de referencia". Luego, dicha pérdida también es expresada como porcentaje.

YACYRETÁ BRAZO AÑA CUÁ RÉGIMEN DE CAUDALES
 PORCENTAJE DE ENERGÍA NO GENERADA EN LA CENTRAL DEL BRAZO PRINCIPAL
 vs % DE Q_{PROMEDIO} DE AGUAS BAJAS (Caudales BAC 0) - (Mayo - Octubre)

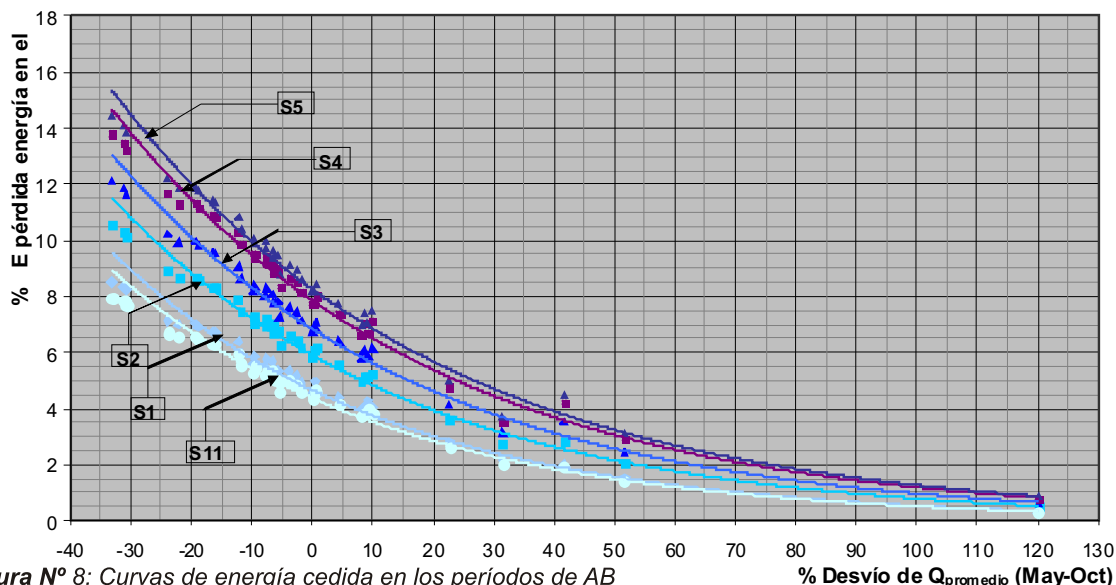


Figura N° 8: Curvas de energía cedida en los períodos de AB

YACYRETÁ BRAZO AÑA CUÁ RÉGIMEN DE CAUDALES
 CAUDALES MÍNIMOS GARANTIZADOS ESTACIONALMENTE (CMGE)
 EN EL BRAZO AÑA CUA

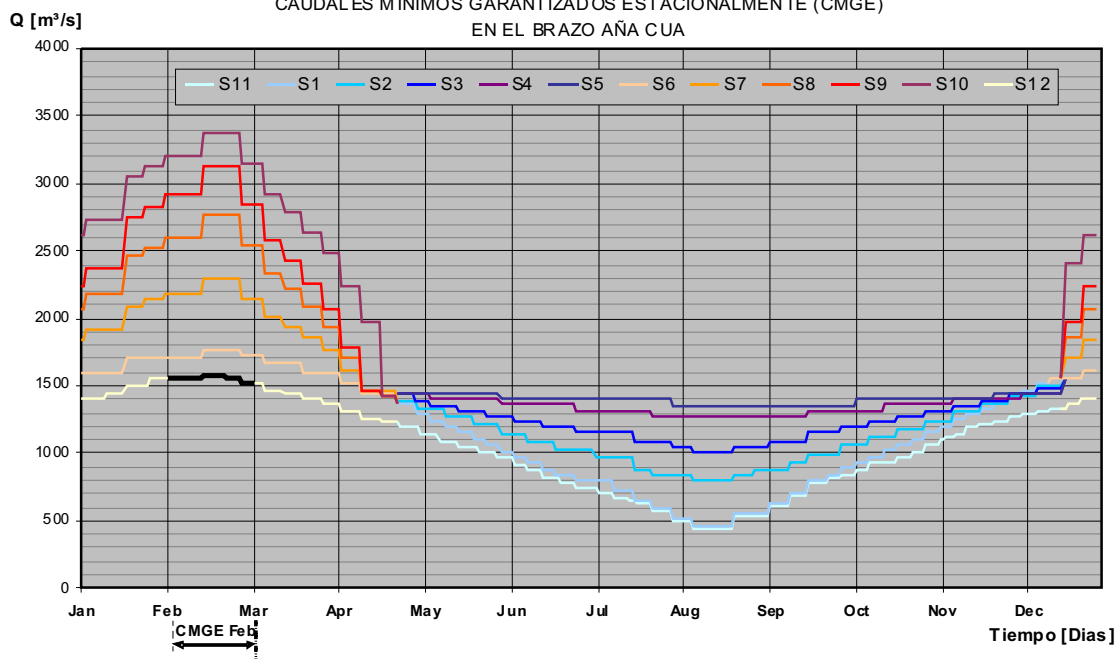


Figura N° 9: Series de Caudales Mínimos Garantizados Estacionales: Caudal resultante de la aplicación del método (ZONAA)

$$\% E_{perdida_BP_AA} = \frac{E_{gen_AA_año_i}(Consigna_referencia)}{Q_{gen_AA_año_i}(Consigna_referencia)} \frac{E_{gen_AA_año_i}(Serie_i)}{Q_{gen_AA_año_i}(Consigna_referencia)}$$

$$\% E_{perdida_BP_AB} = \frac{E_{gen_AB_año_i}(Consigna_referencia)}{Q_{gen_AB_año_i}(Consigna_referencia)} \frac{E_{gen_AB_año_i}(Serie_i)}{Q_{gen_AB_año_i}(Consigna_referencia)}$$

Como resultado de la aplicación de las ecuaciones a todas las series propuestas, para los períodos de AA (o verano), y representando la energía cedida en porcentaje, se obtiene un conjunto de curvas que se muestran en la Figura N° 7.

De igual manera, generalizando las corridas del modelo de embalses a todas las series

propuestas, para el período de AB (o invierno), y representando la energía cedida en porcentajes, se obtiene el conjunto de curvas que se muestran en la Figura N° 8.

En lugar de representar las dos situaciones descriptas, que agrupan los meses correspondientes a aguas altas y bajas, respectivamente (Figura N° 7 y 8), se pueden elaborar doce gráficos, cada uno correspondiente a un mes. Para el manejo de caudales propuesto para un mes dado, se parte de considerar como datos los caudales del río Paraná del mes anterior.

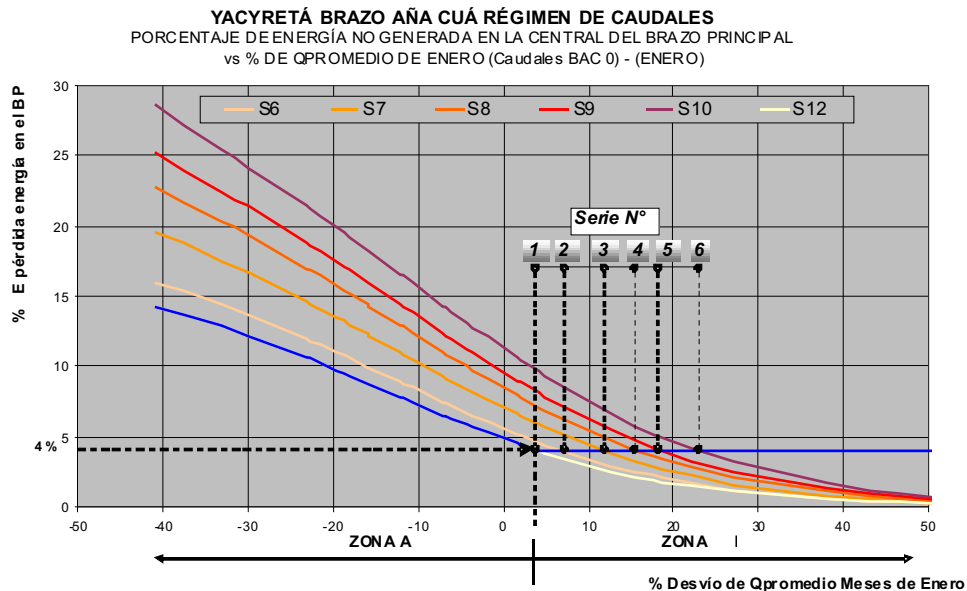


Figura N° 10: % de Energía cedida vs % desvío de Qpromedio mes(i): Aplicación del método.

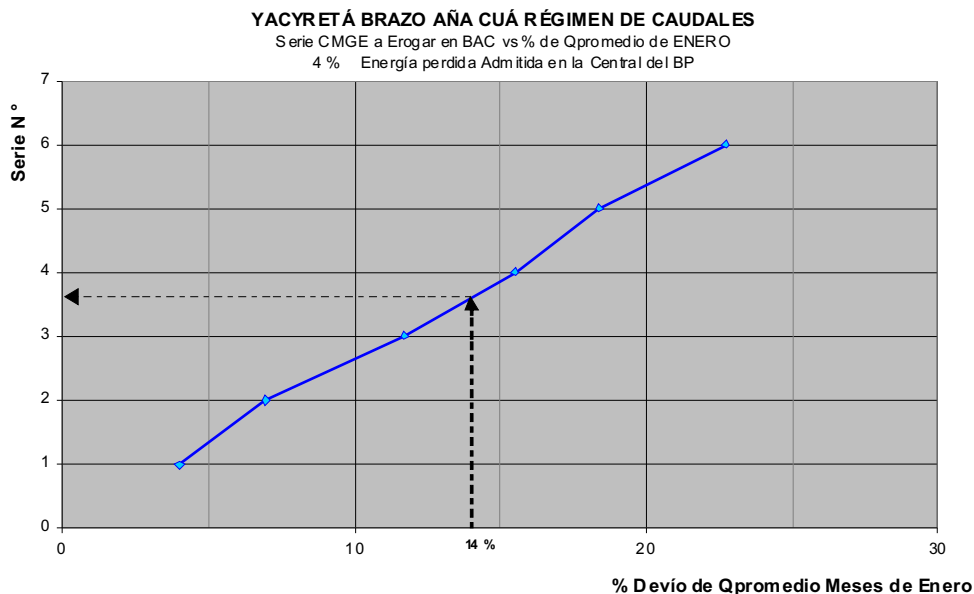


Figura N° 11: Curvas Serie N° versus % % desvío de Qpromedio mes(i): Aplicación del método

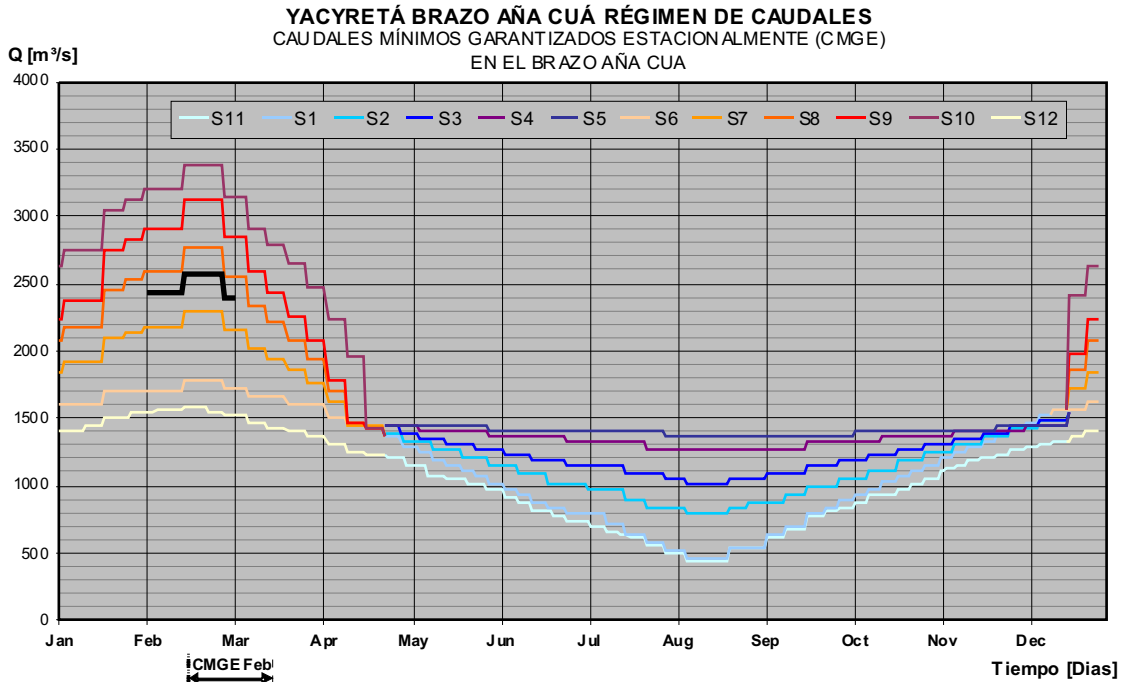


Figura N° 12: Series de Caudales Mínimos Garantizados Estacionales: Caudal resultante de la aplicación del método (ZONA B)

5. EJEMPLO DE APLICACIÓN DE LA METODOLGÍA PROPUESTA

Por ejemplo, si se pretende determinar la serie a erogar del mes de febrero, se utiliza la curva de enero, que se presenta en la Figura N° 10. Ingresando con un porcentaje de energía cedida supuesto del 4 %, se obtiene la intersección con la curva inferior, S12. La recta de 4 %, corta a la curva S12 para un desvío en el caudal del 4,0 %. Quiere decir que si el caudal medio del mes anterior, enero, es menor al correspondiente al

desvío del 4,0 %, erogará una serie de caudal correspondiente a la curva S12 como CMGE (Figura N° 9), quedando así definida una ZONAA (Figura N° 10).

Mientras que si el caudal del mes de enero es mayor que el correspondiente al desvío del 4,0 %, se seleccionará una curva por encima de la S12, como CMGE, quedando así definida una ZONAB. Para este último caso, se construyeron las curvas de Serie N° versus %Qpromedio para cada mes. Estas curvas se obtienen con la intersección de la

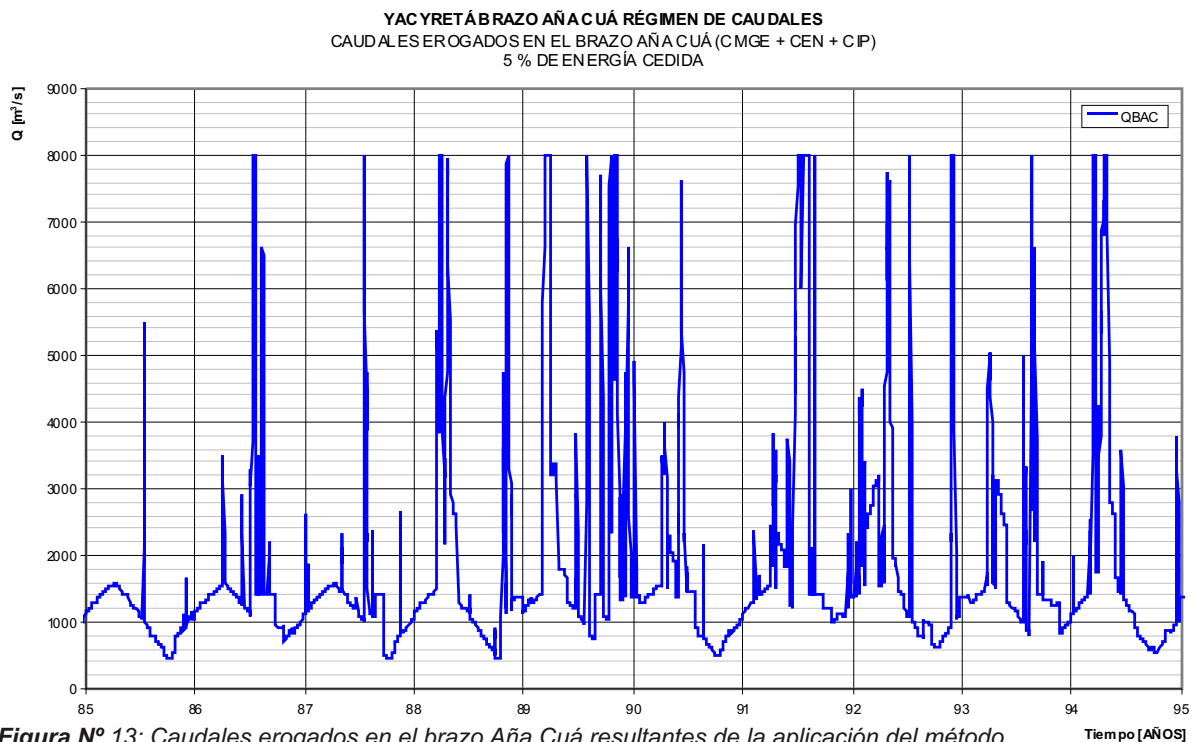


Figura N° 13: Caudales erogados en el brazo Aña Cuá resultantes de la aplicación del método.

recta correspondiente al % de pérdida de energía admitida con las series Si, y permiten identificar entre qué curvas S se encuentra el porcentaje de caudal, y además interpolar sobre las dos más próximas. Ver Figura N° 11.

Si el desvío del caudal medio de ese período respecto de la media de caudales de enero, expresado en porcentaje) es, por ejemplo, del

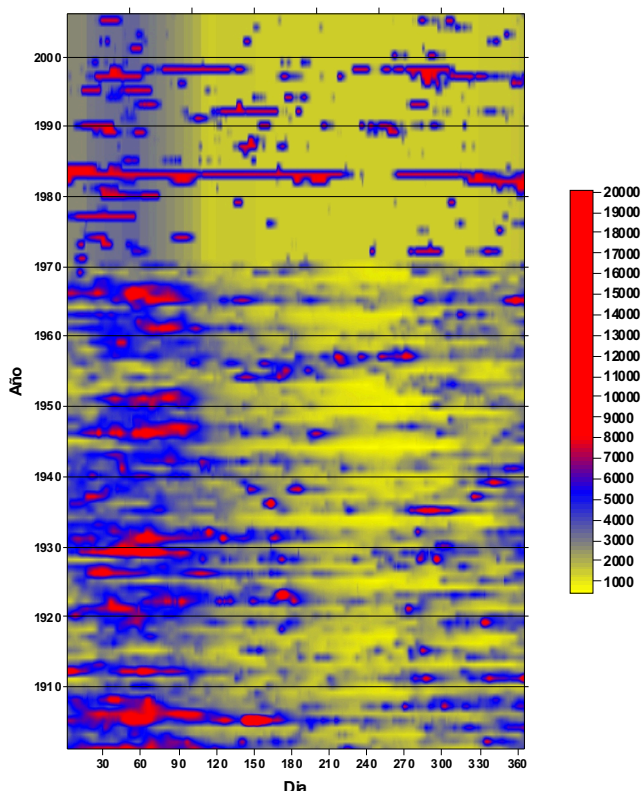


Figura N° 14: Vista topográfica de caudales erogados en el brazo Aña Cuá. 1901-1970 Caudales naturales. 1971-2006 caudales erogados resultantes del manejo adoptado según la metodología.

14%, la serie a erogar el mes entrante, febrero, se corresponde a una serie proporcional entre la Serie N° 3 y 4, que son, respectivamente, las series S7 y S8, ver Figuras N° 10 y 11. De esta manera queda definido el CMGE del mes de febrero como se observa en Figura N° 12.

La condición de operación de CMGE, entonces, representa el mínimo caudal de un cierto mes, que será descargado al BAC con garantía del 100 %. Por encima de este caudal habrá excedentes que se adicionan al CMGE si los caudales que ingresan al embalse ya han saturado las turbinas. Nótese que los caudales excedentes normales (CEN) no causan perjuicio económico, por el contrario, derivados al BAC permiten aumentar el salto útil de la central en el BP. Estos valores, cuando superan los caudales de desborde, temporalmente ocupan la planicie de inundación del río cumpliendo las funciones de vinculación entre el río y la planicie. Estos caudales fueron limitados en 8000 m³/s, para evitar daños que causarían caudales mayores, que ocurren en crecidas extremas, por la posibilidad de complementar las descargas a través de ambos vertederos.

En la Figura N° 13 se ha reproducido una salida de los caudales totales de manejo del BAC (CMGE, CEN y CIP) para una energía cedida del 5%, simulada a partir de la serie de caudales 1970-2006. En la ampliación puede verse de qué manera están presentes los caudales de distinta categoría descriptos previamente.

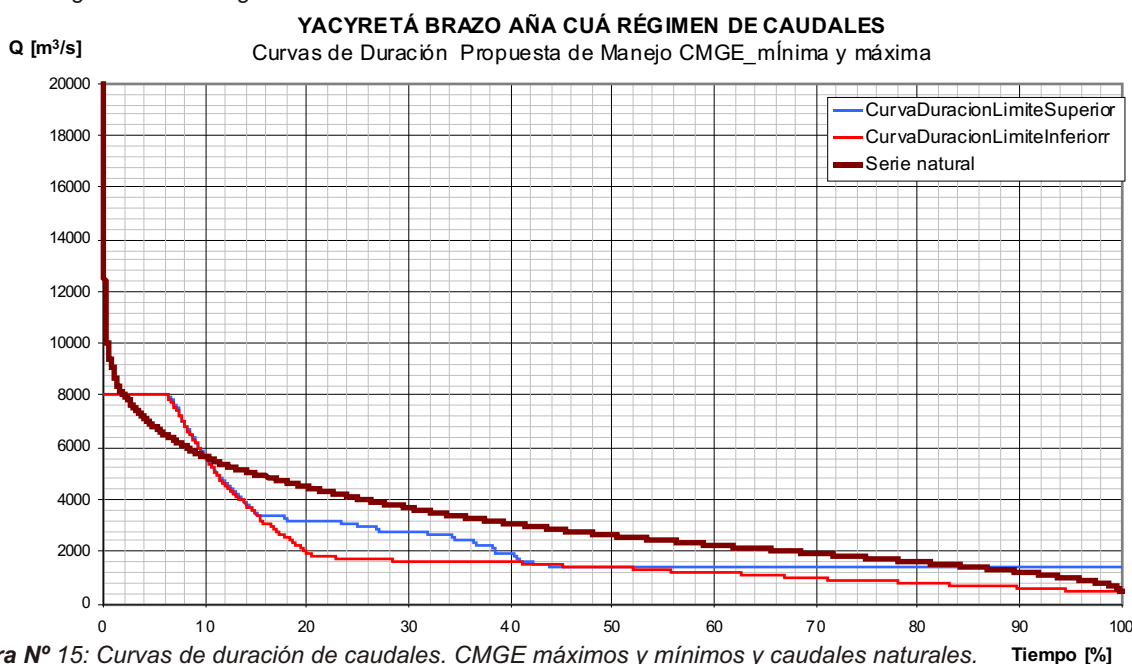
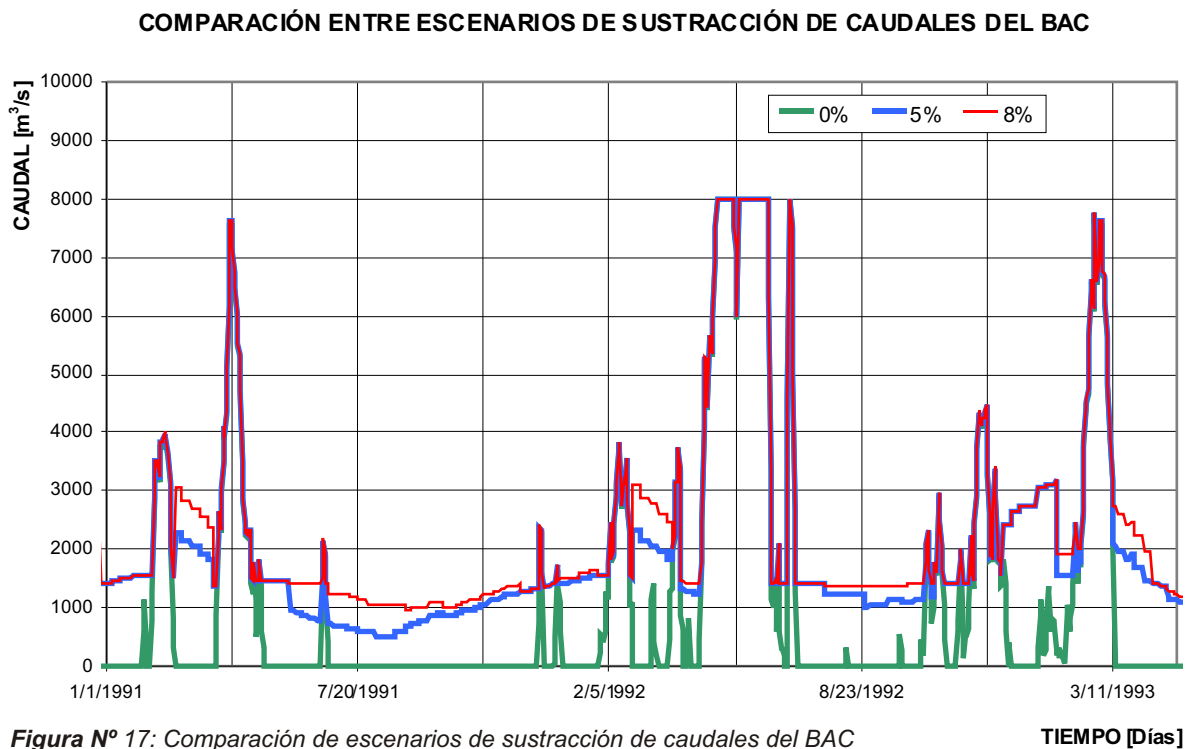
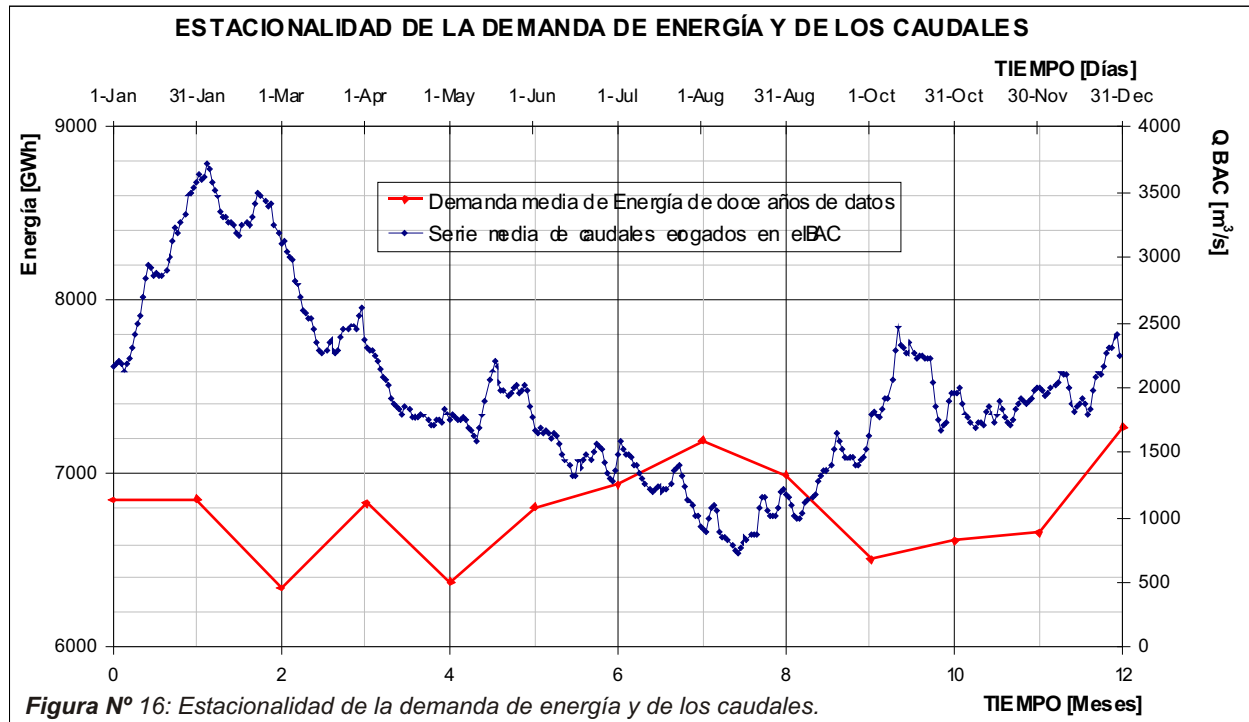


Figura N° 15: Curvas de duración de caudales. CMGE máximos y mínimos y caudales naturales. Tiempo [%]

La representación completa de los caudales de manejo en función del tiempo puede apreciarse en la vista topográfica de la Figura N° 14, en la cual, entre los años 1901 y 1970 se representaron los caudales naturales del BAC y a partir de 1971 se representó el manejo que correspondería a una energía cedida del 5%.

En términos de duración, ambos regímenes, natural y de manejo, muestran un comportamiento como el que se aprecia en la Figura N° 15. Se han indicado los valores extremos de máximas y mínimas duraciones del patrón interanual de manejo, correspondientes a periodos de mayor y menor disponibilidad hídrica,



respectivamente. En esta figura, el área comprendida entre la curva de duración del régimen natural y la de manejo, representa el volumen de agua sustraído al BAC con fines energéticos.

En cuanto la energía aprovechada, es importante destacar que la modalidad de manejo propuesta es conveniente desde el punto de vista energético, en comparación con la erogación de un caudal mínimo "ecológico". Esta ventaja es tanto cuantitativa, al conseguirse una energía anual generada levemente mayor, como cualitativa, al ponerse a disposición la mayor generación en un período de demanda pico y de menor oferta de energía no renovable en la República Argentina. Ver Figura N° 16.

Finalmente, en la Figura N° 17, a modo de ejemplo, se han volcado los resultados en términos de caudales en el brazo, de la simulación de un período que contiene tres consignas de manejo: la correspondiente a dar prioridad solamente a la energía (0%) y las que ceden 5% y 8% de la energía que podría aprovecharse a fin de aportar caudal al BAC siguiendo el enfoque propuesto.

6. CONCLUSIONES Y SEGUIMIENTO

La hidrología ha sido el foco de atención del estudio, en el entendimiento de que es la "variable maestra" del problema de los regímenes de caudales ambientales, tal como lo sugieren Poff et, al. (1997). Asociadas a la hidrología se encuentran tanto las funciones hidráulicas que caracterizan el escurrimiento en el tramo, como muchas de las variables indicativas de la calidad del agua, del mantenimiento y procesos de formación de las riberas, de los cauces, de la conexión con la planicie de inundación y de la diversidad de hábitat físico para especies acuáticas.

Los resultados obtenidos muestran que operando de esta manera se incrementa levemente la energía total, respecto de la operación del BAC con caudales constantes (caudal "mínimo ecológico), y además se obtiene una variación estacionalidad en la generación de energía adicional que es favorable respecto a las máximas demandas y la mínima disponibilidad de combustibles fósiles.

La metodología descripta en este informe constituye un marco de decisiones de manejo que se considera el más racional en el contexto de las opciones posibles, capaz de ser ajustado a partir de un programa de monitoreo planificado ad-hoc.

En el marco de este criterio de manejo propuesto, es necesario avanzar en una etapa de análisis y verificación de las relaciones causales entre la hidrología y los procesos ecológicos que han sido planteados a nivel de modelo conceptual y realizar una implementación del manejo con un criterio adaptativo. Para ello se encuentra en etapa de diseño un plan de monitoreo que se propone realizar un seguimiento de las variables que den cuenta de los siguientes aspectos:

- 1) Dinámica del escurrimiento que afecta la conectividad con la planicie.
- 2) Influencia de los caudales mínimos y su permanencia, sobre la calidad del agua y del hábitat disponible, especialmente en ambientes seleccionados por su importancia para la integridad ecológica del BAC.
- 3) Identificación y seguimiento de factores no asociados al régimen de caudales que puedan ser determinantes en la alteración del ambiente.

Finalmente, cabe consignar que actualmente se encuentra en etapa de proyecto una central complementaria a la existente, localizada sobre la estructura que contiene a las compuertas en el BAC, a fin de aprovechar parte de la energía disipada a partir de este manejo. Este proyecto contará con una escala de peces que mitigará el efecto de barrera que hasta ahora ha impuesto el vertedero a la migración de los peces.

7. DESAFÍOS

El camino iniciado, en el sentido de proponer un enfoque ecohidrológico para definir las normas operativas de erogación de caudales, en este caso aplicado a un brazo del río Paraná, plantea expectativas que representan verdaderos desafíos en diversos aspectos, tanto al interior de las unidades académicas como a nivel de la explotación de las centrales hidroeléctricas.

Por un lado, se han iniciado líneas de investigación en las unidades académicas que desarrollaron el trabajo, en el contexto de tesis de maestría, vinculadas con las temáticas que aún tienen menor grado de desarrollo en el campo de la ecohidrología en nuestro país. La modelación de hábitat del medio acuático en medios con múltiples especies, es uno de los temas en los cuales se está avanzando en este sentido, así como en la verificación de hipótesis referidas a

aspectos clave de la dinámica de conectividad río-planicie en este tramo del río Paraná.

Otro aspecto particular a destacar en términos de desafío para futuros emprendimientos, es la necesidad de que la adquisición de información de los parámetros físicos, químicos y biológicos, que permiten caracterizar la estructura y funcionamiento de los ecosistemas fluviales, se planifique en forma integrada con el seguimiento de los registros hidrométricos a nivel de agua superficial y subterránea y con los datos de precipitación y temperatura. Un seguimiento cronológico del conjunto de parámetros permitiría que las series de tiempo de las variables hidroclimatológicas, acompañen la evolución de indicadores clave para entender la dinámica de ciertos procesos fundamentales, como la conectividad río-planicie, aportando a comprender la influencia de la dimensión temporal en términos de "historia" o estado antecedente de cada ambiente particular que se analiza en un momento dado (lago temporario o permanente, arroyos o brazos temporarios y permanentes, etc.).

Por último, un aspecto que también representa un desafío en el caso presentado, es crear las condiciones para que haya un intercambio fluido entre el personal responsable de la operación de las centrales hidroeléctricas y quienes diseñan los criterios de manejo, de manera de hacer factible la implementación de los mismos, adecuándolos a la lógica operacional de la central. Esto significa que seguramente es necesario ajustar las metodologías, como la propuesta en este caso para incorporar aspectos prácticos que hagan viable la toma de decisiones a través de un "modelo operacional" diseñado ad-hoc.

8. BIBLIOGRAFÍA

Galat D., Lipkin R., 2000: Restoring ecological integrity of rivers: historical hydrographs aid in defining reference conditions for the Missouri River. *Hydrobiologia* 422/423:29-48.

García Lozano, Luis Carlos, C. Acevedo, M. Bernalt, A. Deeb, L. A. Kieffer, R. Quirós, E. Sánchez Triana. 1999. Análisis de alternativas de mitigación de impactos debidos a la reducción de caudal por el brazo Aña Cuá. Entidad Binacional Yacyretá

Junk, W., Bayley B., Spaks R., 1989: The floodpulse concept in river floodplain systems. Proceedings of the International Large River Symposium (LARS), Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences Special Publication 106.

Laboratorio de Hidromecánica, Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata. Centro de

Estudios para la Energía y el Desarrollo de la Universidad Nacional de Misiones: "Análisis del régimen de caudales en el brazo Aña Cuá Esquema conceptual y metodológico". 2008.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL OF THE NATIONAL ACADEMIES: "The Science of Instream Flows: A Review of the Texas Instream Flow Program".

Committee on Review of Methods for Establishing Instream Flows for Texas Rivers. Water Science and Technology Board Division on Earth and Life Studies. Washington, D.C., 2005.

Neiff, J.J.: Ideas para la interpretación ecológica del Paraná. *Interciencia* 15 (6): 424-441 p. 1990.

Poff, N.L., Allan, J.D., Bain, M.B., Karr, J.R., Prestegard, K.L., Richter, B.D., Sparks, R.E., Stromberg J.C. 1997. The natural flow regime - a paradigm for river conservation and restoration. *BioScience* 47: 769-784.

Ritcher B., Baumgartner J., Powell J., Braun D., 1996: A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems. *Conservation Biology* 10:12.

LA ATENUACION NATURAL EN LA ECOHIDROLOGIA SUBTERRANEA

Mario A. Hernández (1), Nilda González (2) y Carlos Scatizza (3)

Maestría en Ecohidrología UNLP (Fac. Cs. Naturales y Museo- Facultad de Ingeniería)

(1)Geohidrología Ambiental-CONICET mario_h@sinectis.com.ar

(2)Fundamentos de Hidrología Subterránea. Nilda_h@sinectis.com.ar

(3)Geohidrología Ambiental-Hidroar SA scatizza@hidroar.com

De Hidrología Subterránea. Nilda_h@sinectis.com.ar

(3)Geohidrología Ambiental-Hidroar SA scatizza@hidroar.com

1. INTRODUCCION

Los postulados clásicos de la Ecohidrología planteados a partir de su aparición como disciplina científica (Zalewsky, 1997), y de su posterior desarrollo hasta nuestros días, están referidos esencialmente a la hidrología superficial y a escenarios morfológicos montanos o perimontanos.

Al iniciarse la formación de tercer ciclo de la Maestría en Ecohidrología (Evaluación ambiental de Sistemas Hidrológicos) en la Universidad Nacional de La Plata en 2005, se incorporan decididamente a la temática dos nuevos aspectos: la dimensión geohidrológica y los paisajes de llanuras extensas, ampliándose grandemente de esta forma el panorama original. Prueba de ello es la realización de investigaciones para las Tesis de Maestría actualmente en desarrollo, buena parte de las cuales los involucran.

Se señalan precisamente en este trabajo las características de los fenómenos de atenuación natural ocurrentes en sistemas acuíferos de llanuras como clara expresión ecohidrológica, y su seguimiento en sitios contaminados.

2. LOS FENÓMENOS DE CONTAMINACIÓN DE ACUÍFEROS

Todos los usos del agua son fuentes potenciales de contaminación, desde el momento que la efluyen en condiciones desfavorables para el medio ambiente.

En la actividad doméstica, las aguas negras domiciliarias son los agentes más impactantes cuando no son colectadas ordenadamente y/o no reciben tratamiento. Pero también los repositorios de residuos sólidos lixiviables, los lavados urbanos y los desechos fármaco-hospitalarios son frecuentemente generadores de contaminación por su infiltración.

El uso agropecuario genera también solutos contaminantes, por el empleo de agroquímicos (biocidas o fertilizantes generalmente

inorgánicos), cuyo acceso al medio subterráneo es potenciado por el riego sobre todo cuando las técnicas son de baja eficiencia. Es el que más cantidad de agua moviliza, alrededor del 70% del total utilizado por el hombre (Garduño y Arreguin-Cortés 1994).

La actividad industrial resulta más diversa tanto en sustancias como en modos de contaminación, según el rubro del cual se trate y si la aplicación es de aguas fungibles o no fungibles. Generalmente es altamente competitiva con la actividad doméstica, por estar ambas tramas usuarias parcialmente superpuesta o entrelazadas.

Son conocidos algunos efectos de aguas residuales de la actividad minera, tales como el drenaje de minas (drenaje ácido), el dewatering en ciertas manifestaciones minerales o el peligro de los percolados en diques de relaves o piletas de lixiviación. También la minería de hidrocarburos origina impactos importantes en sus diferentes etapas (exploración, explotación, transporte, transformación, comercialización), sobre el régimen subterráneo.

Finalmente, hasta el uso recreativo implica la producción de desechos líquidos con productos preservantes, como los procedentes de natatorios públicos, deportivos o individuales.

Las consecuencias ambientales están maximizadas cuando se presentan conflictos entre las actividades y sus efluentes, tantos los intrínsecos (uso doméstico - aguas negras domiciliarias; aguas industriales fungibles - efluentes industriales), como los esencialmente complejos que existen entre usos (actividad minera - uso agrícola; efluentes industriales - servicio público de agua potable).

Los conflictos ambientales derivados de los requerimientos sobre la calidad del agua subterránea, son naturalmente más severos en tanto la disponibilidad sea crítica o en cuanto se trate del único recurso local.

Es en estos casos cuando la necesidad de remediar efectos de la contaminación se hace imperativa, especialmente en protección de la salud humana y de la estabilidad de los ecosistemas.

3. ANÁLISIS DE RIESGOS

Esta práctica se ha tornado ya habitual en los casos de contaminación de acuíferos, tanto cuando la aplicación de la carga en el espacio sea puntual, multipuntual, lineal o difusa, como en el tiempo accidental, intermitente o continua.

Esta basada en la Guía ASTM E-1739 "Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites" (Rev. 2009), conocida generalmente como RBCA atendiendo al acrónimo del inglés por Risk-Based Corrective Action.

Se trata de una muy buena herramienta para sistematizar la toma de decisiones en el campo de los suelos y aguas contaminadas, no sólo para decidir iniciar acciones correctivas sino también para valorar la urgencia, el objetivo y las tecnologías de remediación más adecuadas.

Metodológicamente, el análisis de riesgos no es más que una aplicación práctica de la relación dosis-efecto basada en la identificación y evaluación cuantitativa de los riesgos reales y potenciales que pueden padecer objetivos vulnerables: salud humana, ecosistema y otros bienes (generalmente recursos).

A diferencia del uso de listas genéricas de contaminantes, tiene en cuenta las condiciones y características que le son propias a cada emplazamiento y su entorno. Partiendo del conocimiento exhaustivo del caso, tipo, distribución y evolución de la contaminación (modelo conceptual), el análisis apunta a:

- Caracterizar y evaluar la contaminación (evaluación de la fuente de riesgo).
- Identificar y seleccionar los productos que resulten de interés por su toxicidad.
- Reconocer los mecanismos de transporte a partir de los cuales los contaminantes puedan acceder a un receptor (vías de migración).
- Identificar los posibles escenarios en que los compuestos de riesgo alcancen a los potenciales receptores (vías de exposición).
- Identificar y caracterizar los receptores potenciales.
- Valorar los efectos de la exposición en los receptores.
- Determinar y valorar el riesgo total a los objetivos.

Las etapas componentes del estudio son la elaboración del Modelo Conceptual Preliminar (MCP) en un primer nivel Tier1, trabajos de

campo, laboratorio y gabinete necesarios en la caracterización de los sitios, según un Modelo Conceptual del Sitio (MCS) a nivel Tier2, su clasificación y rango de respuesta, la determinación de los Valores genéricos y Valores específicos, para arribar al planteo de las acciones correctivas en función del riesgo, previo análisis crítico de los métodos conocidos.

El producto es la calificación del Riesgo según la urgencia en emprender dichas acciones, en cinco clases:

Clase 1 - Amenaza inmediata para la salud humana, la seguridad y los receptores ambientales sensibles.

Clase 2 - Amenaza cercana significativa, del término 0 a 1 año, para la salud humana, la seguridad y los receptores ambientales sensibles.

Clase 3 - Amenaza a corto plazo (1 a 2 años) para la salud humana, la seguridad y los receptores ambientales sensibles.

Clase 4 - Amenaza a largo plazo, tiempo mayor a 2 años, para la salud humana, la seguridad y los receptores ambientales sensibles.

Clase 5 - No se percibe amenaza para la salud humana, la seguridad y los receptores ambientales sensibles.

En el caso de las clases 1 a 4, procede una remediación de los sitios por alguno de los métodos que en el siguiente acápite son referidos, con el sistema más adecuado a la realidad geohidrológica del lugar y a la urgencia en que debe resolverse según el RBCA.

Si se tratase de las clases 4 y 5 puede acudir a la Atenuación Natural, objeto fundamental de este trabajo.

4. METODOLOGÍAS DE REMEDIACIÓN

Con la finalidad de brindar una síntesis acerca de los métodos más difundidos y probados para las prácticas de remediación de aguas subterráneas y suelos, se presenta el Cuadro 1 donde se los menciona con indicación de su aplicación (confinamiento o tratamiento, "in situ" o "ex situ"). Dado que la mayoría de los casos que se plantean en este trabajo están referidos a la contaminación con fluidos no miscibles o parcialmente miscibles,

concretamente hidrocarburos, se hace referencia también a la fase sobre la cual actúa cada uno de los métodos.

La fase gaseosa se halla presente fundamentalmente en la Zona No-Saturada (ZNS), como gas libre, gas adsorbido o gas ocluido. El primero escapa a la atmósfera por volatilización, el segundo está adherido a las partículas por fuerzas de superficie muy importantes y el tercero, alojado en los poros más aislados

Se establece la fase residual (o sólida) principalmente en la ZNS, cuando el contaminante deja de fluir al alcanzar el Punto de saturación irreducible y permanece "manchando" el suelo, aunque también puede estar además en la Zona Saturada (ZS), consecuencia de la fluctuación de los niveles freáticos que moviliza a la Fase Libre en sentido vertical.

La fase libre, o FLNA (Fase Líquida No Acuosa) es la fracción del producto que, por razones de densidad, sobrenada el nivel freático moviéndose en la misma dirección del flujo subterráneo. Si el transporte es advectivo, también aproximadamente a la misma velocidad. Si se tratase de un HC denso (por ejemplo un PCB), atraviesa el acuífero hasta apoyarse en el piso, migrando posteriormente según su inclinación.

Existe por último una fase soluble (hidrocarburos disueltos) localizada generalmente por delante y por debajo de la FLNA, cuya dinámica está dada en general por el proceso de dispersión hidrodinámica (difusión molecular y dispersión mecánica). Es esta fase quizás la que introduce más inconvenientes en el momento de la remediación, por el habitualmente gran volumen de agua que es necesario desalojar y tratar.

Toda operación de remediación de contaminación en aguas subterráneas y suelos implica una intervención en el medio natural, mayor en el caso de la remediación física que en la bioremediación. En muchos casos se corre el riesgo de que el grado de intervención traiga aparejadas perturbaciones que compliquen o agraven la situación producida por los incidentes generadores.

Surge de esta manera sobre fines del siglo XX una metodología de neto corte ecohidrológico, cual es el seguimiento de la Atenuación Natural tratada a continuación.

5. ATENUACIÓN NATURAL

Es conocida la capacidad de la naturaleza para generar mecanismos de autoprotección ante la aparición de sucesos de índole negativa, como es la contaminación. En el caso de las aguas superficiales, la autodepuración de ríos y arroyos es un ejemplo.

Para las aguas subterráneas, el más importante rol está desempeñado por la ZNS a expensas de su condición de ámbito multifásico compuesto por una fase sólida (orgánica e inorgánica), otra líquida, el agua y una tercera gaseosa, el aire intersticial.

La presencia de Oxígeno en esta última otorga a la ZNS dos características básicas en lo que hace a la posibilidad de mitigación natural de una carga contaminante: la ocurrencia de oxidación de iones inorgánicos y orgánicos desde el punto de vista fisicoquímico y la degradación aerobia, desde el biológico.

La Atenuación Natural se refiere esencialmente a la capacidad del medio físico y de los mecanismos hidrológicos actuantes, para desencadenar una serie de procesos que tienden a disminuir la concentración de solutos contaminantes hasta niveles inocuos, e inclusive hasta su total desaparición en algunos casos.

Implica la reducción másica o de concentración de una sustancia peligrosa en el régimen subterráneo, en función del tiempo o del recorrido desde la fuente, por procesos naturales físicos, químicos o biológicos tales como biodegradación, dispersión, dilución, precipitación, sorción o volatilización.

El ingreso de una carga contaminante a un sistema acuífero, desde el punto de vista de un balance de masas, puede ocurrir bajo un régimen de equilibrio cuando es igual al egreso, o de variación o no-equilibrio cuando existen cambios másicos producidos por transformaciones biológicas o bioquímicas.

Predominan como fenómenos positivos en el primer caso los de difusión molecular o dispersión hidrodinámica, resultando en una dilución de la carga hasta concentraciones aceptables. Bajo el régimen de variación ocurren las transformaciones fisicoquímicas por oxidación, hidrólisis o intercambio catiónico, biogénicas metabólicas o no metabólicas, por cambio de estado en el caso de la volatilización o por fuerzas de superficie (absorción, adsorción).

Sobre 1998 la American Society for Testing and Materials produce la Guía ASTM E 1943-98

REMEDIACION FISICA		
Método	Efecto	Involucra
Paredes estancas / Geomembranas	Confinamiento	Fase residual-fase soluble-fase libre
Lechada de cemento	Confinamiento	Fase residual
Barrera química	Confinamiento	Fase residual
Inyección de soluciones	Confinamiento	Fase residual
Revestimiento (encapsulado, solidificación, estabilización). tratamiento "ex situ"	Confinamiento	Fase residual
Vitrificación "in situ"	Confinamiento	Fase residual
Tratamiento térmico (stripping térmico "ex situ", incineración "ex situ")	Tratamiento	Fase residual
Intercepción por trincheras	Tratamiento	Fase libre-fase soluble
Bombeo con pozos convencionales (eléctrico o neumático)	Tratamiento	Fase libre-fase soluble
Bombeo con pozos convencionales, simultáneo o pozos concéntricos	Tratamiento	Fase libre-fase soluble
Bombeo con pozos de gran diámetro	Tratamiento	Fase libre-fase soluble
Bombeo con pozos de gran diámetro c/filtros radiales	Tratamiento	Fase libre-fase soluble
Bombeo con pozos horizontales (dirigidos)	Tratamiento	Fase libre-fase soluble
Batería de pozos interferidos (well point)	Tratamiento	Fase libre-fase soluble
Barreras hidráulicas	Tratamiento	Fase libre-fase soluble
Extracción dual por alto vacío (doble fase)	Tratamiento	Fase gas-fase soluble-fase libre-fase residual (indirect.)
Extracción de vapores del suelo (VES)	Tratamiento	Fase gas-fase soluble (parcial)
Aereación (air sparging) y arrastre por vapor	Tratamiento	Fase gas-fase soluble (parcial)-fase libre
Flushing "in situ"	Tratamiento	Fase libre-fase soluble (parcial)
Electrodescontaminación	Tratamiento	Fase soluble
Barreras reactivas (+ biopantallas)	Tratamiento	Fase libre-fase soluble
BIOREMEDIACION		
Intrínseca (natural por microorganismos)	Tratamiento	Fase residual
Ingeniería (forzada, land farming, bioasistencia)	Tratamiento	Fase residual
Fitotecnologías	Tratamiento	Fase soluble

Cuadro N° 1: Síntesis de métodos de remediación

“Standard Guide for Remediation of Ground Water by Natural Attenuation at Petroleum release Sites”, objeto de posteriores revisiones e inclusión de otros contaminantes, ya que originalmente y como su denominación lo indica, fue formulada para efectos contaminantes de la actividad petrolífera, fundamentalmente para las fases gas, soluble e inclusive para la FLNA de muy poco espesor (ASTM, 1998).

En los procesos y reacciones de atenuación natural (RAN) existen lógicamente condicionantes climáticos, hidrológicos, hidrogeológicos, del medio físico (geología, geomorfología, suelos) y geoquímicos, por lo cual se requiere un muy acabado conocimiento de los aspectos que hacen a los condicionantes (estudios previos de detalle).

Sobre la base de dichos estudios puede cuantificarse la atenuación, por medio principalmente de datos geoquímicos, reconociendo la presencia, concentración y variabilidad temporal de aceptadores de electrones o de metabolitos de signo favorable.

La identificación y eventual cuantificación de los procesos de Atenuación Natural se produce a través de tres líneas de pruebas emanadas de un monitoreo programado específicamente para la RAN.

Una primaria de observación de los cambios en la geometría y concentración de la pluma contaminante. Otra secundaria, con indicadores geoquímicos de degradación natural y estimación de tasas de atenuación y la tercera, mediante información microbiológica y modelado del transporte de solutos.

LÍNEA PRIMARIA

Como se ilustra en la Figura 1, el monitoreo sobre geometría y concentración va a indicar la progresión de los procesos RAN.

La escena a. está indicando que la velocidad de carga contaminante (V_c) es igual a la velocidad de remoción (V_r), lo cual demuestra que la pluma está estacionaria, con una buena respuesta de la Atenuación Natural.

Se puede apreciar en la escena b. que el tamaño de la pluma ha decrecido y/o disminuido la concentración del/los soluto/s contaminante/s, como resultado de una mayor velocidad de remoción respecto a la de carga, pudiendo calificarse el progreso como muy bueno.

En cambio en c., la pluma ha incrementado sus dimensiones y /o la concentración de los solutos peligrosos, marcando una velocidad de remoción inferior a la de carga, y una consecuente mala performance de la atenuación.

LÍNEA SECUNDARIA

Están expuestos en el Cuadro 2 los indicadores correspondientes a esta línea.

Cubren estos indicadores la mayor parte de las reacciones RAN, por ejemplo la transferencia de electrones por procesos redox, mediante las variaciones del Eh, O_2 , de Fe^{++} y de los tenores de las moléculas con Oxígeno, como así también la precipitación de metales por oxidación. Las concentraciones en BETX y Etano-Metano, son referencias acerca de procesos de volatilización. La conductividad eléctrica y la relación Precipitación/conductividad eléctrica a su vez indican la posibilidad de fenómenos de dilución.

LÍNEA Terciaria

Considerada generalmente como opcional involucra determinaciones de mayor detalle, como las microbiológicas, e inclusive la modelación numérica del transporte de solutos.

La ocurrencia de los procesos hasta aquí aludidos depende fundamentalmente, además de los condicionantes puramente físico-químicos y biológicos, de otros de carácter climático y del medio físico.

Dentro de los primeros puede mencionarse la precipitación (pluvial o nival), temperatura, evapotranspiración, vientos (intensidad y cuadrante), presión barométrica, humedad relativa.

Entre los que atañen al medio físico, suelos (tipo de suelo, permeabilidad, contenido en materia orgánica, capacidad de campo), geología (litología, isotropía-heterogeneidad, geomorfología, estructuras) e hidrogeología (sistema geohidrológico, tipo de acuíferos, parámetros geohidrológicos como Permeabilidad, Trasmisividad y Almacenamiento o porosidad efectiva, junto con profundidad y temperatura del agua).

Lógicamente, la metodología requiere del conocimiento previo de los condicionantes, mediante un completo estudio de caracterización y la correcta delimitación del estado de la pluma

contaminante. También el establecimiento de un programa de monitoreo sistemático y representativo, cuya frecuencia dependerá de los resultados de la caracterización a nivel de modelo conceptual.

Otros requisitos son la claridad y realidad de las metas correctoras pretendidas, para poder compararlas con la performance de la RAN e inclusive con otras opciones de remediación, y la elección de un laboratorio certificado.

Entre las ventajas respecto a los sistemas de remediación con intervención, puede mencionarse que ofrece menos riesgos potenciales por una escasa perturbación del sitio al no ser invasivo. Resulta menos costoso ya que la obtención de datos es sencilla y económica, ayudando por lo tanto a concentrar la inversión en otros sitios que requieren tecnologías más activas. No depende de equipos mecanizados y puede emplearse en localizaciones poco accesibles (debajo de edificios, tanques, etc.). Debe resaltarse también que los contaminantes más peligrosos (VOC's, BETX) son los más susceptibles para la RAN.

Se consignan como desventajas la alta sensibilidad a cambios naturales o antrópicos en

las condiciones hidrogeológicas locales, necesitándose generalmente tiempos relativamente prolongados. Ello y la falta de "espectacularidad" hacen que para la percepción pública pueda parecer que no se está haciendo nada o muy poco. Por otra parte no es apto para remediar fase libre o situaciones muy comprometidas por elevadas concentraciones de sustancias tóxicas.

La Atenuación natural puede ser aplicada como única acción correctora en sitios donde no existen amenazas inmediatas para la salud, seguridad y medioambiente, como fase subsiguiente de remediación después que otra acción correctora haya reducido las concentraciones y masa en el área de origen o formando parte de un Plan de remediación de varios componentes.

6. EJEMPLOS DE ATENUACIÓN NATURAL COMO HERRAMIENTA ECOHIDROLÓGICA

Algunos de los autores participaron de las primeras experiencias en el país sobre el seguimiento de la Atenuación Natural ante incidentes de contaminación de agua

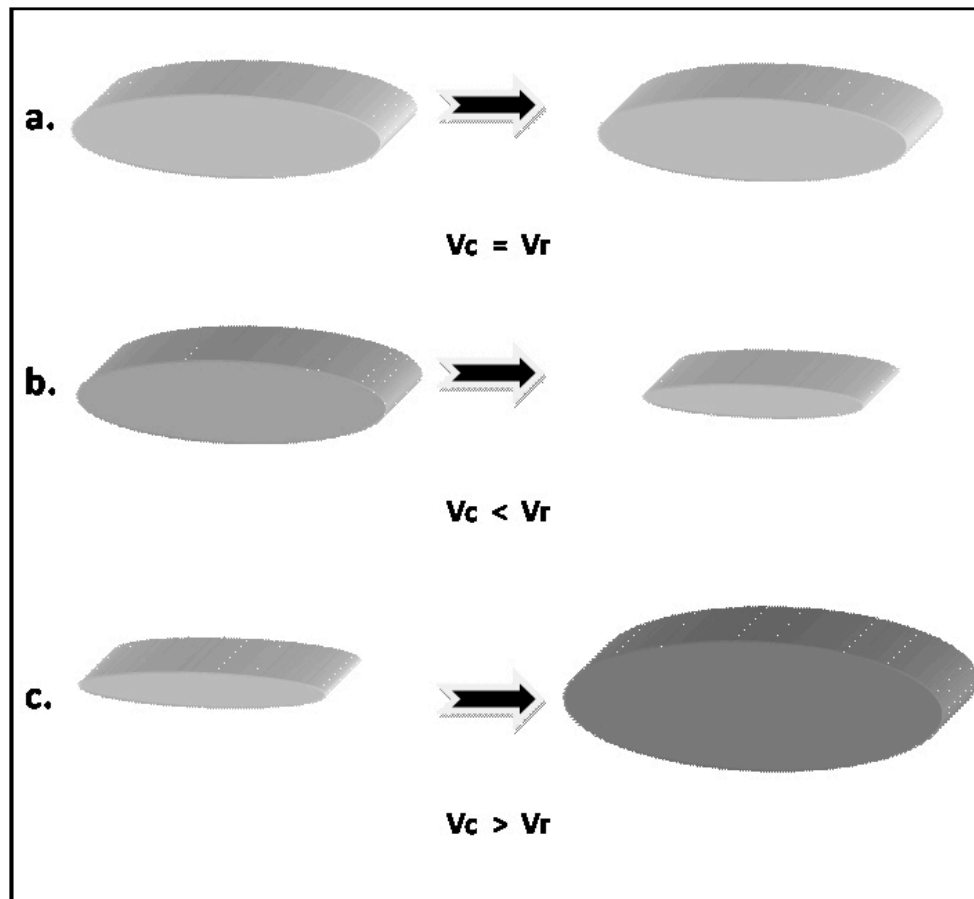


Figura N°1: RAN - Línea de pruebas primaria

subterráneas por hidrocarburos y metales (Fasano et al. 2003), algunas de las cuales anteriores aún a la cita están en el marco de la confidencialidad.

En el mes de Agosto de 2002 acaeció un incidente en el oleoducto que vincula el Yacimiento María Inés con la terminal de embarque Punta Loyola, en las proximidades de la localidad Las Horquetas, Departamento GüerAike, provincia de Santa Cruz, puntualmente en una Trampa Scrapper.

vacío (two phases) para remover vapores orgánicos, fase libre, fase soluble e indirectamente, parte de la fase residual. Del semiconfinado por bombeo neumático la fase libre y la fase soluble, reteniéndose por cementación en el pozo parte de los fluidos migrantes desde el anterior, a causa de la ya mencionada falla operativa.

La remediación pudo considerarse exitosa, ya que se consiguió recuperar prácticamente la totalidad del producto derramado. Pero un nuevo

Tipo	Indicadores
GEOQUIMICOS DIRECTOS	pH, Eh, Conductividad eléctrica
	Benceno, Etilbenceno, Tolueno, Xilenos
	Etano, Metano, metales
	SO ₄ ⁼ , CO ₃ H, NO ₃ ⁻ , Fe ⁺⁺
GEOQUIMICOS INDIRECTOS	r SO ₄ ⁼ / CO ₃ H ⁻
	r Eh / Fe ⁺⁺ , r Eh / O ₂
	r NO ₃ ⁻ / TSD
RELACIONES	Precipitación / Conductividad eléctrica
	Precipitación / NO ₃ ⁻
	e ZNS / O ₂ , e ZNS / Eh

Cuadro N° 2: Indicadores línea secundaria de pruebas

Fueron derramados en la ocasión 927 m³ de petróleo crudo, de los cuales 530 m³ se recuperaron en la emergencia desde superficie, con la facilidad que ofrecía el congelamiento de los suelos del lugar. De los 397 m³ restantes, 392.3 m³ se volatilizaron pese a las muy bajas temperaturas, como lo demostraron además del balance de masas, mediciones de laboratorio realizadas en el área.

Accedieron los otros 4.7 m³ al sistema acuífero local, una parte al acuífero freático y otra a un semiconfinado infrayacente, como resultado de una mala praxis en las perforaciones practicadas en la contingencia para reconocer el subsuelo (Figura 2).

Previo Análisis de Riesgos por la metodología RBCA que señaló una Clase 2 fundamentalmente por la presencia de FLNA en los dos acuíferos, Benceno y Plomo, se procedió a la remediación selectiva de ambos. Del freático mediante alto

Análisis de Riesgos arrojó como resultado una Clase 4, por la presencia en solución de Benceno (0.010 mg/l), Etilbenceno (0.037 mg/l), mp-Xileno (0.041 mg/l), o-Xileno (0.069 mg/l) y Plomo (0.010 mg/l). Dado que se trataba de contenidos muy pequeños y acudiendo a un criterio práctico, ecológico y económico, se optó por completar la tarea con el seguimiento de la Atenuación Natural, siguiendo estrictamente las prescripciones de la Guía ASTM E 1943-98.

Luego de dos años de monitoreo trimestral utilizando la segunda línea de pruebas más arriba descrita, ya que se trataba de contenidos en fase soluble, no en FLNA, pudo verificarse la total desaparición de los componentes problema, ya en el primer año.

Se pudo corroborar también que los principales procesos naturales actuantes fueron la oxidación en el caso del Plomo (indicada por la marcha del Eh, O₂ soluble, moléculas con Oxígeno y

desaparición del Fe++) y la volatilización de los BETX, por cálculos en base a la tensión de vapor y coeficiente de difusión en el aire, valores que para el Benceno por ejemplo son de 9.5 mm Hg y 8.8.10⁻² cm/seg respectivamente, mayores que en los otros HC's aromáticos.

Los resultados de esta experiencia de aplicación del RAN como técnica complementaria, fueron publicados con el consentimiento de la empresa Petrobras Energía SA.

Otra oportunidad importante de utilización de la Atenuación Natural se llevó a cabo a raíz de un incidente ocurrido en un establecimiento rural también en la provincia de Santa Cruz, a la vera de un Gasoducto de media presión, que no puede identificarse por razones de confidencialidad. La fuga fue en este caso de un producto liviano (gasolina de gas).

Para dicha ocasión se empleó la RAN como única técnica, luego de advertirse una Clase 4 de Riesgo utilizando RBCA. Se trataba fundamentalmente de BETX y la operación se prolongó durante más de dos años, notándose una temprana desaparición de los tenores iniciales.

También aquí prevalecieron los procesos de volatilización, favorecidos además de las propiedades físicas de los aromáticos, por los frecuentes e intensos vientos locales y una evaporación potencial del orden de los 1180 mm/año, todo ello en un ámbito moderadamente

oxidante, con leve pero progresivo incremento del potencial redox, desde 250-400 mvolt a 320-450 mvolt.

Los casos ejemplo precitados son los más destacados dentro de aquellos donde los autores participaron, referidos en su mayoría a contaminación por fluidos no miscibles como los hidrocarburos en acuíferos.

La Atenuación Natural sin embargo puede aplicarse a otros tipos de contaminación, dentro del dominio de la hidrología subterránea.

En estos momentos y en el marco de la Maestría en Ecohidrología de la Universidad Nacional de La Plata, el Lic. Matías Perri está llevando adelante una Tesis sobre Atenuación Natural de radionucleidos en acuíferos para un escenario de llanura. Se trata de una investigación pionera para Argentina y de neto interés ecohidrológico.

CONCLUSIONES

Los aspectos ecohidrológicos de la hidrología subterránea son abordados desde hace muy pocos años, prácticamente en coincidencia con la aparición de la Maestría en Ecohidrología en la Universidad Nacional de La Plata.

Una de las más fuertes vinculaciones de esta relativamente nueva disciplina científica con la

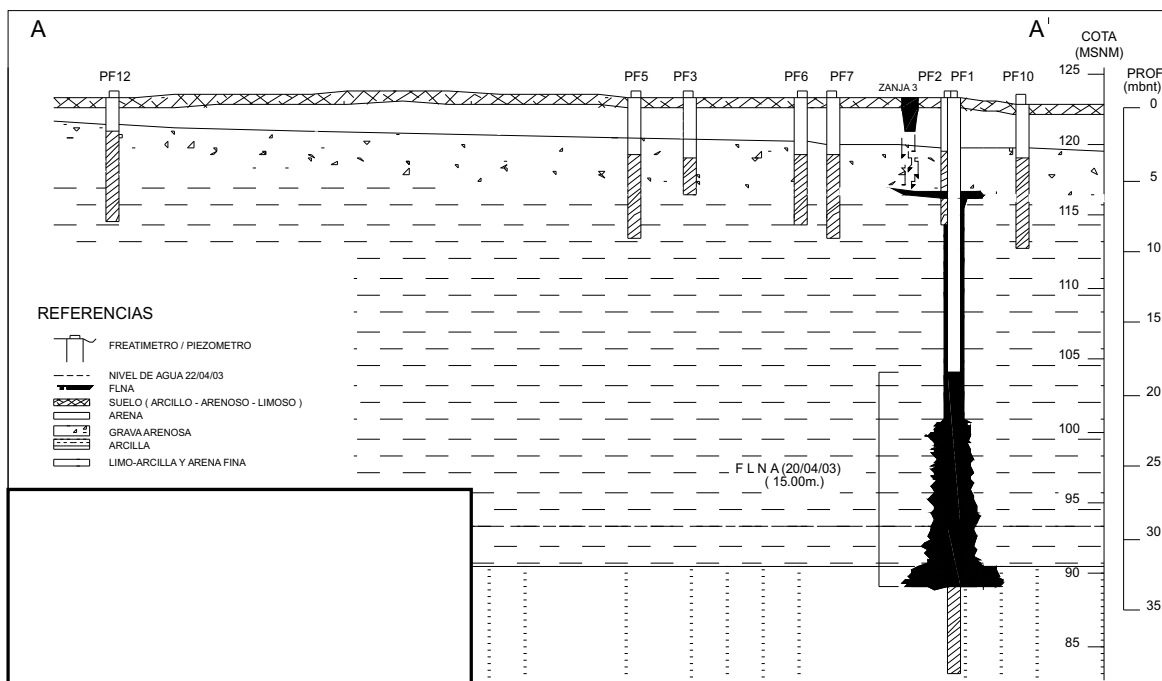


Figura N°2: Esquema de la contaminación de acuíferos

geohidrología, parte del seguimiento de los procesos naturales de atenuación de una carga contaminante, como un modo no invasivo de remediación de sitios contaminados.

La aplicación de la Atenuación Natural (RAN) está sugerida desde la Guía ASTM E 1943-98 "Standard Guide for Remediation of Ground Water by Natural Attenuation at Petroleum release Sites", utilizable como único método de remediación, complementario de técnicas con intervención o formando parte de un Programa múltiple.

Si bien ofrece muchas ventajas desde el punto de vista ecohidrológico, los tiempos requeridos son en general prolongados y no es un método apto para concentraciones importantes o plumas de gran extensión. También deja la sensación de inacción ante la opinión pública involucrada, por su falta de espectacularidad.

Se presentan dos casos en los cuales los autores participasen, los primeros del país y referidos a contaminación por hidrocarburos. Actualmente se está realizando una Tesis en el ámbito de la Maestría en Ecohidrología UNLP, sobre la Atenuación Natural de radionucleidos en acuíferos de un sector de la llanura bonaerense.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ASTM (1995) Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites. Guide E-1739. American Society for Testing Materials.

ASTM (1998) Standard Guide for Remediation of Ground Water by Natural Attenuation at Petroleum release Sites. Guide E-1943. American Society for Testing and Materials.

Fasano, J., M. A. Hernández, P. Molina, J. H. Ceci y C. F. Scatizza (2003) Diagnóstico geohidrológico de efectos originados por un derrame de petróleo. Paraje Las Horquetas (Santa Cruz). Metodología. 5as Jornadas de Preservación de Agua, Aire y Suelo. Instituto Argentino del Petróleo y del Gas (IAPG). Mendoza.

Garduño, H. y F. Arreguin-Cortés (1994) Uso eficiente del agua. UNESCO. ORCYT, Montevideo.

González, N., L. Hernández y M. A. Hernández (2008) Conflicto entre las actividades usuarias de aguas subterráneas doméstica y agrícola en un sector de la llanura pampeana, Argentina. IX Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea. ALHSUD. Ed. CD Rom y Libro de Resúmenes (Memorias, pp.51). Quito, Ecuador.

Hernández, M. A. (2005) Panorama ambiental de los Recursos Hídricos Subterráneos en la Provincia de

Buenos Aires. Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino, pp. 347-358 (ISBN 987-22403-0-2). La Plata.

Hernández, M. A. (2005) An overview vision on groundwater resources in Latin América. En Groundwater and human development (ISBN 04 1536 443 4), 1, 2: 9-14. Bocanegra, E., M.A. Hernández y E. Usunoff. Ed. A. Balkema Pub., Leiden (The Netherlands).

Hernández, M. A. (2003) La importancia de la Zona No-Saturada en la hidrología de llanuras. Anales Academia Nac. de Cs. Exactas, Físicas y Naturales. T.53: 73-82. Buenos Aires.

Poggio, F. (2006) El análisis de riesgo RBCA en el desarrollo de objetivos de remediación. Petrotecnia, 56-58.

Zalewsky, M., G. A. Janauer y G. Joláncai (1997) Ecohydrology. A new paradigm for the sustainable use of aquatic resources. IHP-UNESCO SC97/WS/12. París.
<http://unesdoc.unesco.org/images/0010/001062/106296e.pdf>

HUMEDALES CONSTRUIDOS: TRATAMIENTOS EXTENSIVOS DE BAJO COSTO, COMO RESPUESTA DESCENTRALIZADA AL PROBLEMA DE LAS AGUAS SERVIDAS DE PEQUEÑA Y MEDIANA ESCALA.

Alejandro J. Mariñelarena y Hugo D. Di Giorgi

Instituto de Limnología "Dr. Raúl Ringuélet" UNPL - CONICET
Comisión de Investigaciones Científicas Pcia. Bs. As.

1. INTRODUCCION.

Debido a su volumen, las descargas de aguas residuales urbanas constituyen uno de los mayores problemas de contaminación y eutrofización de ambientes acuáticos a escala mundial. (Council Directive 91/271/EEC).

La depuración de las aguas servidas, tanto domésticas como industriales, es una condición ineludible para poder alcanzar un uso racional y sostenible de los recursos hídricos superficiales y subterráneos, garantizar condiciones mínimas de salud para la población, y mantener la calidad y biodiversidad de la vida silvestre en los ecosistemas naturales.

Muchas iniciativas a nivel mundial evidencian la preocupación que despierta la disponibilidad actual y futura de fuentes de agua de buena calidad. Uno de los objetivos del programa Desarrollo para el Milenio, elaborado conjuntamente por UNICEF y OMS apunta a disminuir a la mitad para 2015 la cantidad de gente sin provisión de agua y saneamiento, como medida de desarrollo sustentable y erradicación del hambre y la pobreza. Para ello se necesitan fuentes de agua libres de contaminación. (WHO/UNICEF, 2006). Con el objetivo de preservar la calidad de los recursos de agua y poder satisfacer las necesidades de provisión y recreación, la Directiva 91/271 de la Comunidad Económica Europea determinó que, con fecha

límite 31 de diciembre de 2005, todas las aglomeraciones de 2000 a 15000 equivalentes habitante deberán disponer de un sistema de colección y tratamiento de sus aguas residuales.

Esta necesidad de preservar las fuentes de agua limpia, sumada a la de favorecer el ahorro de energía y disminuir los costos constructivos y operativos, tanto de las redes de alcantarillado como de las plantas de tratamiento, ha enfrentado a la ingeniería sanitaria con el desafío de desarrollar tecnologías de tratamiento que permitan satisfacer las demandas de núcleos habitacionales aislados y pequeñas urbanizaciones, con un criterio descentralizado evitando el incremento desmedido de las instalaciones de las grandes ciudades. En esta búsqueda se han desarrollado y perfeccionado tecnologías extensivas, no convencionales que ocupan más espacio pero requieren menores costos de inversión y ofrecen condiciones de explotación mucho más económicas, sencillas y sostenibles sin necesidad de personal altamente capacitado.

En nuestro país, la provincia de Buenos Aires ha sido pionera en legislación ambiental y protección de los recursos de agua superficiales, con la promulgación de la Ley 5965 en 1958 y sus decretos reglamentarios que limitan el vuelco de sustancias contaminantes en los cuerpos de agua. No obstante, la situación ambiental en lo referente a efluentes domiciliarios y municipales no es la ideal. El censo 2001 indica que aproximadamente el 50 % de la población de la provincia no tiene cobertura cloacal.

Alrededor de los grandes núcleos urbanos la tendencia general sigue siendo la de anexar los nuevos grupos habitacionales, barrios periféricos y aún pueblos cercanos, a las redes colectoras cloacales existentes. El consecuente incremento de los volúmenes de aguas servidas agrega dificultades técnicas y económicas tanto en lo que respecta al mantenimiento de las redes, como al objetivo de instalar las obras de saneamiento al final del conducto, que se tornan inalcanzables por su dimensión. Por esta razón las grandes ciudades no poseen instalaciones de depuración o, a lo sumo, poseen pretratamientos limitados al desbaste y/o desarenado.

1 Aguas domésticas residuales o mezcla de las aguas domésticas residuales con aguas industriales residuales y/o aguas pluviales.

2 Aguas residuales procedentes de los establecimientos y servicios residenciales y producidas esencialmente por el metabolismo humano y las actividades domésticas.

3 todas las aguas residuales procedentes de locales utilizados con fines comerciales o industriales, distintos de las aguas domésticas residuales y las aguas pluviales

4 Equivalente habitante: carga orgánica biodegradable igual a 60 gDBO5 por día.

En muchas ciudades medianas (cabeceras municipales), las aguas residuales reciben tratamiento pero la mayoría de los vuelcos presenta calidad deficiente por diversas razones. Donde existen instalaciones de tratamiento se utilizan tecnologías convencionales insuficientes para alcanzar un resultado acorde a lo que exige la reglamentación vigente. Algunos casos poseen sistemas limitados a un pretratamiento (desbaste) o a un tratamiento primario (sedimentación). En otros hay instalaciones de tratamiento secundario (lechos percoladores o lodos activados) que funcionan en forma deficiente por haber sido sobrepasados en su capacidad de diseño, y/o por falta de mantenimiento mecánico y capacitación de los operadores.

En pequeños pueblos y en barrios periféricos a las ciudades, aislados de las redes cloacales por distancia o cuestiones topográficas, la cantidad de personas servidas no alcanza para justificar o afrontar los costos de instalación de servicios de tratamiento convencionales que se puedan financiar o solventar con el abono de una tasa por servicio.

En viviendas individuales o establecimientos de ocupación temporaria o de baja población como campings, escuelas, hosterías, ubicados en zonas rurales o periféricas a los centros urbanos, se utiliza con frecuencia el pozo absorbente como sistema de tratamiento y disposición del agua servida. Su uso es popular en la región, aún como pozo negro, esto es, sin el tratamiento previo de una cámara séptica. La aplicación de ésta tecnología podría resultar adecuada para pequeños caudales de agua servida y en suelos donde el nivel freático esté todo el año 1,2 m por debajo del fondo del pozo y la tasa de percolación media sea menor a 12 minutos por cm (EPA 625/1-80-012). El incumplimiento de las condiciones mencionadas conduce a la contaminación del agua subterránea y la saturación de los pozos, ambos fenómenos muy frecuentes en nuestra región. En los últimos años algunas agencias ambientales tomaron la decisión de desalentar su aplicación con el objeto de proteger los acuíferos (EPA 909-F-01-001).

En particular, dadas las características climáticas, ecológicas, topográficas y socioeconómicas de la Provincia de Buenos Aires, las tecnologías no convencionales pueden ser fácilmente adaptadas y aplicadas en toda su extensión y ofrecer soluciones adecuadas para numerosos casos de cuerpos de agua superficiales que reciben efluentes domiciliarios o industriales sin ninguno o con escaso grado de tratamiento. La mayor parte de ellas se basa en la construcción de ecosistemas confinados, donde el tratamiento se

realiza por métodos naturales imitando lo que ocurre en el medio ambiente.

En el presente trabajo se realiza una revisión crítica de algunas tecnologías extensivas disponibles para el tratamiento de aguas residuales domésticas, urbanas e industriales de pequeña y mediana escala, cuya aplicación en nuestra región puede resultar adecuada.

2. NATURALEZA DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMICILIARIAS.

2.1 Categorías de contaminantes

Las aguas residuales domiciliarias están conformadas por los efluentes de inodoros, bidets, lavatorios, bañeras, piletas de cocina, piletas de lavar, desagote de lavarropas, etc. Estos líquidos contienen una gran variedad de contaminantes, que por su estructura física (partículas, coloides, solutos) y química (complejidad molecular), presentan diversas dificultades para su eliminación.

En función de sus características físicas y químicas y de la estrategia utilizada para su eliminación, los contaminantes suelen agruparse en las siguientes categorías:

- Sólidos Sedimentables.
- Carga orgánica (DQO DBO)
- Nutrientes (N y P)
- Organismos patógenos (Bacterias, virus, parásitos intestinales)
- Metales pesados
- Orgánicos persistentes
- Otros

2.2. Los efectos sobre el medio ambiente

Los efluentes líquidos, junto con los excedentes pluviales, escurren por gravedad a través de cañerías o zanjas superficiales hacia los puntos más bajos de las cuencas de drenaje. Allí se incorporan a los cuerpos de agua receptores donde los contaminantes precipitados causan diferentes alteraciones del equilibrio natural en estos ecosistemas acuáticos (ríos, lagos, mares).

Las partículas enturbian el agua e impiden la penetración de la luz; y los cuerpos de agua, como cualquier otro ecosistema, vive a expensas de la luz solar y del proceso fotosintético. Los productores primarios (algas) generan alimento para toda la cadena trófica del sistema y en el proceso de fotosíntesis liberan oxígeno que permite la respiración de la fracción heterotrófica

de la comunidad. Cuando el agua se enturbia la fotosíntesis se ve limitada por falta de luz y el resto de los organismos sufren por falta de alimento y oxígeno. La materia orgánica eleva el consumo de oxígeno pudiendo llegar a agotarlo, limitando así la biodiversidad. Cualquier material que sea biodegradable representa una fuente de energía y alimento para las bacterias del agua que normalmente se encuentran en el orden de un millón por centímetro cúbico. Los nutrientes (N y P) fertilizan los ecosistemas favoreciendo el desarrollo desmedido de algas y malezas acuáticas y los organismos patógenos liberados con las heces (parásitos, bacterias y virus) vuelven las aguas infecciosas, transmisoras de enfermedades.

3. LOS TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS.

Los efluentes que presentan una alta proporción de materiales biodegradables, pueden ser depurados por métodos biológicos, en los que se utiliza la capacidad metabólica de bacterias y otros microorganismos para digerir y estabilizar esas sustancias fermentables o putrefactibles.

3.1. Remoción de materia orgánica.

Las aguas residuales domésticas contienen una gran diversidad de compuestos orgánicos, algunos fácilmente biodegradables (azúcares, proteínas) y otros más recalcitrantes (grasas, ligninas, papel). Para la mineralización de cada uno, se requieren muchas enzimas específicas, cada una de las cuales cataliza un paso metabólico. Pero no todos los microorganismos pueden producir cualquier enzima. Por esta razón, la degradación de materia orgánica de distintos orígenes (aunque no sean muy recalcitrantes), requiere de un consorcio de organismos de diferentes especies, donde cada uno hace una parte del proceso. Además las bacterias pueden utilizar una misma fuente de carbono orgánico por diversas vías metabólicas (oxidación, fermentación), lo que les permite aprovechar el recurso en cualquier condición ambiental aunque con mayor o menor eficiencia (cantidad de energía) en el proceso. La oxidación con oxígeno molecular es la vía más eficiente mientras que las vías anaerobias lo son menos.

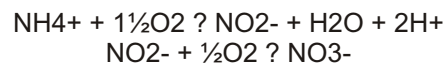
La estructura básica de la materia orgánica está formada por cadenas de átomos de carbono. Los elementos más abundantes después del carbono son los nutrientes esenciales, el nitrógeno y el fósforo.

En el proceso de digestión de la materia orgánica, el carbono se asimila en la biomasa bacteriana o se libera como dióxido de carbono. De la misma forma, parte de los compuestos de nitrógeno y fósforo son absorbidos por los microorganismos de acuerdo a sus necesidades de crecimiento y el resto se libera en el agua en forma de moléculas inorgánicas. El nitrógeno principalmente como ión amonio y el fósforo como fosfato soluble.

3.2. Remoción de nitrógeno

El nitrógeno en las aguas residuales está en forma de N orgánico y como ión amonio (NH₄⁺), producto de la degradación del nitrógeno orgánico. La eliminación biológica del N de las aguas residuales se realiza por medio de dos procesos metabólicos bacterianos acoplados: Nitrificación - Desnitrificación

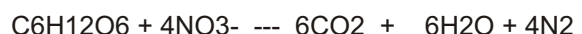
Nitrificación: la nitrificación es la oxidación biológica del amonio. Este proceso ocurre en dos etapas de acuerdo a las siguientes ecuaciones:



Es llevado a cabo por dos grupos diferentes de microorganismos. Es un proceso estrictamente aerobio, que ocurre en un ambiente alcalino (pH 7,5 - 8,5) y que como subproducto libera acidez (protones, H⁺). Esta breve descripción nos permite entender que la comunidad bacteriana que realiza el proceso debe tener asegurada la provisión de oxígeno y que la propia actividad tiende a inhibir el proceso porque requiere un medio alcalino y produce acidez.

En la naturaleza las concentraciones de amonio son bajas (se miden en µg/l), los procesos son lentos y los productos se diluyen rápidamente. Pero en los reactores de tratamiento con alta concentración de compuestos y de microorganismos, el proceso debe ser asistido con adición de oxígeno y alcalinidad para que funcione adecuadamente y no se auto inhiba.

Desnitrificación: es la reducción de nitratos a nitrógeno molecular que se libera a la atmósfera de acuerdo a la siguiente ecuación:



Es un proceso estrictamente anaerobio que se nutre de los nitratos producidos en la etapa anterior.

Por lo expuesto, queda claro que los dos procesos por los que se elimina el nitrógeno de las aguas residuales no pueden ocurrir en el mismo

reactor porque requiere condiciones antagónicas, no obstante lo cual deben estar próximos porque uno alimenta al otro.

3.3. Remoción de fósforo

El fósforo en la materia orgánica se encuentra como fosfato ligado a macromoléculas y se libera como fosfato reactivo soluble (PRS). Existen microorganismos que pueden incorporar grandes cantidades de fósforo durante su crecimiento y se utilizan para concentrar ese elemento. No obstante, la remoción de fósforo de las aguas residuales se realiza principalmente mediante procesos físico-químicos de complejación y precipitación.

-En condiciones aeróbicas y de reacción neutra o ácida, el P se adsorbe a compuestos de Fe+3 en complejos estables;

-Bajo condiciones básicas el P se adsorbe al calcio;

-La capacidad de remoción de fosfatos depende de la presencia de hierro, aluminio o calcio en minerales de arcilla, carbonatos o ligado a la materia orgánica del suelo.

-En condiciones de anaerobiosis los complejos se deshacen y liberan el P.

4. TRATAMIENTO CONVENCIONAL DE LAS AGUAS RESIDUALES.

La ingeniería sanitaria se desarrolló entre fines del siglo XIX y la primera mitad del siglo XX con el objetivo de proveer saneamiento a las grandes ciudades europeas, evitar las epidemias de enfermedades infecciosas de origen intestinal y el deterioro de la calidad del agua en los ríos adyacentes. Por esta razón los sistemas de tratamiento convencionales están concebidos para tratar grandes caudales de líquidos en instalaciones donde los procesos se concentran en el menor espacio posible.

Para la eliminación de los contaminantes de cada una de las categorías mencionadas, los métodos de tratamiento convencionales utilizan un procedimiento específico.

Pretratamiento: remoción de materiales gruesos.

-Rejas y tamices: separan materiales gruesos como bolsas de polietileno, pañales descartables, botellas de material plástico, etc.

-Desarenado: separa los sólidos más gruesos y pesados (gravas y arenas) que sedimentan en menos de 10 minutos.

Tratamiento Primario: remoción de sólidos suspendidos.

-Sedimentación: separa los sólidos que sedimentan en una o dos horas.

-Los materiales que se acumulan en el fondo se digieren en forma anaerobia o son colectados con cierta frecuencia para su posterior tratamiento y disposición.

Tratamiento secundario: remoción de carga orgánica.

Es un proceso biológico (oxidación o fermentación enzimática), llevado a cabo por una comunidad de microorganismos, principalmente por bacterias.

Tratamiento terciario o avanzado: remoción de nutrientes de nitrógeno y fósforo.

-Nitrógeno: Es un proceso biológico (nitrificación - desnitrificación) llevado a cabo por varios grupos de bacterias.

-Fósforo: Es un proceso físico - químico de complejación sedimentación.

Desinfección: remoción de organismos patógenos.

Los métodos más usados son el agregado de cloro gaseoso o de hipoclorito de sodio.

En estos tratamientos, la diversidad de procesos descripta, la variedad y concentración de microorganismos y la necesidad de lograr determinadas condiciones de reacción, requiere el desarrollo de estructuras y dispositivos complejos para proveer sustrato donde fijarse a los organismos, fuerza motriz de mezcla, aporte de oxígeno, corrección de pH, etc., lo que implica instalaciones costosas, altos consumos de energía y de aditivos químicos y una operación por personal altamente capacitado para que el proceso funcione correctamente.

Para las grandes ciudades donde no hay disponibilidad de espacio los tratamientos convencionales siguen siendo la solución adecuada. Cuando se pretende adecuar este tipo de instalaciones a poblaciones medianas o pequeñas, los costos de construcción, operación y mantenimiento no se reducen en forma proporcional al tamaño de los efluentes, de manera que el precio del tratamiento por cantidad de personas servidas o por metro cúbico de

líquido tratado se incrementa notablemente.

En un análisis de esta situación realizado en 1984 en la Junta de Andalucía, en España, se detectó una muy elevada frecuencia de fracasos en los objetivos de calidad cuando se utilizan sistemas de depuración convencionales en núcleos urbanos pequeños, debido fundamentalmente a su habitual escasez de recursos técnicos y económicos. En la búsqueda de planeamiento con soluciones sostenibles *“...se comienza a vislumbrar la gran potencialidad de aplicación en nuestra región, de las llamadas Tecnologías no Convencionales (TNC). Su versatilidad y adaptabilidad, su integración en el entorno y su menor coste de implantación y explotación las hacían especialmente indicadas para la depuración de los vertidos urbanos del medio rural, en el que, como ya se ha señalado, las limitaciones técnicas y económicas pueden comprometer seriamente la eficacia del tratamiento de las aguas residuales.”* (Martín García, I. et al., 2006). Entre estas Tecnologías no Convencionales emergentes una de las más promisorias son lo humedales construidos.

5. HUMEDALES NATURALES Y CONSTRUIDOS

5.1. Los humedales como ecosistemas.

Los humedales son ecosistemas acuáticos de acumulación poco profundos, inundados en forma permanente o una parte del año y con una comunidad dominada por vegetación acuática, adecuada a vivir en suelo saturado. Generalmente son sistemas ubicados entre un ecosistema terrestre y uno acuático (ecotonos) o en lugares bajos, en depresiones del terreno. El agua que ingresa al humedal a través de un río o como resultado del drenaje del terreno, pierde velocidad (energía), y los materiales que arrastra precipitan y se depositan en el fondo. La acumulación de materia orgánica y nutrientes es fuente de alimento y energía para el desarrollo de una comunidad de alta diversidad compuesta por microorganismos que se nutren y reciclan los compuestos, macrófitas (malezas acuáticas) y animales.

Los humedales constituyen los ecosistemas más productivos del planeta cuya biodiversidad y productividad permiten biodegradar y reciclar la mayor parte de los contaminantes de las aguas residuales, convirtiéndolos en subproductos no tóxicos. Esta capacidad se logra porque son sistema extensos, donde los sólidos son retenidos y el agua permanece el tiempo suficiente para que una secuencia de procesos

aerobios y anaerobios (más y menos eficientes) se realice a la “velocidad” de la naturaleza, movidos por las fuerzas naturales del sol y la fotosíntesis

5.2. Los humedales construidos como herramientas tecnológicas para el tratamiento de aguas residuales

La necesidad de satisfacer la demanda de depuración de aguas residuales de comunidades pequeñas, no conectadas a redes cloacales centralizadas, como grupos de casas, barrios, hosterías, campings, escuelas rurales, parques o pequeños pueblos, impulsó en las últimas décadas el desarrollo de tecnologías de tratamiento más sencillas, eficientes y económicas que los métodos convencionales. Los humedales artificiales, diseñados y construidos para tratamiento en estos casos son una opción técnica y económicamente ventajosa.

Los "humedales construidos" son ecosistemas artificiales, que se diseñan imitando a los humedales naturales para que retengan y metabolicen los materiales que arrastra el agua que circula por ellos. Una vez construidos se plantan una o más especies vegetales elegidas y se hacen circular las aguas residuales. A partir de ese momento el ecosistema se autorregula y mantiene una comunidad con mayor o menor desarrollo, según la cantidad de energía y nutrientes que aporten los líquidos residuales. El sistema toma la estructura de un ecosistema natural, con distintos microambientes donde pueden ocurrir todos los procesos microbianos. Los contaminantes retenidos, aunque no sean demasiado lábiles, pueden ser degradados lentamente por una comunidad microbiana diversa. En las proximidades de tallos y raíces pueden coexistir metabolismos aerobios y anaerobios separados por gradientes de décimas de milímetros. Los organismos patógenos permanecen mayor tiempo en el sistema de tratamiento y deben competir por el alimento con otros mejor adaptados al ambiente natural, por lo que tienen mayores posibilidades de ser eliminados.

Los humedales construidos constituyen una biotecnología natural, que se utiliza para depurar no sólo aguas residuales domiciliarias o municipales, sino también industriales y efluentes no puntuales como escorrentías pluviales (runoff) urbanas o agrícolas. Una publicación reciente sobre el tema (Kadlec & Wallace, 2009), consigna cerca de 1000 humedales funcionando actualmente en EEUU, Canadá, Australia, Nueva Zelanda y varios países de Europa.

5.3. Clasificación de humedales construidos

Si bien existen algunos diseños ampliamente probados, la tecnología experimenta una permanente innovación. Una de las variables de diseño más importantes es el patrón de flujo de agua (Breen PF & Chick AJ 1995). De acuerdo a esta característica los humedales construidos se pueden clasificar en:

- Humedales de flujo superficial
- Humedales de flujo subsuperficial horizontal
- Humedales de flujo vertical
- Humedales naturales para pulido.

Humedales de flujo superficial. (EPA 832-F-00-024). Normalmente referidos como FWS, por su denominación en inglés Free Water Surface. Consisten en una serie de canales, limitados por terraplenes, impermeabilizados por compactación o con film de polietileno, con una capa de suelo en el fondo y sembrados con plantas acuáticas. Funcionan inundados en forma permanente con profundidades de 0,3 a 0,9 m. Las plantas más usadas son especies de los géneros *Typha* (tatora), *Scyrcpus* (junco) y *Phragmites* (caña), aunque se recomienda el uso de plantas autóctonas. El agua residual circula entre las plantas que hacen de filtro y el tratamiento lo realiza la comunidad microbiana (bacterias, algas y protozoos), que crece adherida sobre los vegetales, los que aportan oxígeno y sostén. En algunos casos se incorporan dentro del humedal, zonas de aguas abiertas, sin plantas, más profundas (1,5 m), para facilitar la redistribución del agua, estimular la producción de oxígeno disuelto por fotosíntesis y mejorar la remoción de carbono orgánico y la nitrificación.

Los humedales de flujo superficial tienen menores costos de construcción pero requieren mayor superficie de terreno. Se recomiendan para tratamientos de más de 500 m³/d en zonas rurales. Se debe aplicar algún tipo de pretratamiento y/o tratamiento primario a los líquidos, antes de ingresar al humedal. Para poblaciones mayores de 500 1000 m³/d se utiliza un sedimentador o una laguna de estabilización como tratamiento primario.

Humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal (EPA 832-F-00-023). Normalmente referidos como HSSF, por su denominación en inglés Horizontal SubSurface Flow. Consisten en una o más cubetas (normalmente dos, en serie), limitadas por terraplenes, impermeabilizados por compactación o con film de polietileno, rellenas de material poroso (grava, piedra, arena o suelo) y

sembradas con plantas acuáticas. Los efluentes circulan en sentido horizontal, por debajo de la superficie, a través del relleno donde se desarrollan las raíces de las plantas y pasan de una cubeta a la siguiente por rebalse. La segunda cubeta completa el tratamiento. Puede no estar impermeabilizada y funcionar como sistema de infiltración, o puede estar impermeabilizada y volcar sus efluentes en un terreno de infiltración o en un cuerpo de agua receptor. Las cubetas tienen entre 0,4 y 0,6 m de profundidad y las plantas más usadas son especies de los géneros *Typha* (tatora), *Scyrcpus* (junco) y *Phragmites* (caña), aunque se recomienda el uso de plantas autóctonas. El tratamiento lo realizan las bacterias que tapizan el relleno, en interacción con las raíces de las plantas que aportan oxígeno y abren vías de circulación. Los líquidos requieren de un tratamiento primario que se hace con una cámara séptica para sistemas pequeños o con una laguna de estabilización para pequeñas comunidades.

Se utilizan para instalaciones muy pequeñas (casas individuales, grupos de casas, escuelas, hosterías) hasta urbanizaciones en zonas donde, por las características del suelo, no se puede hacer infiltración. El rango de tamaño recomendado llega hasta efluentes de 250 m³/d aunque hay ejemplos de tratamientos de pequeños pueblos de 4000 m³/d y más. También se recomiendan para efluentes de pequeñas industrias agropecuarias o alimenticias que generan efluentes con alto contenido orgánico. Se utilizan como método de pulido (retención de sólidos suspendidos) para los efluentes de sistemas de lagunas de estabilización.

Humedales de flujo vertical. (EPA/625/R-00/008). Normalmente referidos como VF, por su denominación en inglés Vertical Flor. Consisten en una cubeta hecha en la tierra (limitada por terraplenes, impermeabilizada por compactación o con film de polietileno), o en una caja de mampostería, rellena de material poroso (grava o arena) y sembrada con plantas acuáticas. La mayoría se diseña con flujo descendente. El agua residual se riega en forma intermitente en la superficie del lecho filtrante y después de percolar a través del relleno sale por cañerías de drenaje ubicadas en el fondo. El sistema funciona drenado para garantizar la oxigenación. La biomasa bacteriana establecida sobre el relleno degrada la materia orgánica y nitrifica el amonio liberado. No existe diferencia conceptual entre un humedal de flujo vertical descendente y los filtros de arena intermitentes o los filtros de arena con recirculación vegetados.

Los humedales de flujo vertical ascendente han sido poco desarrollados y se han utilizado principalmente para estimular procesos metabólicos anaerobios u oxidación de efluentes con alta carga orgánica mediante un mecanismo alternativo de llenado y vaciado.

Humedales naturales para pulido. (EPA 832-R-93-005). El uso de humedales naturales para el tratamiento de efluentes debe ser analizado muy cuidadosamente. La carga indiscriminada de contaminantes puede deteriorar estos ecosistemas y su biodiversidad. No obstante, el aporte de agua en forma permanente y de nutrientes en forma limitada y controlada, puede estimular su productividad y riqueza específica. En ningún caso se recomienda utilizar humedales naturales para tratamiento de aguas residuales crudas. Existen muchas experiencias documentadas acerca de la utilización de humedales naturales para el tratamiento avanzado o pulido de efluentes que recibieron tratamiento secundario en instalaciones convencionales.

Los líquidos se distribuyen en el área del humedal de forma de no superar excesivamente los niveles de carga orgánica naturales del sistema. Para garantizar distribución y flujo uniformes, se realizan intervenciones mínimas delimitando áreas con pequeños terraplenes, cámaras repartidoras, cañerías de distribución y vertederos. En el caso de humedales con alguna época del año de escaso aporte de agua, esta metodología bien usada, puede compensar el déficit hídrico y favorecer el mantenimiento del sistema con mayor desarrollo vegetal y más recursos para la vida silvestre.

Los humedales naturales se utilizan como etapa de tratamiento avanzado o pulido de efluentes que ya han sido sometidos a tratamiento secundario o similar por otros métodos. Con un diseño adecuado de distribución y tiempos de residencia hidráulica se logra superar los objetivos legales de vuelco a los cuerpos receptores, en algunos casos llegando a niveles de calidad semejantes a los niveles de base del agua natural de la región. Estos tratamientos permiten además, crear áreas de nidación de aves silvestres, de gran valor paisajístico, turístico, educativo y de investigación.

5.4. La situación actual de la tecnología.

Los humedales construidos han demostrado ser muy eficientes para la retención de material finamente particulado (sólidos suspendidos) y de materia orgánica que conforma una parte importante de aquellos. Por las características del

flujo de los líquidos, muy lento y con mucho contacto con la vegetación o el material de relleno, las partículas tienden a quedar adsorbida sobre el relleno o las plantas dándole tiempo a la flora microbiana para degradarlas. Por el contrario, en lo que se refiere a remoción de nutrientes, la eficiencia de estos sistemas ha resultado muy variable, (Verhoeven TA & MuelemanAFM 1999).

Cuando se comenzó a desarrollar la tecnología, se puso mucha expectativa en la capacidad de la biomasa vegetal de incorporar y concentrar nutrientes durante su crecimiento y en la posibilidad de exportar y utilizar o recuperar esos nutrientes para otros fines, cosechando la biomasa vegetal producida. La realidad demostró que con la biomasa cosechada, sólo se recupera una pequeña cantidad de los nutrientes que ingresan en los humedales con los efluentes.

Según lo tratado en el Punto III: Los tratamiento biológicos, la eliminación de nitrógeno y fósforo requiere de tiempos, condiciones ambientales y microorganismos especiales. La presencia y distribución de oxígeno disuelto, el pH y las concentraciones de determinados cationes; la composición química del material de relleno y las especies vegetales utilizadas, parecen ser variables que afectan el rendimiento en forma importante y que todavía deben ser investigadas más profundamente.

Disponibilidad de oxígeno. El oxígeno disuelto permite una degradación rápida y completa del carbono orgánico y es necesario para el proceso de nitrificación. En las áreas muy vegetadas de los humedales FWS, la difusión superficial de oxígeno puede verse limitada por la vegetación emergente que anula la acción del viento. La fotosíntesis planctónica puede disminuir mucho o anularse por el sombreado de las plantas. En estos casos dominan condiciones de anaerobiosis. En esas zonas hay más contacto del líquido con el biofilm bacteriano que tapiza las plantas y mayor actividad de procesos que no dependen del oxígeno disuelto como la digestión extracelular, hidrólisis de macromoléculas, sedimentación, liberación de sustancias disueltas, amonificación y desnitrificación.

Para contrarrestar estas situaciones se diseñan las cubetas con alternancia de zonas vegetadas (0,3 0,9 m de profundidad) donde hay mas contacto y zonas de aguas abiertas (1,5 m de profundidad, sin plantas) donde se establecen poblaciones de algas planctónicas que durante el día pueden producir concentraciones de oxígeno disuelto por encima de 200% de saturación y bajar mucho por la noche. En las zonas de agua

libre hay reoxigenación del agua y mayor oxidación de materia orgánica disuelta, nitrificación, oxidación de productos de fermentación (ácidos grasos volátiles), de productos inorgánicos reducidos (sulfuros, metano),

En HSSF el agua circula por dentro del relleno sin contacto con la atmósfera, donde domina un ambiente anaeróbico; el oxígeno para el metabolismo bacteriano debe ser aportado por las plantas. Hay consenso en que éstas bombean oxígeno a sus raíces (Brix, 1990), de donde difunde al medio generando un microambiente aeróbico que favorece el desarrollo de la planta e indirectamente el metabolismo bacteriano. Hay mucha discrepancia acerca de cuánto oxígeno aportan las raíces, pero hay un cierto acuerdo en que hay mucha diferencia de transporte entre distintas especies y que el aporte en una misma especie varía de acuerdo a la demanda de los sedimentos. Tampoco hay consenso acerca de la importancia cuantitativa que puede tener el oxígeno provisto por las plantas sobre los procesos metabólicos aeróbicos bacterianos. Hay evidencias claras de un metabolismo muy diferente (mucho mayor) en sistemas vegetados que en sistemas testigos sin plantas y entre sistemas con diferentes plantas (Kadlec & Wallace, 2009). Queda así en evidencia la necesidad de experimentar con diferentes tipos de plantas, sobretodo con especies autóctonas, buscando las que puedan generar en su zona radicular, las condiciones más adecuadas para el tratamiento.

Nitrógeno: En los humedales la eliminación de nitrógeno del agua residual se realiza principalmente por nitrificación - desnitrificación. Como se explicó anteriormente estos son dos procesos realizados por diferentes microorganismos y que ocurren en condiciones muy diferentes. No obstante en el interior de los humedales ocurren a pocos milímetros de distancia facilitados por microgradientes de concentración de gases y solutos. El microambiente aeróbico generado alrededor de las raíces por la difusión de oxígeno, es lo que permite a las bacterias dentro del relleno, degradar materia orgánica en forma aeróbica y nitrificar. Los productos de la nitrificación (nitratos) difunden en el medio circundante y al separarse de la raíz ingresan en una zona de condiciones anaerobias donde el nitrógeno se desnitrifica.

La nitrificación es la etapa más sensible del proceso. Para asegurar su funcionamiento es necesario generar un ambiente que mantenga las condiciones adecuadas, utilizando un material de relleno que pueda aportar alcalinidad para

neutralizar la acidez producida por la nitrificación y garantizar que se mantenga un pH neutro o ligeramente alcalino.

Fósforo: Los resultados obtenidos hasta el presente acerca de la capacidad de los humedales para retener P no muestran un escenario muy claro. En los análisis de eficiencia se mezclan casos con muy alta y muy baja carga, se considera la concentración de salida, pero normalmente no se tiene en cuenta la carga de entrada.

Los procesos de eliminación del fósforo involucran la reacción de ese elemento con una variedad de cationes metálicos como Fe, Al o Ca formando sólidos amorfos como apatita ($\text{Ca}_5(\text{Cl},\text{F})(\text{PO}_4)_3$), hidroxiapatita ($\text{Ca}_5(\text{OH})(\text{PO}_4)_3$) entre otros. Además de éstas reacciones, el P puede coprecipitar con otros minerales como hidróxido férrico ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) o calcita (CaCO_3).

Una vez más se pone de manifiesto la necesidad de experimentar con materiales de relleno de distintas composición química que puedan aportar los cationes apropiados para capturar el fosfato y que puedan generar las condiciones necesarias para que ocurran las reacciones de captura del fósforo en forma eficiente y sostenible.

6. EXPERIENCIAS LOCALES CON HUMEDALES CONSTRUIDOS

Desde hace varios años en el Instituto de Limnología "Dr. Raúl Ringuelet (Fac. Cs. Nat. y Museo, UNLP CONICET) se desarrolla una línea de investigación aplicada tendiente a desarrollar métodos sencillos para el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales.

6.1 Experimentos en invernáculo

Como parte de la actividad de investigación se realizaron algunos experimentos en invernáculo, tendientes a dilucidar el papel que juegan distintas especies de plantas arraigadas en sustratos porosos de diferente composición química.

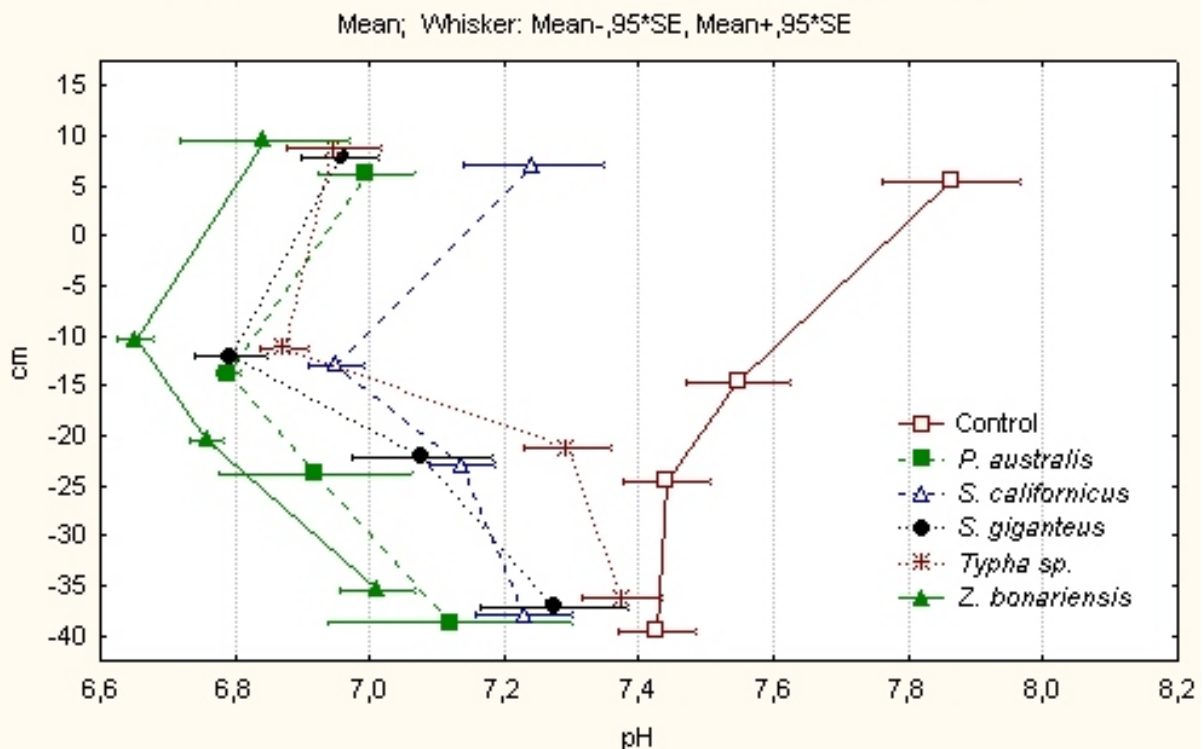
Para ello se construyeron 36 mesocosmos de humedales con secciones de 70 cm de caño de PVC 20 cm tapadas en su base. La mitad de los recipientes se llenaron hasta 50 cm con conchilla, la otra mitad con un producto granular de arcilla (LECA). En cada grupo se plantaron de manera monoespecífica por triplicado *Phragmites*

australis, *Scirpus californicus*, *S. giganteus*, *Typha* sp y *Zizaniopsis bonariensis*. Tres mesocosmos por grupo se dejaron sin plantas como control. Se alimentó a cada mesocosmos con un flujo homogéneo de 0,2 L/h mediante un sistema automático de distribución de agua proveniente de un reservorio anaeróbico. El patrón de flujo adoptado fue de tipo vertical ascendente. Para ello, se hizo ingresar el agua a través de un caño lateral vertical conectado a la base y se colocó un vertedero a 10 cm por encima del nivel de sustrato para la salida del agua. Se realizaron perforaciones laterales en los

recuentos de Bacterias coliformes totales (Clesceri et al. 1998). Se determinó también nitritos + nitratos ($N-NO_2^- + NO_3^-$; Doane & Horwarth, 2003) y nitrógeno y fósforo total (TN & TP; Valderrama, 1981).

La temperatura medida durante el período de muestreo fue de 9,5 °C en el reservorio, $15,6 \pm 0,6$ °C en los mesocosmos con conchilla y $15,2 \pm 0,3$ °C en aquellos rellenos con LECA. Se puede ver la marcha del pH (Ver Fig 1.1 y Fig 1.b) en función de la profundidad, para las distintas especies de plantas en mesocosmos de LECA y de conchilla

Figura 1a. Perfiles de pH en mesocosmos de humedales de tratamiento con sustrato de LECA



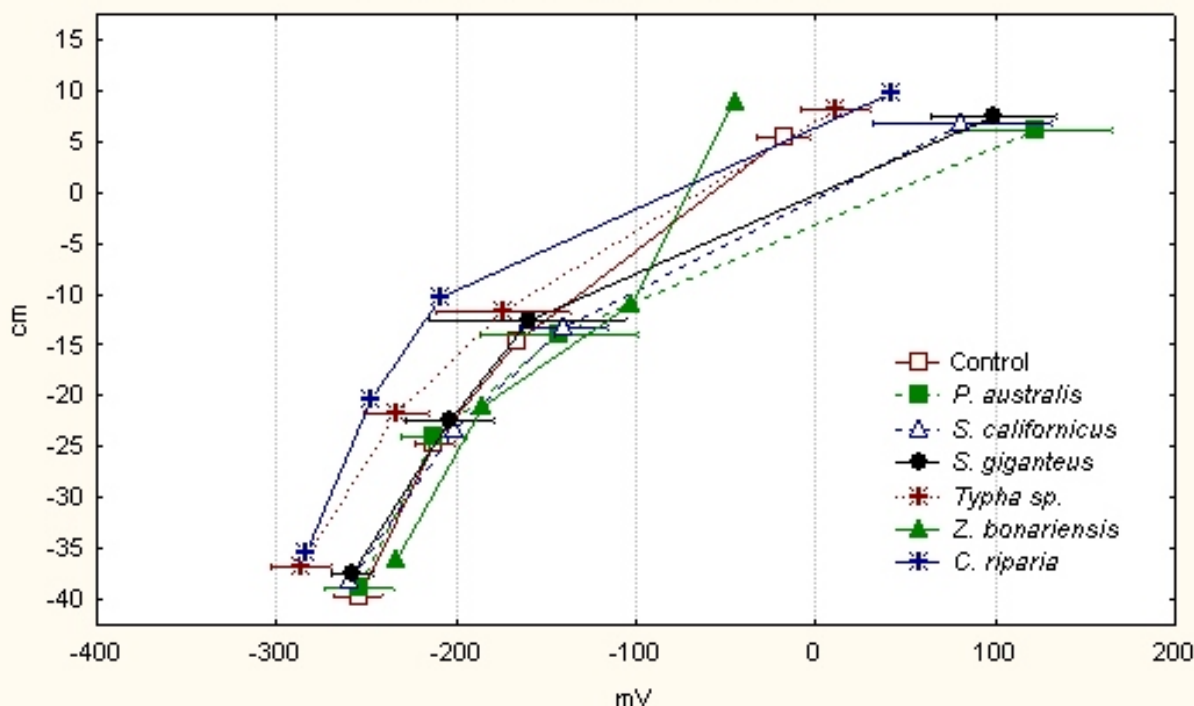
recipientes para el muestreo de relleno y agua intersticial de 10, 20 y 35 cm de profundidad. Luego de dos años de alimentación con agua potable (período de maduración), el sistema comenzó a recibir agua residual artificial desde un reservorio alimentado con agua potable y una dosis de leche y de una solución concentrada de nutrientes. Cuatro meses después (16 al 28.05.08) se realizó el primer muestreo. Se colectaron muestras de salida del reservorio y de cada mesocosmos, y muestras de agua intersticial. Se midió temperatura (T), pH, oxígeno disuelto (DO), potencial redox (ORP), fósforo reactivo soluble (SRP) y nitrógeno amoniacal ($N-NH_4^+$), y se realizaron ensayos de DBO5 y

respectivamente. En los controles sin plantas el pH aumentó desde el fondo hasta la superficie. En los mesocosmos con plantas, en cambio, se observó un descenso del pH desde el fondo hasta los 10 cm de profundidad, neutralizándose luego en el agua libre. El valor más bajo ($6,65 \pm 0,03$) se registró con *Z. bonariensis* en LECA a los 10 cm de profundidad.

Las mediciones de potencial redox mostraron condiciones altamente reducidas a 35 cm de profundidad. El potencial aumentó gradualmente hacia la superficie en ambos rellenos, con y sin plantas (Ver Fig. 2.1. y Fig.2.b.). El oxígeno disuelto (no se muestran datos) mostró una

Figura 2b. Perfiles de Potencial Redox en mesocosmos de humedales de tratamiento con sustrato de Conchilla

Mean; Whisker: Mean-,95*SE, Mean+,95*SE



tendencia similar en todos los mesocosmos, con valores próximos a cero dentro del sustrato y un incremento variable en el agua libre sobrenadante.

En todos los mesocosmos vegetados con relleno de conchilla, y en los de LECA con *S. giganteus*, se midieron remociones de TP = 98 %, con concentraciones finales < 0,15 mg P/L (Ver Tabla 1). El resto de los mesocosmos vegetados con relleno de LECA mostraron remociones = 79 % y aún el control con conchilla sin vegetación mostró una remoción del 45 %. Considerando que más del 60 % del TP del agua de ingreso a los mesocosmos es SPR (no se muestran datos), los perfiles de concentración de SRP reflejan de manera congruente las remociones observadas. Se observa una disminución desde el fondo hacia la superficie en todos los mesocosmos (Ver Fig.

3a y Fig. 3b respectivamente), aunque la misma es más intensa y profunda en aquellos vegetados en conchilla, alcanzando a 10 cm de profundidad valores muy bajos (desde 48 ug P/L con *Z. bonariensis* hasta 513 ± 161 ug P/L en *Typha* sp.) La remoción de TN fue = 90 % en todos los mesocosmos de conchilla con plantas (excepto *Typha* sp.) y en LECA con *P. australis* y *Z. bonariensis* (Ver Tabla 2). El resto de los mesocosmos vegetados mostraron remociones desde 57 % (conchilla con *Typha* sp.) hasta 87 % (LECA con *S. giganteus*). Los controles, en cambio, no superaron el 20%. Los perfiles de concentración de amonio muestran una disminución progresiva desde el fondo hacia la superficie, más marcada en los tratamientos con mayor remoción, con valores bajos a partir de los 10 cm de profundidad (Ver Fig. 4a y Fig. 4b). Es interesante destacar que en los perfiles de nitritos

	LECA			Conchilla		
	Media	Error estándar	Remoción %	Media	Error estándar	Remoción %
Ingreso	6308	404	-----	6308	404	-----
Control	7359	121	-17	3460	185	45
<i>P. australis</i>	374	306	94	82	60	99
<i>S. californicus</i>	725	498	89	42	5	99
<i>S. giganteus</i>	146	43	98	120	34	98
<i>Typha</i> sp.	998	375	84	68	27	99
<i>Z. bonariensis</i>	1351	774	79	105	-----	98
<i>C. riparia</i>	-----	-----	-----	70	-----	99

Tabla N° 1: Fósforo total (ug P/L) en muestras de egreso e ingreso de mesocosmo de humedales de tratamiento

+ nitratos (no se muestran datos) las concentraciones se mantuvieron bajas, a excepción de un pico a -10 cm en conchilla con *S. californicus* (5737 ± 1985 ug N/L) y en el agua libre de los controles (5001 ± 471 y 3103 ± 478 ug N/L, en LECA y conchilla respectivamente).

Las remociones de DBO5 fueron de 96 y 93 % con *P. australis*, 98 y 92 % con *S. californicus*, 88 y 92 % con *S. giganteus*, 66 y 51 % con *Typha* sp., 80 y 76 % con *Z. bonariensis* y -4 y 33 % sin plantas, para LECA y conchilla respectivamente (concentración de ingreso: 46 ± 8 mg/L).

6.2. Resultados alcanzados

Los resultados muestran que las plantas ejercen un efecto marcado sobre casi todas las variables examinadas. El pH disminuye en todos los mesocosmos vegetados, con cierta variabilidad entre especies en cada tipo de sustrato. Este

efecto podría relacionarse con el transporte de oxígeno a las raíces que permite a estas plantas sobrevivir en suelo inundado. Parte de ese aporte difunde al entorno radicular (pérdida radial de oxígeno, ROL) pudiendo sostener respiración aerobia microbiana, provocando así un aumento importante de la producción de CO₂ y, con ello, la disminución de pH. Otra fuente muy importante de acidez podría ser la oxidación de amoníaco dependiente de O₂.

No se observaron diferencias en los perfiles de potencial redox ni en los de oxígeno disuelto, que permitan atribuir a las plantas efecto alguno sobre éstas variables. Sin embargo, hay trabajos que demuestran que las raíces son capaces de elevar el ORP y el DO mediante ROL, alcanzando éste efecto unos pocos milímetros de extensión (Bezbaruah AN & Zhang TC, 2004).

	LECA			Conchilla		
	Media	Error estándar	Remoción %	Media	Error estándar	Remoción %
Ingreso	35775	1678	-----	35775	1678	-----
Control	29198	1517	18	28767	1519	20
<i>P. australis</i>	527	265	99	797	458	98
<i>S. californicus</i>	10315	5410	71	989	425	97
<i>S. giganteus</i>	4539	2206	87	1802	8301	95
<i>Typha</i> sp.	5978	2765	83	15246	2571	57
<i>Z. Bonariensis</i>	2325	928	94	3752	-----	90
<i>C. riparia</i>	-----	-----	-----	5017	-----	86

Tabla Nº 2: Nitrógeno Total ug (P/L) en muestras de egreso e ingreso de mesocosmo de humedales de tratamiento

Figura 4a. Perfiles de amonio en mesocosmos de humedales de tratamiento con sustrato de LECA

Mean; Whisker: Mean-,95*SE, Mean+,95*SE

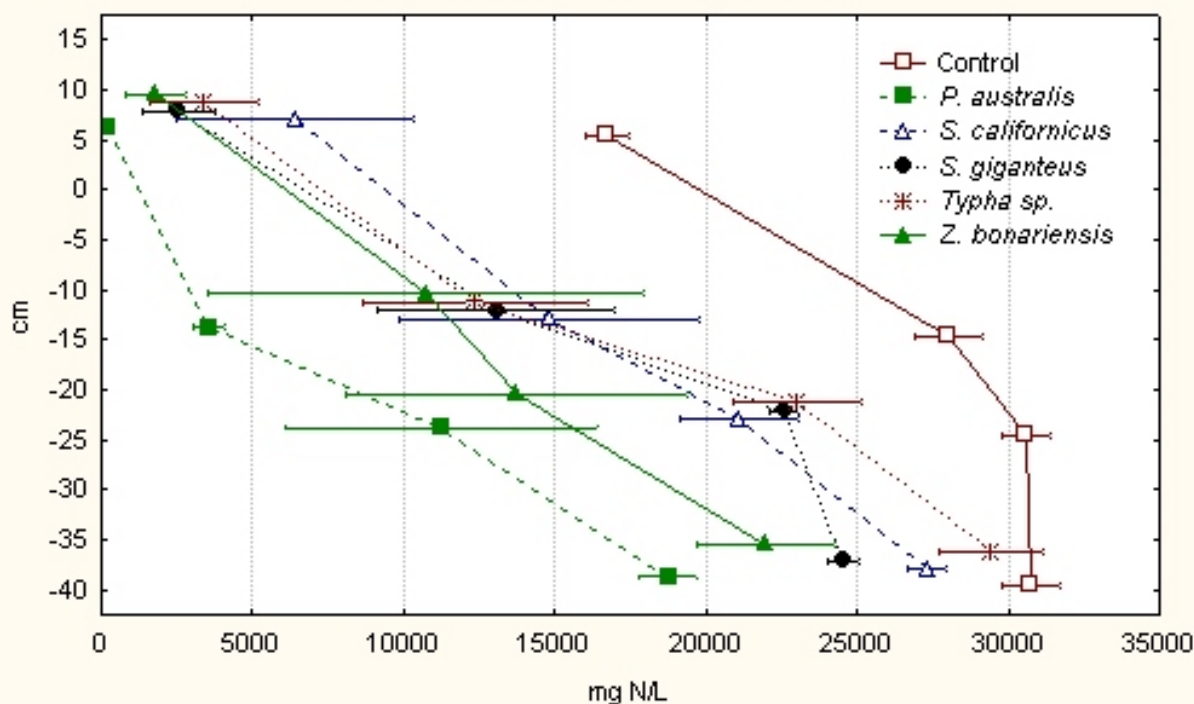
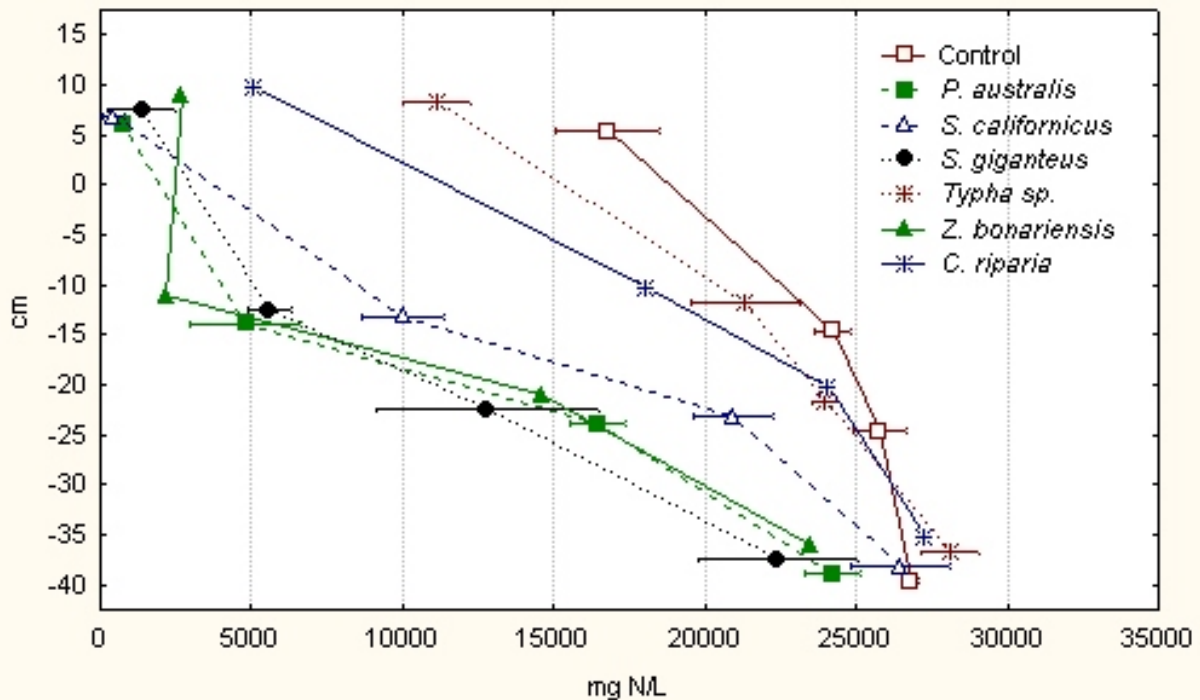


Figura 4b. Perfiles de amonio en mesocosmos de humedales de tratamiento con sustrato de conchilla

Mean; Whisker: Mean₋,95*SE, Mean₊,95*SE



Respecto de la remoción de fósforo, se observó que la misma dependió tanto de las plantas como del sustrato. Si bien las plantas requieren fósforo para su crecimiento y reproducción, la cantidad que asimilan para ello es generalmente insignificante comparada con la carga de ingreso (Brix, 1997). Sin embargo, hemos visto que las plantas son capaces de cambiar las condiciones fisicoquímicas. Por otro lado, los procesos de retención de fósforo dependen también del material de relleno en cuanto a su capacidad de provocar la adsorción y/o precipitación de aquel. En tal sentido, la LECA ofrece la posibilidad de retener fósforo debido a su elevada capacidad de intercambio iónico mientras que la conchilla representa un depósito de calcio que podría permitir retener fósforo mediante precipitación como hidroxiapatita. Los resultados mostraron que la máxima remoción ocurrió en mesocosmos de conchilla con plantas. La disminución de pH provocada por las plantas podría disolver conchilla aumentando la concentración de calcio iónico, favoreciendo así la precipitación de hidroxiapatita. Sin embargo, se requiere pH alcalino para que esto ocurra. Es posible que tal condición se encuentre sobre la superficie de conchilla.

La remoción de NT mostró una diferencia notable entre mesocosmos vegetados y controles. En los perfiles se observa que la remoción ocurre por oxidación de amonio dentro del sustrato, acoplada a la reducción de nitritos + nitratos. Esto podría explicarse por un proceso de nitrificación desnitrificación (Reddy KR, et al., 1989) aunque actualmente es posible postular otros procesos de remoción de nitrógeno, a partir del descubrimiento de la oxidación anaeróbica de amoníaco (Anammox) y de los crenarqueotas oxidadores aeróbicos de amoníaco. Sin embargo, todos ellos dependen de la oxidación inicial de amoníaco con O₂. Bajo las condiciones experimentales, el aporte de O₂ al interior del relleno depende de la ROL. Esto podría explicar la relación observada entre remoción de nitrógeno y presencia de plantas.

6.3. Lecciones aprendidas y desafíos

Para evaluar la hipótesis de remoción de fósforo mediante precipitación como hidroxiapatita, se aplicará la metodología de fraccionamiento del fósforo sobre muestras de sustrato a distintas profundidades. Se propone asimismo dilucidar el proceso microbiano de remoción de nitrógeno a través de la detección de bacterias del ciclo del nitrógeno utilizando FISH (Fluorescent in situ hybridization) sobre las mismas muestras.

Si bien los resultados obtenidos muestran un potencial promisorio de esta tecnología para la remoción de nutrientes en aguas residuales, resulta imprescindible realizar ensayos a mayor escala y con efluentes reales para valorar su alcance como alternativa de tratamiento.

Reddy KR, Patrick WH, Lindau CW (1989) Nitrification-denitrification at the plant root sediment interface in wetlands. *Limnol Oceanogr* 34: 1004-1013

Valderrama, J (1981) The simultaneous analysis of total nitrogen and total phosphorus in natural waters

Verhoeven TA, Mueleman AFM (1999) Wetlands for wastewater treatment: Opportunities and limitations. *Ecol. Eng.* 12:5-12

REFERENCIAS

Bezbaruah AN, Zhang TC. (2004) pH, redox, and oxygen microprofiles in rhizosphere of bulrush (*Scirpus validus*) in a constructed wetland treating municipal wastewater. *Biotechnol Bioeng* 88:60-70

Breen PF, Chick AJ (1995) Rootzone dynamics in constructed wetlands receiving wastewater: a comparison of vertical and horizontal flow systems. *Wat Sci Tech* 32: 281-290

Brix H. (1990) Gas exchange through the soil-atmosphere interphase and through dead culms of *Phragmites australis* in a constructed reed bed receiving domestic sewage. *Water Research* 24(2): 259-266.

Brix H (1997) Do macrophytes play a role in constructed treatment wetland? *Wat Sci Tech* 35: 11-17

Clesceri LS, Greenberg AE, Eaton AD (1998) Standard methods for the examination of water and wastewater 20th Ed. APHA, AWWA, WEF

Council Directive 91/271/EEC of 21 May 1991 concerning urban waste water treatment. <http://europa.eu/scadplus/leg/en/lvb/l28008.htm>

Doane TA, Horwath WR (2003) Spectrophotometric determination of nitrate with a single reagent. *Analytical Letters* 36: 2713-2722

EPA/625/R-00/008. Onsite Wastewater Treatment Systems Manual. February 2002

EPA 832-F-00-023. Humedales de flujo subsuperficial. Septiembre de 2000.

EPA 832-F-00-024. Humedales de flujo libre superficial. Septiembre de 2000.

EPA 832-R-93-005. Constructed Wetlands for Wastewater Treatment and Wildlife Habitat. September 1993.

Kadlec, RH & Wallace, SD (2009) Treatment wetlands, 2nd Edition. CRC Press, Boca Raton FL
Mar. Chem. 10 (1981) 109--122

Martín García, I.; J.R. Betancort Rodríguez; J.J. Salas Rodríguez; B. Peñate Suárez; J.R. Pídre Bocado Y N. Sardón Martín. Guía sobre tratamientos de aguas residuales urbanas para pequeños núcleos de población. Mejora de la calidad de los efluentes. Instituto Tecnológico de Canarias, S.A. ISBN: 84-689-7604-0 Primera edición, abril de 2006.

GESTIÓN DE CUENCA URBANA PARA EL CONTROL DE LA EUTROFIZACIÓN: LA EXPERIENCIA EN NORDELTA, PARTIDO DE TIGRE, BUENOS AIRES, ARGENTINA.

Lic. Nicolás García Romero, Cátedra de Geología Ambiental

Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP. Calle 60 y 122. La Plata Argentina y
Área Medio Ambiente Asociación Vecinal Nordelta.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la población de la Ciudad de Buenos Aires y su Conurbano, ha impulsado en las últimas décadas una expansión territorial siguiendo un patrón del tipo radial a lo largo de las principales redes viales (**Fig. N° 1**).

La demanda de tierras sobre estos sectores generó un alza en el valor de la tierra en sectores con infraestructura de servicios y cercanas a vías de comunicación. A su vez los cambios políticos y económicos que experimentó la República Argentina en las últimas dos décadas definió una reconfiguración urbana a partir de 1990, desarrollando enclaves insulares y cerrados (denominados barrios cerrados, barrios privados

o "countries"), orientados hacia adentro y separados del espacio público por medidas de seguridad y control. En la actualidad los Barrios Privados del Gran Buenos Aires se extienden en un espacio de 500 km², equivalente a dos veces y media la superficie de la Capital Federal (Janoschka 2003) con aproximadamente 300.000 a 500.000 habitantes (INDEC 2001- Ciccolella y Mignaqui 1999).

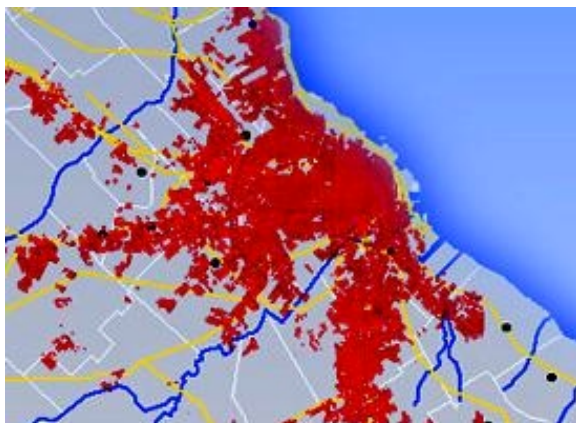
Esta realidad del mercado inmobiliario canalizó el análisis de factibilidad hacia áreas periféricas a las zonas urbanas, con cotas por debajo de 4.00 IGM, implicando la franja costera del Río de la Plata, del Río Lujan y del Delta del Paraná, siendo parte del valle de inundación de los nombrados ríos. Estos sectores poseían como limitante



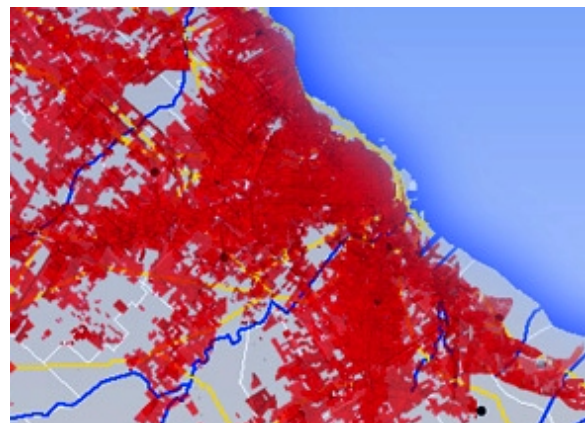
1887



1896



1948



2001

Figura N°1: Evolución de la ocupación del territorio en torno a la ciudad de Buenos Aires a lo largo de tiempo.
Fuente: Programa de Descentralización de la Ciudad de Buenos Aires 2001

histórico para su desarrollo urbano, el hecho que habitualmente son afectadas por crecidas del Río de la Plata generadas por sostenidos vientos fuertes del sector sudeste (sudestadas), quedando así vacantes de uso, amplios sectores muy próximos a la ciudad de Buenos Aires. Así es que en los últimos 10 años se han desarrollado un gran número de urbanizaciones, defendidas por elevación de la cota y/o por polderización.

Dentro de los emprendimientos más notables en el partido de Tigre, se destaca el Núcleo Urbano Nordelta de 1.600 Ha., que prevé albergar a 130.000 personas en un futuro próximo.

Las técnicas constructivas utilizadas para la elevación de la cota en la gran mayoría de los casos, resultan de la obtención de material de préstamo dentro del propio predio generando canteras o dragados, que dan por resultado la creación de grandes espejos de agua rodeada por la tierra urbana. En Nordelta (ND) esto significó la creación de 200 ha de lagos internos. El sistema hidráulico diseñado en ND, resulta en una gran cuenca cerrada con una elevación de suelo 2 metros por encima de la cota de inundación regional, drenando todo el sistema hacia los cuerpos de agua interiores y de allí mediante un conducto aliviador, se eroga el exceso hacia el arroyo Las Tunas que desemboca finalmente en el Río Luján.

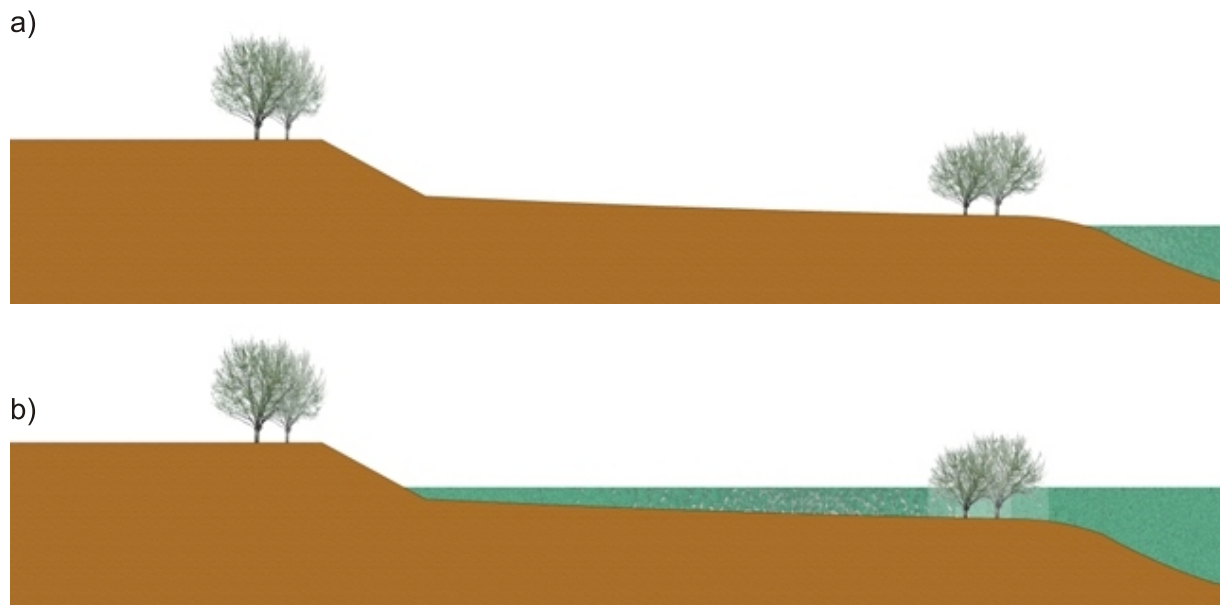


Figura N° 2 a) Valle de Inundación seco b) Valle de inundación bajo efecto de la sudestada

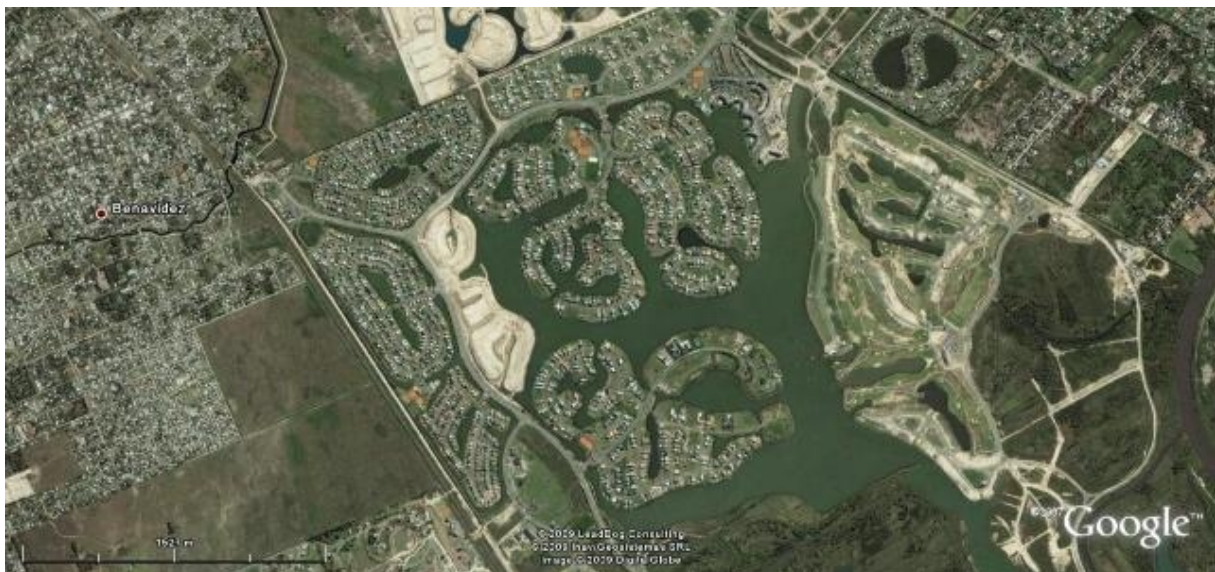


Figura N° 3. Vista General de Nordelta



Figura N° 4: Técnicas de excavación, empleadas mediante retroexcavadoras y camiones (izquierda) o a través del dragado (derecha)



Figura N° 5: Vista del efecto de las obras de protección bajo la influencia de una sudestada. A la izquierda terreno natural y a la derecha se observa los resultados de la elevación artificial de la cota del terreno.

Actualmente Nordelta cuenta con 10 barrios desarrollados, 8 habitados y 2 en fase de terminación de obra, 1 campo de golf, conectados con una amplia avenida troncal de 17 km. A la fecha lo habitan aproximadamente 9.000 personas en forma permanente y otro tanto ingresa y egresa diariamente vinculado a los sectores de educación, construcción y servicios.

Riesgos Identificados

El análisis del diseño hidráulico de la cuenca interna cerrada del emprendimiento, la complejidad de su morfología de costas y de la densidad de población que asimilará, evidencia que el aporte de sólidos, nutrientes y

contaminantes de las zonas urbanas hacia los cuerpos de agua receptores implica un riesgo relevante de impacto sobre el sistema acuático definido en forma artificial, siendo la eutrofización el de mayor relevancia.

Es un hecho reconocido que una de las mayores fuentes de aporte de sustancias contaminantes, entre ellas los nutrientes, corresponden a los aportes del sistema de drenaje pluvial. (EPA, 2007), y que la mayor parte del volumen final de la escorrentía de agua de tormenta es el resultado de las modificaciones hidráulicas que genera el desarrollo urbano. La generación de superficies impermeables, la compactación del suelo y extracción de la vegetación resultan en la

alteración de las relaciones hidrológicas establecidas entre la evapotranspiración, la infiltración superficial y profunda, y la escorrentía superficial (**Fig. N°6**). Los nutrientes ocurren naturalmente en todos los cuerpos de agua en un balance establecido entre el clima, la geología y la biota de cada región, pero las intervenciones humanas normalmente incrementan las tasas y aceleran los procesos de aporte y concentración, derivando en problemas con la calidad del agua.

Los nutrientes que más influyen en este proceso es el Fósforo (P) y el Nitrógeno (N). Este último es más lábil que el fósforo, ya que posee un ciclo con fase atmosférica que puede pasar al aire por evaporación directa y también puede

mineralizarse a través de las bacterias nitrificadoras. En contraste el fósforo posee un ciclo sedimentario, es un elemento final y estable que una vez liberado al medio ambiente, permanece activo como nutriente, pues pasa continuamente de un ser vivo a otro. Esto lo torna estratégicamente precioso para los seres vivos y, consecuentemente, para las estrategias de manejo.

En condiciones naturales solo ingresa a un sistema acuático menos de 1 kg de fósforo por hectárea y año. Los vertidos humanos elevan enormemente esta cantidad, siendo que un proceso de fertilización estándar de áreas parquizadas aporta de 30 a 50 kg/ ha de

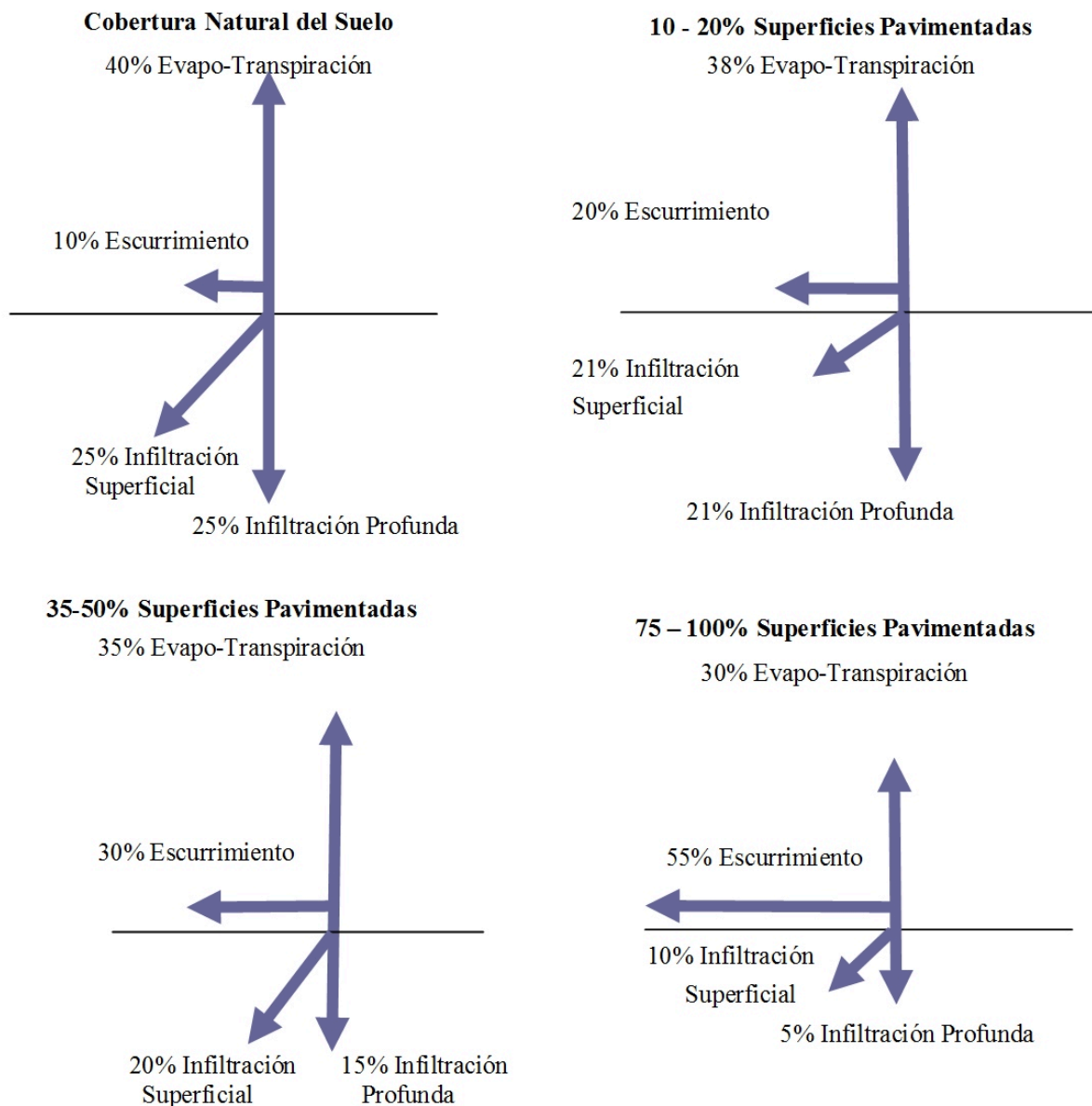


Figura N° 6: Relaciones infiltración- escorrentía en relación a la superficie impermeabilizada por acciones humanas. Tomado de Tourbier 1992

ortofosfato por año, del cual solo un 25 % aproximadamente es absorbido por la vegetación y el resto escurre a los cuerpos de agua receptores (Tourbier, 1992).

Es un hecho reconocido a nivel mundial la relación causa efecto que existe entre altos niveles de nutrientes y el aumento del crecimiento de macrófitas sumergidas y la ocurrencia de floraciones algales algunas de ellas de características potencialmente tóxicas (cianofitas), las que amenazan el uso humano, afectando la posibilidad de gozar y disfrutar de los cuerpos de agua, sin olvidar el impacto sobre la biodiversidad de los ambientes acuáticos naturales o artificiales (Phillips 2005; Wetzel 1975).

Estas consecuencias, tradicionalmente no se internalizan como costos de proyecto (estudios ambientales, normativas, etc.), obras (infraestructura), y/o tareas de mantenimiento, siendo solo atendidas al momento de la expresión ambiental del proceso de la eutrofización acelerada, la que determina, en caso de aplicarse medidas de mitigación, un elevado costo y variable resultado.

El Programa de Gestión Integral de Cuerpos de Agua y Cuencas de Aporte.

El riesgo reconocido de eutrofización dio origen a comienzos de 2004 a un Programa de Gestión Integral de los cuerpos de agua y sus cuencas de aporte, estableciendo como necesidades primarias de formulación, lograr una calidad de agua acorde a actividades recreacionales con contacto directo (estipuladas en la reglamentación vigente) y elevada calidad escénica.

Identificación de Problemas:

- Tendencia a la eutrofización.
- Inestabilidad y escaso desarrollo de costas.
- Sistema cerrado con escasa a nula circulación.
- Contaminación por químicos, pesticidas y prácticas agrícolas inapropiadas al ecosistema.
- Escaso compromiso de la población hacia la preservación de los lagos.
- Alta perspectiva de impacto en función del crecimiento poblacional y de nuevos desarrollos.
- Utilización de los lagos como sumidero hidráulico.
- Falta de información científica - técnica de aplicación local para el manejo de lagos.

Declaración de objetivos:

- Se considerará como objetivo de manejo lograr y mantener un sistema ecológico productivo, lo que significa la existencia de una cantidad óptima de vida en cada estrato, hecho que estabiliza en sistema a largo plazo.
- Basar la sustentabilidad del sistema ecológico en el compromiso institucional y de los usufructuarios en su cuidado y preservación.
- Lograr la aplicación de criterios de manejo ambiental integrado que contemplen a los cuerpos de agua como ecosistema receptor.
- Controlar el ingreso de nutrientes hacia los lagos bajo criterios de manejo de cuenca.
- Imprimir sistemas de fijación y retiro de nutrientes de los cuerpos de agua.
- Mantener la calidad del agua dentro de los niveles guía pautados por:

1. **Niveles Guía Calidad del Agua**
"Protección de Vida Acuática en Agua Dulce Superficial", **Reglamento Decreto N° 1.426, Ley N° 24.585 (Nación Arg).**

2. **Niveles Guía de calidad de Agua, Secretaria de Recursos Hídricos (Cuenca del Plata), Uso II:** Agua para actividades recreativas con contacto directo.

Criterios de Formulación:

- El Complejo Lacustre Nordelta se considera como una cuenca cerrada.
- Se distinguen por sus características limnológicas dos agrupamientos de cuerpos de agua: Lagos Laterales y Lago Central
- Los lagos de Nordelta son naturalmente eutróficos.
- Las actividades humanas impactan sobre los sistemas naturales establecidos.
- Las medidas de manejo amortiguarán los impactos sobre el sistema lacustre.
- Los usufructuarios desarrollarán un aceptable nivel de compromiso (30%) en las medidas de gestión.

Plan de trabajo:

Tomando en consideración los puntos precedentes el plan de gestión contempla:

1. Conocer la estructura y función de los lagos (tiempo y espacio), a través de un

- programa de monitoreo permanente y sistemático.
- 2. Definición de puntos críticos.
- 3. Planificar y aplicar medidas de intervención y prevención.

Componentes del actual plan de gestión:

1. Monitoreo

- Limnología básica, se realiza en forma mensual evaluando parámetros químicos, físicos y biológicos: conductividad, temperatura, pH, oxígeno disuelto, turbiedad, transparencia (disco de Secchi), fósforo reactivo y total, nitrógeno total, clorofila, fito y zooplancton.
- Especial: Una vez al año se toman muestras de pesticidas, hidrocarburos y metales pesados.

Se trata de uno de los componentes más importantes del plan de gestión, que permite el seguimiento de los procesos de evolución de los cuerpos de agua, determinando tendencias y efectos de las medidas de mitigación implementadas. Es complementado con el desarrollo de modelos predictivos que permiten la toma de decisiones estratégicas de gestión.

2. Medidas de intervención y prevención Implementadas

Con la intención de mitigar la tendencia hacia la contaminación orgánica de los cuerpos de agua receptores se tomaron algunas medidas de intervención y prevención, algunas de ellas de diseño y desarrollo propio.

2.1. Manejo de la vegetación acuática.

La vegetación acuática es una indispensable y estratégica herramienta para el manejo de los procesos de eutrofización de los cuerpos de agua

de Nordelta, son absolutamente necesarias para mantener el buen estado de los cuerpos de agua. Su utilidad radica en la capacidad de fijación de nutrientes (**Fig. N° 7**) en su biomasa como parte de su ciclo vital, a la vez incorporan importantes cantidades de oxígeno al agua como subproducto de la fotosíntesis y actúan como sistema de fijación de otra comunidad el perifiton que acumula tanto o más nutrientes que las propias macrófitas.

A su vez la presencia de macrófitas enraizadas o flotantes ejerce competencia por la luz y los nutrientes con el fitoplancton contribuyendo efectivamente a la clarificación de agua. Complementariamente protegen las costas de la erosión mecánica del oleaje y proveen refugio y alimento a otros componentes de la biota como por ejemplo los peces.

Por dichos motivos su presencia, es un objetivo permanente y en tal sentido el plan de gestión contempla un sistema de activa implantación de macrófitas, a fin de ampliar la diversidad y cobertura de la zona costera, ya que la intención es desarrollar un sistema de captación y extracción de nutrientes del sistema, a fin de atenuar los procesos de eutrofización.

La selección de especies y la cobertura areal a lo largo de las costas de Nordelta no es un hecho casual ya que se han contemplado como variables la concentración de nutrientes en sus tejidos, la velocidad de crecimiento, la biomasa producida, la rusticidad y la tolerancia a las tareas de corte. En función de ello se definen áreas y combinaciones de especies según los patrones de uso por parte de los habitantes, la estructura de costa y la diversidad vegetal original.

Nombre Científico	Identificación	Cada 100 gr p/humedo			
		% Cenizas	P(p.p.m.)	%Cox	%Nt
<i>Iris pseudacorus</i>	Lirio Amarillo	16,82	0,18	40,25	1,01
<i>Sagittaria montevidensis</i>	Sagitaria	12,60	0,12	42,55	0,95
<i>Schoenoplectus californicus</i>	Junco	7,61	0,15	35,45	1,14
<i>Hydrocotyle ranunculoides</i>	Redondita de agua	10,52	0,22	34,78	0,85
<i>Azola filiculoides</i>	Helecho	78,60	0,07	6,42	0,40
<i>Pistia stratioides</i>	Repollo	74,88	0,07	12,95	0,62
<i>Typha latifolia</i>	Totora	11,93	0,12	43,76	1,18
<i>Ceratophyllum demersum</i>	Cola de Zorro	37,58	0,16	25,84	1,27
<i>Potamogeton sp</i>	Potamogeton	35,70	0,18	22,50	1,11
<i>Cladophora sp.</i>	Filamentosas	26,70	0,15	26,7	0,98

Figura N° 7: Tabla donde se indica el contenido de los dos nutrientes clave y carbono en cada una de las especies utilizadas como instrumentos de manejo. Fuente Propia. Asociación Vecinal Nordelta 2004

Productividad diaria de Biomasa de Macrófitas según temperatura (Intervalo Febrero - Julio 07)

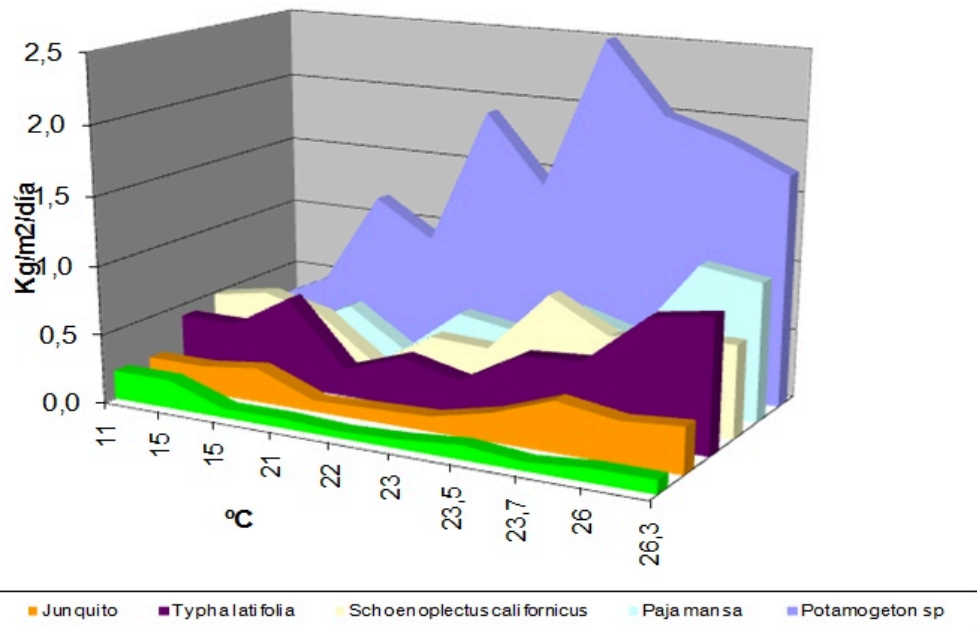


Figura N°: 8 Evaluación de la tasa de crecimiento y producción de biomasa de las distintas especies utilizadas para el manejo de nutrientes en función de la temperatura del agua.

El presente sistema de manejo permite extraer mensualmente (periodo 2008 -2009), un promedio de 50 toneladas de biomasa vegetal

(Fig. N° 9), que implican un cantidad aproximada de 100 kg de fósforo y 500 de nitrógeno que se extrae del sistema a través de la biomasa vegetal.

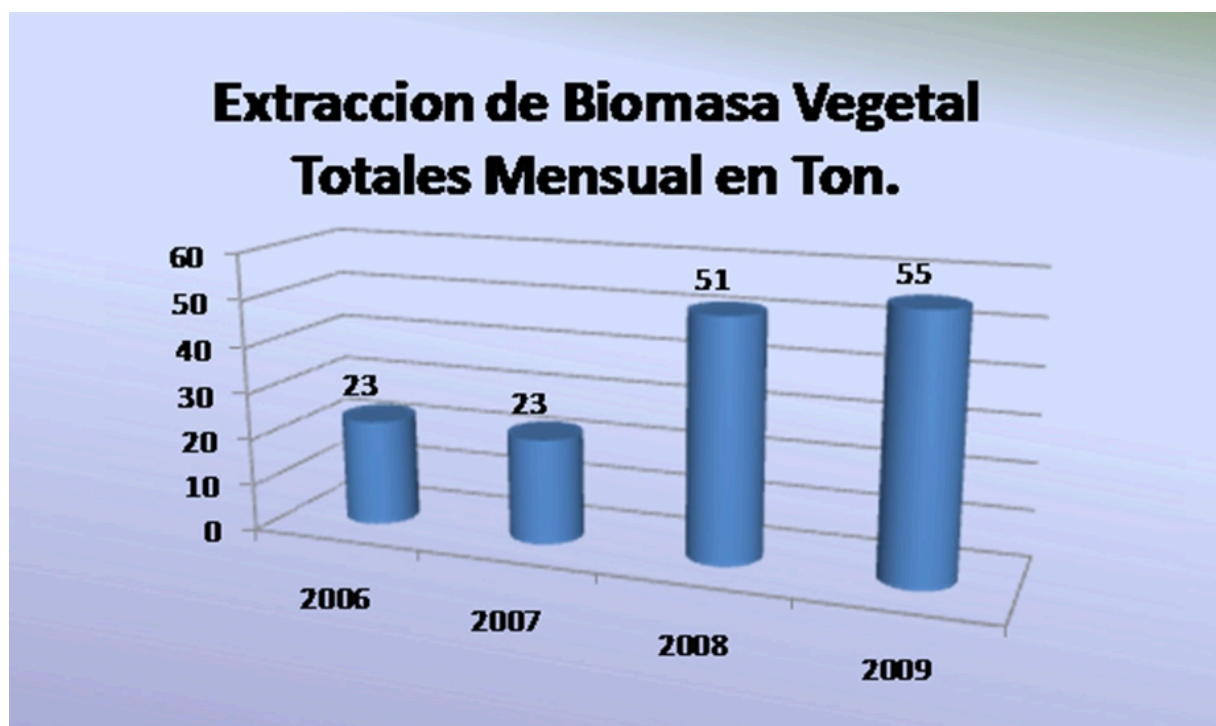


Figura N° 9: Valores de biomasa vegetal extraída en forma mensual como parte del plan de manejo implementado.

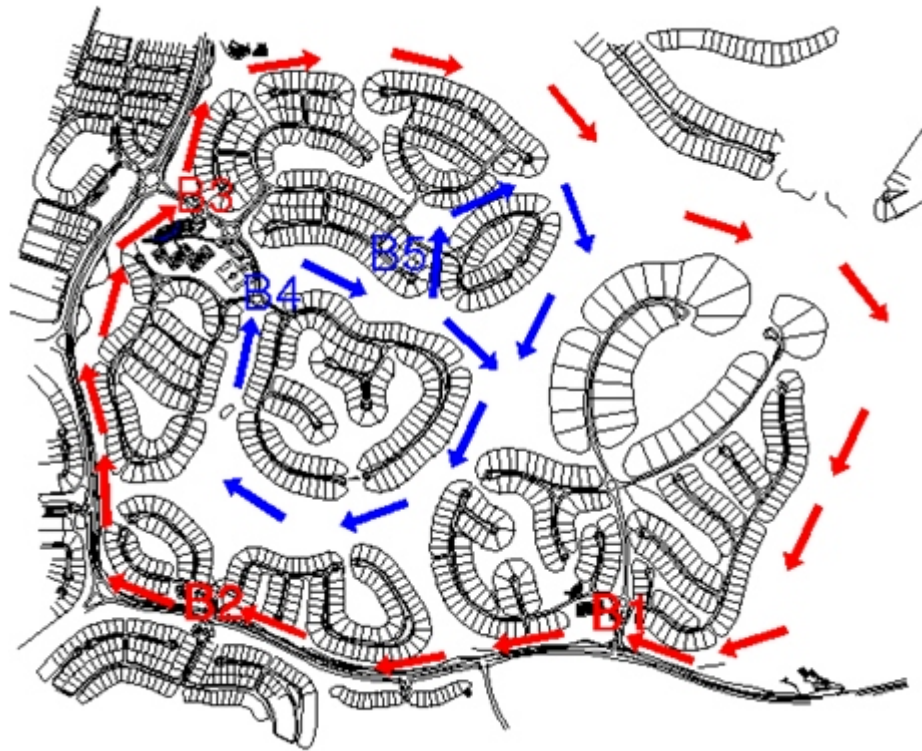


Figura N° 10: Sistema de Circulación Forzada en funcionamiento.

2.2 Activación de flujos en sistemas cerrados, mejoramiento de circulación en puntos de conflicto.

La identificación de zonas conflictivas por falta de circulación natural, llevó a la instalación de un sistema de bombeo de alto caudal y baja energía que en conjunto implica un movimiento aproximado de 16.000 m³/h, con un consumo de 310,6 Kw. y 416,2 HP, según el esquema descrito en la figura 10

2.3. Oxigenación del Sistema

El plan de circulación forzada de los cuerpos de agua de Nordelta posee como parte integral el uso de sistemas de convección en zonas profundas donde la circulación superficial no alcanza a generar la mezcla profunda, derivando en procesos de estratificación y la consecuente anoxia (falta de oxígeno).

El metabolismo anaeróbico genera subproductos de los procesos de descomposición de la materia orgánica de fase gaseosa como el metano y el sulfhídrico, que más allá de aroma desagradable, son potencialmente tóxicos en elevadas concentraciones para la biota acuática. A su vez uno de los mayores problemas asociado a los fondos anóxicos es la importante liberación de fósforo por parte de los sedimentos, que

potencian los procesos de eutrofización acelerada.

La convección forzada, a través de sistemas de agitadores, rompe la estratificación homogeneizando la columna, haciendo disponible oxígeno suficiente para mantener procesos aeróbicos que mejoran la sustentabilidad del sistema. En la figura 11, a manera de ejemplo podemos observar una de las experiencias realizadas en Nordelta donde las concentraciones de OD, en mes de julio previo a la aplicación de un sistema de convección mecánico, mostraban una marcada estratificación en la columna de agua, con valores cercanos a 10 ppm en los primeros metros (0,3; 1 y 5 metros), reduciéndose hasta valores de 0.1 ppm los 10 metros de profundidad.

Los datos del mes siguiente muestran una reducción considerable de las concentraciones de OD, en toda la columna de agua, con valores estabilizados en niveles inferiores a 1.0 ppm, producto de la resuspensión de materia orgánica y la ruptura de la estratificación. En los meses siguientes los valores observados se mantienen en niveles de entre 10 y 11 ppm, estabilizados en toda la columna de agua, alcanzando el objetivo buscado.

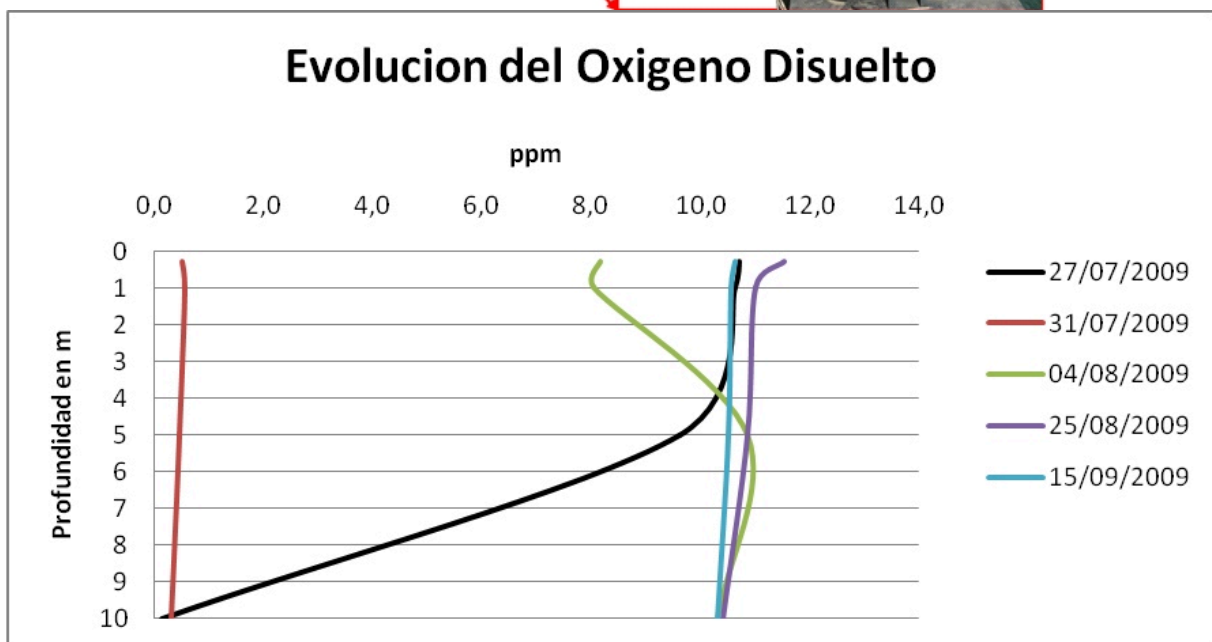
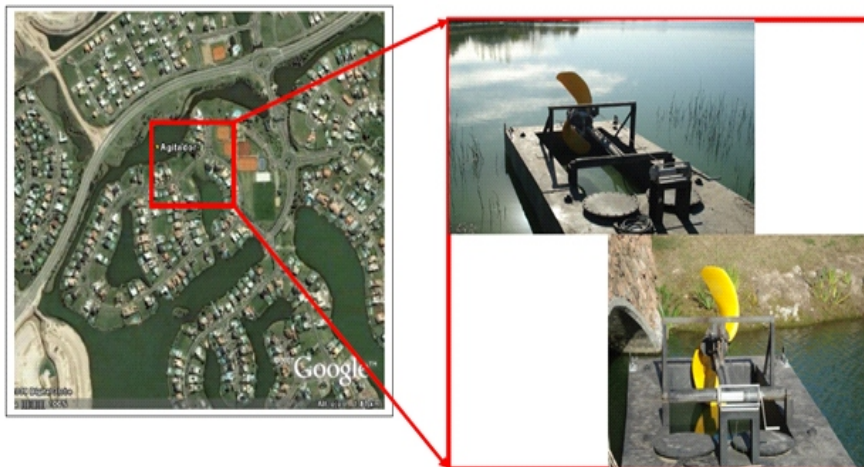


Figura N° 11: Sector de aplicación y detalle del equipo de oxigenación (arriba) y efecto sobre el oxígeno disuelto (abajo).

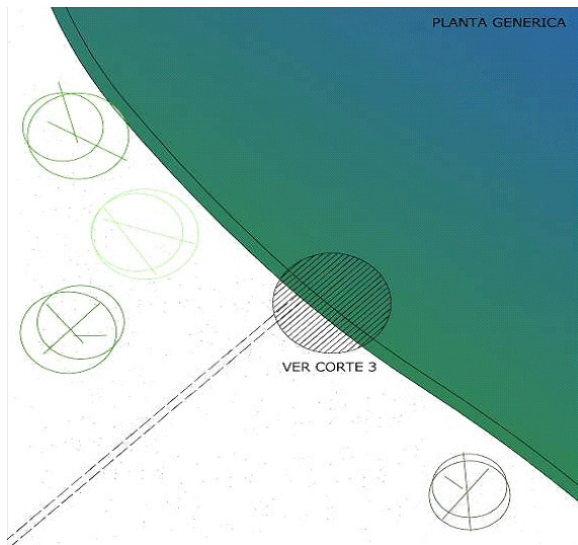
2.3. Sistemas de decantación y retención de nutrientes en tramos finales de desagües pluviales y como parte del paisaje urbano.

Gran parte de los aportes de sustancias que contribuyen a la eutrofización proviene de fuentes difusas, por lo tanto no se puede determinar exactamente el punto de origen de las mismas, pero sí el sistema que las colecta y direcciona: el drenaje pluvial.

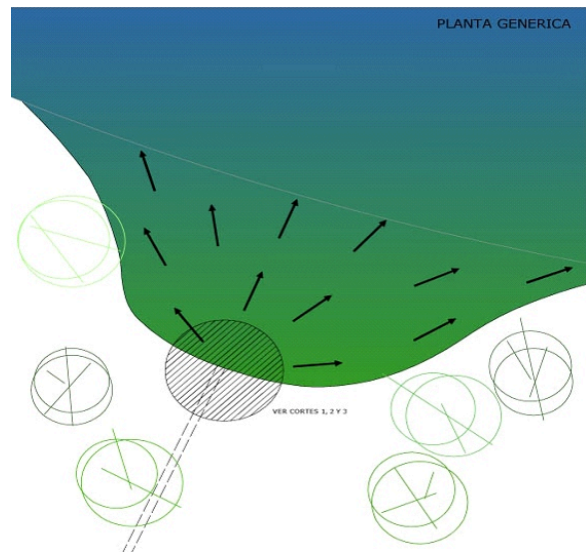
Las áreas verdes parquizadas objeto de fertilizaciones (jardines), las obras en construcción, las escorrentías de calles y estacionamientos, así como los hechos derivados del exceso de riego, poseen una elevada probabilidad de ser responsables de un aumento significativo en la cantidad de sólidos en suspensión y nutrientes que llegan a los lagos. Esto es especialmente visible en los puntos de

salida de la cañería de conducción pluvial. Se ha determinado que el drenaje pluvial aporta el 66% del fósforo y el 90% del nitrógeno que reciben los cuerpos de agua linderos a centros urbanos (Thompson 1989). Experiencias propias realizadas en céspedes deportivos bajo riego fertilizados, luego de un evento simulado de lluvia erosionan en el agua de escorrentía superficial un 15% P y un 24% N del aplicado.

Otro de los hechos relevantes respecto a los aportes hacia los lagos es el exceso de riego, acontecimiento común en zonas urbanas, el cual repercute en el percolamiento y lavado acelerado de nutrientes. En experiencias propias, se confirmó que en dos sectores fertilizados en forma similar, siendo uno sometido a un exceso de riego este "lavaba" 16 veces más de N que el control.



Vista en planta del formato de la costa sin intervención



Vista en planta de un corte en la estructura de la costa, donde se asienta un sistema de biofiltrado indicando los flujos resultantes del aporte al sistema de drenaje pluvial.

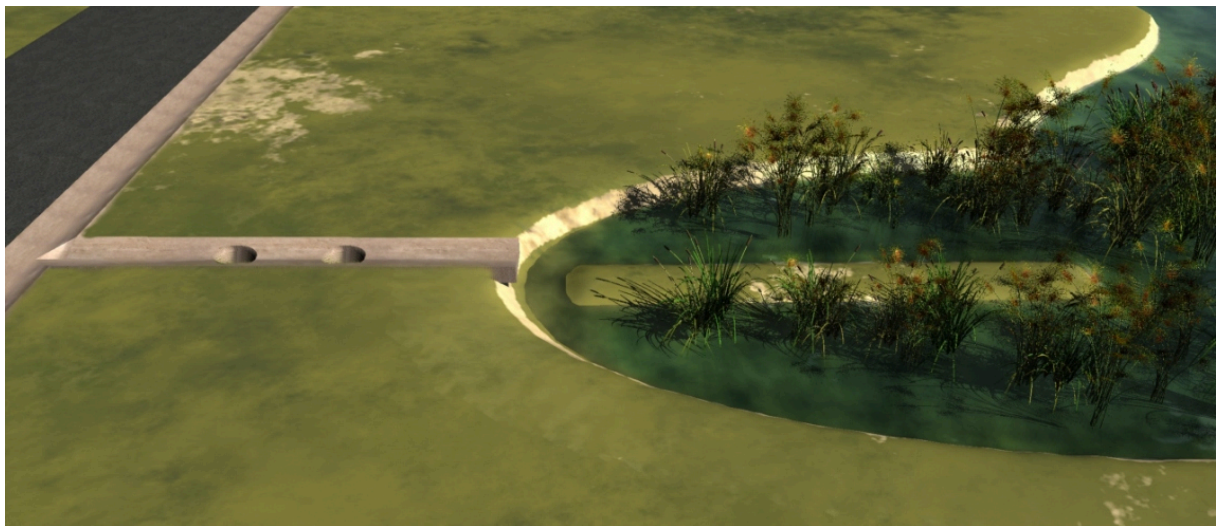


Figura N° 12: Sistemas de Humedales para biofiltrado de drenaje Pluvial

Con la finalidad de mitigar el impacto descrito se generan sistemas de intercepción en el tramo final de los desagües pluviales, compuestos por cisternas de decantación y/o sistema de biofiltros (humedales parquizados) que reducen considerablemente el aporte directo, de sólidos en suspensión y nutrientes disueltos, hacia los cuerpos de agua. El sistema de retención y tratamiento biológico se basa en el uso de vegetación acuática palustre que defina una "zona riparia" madura y estructurada, que amortigüe las acciones sobre el sector costero y contribuya a la disminución de la cinética de los procesos de eutrofización. El corte y extracción periódica de la vegetación generara un sistema "de bombeo" de nutrientes capturados en su biomasa.

Resultados Obtenidos.

La sumatoria de las medidas implementadas se ha evaluado en función del seguimiento de los dos nutrientes de mayor influencia en los procesos de eutrofización a lo largo del periodo de aplicación de Plan de Gestión (Fig. N° 13).

En un comienzo (2004) el plan de manejo de macrófitas disminuyó drásticamente el Fosforo (P) disuelto que es el objeto básico de manejo de la eutrofia, por ser el nutriente limitante de fase sedimentaria y por tanto conservativo en el ambiente. Manteniendo valores bastante estables hasta fines del 2006, donde se incrementa la tendencia siguiendo la complejidad de los sectores con escasa o nula circulación. Luego de la aplicación del sistema de circulación

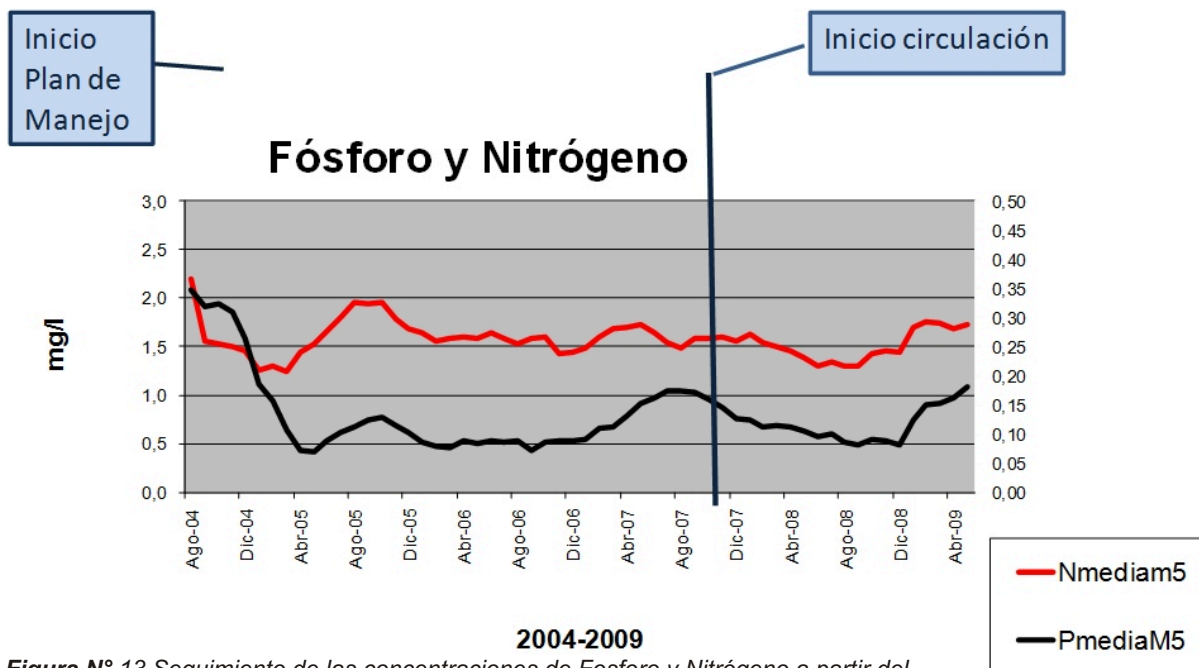


Figura N° 13 Seguimiento de las concentraciones de Fosforo y Nitrógeno a partir del inicio de las medidas de gestión

forzada a mediados del 2007 la tendencia se revierte hacia los niveles previos. (**Fig. N° 13**).

La implementación de estas medidas de manejo ha logrado estabilizar los índices de eutrofia (TSI) en los últimos 3 años a pesar de que la población se incrementó en un 200%, y se encontraban en obra 2 nuevos barrios. Sin contar con la pronunciada sequía de los dos últimos periodos (con un déficit de 800 mm anuales) que redujo el volumen del sistema un 15%.

CONCLUSIÓN

La tendencia inmobiliaria de creación de barrios en la zona periférica a Buenos Aires, ha generado innumerables cuerpos de agua artificiales circunscritos en una estructura urbana densa que definen micro cuencas cerradas, hecho que derivará, en un futuro no muy lejano, en problemas derivados de la gestión del agua en estos emprendimientos. La estrategia seguida en el ejemplo de Nordelta, así como las medidas implementadas, aportan al análisis general de la problemática, como modelo de gestión desde la identificación de puntos de conflicto así como las metodologías aplicadas para la mitigación de los procesos de eutrofización.

Es indispensable impulsar estudios sistemáticos de esta problemática, generar nuevos desarrollos técnicos, normativos y educativos a fin de contener la problemática y generar un desarrollo sustentable de este tipo de desarrollos urbanos.

BIBLIOGRAFÍA

Ciccolella, Pablo: Territorio de consumo. Redefinición del espacio en Buenos Aires en el fin del siglo. In Gorenstein, Silvia y Roberto Bustos Cara: Ciudades y Regiones frente al Avance de la Globalización: Bahía Blanca, Universidad Nacional del Sur, 1998, p. 201-230.

Ciccolella, Pablo: Globalización y dualización en la región metropolitana de Buenos Aires. Grandes inversiones y reestructuración socio-territorial en los años noventa. eure, 1999, vol. 25, n° 76, p. 5-28.

Ciccolella, Pablo y Liana Mignaqui: Prólogo. In Sassen, Saskia: La Ciudad Global. Nueva York, Londres, Tokio: Buenos Aires, Editorial Universitaria de Buenos Aires, p. 9-21. (Versión actualizada y traducida al español de Sassen, Saskia: The Global City. New York, London, Tokyo: Princeton, Princeton University Press.

EPA, 2007. Reducing Stormwater Cost through Low Impact Development (LID) Strategies and Practices. EPA841-F-07-006. www.epa.gov/nps/lid

GCBA (2001) Programa de Descentralización del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires.

Hough M. (1998) Naturaleza y Ciudad, planificación urbana y procesos ecológicos, Editorial GG, Barcelona.

INDEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos): Censo Nacional de Población y Viviendas, Resultados Provisionales Censo 2001. [En línea]: www.indec.gov.ar [13 de diciembre de 2002].

Janoschka, Michael: Reich und arm in Buenos Aires. Barrios privados als neue Form der Suburbanisierung. Praxis Geographie, 2000, vol. 30, n° 12, p. 60-62.

Janoschka, M. Nordelta ciudad cerrada. El análisis de un nuevo estilo de vida en el gran Buenos Aires. Scripta Nova. Revista electrónica de geografía y ciencias sociales. Barcelona: Universidad de Barcelona, 1 de agosto de 2003, vol. VII, núm. 146(121). <[http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-146\(121\).htm](http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-146(121).htm)> [ISSN: 1138-9788]

Phillips G.L., 2005. Eutrophication of Shallow Temperates Lakes In: The Lake Handboock. Backwell. Pag. 261- 278.

Thompson, P. 1989. Poison Runoff: A guide to State and Local Control of Nonpoint Source Wather Polution (Washinton, DC: Natural Resourse Defense Council.

Tourbier, J. Toby and Westmacott R. 1992. Lakes and Ponds. Second Edition.

Wetzel 1975. Limnology. Saunders, Philadelphia. 743 pp.

La ecohidrología como desafío: experiencias y estudios de caso



Programa Hidrológico Internacional

UNESCO
Programa Hidrológico Internacional
Oficina Regional de Ciencia
para América Latina y el Caribe
Edificio Mercosur - Dr. Luis Piera 1992, 2° piso
Casilla de Correo 859
11200 Montevideo, Uruguay
Tel.: (598-2) 413 20 75, Fax: (598-2) 413 20 94
phi@unesco.org.uy
<http://www.unesco.org.uy/phi>

