

CUENCA DEL RÍO SALÍ-DULCE

LA CALIDAD DEL
AGUA DE LOS RÍOS
QUE DESAGUAN
EN EL EMBALSE
DE RÍO HONDO



Las Defensorías del Pueblo son, ante todo, organismos de defensa y protección de los derechos humanos, entre los que se cuenta el derecho a un ambiente sano, reconocido por el Art. 41 de la Constitución Nacional.

Defensor del Pueblo de la Nación

Sede central: Suipacha 365
Ciudad Autónoma de Buenos Aires
0810-333-3762
www.dpn.gob.ar
defensor@defensor.gov.ar
Twitter: @DPNArgentina
Facebook: Defensor del Pueblo de la Nación

Defensor del Pueblo de Santiago del Estero

Sede central: Perú 546 - Santiago del Estero - 4200
+54 0385 4212030/4223469
www.defensorsantiago.gob.ar
comunicación@defensorsantiago.gob.ar
Facebook: Defensoría del Pueblo de la Provincia de Santiago del Estero

La presente publicación y su información complementaria estará disponible para su descarga gratuita en los sitios de internet de ambas Defensorías del Pueblo.

Cuenca del río Salí-Dulce : la calidad del agua de los ríos que desaguan en el embalse de Río Hondo : línea de base y conocimientos adquiridos en cuatro años y medio de controles diarios realizados por Santiago del Estero / Martín Díaz Achával ... [et al.]. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : Eudeba, 2017.

152 p. ; 24 x 17 cm.

ISBN 978-950-23-2715-0

1. Medio Ambiente. I. Díaz Achával, Martín
CDD 577

Eudeba - Universidad de Buenos Aires
1° edición: enero de 2017

© 2017

Editorial Universitaria de Buenos Aires
Sociedad de Economía Mixta
Av. Rivadavia 1571/73 (1033) Ciudad de Buenos Aires
Tel: 4383-8025 / Fax: 4383-2202
www.eudeba.com.ar

© 2017

Martín Díaz Achával

Coordinación editorial: Silvina Simondet
Diseño, corrección y composición general: Eudeba

No se permite la reproducción total o parcial de este libro, ni su almacenamiento en un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio, electrónico, mecánico, fotocopia u otros métodos, sin el permiso previo del editor. Su infracción está penada por las leyes 11.723 y 25.446.

Se permiten citas breves en artículos críticos o reseñas, sin fines comerciales, siempre citando la fuente de la siguiente manera: Defensor del Pueblo de Santiago del Estero y Defensor del Pueblo de la Nación. 2017. *Cuenca del Río Salí-Dulce: la calidad del agua de los ríos que desaguan en el Embalse de Río Hondo*. De Francesco, M.V.; Barasch, Y. y García Silva, L. Editorial Eudeba.

Esta tirada de 3.000 ejemplares se terminó de imprimir en enero de 2017 en Grupo Maorí, Av. Mitre 3027, Munro, Provincia de Buenos Aires. Hecho el depósito que marca la Ley 11.723. Impreso en Argentina.

CUENCA DEL RÍO SALÍ-DULCE

LA CALIDAD DEL
AGUA DE LOS RÍOS
QUE DESAGUAN
EN EL EMBALSE
DE RÍO HONDO

Línea de base y conocimientos adquiridos
en cuatro años y medio de controles diarios
realizados por Santiago del Estero.



EQUIPO DE TRABAJO

Programa de Monitoreo Permanente

Inicio Junio 2012 - Cierre Diciembre 2016

Coordinador: Lic. Sergio Rubén Zaltz
Walter Carabajal (responsable de Logística)

Adolfo Alejandro Aragón
Gustavo Beltrán de la Silva
Diego Bravo
Eduardo Coronel Palavecino
Miguel Ángel Corvalán
Marcos Cuenca Pizarro
Rodrigo De la Rúa
Martín Esteban Di Santo
Diego Díaz
José Enríquez.
Guido Leonardo Espeche Gerez
Nora Beatriz Gerez
Andrea Gómez
Oscar Eduardo Gómez
Ingeniero Daniel Hernández
Agustín Herrera
Lauro Hernán Marottoli
Emilio Massaro
Vanina Perotti
Miguel Serrano
Victor Trejo
Martín Ybarra
Oscar Ybarra
Vanesa Zurita

Programa de Inspección a Ingenios

Coordinador: Dr. Lionel Enrique Suárez
(Defensor del Pueblo Adjunto)

Lic. en Ecología María Eugenia Arias
Gustavo Beltrán de la Silva
Walter Carabajal (responsable de Logística)
Procurador Gerardo Fernández
Dra. Cecilia Rodríguez Figueroa
Dr. Gabriel Gómez
Ing. Daniel Hernández
Dra. María Eugenia López Rodríguez
Dra. Vanesa Rivero
Lic. en Biología Sergio Rubén Zaltz

Homenaje y reconocimiento a miembros fallecidos

☩ Guadalupe Alzugaray en Monitoreo Permanente
☩ Ing. Agr. y Especialista en Ambiente Jorge Brondo
en Inspecciones

Análisis estadístico

Dra. Ana Carolina Herrero. Instituto del Conurbano.
Universidad Nacional de General Sarmiento.
Dr. Rubén Lombardo. Universidad Nacional de General
Sarmiento. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales,
Universidad de Buenos Aires.

Redacción, base de datos y Sistema de Información Geográfica

Lic. Yamila Barasch.
Consultora Defensor del Pueblo de Santiago del Estero.

Editores

Lic. María Virginia De Francesco
Lic. Yamila Barasch
Dr. Leandro García Silva

DEFENSOR DEL PUEBLO DE SANTIAGO DEL ESTERO

DEFENSOR DEL PUEBLO DE SANTIAGO DEL ESTERO

Dr. Martín Díaz Achával

Abril 2009- Octubre 2016

DEFENSOR DEL PUEBLO ADJUNTO A CARGO DE SANTIAGO DEL ESTERO

Dr. Lionel Suárez

Octubre 2016

DEFENSOR DEL PUEBLO DE LA NACIÓN

SUBSECRETARIO GENERAL A CARGO

Dr. Juan José Böckel

JEFE DEL ÁREA DE MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SUSTENTABLE

Dr. Leandro García Silva

COORDINADORA DEL PROYECTO

Lic. María Virginia De Francesco

CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO	7	PARTE C: CALIDAD DE AGUA E IDENTIFICACIÓN DE ALERTAS DE VUELCO	59
PRÓLOGO	13	Calidad de agua de los ríos y arroyos que ingresan al embalse	59
PREFACIO	15	Río Marapa / Graneros	60
INTRODUCCIÓN	17	Arroyo Matazambi	64
PARTE A: EL EMBALSE DE RÍO HONDO, LA CUENCA SALÍ-DULCE Y LA CONTAMINACIÓN	21	Río Chico / Medina	70
El embalse termas de Río Hondo	21	Río Gastona	76
Descripción de la cuenca	22	Río seco	83
Características naturales	22	Arroyo del Estero	88
Comportamiento natural de los cursos de agua de Tucumán	26	Arroyo Aguas Blancas	93
Características socioeconómicas	28	Río Colorado	100
Población	28	Río Salí	105
Actividades económicas	28	Arroyo Mista	113
Problemática de la contaminación	30	Canal "Mista Mezcla"	113
Fuentes de la contaminación	30	Canal Troncal	122
Ingenios	31	Identificación de alertas de vuelco en la base de datos	129
Citrícolas	37	Mediciones compatibles con vuelcos de vinaza	129
Papeleras	37	Mediciones compatibles con vuelcos de ceniza	130
Frigoríficos	38	CONCLUSIONES	137
Aguas servidas	39	RECOMENDACIONES	139
Residuos sólidos urbanos	39	REFLEXIÓN FINAL	141
Actividad agrícola y ganadera	40	ANEXO METODOLÓGICO	143
Industria alimenticia	40	Preprocesamiento general de la base de datos	143
Actividad minera	40	Metodología para el análisis de calidad de agua	143
Impacto en los cuerpos de agua	40	Correlación y selección de las variables analizadas	143
PARTE B: EL CONFLICTO AMBIENTAL DEL EMBALSE DE RÍO HONDO Y EL PROGRAMA DE MONITOREO PERMANENTE	45	Análisis de componentes principales	144
El conflicto entre Santiago del Estero y Tucumán	45	Gráficos de evolución de las principales variables	144
Acta del acuerdo	48	Valores guía de calidad de agua	146
Participación ciudadana	49	Mapas de uso del suelo	146
Monitoreos e inspecciones	50	Estadística descriptiva	146
El Programa de Monitoreo Permanente	51	Metodología para la identificación de alertas de vuelco en la base de datos	147
Metodología del Programa de Monitoreo Permanente	51	BIBLIOGRAFÍA	149
Puntos de muestreo	51		
Parámetros analizados	52		
Criterios para la detección de vuelcos ilegales	56		
Logística de muestreo	57		
Emisión de alertas	57		

RESUMEN EJECUTIVO

EL ESPACIO-CUENCA Y LA INTERJURISDICCIONALIDAD

Una cuenca es el territorio que desagua en el río o arroyo principal al que da su nombre. Además, las cuencas son el lugar donde las comunidades producen y donde comparten identidades, tradiciones y cultura.

El agua cumple un papel determinante en el desarrollo económico y social y, al mismo tiempo, desempeña la función básica de mantener la integridad del entorno natural.

Las cuencas compartidas por más de una jurisdicción enfrentan el desafío de alcanzar una gestión integral y multisectorial de todos sus componentes que permita maximizar el bienestar económico y social de manera equitativa, sin afectar los derechos las poblaciones ubicadas “aguas abajo” ni la sostenibilidad de los sistemas naturales.

EL SALÍ-DULCE: UNA CUENCA INTERJURISDICCIONAL COMPLEJA Y HETEROGÉNEA

La cuenca de los ríos Salí-Dulce se extiende sobre cinco provincias de Argentina: Salta, Catamarca, Tucumán, Santiago del Estero y Córdoba. Ocupa una superficie aproximada de 57.000km² donde viven más de 2 millones de personas.

El principal colector de esta cuenca es el río Salí, el que recibe unos 20 ríos menores y gran cantidad de arroyos, todos alimentados por el aporte de agua de los deshielos y por las lluvias de verano. En su cuenca media se ubica el Embalse de Río

Hondo, un lago artificial de unos 20 km² compartido entre Tucumán y Santiago del Estero. A partir del embalse, el río Salí cambia su nombre por el de río Dulce, atraviesa la provincia de Santiago del Estero, y desemboca en la Laguna de Mar Chiquita, un humedal de importancia internacional ubicado en la provincia de Córdoba.

En la cuenca alta, en la provincia de Tucumán, existe una importante actividad industrial, en especial de los ingenios azucareros, destilerías de alcohol, empresas procesadoras de cítricos (jugos frescos y concentrados, aceites esenciales y otros subproductos) y frigoríficos. Este conjunto representa el 65% de las empresas de la zona.

En contraste, las cuencas media y baja se encuentran menos desarrolladas económicamente, con una estructura productiva asentada en la actividad agrícola y ganadera. Debido a la escasez de agua, estas actividades dependen fuertemente del riego artificial usando las aguas tanto de los ríos como del Embalse Río Hondo.

LA GENERACIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES INCREMENTA LA CONTAMINACIÓN

Actualmente, la principal fuente de contaminación en la Cuenca Salí-Dulce se relaciona con el funcionamiento de los ingenios en la provincia de Tucumán, tanto para la producción de azúcar como de alcohol etílico (biocombustible). En particular, la contaminación se asocia con dos residuos orgánicos que se generan en grandes cantidades (la ceniza y la vinaza) y que se volcaban en

los cursos de agua. Esta industria junto con la producción de cítricos— tiene la particularidad de coincidir su período de producción con la época en que los ríos y arroyos tienen caudales muy reducidos, lo que limita el proceso de autodepuración de la materia orgánica que estos pueden realizar. Como la cuenca es una unidad ambiental indivisible que no reconoce las fronteras administrativas, la contaminación fluye por los ríos y arroyos hacia el Embalse de Río Hondo y afecta a Santiago del Estero que considera a este lago artificial como uno de los pilares de su economía.

Aunque el problema no es nuevo, se ve fuertemente agravado por la implementación de la Ley de Biocombustibles (N° 26.093) que promovió, a partir de 2010 y hasta la fecha, un incremento del 300% en la producción de bioetanol, la que alcanzó los 200 millones de litros en 2015. Dado que por cada litro de alcohol se generan entre 12 y 15 litros de vinaza, se obtienen al menos 2.400 millones de litros anuales de este efluente ácido contaminante: una contaminación orgánica de 96.000 tn/año, similar a la que producen las 16.000 empresas asentadas en la cuenca del Matanza-Riachuelo, en Buenos Aires.

LA CRISIS AMBIENTAL DEL EMBALSE MOTORIZA LA BÚSQUEDA DE SOLUCIONES

Si bien la contaminación de las aguas es un problema recurrente en la cuenca Salí-Dulce, durante el año 2010 la situación se recrudeció por el aporte adicional de 780 millones de litros de vinaza debido al aumento de la producción de bioetanol. Ello generó dos eventos extraordinarios de mortandad masiva de peces en el Embalse de Río Hondo. Al superarse la capacidad de carga del embalse se produjo el colapso del sistema.

Esta “crisis del Embalse” motivó que la provincia de Santiago del Estero llevara el caso a la justicia reclamando el cese de la

actividad contaminante, constituyéndose así en un verdadero punto de inflexión para la gestión de la cuenca. Los amparos presentados ante la Corte Suprema de Justicia de la Nación promovieron la firma de un Acuerdo entre la Nación y las provincias de Tucumán y Santiago del Estero para reducir la contaminación en el Embalse de Río Hondo. El principal punto de este Acuerdo fue la prohibición total de vuelco de las vinazas y las cenizas de los ingenios tucumanos a los cursos de agua, como medida urgente y mínima necesaria para estabilizar la situación y salir del colapso ambiental. Todo ello mientras se impulsaba un nuevo proceso de reconversión industrial para implementar mejores prácticas productivas que reduzcan la contaminación.

LA PARTICIPACIÓN ACTIVA DEL AFECTADO ES CLAVE EN EL CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN

Una consecuencia directa del Acuerdo firmado fue que habilitó a la Defensoría del Pueblo de la Provincia Santiago del Estero a realizar un monitoreo continuo y sistemático de los afluentes del Embalse de Río Hondo (todos ellos ubicados en territorio tucumano) con el objetivo de detectar vuelcos ilegales de vinaza y ceniza.

Así, la provincia de Santiago del Estero, quien por estar ubicada aguas abajo constituyó durante muchos años el principal perjudicado por las actividades aguas arriba, adquirió la capacidad de ejercer un control efectivo de la contaminación y por ello de hacer valer sus derechos. Esta publicación da cuenta de este proceso.

A la vez, la gran cantidad de datos generada durante el monitoreo permitió realizar una caracterización sin precedentes de la calidad de los principales cursos de agua de la cuenca y elaborar una línea de base ambiental y cartografía de referencia para las políticas públicas. Este libro sistematiza y pone a disposición este material para alcanzar un mayor conocimiento sobre la

cuenca, y constituye una herramienta de información pública y educación para escuelas secundarias y universidades.

EL MONITOREO JUEGA UN PAPEL CENTRAL EN LA MEJORA DE LA SITUACIÓN DEL EMBALSE DE RÍO HONDO

El principal logro del Programa de Monitoreo Permanente es la reducción de los vertidos ilegales de vinaza y ceniza a los ríos y arroyos: gracias a la presencia continua en el territorio se pudieron identificar los vuelcos en forma inmediata y alertar a las autoridades de aplicación para que actúen. Esto incidió directamente en la mejora de la calidad del agua del Embalse.

Así, desde el año 2012, gracias a los controles realizados se logró reducir el aporte excesivo de los efluentes generados aguas arriba, en la provincia de Tucumán y el Embalse de Río Hondo se alejó progresivamente de las situaciones de colapso ambiental a las que se veía sometido. Se produjo una drástica disminución de los episodios de mortandad masiva de peces, tanto en número como en el nivel de gravedad de los casos. A la vez, las floraciones algales se volvieron menos frecuentes y más acotadas en cuanto a la superficie afectada, y la emanación de olores desagradables prácticamente ha desaparecido.

LA CALIDAD DEL AGUA QUE INGRESA AL EMBALSE DESDE TUCUMÁN AÚN ES BAJA Y REQUIERE DE UN PLAN INTEGRAL DE RECOMPOSICIÓN

Con más de 3.000 mediciones por afluente durante tres años y medio, el Programa de Monitoreo Permanente permitió generar un conocimiento sin precedentes sobre el estado en que los ríos y arroyos de la cuenca alta del Salí ingresan al Embalse de Río Hondo a lo largo del año. El análisis de la información recabada pone de manifiesto

que la calidad del agua de los ríos y arroyos es baja y aún presenta una alta carga contaminante. La situación afecta especialmente -y en primer lugar- a los habitantes de Tucumán que viven el deterioro progresivo de sus cuerpos de agua y ven con ello comprometido su derecho a un ambiente sano y equilibrado.

Esto es un claro indicador de que es preciso profundizar los controles y extenderlos a todas las actividades productivas y de servicios identificados como agentes contaminantes (citricolas, frigoríficos, papeleras, curtiembres, plantas de tratamiento de efluentes cloacales, etc.), así como promover mejores prácticas para el sector agropecuario.

A la vez, pone en evidencia la necesidad de impulsar, con carácter urgente, un plan integral de recomposición para la cuenca con metas claras, acciones, plazos, indicadores, responsables y presupuesto asignado.

LA AUSENCIA DE UNA VERDADERA AUTORIDAD DE CUENCA DIFICULTA LA IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDAS OPORTUNAS Y EFECTIVAS

Desde el año 2007 se encuentra activo el Comité Interjurisdiccional de la Cuenca Salí-Dulce. El mismo fue creado por Acta-Acuuerdo y concebido como una “instancia de cooperación, colaboración conjunta y de coordinación entre las provincias integrantes de la cuenca y las autoridades nacionales”. Sin embargo, nunca contó con un flujo regular y previsible de recursos para su funcionamiento, ni se otorgó a sus representantes capacidades concretas para la toma de decisiones sobre las políticas públicas.

Las idas y vueltas para poner en marcha el proceso aquí descripto evidenciaron la importancia de implementar un mecanismo de acción interjurisdiccional eficaz que conjugue el trabajo de los distintos ministerios y niveles de gobierno. Esto implica institucionalizar una Autoridad de Cuenca

que haga realidad una gestión compartida y un aprovechamiento integral, equitativo y sustentable de esta cuenca, conforme lo establecido en la Ley N° 25.688, “Régimen de Gestión Ambiental de Aguas”.

LA FALTA DE VALORES DE REFERENCIA PARA LA CUENCA IMPIDE EVALUAR LA EFICACIA DE LAS ACCIONES

Una consecuencia directa de la baja implementación de la Ley N° 25.688 es la ausencia de valores guía de calidad de las aguas en función de los distintos usos aceptables para cada subcuenca o zona (los cuales tampoco se encuentran definidos).

Es necesario hacer notar la urgente necesidad de fijar estos valores de referencia y definir límites de vertido para la Cuenca Salí-Dulce, que contemplen su capacidad para recibir descargas sin perder el equilibrio ambiental. Adicionalmente, se deben caracterizar los diferentes efluentes industriales, establecer las cargas máxicas para los vertidos, y definir límites individuales de descarga que contemplen el régimen hidrológico estacional de esta cuenca y sus variadas características físicas y morfológicas.

Sin ello, es impensable tener una interpretación ajustada y certera de la evolución de la calidad del agua de ríos y arroyos, y evaluar la eficacia de los planes de recomposición que se implementen para la cuenca.

LA COMPLEJIDAD DE LA CUENCA EXIGE LA REALIZACIÓN DE UNA PLANIFICACIÓN AMBIENTAL ESTRATÉGICA

La extensión de la cuenca, la heterogeneidad en cuanto a sus características naturales y socioeconómicas y la multiplicidad de usos y actividades productivas existentes requieren de un proceso participativo e intersectorial de Ordenamiento Ambiental del Territorio. Esta herramienta de planificación

estratégica consignada en la Ley General del Ambiente (N° 25.675) no sólo permitiría regular los usos del suelo para que sean ambientalmente adecuados sino que propiciaría la necesaria discusión sobre el modelo de desarrollo deseado para cada sector de la cuenca.

Esto sólo puede alcanzarse mediante una construcción colectiva entre el Estado, el sector privado y la comunidad que integre, entre otras cuestiones, las aspiraciones sociales en relación a los bienes colectivos, que incluyen tanto el agua, como el suelo y el aire.

EL ESTADO DEBE IMPULSAR POLÍTICAS PÚBLICAS ESPECÍFICAS PARA EVITAR LA CONTAMINACIÓN Y RECICLAR LOS NUTRIENTES

Los logros del Programa de Monitoreo Permanente confirman la importancia de consensuar y realizar acciones sostenidas en el tiempo para obtener resultados. Sin embargo, debe destacarse que se trata de una reacción ante un problema que podía (y debía) preverse.

Por tanto, hay una cuestión de fondo que requiere ser atendida: ninguna política pública debiera realizarse a expensas de la salud de las poblaciones y los ecosistemas. Así, las medidas que fomentan la producción de alcohol deben contemplar la necesidad de destinar parte del aumento de la renta a que los proyectos productivos internalicen las externalidades ambientales. Esto implica que, con carácter urgente, los ingenios deben incorporar en sus costos de producción el adecuado tratamiento de la vinaza y la ceniza para que no constituyan un residuo contaminante. Con un monto anual de 2.400 millones de litros de vinaza rica en potasio y nitrógeno y 300.000 toneladas de cenizas, se impone la obligación de construir el escenario para que éstas se reinserten en algún proceso productivo.

Por otra parte, la situación actual, donde la vinaza y las cenizas dejan de verterse al agua y al aire para disponerse en el suelo, sólo puede ser considerada de transición ya que se está exportando gran cantidad de nutrientes (como el potasio) que se extraen del suelo de la zona de cultivo cañero para ser depositados en otros sectores.

La solución integral de esta problemática requiere políticas públicas en sintonía con los principios de la economía circular, que busque la forma de reducir la generación de contaminantes y de reincorporar al sistema la mayoría de los nutrientes que se extraen del mismo. Esto implica el trabajo conjunto de las autoridades nacionales, provinciales y municipales no sólo de ambiente sino de recursos hídricos, de producción, de energía, de ciencia y técnica, y de desarrollo social. Un trabajo conjunto que permita dimensionar el problema pero también poner a disposición las herramientas para su solución, y -no menos importante- controlar la implementación de las acciones, informar a la sociedad, y verificar que efectivamente se reduzca la contaminación.

PRÓLOGO

DOCTOR JUAN JOSÉ BÖCKEL
SUBSECRETARIO GENERAL A CARGO
DEFENSOR DEL PUEBLO DE LA NACIÓN

El derecho a un ambiente sano y la protección de los ecosistemas se enfrentan desde hace muchos años al desafío de su implementación efectiva.

Nuestro país cuenta, desde la reforma de la Constitución en 1994 y del amplio desarrollo posterior de las leyes de presupuestos mínimos de protección ambiental, con un sólido marco normativo. Gracias a ello, podemos decir que los conflictos ambientales encuentran hoy, en la legislación, lineamientos claros para su resolución.

Sin embargo, no se avizoran hoy todavía avances sistemáticos en las políticas públicas ambientales, indispensables para que los derechos, ya reconocidos, conformen la realidad.

Las normas suelen dar forma a las expectativas que tenemos como sociedad acerca de lo que es correcto e incorrecto. Pero para ser efectiva toda norma y, más precisamente, toda política pública ambiental, necesita además contar con instituciones, objetivos explícitos, acciones desplegadas en el territorio y con la posibilidad de evaluar sus resultados.

El libro que hoy presentamos nos permite aprender de una experiencia inédita en la implementación de una política pública ambiental. Lo novedoso no proviene de la innovación tecnológica, ya que los medios utilizados —aunque importantes y muy bien organizados— están al alcance de la mayoría de nuestras instituciones. En

efecto, su relevancia radica en haber utilizado herramientas adecuadas, conjugándolas con la voluntad de llevar adelante una tarea de control y monitoreo en apoyo a los acuerdos alcanzados entre dos provincias; y de haberlo hecho de forma seria y organizada, sosteniendo el esfuerzo en el terreno día tras día, durante más de tres años.

Muchas veces hemos asistido a programas efímeros y promesas incumplidas. No es este el caso, pues el testimonio y la información colectada, demuestran que el compromiso y la perseverancia permiten obtener resultados duraderos.

Desde el 2012, el Embalse de Río Hondo se alejó progresivamente de las situaciones de colapso ambiental a las que se veía sometido por el aporte excesivo de efluentes generados aguas arriba en la Provincia de Tucumán. Los ingenios azucareros y la industria alcoholera iniciaron un proceso de reconversión industrial para reducir su impacto ambiental. La calidad del agua en la Cuenca del Salí-Dulce y del aire, en Tucumán, están hoy en proceso de mejora.

Esos logros, un primer paso que requiere ser continuado y profundizado, tienen su garantía en los mecanismos de monitoreo y control desarrollados por la Provincia de Santiago del Estero en la Cuenca, la cual —por estar ubicada aguas abajo— se constituyó durante muchos años en la principal

perjudicada por las actividades aguas arriba, y que hoy tiene la capacidad de ejercer un control efectivo y por ello de hacer valer sus derechos.

Este libro, entonces, documenta ese proceso y posibilita la difusión de las lecciones aprendidas, estableciendo una línea de base ambiental para evaluar los progresos en el futuro.

Con la convicción de que esta experiencia merece ser compartida, la Defensoría del Pueblo de la Nación se complace de haber apoyado este esfuerzo desde sus inicios y de ser partícipe de la comunicación de sus logros.

PREFACIO

DOCTOR MARTÍN DÍAZ ACHÁVAL
DEFENSOR DEL PUEBLO DE SANTIAGO DEL ESTERO

Desde 2012 se viene haciendo un extenso trabajo de monitoreo de la calidad de las aguas que se vierten al Embalse de las Termas de Río Hondo, en la cuenca Salí-Dulce, producto de un convenio entre los Gobiernos de las Provincias de Santiago del Estero y Tucumán, el Gobierno Nacional (a través de la entonces Secretaría y hoy Ministerio, de Ambiente y Desarrollo Sustentable) y la Defensoría del Pueblo de la Provincia de Santiago del Estero.

Cada día, desde las tierras santiagueñas, salen dos equipos de trabajo a constatar en diferentes puntos la calidad del agua que se dirige al Embalse. Todos los días del año.

Son 12 puntos, 12 cruces de caminos con cauces de agua. Se verifican 10 variables en cada sitio, además de las organolépticas (que incluyen, entre otras, un análisis de los olores, el color y la presencia de espumas). Un total de 240 datos diarios. Fueron 1587 días hasta la fecha de este Prólogo, 3174 viajes. Unos 380.880 datos de mediciones.

Ese enorme volumen de información necesitaba un procesamiento. Originalmente, las mediciones y los monitoreos tenían como objetivo un resultado inmediato: detectar cualquier anomalía en el curso de agua que permita dar alarma sobre un potencial vuelco por parte de uno de los ingenios que se hallaren aguas arriba del punto

de muestra, a efectos de evitar daños mayores y permitir el accionar en tiempo real.

Y ese objetivo fue conseguido. Se evitó en numerosas ocasiones vuelcos y, se puede afirmar, la situación de emergencia ha tornado en situación de peligro, lo cual es una mejora.

No obstante, el volumen de información, como se ha dicho, necesitaba ser procesado a efectos de darle una utilidad que ayude a entender la dinámica del sistema hidrobiológico que nos ocupa.

Este informe, que cuenta con la participación de la Defensoría del Pueblo de la Nación, de especialistas formados en casas de estudio del nivel de las Universidades de Buenos Aires, de General Sarmiento y del Salvador, de la experiencia de los responsables de los programas de Monitoreo Permanente y de Inspección de la Defensoría del Pueblo de la Provincia de Santiago del Estero, tiene como objetivo entregar una herramienta para mejorar la comprensión del funcionamiento del sistema hidrobiológico, procesar la información para su mejor aprovechamiento, y demostrar que con trabajo, estudio, compromiso y perseverancia, mejorar el ambiente no solamente es posible, sino altamente probable.

INTRODUCCIÓN

Durante décadas tratamos a los ríos, lagos y lagunas como si tuvieran una capacidad ilimitada para recibir los efluentes industriales y domiciliarios que generamos cada día. El deterioro resultante nos forzó a reconocer que el verdadero desarrollo sólo es posible si logramos garantizar que los recursos naturales mantengan su capacidad de seguir brindando bienes y servicios ambientales tanto para las necesidades del presente como para las del futuro.

Lograr el desarrollo sustentable nos desafía a poner en práctica una mirada sistémica, integral y transversal y a reconocer las cualidades y necesidades de cada una de las dimensiones del ambiente: lo natural, lo social y lo económico.

Nos exige además comprender que la dinámica ambiental muchas veces no respeta los límites políticos y las divisiones administrativas con que tradicionalmente se organizó la vida política de los estados.

Desde este nuevo paradigma, se hizo necesario construir nuevos modelos para la gestión de los recursos hídricos, donde la noción de cuenca emerge como la unidad de gestión ambiental más adecuada.

Por cuenca hidrográfica entendemos un espacio geográfico, un territorio, delimitado por las divisorias de aguas de un sistema de arroyos y ríos que convergen en la misma desembocadura.

Sin embargo, las cuencas —además de ser los territorios donde se desarrolla el ciclo hidrológico con un fuerte intercambio de sustancias y energía— son el lugar donde se realizan las actividades económicas y donde las comunidades comparten identidades, tradiciones y cultura.

Como todo sistema, las cuencas son un conjunto de componentes que están conectados formando una unidad, y en ellas la acción sobre uno de sus componentes genera indefectiblemente consecuencias sobre los otros.

Sobre este principio, y dado que por definición el área de las cuencas hidrográficas responde a características naturales y no a límites administrativos, cuando una cuenca es compartida por dos o más jurisdicciones políticas, nace el concepto de impactos ambientales interjurisdiccionales (Gutiérrez, 2011; GWP, 2009; Yinet Marzo, 2011).

El Embalse de Río Hondo permite ilustrar claramente estas ideas: emplazado en el límite entre Tucumán y Santiago del Estero, este lago artificial integra la Cuenca del Río Salí-Dulce.

El territorio de esta cuenca se extiende sobre cinco provincias de Argentina: Salta, Catamarca, Tucumán, Santiago del Estero y Córdoba. Ocupa una superficie aproximada de 57.000km², donde viven más de 2 millones de personas (INDEC, 2010).

Su principal curso de agua es el Río Salí, que nace de la confluencia de dos ríos salteños, recorre la Provincia de Tucumán de norte a sur y recoge las aguas de unos 20 afluentes, desaguando luego en el Embalse de Río Hondo. A partir del embalse, el Río Salí cambia su nombre por el de Río Dulce, atraviesa la Provincia de Santiago del Estero de noreste a sudeste, y desemboca en la Laguna de Mar Chiquita, en la provincia de Córdoba.

El Embalse de Río Hondo fue habilitado en 1967 con el fin de almacenar y regular agua y generar energía eléctrica y se ha convertido en un importante atractivo turístico de la Provincia de Santiago del Estero.

Sin embargo, se ve fuertemente afectado por vertidos contaminantes, principalmente provenientes de ingenios azucareros, empresas procesadoras de cítricos (citrícolas), efluentes domiciliarios (cloacas), criaderos y cultivos que vuelcan sus residuos en sus tributarios.

Estos vertidos, imponen serias restricciones a los usos del agua que pueden hacer las poblaciones ubicadas aguas debajo, han ocasionado alteraciones en las poblaciones de peces y han transformado los ríos en foco de enfermedades.

Respecto del Embalse de Río Hondo, la contaminación ha generado grandes mortandades de peces y la aparición de extensas floraciones de algas tóxicas. Por este motivo, en 1995 la Defensoría del Pueblo de la Nación inició investigaciones para impulsar que las autoridades protejan el derecho ambiental a un ambiente sano frente la contaminación de las aguas del Río Salí.

En el año 1996 se creó la Defensoría del Pueblo de la Provincia de Santiago del Estero, que trabajó en el mismo sentido.

Tras años de persistir en los reclamos y acciones, en el año 2007 pudo lograrse que

las autoridades propusieran un “Plan de Gestión Integral de la Cuenca del Río Salí-Dulce”, acordado por la entonces Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, la Subsecretaría de Recursos Hídricos Nacional, y los gobiernos de Santiago del Estero y Tucumán.

Este plan tuvo como objetivo principal reducir la contaminación que afectaba a los cursos de agua de la cuenca y contemplaba, entre otras acciones, un Plan de Reconversión Industrial, cuyo cumplimiento fue parcial.

En 2010 ocurrieron al menos dos eventos importantes de mortandad masiva de peces en el Embalse de Río Hondo, por lo que en el segundo semestre de 2010, la Defensoría del Pueblo de la Provincia de Santiago del Estero decidió llevar el caso a la justicia. En esa inteligencia, y luego de reuniones y estudios, se decidió trabajar en conjunto con el Gobierno de la Provincia de Santiago del Estero, representado por la Fiscalía de Estado, presentándose en dos frentes: por un lado una denuncia ante la Justicia Federal por el posible delito ambiental y, por el otro, una acción en competencia originaria ante la Corte Suprema de Justicia de la Nación (CSJN), por ser parte una Provincia, mediante cuatro acciones de amparo ambiental contra diez ingenios azucareros tucumanos, divididos por curso de agua, sospechados de causar la contaminación del Embalse de Río Hondo y las mortandades de peces, con los desechos de su actividad, solicitando la Corte ordene el cese de la actividad contaminante, haciendo hincapié en el aumento de la producción de alcoholes (etanol) y su consecuente desecho, la **vinaza**.

Esta acción ante la CSJN promovió que el último día hábil de 2011 se firmara un acuerdo para reducir la contaminación en

el Embalse de Río Hondo entre: la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, como garante de los plazos y metas, la Provincia de Tucumán, la Provincia de Santiago del Estero y la Defensoría del Pueblo de esta última provincia.

Sus principales puntos fueron la prohibición total de vuelco de vinaza y ceniza —principales desechos de la actividad de los ingenios—, recuperación del agua de lavado de caña, el impulso de nuevos Convenios de Reconversión Industrial, el establecimiento de mejores mecanismos de control, fiscalización y prevención, y la institución de procedimientos de participación ciudadana.

Como resultado de este acuerdo, y luego de meses de preparación y calibraciones, en junio de 2012 la Defensoría del Pueblo de la Provincia Santiago del Estero, en coordinación con el Ministerio del Agua y el Medio Ambiente de esa misma Provincia, puso en marcha el Programa de Monitoreo Permanente de los principales tributarios del Embalse de Río Hondo. Su objetivo fue detectar en tiempo real posibles vertidos industriales prohibidos y —como tarea de apoyo— contar con información sobre la calidad de las aguas ingresantes al embalse.

Si bien el objeto principal era detectar tempranamente eventos de contaminación, el ejercicio continuado y sistemático de este monitoreo realizado diariamente, sobre 12 afluentes del embalse, permitió contar con una gran cantidad de información, realizar una caracterización sin precedentes de la calidad de los principales cursos de agua de la cuenca y elaborar línea de base de calidad de las aguas a lo largo de todos los meses del año.

Las mismas instituciones santiagueñas participan, junto con la Secretaría de Estado

de Medio Ambiente de Tucumán y del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, de las inspecciones regulares que se realizan a todos los ingenios para controlar su plan de gestión ambiental, el destino de residuos y efluentes y la introducción de las mejoras tecnológicas comprometidas en el Acuerdo (Programa de Inspecciones a los Ingenios).

Además, se realizan incursiones periódicas tanto al perillago como dentro del embalse, con el fin de detectar en forma temprana floraciones algales, mortandad de peces, cambios de coloración, emanación de olores y toda situación ambiental anómala (Programa de Alerta Temprana).

El Programa de Monitoreo Permanente tiene logros destacables: aseguró una elevada presencia en el terreno, ya que realiza mediciones de calidad de agua dos o tres veces por día en 12 afluentes; permitió la articulación con otros programas que brindan información en tiempo real del estado del Embalse y verificó el nivel de avance de compromisos de reconversión industrial asumidos por las industrias de la cuenca.

Es de destacar que los programas de Monitoreo Permanente, de Inspección a los Ingenios y de Alerta Temprana, cuentan con la colaboración del Ministerio del Agua y el Ambiente santiagueño, pero están a cargo de la Defensoría del Pueblo de la Provincia y son solventados con el presupuesto asignado por la Cámara de Diputados a la misma Defensoría, con fondos provenientes exclusivamente de la Provincia de Santiago del Estero.

El presente informe tiene por finalidad dar a conocer las actividades de monitoreo realizadas, publicar los datos obtenidos, y sistematizar los resultados mediante tablas, gráficos y análisis estadísticos para cada uno

de los de los tributarios del Embalse de Río Hondo monitoreados en el período junio 2012 a diciembre de 2015.

En la Parte A se describe el Embalse de Río Hondo y la Cuenca Salí-Dulce, abordando luego la problemática de la contaminación en la región, especialmente sobre los cursos de agua.

La Parte B del documento explica las acciones llevadas adelante por la Defensoría del Pueblo de la Provincia de Santiago del Estero como consecuencia de los impactos ambientales de las actividades económicas de la Provincia de Tucumán sobre el embalse y sus afluentes.

Finalmente, en la Parte C se presenta un análisis sobre la información obtenida durante el Programa de Monitoreo Permanente, compilada en una voluminosa base de datos, la cual ha permitido describir la calidad de agua de cada uno de los afluentes monitoreados.

Asimismo, se ha desarrollado una metodología para la identificación de posibles vuelcos compatibles con vinaza y agua de ceniza.

PARTEA

EL EMBALSE DE RÍO HONDO, LA CUENCA SALÍ-DULCE Y LA CONTAMINACIÓN

En esta sección se describen los aspectos naturales y económicos del Embalse Termas de Río Hondo y la Cuenca Salí-Dulce, con especial énfasis en los impactos ambientales de las principales actividades productivas que allí se desarrollan y su efecto en la calidad del agua.

EL EMBALSE TERMAS DE RÍO HONDO

El Embalse de Termas de Río Hondo se conformó por la construcción del Dique El Frontal, inaugurado en el año 1967. Este cuerpo de agua creado artificialmente posee marcadas características de un lago de llanura, con su forma típica de grandes extensiones, bahías de suave pendiente y escasa profundidad.

Tiene una superficie aproximada de 20km², y se extiende en parte sobre el territorio de Tucumán y en parte sobre el de Santiago del Estero, donde se ubica además la presa hidroeléctrica. El embalse puede almacenar aproximadamente 960 hectómetros cúbicos y recibe desde la cuenca alta a través de los ríos y arroyos tucumanos, un caudal medio anual de 77,50 m³/seg. Este importante cuerpo de agua, tiene un comportamiento muy dinámico en cuanto a las variaciones de parámetros físicos, químicos y biológicos.

El 70% del caudal de agua que llega al embalse es aportado por los ríos Salí y Medina o Chico; le siguen los ríos Gastona y Marapa y otros tributarios menores (Desagüe Troncal, Arroyos Matazambi, Mista y Chileno).

El embalse tiene múltiples usos que incluyen: la toma de agua para alimentar el Acueducto del Oeste que suministra agua a diferentes pueblos del interior de la provincia de Santiago del Estero; la regulación de caudales atenuando crecientes; el almacenamiento de agua para ser utilizada en épocas de sequía, principalmente con fines productivos; la generación de energía eléctrica; y también representa un importante atractivo turístico.

CURSO SUPERFICIAL	PROMEDIO (%)
Río Salí	52
Río Medina/Chico	20
Río Marapa/Graneros	11
Río Gastona	11
Desagüe Troncal	2
Arroyo Matazambi	2
Arroyo Mista	1
Arroyo Chileno	<1

Tabla 1
Porcentaje promedio de aporte de los tributarios al Embalse Río Hondo. Fuente: Subsecretaría de Recursos Hídricos *et al*, 2007.

DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA

Características naturales

La Cuenca del Río Salí-Dulce se extiende sobre el territorio de cinco provincias del noroeste y centro de la Argentina: Salta, Catamarca, Tucumán, Santiago del Estero y Córdoba. Ocupa una superficie aproximada de 57.000 km² y una extensión de 800km.

La cuenca Salí-Dulce se clasifica como una cuenca endorreica¹, debido a que sus aguas finalizan su recorrido en la Laguna Mar Chiquita, en la Provincia de Córdoba, sin salida hacia el mar. Con el fin de facilitar su estudio la cuenca se puede dividir en tres sectores bien diferenciados:

Cuenca alta: tiene sus nacientes en los ríos Tala y Candelaria, al sur de Salta, ambos cursos de agua confluyen y dan origen al Río Salí. Este río atraviesa la Provincia de Tucumán en dirección norte-sur, recibiendo una gran cantidad de afluentes en su mayoría provenientes de las sierras Calchaqués y del Aconquija, lo que lo convierte en el colector de toda la cuenca en esa provincia.

El aporte se produce por aguas de deshielo desde esas cumbres y por lluvias torrenciales y estacionales de la corriente atlántica. Se estima que las lluvias en esta región superan los 1.800 mm al año, concentradas durante los meses de verano y otoño (época húmeda) y son escasas las precipitaciones durante el invierno y la primavera (JMB, 2005). En la porción tucumana de la Cuenca Salí-Dulce, se distinguen dos sectores:

Sector superior: tiene 65 km de extensión y desemboca en el embalse del Dique

¹ Las cuencas exorreicas son aquellas cuya desembocadura llega al mar, mientras que en las cuencas endorreicas el cauce principal no tiene salida fluvial en el océano, finalizando su recorrido en lagunas, tierras pantanosas o salares, entre otros.

El Cadillal. En toda la zona el relieve tiene una pendiente muy pronunciada lo cual provoca que los ríos corran a gran velocidad. Esto, sumado a las lluvias torrenciales características, genera una importante erosión del suelo.

Sector inferior: tiene 125 km de extensión y sus aguas son recibidas por el Embalse Río Hondo. En el último tramo (al sur de San Miguel de Tucumán) la pendiente es menos pronunciada, lo que produce que los ríos depositen los sedimentos (el material acarreado de la erosión) que terminan en las aguas del embalse. Se presenta un mapa del área bajo estudio, donde se distinguen la altura del terreno y las subcuencas de los principales cursos de agua de la zona.

Cuenca media: conformada por el Embalse de Río Hondo.

Cuenca inferior: corresponde a la zona de llanura desde el vertedero de la presa hidroeléctrica, atravesando los Bañados del Río Dulce, hasta la Laguna Mar Chiquita (zona de descarga de la cuenca). Comprende gran parte de Santiago del Estero y el norte de Córdoba. En esta sección, el Río Salí, que cambia su nombre por el de Río Dulce, corre por una zona plana, cruzando diagonalmente Santiago del Estero, sin recibir afluentes y tornándose, por momentos, divagante e impredecible y cambiando de curso. Aquí el clima es semiárido, con lluvias concentradas en el verano y altas temperaturas, lo que genera un déficit hídrico durante todo el año.

En lo que respecta a los ecosistemas naturales del área de interés, debe señalarse que los bosques correspondientes a la selva pedemontana y el bosque chaqueño del centro y este de la Provincia de Tucumán han sido casi totalmente sustituidos por la agricultura.



Figura 1 Territorio de la cuenca de los ríos Salí-Dulce.

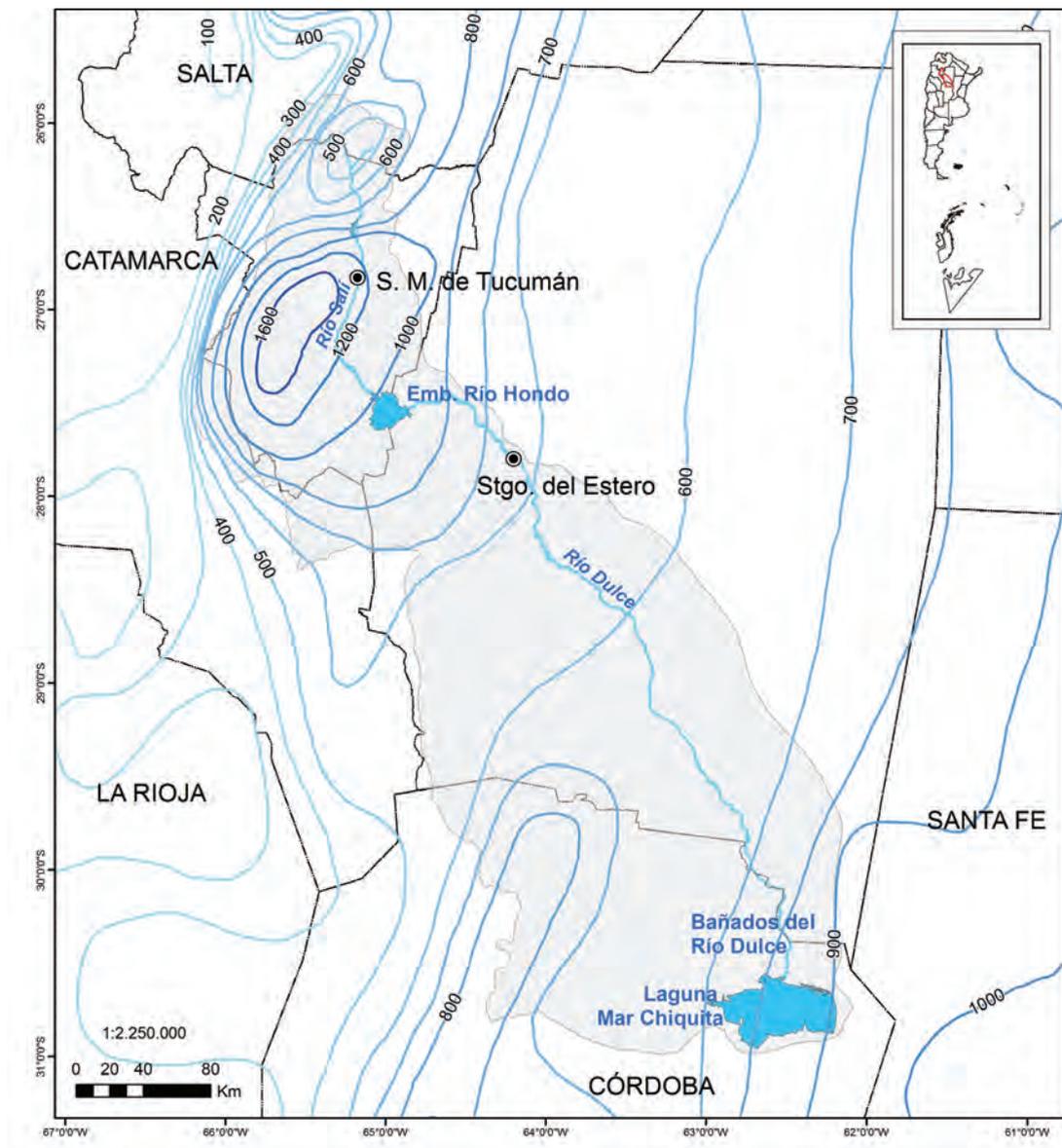


Figura 2 Distribución de las precipitaciones medias anuales (Isohietas) en mm.

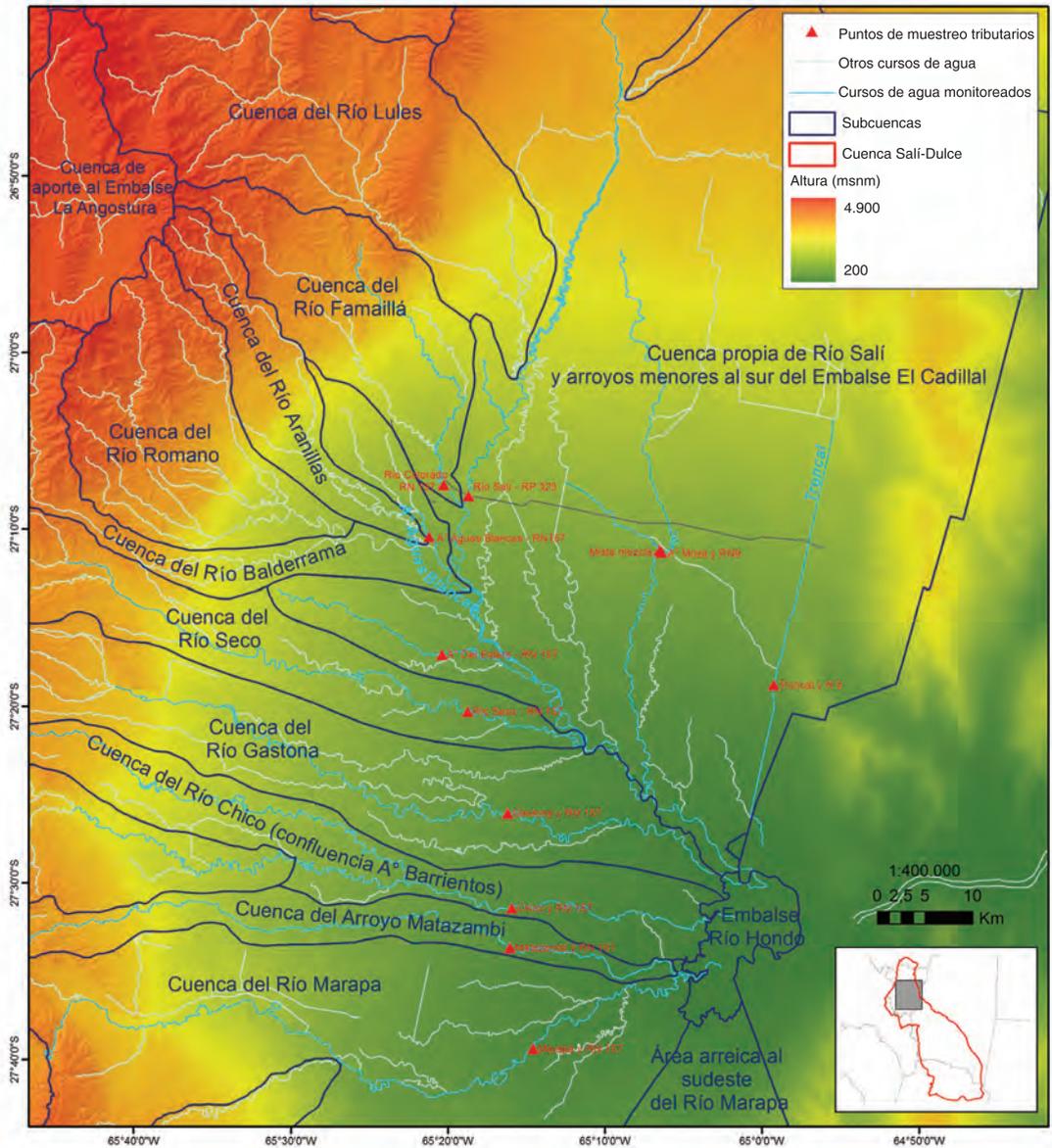


Figura 3 Mapa del relieve en la cuenca alta con divisoria de agua de las distintas subcuencas que la integran.

No obstante, las áreas protegidas² existentes en el espacio de la Cuenca del Salí-Dulce conservan una muestra significativa de los ambientes naturales e importantes restos arqueológicos de culturas precolombinas. Estas áreas suman 1.200.000 hectáreas, de las cuales casi 1.000.000 hectáreas corresponden a Reserva Provincial de Uso Múltiple/Sitio Ramsar Bañados del Río Dulce y Laguna Mar Chiquita. Estos bañados constituyen vastos humedales de gran importancia para la conservación de la biodiversidad dado que allí habitan una gran cantidad de especies amenazadas de extinción. Asimismo toda la zona fue declarada "Sitio Hemisférico" de la Red Hemisférica de Reservas para Aves Playeras (RHRAP) en 1991 y Sitio Ramsar en 2002.

Comportamiento natural de los cursos de agua de Tucumán

La interpretación de los resultados de calidad de agua requiere conocer previamente cómo se comportan las variables estudiadas frente a la influencia de algunos factores naturales, independientemente de la contaminación química o física provocada por actividades humanas. La estacionalidad de las precipitaciones, y por consiguiente del caudal de los ríos, la temperatura y el tipo de lecho, son algunas de las variables que modifican naturalmente la respuesta del oxígeno disuelto, la turbiedad y la conductividad de los afluentes monitoreados.

² Parque Nacional Campo de los Alisos, Parque Provincial Cumbres Calchaquíes, Parque Provincial La Florida, Parque Universitario Sierra de San Javier, Reserva Cultural Natural Cerro Colorado, Reserva Natural Quebrada del Portugués, Reserva Natural Santa Ana, Reserva Natural Río Los Sosa, Reserva Natural de la Defensa Quebrada del Portugués/El Mollar, Reserva Natural Estricta La Angostura y Reserva Provincial de Uso Múltiple / Sitio Ramsar Bañados del Río Dulce y Laguna Mar Chiquita.

Durante la época seca (estiaje), la poca profundidad de los cursos de agua y la alta radiación solar propia de la zona de estudio, elevan la temperatura del agua dificultando el intercambio gaseoso con el aire, lo que puede provocar una disminución en el oxígeno disuelto del agua. Asimismo, el bajo volumen de agua aumenta la concentración de sales, lo que se refleja en un incremento de la conductividad.

En la época estival, generalmente el aumento del caudal de los cursos de agua genera un incremento del oxígeno disuelto. Sin embargo, si el lecho del afluente posee partículas finas, el aumento de la turbulencia hace que éstas entren en suspensión; y si éstas además son mayoritariamente de composición orgánica, podría generar una disminución del oxígeno en el agua. Por el contrario, cuando el lecho es rocoso (de granulometría más gruesa), el aumento del caudal genera directamente un incremento del oxígeno disuelto.

Durante las precipitaciones, el aumento del caudal y la turbulencia generan un incremento en la turbiedad ocasionado por la mayor cantidad de partículas en suspensión. En ciertas ocasiones, una vez cesada la lluvia, la turbulencia disminuye y los sedimentos decantan, decreciendo rápidamente la turbiedad. Del mismo modo, la conductividad responde proporcionalmente al incremento de la turbiedad, como respuesta a la disolución de sales en el agua.

El tipo de suelo que atraviesa cada curso de agua influye en la conductividad del agua. Por ejemplo, en los suelos salino-sódicos, característicos al este del Río Salí, los afluentes presentan valores más elevados de conductividad.

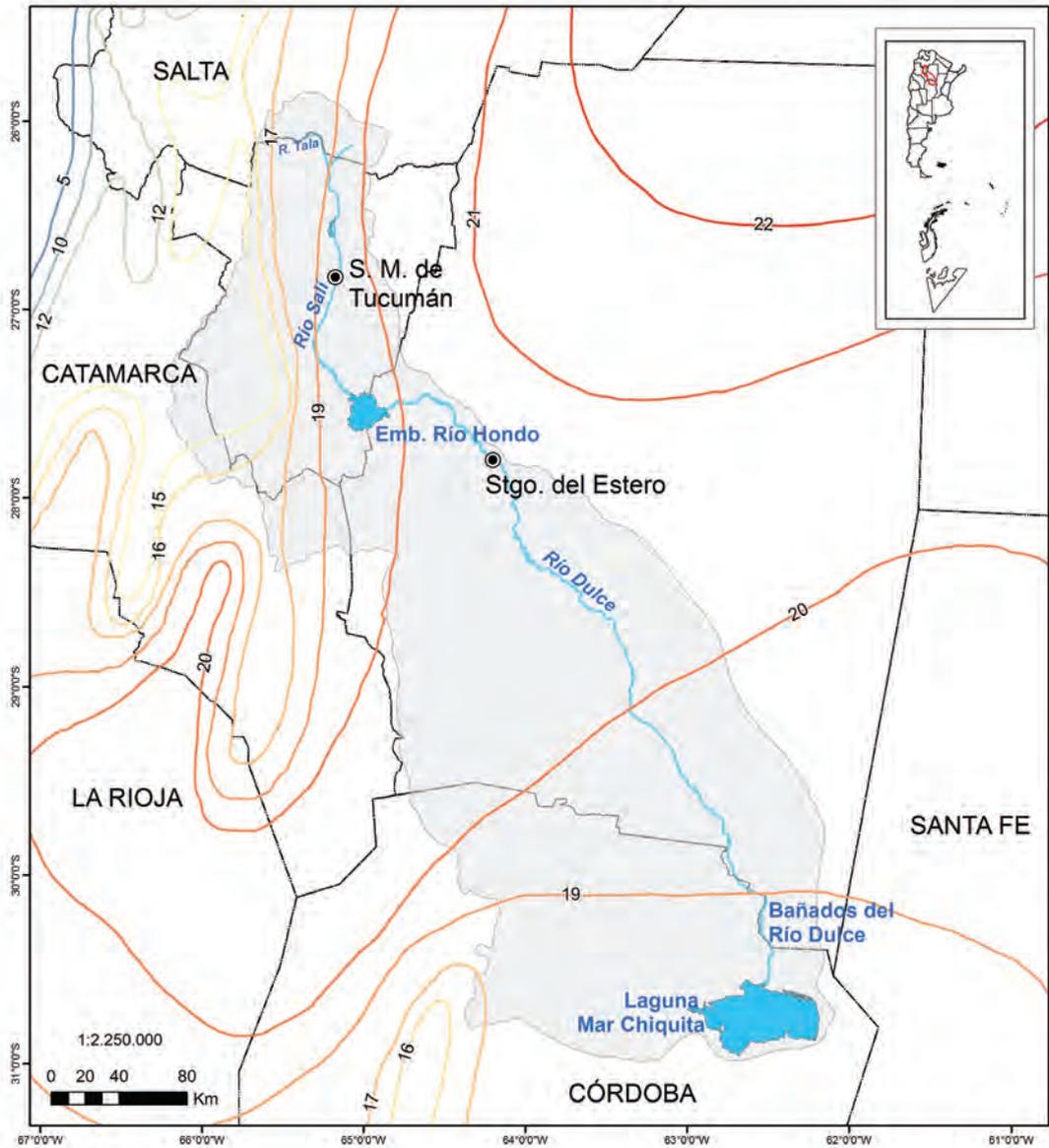


Figura 4 Distribución de las temperaturas medias anuales (en °C) en la cuenca.

PROVINCIA	POBLACIÓN TOTAL	POBLACIÓN CON NBI	POBLACIÓN SIN RED CLOACAL	POBLACIÓN SIN AGUA CORRIENTE
Tucumán	1.428.719	233.169	742.030	159.870
Sgo. del Estero	584.530	110.929	390.739	110.028
Córdoba	54.755	8.990	54.462	16.128
Catamarca	22.254	4.359	21.000	3.524
Salta	6.851	1.738	5.954	1.990
TOTAL	2.097.109	359.185	1.214.185	291.540

Tabla 2

Información poblacional de la cuenca Salí-Dulce (Censo 2010). Fuente: INDEC, 2010.

Características socioeconómicas

Población

De acuerdo al Censo Nacional de Población, Hogares y Vivienda 2010 (INDEC, 2010), la población total de la cuenca es de 2.097.109 habitantes³. De ellos, el 17% presenta Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI)⁴, el 58% no tiene acceso a la red cloacal y el 14% no cuenta con acceso a agua corriente.

En la tabla 2 se presenta la distribución de las variables socioeconómicas mencionadas, por provincia.

³ Este cálculo fue realizado considerando los radios censales.

⁴ El concepto NBI permite la delimitación de grupos de pobreza estructural y representa una alternativa a la identificación de la pobreza considerada únicamente como insuficiencia de ingresos. Por medio de este abordaje se identifican dimensiones de privación absoluta y se enfoca la pobreza como el resultado de un cúmulo de privaciones materiales esenciales (INDEC, 2014).

Actividades económicas

En el área de influencia de los tributarios del Embalse de Río Hondo las principales actividades económicas son la agricultura y la ganadería, a lo que se suma un importante desarrollo industrial. Los principales cultivos son la caña de azúcar y los cítricos, secundándolos, aunque en menor superficie, el tabaco, maíz, trigo, soja, papa y garbanzos. En Tucumán se desarrolla la ganadería extensiva, aunque también existen en la zona establecimientos confinados de engorde vacuno, granjas porcinas y avícolas.

La actividad industrial es muy importante, en especial los ingenios azucareros, destilerías de alcohol y frigoríficos (que representan el 65% de las empresas de la zona). Otros rubros que tienen una fuerte participación en la generación de valor en la provincia, están vinculados con la producción de papel, automotriz, textil y calzado, golosinas, gaseosas, cerveza, productos electrónicos, fósforos y productos lácteos, la miel de abeja y la melaza de caña (Dirección de Estadística, 2010).

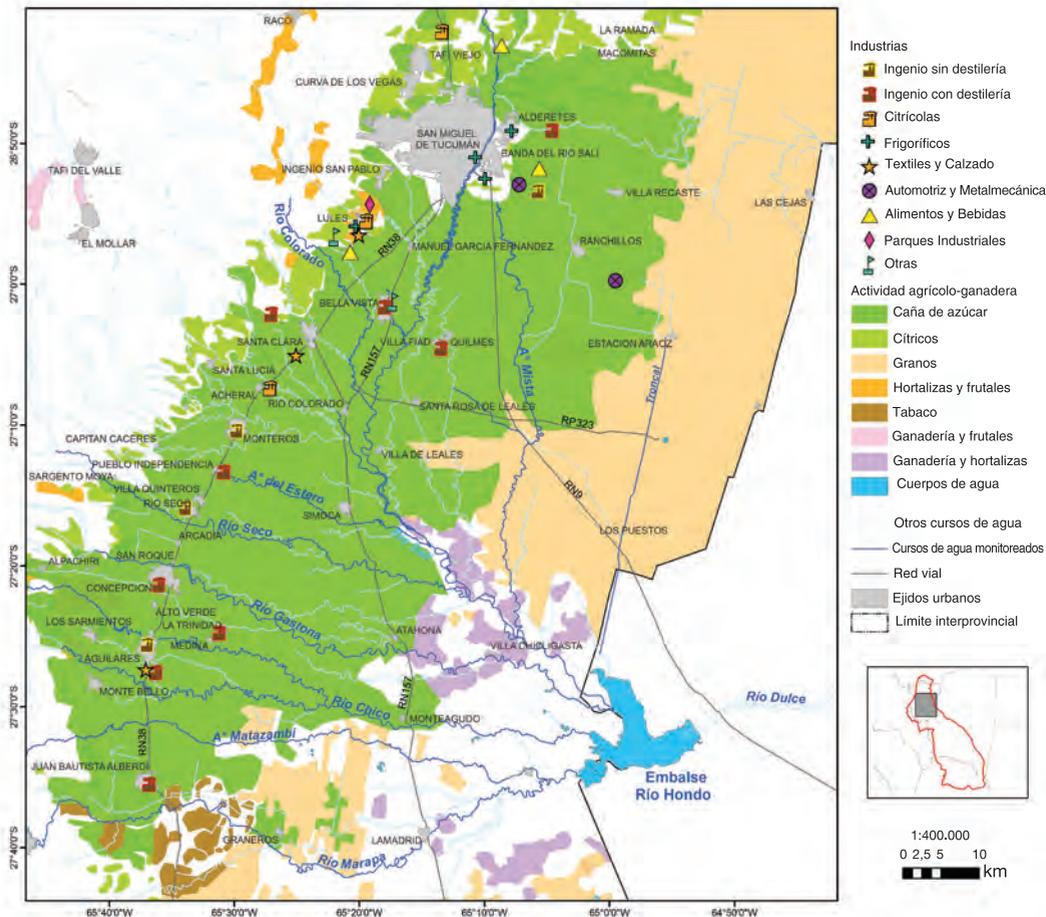


Figura 5
Usos del suelo y principales actividades productivas en la cuenca alta.

A diferencia del Salí, el área de influencia del Río Dulce se encuentra menos desarrollada económicamente, con una estructura productiva asentada en la actividad agrícola y ganadera. Debido a la escasez de agua, estas actividades dependen fuertemente del riego artificial usando las aguas tanto de los ríos como del Embalse Río Hondo.

Las Termas de Río Hondo son el principal atractivo turístico de la provincia, recibiendo

turistas desde el inicio del otoño hasta mediados de la primavera, en una temporada extendida que, hasta hace pocos años, era de junio a septiembre. No obstante, el Embalse de Río Hondo, ubicado a pocos kilómetros río arriba de la Ciudad de Termas, permite que esta ciudad pueda prolongar su temporada turística.

PROBLEMÁTICA DE LA CONTAMINACIÓN

Fuentes de la contaminación

Las principales fuentes de contaminación del agua en la Cuenca Salí-Dulce son los ingenios, tanto los que sólo producen azúcar como los que poseen instalaciones para destilar alcohol etílico; las empresas procesadoras de cítricos (citrícolas); la industria papelera; las fábricas textiles; los frigoríficos y los efluentes cloacales. Esta identificación fue realizada por la propia Provincia de Tucumán en el marco de la implementación del Plan Nacional de Reconversión Industrial (PRI) iniciado en 2006 por la ex Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable (SAyDS), actual Ministerio de Ambiente y Desarrollo de la Nación.

Dadas las características de las actividades económicas mencionadas, en su mayoría los efluentes son orgánicos biodegradables, con menor presencia relativa de efluentes con características tóxico-acumulativas.

Para dar solución a esta problemática, desde el año 2000 tanto la Nación como la provincia de Tucumán implementaron diversos Programas de Reconversión Industrial (PRI) para las distintas empresas de la cuenca, en un intento de dar un tratamiento adecuado a los efluentes líquidos y las emisiones gaseosas; e implementar mejores prácticas productivas.

Durante los primeros años, estos PRI no tuvieron los resultados esperados. Al año 2007 era común la descarga directa a los tributarios de la cuenca de efluentes industriales sin tratar o mal tratados. Por otro lado, varias industrias declaraban realizar sus descargas en terrenos o lagunas de sacrificio, lo que conlleva el riesgo de contaminar las napas poco profundas por infiltración en el

caso de que no cuenten con sistemas de impermeabilización adecuados (Subsecretaría de Recursos Hídricos, 2007).

Un estudio realizado en 1995 sobre la situación de contaminación de la cuenca (MCTyMA, 1995) puso en evidencia que los ingenios son los principales responsables de la contaminación orgánica de ríos y arroyos, aportando el 85% de la carga total de contaminantes durante la época de estiaje (Tabla 3). Si bien estos valores no son actuales, aún resultan útiles para comparar la participación relativa de cada rubro en la contaminación hídrica y así establecer prioridades de acción.

Además del elevado aporte de materia orgánica que realizan a la cuenca, la industria azucarera—junto con la producción de cítricos— tiene la particularidad de coincidir

INDUSTRIAS	CARGA TOTAL (TN DBO ₅ /DÍA)	CARGA TOTAL (%)
Ingenios azucareros	662,3	84,0
Papeleras	48,9	6,3
Citrícolas	28,5	3,6
Alimentaria	27,0	3,4
Fábrica de levaduras	13,6	1,7
Mataderos	0,7	0,08
Gaseosas	0,5	0,06
Textiles	0,4	0,06
Cloacales	6,0	0,8
TOTALES	787,9	100

Tabla 3
Cantidad de residuos biodegradables generados en Tucumán en tiempo de zafra.

su período de producción con la época de estiaje de los ríos. Esto conlleva a una crisis ambiental durante los meses de invierno y primavera, cuando se vuelcan grandes cantidades de materia orgánica a ríos y arroyos con caudales muy deprimidos, lo que limita el proceso de autodepuración de materia orgánica de los cursos superficiales.

A partir de 2007, los Planes de Reconversión Industrial para las empresas de la cuenca toman un nuevo impulso, con una mayor participación de la Nación en el seguimiento de la implementación de los mismos (cuya suscripción es voluntaria). A la fecha, se han realizado tres ediciones de estos PRI: la etapa I (2007-2010), la etapa II (2011-2014) y la etapa III (2014-2017). Las metas y logros más destacados de cada una se indican, según corresponda, en los siguientes apartados.

Ingenios

La materia prima de los ingenios es la caña de azúcar. Esta es utilizada tanto para la fabricación de azúcar como para la elaboración de alcohol de varios tipos para el mercado interno y exportación. Desde 2006 se produce principalmente alcohol anhidro para ser utilizado como combustible.

Como consecuencia del proceso productivo se generan distintos subproductos: el bagazo (producto seco resultante de la molienda de caña) que se emplea principalmente como combustible de las calderas y también para la fabricación de papel; tableros aglomerados, etc. (Dirección de Estadística, 2010). La miel final resultante del trabajo de recuperación de azúcar (melaza) es utilizada, casi en su totalidad, para la fabricación de bioetanol. Tucumán cuenta con 15 plantas productoras de azúcar (Tabla 4) y 11

destilerías anexas que elaboran alcohol etílico (Diez *et al*, 2011). De estas, 5 poseen plantas de deshidratación para la producción de bioetanol (MAyDS 2016).

Todos los ingenios tucumanos adhirieron al PRI desde 2007.

Durante la producción y elaboración de azúcar se generan dos residuos, cachaza y cenizas, y durante la elaboración de alcohol se genera como desecho la vinaza. Del total de la carga contaminante aportada por los ingenios, el 64% corresponde a vinaza, la cachaza representa el 15% y el restante 21% son otros residuos líquidos. A continuación se describe brevemente cada uno y la gestión ambiental que se realizan sobre ellos.

Vinaza: es un residuo industrial que se genera durante la destilación del alcohol,

INGENIO	CAÑA MOLIDA (TN)
Concepción	2.275.670
La Trinidad	1.401.894
La Providencia	1.274.167
Leales	840.487
La Fronterita	839.064
Bella Vista	805.735
La Florida	700.261
Cruz Alta	674.307
Santa Rosa	601.604
Santa Bárbara	540.164
Ñuñorco	533.280
La Corona	462.742
Marapa	448.558
Aguilares	267.384
San Juan	152.362
TOTAL	11.817.679

Fuente: CAA, 2016

Tabla 4

Toneladas de caña molida durante la zafra 2015.

actividad que se realiza principalmente entre los meses de mayo y diciembre. El alcohol hidratado se emplea como insumo en otras industrias, mientras que el alcohol anhidro se emplea para la generación de bioetanol. En términos del volumen producido, se estima que por cada litro de alcohol obtenido a partir de mosto de melaza, se generan entre 12 y 15 litros de vinaza. Considerando que en Tucumán se producen aproximadamente 200.000m³ de bioetanol por año, la generación de vinaza alcanza, como mínimo, los 2.400.000m³. Esto implica que se genera una carga másica de 96.000 tn/año de materia orgánica (similar a la que generan las 16.000 empresas asentadas en la cuenca del Matanza-Riachuelo, en Buenos Aires), constituyendo la principal fuente de contaminación.

La producción se vio incrementada a partir del año 2010 por la obligación de cortar las naftas con este biocombustible en un 5% (Ley N° 26.093, Res. SE 698/09). Esta alícuota fue incrementándose gradualmente de la siguiente manera: 7% en 2012, 8% en 2013, 10% en diciembre de 2014 y 12% a partir de septiembre de 2016⁵. Es decir que en 4 años se duplicó el porcentaje de corte de las naftas con bioetanol, lo que en la práctica llevó a que se triplique el volumen de etanol producido en Tucumán entre el 2010 y el 2015. Este escenario plantea una competencia entre la generación de etanol y la generación de azúcar a partir de la caña.

En este punto se señala que hasta el año 2009 casi no se producía etanol a partir de la caña de azúcar (Tabla 5) (Fuente Dirección de Agricultura de los EEUU, 2015.)

Este residuo, altamente corrosivo y contaminante de las fuentes de agua, presenta en su composición química altos contenidos

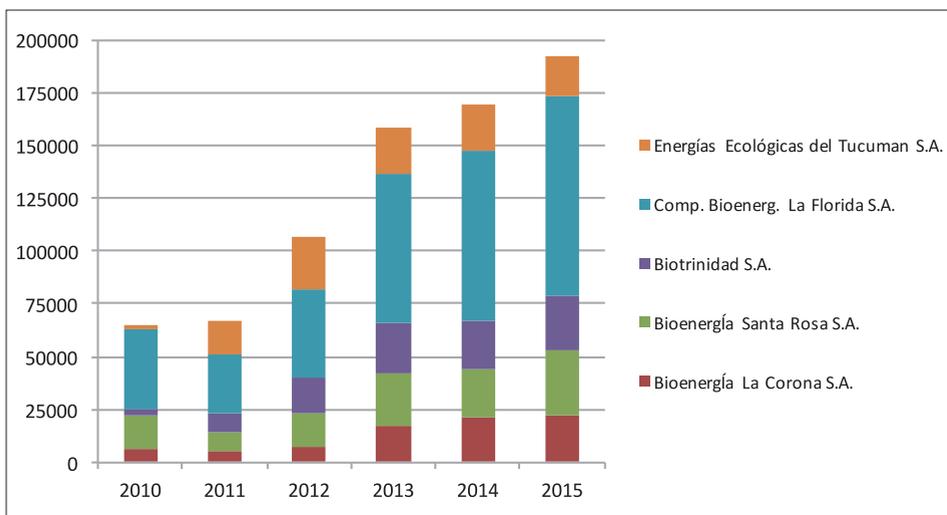
⁵ Resoluciones de la Secretaría de Energía: N°733/09, 7/10, 553/10, 5/12, 56/12, 450/13, 44/14 y 660/15 y del Ministerio de Energía y Minería de la Nación N°37/16.

de materia orgánica, potasio, calcio, nitrógeno y fósforo (JMB, 2005).

El PRI implementado entre 2007 y 2010 (PRI I), si bien se centró principalmente en el tratamiento de la cachaza, puso de manifiesto la necesidad de que la vinaza no fuese depositada en los arroyos o ríos. Para ello se construyeron lagunas de contención y evaporación, uso de terrenos de sacrificio y disposición en fincas cañeras para evitar su descarga en los cursos de agua superficiales, como una medida de coyuntura hasta la instrumentación de medidas estructurales. Debido a inconvenientes surgidos en el control de los reservorios y de una instrumentación precaria de gestión, se desarrollaron nuevos métodos de control, que se aplicaron en la segunda etapa del PRI entre 2011-2014 (PRI II), a partir de lo cual se trabajó con las premisas de “Vinaza Cero”, vuelcos con parámetros que cumplan con el marco legal, prohibición de uso de canales públicos para vehicular vinaza y desactivación de piletas y terrenos de sacrificio como metodología de disposición de vinaza. En este marco, se intimó a los ingenios a desactivar los sistemas de lagunas para disposición indefinida de vinazas, debido a los inconvenientes que esta práctica generaba, tales como olores, proliferación de vectores e infiltraciones. Estas medidas debían ser efectivizadas para la zafra 2013.

Desde entonces, sólo se permite el uso de lagunas impermeabilizadas como depósito transitorio para vinaza con un plazo no mayor a 25 días o como contingencia ante algún inconveniente. Asimismo, sólo se puede transportar vinaza a través de vinazoductos y/o camiones cisternas (San Román, 2013).

Si bien se ha avanzado significativamente en la gestión de la vinaza, los sistemas de tratamiento aún son parciales, dado que



ETANOL (MILLONES DE LITROS)										
Variable	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015 Estim.	2016 Estim.
Stock Inicial	0	0	0	20	24	28	48	48	55	55
Producción	0	0	23	122	170	253	475	670	800	900
Importaciones	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Exportaciones	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Consumo doméstico	0	0	3	118	166	238	475	663	800	900
Stock Final	0	0	20	24	28	48	48	55	55	55
Capacidad de Producción teórica de etanol										
Cantidad de plantas	0	0	3	9	9	11	12	14	14	14
Capacidad total (M litros)	0	0	120	215	355	600	680	880	950	1.000
Uso de la capacidad (%)			19%	57%	48%	42%	70%	76%	84%	90%
Materia prima utilizada para la producción de etanol (miles de toneladas)										
Granos (maíz)	0	0	0	0	0	58	420	920	1.040	1.125
Melaza/Jugos (caña de azúcar)	0	0	90	470	650	880	1.175	1.175	1.475	1.730

Fuente: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Julio 2015

Figura 6 (arriba)
Producción autorizada de bioetanol a partir de caña de azúcar por ingenio (m³/año).

Tabla 5 (abajo)
Hoja de balance de etanol en Argentina. Período 2007 a 2016. Fuente: USDA.

durante los monitoreos y las inspecciones realizadas, se pudo constatar que el tratamiento empleado (mayoritariamente riego) y el mecanismo de transporte de las vinazas (mayoritariamente mediante camiones) son provisionarios y no revisten el carácter de mecanismos definitivos de tratamiento y transporte. Es así como no hay garantías de que no haya vuelcos ya sea por suelos saturados o conductores ineficientes, en el mejor de los casos.

Actualmente se encuentra en implementación el PRI III (diciembre 2014/noviembre 2017) en el cual aún participan ingenieros con y sin destilería.

Cachaza: se trata de un residuo de la industrialización de la caña de azúcar, de color marrón oscuro, compuesto por azúcares simples; fibra de caña; coloides coagulados, incluyendo la cera; fosfato de calcio y partículas de suelo.

La cachaza base seca contiene 70% de materia orgánica (ceras, grasas, proteínas,

azúcares, fibras, médula) y 30% de sólidos inorgánicos, que entre otros elementos, contiene 5% de fósforo, 3% de nitrógeno (total), 0,4% de potasio y 0,3% de magnesio. Esta composición lo caracteriza como un efluente altamente agresivo que contribuye significativamente a la eutrofización de los cuerpos de agua. En Tucumán, la situación se agrava, no sólo por el volumen total producido, sino además, porque estos efluentes son generados desde mayo hasta octubre (aproximadamente), coincidiendo con el período de mínimas lluvias, potenciando su actividad contaminante (JMB, 2005).

Durante el PRI I (2007/2010) se instrumentó el plan “Cachaza cero a cauces receptores”. A pesar de que en varios documentos se menciona que con la implementación del primer PRI esta situación ya se encontraba resuelta porque la cachaza se está transportando a campos como mejorador de suelos



Figura 7
Curso de agua sin presencia de vinaza.



Figura 8
Curso de agua con presencia de vinaza.

(San Román, 2013), algunos ingenios aún presentan falencias en los circuitos de recuperación de la cachaza (SAyDS, 2015).

Agua con cenizas: la implementación del PRI I tuvo también como uno de los resultados más importantes el montaje y funcionamiento de nuevas calderas bagaceras para la cogeneración de energía y de dispositivos tipo *scrubbers*, para la minimización de emisiones de material particulado en las chimeneas de los ingenios. Este sistema de tratamiento es un filtro húmedo que recolecta por arrastre las partículas que están suspendidas en un gas, empleando vapor. La aplicación de esta tecnología en las calderas requiere, complementariamente, gestionar un nuevo efluente cuyo contenido es una mezcla de agua con cenizas (San Román, 2013). Al comienzo de la implementación de los *scrubbers*, las cenizas provenientes de las calderas dejaron de emitirse al aire para ser vertidas a los cursos de agua. El vuelco del agua con ceniza a los ríos aumenta su turbidez y disminuye el oxígeno disuelto.

Para evitar el impacto adicional en los ríos y arroyos, durante el desarrollo del PRI II los ingenios se comprometieron a adoptar diferentes sistemas para el tratamiento de este efluente, bajo el objetivo “Ceniza Cero a los cuerpos de agua” para la zafra 2012. A partir de mecanismos de separación (principalmente filtros estáticos) se separa el agua y se obtiene ceniza sólida, cuyo volumen oscila entre el 2% y 3% del total bruto de caña molida (Res. SEMA 30/2012). Esto implica que en la zafra 2015 se generaron aproximadamente 295.000 toneladas de ceniza⁶ en los ingenios tucumanos. El agua que se obtiene luego de separar

la ceniza (con filtros estáticos y en piletas de sedimentación) debe ser recirculada al ingenio para su reutilización.

A continuación se representa la proporción de ceniza aportada por cada ingenio (Figura 9). Este residuo puede emplearse para la elaboración de ladrillos, nivelación de terrenos o, por su contenido orgánico, como mejorador de suelos (mezclada con cachaza).

La ejecución de estas medidas de disposición alternativas actualmente es parcial, dado que durante los monitoreos aún se detectan vertidos ocasionales de agua de ceniza.

⁶ Elaboración propia en base a las toneladas de caña molida procesadas en 2015 (11.817.679tn, CAA 2015) y aplicando un porcentaje de 2,5 % según la Res. SEMA 30/2012.

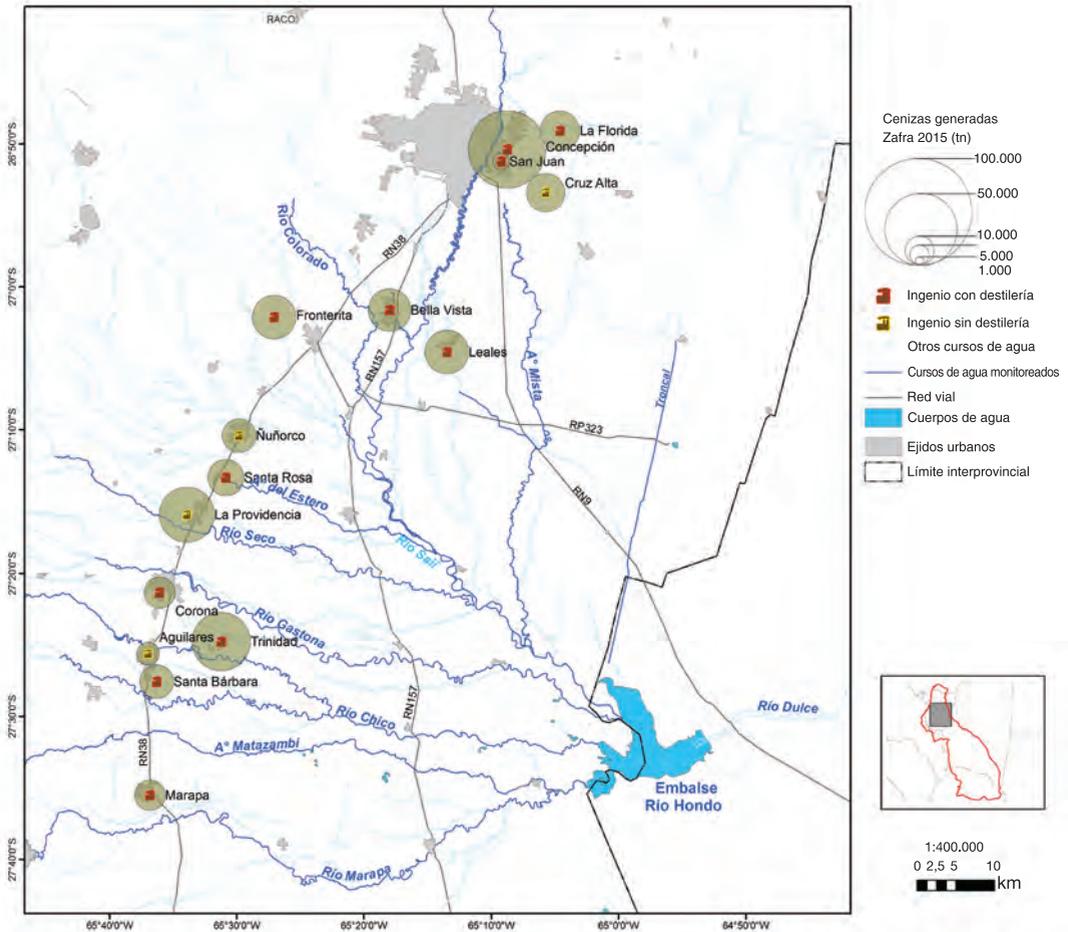


Figura 9 Cenizas generadas por ingenio en la zafra 2015 (en ton.).

Agua de lavado: cuando la caña de azúcar ingresa a los ingenios, ésta es triturada y luego molida para obtener el jugo a partir del cual se extraerá el azúcar. A medida que pasa por los molinos, se agrega agua para ayudar a disolver el azúcar del bagazo (fibra de la caña) y mejorar la extracción. El agua resultante de este proceso contiene distintos residuos sólidos que históricamente se vertían a los ríos y arroyos.

En el marco del PRI II, a partir de la zafra 2014 todos los ingenios debían recuperar el agua de lavado de caña, filtrando los restos orgánicos para ser dispuestos junto con la cachaza o cenizas, y reintroduciéndola al proceso industrial. Sin embargo, este objetivo sigue aún vigente en el PRI III (DPN, 2015), por lo que se deduce que la meta mencionada no fue cumplida en su totalidad.



Figura 10
Emisión de chimenea sin filtro de cenizas (*scrubbers*).



Figura 11
Agua proveniente del filtro de cenizas (*scrubbers*).

Citrícolas

La industria del limón es la segunda más importante de la Provincia de Tucumán, elaborando jugos concentrados, aceites esenciales, cáscara deshidratada y pulpa congelada. En la provincia hay 7 citrícolas, y todas ellas adhirieron al PRI I a principios de 2007. El principal residuo de las empresas citrícolas es un efluente con alta carga orgánica, bajo pH y escaso oxígeno disuelto. Como se mencionó previamente, este proceso productivo se desarrolla durante la época seca (mayo-diciembre), lo cual dificulta la capacidad de autodepuración de los cuerpos de agua si estos se emplean como receptores de los efluentes generados. Las actividades de mejora ambiental desarrolladas consistieron en la construcción de plantas de tratamiento primario de efluentes, donde se realizan acciones de filtrado,

encalado y sedimentación, obteniendo un residuo sólido que se destina a compostaje. El tratamiento secundario de los efluentes, basados en su mayoría en la tecnología de reactores anaerobios con generación de biogás, se contempló como meta en el PRI II y continúa en los PRI III. Mientras tanto, esos efluentes son empleados para riego y algunas citrícolas poseen lagunas para disponerlos allí en caso de contingencia.

Papeleras

La mayor empresa de este rubro en la provincia es Papelera Tucumán, que produce celulosa y papel a base de caña de azúcar mediante el proceso *Kraft* y hace el blanqueo con hipoclorito de sodio, de manera constante durante todo el año. Sus efluentes son altamente contaminantes, ya que el empleo de cloro como blanqueador de pulpa



Figura 12

Vertido de cenizas en piletas de sedimentación.

genera compuestos organoclorados, que pueden ser altamente tóxicos y refractarios a tratamientos biológicos.

El hipoclorito, al igual que el cloro elemental, reacciona con la lignina del bagazo formando en las aguas de desecho contaminantes clorados, tales como el cloroformo, las dioxinas y furanos. Estas sustancias son compuestos orgánicos persistentes, regulados por el Convenio de Estocolmo, Anexo C del cual Argentina es parte (ratificado por Ley 26.011).

Si bien esta empresa adhirió a los PRI I y II, la Secretaría de Estado de Medio Ambiente de Tucumán (SEMA) ha constatado en sus inspecciones que aún persisten problemas ambientales graves: vuelcos de sulfuros en el Arroyo Calimayo y olores desagradables, y problemas de disposición final de los residuos de producción (carbonato de calcio, fibra y médula). Papelera Tucumán ha adherido en diciembre de 2014 al

PRI III aunque las acciones de reconversión no incluyen cambios en la tecnología de blanqueo (MAyDS 2016 en actuación DPN N° 2150/06).

Frigoríficos

Los efluentes líquidos provenientes de la industria frigorífica son derivados de aguas de lavado, procesos de desangrado y evisceración. Poseen una alta carga orgánica, detergentes y microorganismos patógenos. Cuatro frigoríficos han adherido al PRI III con el objetivo de dar cumplimiento a la normativa de vuelco a nivel provincial a partir de los proyectos de tratamiento de efluentes presentados. Asimismo, está previsto que se mejore la gestión de residuos sólidos, como la sangre sancochada, material de gran afectación en los vuelcos, y los animales de descarte (SAyDS, 2015).

Aguas servidas

Las aguas servidas como fuente de contaminación deben considerarse tanto en los casos donde no hay acceso a la red cloacal así como en las localidades donde hay cobertura de este servicio. En el primer caso, la contaminación se produce de manera difusa desde los pozos ciegos y la intensidad de la carga contaminante está muy influenciada por la densidad de población. Por su parte, la contaminación por aguas servidas cuando hay red cloacal sucede cuando el tratamiento de ese efluente es deficiente o inexistente, siendo vertido en condiciones no aptas a un curso de agua receptor. A comienzos de este estudio, sólo el 30% de las aguas servidas recibían algún tipo de tratamiento, en general deficitario.

En San Miguel de Tucumán se inauguró en 2013 la nueva planta de tratamiento de efluentes San Felipe, la cual estaba enmarcada en el PRI II y permite tratar el líquido de 600.000 habitantes de la capital tucumana (41.464.000 m³ de efluentes al año). En lo referido al Gran San Miguel (Yerba Buena, Villa Carmela, Tafí Viejo y Las Talitas), actualmente se está construyendo una planta de tratamiento de efluentes en la localidad de Las Talitas. La misma tendrá capacidad para tratar el efluente de 200.000 habitantes y se encuentra con un avance del 50%. En tanto, Banda del Río Salí y Alderetes contarán con otra planta, actualmente en proceso licitatorio, con la misma capacidad de tratamiento que la de Las Talitas. Entre las 3 plantas se daría tratamiento casi al 100% de los efluentes cloacales del Gran Tucumán, donde vive el 65% de la población de la provincia.

Si bien los efluentes cloacales representan alrededor del 2% de la contaminación

de las aguas del río Salí, el control de los mismos es vital ya que la reducción de la carga bacteriana-microbiológica se vincula íntimamente con el control de la propagación de enfermedades de origen hídrico y la aparición de los episodios de *bloom* algales.

Residuos sólidos urbanos

Todas las municipalidades y comunas rurales del área metropolitana de San Miguel de Tucumán cuentan con recolección domiciliaria de residuos y estos se disponen en el relleno sanitario de Overá Pozo (DAMI, 2012). Sin embargo, son muchas las localidades que han acumulado enormes depósitos de residuos a cielo abierto en márgenes fluviales, los cuales ante crecidas extraordinarias o avances progresivos, arrastran directamente la basura a los cursos de agua. Asimismo, la infiltración de lixiviados y el lavado por lluvia de las pilas de basura, hace que estos licores biológicos percolen a las napas freáticas y/o a los cauces de agua de ríos (Adler, 2014), lo cual se facilita gracias a la combinación de las formaciones geológicas y el declive de las capas interiores del suelo (SAyDS, 2007). Estos lixiviados contienen compuestos orgánicos volátiles, metales pesados, nitrógeno, fósforo, grasas, aceites y bajo pH, entre otros contaminantes (Arango Romero, 2013).

Actividad agrícola y ganadera

En la época de lluvia, los cursos de agua reciben una carga adicional de nitrógeno, fósforo, potasio y compuestos organoclorados debido a la lixiviación de fertilizantes y plaguicidas de los campos. Adicionalmente, debe mencionarse el problema de contaminación con sedimentos por erosión de suelos, la cual se debe al sobrepastoreo, quema y tala indiscriminada. La expansión del área agrícola y el incremento del área de regadío, producen una cantidad importante de sedimentos sólidos que son arrastrados por los tributarios hasta el Río Salí y finalmente, en cantidad apreciable, al embalse. En el área de estudio también existen, aunque en número reducido, sistemas de engorde confinado (*feedlots*), cuyas lagunas de efluentes pueden poseer una alta carga orgánica, minerales, bacterias, virus y huevos de parásitos, residuos de drogas de uso veterinario y hormonas (Fink, 2010).

Industria alimenticia

Las industrias alimenticias de la Provincia de Tucumán (incluyendo fábrica de levaduras, embotelladoras y gaseosas) fueron identificadas por la SAyDS en 2007 como parte de las empresas con mayor incidencia en la contaminación orgánica del Río Salí. Sin embargo, recién a partir del PRI III se adhiere una de las empresas de este rubro (CALSA SA).

Actividad minera

La empresa Minera Alumbreira explota oro, plata y cobre en la Provincia de Catamarca. La producción es transportada desde la mina bajo la forma de barros y a través

de un mineraloducto hasta la localidad de Cruz del Norte (Tucumán), donde se extrae el agua de los sólidos. El efluente generado, que contiene metales pesados como arsénico, hierro, cadmio, cromo, etc., fue vertido hasta 1997, sin tratar, en el canal pluvial DP2, el cual desemboca en el Canal Troncal y éste desagua en el Embalse Río Hondo. Este canal no se encontraba correctamente revestido por lo que estos contaminantes pudieron percolar produciendo, además, la contaminación de las napas que constituyen la fuente de agua potable para muchas decenas de miles de tucumanos que habitan los departamentos de Cruz Alta y Leales. Si bien Minera Alumbreira inauguró en 2001 una moderna planta de proceso de filtrado y un laboratorio de control de calidad de aguas, las altas concentraciones de estos metales pesados vertidas anteriormente podrían persistir en el sistema.

Impacto en los cuerpos de agua

El mayor impacto que genera la carga orgánica de los efluentes industriales de la cuenca es el desencadenamiento del proceso de eutrofización en el Embalse de Río Hondo. Esto provoca el **crecimiento desmedido de algas potencialmente tóxicas** (las mismas que se encuentran en el lago San Roque de la ciudad de Carlos Paz) y la generación de condiciones de anoxia, con la consecuente mortandad de peces, aves y ganado, afectación a los procesos de potabilización, empobrecimiento de usos recreativos y el potencial daño a la salud de las personas.

En los grandes lagos (como el Embalse de Río Hondo), el fósforo funciona como nutriente limitante. Esto implica que es el

que controla el crecimiento de las algas: como normalmente está presente en pequeñas cantidades evita la proliferación excesiva. Los grandes vertidos de efluentes industriales, cloacales y lixiviados de campos contienen fósforo el cual, al llegar al Embalse, es utilizado por las algas del plancton aumentando desmesuradamente sus poblaciones hasta agotar el nitrógeno disponible en el agua. Esto provoca la proliferación de algas⁷ verde-azules o cianofíceas, las cuales tienen la capacidad de fijarlo de la atmósfera. Como consecuencia del aumento de estos organismos fotosintéticos, el agua se vuelve verdosa y turbia. La muerte de este fitoplancton provoca su acumulación en el fondo y la aparición de bacterias aerobias que consumen grandes cantidades de oxígeno y generan condiciones anaerobias aptas para la aparición de procesos de eutrofización (UMSS, s/f).

El Embalse de Río Hondo se clasifica como un cuerpo de agua hipereutrófico en relación a todos los parámetros indicadores de **eutrofización**.

Este crecimiento desmedido de algas, que integran naturalmente la biota del embalse, se denomina floraciones o *bloom* de algas. Este fenómeno no es uniforme en todo el embalse, ya que tiende a producirse en las zonas de mayor concentración de nutrientes, en extensas bahías de poca profundidad y alta insolación, con poca o nula incidencia

⁷ En aguas dulces, el término "algas" se usa para organismos microscópicos muy pequeños, en principio organismos unicelulares, algunos de los cuales forman colonias y así, alcanzan tamaños visibles a simple vista como partículas verdes diminutas. Estos microorganismos generalmente se dispersan finamente en todo el agua y pueden causar una considerable turbiedad si alcanzan densidades altas. Las "cianobacterias" son organismos con ciertos rasgos de bacterias y algunos de algas. Son similares a las algas en tamaño pero a diferencia de otras bacterias, contienen pigmentos verde-azulados o verdes y por lo tanto, realizan la fotosíntesis. (Chorus, 1998).

del viento y altas temperaturas. La primera floración de algas registrada en el Embalse Río Hondo se documentó por presencia de cianobacterias durante los meses de julio a octubre de 1995, en coincidencia con la época de zafra. Desde entonces, año tras año ocurren fenómenos de mortandad de peces en forma recurrente (IRNED, 2002). Los daños fisiológicos a la fauna ictícola y las muertes masivas ocasionadas por las floraciones pueden producir un **cambio irreversible en las poblaciones de especies y posteriormente en la comunidad del medio acuático**.

Durante los *blooms*, se evidencia una coloración intensa verde-azulada o marrón de las aguas, así como olores desagradables (similar al veneno gamexane) producido por la sustancia geoesmina, la cual es un metabolito secundario de estas algas, afectando el uso turístico y recreativo del embalse. Sin embargo, es más preocupante aun el efecto que estos episodios pueden tener sobre la salud de las personas. Se han identificado en el Embalse Río Hondo las especies *Microcystis aeruginosa*, *Anabaena flos-aquae* y *Oscillatoria sp.* La primera de ellas genera una hepatotoxina que produce necrosis hepática pudiendo ocurrir daño acumulativo y favoreciendo la formación de tumores. La segunda, produce el metabolito Anatoxina-a(s) la cual es una neurotoxina aguda que puede provocar lacrimación, salivación, jadeo, pérdida de coordinación muscular, convulsiones y muerte por paro respiratorio (Otaño, s/f). Por otro lado, en la Provincia de Córdoba existen estas mismas algas en altas densidades, **puntualmente en el Lago San Roque, en la turística ciudad de Carlos Paz**. El monitoreo y seguimiento de sus poblaciones es motivo de estudio desde hace décadas. Si bien en algunos casos el crecimiento de su población genera problemas en cuanto al taponamiento de

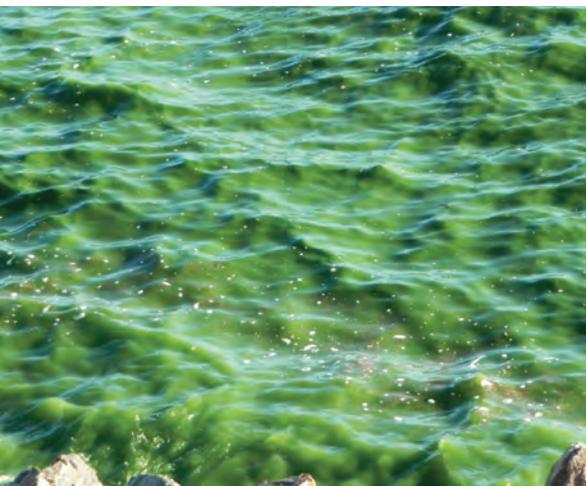


Figura 13
Aspecto del agua del embalse durante un *bloom* algal.



Figura 14
Mortandad de peces en el embalse de Río Hondo.

filtros en tomas de agua y afectaciones leves a las vías respiratorias de bañistas especialmente sensibles, **no se detectaron hasta el momento situaciones que hayan identificado a estos organismos como causales directos de cuadros que comprometan en forma crítica la salud humana.**

La población humana de la zona también está sujeta a riesgo por **contaminación fecal**, dado que el Embalse de Río Hondo se aprovecha para recreación con contacto directo, agua de bebida y eliminación de residuos. Estas bacterias, además de generar olores y aspecto desagradable, pueden producir enfermedades parasitarias, hepatitis, trastornos intestinales y síndrome urémico hemolítico, entre otros. Respecto del ingreso de bacterias coliformes al embalse, si bien éstas son capaces de permanecer vivas un tiempo limitado en el agua, su número es a menudo considerable en el agua

contaminada, donde las formas patógenas conservan su virulencia por un tiempo más prolongado. Sin embargo, dentro del cuerpo de agua la distribución de esta contaminación bacteriológica no sería homogénea. Numerosos estudios experimentales han demostrado que la mayor parte de las bacterias se encuentran adheridas a los sólidos suspendidos, por lo tanto ocurre una reducción de la concentración bacteriana, como consecuencia de los procesos físicos de sedimentación. Los sedimentos en los embalses tienden a depositarse de acuerdo a su peso y tamaño, siguiendo una zonación horizontal: en “la cola” del embalse se depositan las partículas más grandes y pesadas y las más finas lo van haciendo a lo largo del eje en dirección a la presa, con lo que en ésta es previsible que exista una disminución aun mayor de la carga bacteriana, acentuada por el efecto desinfectante de los

rayos ultravioletas en la zona en que penetra la luz solar (Luna, 2002). Diversos estudios han comprobado la presencia de este tipo de contaminación por encima de los valores máximo permitidos (SRH, 2007).

Otro impacto identificado corresponde al arrastre de sedimentos, el cual ocasiona la **colmatación de los cauces de los ríos y del embalse**. La sedimentación es un problema relevante en la Provincia de Tucumán. La conjugación de lluvias intensas y declives elevados en las nacientes, seguida por los lechos arenosos que se desarrollan en las planicies de pendientes bajas en los trechos medio e inferior del Salí y de sus principales afluentes, propicia no solamente la ocurrencia de inundaciones estacionales sino, principalmente, un excesivo acarreo de sólidos. Se estima que el aporte de cargas al Embalse de Río Hondo sería compuesto en 83% por el *run-off* rural, 11% con origen en desechos industriales, 4% por residuos sólidos urbanos y 2% por aguas residuales domésticos (SAyDS, 2007).

Durante el diseño del dique se había previsto una tasa media de colmatación por sedimentación de 3,7 Hm³/año; sin embargo, relevamientos batimétricos han evidenciado la ocurrencia de un proceso de sedimentación mucho más intenso, estimándose una tasa real observada de alrededor de 13,4 Hm³/año en 1997. El volumen de sedimentos que arriba al embalse es un claro indicador de la degradación del área de captación de la cuenca, atribuida a la expansión del área agrícola y de regadío y los desmontes (JMB, 2005).

La erosión y posterior arrastre de sedimentos se ve fuertemente favorecida por los cambios en el uso de la tierra, especialmente la deforestación, ya que los árboles atenúan la energía de impacto de las gotas

de lluvia y aumentan la rugosidad del terreno, por el que el flujo reduce su velocidad y, por ende, su poder erosivo. Asimismo, los componentes subterráneos (raíces) de especies herbáceas, arbustivas y arbóreas constituyen una variable indispensable en cuanto al control de la erosión y la sedimentación, pues mantienen el suelo en su lugar (UNESCO, 2010).

La colmatación del Embalse de Río Hondo causa inundaciones en poblaciones cercanas a la cola del embalse y reduce su capacidad de regulación. Asimismo, grandes aportes de sedimentos en suspensión, dificultan el paso de la luz solar, provocando la muerte de fitoplancton fotosintético y la consecuente alteración de las cadenas tróficas de los cuerpos de agua.

La afectación a la salud humana, la vida animal y de plantas ocasionada por **metales pesados** varía significativamente en función del elemento que se trate, su concentración, biodisponibilidad, capacidad de bioacumularse, los mecanismos biológicos de eliminación y las asociaciones que forme con otras sustancias, entre otros factores. Los efectos incluyen desórdenes del sistema digestivo, alteraciones del sistema nervioso central, carcinogénesis, problemas de piel y huesos, entre otros.

Algunos metales pesados se encuentran naturalmente en el medio, no respondiendo necesariamente a una contaminación de origen antrópico, por lo que el abordaje de este problema es complejo y debe estudiarse cuidadosamente.

Si bien en este trabajo no se ha incluido el monitoreo de metales pesados, ya que se le ha dado prioridad a la grave magnitud de la contaminación de origen orgánico, existen para el área de estudio sobre el A° Pluvial Troncal antecedentes donde



Figura 15

Actividad turística en el Embalse de Río Hondo.

habrían detectado concentraciones de metales pesados, metales y metaloides tóxicos por encima de los niveles guía establecidos (Subsecretaría de Recursos Hídricos, 2007; Greenpeace, 2009). Las fuentes citadas mencionan la presencia de plomo, mercurio, cadmio, cobre, arsénico, cromo, boro y zinc. Es importante citar que la Minera Alumbraera construyó, posterior a dicho estudio, una planta de retención de posibles metales pesados que pudiesen ser conducidos por el efluente. No se conocen estudios posteriores a la puesta en funcionamiento de dicho sistema que hayan detectado diluidos en el agua metales pesados en el área en cuestión.

Los **compuestos organoclorados** generados por la industria del papel afectan la vida acuática y se almacenan en los tejidos grasos de los organismos, bioacumulándose a lo largo de la cadena alimentaria. En los seres humanos, estos compuestos provocan

trastornos de los sistemas inmunológico, nervioso y reproductor. Entre los organoclorados identificados hasta ahora en los efluentes existen también numerosos compuestos cancerígenos y mutagénicos (Greenpeace, 2006), los cuales no se midieron durante el presente informe.

Al respecto, se debería hacer un seguimiento de los mismos por parte de organismos de Salud Pública. Si bien no se registró ninguna denuncia que los puedan hacer potenciales responsables de alguna de las situaciones descriptas, su virtual detección en los cursos de agua sería altamente relevante en un futuro inmediato.

PARTE B

EL CONFLICTO AMBIENTAL DEL EMBALSE DE RIO HONDO Y EL PROGRAMA DE MONITOREO PERMANENTE

Yo soy yo y mi circunstancia.

Ortega y Gasset

Somos un organismo vivo en un medio, en una “*circum-stancia*”, en lo que nos circunda. Dentro de esta inteligencia, podemos coincidir que el hombre es más que simplemente un organismo y se pregunta el sentido de las cosas, para comprender y, tal vez, para modificarlas.

Pese a la interpretación general, la frase del pensador español no es determinista. Al contrario, por cuanto al formar un todo la persona y su circunstancia, si cambia la persona va a cambiar lo que lo circunda, y viceversa. En el tema que nos ocupa, la circunstancia de Tucumán y de Santiago del Estero es diferente, modificándose por ello la percepción de las personas.

Así, si consideramos que las cosas son como se las percibe, las especiales circunstancias del entorno en la Provincia de Tucumán y en la Provincia de Santiago del Estero determinan al menos dos percepciones diferentes respecto a las mismas cosas: el agua y los ríos.

Para quien su realidad se desarrolla en Tucumán, el agua proviene de “arriba”, es decir de la lluvia y del deshielo de las montañas; los ríos le permiten desaguar los campos, evitar las inundaciones. Es decir, el río es el que se lleva el sobrante del agua y, con ella, los residuos resultantes de las crecidas y las lluvias.

Para quien su realidad transcurre en Santiago del Estero, los mismos objetos—

el agua y los ríos— son percibidos en una forma disímil: el río trae el agua, que es la vida. El río conduce la vida. El folklore mismo de Santiago del Estero, ampliamente reconocido, menciona al Río Dulce como la fuente de vida y le da un tratamiento casi místico, que está muy lejos de ser un mero desagadero o sumidero.

Desde esta perspectiva puede entonces comprenderse que aguas arriba, en la Provincia de Tucumán, muchas veces se haya concebido al río como un receptor de los desechos. Esta dimensión cultural e histórica condiciona la relación con el río por lo que pensarlo como un fenómeno exclusivamente económico implica un reduccionismo estéril.

Como dijimos anteriormente, la Provincia de Tucumán produce una gran cantidad de desechos principalmente orgánicos a partir de sus industrias: azucarera, alcoholera, citrícola, del papel, frigorífica, actividad agrícola y ganadera, industria alimenticia en general (levaduras, gaseosas, cervezas etc.), a lo que se suman los generados por casi un millón y medio de habitantes en forma de aguas servidas y residuos sólidos urbanos.

Esa enorme carga orgánica es mayoritariamente arrojada a los cauces que desembocan en el Embalse de las Termas de Río Hondo. El sistema hidrobiológico funciona

así como un enorme biodigestor, capaz de degradar los desechos recibidos siempre que estos se mantengan dentro de ciertos límites. En el año 2010, el abrupto **ingreso de 780 millones de litros de vinazas adicionales**, que **no** se estaban arrojando años anteriores produjo un gran desequilibrio de este ecosistema.

Las vinazas vertidas fueron producto de la **elaboración de 65 millones de litros de etanol** por los ingenios tucumanos, el primer año de la entrada en plena vigencia de la Ley N° 26.093 sobre Biocombustibles.

Adicionalmente, también desemboca en el Embalse el agua con cenizas proveniente de los filtros usados en las calderas de destilación. Para tener una idea de la magnitud que esto representa basta señalar que las **300.000 toneladas de cenizas** generadas en el año 2015, equivalen a unos **10.000 camiones** tipo estanque triple eje, los que alineados formarían una hilera de 130 km. De más está decir que estas cenizas tenían y tienen carga orgánica.

El resultado de la combinación de ambas descargas era previsible ya que, al superarse la capacidad de carga del embalse, se produjo el colapso del sistema. Como consecuencia, se produjo la mortandad de decenas de toneladas de peces, y los habitantes de Santiago del Estero debieron tolerar olores nauseabundos, manchas negras como sombras en el agua, sufrir pérdidas económicas por la reducción de las actividades turísticas, etc.

EL CONFLICTO ENTRE SANTIAGO DEL ESTERO Y TUCUMÁN

A mediados de los 2000, estaba en marcha un importante esfuerzo de diálogo entre los Poderes Ejecutivos de las Provincias y la Nación para superar el conflicto interprovincial que suscitaba el mal manejo de la cuenca. El hito principal de esta etapa fue la creación, mediante un Acta Acuerdo, del Comité Interjurisdiccional de la Cuenca Salí-Dulce en marzo de 2007. Este fue concebido como una “instancia de cooperación, colaboración conjunta y de coordinación entre las provincias integrantes de la cuenca y las autoridades nacionales”, estas últimas representadas por el Ministerio del Interior, la Secretaría de Ambiente y la de Recursos Hídricos. En el marco de este Comité se realizaron estudios y monitoreos y, en su seno, se consensuó un Plan de Gestión para la Cuenca cuya finalidad principal es reducir la contaminación, preservar los humedales y mitigar los efectos de la erosión.

Sin embargo, los episodios de mortandad masiva de peces del año 2010 pusieron fin a aquel período de negociación y diálogo y motorizaron un cambio de estrategia por parte de la Provincia de Santiago del Estero, la que decidió llevar el conflicto a instancias judiciales.

Por un lado se impulsaron procesos penales ante la Justicia Federal —especialmente en el Juzgado Federal de Santiago del Estero— tendientes a deslindar la responsabilidad por los potenciales delitos ambientales. Tanto la Defensoría del Pueblo como la Fiscalía de Estado de la Provincia de Santiago del Estero se constituyeron como querellantes en forma conjunta, aunque es esta última institución la que asumió

la responsabilidad principal de llevar adelante esta acción.

Por otro lado, se promovió una acción de amparo ante la Corte Suprema de Justicia de la Nación (CSJN), también en forma conjunta, quedando en este caso en manos de la Defensoría del Pueblo la mayor responsabilidad de su impulso.

Iniciado el amparo, el Ministerio Público Fiscal de la Nación se pronuncia a favor de la competencia de la CSJN para entender en la cuestión mientras que el Defensor del Pueblo de la Provincia de Tucumán, Dr. Daniel Posse, llamaba a sanear la cuenca Salí-Dulce, calificando la situación de “bomba de tiempo” que puede afectar seriamente los intereses de los tucumanos.

La intervención de la CSJN marcó un punto de inflexión. Ante la posibilidad de que, siguiendo su doctrina para el caso Matanza-Riachuelo, el máximo tribunal ordenara acciones de recomposición a la Provincia de Tucumán, las partes se avinieron a una solución negociada en el marco del proceso judicial.

Las consecuencias de una potencial sentencia a favor del reclamo santiagueño habría implicado para la provincia de Tucumán una disminución en la libre disposición del uso del agua, en los términos que se venía utilizando ya que, previsiblemente, la disposición llegaría a ser similar a lo dispuesto para la Autoridad de Cuenca del Matanza-Riachuelo-ACUMAR (ver recuadro), con un fuerte control por parte de la Justicia.

Si se considera que el 95% del agua que se utiliza en Tucumán pertenece a la Cuenca Salí-Dulce, se entiende el riesgo que representaba para la misma la posibilidad de perder la autonomía en la toma de decisión para la utilización de la misma.

UN CASO SIMILAR: LA CUENCA MATANZA-RIACHUELO

En 2004 la contaminación de la cuenca Matanza-Riachuelo fue llevada a instancias judiciales por un grupo de vecinos que presentaron una demanda en reclamo de la recomposición del ambiente y la creación de un fondo para financiar las acciones necesarias. Esta situación dio origen a la causa “Mendoza, Beatriz Silvia y otros c/ Estado Nacional y otros s/daños y perjuicios (daños derivados de la contaminación ambiental del Río Matanza – Riachuelo)”. En la misma se responsabilizaba de la situación al Estado Nacional, a la Provincia de Buenos Aires, a la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, a 44 empresas y a los 14 municipios por los que se extiende la Cuenca Matanza Riachuelo.

El 8 de julio de 2008, la CSJN dictó un fallo determinado quiénes deberían llevar las acciones y las obras de saneamiento, el plazo de ejecución, con la facultad de imponer multas por incumplimiento. En el fallo se obliga a ACUMAR (Autoridad de la Cuenca Matanza – Riachuelo) a llevar a cabo un programa cuyos objetivos son:

- 1) Mejora de la calidad de vida de los habitantes de la cuenca.
- 2) Recomposición del ambiente en todos sus componentes (agua, aire y suelo).
- 3) Prevención de daños con suficiente y razonable grado de predicción.

También encomendó al Defensor del Pueblo de la Nación y a las ONG la conformación de un Cuerpo Colegiado para el control del Plan de Saneamiento, integrado por el Defensor del Pueblo de la Nación y un grupo de cinco ONG: Fundación Ambiente y Recursos Naturales (FARN), Fundación Greenpeace Argentina, Centro de Estudios Legales y Sociales (CELS), Asociación Vecinos de La Boca, y Asociación Ciudadana por los Derechos Humanos (ACDH).

Acta acuerdo

En ese contexto, el Gobierno Nacional, a través de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable (entonces a cargo del Dr. Juan José Mussi), se compromete y decide iniciar un proceso de diálogo con los Gobernadores de las Provincias de Santiago del Estero, Gerardo Zamora, y de Tucumán, José Alperovich.

Se inician así reuniones tendientes a obtener acuerdos que sean aceptables por las partes. A fines de noviembre de 2011 los industriales demandados se reúnen en Tucumán con autoridades del Gobierno Nacional y de Tucumán, buscando redactar un convenio que incluya a todas las partes. En medio de las conversaciones, una nueva mortandad de peces en el Embalse de Río Hondo pone en duda los avances.

Este episodio minó la confianza de los negociadores santiagueños quienes interpretaron que la causa de la mortandad eran nuevos vuelcos de residuos de la industria azucarera, y por consiguiente, prueba de mala fe en las negociaciones. Aunque desde Tucumán los industriales negaron haber arrojado residuos, las negociaciones llegaron a un punto de gran tensión.

En ese punto, la Defensoría del Pueblo y el Gobierno de la Provincia Santiago del Estero manifiestan que no participarían de acuerdos directos con los industriales demandados, debiendo ser el Gobierno tucumano el que lo haga, al tenor de la mortandad de principios de ese mes.

En esta situación, el gobierno de Tucumán y los industriales redactan un documento mediante el cual se asumen los compromisos de “vinaza y ceniza cero” en 2012, y en el que proponen la posibilidad de control por parte de la Provincia de Santiago del

Estero, que aún no había manifestado conformidad. Este instrumento, que vincula a la Provincia de Tucumán con los ingenios demandados, fijó metas y plazos y fue conocido como «ACUERDO PARA LA PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DE ORIGEN INDUSTRIAL EN EL EMBALSE DE RÍO HONDO» (en adelante «el Acuerdo»).

El mismo estipula las siguientes acciones en defensa del ambiente, la calidad de vida y el desarrollo sustentable: “vertido de vinaza cero” y “emisión de cenizas cero” para la zafra en el año 2012, y la implementación de medidas tendientes a la recuperación total de agua residual del lavado de caña de azúcar para diciembre del 2013.

En el curso de las negociaciones la CSJN se muestra expectante y el 20 de diciembre de 2011 emplaza a la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación para que informe sobre los avances.

Sobre el fin del año, y en negociaciones marcadas por un ritmo febril, se suscribe el “ACTA ACUERDO SUSCRIPTA ENTRE LA SECRETARÍA DE AMBIENTE Y DESARROLLO SUSTENTABLE DE LA JEFATURA DE GABINETE DE MINISTROS DE LA NACIÓN, LA PROVINCIA DE TUCUMÁN, LA PROVINCIA DE SANTIAGO DEL ESTERO Y LA DEFENSORÍA DEL PUEBLO DE LA PROVINCIA DE SANTIAGO DEL ESTERO”, el 30 de diciembre de 2011.

A los fines de asegurar la eficacia de lo acordado se destaca la Cláusula 3° del Acta Acuerdo que dispone “*Sujeta a mecanismo de control y fiscalización el cumplimiento de las metas y plazos previstos en el Acuerdo y el desempeño ambiental de las industrias radicadas en el territorio de la Cuenca Salí-Dulce, siempre teniendo en miras impedir la consumación de situaciones de riesgo, amenaza o peligro de daño ambiental o de daño ambiental colectivo, conforme artículo 27 de*

la Ley General del Ambiente N° 25.675”, como así también lo establecido en la Cláusula 5° por la cual las partes firmantes deciden: “Promover monitoreos continuos, auditorías de funcionamiento y toda otra forma destinada a la mejora continua de desempeño desarrollo productivo compatible con la protección del ambiente, en particular del ecosistema Cuenca Salí-Dulce”.

Es mediante este acuerdo que la Defensoría del Pueblo y la entonces Secretaría del Agua de la Provincia de Santiago del Estero fueron las instituciones que por la parte actora asumieron esas tareas.

Participación ciudadana

Entre los mecanismos para dotar de eficacia a lo acordado, es preciso destacar además la Cláusula 4°, que establece el compromiso de “Instituir un procedimiento de consultas o participación ciudadana”. Al efecto, el DEFENSOR DEL PUEBLO DE LA PROVINCIA DE SANTIAGO DEL ESTERO se comprometió a convocar al DEFENSOR DEL PUEBLO DE LA PROVINCIA DE TUCUMÁN y de LA NACIÓN, para que en forma conjunta se dé participación a entidades ambientalistas locales, sectores sociales concernidos o legítimamente interesados en la preservación del ambiente, el desarrollo sustentable de la Cuenca y el debido cumplimiento de las metas y objetivos estipulados en la presente, conforme los artículos 19 y 20 de la Ley General del Ambiente N° 25.675.

El 31 de enero de 2012 se celebró un Convenio (ver recuadro) suscripto por el Dr. Anselmo Sella, en su condición de Defensor del Pueblo de la Nación, el Arq. Hugo Cabral Cherniak como Defensor del Pueblo de Tucumán, y el Dr. Martín Díaz

Achával, como Defensor del Pueblo de la Provincia de Santiago del Estero, cumpliendo con el compromiso de convocar y generar el espacio que ordenaba el Acta Acuerdo entre la Nación y las Provincias.

EL CONVENIO ENTRE LAS DEFENSORÍAS DEL PUEBLO

El Convenio entre las Defensorías del Pueblo se centró en establecer un sistema participativo para el control de la contaminación de la Cuenca. Sus tres principales artículos son los siguientes:

PRIMERO: Implementar las acciones necesarias para desarrollar procedimientos de consulta y/o control participativo del plan para la prevención de la contaminación ambiental de la Cuenca Salí-Dulce que desarrollarán los firmantes del Acta Acuerdo mencionada en los Antecedentes de la presente, en coincidencia con lo allí acordado por las autoridades públicas.

SEGUNDO: Conformar un Órgano Consultivo, integrado por las tres Defensorías, a fin de tornar operativo el presente Acuerdo. Las decisiones de dicho órgano se tomarán por consenso, y sus informes, actas y declaraciones deberán ser refrendados por todas las partes.

TERCERO: Convocar a una ronda de consulta a entidades ambientalistas locales, sectores sociales concernidos o legítimamente interesados en la preservación del ambiente y el desarrollo sustentable de la cuenca, las ONGs y asociaciones legalmente constituidas a tales efectos, para poner en conocimiento de las mismas lo actuado por las Defensorías y la información que generen las autoridades respectivas. A sus efectos, cada Defensoría instaurará los mecanismos que considere pertinentes.

Monitoreos e inspecciones

Tal como se puede ver, el proceso estuvo marcado por arduas negociaciones entre las partes, por lo que es preciso hacer un reconocimiento a todas las personas que de un modo u otros realizaron esfuerzos en pos de lograr, no solamente la firma del Acuerdo, sino también de instrumentar los mecanismos que hagan posible el cumplimiento de los fines. Es en este punto donde los monitoreos y las inspecciones cobran su verdadera relevancia.

Los logros tienen uno de sus pilares centrales en el hecho que haya sido posible que personal dependiente de una jurisdicción provincial, tanto del Poder Ejecutivo como de la Defensoría del Pueblo de Santiago del Estero realice trabajos en jurisdicción territorial de otra provincia.

Ello se pudo hacer por cuanto estaba expresamente previsto en el Acuerdo suscrito entre el Gobierno tucumano y su sector industrial, ratificado por Ley de la Provincia de Tucumán N° 8470 del 23 de diciembre de 2011. Así, antes de suscribir el Acta Acuerdo con Santiago del Estero, ya se había habilitado la posibilidad de que autoridades de la provincia de aguas abajo, pudieran realizar controles en territorio tucumano, una decisión que permitió generar la confianza necesaria para llegar a un acuerdo entre las provincias.

Fueron difíciles los meses subsiguientes, por cuanto se estaba trabajando contrarreloj a efectos de que en el inicio de zafra, usualmente en mayo, ya existieran mecanismos de control y seguimiento.

Se evaluaron numerosas propuestas. Desde disponer de empleados santiagueños dentro de cada ingenio las 24 horas, hasta realizar monitoreos en 64 puntos diferentes.

Durante un tiempo las partes no lograron ponerse de acuerdo más que en el hecho de hacer las inspecciones en forma conjunta. Como consecuencia se labraban dos actas de inspección diferentes, una con temas más restringidos con participación de las autoridades santiagueñas, y otra más amplia con temas que no estaban previstos en los acuerdos firmados, pero sí incluidos en los Planes de Reconversión Industrial (o en los Convenios de Reconversión Industrial suscritos a ese fin).

Luego de meses de discusiones respecto a los monitoreos, Santiago del Estero informa unilateralmente que adoptaría como modalidad de control el monitoreo de 12 puntos en los afluentes del embalse, en un mecanismo de doble turno diario, bajo la coordinación técnica de un especialista de la entonces Secretaría del Agua y la conducción administrativa y legal de la Defensoría del Pueblo Provincial.

A partir del primero de junio de 2012, comenzó entonces el Programa de Monitoreo Permanente (las pruebas habían iniciado en abril), cuyas mediciones se siguieron haciendo en forma ininterrumpida hasta el día de cierre del presente informe.

El Gobierno Nacional, por su parte optó por utilizar a Prefectura Naval Argentina, apostada en el mismo Embalse de las Termas de Río Hondo, para que realice monitoreos periódicos mensuales en una treintena de puntos. El Gobierno de Tucumán inició sus propios monitoreos, sin comunicar los puntos de muestreo, las frecuencias o los resultados obtenidos.

Poco a poco, el Monitoreo realizado en forma sistemática por la Defensoría del Pueblo de Santiago del Estero logró ganarse el respeto de los técnicos y funcionarios de Tucumán y Nación primero, y de los Ingenios

más adelante, debido a la constancia y seriedad en el manejo de la información.

El sistema instrumentado resultó sumamente eficaz para detectar potenciales vuelcos, anomalías y cualquier distorsión. En todo su desarrollo, jamás fueron planteados conflictos serios sobre opiniones en las mediciones, destacando que el Gobierno de Tucumán, a través del Secretario de Medio Ambiente Ing. Alfredo Montalván, respondió sancionando administrativamente mediante multas y clausuras a los ingenios detectados con problemas por parte de los equipos santiagueños.

Similar sendero se transitó con respecto a las inspecciones a los ingenios, llegando a armonizar más allá de las diferencias, lo que permitió realizar avances que en el inicio parecían imposibles. Si bien no siempre se coincidió en las sanciones aplicadas, existe un amplio consenso sobre la utilidad del mecanismo y a la fecha se evalúan opciones para poder darle continuidad en un marco sustentable.

EL PROGRAMA DE MONITOREO PERMANENTE

En junio de 2012 la Defensoría del Pueblo de Santiago del Estero inició el **Programa de Monitoreo Permanente de los principales tributarios del Embalse de Río Hondo**, como una herramienta de control del cumplimiento de los acuerdos establecidos. Este Monitoreo tiene por **objeto detectar posibles vertidos industriales fuera de norma y caracterizar la calidad de las aguas ingresantes al embalse**. El Programa de Monitoreo Permanente permitió detectar y denunciar los vuelcos prohibidos, y a partir de su continuidad, se constituyó en un eficaz disuasor de nuevos vuelcos.

Cada vez que se han obtenido resultados fuera de norma o resultados que hicieran inferir el posible vuelco de efluentes no autorizados, se dio aviso a las correspondientes autoridades de la Provincia de Tucumán, en carácter del ejercicio de su poder de policía local en relación a la cuestión ambiental.

En este apartado se describe la metodología empleada y los resultados obtenidos desde el comienzo del Programa de Monitoreo Permanente (junio de 2012) hasta diciembre de 2015.

Metodología del programa de monitoreo permanente Puntos de muestreo

La selección de los puntos de muestreo consistió en identificar los tributarios con los cuales se cubre la totalidad del aporte de caudal al embalse así como la mayor parte de la carga contaminante. De este modo se establecieron 12 puntos de muestreo de afluentes. En la Tabla 6 se menciona el número y nombre de cada punto de muestreo, el afluente que se controla y, para cada cuerpo de agua, cuáles son las empresas más importantes de las cuales recibe o recibía (al inicio del Programa) vertidos industriales, ya sea de manera directa o a través de canales o arroyos intermedios.

En la determinación de la ubicación exacta de los sitios de muestreo se consideró especialmente su accesibilidad, cuidando de establecerlos donde existan puentes, rutas o caminos asfaltados, de modo de permitir la continuidad del monitoreo y racionalizar el esfuerzo de trabajo.

En la siguiente figura se muestra el área bajo estudio, donde se identifican los cursos

de agua monitoreados, los ingenios y las estaciones de muestreo (Figura 16).

Parámetros analizados

Los parámetros de calidad de agua medidos en campo se listan en la Tabla 7.

Las mediciones de todos los parámetros se realizaron *in situ* con una sonda multiparamétrica Horiba U-10. En los casos en que se detectaron valores que hacían inferir presencia de vinaza en el curso de agua, se tomó un duplicado de la muestra, la cual fue enviada a un laboratorio para el análisis de la relación sodio-potasio empleando un fotómetro de llamas. Dado que la vinaza tiene una elevada carga de potasio, de acuerdo a la correlación de estos dos parámetros se puede aseverar con certeza el vertido de ese tipo de efluentes y confirmar las alertas emitidas. En la curva Sodio y Potasio, si hubiera vinaza, el Potasio duplica el Sodio; en caso de ausencia de la misma el Sodio tiene una concentración hasta 10 veces mayor.

Las definiciones de los parámetros más relevantes son las siguientes:

pH: el pH es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución. Indica la concentración de iones hidrogeno $[H]^+$ presente en determinadas disoluciones, y su rango se encuentra entre 0 y 14: cuando el valor es 7, el medio acuoso es neutro; menor a 7 es ácido; y mayor a 7 es básico o alcalino. La mayoría de las aguas naturales tienen un pH entre 6 y 8. De acuerdo a la naturaleza química de un contaminante, el medio podrá acidificarse o alcalinizarse.

El control de esta variable resulta de suma importancia, dado que elevados valores de pH, en conjunción con otros factores ambientales, tales como luz, velocidad del agua y disponibilidad de nutrientes, entre

otros, favorecen el desarrollo de cianobacterias (algas azul-verdosas) que pueden ocasionar serios inconvenientes en la calidad del agua. Bajos valores de pH, en cambio, pueden provocar daños en las branquias y agallas de algunos peces; la bibliografía indica que el umbral de daño para el caso de los salmónidos (especie más tolerante a pH ácido) se encuentra entre los 5,2 y 5,6 (ACUMAR, 2009).

Conductividad: la conductividad del agua es una expresión numérica de su habilidad para transportar una corriente eléctrica. La conductividad del agua depende de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas (principalmente sales minerales) en el agua, de su movilidad, de su valencia y de la temperatura a la cual se haga la determinación. Mientras menos sales contenga el agua, mayor será su resistencia al paso de la corriente eléctrica. El valor de la conductividad es usado para obtener un estimativo rápido del contenido de sólidos disueltos y de los principales iones. La conductividad de la mayoría de los cuerpos de agua dulces se encuentra entre 10 y 1000 $\mu S/cm$ pero puede ser mayor, especialmente en aguas contaminadas o que han recibido grandes cantidades de escorrentía agrícola (SRH, 2007).

Turbiedad: la turbiedad es una expresión de la propiedad o efecto óptico causado por la dispersión e interferencia de los rayos luminosos que pasan a través de una muestra de agua. La turbiedad puede ser causada por una gran variedad de materiales en suspensión que varían en tamaño (SRH, 2007). De forma natural se origina en la erosión de arcillas, aluviones, rocas fragmentadas y óxidos metálicos provenientes del suelo; también contribuyen las fibras vegetales y los microorganismos.

ESTACIÓN DE MUESTREO			
N°	Nombre	Afluente	Procedencia efluentes
1	Marapa/Graneros RN157	Río Marapa o Graneros	No recibe/recibía vertidos directos
2	Matazambi RN157	Arroyo Matazambi	Ingenio Marapa Plantan cloacal Los Guayacanes
3	Chico/Medina RN157	Río Chico o Medina	Ingenio Santa Bárbara Ingenio Trinidad Ingenio Aguilares (sin destilería)
4	Gastona RN157	Río Gastona	Ingenio Corona Ingenio Trinidad
5	Seco RN157	Río Seco	Ingenio Providencia (sin destilería)
6	Del Estero RN157	Arroyo del Estero	Ingenio Santa Rosa
7	Aguas Blancas RN157	Arroyo Aguas Blancas	Ingenio Fronterita Ingenio Ñuñorco (sin destilería) Citricola Acheral Citricola Citromax Cervecería y Maltería Quilmes
8	Colorado RN157	Río Colorado	Papelera Tucumán Citricola El Carmen Citricola Citrusvil Citricola San Miguel (Planta Faimallá) ARCOR

Tabla 6

Estaciones de muestreo en los afluentes y principales establecimientos que vierten en ellos.

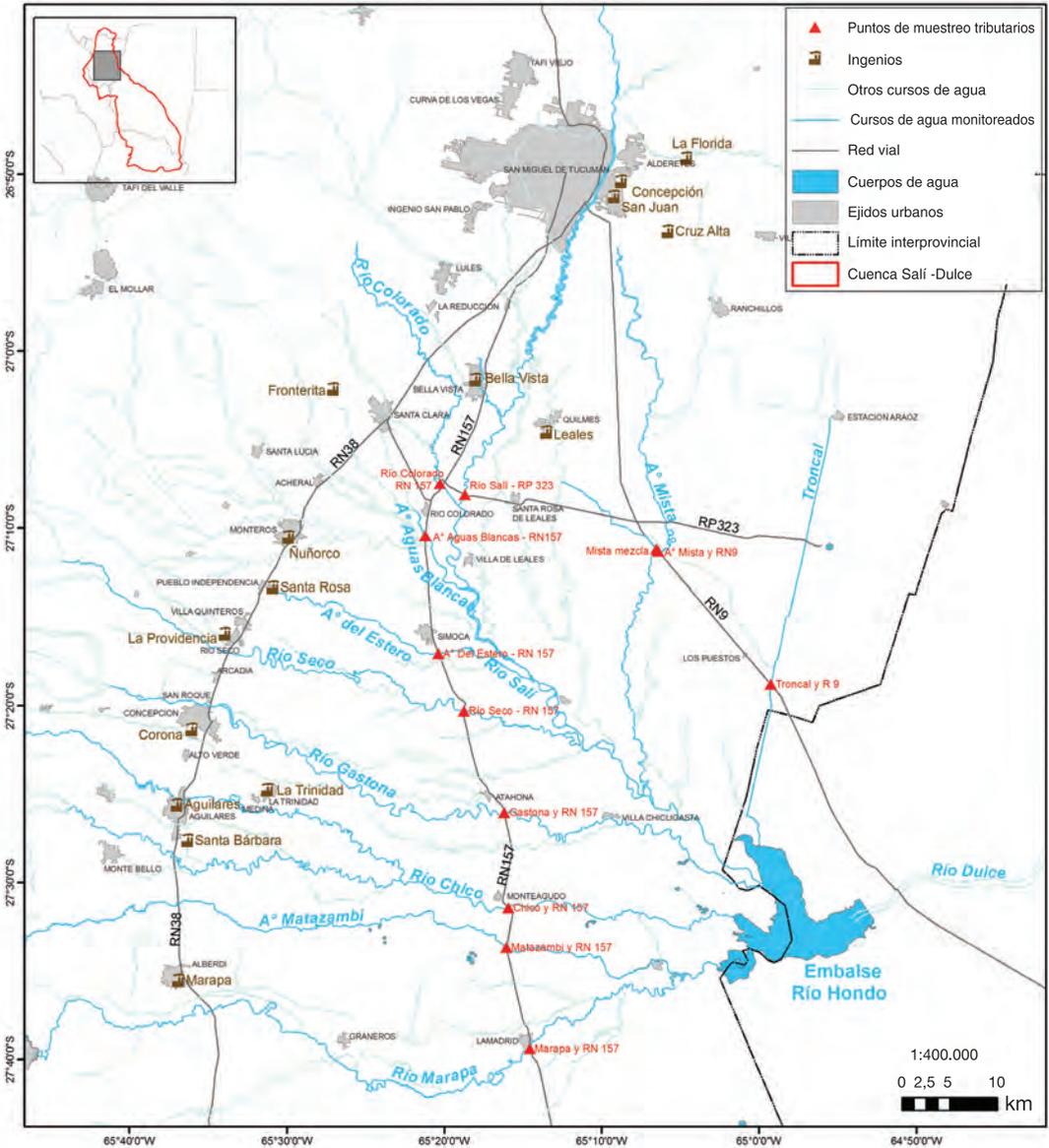


Figura 16

Ubicación de los puntos de muestreo en relación a ingenios y áreas urbanas.

PARÁMETRO	UNIDADES
Temperatura	°C
pH	unidades pH
Potencial Redox	Milivoltio (mV)
Conductividad	μS/cm
Turbiedad	Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU)
Oxígeno Disuelto	mg/l
Sólidos Totales Disueltos	g/l
DQO	mg/l
Na	mg/l
K	mg/l



Tabla 7 (arriba)
Parámetros medidos durante los monitoreos.

Figura 17 (abajo)
Detalle de una sonda multiparamétrica.



Figura 18
Visor de una sonda multiparamétrica.

El contenido de turbiedad puede aumentar por un incremento de materia orgánica o escorrentía y vertido de efluentes con un elevado contenido de material en suspensión.

Oxígeno disuelto: el oxígeno disuelto (OD) es la cantidad de oxígeno que está disuelta en el agua. El OD en el agua proviene del oxígeno en el aire que se ha disuelto en el agua, por lo que están muy influidos por las turbulencias del río (que aumentan el OD) y la temperatura del agua (a mayor temperatura, disminuye el OD, ya que hay menos intercambio gaseoso con el aire). Asimismo, parte del OD es el resultado de la fotosíntesis de las plantas acuáticas. El rango de OD oscila entre 7 y 12 ppm o mg/l. Generalmente, un nivel más alto de oxígeno disuelto indica agua de mejor calidad. Los niveles bajos de OD pueden deberse al consumo de oxígeno que realizan las bacterias para degradar las altas cargas orgánicas de algunos efluentes industriales.

Criterios para la detección de vuelcos ilegales

Con el objeto de detectar tempranamente los vuelcos prohibidos de vinaza y

ceniza, y de este modo minimizar las posibilidad de eventos de floraciones algales y mortandades masivas de peces en el embalase, se siguió un procedimiento mediante la aplicación de reglas de decisión que permitieran establecer la sospecha de vuelco, a partir de la lectura de los parámetros provistos in situ por la sonda multiparamétrica.

El diseño de este procedimiento contempló que, para la mayoría de las situaciones, los vuelcos impactan sobre la calidad de las aguas de la siguiente manera:

Vinaza: aumenta los valores medidos de conductividad, desciende el valor de pH (se acidifica el medio) y reduce la cantidad de oxígeno disuelto

Ceniza: se reduce la cantidad de oxígeno disuelto y aumenta significativamente la turbidez. El pH se alcaliniza.

Complementariamente a esas respuestas físico-químico cuantificadas por la sonda, son de fundamental relevancia las condiciones organolépticas que se observan en campo, a saber:

Vinaza: el color de la vinaza inmediatamente luego de su vuelco es colorado. A medida que transcurre el tiempo, esta sustancia se va oxidando, tornando a color negro (cuando la vinaza ya se ha oxidado, puede confundirse con un efluente cloacal, aunque el análisis en laboratorio de la proporción sodio-potasio los distingue sin margen de confusión). El fuerte olor a vómito es una de sus características más distintivas. Asimismo, el paso de vinaza por la ribera de los cursos de agua quema la vegetación, la cual queda de color amarillento luego de su contacto.

Ceniza: cuando se ha volcado ceniza en un curso de agua, ésta suele observarse acumulada en las orillas, de un color negro característico, así como sedimentada en el fondo del balde de recolección de muestras.

Logística de muestreo

El Programa de Monitoreo Permanente implica recorrer 900 km diarios, tomando 24 mediciones por día (2 por día en 12 sitios), todos los días de la semana. Esta tarea exige contar con un amplio equipamiento y personal suficiente, de modo de tener siempre recursos de respaldo para no perder la continuidad del monitoreo.

El grupo de campo consta de 20 personas, todas miembro del plantel de la Defensoría del Pueblo y del Ministerio del Agua y el Medio Ambiente de la Provincia de Santiago del Estero, las que fueron capacitadas en temas teóricos y prácticos (toma de muestras, lectura e interpretación de parámetros, uso de navegadores satelitales, transmisión de datos, etc.). Asimismo, la envergadura de este Programa exige contar con un equipo de 5 personas dedicado exclusivamente a las cuestiones logísticas.

En cuanto al equipamiento de material, la Defensoría del Pueblo de Santiago del Estero se aprovisionó con 6 camionetas todo terreno, 3 sondas multiparamétricas marca Horiba, 8 teléfonos celulares, cámaras fotográficas, navegadores satelitales, y todo el material descartable e indumentaria de seguridad necesaria para la adecuada toma de las mediciones.

Emisión de alertas

Las emisiones de alerta se realizan cuando el equipo de campo detecta la posible presencia de un vuelco de vinaza o ceniza en alguno de los cursos de agua monitoreados. Esta detección se realiza a partir de los resultados medidos por la sonda multiparamétrica, complementariamente con la observación de las características

organolépticas del sitio de muestreo (color, olor, material en suspensión, estado de la vegetación en las márgenes, etc.).

La identificación de la fuente del vuelco es bastante sencilla, dado que cada curso de agua posee 1 o 2 ingenios asociados (excepto el Río Salí que tiene 3). Asimismo, algunos ingenios no cuentan con destilería, por lo que no generan vinaza, acotándose las fuentes de este tipo de vuelco.

El procedimiento de alerta contempla dar aviso inmediato al Coordinador del Programa de Monitoreo Permanente de la Defensoría del Pueblo de Santiago del Estero, quien a su vez telefónicamente contacta a las autoridades de la Secretaría de Estado de Medio Ambiente de la Provincia de Tucumán (SEMA), en su carácter de Autoridad de Aplicación local. Luego, personal de la SEMA se hace presente en el ingenio identificado y de acuerdo a las causas y la gravedad del vuelco se realizan las acciones correspondientes (labrado de actas, aplicación de multas, clausuras, etc.).

El principal resultado del Programa de Monitoreo Permanente es la reducción de los vertidos ilegales de vinaza y ceniza a los ríos y arroyos. Esto se tradujo en la mejora de la calidad físico-química del agua del Embalse, lo que generó una mejora radical del escenario todo. Ha habido una drástica disminución de episodios de mortandad masiva de peces en el Embalse, tanto en número como en el nivel de gravedad de los casos. Asimismo, las floraciones algales se han acotado a superficie cada vez más pequeñas, y la emanación de olores desagradables prácticamente ha desaparecido.

PARTE C

CALIDAD DE AGUA E IDENTIFICACIÓN DE ALERTAS DE VUELCOS

El Programa de Monitoreo Permanente que lleva adelante la Defensoría del Pueblo de Santiago del Estero desde junio de 2012 ha generado una gran base de datos, con más de 100.000 registros de los parámetros de calidad de agua de los tributarios del embalse.

Si bien el objetivo principal de este Programa es identificar y alertar inmediatamente la presencia de vuelcos ilegales, complementariamente se ha realizado un profundo análisis de la información relevada, para generar conocimiento sobre la dinámica de las variables monitoreadas a lo largo de los primeros 3 años y medio de trabajo (junio de 2012 a diciembre de 2015). La continuidad de esta labor establece una línea de base de calidad de agua de los tributarios del embalse sin precedentes.

Asimismo, se ha relevado información secundaria de cada afluente (datos hidrológicos, usos del suelo y tipo de lecho, entre otros) para complementar los datos de calidad de agua y apoyar la interpretación de los resultados. En particular se ha hecho un esfuerzo por mapear la realidad del territorio para cada subcuenca, en un intento de poner en evidencia la estrecha relación entre los distintos usos del suelo y la calidad del agua de los afluentes.

Adicionalmente, se propone una metodología a partir de la cual se busca identificar, a partir del análisis de la base de datos,

posibles vuelcos compatibles con vinaza y ceniza, los que se han denominado “alertas de vuelco”. El detalle de la metodología utilizada puede consultarse en el Anexo Metodológico (pág. 143).

CALIDAD DE AGUA DE LOS RÍOS Y ARROYOS QUE INGRESAN AL EMBALSE

A continuación se presentan los resultados de calidad de agua de cada tributario del embalse. Se describen las características básicas de cada curso de agua (naciente, caudal, tipo de lecho y vegetación circundante, entre otros), el análisis del comportamiento de los 4 parámetros estudiados (oxígeno disuelto, turbiedad, conductividad y pH) y se mencionan las principales industrias ubicadas en las cercanías del curso de agua así como otros usos del suelo allí desarrollados. Además, se presenta para cada tributario:

- 1) mapa con los usos del suelo de su área de influencia,
- 2) gráfico con el comportamiento promedio mensual de cada variable distinguiendo época húmeda y estiaje,
- 3) esquema del Análisis de Componentes Principales,
- 4) estadísticas básicas para cada parámetro, desde 2012 a 2015, tanto para la época húmeda como para el estiaje.

Río Marapa / Graneros

El Río Marapa (o Graneros) se forma con el aporte de los ríos Chavarría y Singuil, provenientes desde Catamarca, como desgüe de las vertientes de las sierras de Narváez e Higuera y de la falda oriental de la Sierra de Humaya (SMN, 2013). Tiene una cuenca de aproximadamente 1.000km² y casi la mitad de la misma se encuentra en la Provincia de Catamarca (García, 2012). El Río Marapa presenta caudal todo el año pero con mucha variación en función de la época de estiaje (3,81m³/s en septiembre de 2007) y época húmeda (9,24m³/s en marzo de 2007), aportando aproximadamente el 11% del caudal del agua que ingresa al Embalse de Río Hondo (SRH, 2007).

La cobertura vegetal del área de influencia de este afluente corresponde a bosques bajos y arbustales cerrados, los que aún no han sido desplazados por otros usos del suelo en la segunda mitad de su tramo (aproximadamente desde Graneros hasta la desembocadura en el embalse). El ancho de este curso de agua en el punto de muestreo es de 60m y su lecho es de tipo arenoso. En 2006 este río presentaba una coloración rojiza y olor penetrante durante la época seca (SRH, 2007).

En la figura 20 se muestra el comportamiento mensual promedio de los 4 parámetros considerados. Puede observarse que, a excepción del primer semestre de 2014, los valores de oxígeno disuelto superaron el mínimo establecido para la protección de la vida acuática (5mg/l). La distribución de la turbiedad muestra una clara respuesta a los períodos de mayores precipitaciones, aumentando a causa del arrastre de sedimentos. La conductividad se mantiene elevada, con una leve estacionalidad positiva

en la época de estiaje. Durante todo el período analizado, el pH se mantiene dentro del rango aceptable para protección de la vida acuática.

Este río tiene la particularidad de no recibir en forma directa efluentes provenientes de las industrias azucarera ni cítrica, así como tampoco de otro rubro de relevancia ambiental, aunque ocasionalmente podría ser usado por camiones atmosféricos para descargar su contenido. Atraviesa zonas de cultivo de caña de azúcar principalmente, y en menor medida soja, trigo y tabaco.

En su trayecto, este río pasa cercano a las ciudades de Alberdi, Graneros y atraviesa Lamadrid.

El monitoreo de la calidad de agua de este afluente tuvo la intención de servir como blanco o referencia para conocer los valores de los parámetros estudiados sin alteración por efluentes industriales.

La ordenación de las muestras analizadas a través de los Componentes Principales del Río Marapa dan cuenta también del comportamiento promedio, cercano al óptimo, que ha tenido este curso de agua durante el monitoreo (Figura 21).

En la Tabla 8 se presenta la estadística descriptiva básica, desglosada por año y época (húmeda y estiaje), para todos los parámetros muestreados.

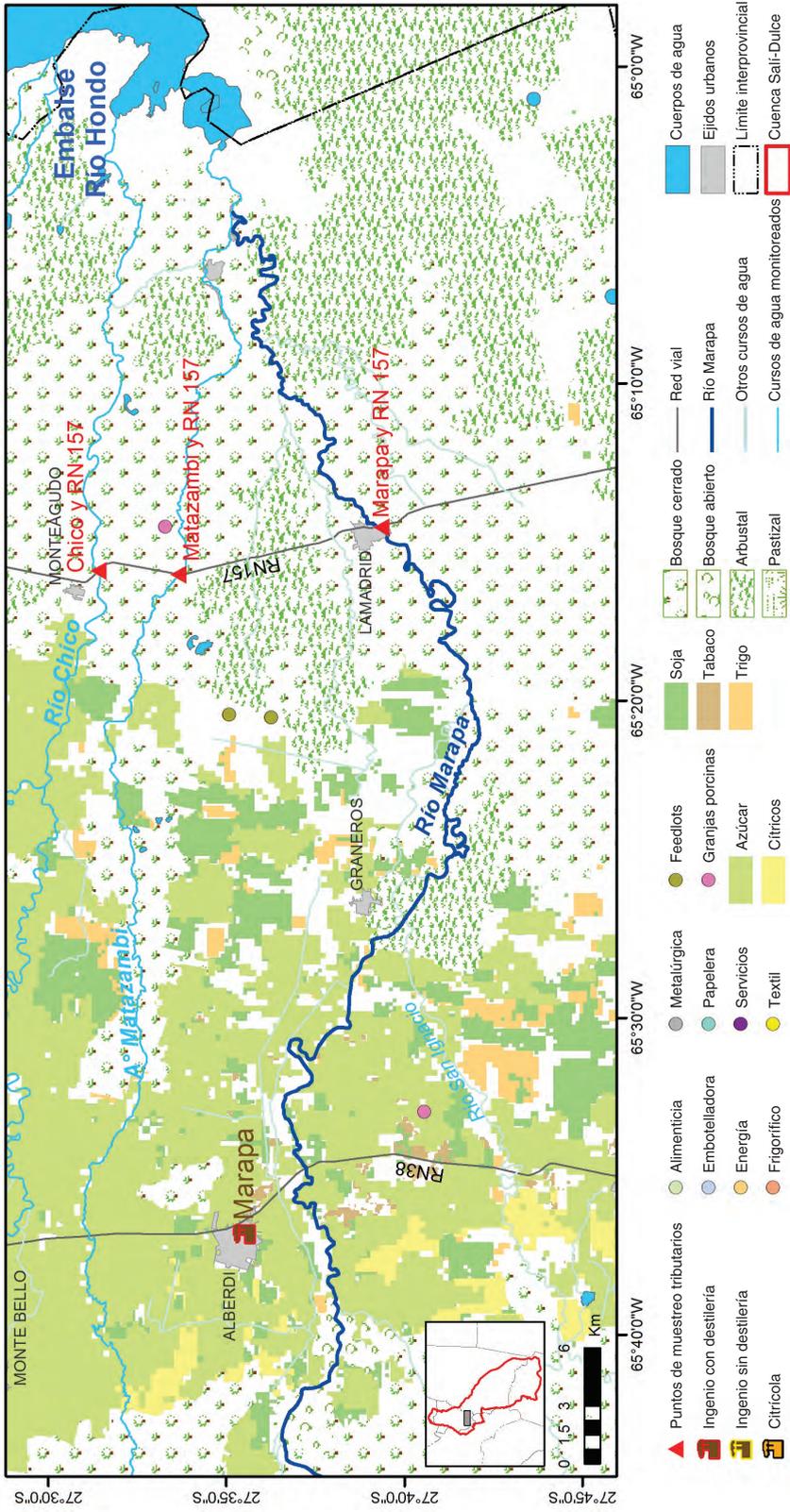


Figura 19 Usos del suelo de la subcuenca del Río Marapa/Graneros.

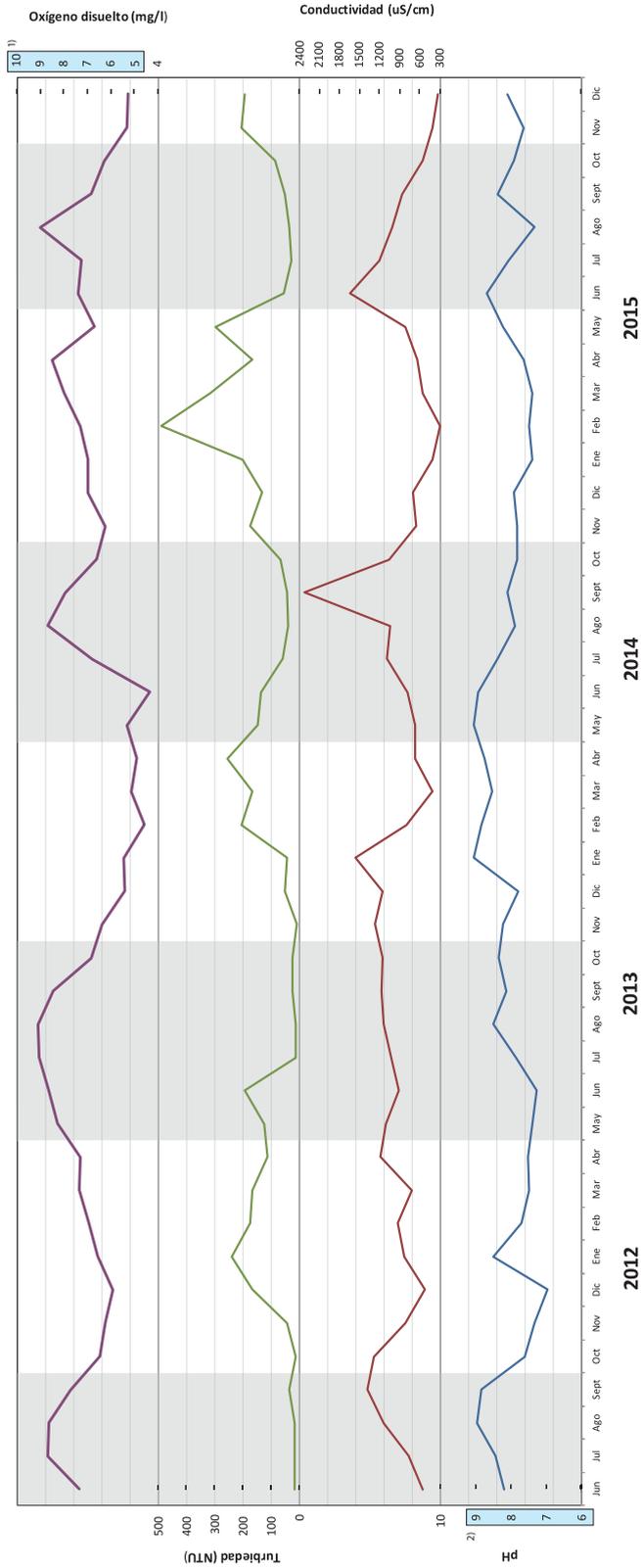


Figura 20 Calidad de agua del Río Marapa/Graneros. El área sombreada corresponde al período de estiaje.
 1) Los valores de OD mayores a 5 mg/l cumplen con las condiciones para protección de la vida acuática con exposición prolongada (Acumar 2009).
 2) Los valores de pH entre 6 y 9 cumplen con las condiciones para protección de la vida acuática con exposición prolongada (Acumar 2009).

MARAPA/GRANEROS									
Parámetro	Estadístico	2012		2013		2014		2015	
		Húmedo	Estiaje	Húmedo	Estiaje	Húmedo	Estiaje	Húmedo	Estiaje
Temperatura	N	90	65	169	170	165	177	177	112
	Mín	17.94	12.10	16.72	4.20	2.44	10.22	1.02	10.36
	Máx	35.11	25.56	31.98	28.85	33.79	49.44	34.03	28.04
	Media	25.13	17.52	23.49	14.26	22.75	18.05	23.21	19.15
	Mediana	24.95	17.50	23.57	13.49	22.49	17.15	23.43	19.70
	Desv. Est.	3.25	3.21	3.25	4.58	3.47	4.58	3.65	4.97
pH	N	90	65	169	170	165	177	177	112
	Mín	4.52	7.31	2.71	4.93	6.85	7.09	1.64	6.54
	Máx	11.86	10.54	8.97	11.67	10.61	9.77	9.03	13.95
	Media	7.30	8.73	7.88	7.91	8.49	8.36	7.75	8.27
	Mediana	7.54	8.80	8.10	7.92	8.40	8.25	7.81	8.07
	Desv. Est.	0.86	0.75	0.82	0.83	0.80	0.65	0.66	1.00
Redox	N	90	65	169	170	165	177	177	112
	Mín	-49.00	-40.00	36.00	-134.00	-64.00	-19.00	0.58	-102.00
	Máx	826.00	261.00	412.00	375.00	257.00	452.00	1113.00	370.00
	Media	189.03	70.40	174.59	108.49	84.81	58.42	128.33	131.39
	Mediana	146.50	66.00	152.00	68.00	87.00	53.00	120.00	60.00
	Desv. Est.	139.23	44.87	95.29	112.34	57.91	48.31	86.39	115.98
Conductividad	N	90	65	169	170	165	176	177	110
	Mín	163.00	208.00	327.00	673.00	156.00	181.00	114.00	186.00
	Máx	1650.00	1660.00	1700.00	1400.00	9400.00	18870.00	5990.00	9600.00
	Media	885.89	1094.49	1024.23	1090.34	797.80	1077.13	530.20	899.85
	Mediana	954.00	1145.00	1040.00	1080.00	657.00	991.50	502.00	919.50
	Desv. Est.	402.70	352.14	279.85	142.16	770.43	413.80	459.67	312.69
Turbiedad	N	90	65	169	170	165	177	177	112
	Mín	0.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-177.00	6.10
	Máx	548.00	79.60	726.00	303.00	1000.00	1413.00	1758.00	443.70
	Media	74.99	24.67	125.93	69.53	163.42	81.78	256.41	57.85
	Mediana	33.45	15.20	121.00	17.75	115.00	65.30	173.00	44.15
	Desv. Est.	98.59	19.98	114.22	81.91	194.68	122.18	288.72	55.81
Oxígeno disuelto	N	90	65	169	170	165	177	177	112
	Mín	4.12	5.00	2.20	5.31	1.01	0.40	2.79	3.42
	Máx	9.98	12.50	10.00	14.85	10.96	10.80	11.63	10.82
	Media	6.22	8.18	6.69	8.41	5.57	6.68	6.85	6.99
	Mediana	6.19	8.20	6.70	8.49	5.26	6.79	6.97	6.92
	Desv. Est.	1.02	1.45	1.26	1.36	1.21	2.10	1.59	1.17
Sólidos disueltos	N	90	65	169	170	165	177	177	112
	Mín	52.00	135.00	0.43	0.63	0.11	0.15	0.07	0.33
	Máx	1060.00	1120.00	925.00	893.00	1.05	107.00	631.00	1260.00
	Media	570.89	725.17	393.23	572.26	0.49	1.29	76.83	198.24
	Mediana	605.50	774.00	449.00	659.50	0.42	0.64	0.42	0.84
	Desv. Est.	252.63	230.78	308.12	272.81	0.24	8.00	128.24	259.30

Tabla 8 Estadísticas descriptivas de las mediciones realizadas en el Río Marapa/Graneros.

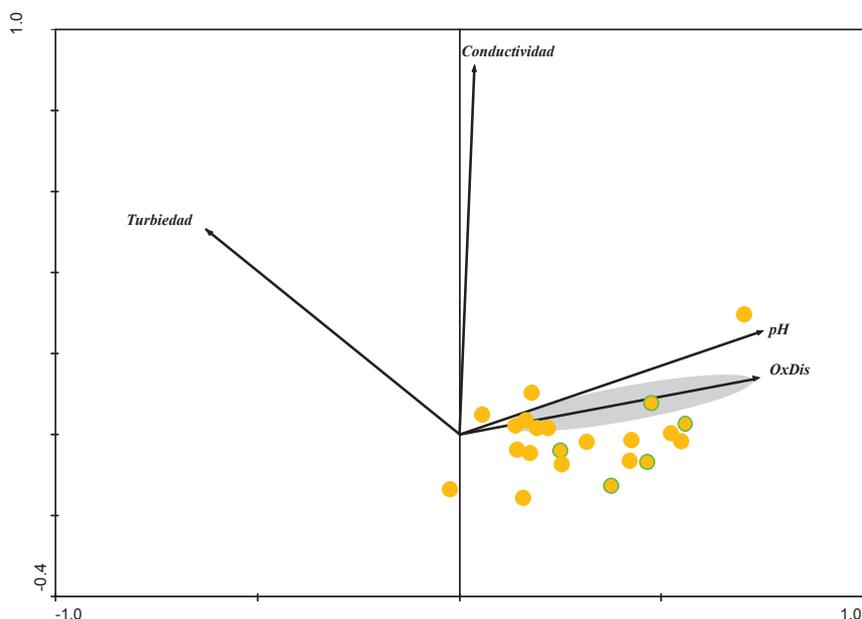


Figura 21 Representación gráfica del Análisis de Componentes Principales del Río Marapa/Graneros. Los puntos con circunferencia verde corresponden a la época de estiaje. La zona sombreada corresponde a la óptima calidad de agua (baja conductividad, alto OxDis, baja turbiedad y pH circunneutral).

Arroyo Matazambi

El Arroyo Matazambi nace en la Silleta de Escaba, Provincia de Tucumán (García, 2012). Suele presentar caudal casi todo el año, excepto en momentos de mucha sequía (en octubre de 2007 no presentaba agua en el punto de muestreo, mientras que en época húmeda se ha registrado un caudal de $5\text{m}^3/\text{s}$). Aporta sólo el 2% del agua que ingresa al Embalse Río Hondo (SRH, 2007). Naturalmente su lecho es fangoso aunque en el punto de muestreo presenta rocas debido a la construcción del puente de la RN157. La cobertura vegetal nativa del área de influencia de este afluente corresponde a bosques bajos y arbustales cerrados, los cuales aún se conservan en la naciente del arroyo así como en la segunda mitad de su trayecto.

El Arroyo Matazambi ha presentado coloración marrón verdosa y olor putrefacto, así como efluentes verdes típicos de frigoríficos (SRH, 2007). También era frecuente observar mortandades de peces en este curso de agua, las cuales han cesado desde que comenzó el Programa de Monitoreo Permanente.

Respecto de la calidad de las aguas, llama la atención el comportamiento del oxígeno disuelto, el cual baja considerablemente en la época húmeda, muchas veces por debajo de los $5\text{mg}/\text{l}$, y aumenta en la época de estiaje. Esta respuesta fue observada también en el Río Chico y el Arroyo Mista. Esto se debería a que el fuerte arrastre de sedimentos genera demanda química de oxígeno, sumado a las altas temperaturas que hacen disminuir el oxígeno disuelto en agua. La turbiedad se mantuvo relativamente baja durante todo el monitoreo,

con leves aumentos en los periodos estivales y un pico extraordinario en enero de 2014. Por su parte, la conductividad ha sido siempre alta, a excepción de enero de 2014, lo cual se correlaciona con la crecida de la turbidez, posiblemente causada por un fuerte incremento en el caudal del arroyo. El pH se mantuvo dentro del rango 6 a 9, adecuado para la protección de la vida acuática, con la excepción del verano 2014-2015 que presentó condiciones muy alcalinas (Figura 24).

El Arroyo Matazambi transportaba la vinaza del Ingenio Marapa y los efluentes cloacales de la Planta Los Guayacanes (ubicada en Alberdi), directamente hacia el embalse. Cuando en 2012 se prohibió el vuelco de vinaza al arroyo, este ingenio contrató a la planta Los Guayacanes para que atenuara la carga contaminante de su vinaza para luego ser vertida al Matazambi. Sin embargo, la capacidad de procesamiento de la planta era superada por los grandes volúmenes recibidos de vinaza, por lo que ésta seguía siendo vertida al arroyo sin el tratamiento adecuado.

En diciembre de 2012 se desactivó en forma definitiva la Planta Los Guayacanes y la vinaza del Ingenio Marapa comenzó a ser destinada en su totalidad al riego de campos salino-sódicos. Por su parte, la ceniza es dispuesta también sobre terrenos.

En la cuenca de este arroyo no existen otras industrias de relevancia además del Ingenio Marapa. Sólo se observa en sus inmediaciones la presencia de algunos *feedlots* y una granja porcina. En su trayecto atraviesa zona de cañaverales, trigo y soja, y ningún ejido urbano importante en cuanto a la cantidad de pobladores.

El esquema del Análisis de Componentes Principales del Arroyo Matazambi muestra también el comportamiento promedio, cercano al óptimo, aunque con conductividad y turbidez mayores que el Río Marapa. (Figura 25).

En la Tabla 9 se presenta la estadística descriptiva básica, desglosada por año y época (húmeda y estiaje), para todos los parámetros muestreados.



Figura 22 Ingenio Marapa - Disposición final de cenizas.

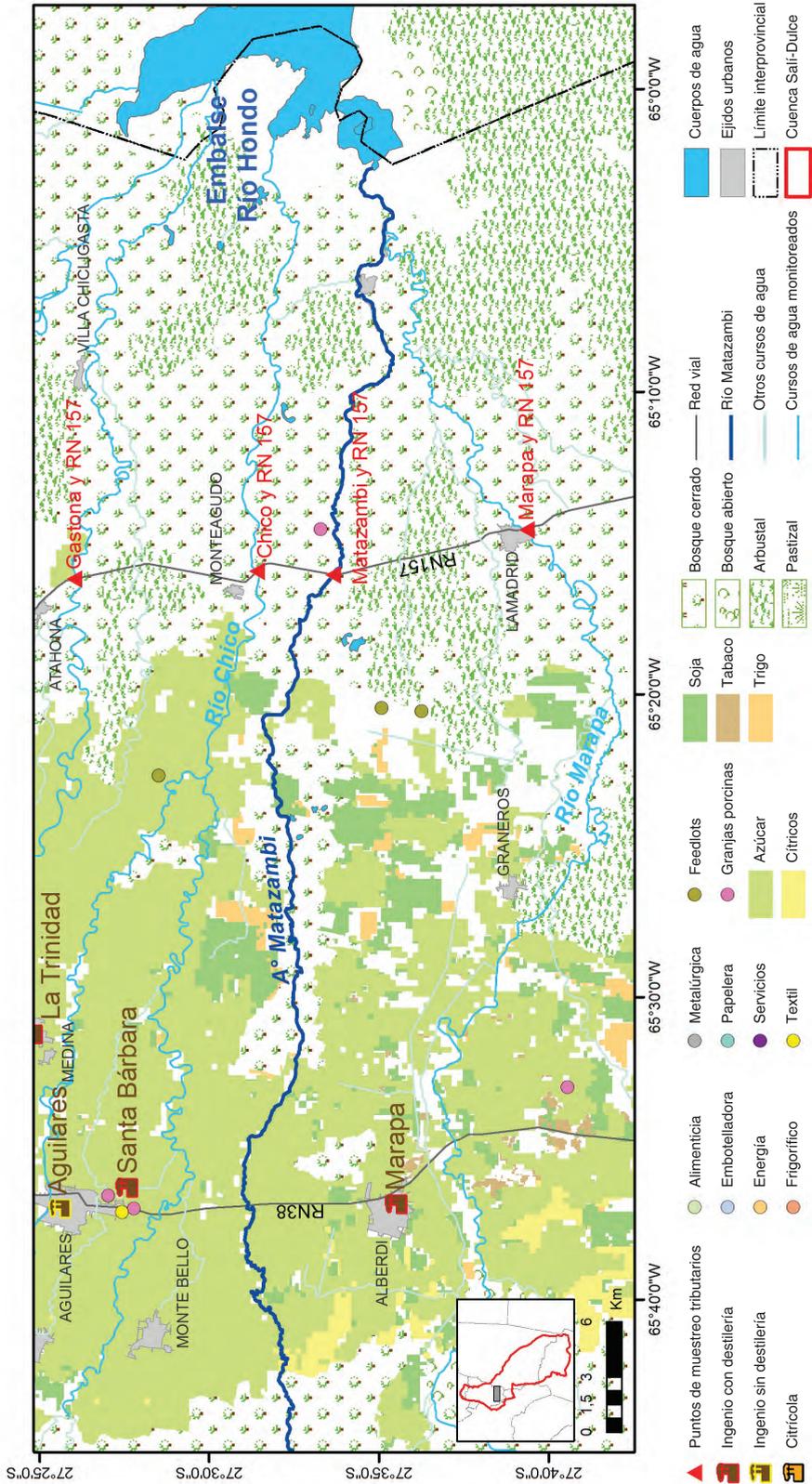


Figura 23 Usos del suelo de la subcuenca del Arroyo Matanzambi.

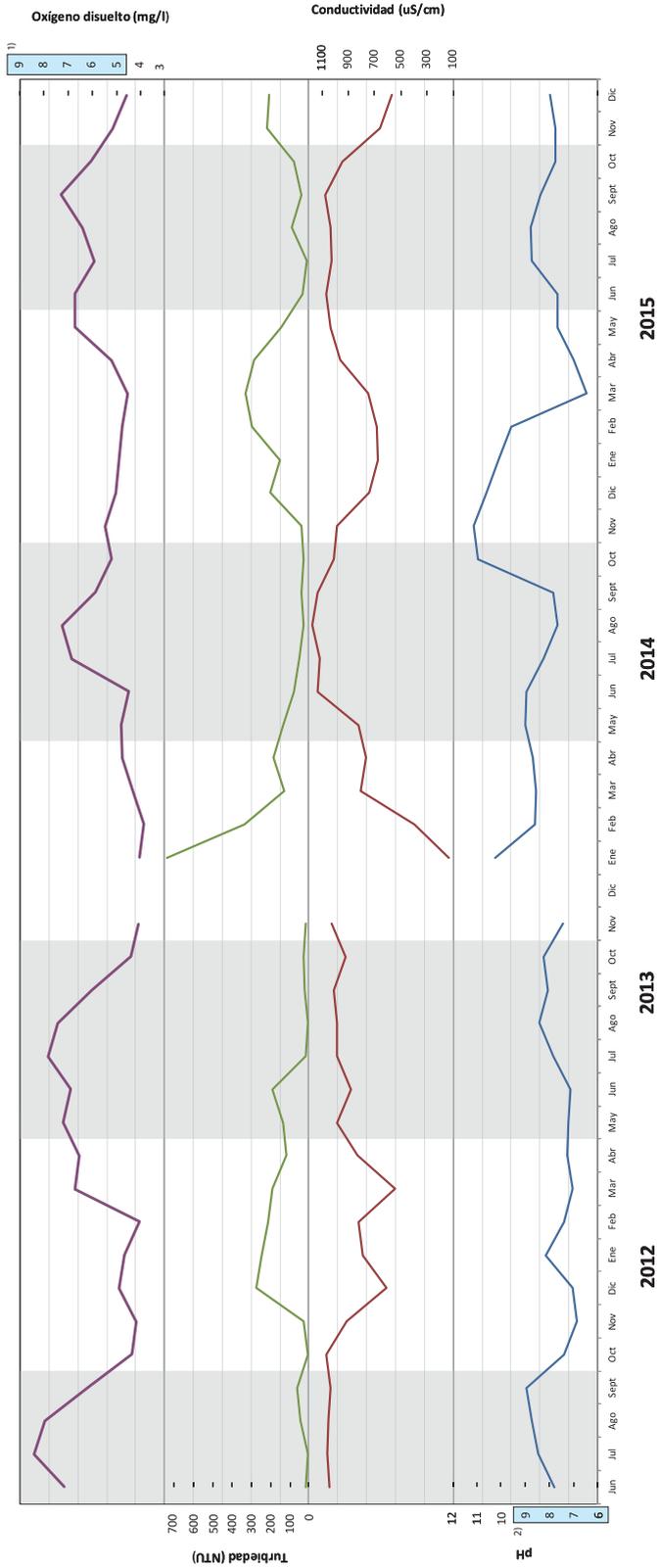


Figura 24 Calidad de agua del Arroyo Matazambi. El área sombreada corresponde al período de estiaje.
 1) Los valores de OD mayores a 5 mg/l cumplen con las condiciones para protección de la vida acuática con exposición prolongada (Acumar 2009).
 2) Los valores de pH entre 6 y 9 cumplen con las condiciones para protección de la vida acuática con exposición prolongada (Acumar 2009).

MATAZAMBI									
Parámetro	Estadístico	2012		2013		2014		2015	
		Húmedo	Estiaje	Húmedo	Estiaje	Húmedo	Estiaje	Húmedo	Estiaje
Temperatura	N	91	100	123	179	132	176	180	95
	Mín	18.51	10.30	14.26	3.75	15.73	10.16	16.36	10.24
	Máx	28.80	23.94	27.51	26.96	27.59	29.42	29.76	26.04
	Media	24.07	16.29	22.48	13.86	21.65	17.20	22.58	20.21
	Mediana	24.19	16.15	22.74	13.21	21.61	16.70	22.73	20.47
	Desv. Est.	2.27	3.11	3.16	4.36	2.46	4.08	2.71	2.37
pH	N	91	100	123	179	131	176	180	95
	Mín	3.58	1.80	2.04	5.88	6.26	7.11	5.36	6.72
	Máx	11.56	13.24	9.81	11.56	13.96	12.70	13.79	9.11
	Media	7.11	8.57	7.48	7.83	9.65	8.80	7.86	8.13
	Mediana	7.33	8.66	7.82	7.87	9.45	8.63	7.72	7.98
	Desv. Est.	0.89	1.20	1.08	0.78	1.50	1.37	1.27	0.62
Redox	N	91	100	123	179	132	176	180	95
	Mín	-11.00	-114.00	12.00	-114.00	-187.00	-74.00	-63.00	5.00
	Máx	414.00	294.00	388.00	349.00	387.00	173.00	505.00	295.00
	Media	184.44	84.89	220.57	112.25	134.51	62.41	244.73	72.58
	Mediana	161.00	83.00	210.00	73.00	128.50	61.00	220.50	65.00
	Desv. Est.	91.49	54.16	85.23	108.94	89.09	44.57	132.39	44.33
Conductividad	N	91	100	123	179	132	176	180	95
	Mín	168.00	724.00	146.00	490.00	137.00	160.00	274.00	106.00
	Máx	1170.00	1180.00	1100.00	1871.00	2230.00	1220.00	1250.00	2660.00
	Media	867.60	1047.17	764.65	960.64	771.59	1065.36	771.05	1025.87
	Mediana	937.00	1050.00	814.00	981.00	814.00	1135.00	752.00	1030.00
	Desv. Est.	250.53	64.74	221.96	144.81	304.99	183.27	220.38	204.77
Turbiedad	N	91	100	123	179	132	176	180	95
	Mín	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	29.60	9.50
	Máx	986.00	158.00	870.00	305.00	1000.00	419.00	800.00	258.00
	Media	100.66	36.76	180.05	66.88	164.34	58.39	236.18	57.62
	Mediana	15.40	17.50	154.00	18.10	102.65	39.55	214.50	40.60
	Desv. Est.	165.77	39.53	124.47	82.51	190.95	68.85	146.77	43.94
Oxígeno disuelto	N	91	100	123	179	132	176	180	95
	Mín	2.10	4.30	1.82	1.53	2.41	0.92	2.37	2.94
	Máx	8.60	12.20	10.95	12.14	10.84	10.96	9.41	9.63
	Media	4.46	7.35	5.40	6.65	4.77	5.76	5.16	6.63
	Mediana	4.35	7.09	5.22	6.99	4.41	5.10	5.07	6.57
	Desv. Est.	1.08	1.74	1.87	1.99	1.35	1.89	1.16	1.19
Sólidos disueltos	N	91	100	123	179	132	176	180	95
	Mín	108.00	462.00	95.00	319.00	1.25	0.56	0.65	0.63
	Máx	751.00	758.00	701.00	780.00	1400.00	784.00	802.00	1710.00
	Media	555.18	670.20	487.52	609.16	477.14	635.55	490.53	578.14
	Mediana	600.00	677.00	521.00	627.00	510.00	724.50	481.50	652.00
	Desv. Est.	160.78	42.41	143.32	81.37	184.20	213.16	148.30	248.95

Tabla 9 Estadísticas descriptivas de las mediciones realizadas en el Arroyo Matazambi.

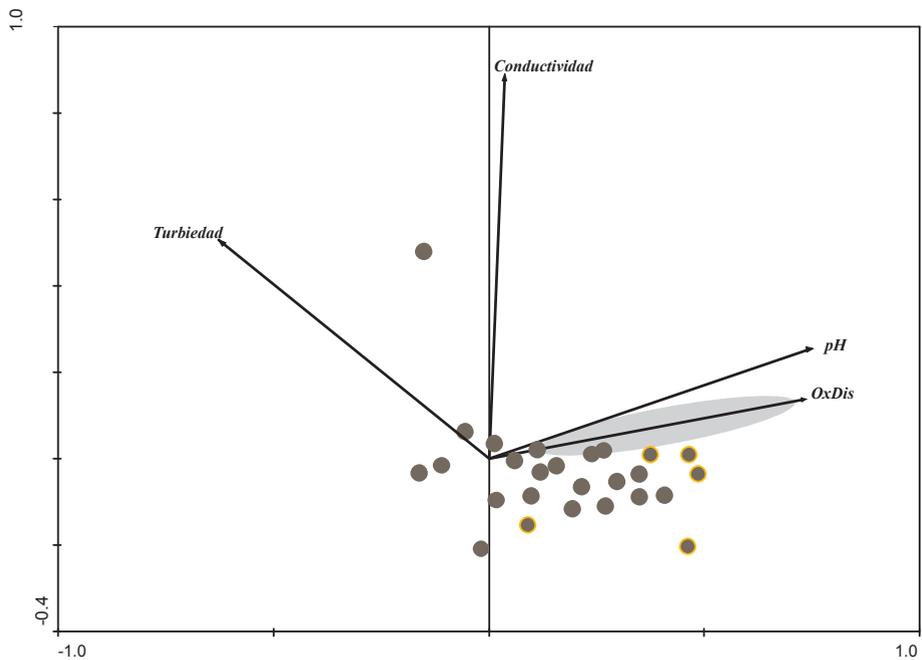


Figura 25 Representación gráfica del Análisis de Componentes Principales del Arroyo Matazambi. Los puntos con circunferencia amarilla corresponden a la época de estiaje. La zona sombreada corresponde a la óptima calidad de agua (baja conductividad, alto OxDis, baja turbiedad y pH circunneutral).



Figura 26 Ingenio Marapa -Pileta de sedimentación de cenizas.

Río Chico / Medina

El Río Chico, tributario principal del Salí, baja de las Sierras de Santa Ana en la Provincia de Tucumán. Su tributario principal es el Río Medina, que posee una hoya hidrográfica extensa y lluviosa, que abarca en parte territorio catamarqueño, donde se encuentran las nacientes que bajan de la sierras de Narváz, Las Lajas y Las Carreras. El punto de muestreo se ubica en la intersección del Río Chico y la RN157, aproximadamente 12km luego de la desembocadura del Medina en el Río Chico.

Este curso de agua aporta el 20% del volumen de agua que llega al Embalse de Río Hondo, presentando en la época húmeda un caudal máximo de $34,5\text{m}^3/\text{s}$ y un mínimo de $5,61\text{m}^3/\text{s}$ durante el estiaje (SRH, 2007). El lecho de este río es arenoso. Desde su nacimiento hasta la RN157, el Río Chico atraviesa una zona donde la cubierta vegetal ha sido totalmente transformada con fines agrícolas. Luego de esa ruta hasta la desembocadura en el embalse, este curso de agua discurre por una zona de bosques y arbustales cerrados.

En 2006 este afluente presentaba muy mal aspecto durante la estación seca, observándose color y olores propios de un efluente con materia orgánica en descomposición (SRH 2007).

El oxígeno disuelto se mantuvo por encima de los $5\text{mg}/\text{l}$ durante todo el período monitoreado, exceptuando el primer semestre del 2014. Durante la época de estiaje de 2012 a 2014 se observa un incremento del oxígeno disuelto, como se ha mostrado para el Arroyo Matazambi y sucede también en el Mista. La turbiedad muestra incrementos notables en la época húmeda, posiblemente ocasionada por el arrastre de

sedimentos debido al aumento del caudal del curso de agua. La conductividad oscila entre 150 y 500 uS/cm , con los mayores valores durante el estiaje y los menores en los momentos de mayor caudal. El pH se mantuvo dentro del rango 6 a 9, adecuado para la protección de la vida acuática, con la excepción del verano 2014-2015 que presentó condiciones alcalinas (Figura 30).

El Río Chico o Medina ha sido el cauce receptor de los efluentes industriales del Ingenio Santa Bárbara e Ingenio Trinidad. Se debe mencionar que el Ingenio Trinidad volcaba la vinaza en este río a través de un sistema de canales, pero el punto de vuelco se encontraba aguas debajo del sitio de muestreo establecido. El Ingenio Aguilares, ubicado en la ciudad homónima, también vertía sus efluentes en el Río Medina. Sin embargo, este ingenio es proporcionalmente mucho menor a los otros y no posee destilería.

Desde la implementación del Plan de Monitoreo Permanente, tanto la vinaza como la ceniza son ubicadas en áreas de disposición final, ya sean lagunas de evaporación y/o riego en el primer caso y relleno de suelos en el caso de cenizas. El Ingenio Santa Bárbara ha tenido que desactivar piletas de vinaza, que por su cercanía al río pudiesen generar derrames a éste. Al haber dejado de ser receptor de estos desechos, la calidad del agua del río se recuperó notoriamente.

El Río Chico se encuentra en una zona de cultivo de caña de azúcar casi exclusivamente, con algunos parches de soja y trigo. Otras actividades cercanas que podrían tener un impacto en la calidad de agua de este afluente son la presencia de *feedlots*, granjas porcinas e industrias textiles.

En su recorrido, el cauce del río pasa cercano a las ciudades de Monte Bello, Aguilares y Monteagudo.

El esquema del Análisis de Componentes Principales muestra que el Río Chico presenta un comportamiento cercano al óptimo, presentando bajos valores de conductividad y turbiedad, media y alta concentración de oxígeno disuelto y pH medio (Figura 31).

En la Tabla 10 se presenta la estadística descriptiva básica, desglosada por año y época (húmeda y estiaje), para todos los parámetros muestreados.



Figura 27 - 28
Ingenio Santa Bárbara
Lagunas de evaporación
(40 has. aprox.).

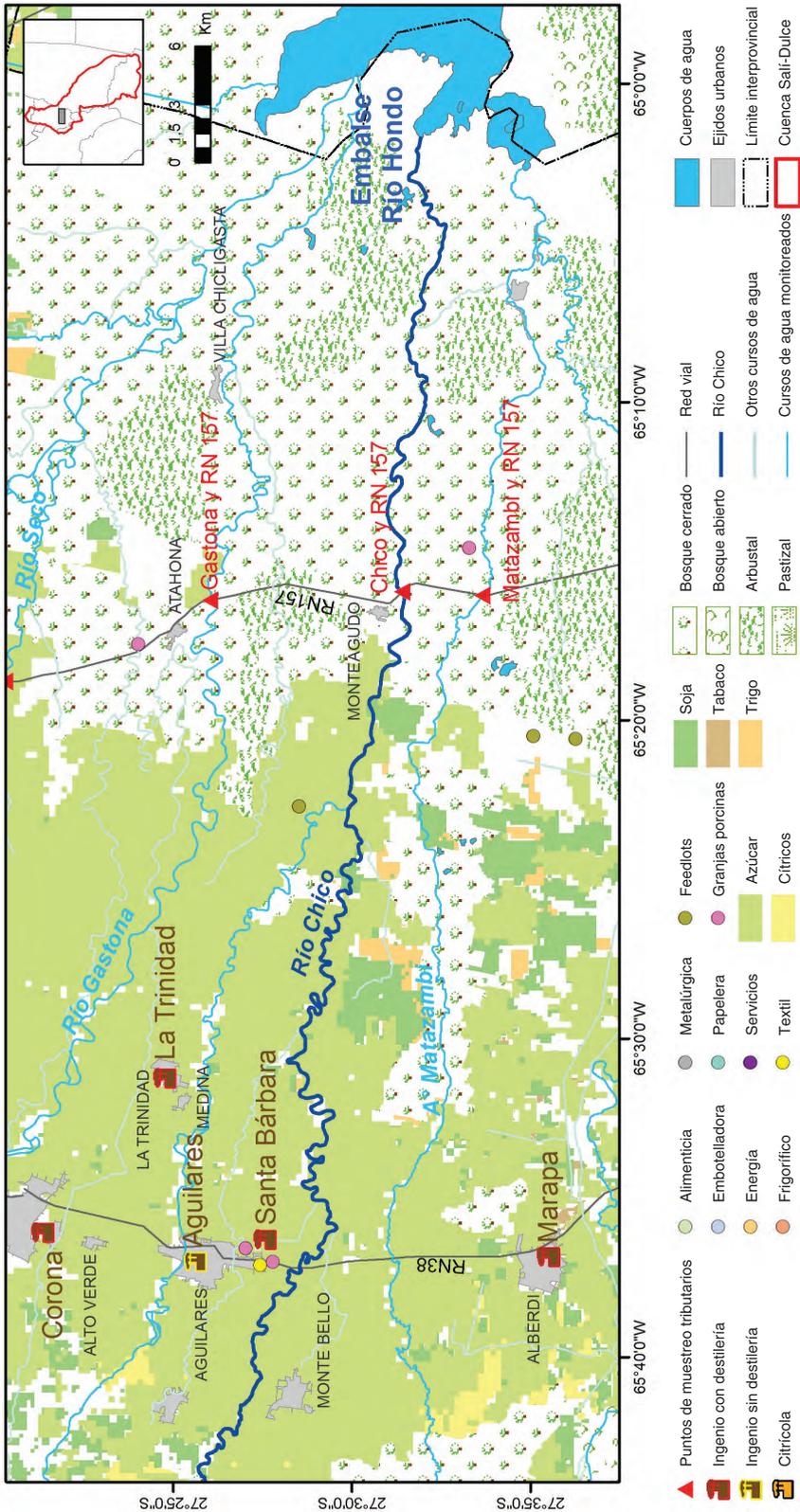


Figura 29 Usos del suelo de la subcuenca del Río Chico o Medina.

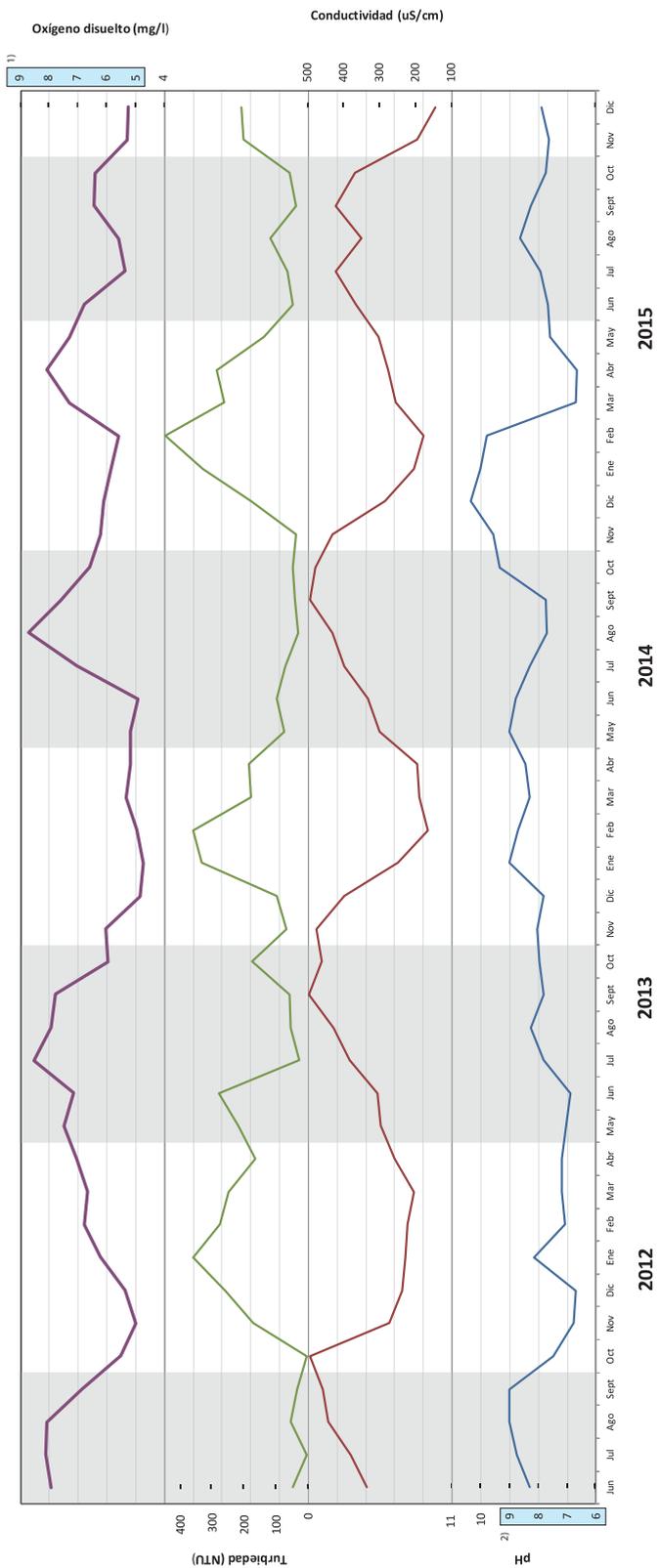


Figura 30 Calidad de agua del Río Chico. El área sombreada corresponde al período de estiaje.
 1) Los valores de OD mayores a 5 mg/l cumplen con las condiciones para protección de la vida acuática con exposición prolongada (Acumar 2009).
 2) Los valores de pH entre 6 y 9 cumplen con las condiciones para protección de la vida acuática con exposición prolongada (Acumar 2009).

CHICO									
Parámetro	Estadístico	2012		2013		2014		2015	
		Húmedo	Estiaje	Húmedo	Estiaje	Húmedo	Estiaje	Húmedo	Estiaje
Temperatura	N	92	99	172	177	170	152	182	131
	Mín	17.82	9.91	16.66	3.49	15.39	10.20	17.29	13.99
	Máx	34.37	26.20	28.48	28.50	34.55	37.40	54.67	32.13
	Media	24.99	16.97	23.04	14.22	23.52	18.33	23.64	21.55
	Mediana	25.03	16.70	23.19	13.60	22.83	16.66	23.25	20.89
	Desv. Est.	2.96	3.79	2.93	4.45	4.18	6.27	4.27	3.92
pH	N	92	99	172	177	170	152	182	131
	Mín	3.72	7.09	1.90	6.10	5.79	6.84	4.85	6.18
	Máx	9.34	13.13	8.90	11.45	14.00	10.77	13.18	9.34
	Media	6.99	8.80	7.59	7.69	9.09	8.41	7.75	8.00
	Mediana	7.30	8.80	7.87	7.69	9.00	8.29	7.64	7.99
	Desv. Est.	1.00	0.92	0.91	0.80	1.17	0.84	1.40	0.58
Redox	N	92	99	172	177	170	152	182	131
	Mín	62.00	-127.00	50.00	-100.00	-81.00	-22.00	-9.00	0.00
	Máx	406.00	263.00	422.00	346.00	405.00	240.00	1074.00	303.00
	Media	193.41	85.91	191.64	113.90	139.72	77.23	257.56	82.32
	Mediana	165.00	88.00	179.00	79.00	132.00	69.00	223.50	73.00
	Desv. Est.	96.59	54.53	93.31	106.40	87.66	43.12	148.25	51.88
Conductividad	N	92	99	172	177	170	152	182	131
	Mín	111.00	244.00	74.00	222.00	69.00	200.00	107.00	211.00
	Máx	557.00	538.00	594.00	1100.00	952.00	1530.00	349.00	944.00
	Media	337.29	414.81	294.28	413.86	255.57	431.28	213.12	389.94
	Mediana	314.00	430.00	259.50	402.00	219.00	431.50	196.00	387.00
	Desv. Est.	132.14	60.29	128.64	101.21	124.81	141.34	64.34	67.12
Turbiedad	N	92	99	172	177	170	152	182	131
	Mín	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.30
	Máx	648.00	610.00	1000.00	1000.00	1000.00	417.00	800.00	456.00
	Media	102.76	39.40	198.66	104.26	210.10	57.23	317.62	57.54
	Mediana	53.55	13.00	162.00	17.10	120.00	41.40	246.00	36.30
	Desv. Est.	135.02	95.99	206.89	155.16	242.64	56.62	250.92	64.36
Oxígeno disuelto	N	92	99	172	177	170	152	182	131
	Mín	3.58	4.60	3.55	1.56	2.80	0.46	2.41	2.83
	Máx	8.16	11.30	13.08	13.20	14.39	15.12	9.86	9.24
	Media	5.59	7.74	6.58	7.85	5.46	6.96	5.72	6.08
	Mediana	5.60	7.87	6.46	7.89	5.21	7.01	5.63	6.13
	Desv. Est.	0.81	1.17	1.44	1.49	1.31	2.01	1.02	1.15
Sólidos disueltos	N	92	99	172	177	170	152	182	131
	Mín	72.00	159.00	55.00	144.00	51.00	0.28	0.09	0.22
	Máx	870.00	344.00	380.00	702.00	610.00	2930.00	227.00	604.00
	Media	226.60	268.96	190.52	267.35	166.28	265.03	135.21	232.12
	Mediana	206.50	280.00	168.00	262.00	142.00	263.50	126.00	247.00
	Desv. Est.	107.69	39.63	82.34	64.74	80.58	242.21	46.52	82.17

Tabla 10 Estadísticas descriptivas de las mediciones realizadas en el Río Chico.

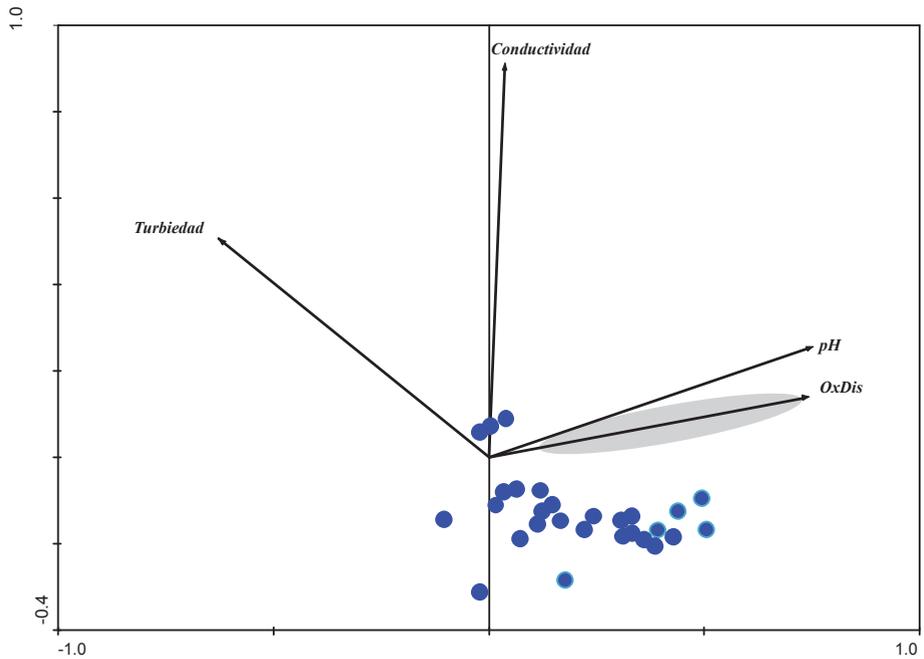


Figura 31 Representación gráfica del Análisis de Componentes Principales del Río Chico. Los puntos con circunferencia celeste corresponden a la época de estiaje. La zona sombreada corresponde a la óptima calidad de agua (baja conductividad, alto OxDis, baja turbiedad y pH circunneutral).



Figura 32 Ingenio Trinidad - Acopio transitorio de bagazo.

Río Gastona

El Río Gastona está formado por dos tributarios principales que tienen sus orígenes en el Nevado del Aconquija: el Solco y el Conventillo (García, 2012). El Gastona aporta el 11% del agua que ingresa al Embalse Río Hondo. Su lecho es arenoso. Presenta un caudal relativamente alto durante la época húmeda ($22,63\text{m}^3/\text{s}$ registrados en marzo de 2007), y un mínimo de $2,62\text{m}^3/\text{s}$ en época seca (SRH, 2007). Desde su nacimiento hasta la RN157, la cuenca de este curso de agua atraviesa una zona transformada completamente con fines agrícolas; y desde esa ruta hasta la desembocadura, cruza una zona de bosques y arbustales cerrados.

En 2006 el Río Gastona mostraba muy mal aspecto durante la época seca: presencia de olores fétidos, agua de color negro y abundantes burbujas y espumas, característico de la contaminación de origen orgánico (SRH, 2007).

Actualmente, la calidad del agua se mantiene baja. El oxígeno disuelto ha mostrado valores de medios a bajos y, en particular durante el período de estiaje de 2014 y 2015, estuvo por debajo de lo recomendado para protección de la vida acuática. La turbiedad presentó oscilaciones entre 0 y 250 NTU, correspondiendo los valores más bajos a la época de estiaje y los valores más elevados a los momentos de mayor caudal. Se destaca un pico extraordinario en marzo de 2015 con casi 600 NTU, posiblemente causado por las precipitaciones (las cuales ese verano se retrasaron hasta el mes de marzo). Por otro lado, el muestreo arroja valores oscilantes de conductividad, con claros aumentos durante la época seca y disminuciones en el período húmedo. En lo que respecta al pH, este se ha mantenido siempre dentro del rango adecuado para

la protección de la vida acuática, con la excepción del verano 2014-2015 que presentó condiciones más alcalinas (Figura 37).

El Río Gastona ha sido empleado como receptor de los efluentes de los Ingenios La Corona y Trinidad. Desde la zafra de 2014 no se ha evidenciado presencia de vinaza en este río. Sin embargo, durante el Programa de Monitoreo Permanente se han detectado episodios de vuelco de agua de cenizas, lo que generó la intervención de las autoridades de aplicación de Tucumán y la correspondiente sanción al Ingenio Trinidad.

En relación a otras actividades económicas desarrolladas en la zona, hay una clara predominancia del cultivo de la caña de azúcar. En su recorrido, el río atraviesa las ciudades de Concepción y Villa Chicligasta.

De acuerdo al Análisis de Componentes Principales, el Río Gastona se ubica en el rango de conductividad baja, pero asociada a niveles medios de OD (Figura 38).

En la Tabla 11 se presenta la estadística descriptiva básica, desglosada por año y época (húmeda y estiaje), para todos los parámetros muestreados.

Figura 33
Ingenio Trinidad - Columnas de destilación.





Figura 34 (arriba)
Ingenio La Corona - Piletas de acopio transitorio de vinaza.



Figura 35 (abajo)
Ingenio La Corona - Pileta de sedimentación de cenizas.

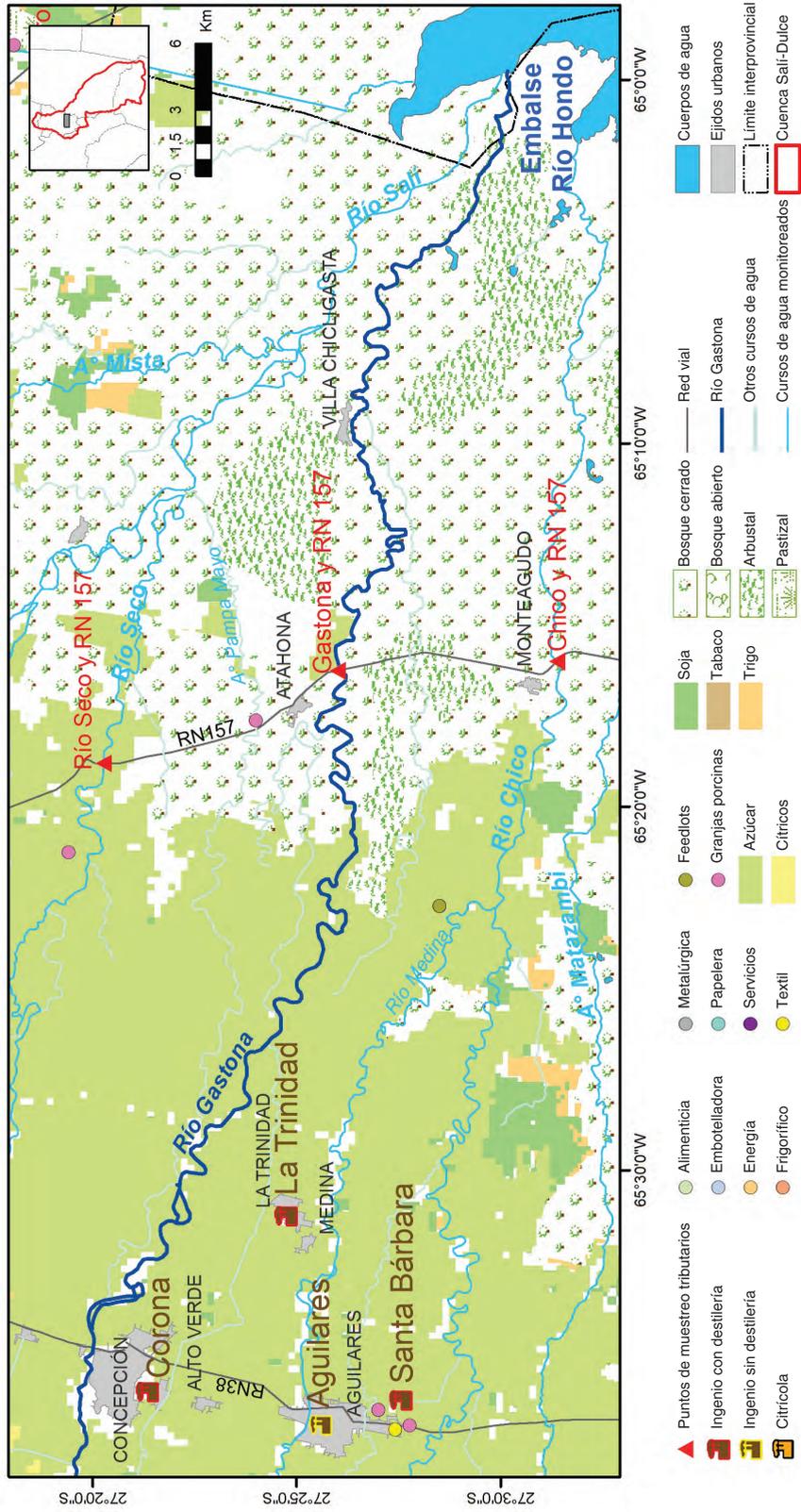


Figura 36 Usos del suelo de la subcuenca del Río Gastona.

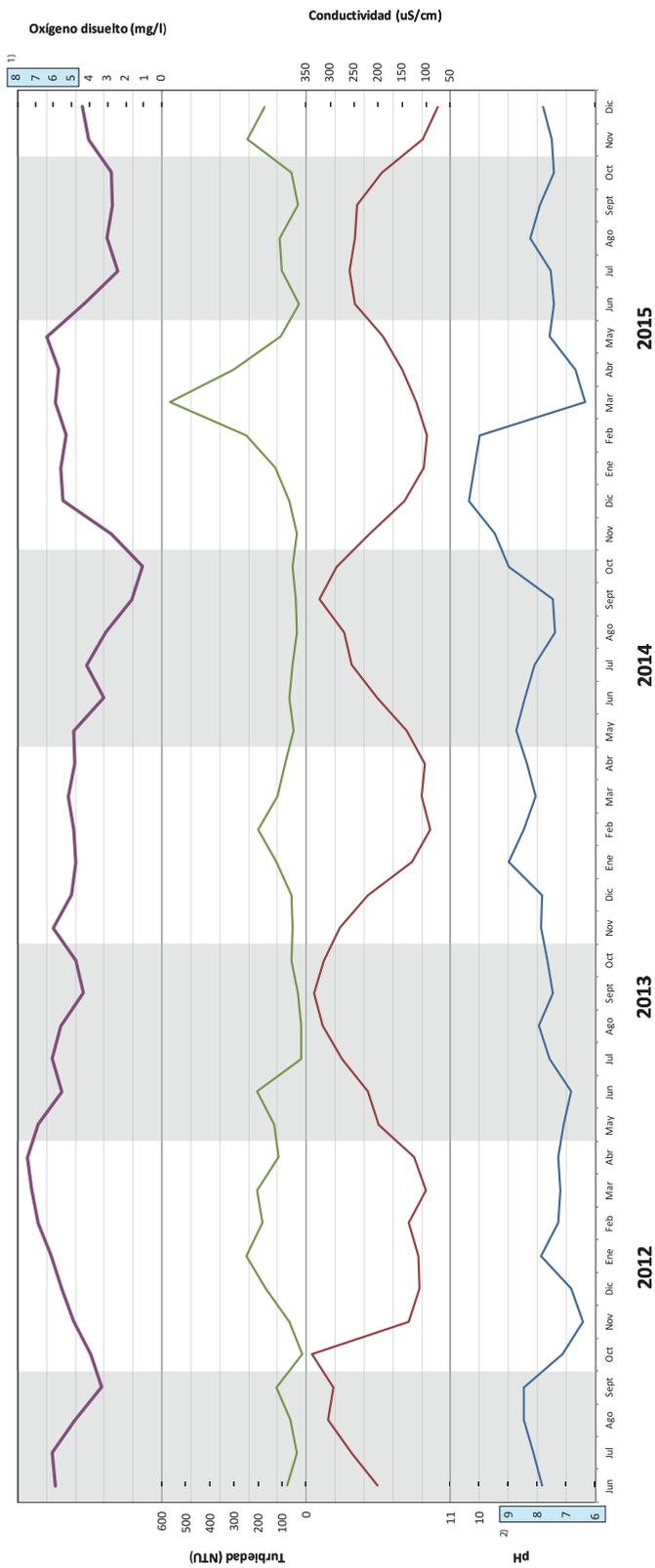


Figura 37 Calidad de agua del Río Gastona. El área sombreada corresponde al período de estiaje.
 1) Los valores de OD mayores a 5 mg/l cumplen con las condiciones para protección de la vida acuática con exposición prolongada (Acumar 2009).
 2) Los valores de pH entre 6 y 9 cumplen con las condiciones para protección de la vida acuática con exposición prolongada (Acumar 2009).

GASTONA									
Parámetro	Estadístico	2012		2013		2014		2015	
		Húmedo	Estiaje	Húmedo	Estiaje	Húmedo	Estiaje	Húmedo	Estiaje
Temperatura	N	91	99	169	176	169	177	180	132
	Mín	18.52	9.74	10.85	3.90	15.47	10.44	16.82	14.37
	Máx	32.98	26.58	30.09	28.49	32.64	36.79	33.46	35.32
	Media	25.11	17.55	23.24	14.62	23.53	18.61	23.61	22.01
	Mediana	25.04	17.57	23.32	13.97	22.74	17.20	23.37	21.40
	Desv. Est.	2.80	3.59	3.15	4.32	3.90	5.67	3.62	3.98
pH	N	91	99	169	176	169	177	180	132
	Mín	3.63	5.31	5.94	5.66	6.36	6.34	5.54	5.85
	Máx	8.28	12.47	8.84	11.26	13.60	10.08	11.96	8.78
	Media	6.79	8.28	7.55	7.42	8.97	8.18	7.76	7.67
	Mediana	7.01	8.20	7.68	7.41	8.79	8.19	7.55	7.70
	Desv. Est.	0.79	0.94	0.69	0.80	1.17	0.78	1.36	0.57
Redox	N	91	99	169	176	169	177	180	132
	Mín	57.00	-234.00	60.00	-97.00	-40.00	-155.00	35.00	-35.00
	Máx	404.00	264.00	432.00	350.00	393.00	199.00	508.00	289.00
	Media	194.04	88.96	197.93	110.45	140.40	76.10	246.08	83.80
	Mediana	176.00	100.00	193.00	85.00	132.00	74.00	208.00	77.00
	Desv. Est.	93.88	74.88	96.71	106.83	77.13	49.47	129.16	58.84
Conductividad	N	91	99	169	176	169	177	180	132
	Mín	70.00	107.00	51.00	126.00	65.00	84.00	45.00	102.00
	Máx	421.00	356.00	1110.00	432.00	581.00	1200.00	220.00	940.00
	Media	197.92	271.43	162.36	275.36	134.60	247.34	123.86	236.83
	Mediana	143.00	285.00	135.00	282.00	117.00	248.00	117.50	238.50
	Desv. Est.	107.79	55.72	111.22	63.63	63.54	98.59	44.98	81.57
Turbiedad	N	91	99	169	176	169	177	180	132
	Mín	0.00	0.00	0.00	3.70	0.00	0.00	0.00	1.94
	Máx	664.00	410.00	1000.00	401.00	930.00	167.00	800.00	526.00
	Media	85.12	82.15	147.56	81.20	106.27	53.84	258.55	62.59
	Mediana	60.10	44.50	120.00	41.00	68.90	44.40	161.50	40.60
	Desv. Est.	110.49	83.92	174.09	78.83	127.05	38.80	243.53	69.25
Oxígeno disuelto	N	91	99	169	176	169	177	180	132
	Mín	1.02	0.79	3.27	0.55	0.00	0.00	0.59	0.00
	Máx	7.89	10.30	15.90	12.24	12.20	7.30	8.16	6.48
	Media	4.78	4.83	6.47	5.56	4.65	3.01	5.32	3.09
	Mediana	4.83	5.07	6.36	5.95	4.78	3.18	5.52	3.20
	Desv. Est.	1.27	2.02	1.48	2.04	1.54	1.84	1.13	1.40
Sólidos disueltos	N	91	99	169	176	169	177	180	132
	Mín	45.00	70.00	33.00	82.00	43.00	0.12	0.10	0.09
	Máx	274.00	231.00	710.00	277.00	580.00	800.00	180.00	667.00
	Media	128.45	176.52	107.24	177.56	93.04	151.55	80.65	140.23
	Mediana	93.00	184.00	88.00	182.50	76.00	153.00	77.00	154.00
	Desv. Est.	70.31	35.41	77.66	41.34	63.45	92.02	32.49	74.23

Tabla 11 Estadísticas descriptivas de las mediciones realizadas en el Río Gastona.

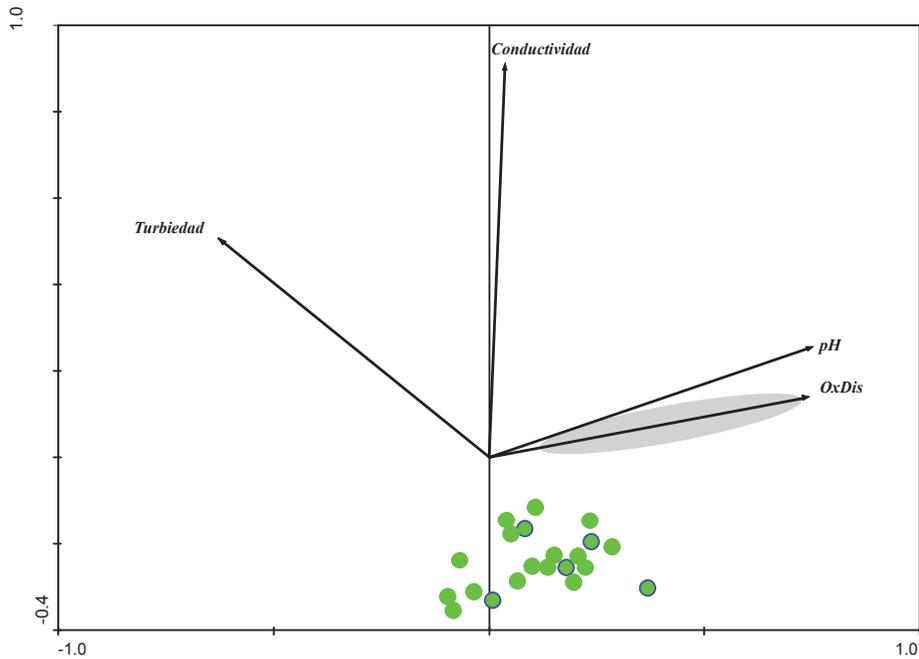


Figura 38 Representación gráfica del Análisis de Componentes Principales del Río Gastón. Los puntos con circunferencia oscura corresponden a la época de estiaje. La zona sombreada corresponde a la óptima calidad de agua (baja conductividad, alto OxDis, baja turbiedad y pH circunneutral).



Figura 39 Ingenio La Corona - Piletas de acopio transitorio de vinaza.

Río Seco

El Río Seco nace en el Nevado de Aconquija; en su recorrido no recibe ningún afluente de importancia (García, 2012), su lecho es arenoso y desemboca directamente en el Río Salí. Prácticamente en todo su recorrido atraviesa zonas transformadas para uso agrícola.

Durante el período muestreado, el oxígeno disuelto se ha presentado casi siempre por encima de los 5mg/l necesarios para la protección de la vida acuática, mostrando pulsos erráticos que no responderían homogéneamente a los momentos de estiaje y precipitaciones. La turbiedad ha presentado valores bajos con leves aumentos en los períodos de mayor caudal, con dos marcados picos en febrero y marzo de 2015 (posiblemente causados por el tardío comienzo de las lluvias). Al igual que el Río Gastona, la conductividad muestra valores relativamente bajos pero oscilantes, con claros aumentos durante la época seca y disminuciones en el período húmedo. Por su parte, el pH se mantuvo dentro del rango adecuado para la protección de la vida acuática, con la excepción del verano 2014-2015 cuando, al igual que

otros cursos de agua, presentó condiciones algo más alcalinas (Figura 42).

El Río Seco suele presentar episodios de contaminación térmica cuando fallan los sistemas de enfriamiento del Ingenio Providencia. Este ingenio no realiza destilación, por lo que no genera vinaza. Sin embargo podría suceder que ocasionalmente y de manera clandestina se vuelque vinaza proveniente de otros ingenios, transportada en camiones. Este río atraviesa una zona casi exclusivamente cultivada con caña de azúcar y en la zona existe una granja porcina (con 800 animales aproximadamente). En su trayecto, pasa cercano a las ciudades de Río Seco y Villa Quinteros.

De manera similar a los ríos Marapa, Matazambi y Chico, el Análisis de Componentes Principales del Río Seco presenta un rango bajo de conductividad asociada a concentraciones de OD relativamente altas. (Figura 43).

En la Tabla 12 se presenta la estadística descriptiva básica, desglosada por año y época (húmeda y estiaje), para todos los parámetros muestreados.



Figura 40 Recorrida de monitoreo entre las rutas 38 y 157.

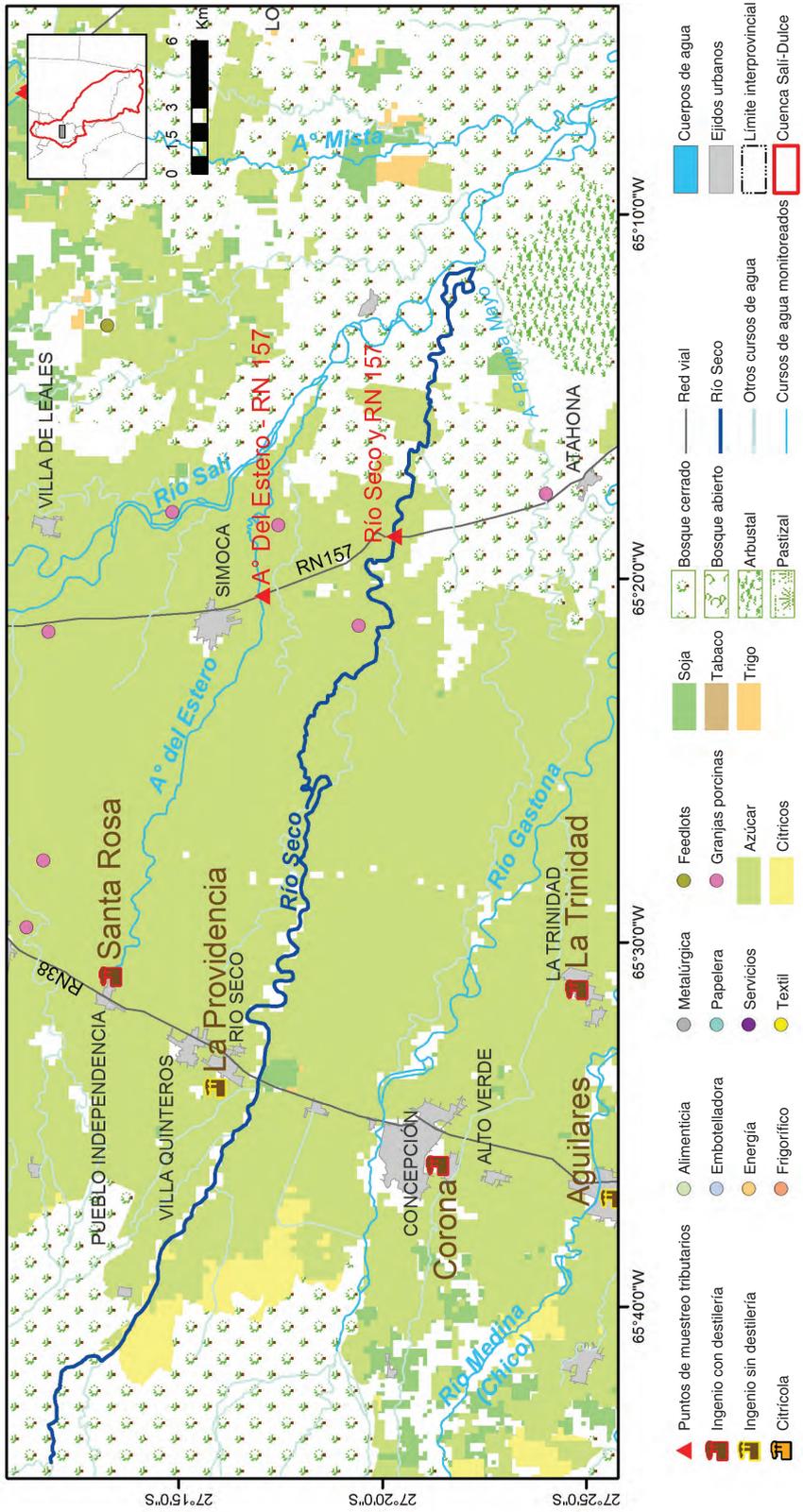


Figura 41 Usos del suelo de la subcuenca del Río Seco.

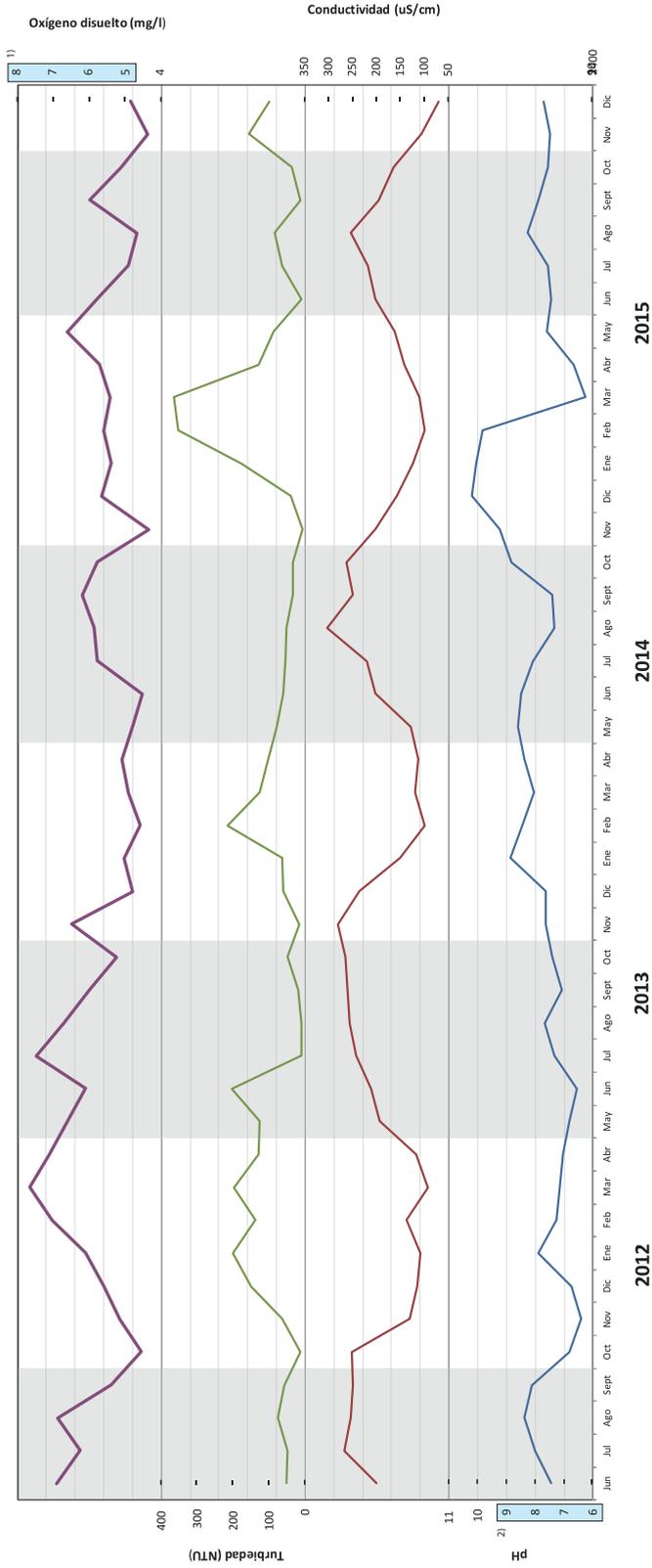


Figura 42 Calidad de agua del Río Seco. El área sombreada corresponde al período de estiaje.
 1) Los valores de OD mayores a 5 mg/l cumplen con las condiciones para protección de la vida acuática con exposición prolongada (Acumar 2009).
 2) Los valores de pH entre 6 y 9 cumplen con las condiciones para protección de la vida acuática con exposición prolongada (Acumar 2009).

SECO									
Parámetro	Estadístico	2012		2013		2014		2015	
		Húmedo	Estiaje	Húmedo	Estiaje	Húmedo	Estiaje	Húmedo	Estiaje
Temperatura	N	92	89	150	179	170	178	179	112
	Mín	18.38	9.61	16.60	3.03	15.47	2.18	17.59	14.33
	Máx	32.36	29.30	28.77	27.79	34.77	37.87	35.27	32.91
	Media	24.72	18.13	22.79	14.07	23.82	18.02	24.18	22.12
	Mediana	24.66	17.90	22.89	13.51	22.99	16.68	23.79	21.66
	Desv. Est.	2.70	3.99	3.04	4.36	4.28	6.28	3.87	4.19
pH	N	92	89	150	179	170	178	179	112
	Mín	3.42	4.10	2.53	5.15	6.14	6.03	5.59	5.49
	Máx	8.58	11.94	9.57	11.24	13.04	10.19	11.67	8.80
	Media	6.65	8.06	7.40	7.15	8.86	8.12	7.72	7.73
	Mediana	6.82	8.10	7.53	7.08	8.73	8.06	7.49	7.71
	Desv. Est.	0.86	1.02	0.81	0.90	1.12	0.80	1.36	0.58
Redox	N	92	89	150	179	170	178	179	112
	Mín	-60.00	-127.00	59.00	-128.00	-40.00	-73.00	18.00	-65.00
	Máx	384.00	239.00	425.00	374.00	420.00	209.00	517.00	279.00
	Media	184.66	87.62	204.84	107.87	130.85	80.45	241.69	76.16
	Mediana	168.00	89.00	197.00	93.00	122.00	79.00	201.00	74.00
	Desv. Est.	94.35	59.61	92.32	108.59	83.58	46.86	129.82	66.31
Conductividad	N	92	89	150	179	170	178	179	112
	Mín	60.00	112.00	40.00	111.00	48.60	69.00	32.00	90.00
	Máx	346.00	620.00	800.00	424.00	420.00	2470.00	324.00	930.00
	Media	167.10	245.12	149.59	238.55	142.48	228.84	118.32	207.86
	Mediana	147.50	242.00	129.50	244.00	127.00	215.00	120.00	205.00
	Desv. Est.	70.27	67.38	91.13	44.09	65.48	186.33	43.20	88.90
Turbiedad	N	92	89	150	179	170	178	179	112
	Mín	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.10	0.40
	Máx	637.00	610.00	836.00	356.00	806.00	569.50	800.00	313.00
	Media	75.99	61.02	136.30	70.23	92.72	52.22	188.77	36.93
	Mediana	46.35	18.70	118.50	24.70	57.05	40.20	121.00	14.80
	Desv. Est.	101.74	113.77	141.42	80.74	135.49	62.37	198.02	47.77
Oxígeno disuelto	N	92	89	150	179	170	178	179	112
	Mín	0.74	1.91	3.08	0.90	0.00	0.34	0.00	1.81
	Máx	9.33	12.71	13.31	11.11	10.90	10.02	8.10	7.52
	Media	5.11	6.32	6.69	6.36	4.94	5.51	5.44	5.38
	Mediana	5.17	6.20	6.56	6.45	4.90	5.31	5.44	5.38
	Desv. Est.	1.34	1.91	1.51	1.64	1.25	1.62	1.08	1.09
Sólidos disueltos	N	92	89	150	179	170	178	179	112
	Mín	39.00	73.00	26.00	72.00	35.00	0.13	0.45	0.06
	Máx	225.00	286.00	210.00	480.00	274.00	461.00	210.00	175.00
	Media	108.89	153.21	94.72	156.06	92.40	126.58	76.34	115.59
	Mediana	98.00	157.00	85.00	159.00	82.50	134.00	78.00	132.00
	Desv. Est.	45.74	25.51	47.74	36.76	42.57	52.51	28.85	45.91

Tabla 12 Estadísticas descriptivas de las mediciones realizadas en el Río Seco.

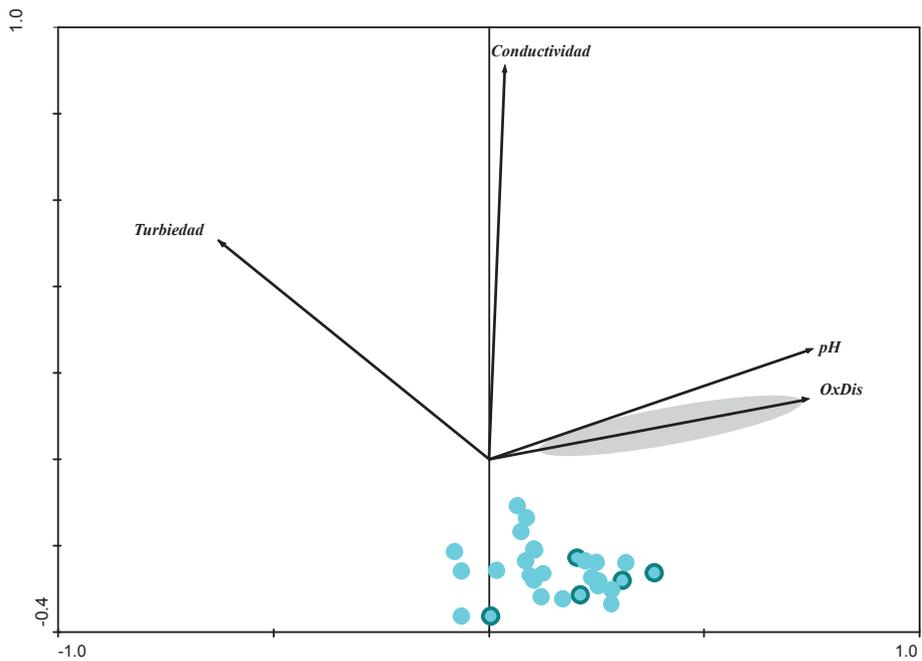


Figura 43 Representación gráfica del Análisis de Componentes Principales del Río Seco. Los puntos con circunferencia azul corresponden a la época de estiaje. La zona sombreada corresponde a la óptima calidad de agua (baja conductividad, alto OxDis, baja turbiedad y pH circunneutral).



Figura 44 Transporte de caña hacia los ingenios.

Arroyo Del Estero

Este cauce nace en la localidad de León Ruger, en el Ingenio Santa Rosa y desemboca sus aguas en el Río Salí. Posee una extensión de 32km aproximadamente, su lecho es pedregoso y el agua escurre a considerable velocidad en comparación con el resto de los afluentes de la zona, ocasionada por la pendiente del lugar.

Los resultados del monitoreo muestran cantidades preocupantemente bajas de oxígeno disuelto. Si bien este parámetro presenta un comportamiento típicamente estacional, los valores más altos registrados en la época húmeda sólo superan el nivel guía para protección de la vida acuática en contadas ocasiones, y durante el estiaje la concentración ha llegado al valor cero. Por el contrario, la turbiedad ha mantenido siempre valores bajos, los que responden al tipo de lecho rocoso. En junio de 2013 se registró un pico de este parámetro, posiblemente debidos a varios vuelcos de cenizas ocurridos. La conductividad no muestra cambios estacionales relevantes, habiendo disminuido fuertemente sólo a fines de 2015 (posiblemente debido al efecto de dilución que causan las

precipitaciones). El pH se mantuvo dentro del rango 6 a 9, adecuado para la protección de la vida acuática, con escasas excepciones. Como muchos otros afluentes, en el verano 2014-2015 presentó valores más alcalinos (Figura 47). El Arroyo del Estero era utilizado para la conducción de los desechos del Ingenio Santa Rosa, fundamentalmente agua de cenizas. Durante el Programa de Monitoreo Permanente se detectaron vertidos, por lo que la autoridad de aplicación de Tucumán sancionó al establecimiento con actas y multas. El Arroyo del Estero también pasa cercano a la localidad de Simoca, de la cual recibe sus efluentes cloacales, y a una granja porcina antes de arribar al Salí. En todo su trayecto atraviesa una zona exclusivamente cañera.

La interpretación del Análisis de Componentes Principales muestra para el Arroyo del Estero conductividad baja asociada a niveles bajos a medios de OD (Figura 48).

En la Tabla 13 se presenta la estadística descriptiva básica, desglosada por año y época (húmeda y estiaje), para todos los parámetros muestreados.



Figura 45 Ingenio Santa Rosa - Pileta de acopio transitorio de vinaza en planta.

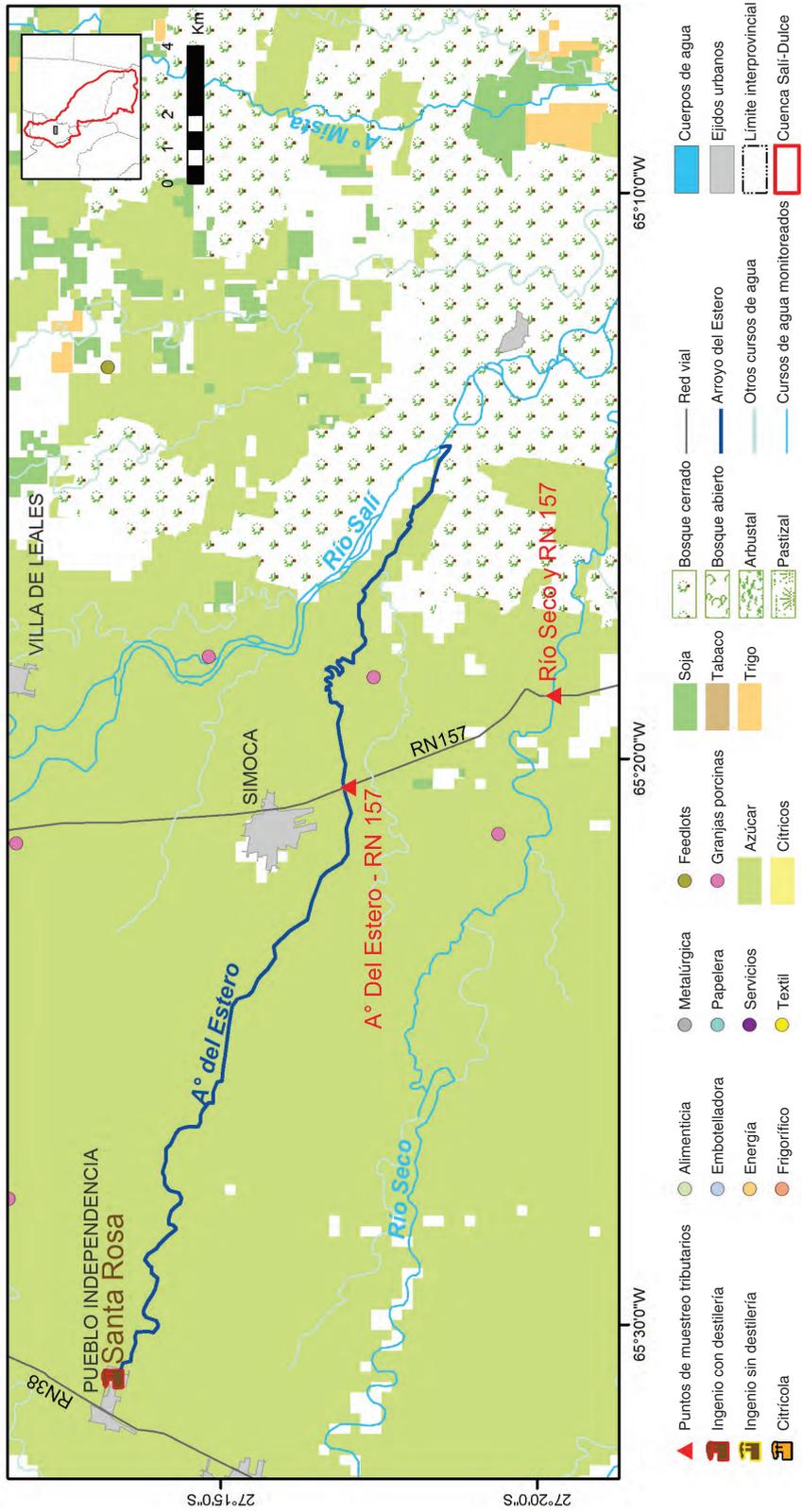


Figura 46 Usos del suelo de la subcuenca del Arroyo del Estero.

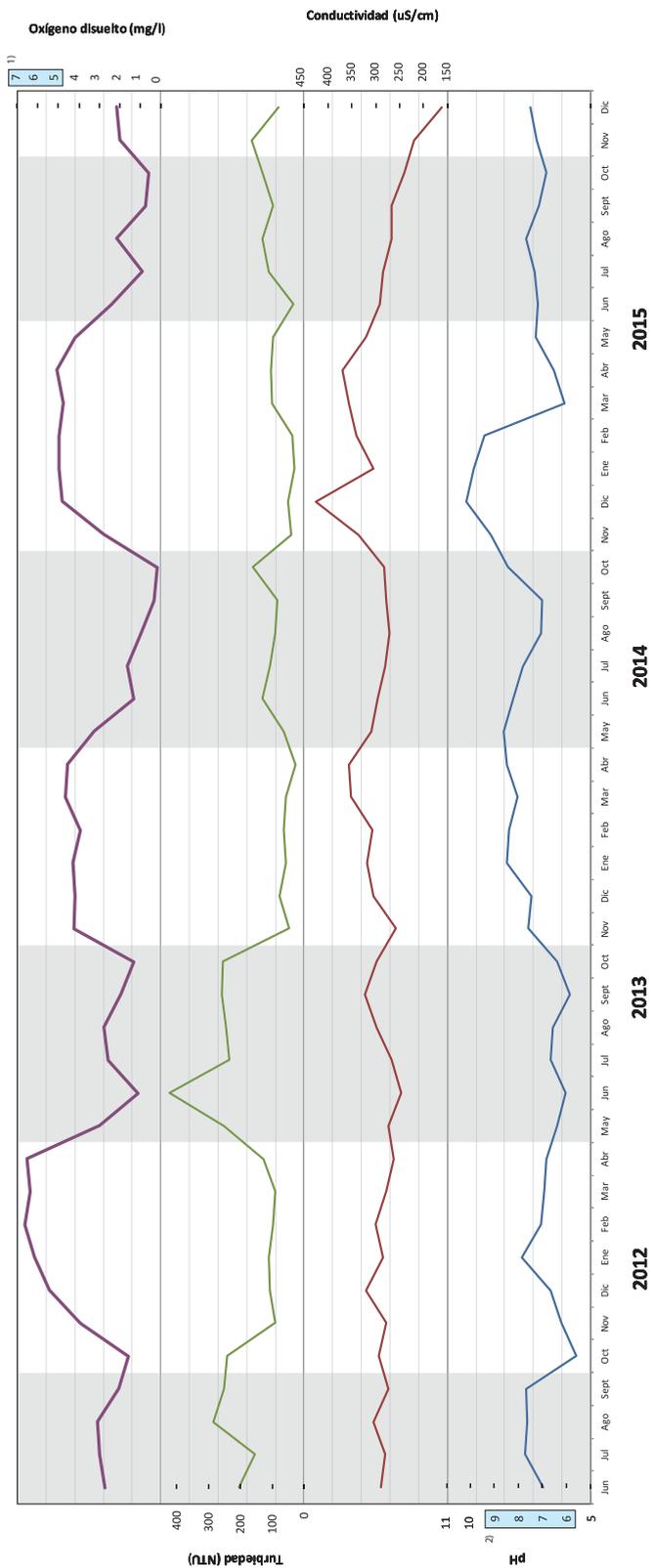


Figura 47 Calidad de agua del Arroyo del Estero. El área sombreada corresponde al período de estiaje.
 1) Los valores de OD mayores a 5 mg/l cumplen con las condiciones para protección de la vida acuática con exposición prolongada (Acumar 2009).
 2) Los valores de pH entre 6 y 9 cumplen con las condiciones para protección de la vida acuática con exposición prolongada (Acumar 2009).

DEL ESTERO									
Parámetro	Estadístico	2012		2013		2014		2015	
		Húmedo	Estiaje	Húmedo	Estiaje	Húmedo	Estiaje	Húmedo	Estiaje
Temperatura	N	92	98	170	174	171	176	180	133
	Mín	20.79	13.80	17.16	2.93	16.33	12.03	17.76	8.06
	Máx	27.85	25.18	25.90	24.14	28.62	30.05	29.34	30.25
	Media	23.73	19.72	21.49	17.45	21.63	20.03	22.62	22.85
	Mediana	23.80	19.75	21.79	17.27	21.34	19.35	22.42	22.93
	Desv. Est.	1.57	2.51	1.95	3.01	2.33	3.67	2.42	2.84
pH	N	92	98	170	174	171	176	180	133
	Mín	2.94	5.50	2.19	1.79	5.18	5.50	4.84	4.57
	Máx	9.31	11.11	8.50	10.72	12.44	10.22	11.22	8.25
	Media	6.16	7.56	7.31	6.34	8.83	7.88	7.46	7.21
	Mediana	6.44	7.70	7.41	6.40	8.70	7.85	7.23	7.29
	Desv. Est.	1.12	0.99	0.80	0.98	1.13	0.87	1.30	0.62
Redox	N	92	98	170	174	171	176	180	133
	Mín	-60.00	-230.00	-121.00	-143.00	-177.00	-172.00	-55.00	-125.00
	Máx	278.00	147.00	331.00	315.00	327.00	192.00	499.00	257.00
	Media	82.18	38.97	109.49	76.88	39.83	22.45	168.66	16.07
	Mediana	71.00	52.00	84.00	71.00	30.00	26.50	139.50	0.00
	Desv. Est.	87.15	67.22	87.00	71.29	73.57	72.53	127.15	73.38
Conductividad	N	92	98	170	174	171	176	180	133
	Mín	220.00	210.00	140.00	195.00	165.00	115.00	89.00	189.00
	Máx	462.00	576.00	560.00	440.00	3300.00	397.00	395.00	578.00
	Media	297.35	287.34	280.73	283.32	332.48	285.33	293.05	268.96
	Mediana	302.50	278.50	285.00	277.50	326.00	282.00	324.00	266.00
	Desv. Est.	46.24	43.89	47.09	48.59	80.20	34.59	86.81	45.83
Turbiedad	N	92	98	170	174	171	176	180	133
	Mín	4.20	66.40	0.00	1.56	1.05	0.00	2.00	5.40
	Máx	708.00	665.00	1040.00	775.00	681.00	720.00	800.00	412.00
	Media	146.29	234.57	91.67	278.71	49.24	105.32	94.43	98.34
	Mediana	123.00	208.50	82.90	254.50	33.30	89.55	75.15	96.70
	Desv. Est.	121.80	110.03	117.41	144.76	67.47	76.35	91.11	65.63
Oxígeno disuelto	N	92	98	170	174	171	176	180	133
	Mín	0.75	0.00	1.03	0.38	0.00	0.00	0.00	0.00
	Máx	7.39	8.30	10.50	9.70	9.17	5.40	6.79	8.00
	Media	3.65	2.68	5.67	2.12	4.16	1.26	3.89	1.31
	Mediana	3.84	2.60	5.76	1.70	4.29	0.92	4.48	0.82
	Desv. Est.	2.02	1.50	1.47	1.45	1.31	1.40	1.90	1.39
Sólidos disueltos	N	92	98	170	174	171	176	180	133
	Mín	143.00	136.00	99.00	63.00	97.00	106.00	0.18	0.15
	Máx	300.00	369.00	223.00	286.00	494.00	258.00	280.00	370.00
	Media	194.30	186.14	181.95	182.95	211.89	186.18	190.33	157.70
	Mediana	196.50	180.00	185.00	179.00	211.00	183.50	211.00	169.00
	Desv. Est.	31.77	28.70	26.27	33.00	42.10	21.21	58.01	59.52

Tabla 13 Estadísticas descriptivas de las mediciones realizadas en el Arroyo del Estero.

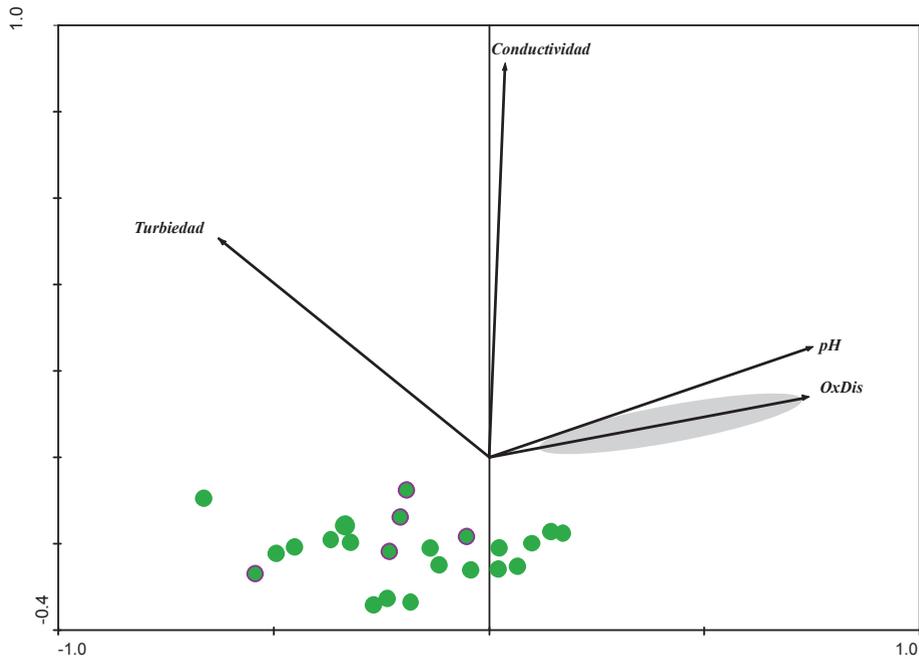


Figura 48 Representación gráfica del Análisis de Componentes Principales del Arroyo del Estero. Los puntos con circunferencia violeta corresponden a la época de estiaje. La zona sombreada corresponde a la óptima calidad de agua (baja conductividad, alto OxDis, baja turbiedad y pH circunneutral).



Figura 49 Ingenio Santa Rosa - Pileta de acopio de vinaza en campo.

Arroyo Aguas Blancas

El Arroyo Aguas Blancas, que nace de la confluencia de los arroyos Maravilla y San José, colecta en su corto recorrido (12km aproximadamente) el caudal de varios afluentes orientales menores para luego desembocar en el Río Salí. Su lecho es arenoso.

Las aguas del Arroyo Aguas Blancas presentan un comportamiento prácticamente idéntico al Arroyo del Estero. Durante el período muestreado los valores de oxígeno disuelto estuvieron casi siempre por debajo de los 5mg/l necesarios para la protección de la vida acuática, presentando valores cercanos al cero durante el estiaje (Figura 54). La turbiedad ha mantenido siempre valores bajos (a excepción del pico registrado en junio de 2013) sin mostrar un patrón definido. La conductividad presenta valores medios, sin cambios estacionales relevantes, pero con disminuciones considerables en noviembre y diciembre de 2015. El pH ha mantenido siempre valores dentro del rango considerado compatible con la vida acuática, con algunas pocas excepciones (en el verano 2014-2015 mostró valores superiores a 9, en concordancia con lo registrado en otros cursos de agua).

A través del Arroyo Maravilla, el Arroyo Aguas Blancas ha recibido vuelcos de agua de cenizas del Ingenio Fronterita; lo que fue detectado en no menos de 10 oportunidades durante el Programa de Monitoreo. Permanentemente, resultando en la sanción de la empresa por parte de la autoridad de aplicación. El Ingenio Ñunorco también está vinculado a este curso de agua a través del Río Pueblo Viejo, aunque no posee destilería y las cantidades de cenizas generadas son comparativamente bajas (cfr. Figura 9, página 36).

Por otra parte, dos importantes establecimientos citrícolas (Acherál SA y Citromax

SACI) están conectados a este afluente mediante los ríos Aranillas y Romano respectivamente. Asimismo, en la localidad de Acherál funciona la embotelladora Cervecería y Maltería Quilmes. En las cercanías del Río Pueblo Viejo y el Río Balderrama funcionan granjas porcinas que suman más de 1000 animales en total.

En lo referido a los cultivos del área, ésta es exclusivamente cañera. Los ejidos urbanos próximos o vinculados con este arroyo a través de cauces secundarios son Santa Rosa, Río Colorado, Acherál y Monteros.

El Análisis de Componentes Principales del Arroyo Aguas Blancas oscila entre combinaciones de conductividad y OD de bajas a medias (Figura 58).

En la Tabla 14 se presenta la estadística descriptiva básica, desglosada por año y época (húmeda y estiaje), para todos los parámetros muestreados.

Figura 50

Ingenio Fronterita - Acopio transitorio de ceniza en planta.





Figura 51 (arriba) Instalaciones del ingenio Fronterita, actualmente rebautizado “Ingenio Famaillá”.

Figura 52 (abajo) Ingenio Fronterita, torre de enfriamiento (atrás).

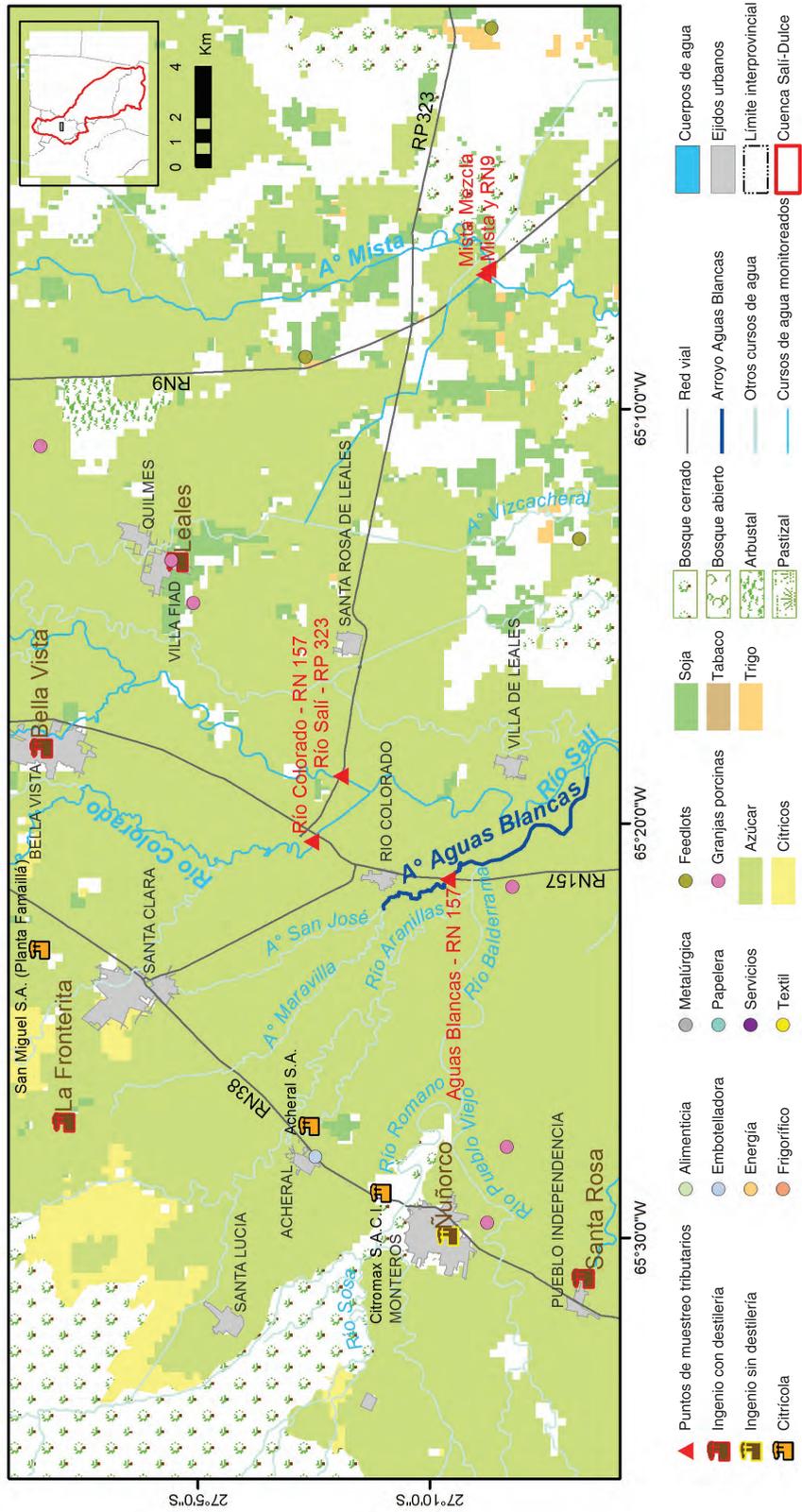


Figura 53 Usos del suelo de la subcuenca del Arroyo Aguas Blancas.

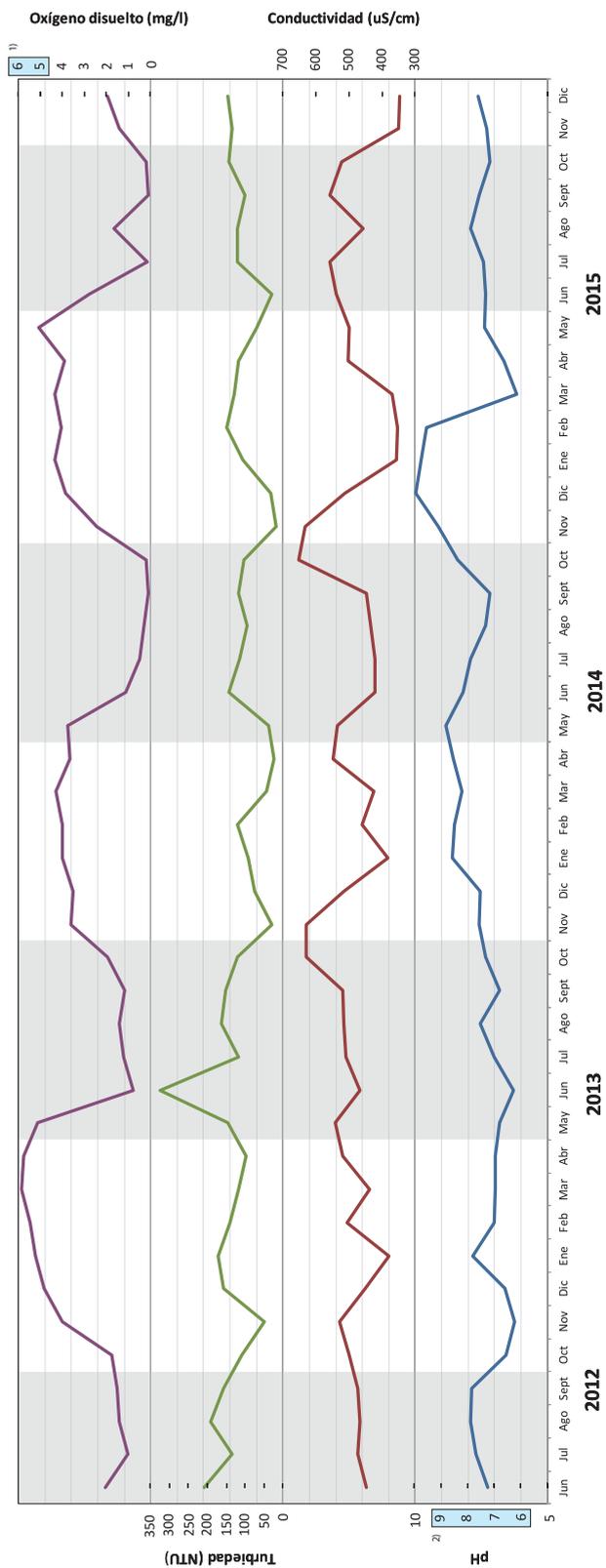


Figura 54 Calidad de agua del Arroyo Aguas Blancas. El área sombreada corresponde al período de estiaje.
 1) Los valores de OD mayores a 5 mg/l cumplen con las condiciones para protección de la vida acuática con exposición prolongada (Acumar 2009).
 2) Los valores de pH entre 6 y 9 cumplen con las condiciones para protección de la vida acuática con exposición prolongada (Acumar 2009).

AGUAS BLANCAS									
Parámetro	Estadístico	2012		2013		2014		2015	
		Húmedo	Estiaje	Húmedo	Estiaje	Húmedo	Estiaje	Húmedo	Estiaje
Temperatura	N	92	97	169	176	174	179	182	132
	Mín	20.72	14.20	17.12	9.57	15.37	10.24	17.29	16.48
	Máx	26.27	26.88	25.60	23.42	32.94	30.60	29.53	210.80
	Media	23.42	18.90	21.56	16.18	21.84	19.29	22.42	23.53
	Mediana	23.43	18.70	21.89	16.15	21.54	18.41	22.35	22.15
	Desv. Est.	1.42	2.54	2.33	2.88	2.76	3.99	2.47	16.62
pH	N	92	97	169	176	174	179	182	132
	Mín	1.88	5.40	5.75	4.57	5.54	4.61	5.53	5.09
	Máx	9.06	10.24	8.39	10.81	11.95	10.22	11.16	8.49
	Media	6.48	7.73	7.32	6.96	8.85	7.98	7.54	7.45
	Mediana	6.74	7.80	7.47	6.93	8.86	7.98	7.34	7.42
	Desv. Est.	1.04	0.86	0.68	0.86	1.05	0.83	1.27	0.53
Redox	N	92	97	169	176	174	179	182	132
	Mín	-164.00	-361.00	-118.00	-268.00	-67.00	-267.00	-153.00	-240.00
	Máx	426.00	289.00	374.00	350.00	380.00	178.00	502.00	238.00
	Media	129.83	-27.77	177.76	12.59	109.72	-16.77	216.90	-21.27
	Mediana	153.00	-25.00	154.00	-24.00	99.00	-25.00	201.50	-52.50
	Desv. Est.	160.50	91.20	88.63	125.98	78.34	79.37	153.41	89.37
Conductividad	N	92	97	169	176	174	179	182	132
	Mín	171.00	257.00	138.00	208.00	155.00	265.00	72.00	209.00
	Máx	701.00	928.00	785.00	813.00	1650.00	779.00	2820.00	1460.00
	Media	492.17	466.31	497.37	530.36	495.22	487.61	400.60	530.80
	Mediana	505.50	463.00	513.00	520.50	497.50	451.00	426.50	532.50
	Desv. Est.	96.71	79.27	140.40	91.14	163.45	113.46	225.09	117.61
Turbiedad	N	92	97	169	176	174	179	182	132
	Mín	0.00	3.77	8.64	1.35	0.00	16.40	0.00	2.40
	Máx	889.00	921.00	699.00	739.00	382.00	259.00	800.00	381.00
	Media	105.79	173.50	105.28	171.08	54.03	101.49	121.58	100.79
	Mediana	91.00	152.00	97.00	145.00	33.05	97.30	85.60	91.65
	Desv. Est.	132.83	140.15	94.79	99.60	53.47	57.55	138.29	68.36
Oxígeno disuelto	N	92	97	169	176	174	179	182	132
	Mín	0.41	0.00	2.49	0.38	0.00	0.00	0.00	0.00
	Máx	9.70	9.30	8.15	9.60	11.90	6.13	6.51	6.30
	Media	3.54	1.50	4.91	1.99	3.71	0.99	3.51	0.97
	Mediana	3.90	1.20	4.90	1.22	3.84	0.02	3.97	0.00
	Desv. Est.	1.78	1.20	1.26	1.92	1.29	1.46	1.70	1.82
Sólidos disueltos	N	92	97	169	176	174	179	182	132
	Mín	111.00	167.00	65.00	237.00	1.05	0.28	0.17	0.26
	Máx	509.00	593.00	831.00	520.00	787.00	540.00	769.00	935.00
	Media	321.96	303.38	323.65	343.44	311.69	280.90	245.58	316.15
	Mediana	326.00	302.00	329.00	334.00	322.50	282.00	272.50	336.00
	Desv. Est.	60.42	54.26	96.75	55.60	89.10	104.70	93.60	116.15

Tabla 14 Estadísticas descriptivas de las mediciones realizadas en el Arroyo Aguas Blancas.

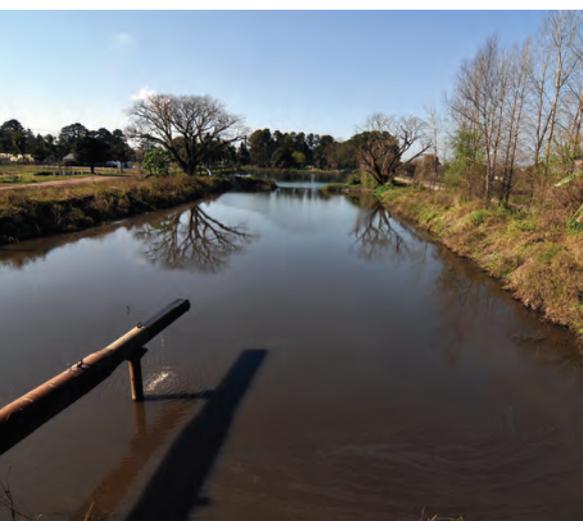


Figura 55 (arriba) Ingenio Fronterita - Disposición final de vinaza: Riego por rolapi.
Figura 56 (abajo izq.) Ingenio Fronterita - Lagunas de evaporación (40 has. aprox.).
Figura 57 (abajo der.) Ingenio Fronterita - Efluente general de fábrica.

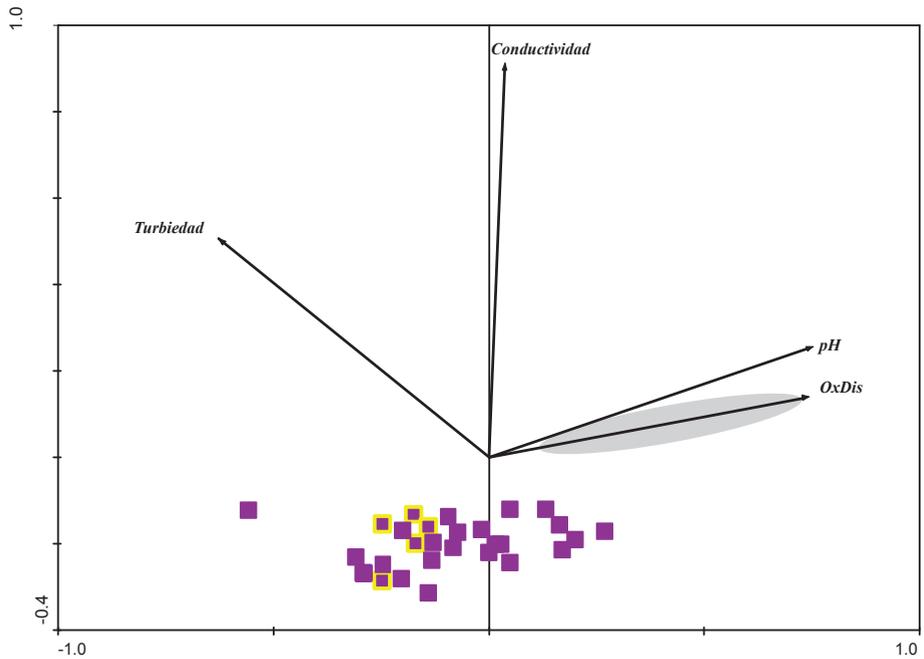


Figura 58 Representación gráfica del Análisis de Componentes Principales del Arroyo Aguas Blancas. Los puntos con contorno amarillo corresponden a la época de estiaje. La zona sombreada corresponde a la óptima calidad de agua (baja conductividad, alto OxDis, baja turbiedad y pH circunneutral).



Figura 59 Ingenio Fronterita - Filtro estático utilizado para separar las cenizas del agua de los scrubbers.

Río Colorado

Las nacientes del Río Colorado se encuentran en la vertiente oriental de los Cerros del Tafi. Desagua una extensa zona y tiene como afluentes principales al Río Faimallá, por su margen derecha, y al Arroyo Calimayo por la izquierda. El caudal medio anual de este río, para el año hidrológico 1959/60, fue de $1,73 \text{ m}^3/\text{s}$ (García, 2012). El lecho del Río Colorado es fangoso. La vegetación nativa de la cuenca de este curso de agua sólo se conserva en su parte más alta que se corresponde a la selva de las Yungas.

La calidad del agua del Río Colorado es inviable para el desarrollo de la vida acuática y es denunciada en forma sistemática por la Defensoría del Pueblo de Santiago del Estero.

Tanto el oxígeno como la conductividad presentan las oscilaciones esperadas para los períodos secos y húmedos (mayor cantidad de oxígeno disuelto en la época estival y de manera inversa la conductividad). Sin embargo, las cantidades de oxígeno disuelto se encuentran siempre por debajo del nivel guía para la protección de la vida acuática. Los promedios mensuales del pH muestran que los valores siempre se encuentran en el rango óptimo de 6 a 9, excepto un leve aumento

en la alcalinidad en el verano 2014-2015. La turbiedad muestra una distribución heterogénea, con picos en mayo de 2013 y marzo de 2015 (Figura 62). El Río Colorado atraviesa en su cuenca alta una zona de cultivos cítricos y luego avanza en el área cañera, pasando cerca de la localidad de Bella Vista. A pesar de que este curso de agua no recibe directamente efluentes de la industria azucarera, se ha registrado presencia de vinaza durante las tareas de campo, posiblemente volcada por camiones. Este río recibe efluentes directos de otros rubros potencialmente muy contaminantes, como ser papeleras (Papelería Tucumán, a través del Arroyo Totoral), alimenticias (ARCOR SAIC) y cítricos (San Miguel –Planta Faimallá– y El Carmen SA).

El Análisis de Componentes Principales muestra la asociación en el Río Colorado de conductividades altas con bajas concentraciones de OD (Figura 63).

En la Tabla 15 se presenta la estadística descriptiva básica, desglosada por año y época (húmeda y estiaje), para todos los parámetros muestreados.

Figura 60 Cosecha de caña de azúcar.



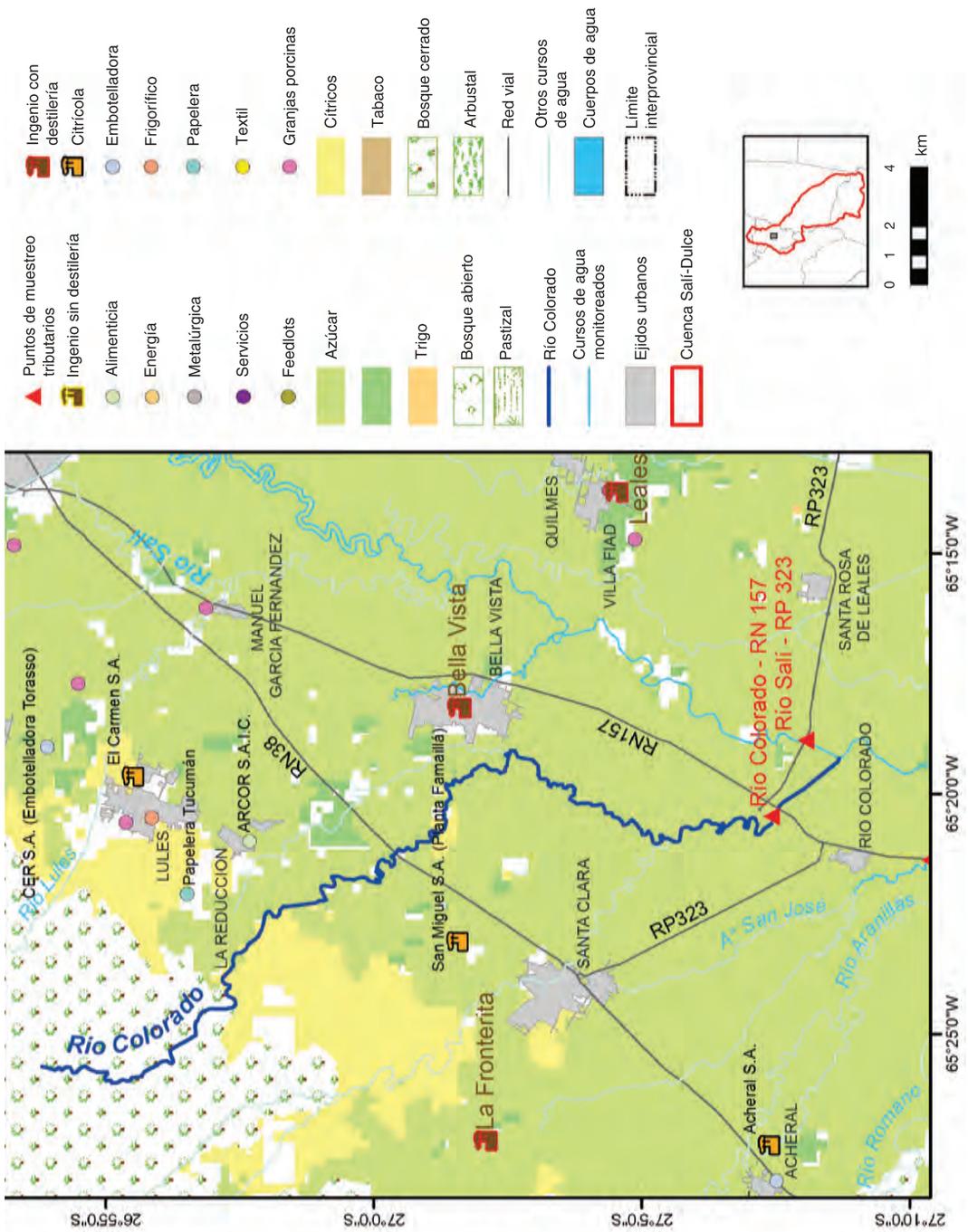


Figura 61 Usos del suelo de la subcuenca del Río Colorado.

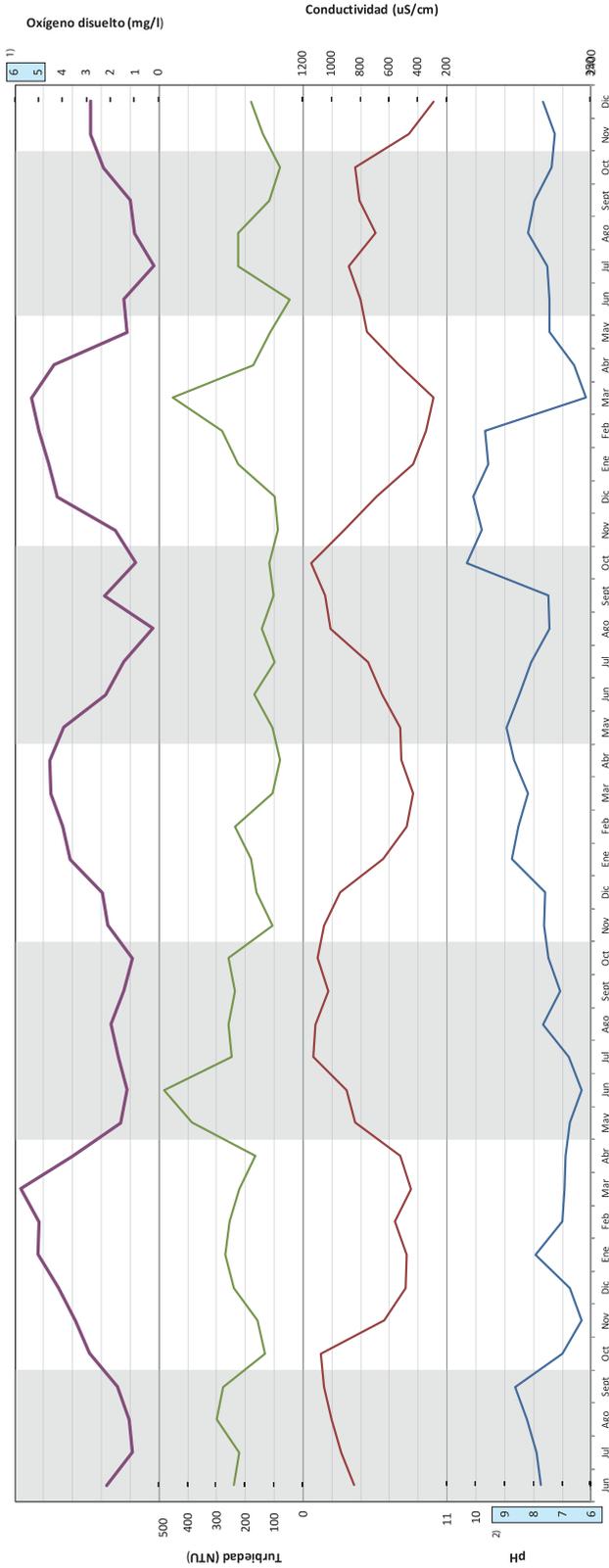


Figura 62 Calidad de agua del Río Colorado. El área sombreada corresponde al período de estiaje.
 1) Los valores de OD mayores a 5 mg/l cumplen con las condiciones para protección de la vida acuática con exposición prolongada (Acumar 2009).
 2) Los valores de pH entre 6 y 9 cumplen con las condiciones para protección de la vida acuática con exposición prolongada (Acumar 2009).

COLORADO									
Parámetro	Estadístico	2012		2013		2014		2015	
		Húmedo	Estiaje	Húmedo	Estiaje	Húmedo	Estiaje	Húmedo	Estiaje
Temperatura	N	90	97	171	174	174	177	182	132
	Mín	19.76	10.50	17.10	6.38	15.54	9.89	17.33	16.07
	Máx	29.85	26.30	28.08	24.88	32.76	34.67	31.01	32.11
	Media	23.88	17.39	22.50	14.62	22.79	18.07	22.74	21.31
	Mediana	24.00	17.60	22.68	14.03	22.11	16.60	22.65	20.97
	Desv. Est.	1.99	2.82	2.68	3.78	3.58	5.30	3.02	3.31
pH	N	90	97	171	174	174	177	182	132
	Mín	2.76	6.73	2.81	4.46	5.60	6.09	2.43	5.98
	Máx	9.50	11.90	8.54	11.52	12.91	12.36	10.75	8.93
	Media	6.70	8.20	7.33	7.00	9.01	8.48	7.54	7.67
	Mediana	7.00	8.10	7.51	6.95	9.01	8.34	7.46	7.55
	Desv. Est.	1.02	0.94	0.87	0.92	1.22	1.21	1.30	0.52
Redox	N	90	97	171	174	174	177	182	132
	Mín	-310.00	-352.00	-161.00	-279.00	-175.00	-350.00	-44.00	-160.00
	Máx	439.00	200.00	365.00	291.00	382.00	204.00	640.00	796.00
	Media	143.39	-35.06	162.41	22.68	98.90	-6.44	232.20	6.08
	Mediana	132.00	-7.00	148.00	9.00	94.00	3.00	206.00	-6.50
	Desv. Est.	153.27	116.16	104.48	110.07	84.90	85.83	145.53	98.24
Conductividad	N	90	97	171	174	174	177	182	132
	Mín	143.00	670.00	100.00	472.00	143.00	187.00	102.00	426.00
	Máx	1310.00	1200.00	1390.00	1330.00	2160.00	1410.00	997.00	1790.00
	Media	741.11	974.13	666.54	1011.80	614.26	859.87	453.36	809.70
	Mediana	652.50	978.00	590.00	1060.00	591.00	887.00	410.00	805.50
	Desv. Est.	285.70	114.39	290.35	165.76	254.42	251.95	189.85	133.87
Turbiedad	N	90	97	171	174	174	177	182	132
	Mín	0.00	2.91	0.00	2.20	0.00	0.00	3.32	1.06
	Máx	800.00	506.00	841.00	907.00	1000.00	1000.00	800.00	1213.00
	Media	174.41	266.22	196.22	314.74	129.43	122.84	220.21	128.64
	Mediana	130.50	279.00	171.00	274.00	93.90	98.80	146.50	106.50
	Desv. Est.	125.54	90.98	124.81	146.09	137.71	105.12	211.92	128.94
Oxígeno disuelto	N	90	97	171	174	174	177	182	132
	Mín	0.71	0.00	0.30	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00
	Máx	9.78	9.90	12.73	9.31	11.09	6.32	8.10	4.35
	Media	3.51	1.55	3.99	1.52	3.79	1.84	3.61	1.30
	Mediana	3.52	1.20	3.94	1.12	3.95	1.68	3.93	1.29
	Desv. Est.	1.67	1.29	1.96	1.17	1.53	1.74	1.85	1.21
Sólidos disueltos	N	90	97	171	174	174	177	182	132
	Mín	53.00	266.00	65.00	59.00	1.39	0.66	0.44	0.44
	Máx	837.00	767.00	891.00	850.00	723.00	904.00	536.00	1150.00
	Media	471.24	619.82	425.50	644.32	385.74	490.99	283.22	478.85
	Mediana	411.50	626.00	378.00	676.50	374.50	478.00	260.50	512.00
	Desv. Est.	186.48	79.07	183.09	115.53	146.92	205.78	124.94	161.23

Tabla 15 Estadísticas descriptivas de las mediciones realizadas en el Río Colorado.

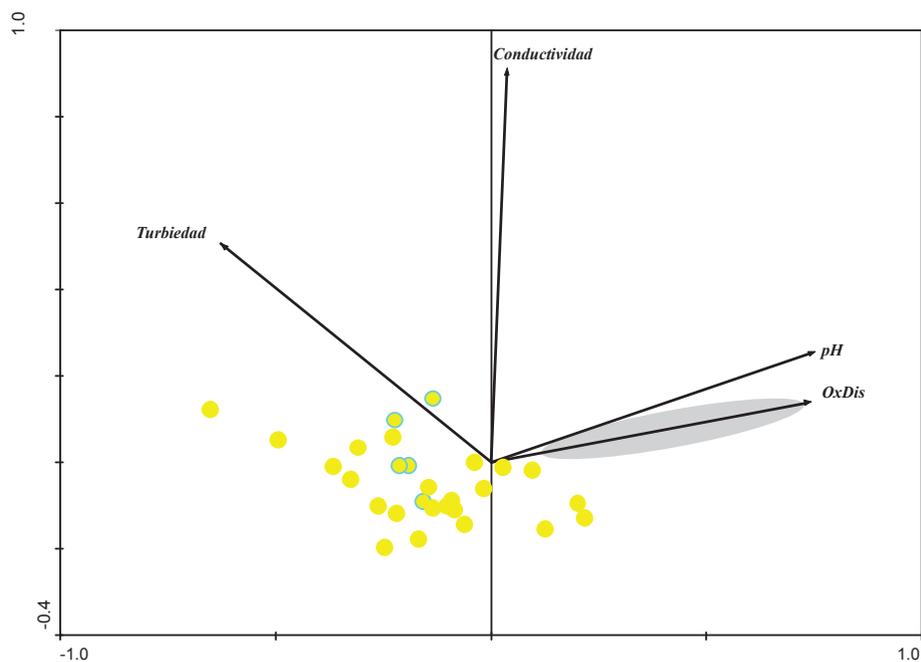


Figura 63 Representación gráfica del Análisis de Componentes Principales del Río Colorado. Los puntos con circunferencia celeste corresponden a la época de estiaje. La zona sombreada corresponde a la óptima calidad de agua (baja conductividad, alto OxDis, baja turbiedad y pH circunneutral).



Figura 64 Área cañera en la zona norte de la cuenca alta del Salí.

Río Salí

El Río Salí nace con el nombre de Río Tala, en el límite entre las provincias de Salta y Tucumán. Toma el nombre Salí desde el punto en que recibe por su margen izquierda al Río Candelaria, a 55km de sus nacientes. Atraviesa de norte a sur la parte central de la Provincia de Tucumán en un recorrido de 255km, hasta el Embalse de Río Hondo, sirviendo de desagüe natural a todos los cursos que bajan de la falda oriental de las sierras Calchaquíes, Carahuasi y del Aconquija, y de las vertientes occidentales de las sierras de La Candelaria, Nogalito y Burreyacú (García, 2012). El Salí aporta el 52% del agua que ingresa al Embalse Río Hondo (SRH, 2007) y de acuerdo a los caudales registrados durante los años 1913 y 1967, el máximo y el mínimo medio mensual fueron de $194\text{m}^3/\text{s}$ y $1\text{m}^3/\text{s}$ respectivamente (JMB, 2005). Su lecho es de tipo fangoso. Respecto de la modificación de la cobertura del suelo, sólo se conservan, con distinto grado de transformación, los bosques y arbustales cerrados en la zona de la naciente y la desembocadura. Este río presentaba en 2006 y 2007 olor irritante y séptico, ceniza en suspensión y material viscoso sedimentado en las orillas (SRH, 2007).

Durante el desarrollo del Programa de Monitoreo Permanente, el Río Salí mantuvo condiciones cercanas a la anoxia: el oxígeno disuelto presenta un patrón oscilante con valores muy bajos, cercanos al cero, en los momentos de estiaje, que ascienden levemente en la época estival. Sin embargo, los valores más altos sólo superaron el nivel guía de $5\text{mg}/\text{l}$ para protección de la vida acuática en el otoño de 2013 y 2015. La turbiedad ha mostrado valores relativamente bajos durante todo el período analizado, exceptuando un importante pico en marzo de 2015 (posiblemente asociado

al inicio del período de lluvias), el cual coincide con un marcado descenso de pH. Por su parte, los promedios mensuales de pH se mantuvieron dentro del rango sugerido para protección de la vida acuática, a excepción del verano 2014-2015 que superaron el valor guía de 9. La conductividad presentó resultados muy elevados durante el estiaje, disminuyendo significativamente con la llegada de las precipitaciones, con descensos muy pronunciados a comienzos y fines de 2015 (Figura 71).

El Río Salí es el que aporta la mayor carga contaminante al Embalse de Río Hondo. Este río recibe los efluentes de los Ingenios Concepción, San Juan y Bella Vista. Durante la zafra la calidad del agua desmejora notablemente y genera en muchos casos mortalidad de peces. A pesar de los compromisos de vinaza y ceniza cero, el Programa de Monitoreo Permanente ha detectado vuelcos puntuales, los cuales fueron denunciados inmediatamente e interrumpidos. La Secretaría de Estado de Medio Ambiente de Tucumán ha sancionado administrativamente a las empresas responsables con multas, lo que llevó a que en el año 2015 el Ingenio San Juan no fue autorizado a destilar.

Asimismo, el Río Salí recibe los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas servidas del Gran Tucumán, los vertidos de empresas citrícolas (El Carmen SA y Citrusvil SA), frigoríficas, metalúrgicas, textiles y alimenticias. Además, en la cuenca de este río se ubican numerosos *feedlots* y granjas porcinas.

El Análisis de Componentes Principales muestra, para el Río Salí, las altas conductividades asociadas a bajas concentraciones de OD (Figura 72).

En la Tabla 16 se presenta la estadística descriptiva básica, desglosada por año y época (húmeda y estiaje), para todos los parámetros muestreados.



Figura 65 (arriba)
Ingenio Concepción - Canal de efluente general de fábrica.



Figura 66 (abajo)
Ingenio Concepción - Pileta de contingencia de acopio en campo de vinaza



Figura 67 (arriba)
Ingenio San Juan - Pileta de acopio transitorio
de vinaza en planta.

Figura 68 (abajo)
Ingenio San Juan - Acopio de ceniza en planta.



Figura 69

Ingenio Bella Vista - Pileta de acopio transitorio de vinaza en planta.

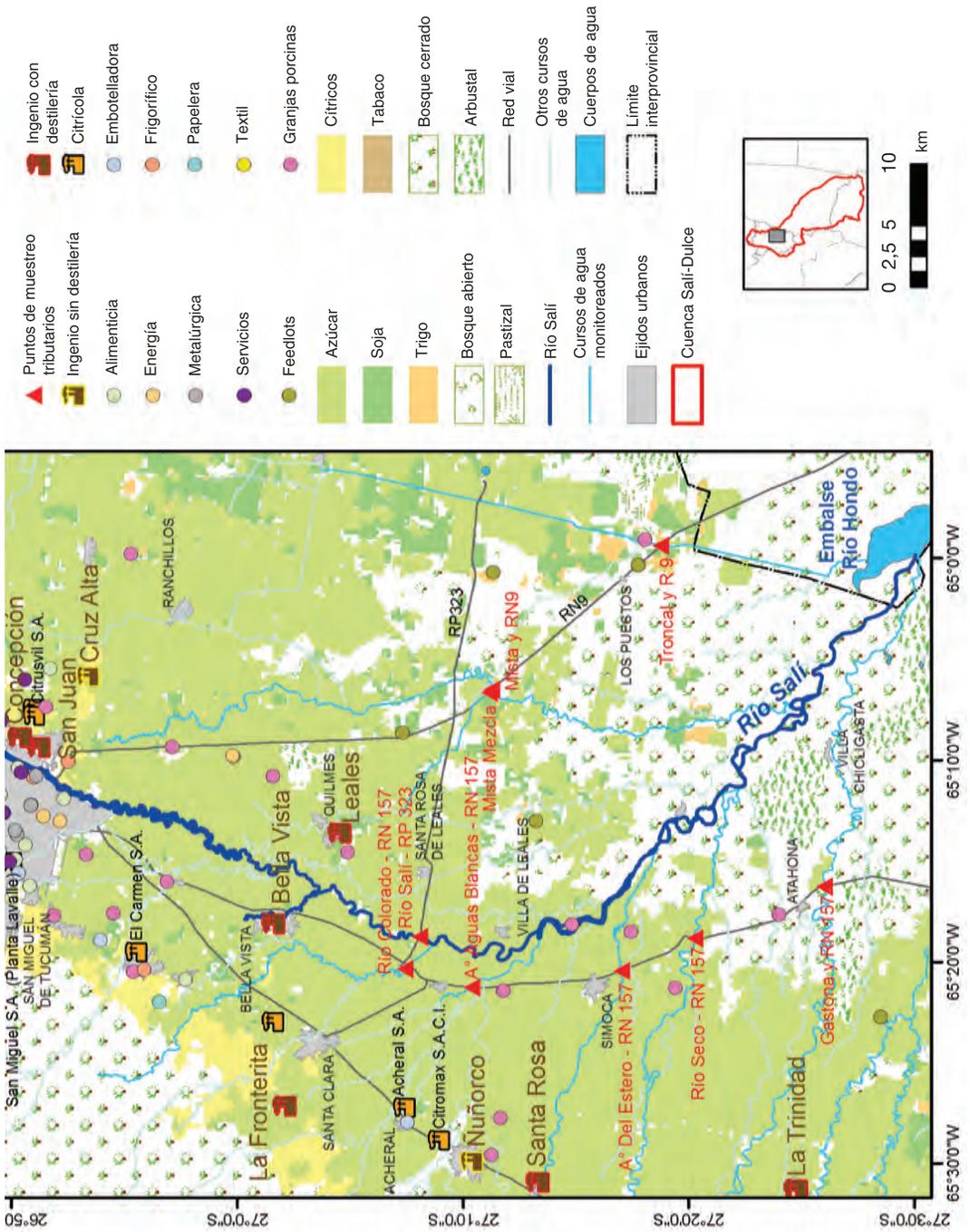


Figura 70 Usos del suelo de la subcuenca del Río Salí.

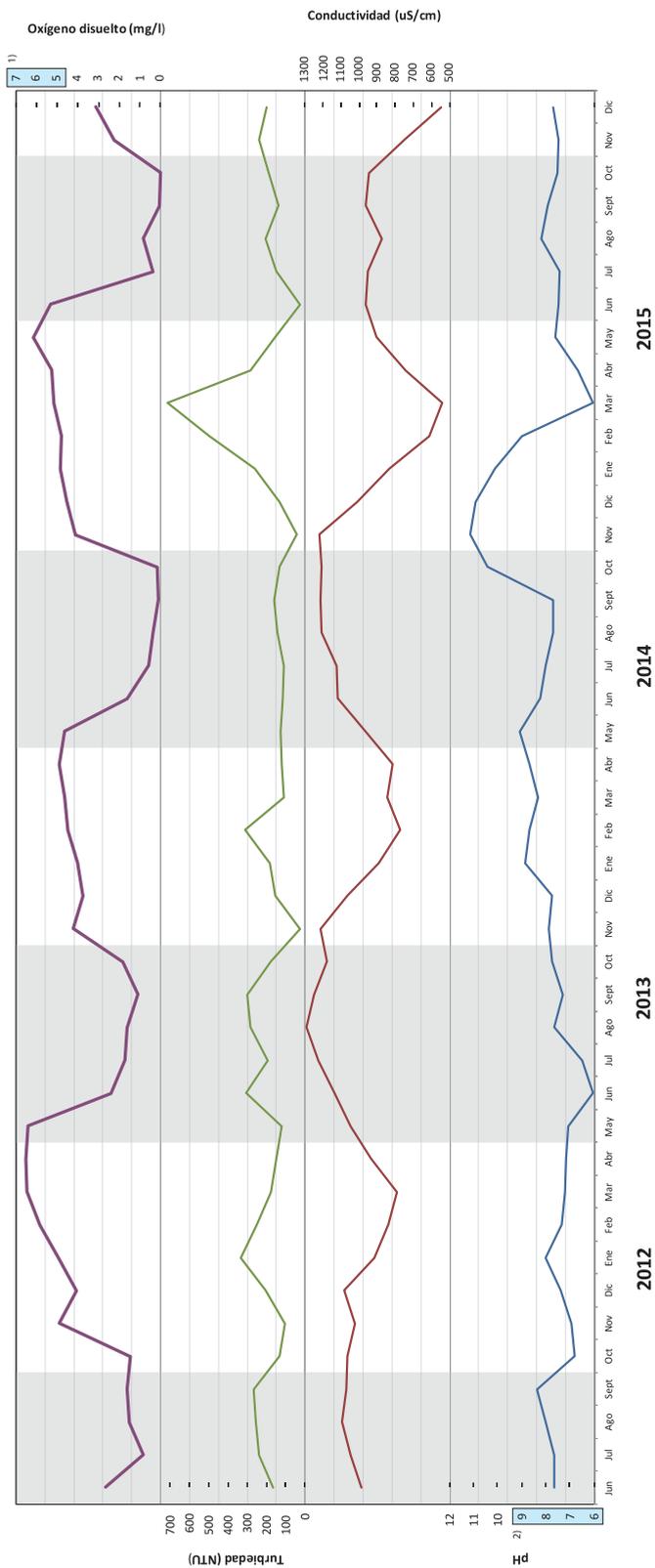


Figura 71 Calidad de agua del Río Sali. El área sombreada corresponde al período de estiaje.
 1) Los valores de OD mayores a 5 mg/l cumplen con las condiciones para protección de la vida acuática con exposición prolongada (Acumar 2009).
 2) Los valores de pH entre 6 y 9 cumplen con las condiciones para protección de la vida acuática con exposición prolongada (Acumar 2009).

SALI									
Parámetro	Estadístico	2012		2013		2014		2015	
		Húmedo	Estiaje	Húmedo	Estiaje	Húmedo	Estiaje	Húmedo	Estiaje
Temperatura	N	92.00	100.00	169.00	178.00	173.00	179.00	182.00	140.00
	Mín	20.70	11.30	17.55	7.37	15.78	10.61	17.84	12.98
	Máx	29.11	27.32	29.28	26.34	32.20	33.99	33.92	32.48
	Media	24.64	18.47	23.19	15.62	23.61	19.27	23.74	22.93
	Mediana	24.64	18.45	23.36	15.11	23.17	17.65	23.60	22.89
	Desv. Est.	1.99	3.04	2.79	3.73	3.65	5.22	3.26	3.76
pH	N	92.00	100.00	169.00	178.00	173.00	179.00	182.00	140.00
	Mín	4.29	6.20	2.87	3.06	5.73	6.88	4.40	4.44
	Máx	10.50	12.31	8.73	11.19	12.70	12.07	12.37	8.73
	Media	7.05	8.00	7.56	7.06	9.45	8.54	7.57	7.72
	Mediana	7.08	7.96	7.75	7.20	9.21	8.18	7.53	7.65
	Desv. Est.	0.80	0.94	0.80	1.19	1.54	1.17	1.28	0.63
Redox	N	92.00	100.00	169.00	178.00	173.00	179.00	182.00	140.00
	Mín	-367.00	-487.00	-135.00	-234.00	-204.00	-410.00	-257.00	-320.00
	Máx	332.00	259.00	376.00	377.00	387.00	180.00	537.00	1020.00
	Media	77.32	-162.48	175.05	35.34	108.01	-67.73	231.97	-76.56
	Mediana	135.50	-215.00	159.00	-4.00	99.00	-31.00	210.50	-100.00
	Desv. Est.	196.93	165.17	93.98	138.44	81.76	133.14	148.37	174.86
Conductividad	N	92.00	100.00	169.00	178.00	173.00	179.00	182.00	140.00
	Mín	407.00	932.00	405.00	557.00	304.00	191.00	194.00	572.00
	Máx	1290.00	1360.00	1340.00	1470.00	2763.00	1350.00	1810.00	2130.00
	Media	1056.66	1059.21	958.90	1187.87	931.14	1141.90	698.98	942.78
	Mediana	1080.00	1070.00	1000.00	1215.00	929.00	1170.00	662.00	947.00
	Desv. Est.	135.37	57.10	228.27	134.94	274.89	134.23	203.55	120.09
Turbiedad	N	92.00	100.00	169.00	178.00	173.00	179.00	182.00	140.00
	Mín	0.00	16.50	0.00	2.00	0.00	1.29	0.00	1.70
	Máx	800.00	885.00	1000.00	706.00	1000.00	723.00	800.00	873.00
	Media	148.97	235.89	182.31	229.63	147.52	131.60	334.72	140.73
	Mediana	127.00	241.00	136.00	219.00	96.30	120.00	245.50	139.50
	Desv. Est.	114.14	115.53	191.71	125.08	186.68	90.74	271.70	101.53
Oxígeno disuelto	N	92.00	100.00	169.00	178.00	173.00	179.00	182.00	140.00
	Mín	0.73	0.00	2.19	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00
	Máx	10.21	12.94	10.10	11.63	11.75	10.20	8.19	6.68
	Media	3.46	1.67	5.29	2.55	4.47	1.24	4.48	1.36
	Mediana	3.59	1.22	5.01	1.33	4.38	0.00	4.75	0.00
	Desv. Est.	1.90	1.55	1.46	2.38	1.26	1.91	1.65	2.24
Sólidos disueltos	N	92	100	169	178	173	179	182	140
	Mín	265.00	597.00	39.00	53.00	1.56	0.74	0.69	0.50
	Máx	823.00	734.00	857.00	942.00	840.00	879.00	1160.00	1360.00
	Media	677.02	676.59	573.47	713.43	542.06	618.06	447.12	542.97
	Mediana	691.50	683.00	598.00	764.50	566.00	738.00	423.00	601.00
	Desv. Est.	86.10	30.87	190.41	191.28	213.55	265.54	138.19	196.43

Tabla 16 Estadísticas descriptivas de las mediciones realizadas en el Río Salí.

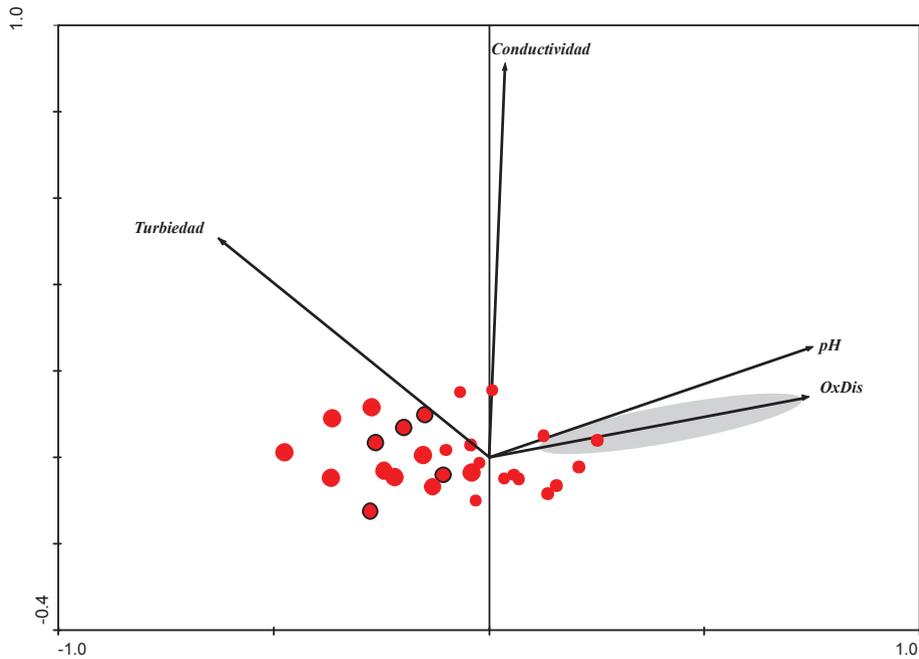


Figura 72 Representación gráfica del Análisis de Componentes Principales del Río Salí. Los puntos con circunferencia azul corresponden a la época de estiaje. La zona sombreada corresponde a la óptima calidad de agua (baja conductividad, alto OxDis, baja turbiedad y pH circunneutral).



Figura 73 Ingenio Bella Vista - Acopio transitorio de bagazo (adelante).

Arroyo Mista

El Arroyo Mista no posee un nacimiento definido sino que se forma del escurrimiento natural de la planicie ubicada al este del Río Salí, desembocando en ese río aproximadamente 20km antes de que éste llegue al Embalse de Río Hondo. El Mista aporta el 1% del agua que ingresa al embalse, con un caudal máximo de 1,92m³/s (marzo 2007) y un mínimo de 0,48m³/s (octubre 2006). El lecho de este arroyo es de tipo pantanoso (SRH, 2007).

Un estudio realizado en 2006 y 2007 señalaba el mal aspecto del agua en la época seca, de color verdoso, celeste o blanco, según la fecha, y olor fétido. Asimismo, llamaba la atención la elevada presencia de moscas y la ausencia de aves en sus inmediaciones (SRH 2007).

Durante el período muestreado el oxígeno disuelto presenta un comportamiento oscilante, con mayores valores en la época seca y más bajos del nivel guía en el período húmedo. La turbiedad muestra siempre valores bajos con leves aumentos durante el incremento de caudal por precipitaciones. La conductividad presenta valores muy altos, lo cual está más relacionado con el tipo de suelo que atraviesa –de tipo salinosódico– que con contaminación de origen antrópico. El pH se mantuvo, en promedio, dentro del rango adecuado para protección de la vida acuática, sólo superando el límite de 9 en el verano 2014-2015 (Figura 77).

Hasta 2012 el ingenio Leales volcaba sus efluentes en este curso de agua a través de un canal (que se analiza a continuación). Sin embargo, en el punto de muestreo, el Arroyo Mista no recibe aportes directos de la industria azucarera. En la primera mitad de su trayecto atraviesa una

zona exclusivamente cañera, con presencia de *feedlots* y granjas porcinas, desembocando en el Río Salí, luego de atravesar una zona de bosques y arbustales cerrados.

El Análisis de Componentes Principales muestra la alta conductividad del Arroyo Mista, asociado a pH básico, y ocasionales con concentraciones de OD más elevadas (Figura 78).

En la Tabla 17 se presenta la estadística descriptiva básica, en esta sección del arroyo, desglosada por año y época (húmeda y estiaje) para todos los parámetros muestreados.

Canal “Mista Mezcla” Este cauce es un canal de desagüe pluvial de campos, cuyo lecho es de tierra y el cual sólo presenta agua en la época húmeda. El canal no tiene nombre, aunque en este informe se lo llama “Mista Mezcla” ya que descarga sus aguas en el Arroyo Mista, cuando éste intercepta la RN9 (Figura 74). Luego, a pocos kilómetros de allí el Arroyo Mista desemboca en el Río Salí.

Durante el período estudiado, el oxígeno disuelto presentó, en general, valores inferiores a los 5mg/l recomendados para protección de la vida acuática pero la turbiedad se mantuvo muy baja y el pH osciló dentro del rango normado. De febrero a abril de 2014 se registró un incremento abrupto de la conductividad. Por tratarse de un curso de agua artificial, el caudal del canal “Mista Mezcla” está fuertemente asociado a la presencia de precipitaciones y la existencia de vuelcos industriales (Figura 81).

Hasta el año 2012, el Ingenio Leales utilizaba este canal para transportar sus efluentes hacia el Arroyo Mista. Desde la implementación del Programa de Monitoreo Permanente, este ingenio ha mejorado paulatinamente su gestión ambiental, y en la actualidad dispone todos sus efluentes en campos propios.

Posee un piletón sobreelevado a partir del cual se dispersan, por escurrimiento laminar en terrenos de sacrificio, los efluentes que luego se evaporan. A pesar de ello, se han presentado algunos episodios esporádicos de vuelcos, los cuales han sido informados a la autoridad de aplicación correspondiente.

El punto de muestreo se encuentra antes de la intercepción de este canal con el Arroyo Mista para poder diferenciar, en el marco del Programa de Monitoreo Permanente, los responsables de los distintos tipos de vuelcos.

Debido a la escasa cantidad de muestras, no se ha realizado para este curso de agua el Análisis de Componentes Principales.

En la Tabla 18 se presenta la estadística descriptiva básica, desglosada por año y época (húmeda y estiaje), para todos los parámetros muestreados sobre este canal.



Figura 74

Detalle de la ubicación de los puntos de muestreo Mista y Mista Mezcla.

Figura 75 (abajo)

Ingenio Leales - Piletas de acopio transitorio de vinaza.



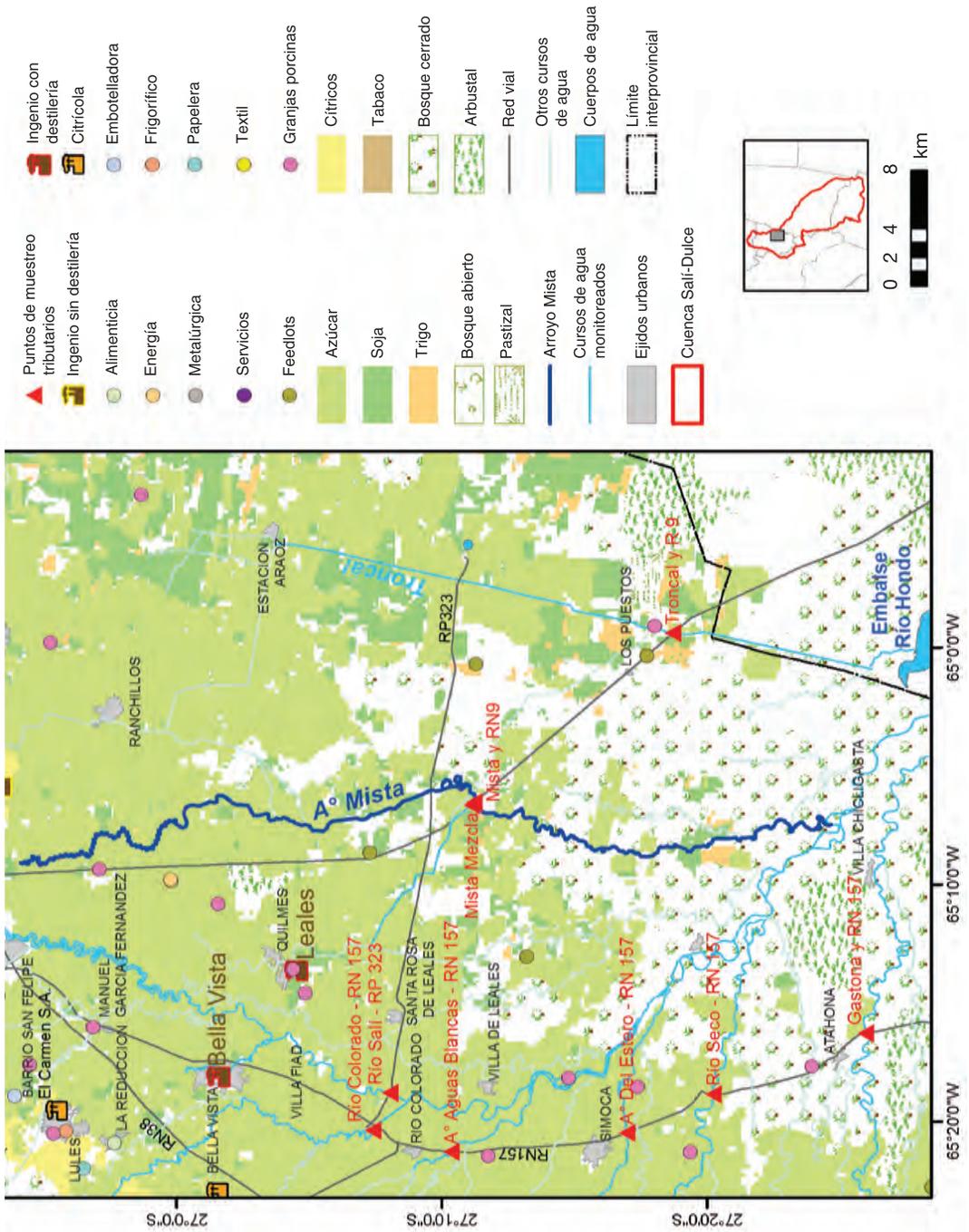


Figura 76 Usos del suelo de la subcuenca del Arroyo Mista.

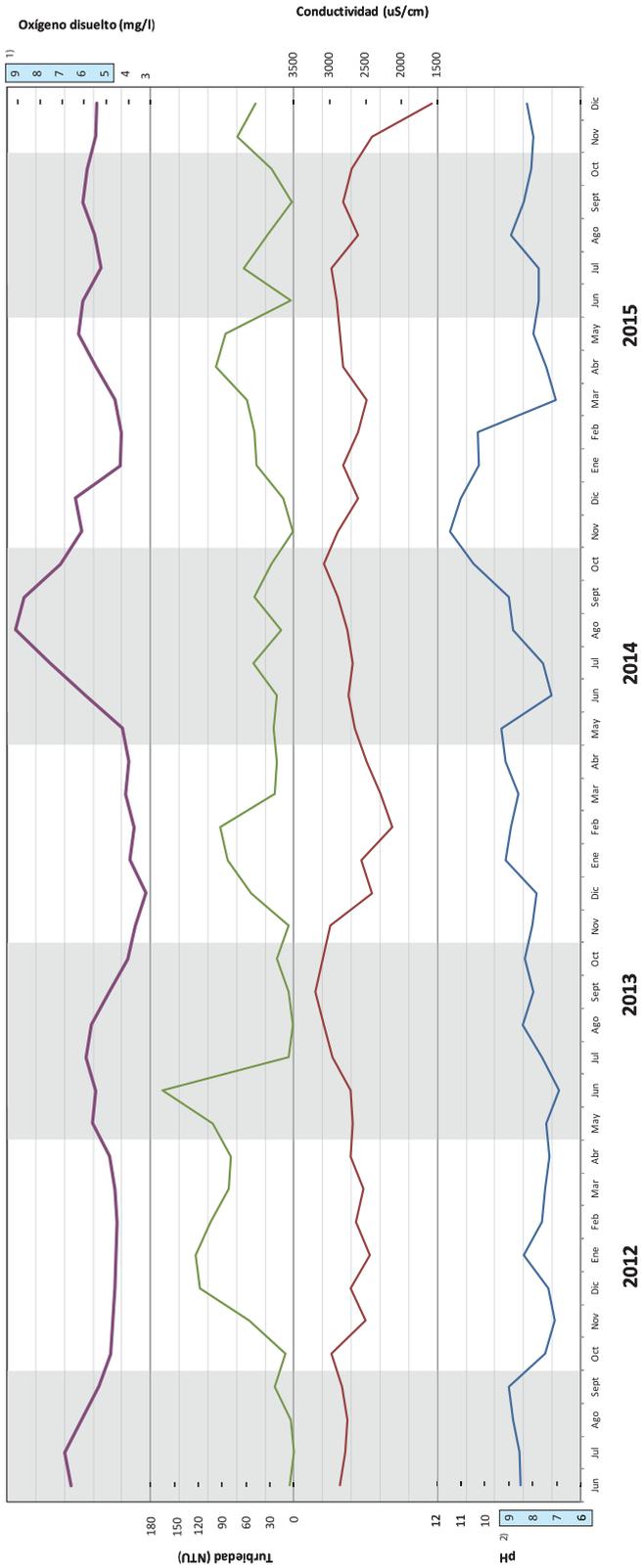


Figura 77 Calidad de agua del Arroyo Mista. El área sombreada corresponde al período de estiaje.
 1) Los valores de OD mayores a 5 mg/l cumplen con las condiciones para protección de la vida acuática con exposición prolongada (Acumar 2009).
 2) Los valores de pH entre 6 y 9 cumplen con las condiciones para protección de la vida acuática con exposición prolongada (Acumar 2009).

MISTA									
Parámetro	Estadístico	2012		2013		2014		2015	
		Húmedo	Estiaje	Húmedo	Estiaje	Húmedo	Estiaje	Húmedo	Estiaje
Temperatura	N	92	94	163	176	174	178	181	139
	Mín	19.48	10.70	17.73	6.06	10.06	10.68	16.46	2.59
	Máx	29.91	25.50	28.39	26.64	31.72	29.47	32.82	26.76
	Media	24.58	16.90	23.18	14.83	23.08	18.78	23.62	19.87
	Mediana	24.49	16.90	23.42	14.17	22.76	18.18	23.61	19.75
	Desv. Est.	2.24	3.19	2.75	4.03	3.08	4.08	3.13	3.36
pH	N	92	94	163	176	174	178	181	139
	Mín	3.42	7.00	2.85	5.08	6.64	5.57	6.26	6.51
	Máx	9.52	12.39	8.92	11.73	13.42	13.11	12.11	9.39
	Media	7.32	8.77	7.78	7.79	9.73	8.76	8.23	8.18
	Mediana	7.48	8.74	7.95	7.87	9.55	8.88	8.06	8.11
	Desv. Est.	0.81	0.88	0.82	0.84	1.39	1.53	1.22	0.65
Redox	N	92	94	163	176	174	177	181	139
	Mín	-56.00	-120.00	-162.00	-174.00	-181.00	-190.00	-16.00	-159.00
	Máx	345.00	211.00	361.00	347.00	372.00	620.00	465.00	295.00
	Media	143.50	40.13	163.38	75.49	99.93	58.19	220.49	20.41
	Mediana	133.00	43.50	144.00	38.50	98.00	62.00	190.00	16.00
	Desv. Est.	86.93	72.89	92.59	113.04	79.83	83.00	133.34	65.00
Conductividad	N	92	94	163	176	174	178	183	140
	Mín	1100.00	2540.00	302.00	2120.00	578.00	1260.00	603.00	1180.00
	Máx	3410.00	2970.00	3490.00	3390.00	598.00	3330.00	3260.00	3890.00
	Media	2730.22	2802.02	2621.18	2949.32	2685.56	2803.04	2490.48	2801.57
	Mediana	2850.00	2795.00	2760.00	2950.00	2580.00	2780.00	2760.00	2905.00
	Desv. Est.	459.58	75.60	531.50	237.82	2385.67	215.46	634.26	414.70
Turbiedad	N	92	94	163	176	174	178	181	139
	Mín	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Máx	800.00	100.00	512.00	193.00	240.00	167.00	800.00	301.00
	Media	61.44	9.78	76.09	52.05	38.06	31.54	67.58	24.55
	Mediana	10.50	0.00	91.00	9.00	21.35	22.65	55.20	7.90
	Desv. Est.	121.30	17.46	64.62	67.01	40.47	32.59	90.86	39.65
Oxígeno disuelto	N	92	94	163	176	174	177	181	139
	Mín	1.01	0.44	0.68	1.45	1.99	0.80	1.60	0.41
	Máx	12.32	13.40	11.89	15.10	15.32	20.90	15.73	12.08
	Media	5.39	8.24	4.53	6.57	5.48	10.23	6.46	7.56
	Mediana	4.56	8.21	4.44	6.59	4.28	9.84	6.35	7.60
	Desv. Est.	2.36	2.08	2.01	2.17	3.07	4.40	2.48	1.88
Sólidos disueltos	N	92	94	163	176	174	178	181	139
	Mín	706.00	1630.00	347.00	990.00	1.18	1.00	1.01	1.05
	Máx	2180.00	1900.00	2240.00	2160.00	1950.00	1950.00	4800.00	2490.00
	Media	1747.30	1792.61	1689.12	1879.49	1211.09	1467.55	1447.21	1395.33
	Mediana	1830.00	1790.00	1770.00	1880.00	1560.00	1755.00	1720.00	1760.00
	Desv. Est.	293.64	50.07	320.24	168.54	683.83	667.36	611.50	766.82

Tabla 17 Estadísticas descriptivas de las mediciones realizadas en el Arroyo Mista.

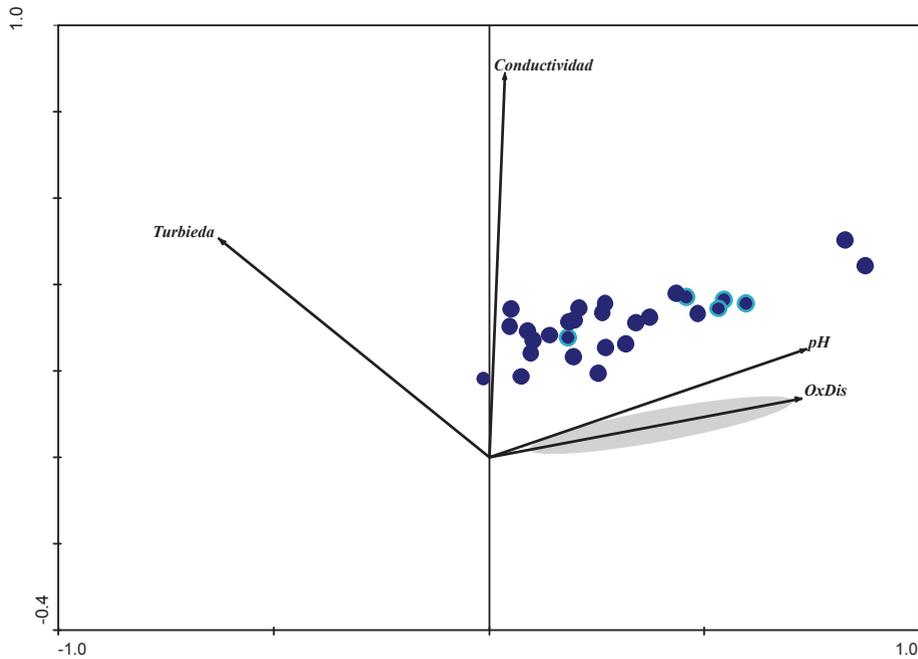


Figura 78 Representación gráfica del Análisis de Componentes Principales del Arroyo Mista. Los puntos con circunferencia celeste corresponden a la época de estiaje. La zona sombreada corresponde a la óptima calidad de agua (baja conductividad, alto OxDis, baja turbiedad y pH circunneutral).



Figura 79 Ingenio Leales - Tareas de preparación de compost con cachaza, ceniza y vinaza.

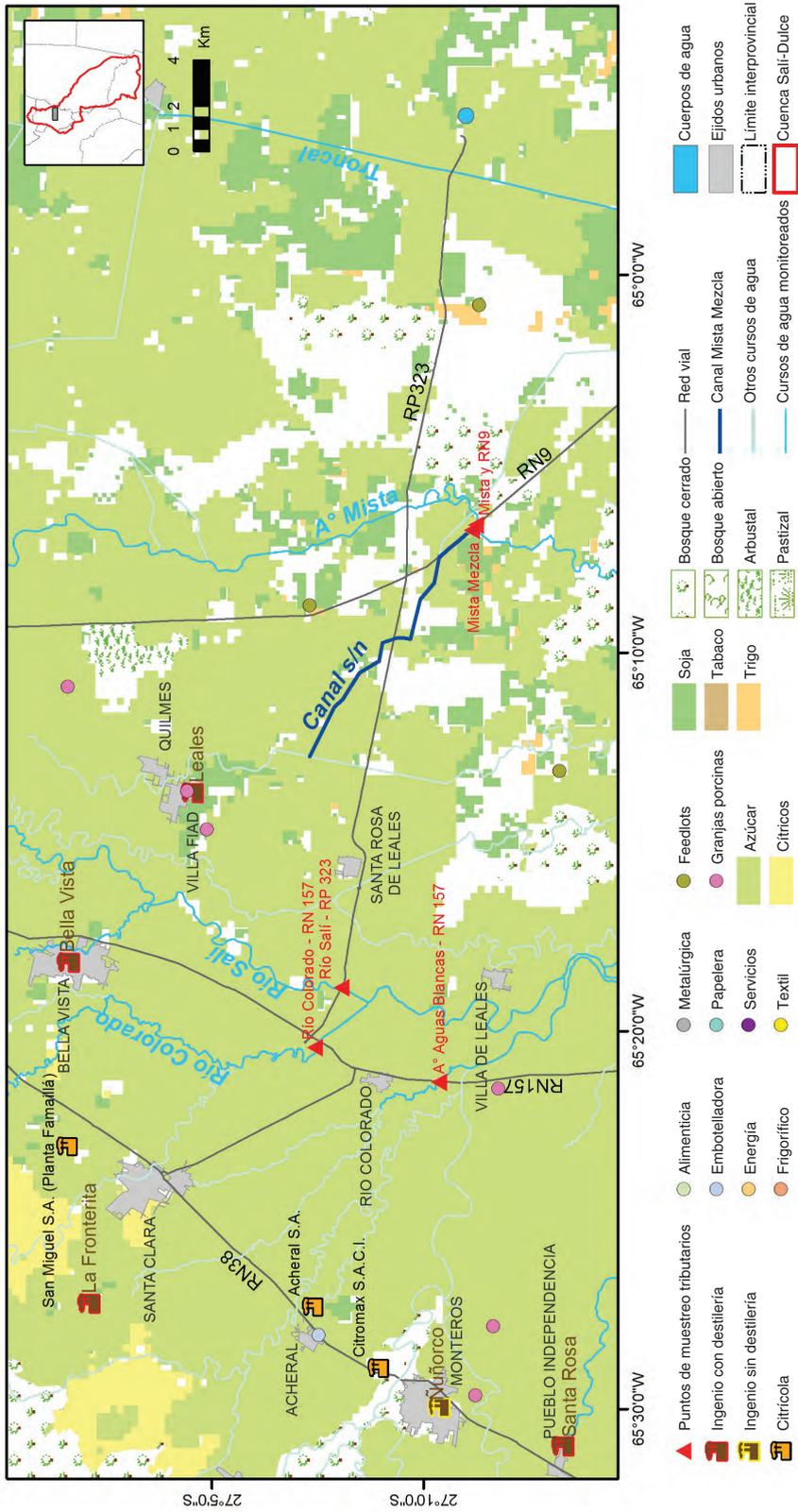


Figura 80 Usos del suelo del entorno del canal Mista Mezcla.

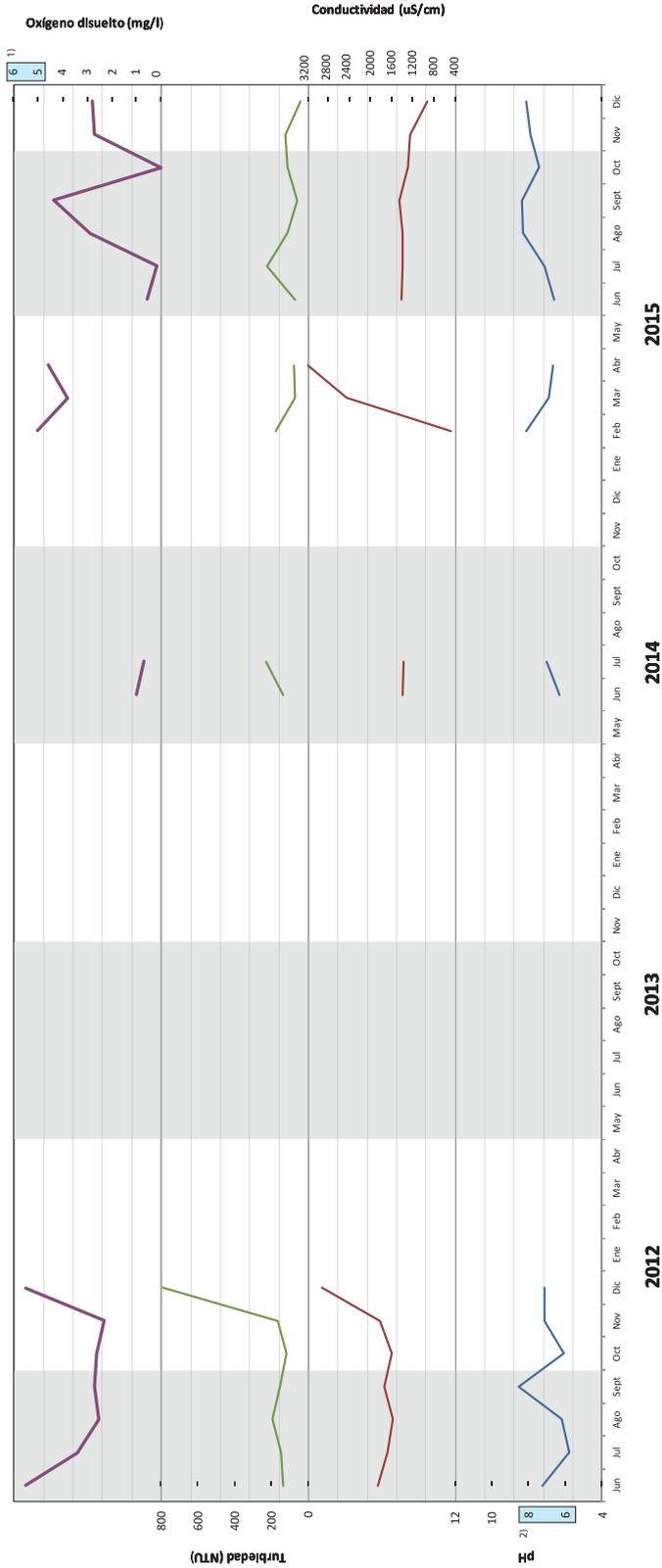


Figura 81 Calidad de agua del canal Mista Mezcla. El área sombreada corresponde al período de estiaje.
 1) Los valores de OD mayores a 5 mg/l cumplen con las condiciones para protección de la vida acuática con exposición prolongada (Acumar 2009).
 2) Los valores de pH entre 6 y 9 cumplen con las condiciones para protección de la vida acuática con exposición prolongada (Acumar 2009).

MISTA MEZCLA								
Parámetro	Estadístico	2012		2013	2014		2015	
		Húmedo	Estiaje	Estiaje	Húmedo	Estiaje	Húmedo	Estiaje
Temperatura	N	47	99	17	1	42	74	95
	Mín	18.29	0.78	11.75	26.39	11.58	18.99	13.44
	Máx	26.58	25.32	16.14	26.39	18.84	30.26	26.48
	Media	22.87	16.76	13.77	26.39	15.93	23.79	19.13
	Mediana	22.98	17.00	13.60	N/A	16.06	23.77	18.85
	Desv. Est.	2.22	3.60	1.27	N/A	1.85	2.51	2.57
pH	N	47	99	17	1	40	74	95
	Mín	3.76	5.00	3.89	11.17	5.02	5.56	5.05
	Máx	7.68	12.67	6.36	11.17	151.00	9.16	9.48
	Media	6.46	7.05	4.96	11.17	6.57	7.71	7.69
	Mediana	7.09	6.54	5.05	N/A	6.43	7.88	7.78
	Desv. Est.	1.19	1.52	0.55	N/A	1.12	0.71	1.06
Redox	N	47	99	17	1	42	74	95
	Mín	-115.00	-236.00	59.00	237.00	-120.00	-101.00	-253.00
	Máx	335.00	219.00	153.00	237.00	132.00	473.00	252.00
	Media	41.06	25.07	106.53	237.00	71.18	169.68	-27.89
	Mediana	33.00	34.00	99.00	N/A	84.50	107.00	-16.00
	Desv. Est.	105.63	85.72	26.86	N/A	49.69	151.84	87.51
Conductividad	N	47	99	17	1	42	74	95
	Mín	569.00	1310.00	1025.00	1110.00	1180.00	239.00	582.00
	Máx	2990.00	2830.00	1660.00	1110.00	1770.00	3500.00	3000.00
	Media	1742.09	1713.94	1343.82	1110.00	1396.19	1461.62	1424.23
	Mediana	1650.00	1660.00	1330.00	N/A	1370.00	1270.00	1400.00
	Desv. Est.	532.62	249.18	132.38	N/A	118.90	852.78	220.61
Turbiedad	N	47	99	17	1	42	74	95
	Mín	0.00	0.00	164.00	4.60	80.70	0.00	0.00
	Máx	800.00	910.00	508.00	4.60	308.00	302.00	382.00
	Media	162.23	163.33	219.53	4.60	165.96	88.97	117.72
	Mediana	121.00	155.00	197.00	N/A	156.00	63.35	94.40
	Desv. Est.	186.31	116.79	82.07	N/A	61.32	85.32	106.43
Oxígeno disuelto	N	47	99	17	1	42	74	95
	Mín	0.70	0.00	0.51	2.56	0.00	0.00	0.00
	Máx	10.11	14.50	2.21	2.56	2.35	12.03	13.01
	Media	2.67	3.37	1.27	2.56	0.94	3.14	2.11
	Mediana	2.23	2.49	1.12	N/A	0.90	3.50	0.54
	Desv. Est.	1.99	2.66	0.44	N/A	0.40	2.27	3.27
Sólidos disueltos	N	47	99	17	1	42	74	95
	Mín	363.00	122.00	0.78	714.00	0.76	0.58	0.88
	Máx	2180.00	1810.00	905.00	714.00	1020.00	2240.00	1100.00
	Media	1121.55	1059.21	54.04	714.00	46.02	903.39	796.62
	Mediana	1060.00	1060.00	0.85	N/A	0.89	679.00	885.00
	Desv. Est.	359.96	225.69	219.29	N/A	204.86	600.78	288.55

Tabla 18 Estadísticas descriptivas de las mediciones realizadas en el canal Mista Mezcla.

Canal Troncal

La Ciudad de San Miguel de Tucumán posee dos desagües pluviales principales, denominados DP1 y DP2. Ambos se unen cerca y al oeste de la localidad de Estación Aráoz, conformando el Canal Troncal, el cual desemboca en el Embalse de Río Hondo (Adler, 2014), aportando un 2% del caudal que ingresa al mismo. El lecho de este canal es rocoso. De acuerdo a los aforos realizados en 2006 y 2007, el Troncal presentó un caudal mínimo de $0,84\text{m}^3/\text{s}$ y un máximo de $3,36\text{m}^3/\text{s}$. Durante esas campañas, el Canal Troncal presentó olores nauseabundos, aguas de color negro y verdoso, líneas de flujo viscosas y espumas (SRH, 2007).

Durante los tres años y medio de monitoreo, el oxígeno disuelto mostró un comportamiento oscilante con valores más bajos durante el estiaje, llegando a cantidades nulas de oxígeno disuelto en varias oportunidades. La turbiedad no presenta un patrón homogéneo, con algunos picos en la época estival. El pH se mantuvo dentro del rango sugerido para protección de la vida acuática (entre 6 y 9), sólo superando el valor de 9 en el verano 2014-2015. Al igual que el Arroyo Mista, la alta conductividad de este canal se debe, en

la mayoría de los casos, a que atraviesa suelos salino-sódicos los cuales aportan altas concentraciones de sales que modifican la conductividad eléctrica (Figura 88).

El Canal Troncal recibe aportes de los ingenios Florida y Cruz Alta. Desde la implementación del Monitoreo Permanente, ha dejado de ser utilizado como receptor de vinaza y agua de ceniza. También ha recibido, a través del canal DP2, el efluente de la planta de secado de Minera Alumbreira.

En su trayecto, el Canal Troncal atraviesa cultivos de caña de azúcar, y en menor medida, soja y trigo. Asimismo, existen en sus zonas aledañas *feedlots* y granjas porcinas.

De acuerdo al Análisis de Componentes Principales en relación al conjunto de ríos y arroyos, el Canal Troncal se caracteriza por tener alta conductividad y pH básico, ambos asociados a bajo OD y alta turbidez (Figura 89).

En la Tabla 19 se presenta la estadística descriptiva básica, desglosada por año y época (húmeda y estiaje), para todos los parámetros muestreados.

Figura 82
Ingenio La Florida - Sistema de evaporación forzada de vinaza.





Figura 83 (arriba)
Ingenio La Florida - Calderas bagaceras
para generación de energía.



Figura 84 (abajo)
Ingenio La Florida -Tareas de remoción de cenizas
de filtros circulares estáticos.



Figura 85 (arriba)
Ingenio La Florida – Disposición de cenizas, vinaza y
cachaza para elaboración de mejoradores de suelo.



Figura 86 (abajo)
Ingenio La Florida – Laguna de estabilización
y enfriamiento de vinaza.

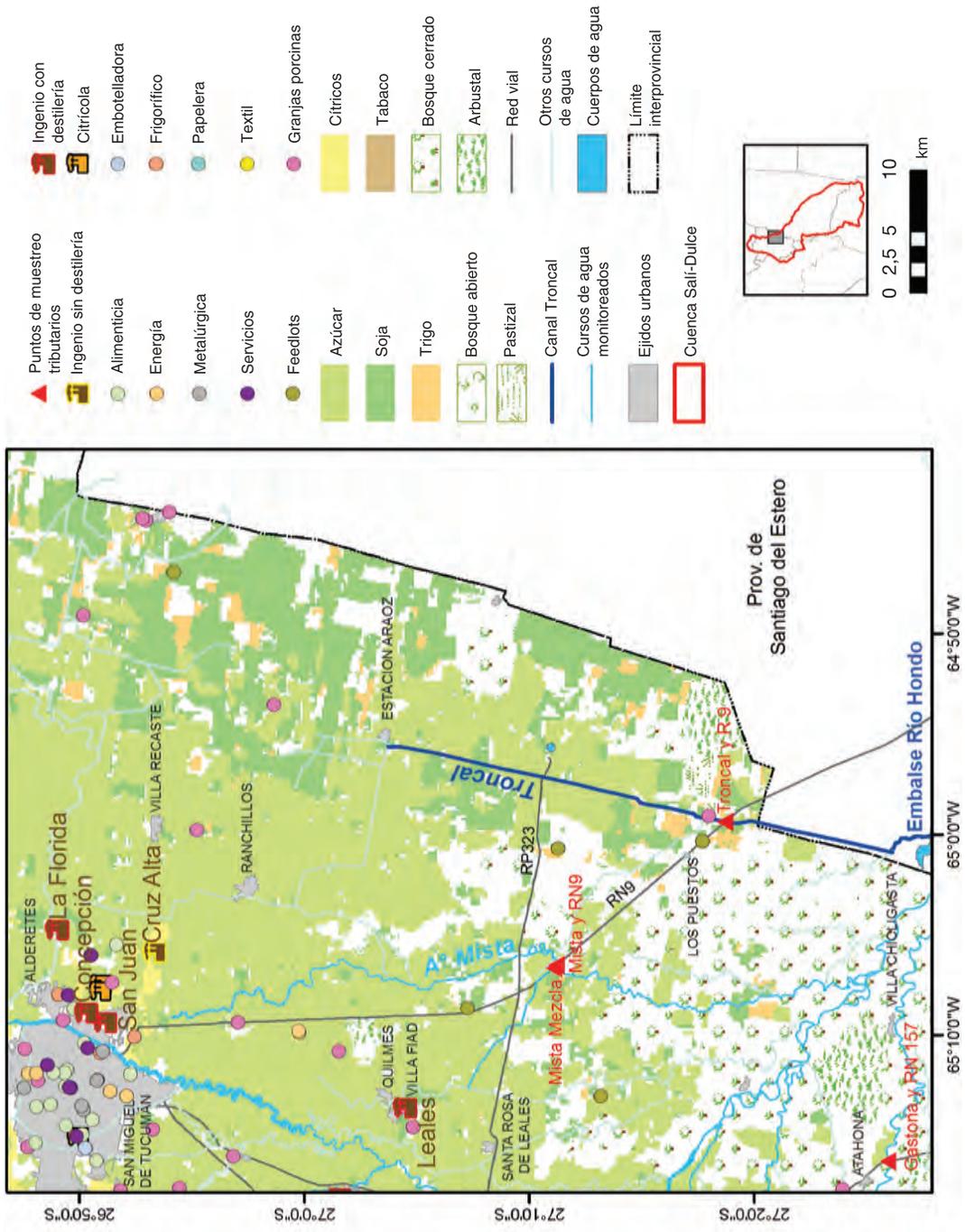


Figura 87 Usos del suelo del entorno del canal Troncal.

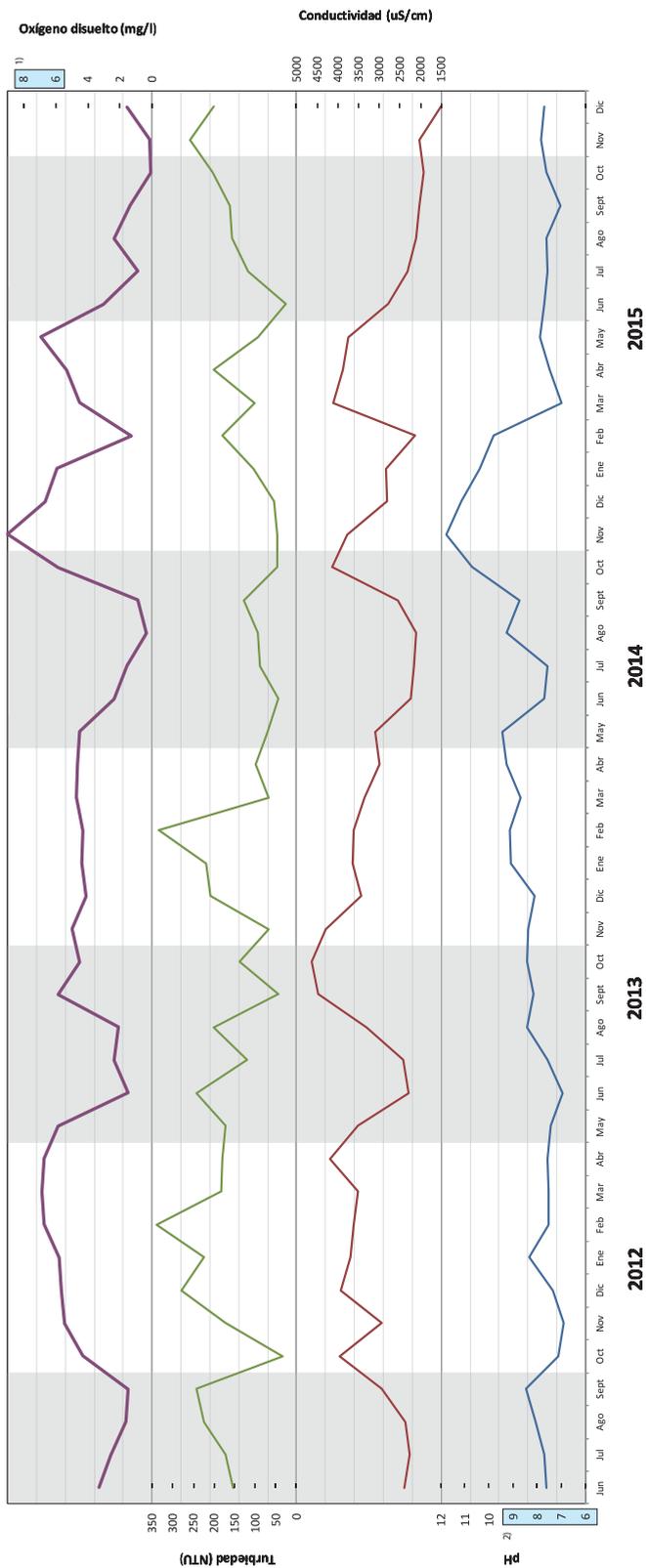


Figura 88 Calidad de agua del canal Troncal. El área sombreada corresponde al período de estiaje.
 1) Los valores de OD mayores a 5 mg/l cumplen con las condiciones para protección de la vida acuática con exposición prolongada (Acumar 2009).
 2) Los valores de pH entre 6 y 9 cumplen con las condiciones para protección de la vida acuática con exposición prolongada (Acumar 2009).

TRONCAL									
Parámetro	Estadístico	2012		2013		2014		2015	
		Húmedo	Estiaje	Húmedo	Estiaje	Húmedo	Estiaje	Húmedo	Estiaje
Temperatura	N	92	99	170	178	172	178	183	144
	Mín	19.05	11.90	18.25	7.56	16.21	12.35	17.16	12.30
	Máx	30.44	26.60	30.65	26.64	31.08	29.25	32.58	28.10
	Media	25.17	18.44	24.07	16.04	23.58	19.30	24.15	21.30
	Mediana	25.18	18.70	24.53	15.51	23.59	18.80	24.45	21.17
	Desv. Est.	2.15	2.98	2.75	3.85	2.91	3.47	3.03	2.84
pH	N	92	99	170	178	172	178	183	144
	Mín	3.71	5.90	2.54	5.73	6.75	4.58	4.93	4.70
	Máx	8.63	11.50	9.13	11.65	13.48	13.60	12.75	9.02
	Media	7.13	8.04	7.92	7.82	9.89	8.94	8.07	7.51
	Mediana	7.26	7.90	8.10	7.87	9.60	9.06	7.81	7.56
	Desv. Est.	0.75	0.95	0.86	0.77	1.45	1.46	1.28	0.63
Redox	N	92	99	170	178	172	178	183	144
	Mín	-297.00	-397.00	-15.00	-236.00	-84.00	-362.00	-284.00	-293.00
	Máx	385.00	520.00	536.00	365.00	354.00	725.00	477.00	298.00
	Media	154.59	-30.48	162.36	57.82	101.52	17.80	191.00	-15.15
	Mediana	145.50	-15.00	149.50	24.50	91.00	20.00	178.00	-20.00
	Desv. Est.	96.60	125.36	99.16	116.72	87.72	114.63	175.69	93.90
Conductividad	N	92	99	170	178	172	178	183	144
	Mín	891.00	1430.00	755.00	1930.00	665.00	1950.00	323.00	1010.00
	Máx	4650.00	4070.00	4700.00	4890.00	4640.00	4830.00	6140.00	3350.00
	Media	3613.16	2521.40	3793.95	3427.25	3358.28	2727.61	2961.27	2229.97
	Mediana	3900.00	2390.00	4140.00	3040.00	3375.00	2449.50	3120.00	2143.00
	Desv. Est.	845.90	365.68	811.42	1002.04	752.69	808.92	1214.13	383.52
Turbiedad	N	92	99	170	178	172	178	183	144
	Mín	0.00	7.10	0.00	6.48	0.00	0.70	4.90	13.20
	Máx	738.00	867.00	804.00	812.00	1000.00	250.00	900.00	428.00
	Media	162.32	206.75	198.92	154.46	131.70	77.53	164.40	133.79
	Mediana	171.50	182.00	187.50	166.00	70.15	67.05	120.00	128.00
	Desv. Est.	140.28	138.13	127.88	95.28	149.30	53.52	161.52	86.34
Oxígeno disuelto	N	92	99	170	178	172	178	183	144
	Mín	0.91	0.00	1.27	0.53	0.18	0.00	0.00	0.00
	Máx	9.29	12.20	13.10	13.68	21.77	12.67	12.81	7.93
	Media	5.14	2.09	5.87	3.67	5.66	2.64	3.68	1.54
	Mediana	5.29	1.60	5.72	2.85	4.76	1.93	4.33	0.86
	Desv. Est.	1.59	1.71	1.66	2.94	3.09	2.64	3.07	1.92
Sólidos disueltos	N	92	99	170	178	172	178	183	144
	Mín	571.00	148.00	484.00	1240.00	1.08	1.91	1.10	1.22
	Máx	2970.00	2590.00	3010.00	3130.00	2870.00	2350.00	3870.00	2150.00
	Media	2310.95	1606.95	2423.54	2194.04	1638.03	1267.16	1803.98	1101.92
	Mediana	2495.00	1540.00	2650.00	1945.00	2000.00	1370.00	1970.00	1290.00
	Desv. Est.	540.19	266.03	520.10	643.20	945.72	642.83	874.71	660.84

Tabla 19 Estadísticas descriptivas de las mediciones realizadas en el canal Troncal.

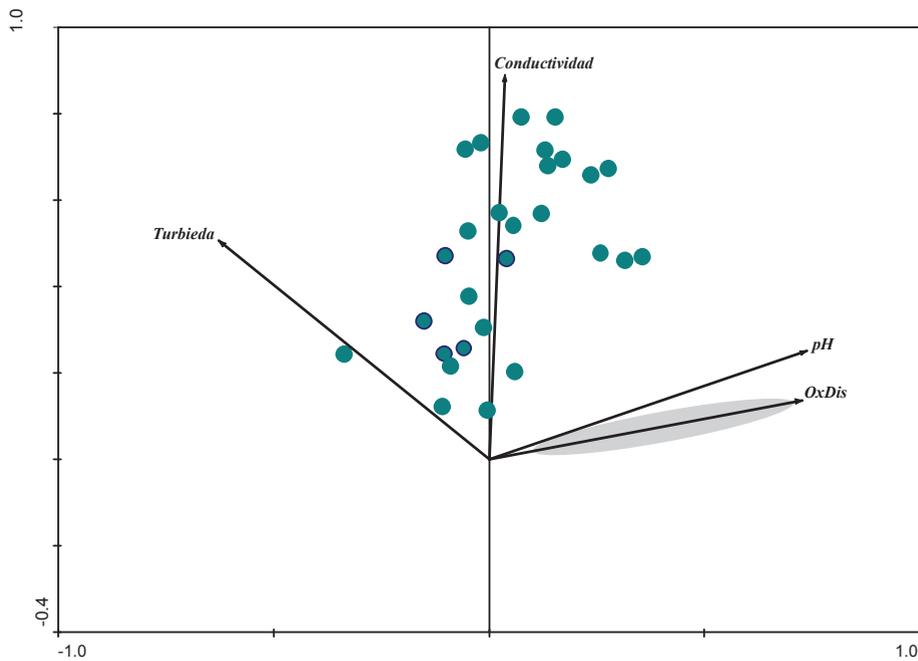


Figura 89 Representación gráfica del Análisis de Componentes Principales del canal Troncal. Los puntos con circunferencia azul corresponden a la época de estiaje. La zona sombreada corresponde a la óptima calidad de agua (baja conductividad, alto OxDis, baja turbiedad y pH circunneutral).

IDENTIFICACIÓN DE ALERTAS DE VUELCO EN LA BASE DE DATOS

El análisis de la forma en que los vuelcos de vinaza y de ceniza impactan sobre los cuatro parámetros principales monitoreados (OD, pH, conductividad y turbidez), y su comparación con los valores medios de estos parámetros a lo largo del año, permitió identificar un conjunto de umbrales en los valores medidos a partir de los cuales se puede sospechar la existencia de un vuelco de vinaza y/o de ceniza (alerta de vuelco).

En efecto, la presencia de vinaza y ceniza genera un patrón característico para el conjunto de los parámetros monitoreados en los cursos de agua. Como fuera indicado en la página 56, la vinaza aumenta la conductividad, reduce el valor de pH (se acidifica el medio) y disminuye la cantidad de oxígeno disuelto. Por su parte, la ceniza reduce la cantidad de oxígeno disuelto, aumenta significativamente la turbidez e incrementa el pH (el agua tiende a alcalinizarse). Los umbrales para cada afluente se presentan en la Tabla 20.

Mediciones compatibles con vuelcos de vinaza

El análisis *ex post* de la base de datos en función de los umbrales permitió identificar 55 situaciones de alerta compatibles con vuelcos de vinaza entre junio de 2012 y diciembre de 2015. Como puede observarse en la Figura 87, las alertas de vuelco han ido disminuyendo radicalmente: en 2013 fueron 33, mientras que en 2014 se registraron 12 y en 2015 se detectaron 10.

Trece eventos se corresponden a la época húmeda, aunque casi siempre fueron inmediatamente anteriores o posteriores.

El Río Salí y los arroyos Aguas Blancas y Del Estero son los que presentan la mayor cantidad de situaciones de alerta compatibles con vuelcos de vinaza. Éstas siguen el patrón general de disminución hacia 2015, con la excepción del arroyo Aguas Blancas, donde la situación se sostiene. Se destaca que tanto en el Río Salí como en el Arroyo Matazambi —ambos históricamente muy impactados— no se han registrado vuelcos de vinaza a partir de 2014, lo cual es consistente con las observaciones a campo.

Las alertas de vuelco de vinaza registradas en el Río Colorado merecen una mención particular ya que este río no recibe efluentes directos de ningún ingenio con destilería. Sin embargo durante el invierno de 2014 se identificaron 10 alertas de vinaza: la mayor frecuencia estacional para un afluente. Esta situación pudo deberse a vertidos puntuales mediante camiones cisterna o ser el resultado de efluentes volcados por otras industrias presentes en la cuenca que presentan un comportamiento químico similar a la vinaza (como sucede —en determinadas condiciones— con los efluentes de las cítrcolas o los residuos de hipoclorito presentes en los efluentes de la industria de celulosa). Si bien no es posible determinar el origen de estas alertas, debe notarse que la eliminación de los datos provenientes del Río Colorado no altera la tendencia general de disminución progresiva de las alertas de vuelco.

Similarmente, la base de datos muestra 2 situaciones de alerta compatibles con presencia de vinaza en el Arroyo Mista, a pesar de que en el punto de medición aún no recibe vuelcos directos de ningún ingenio (lo que sí puede suceder aguas abajo, cuando se junta con el canal “Mista Mezcla”). Esto podría deberse a alteraciones puntuales de

la calidad del agua causadas por efluentes de curtiembres.

En los ríos Marapa y Seco no se identificaron situaciones de alerta de vuelco de vinaza en ningún momento durante los tres años y medio, lo cual es consistente con el hecho de que estos ríos no reciben descargas directas de este tipo de efluente: ninguna industria azucarera descarga directamente en el Río Marapa, y el ingenio Providencia (cercano al Río Seco) no realiza destilación y por lo tanto no produce vinaza.

Por otra parte, la Figura 88 sugiere una relación entre los vuelcos de vinaza y las floraciones algales en el Embalse. Puede observarse que éstas suceden con posterioridad a una serie de vuelcos de vinaza. En efecto, los vuelcos reiterados aumentan la carga orgánica del lago lo que, en presencia de otros factores tales como las altas temperaturas del verano, favorecen la proliferación de las algas.

Mediciones compatibles con vuelcos de ceniza

El análisis de la base de datos muestra 215 alertas de vuelco compatibles con vertidos de ceniza, las cuales se sostienen en el tiempo: 45 en 2012, 66 en 2013, 49 en 2014 y 55 en 2015 (Figura 89).

La gran cantidad de alertas de vuelco de ceniza registrados durante todo el período puede explicarse por el hecho de que las cenizas retenidas en los filtros húmedos de las calderas, aunque ya no son volcadas directamente a los cursos de agua, no tienen aún una gestión eficiente por parte de los ingenios.

Muchos de ellos acumulan la ceniza en pilas de varios metros de alto en las proximidades de los cursos de agua y, ya sea por

el viento o por accidentes en el manejo de la ceniza, ésta termina volcándose a ríos y arroyos. Asimismo, varios ingenios han tenido inconvenientes en cuanto a la tecnología empleada para los filtros estáticos (que separan el agua de la ceniza), lo que se espera vaya solucionándose progresivamente.

El incremento de las alertas de vuelco de ceniza registrado en 2013 podría estar correlacionado con el fuerte aumento de la superficie de caña quemada en ese período⁸, la cual se retrotrajo en 2014. Esto pudo generar que, en 2013, aun cuando el manejo de cenizas proveniente de las calderas haya sido similar al año anterior, los cursos de agua presenten cenizas tanto por efecto del escurrimiento de los campos luego de las lluvias, como por una mayor proporción de cenizas en el agua de lavado de la caña (quemada) por parte de los ingenios.

Los afluentes que presentan las mayores frecuencias de alertas de vuelco de ceniza son el Arroyo del Estero, el Río Salí y el Canal Troncal. El Río Marapa no registra ningún alerta de vuelco de ceniza, lo cual es consistente con el hecho de que no recibe efluentes directos de ningún establecimiento industrial (Figura 90).

Las alertas de vuelco de ceniza detectadas para el Río Colorado y el Arroyo Mista merecen una mención especial ya que los mismos no reciben vertidos de ingenios ni existen en sus proximidades sitios de disposición de cenizas. Estos eventos (12 en total) no fueron detectados por los técnicos en los operativos de campo, quienes específicamente buscaban rastros de ceniza, por lo cual podemos afirmar que si bien existía una situación de alerta en cuanto a

⁸ Durante la zafra 2013 los focos de incendio de caña fueron un 84% superiores respecto de 2012 (La Gaceta, 19/7/13)

la calidad del agua, ésta podría deberse a otros tipos de efluentes que provoquen una respuesta físico-química similar a la ceniza.

En particular, el Arroyo Mista recibe vuelcos puntuales de curtiembres, de color plasteado; mientras que el Río Colorado recibe

efluentes con restos variables de pulpa de papel. En ambos casos, esto puede generar un incremento de la turbidez que requiere de una confirmación visual para una adecuada interpretación de los resultados.

Curso de agua	Alerta de vuelco de vinaza: presencia simultánea de			Alerta de vuelco de ceniza: presencia simultánea de		
	OD (mg/l)	pH	Conductividad (µS/cm)	OD (mg/l)	pH	Turbiedad (NTU)
Salí	< 1.00	< 6.85	> 1195	< 1.00	> 6.85	> 292
Chico	< 5.70	< 7.42	> 504	< 5.70	> 7.42	> 158
Gastona	< 2.00	< 7.12	> 333	< 2.00	> 7.12	> 138
Marapa	< 6.00	< 7.52	> 1345	< 6.00	> 7.52	> 128
Seco	< 4.40	< 6.93	> 327	< 4.40	> 6.93	> 131
Colorado	< 1.00	< 6.94	> 1080	< 1.00	> 6.94	> 326
Matazambi	< 4.90	< 7.30	> 1174	< 4.90	> 7.30	> 114
Mista	< 5.50	< 7.43	> 3075	< 5.50	> 7.43	> 68
Troncal	< 1.00	< 7.20	> 3366	< 1.00	> 7.20	> 236
Aguas Blancas	< 1.00	< 6.70	> 604	< 1.00	> 6.70	> 228
Del Estero	< 1.00	< 6.40	> 324	< 1.00	> 6.40	> 278
Mista Mezcla	< 1.00	< 5.50	> 1650	< 1.00	> 5.50	> 259

Tabla 20 Umbrales para detección de vuelcos

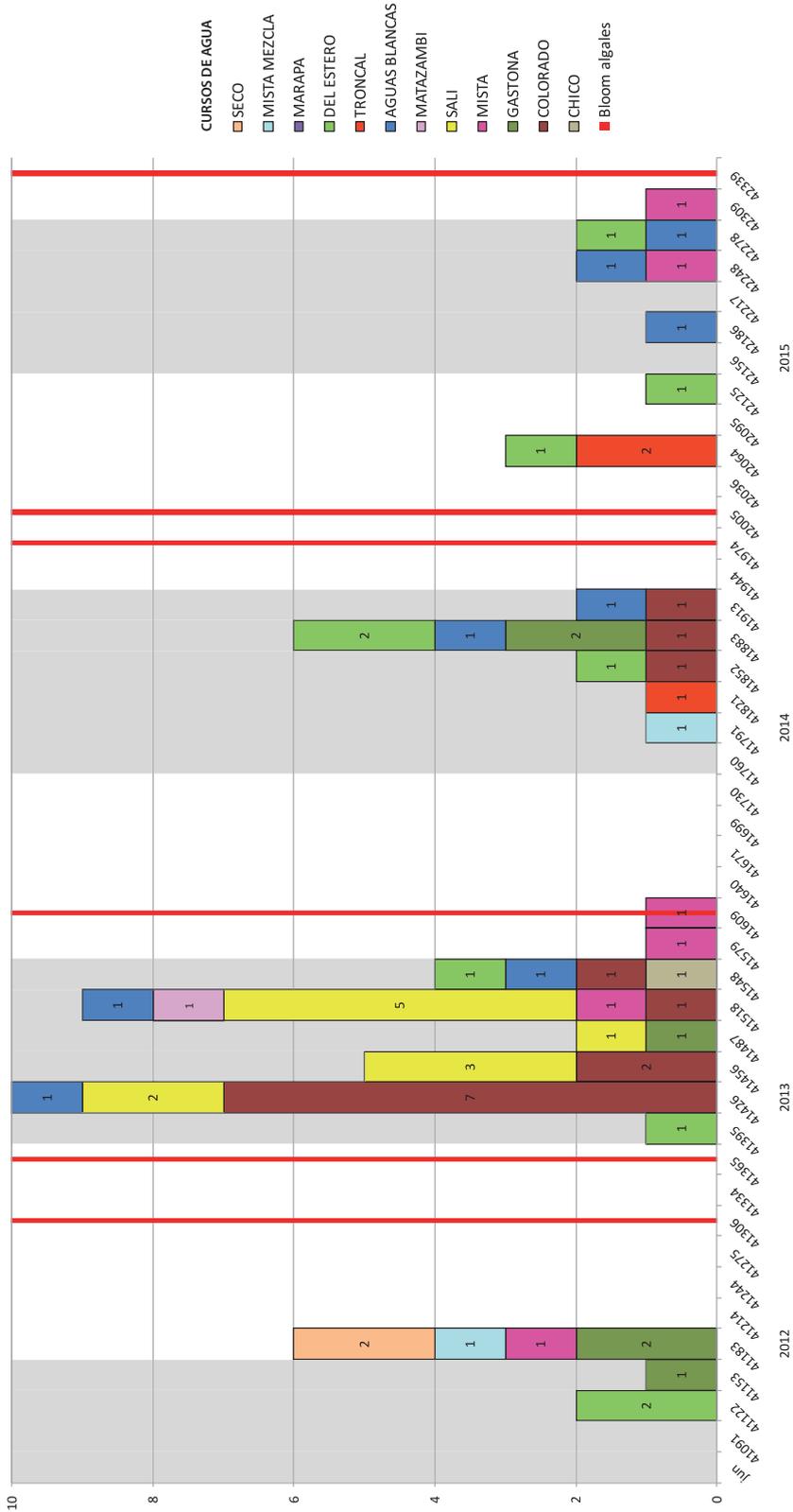


Figura 90 Distribución temporal de las situaciones de alerta compatibles con vuelcos de vinaza. El área sombreada corresponde al período de estiaje.

* No recibe descargas directas de vinaza

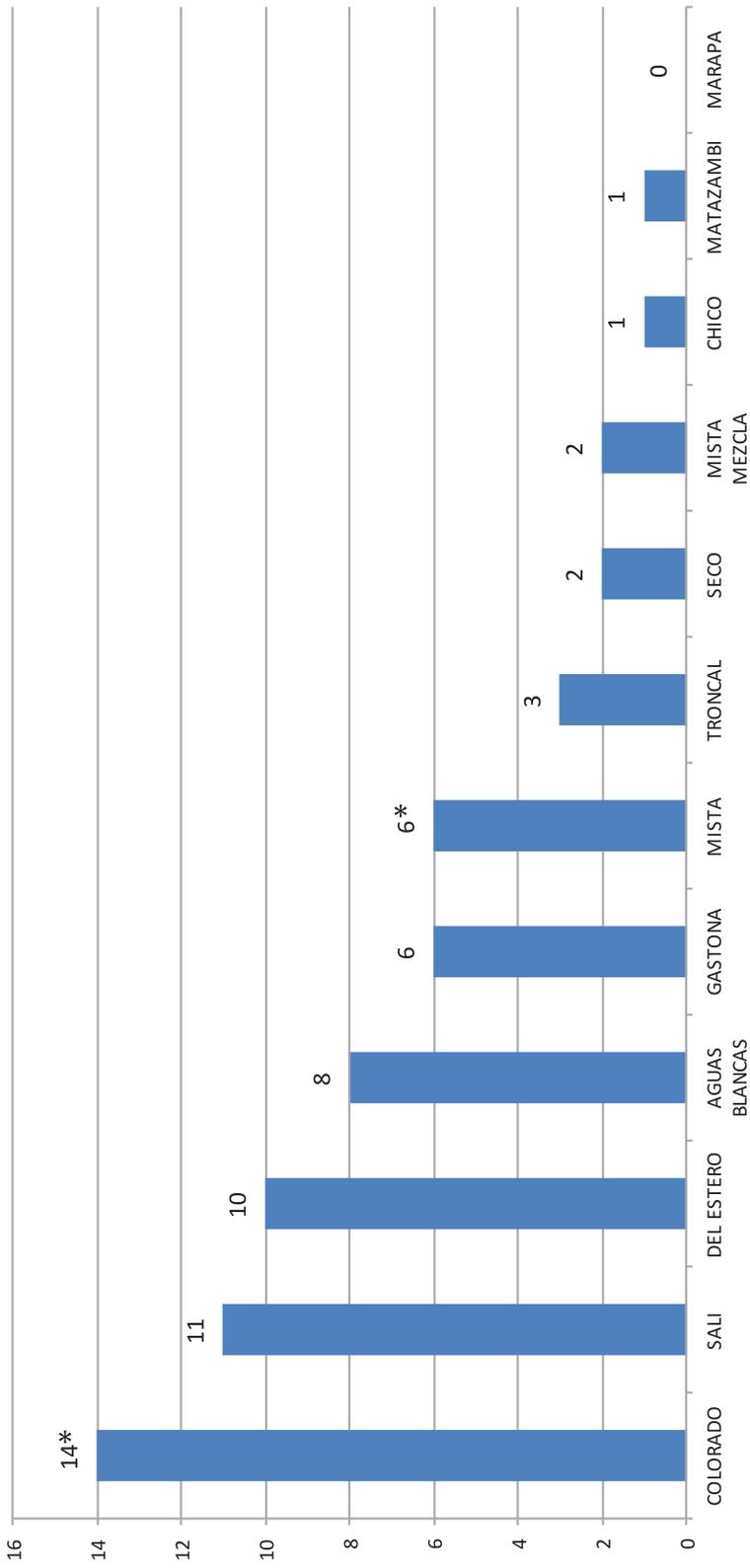


Figura 91 Frecuencia total, por afluente, de alertas de vuelco de vinaza.

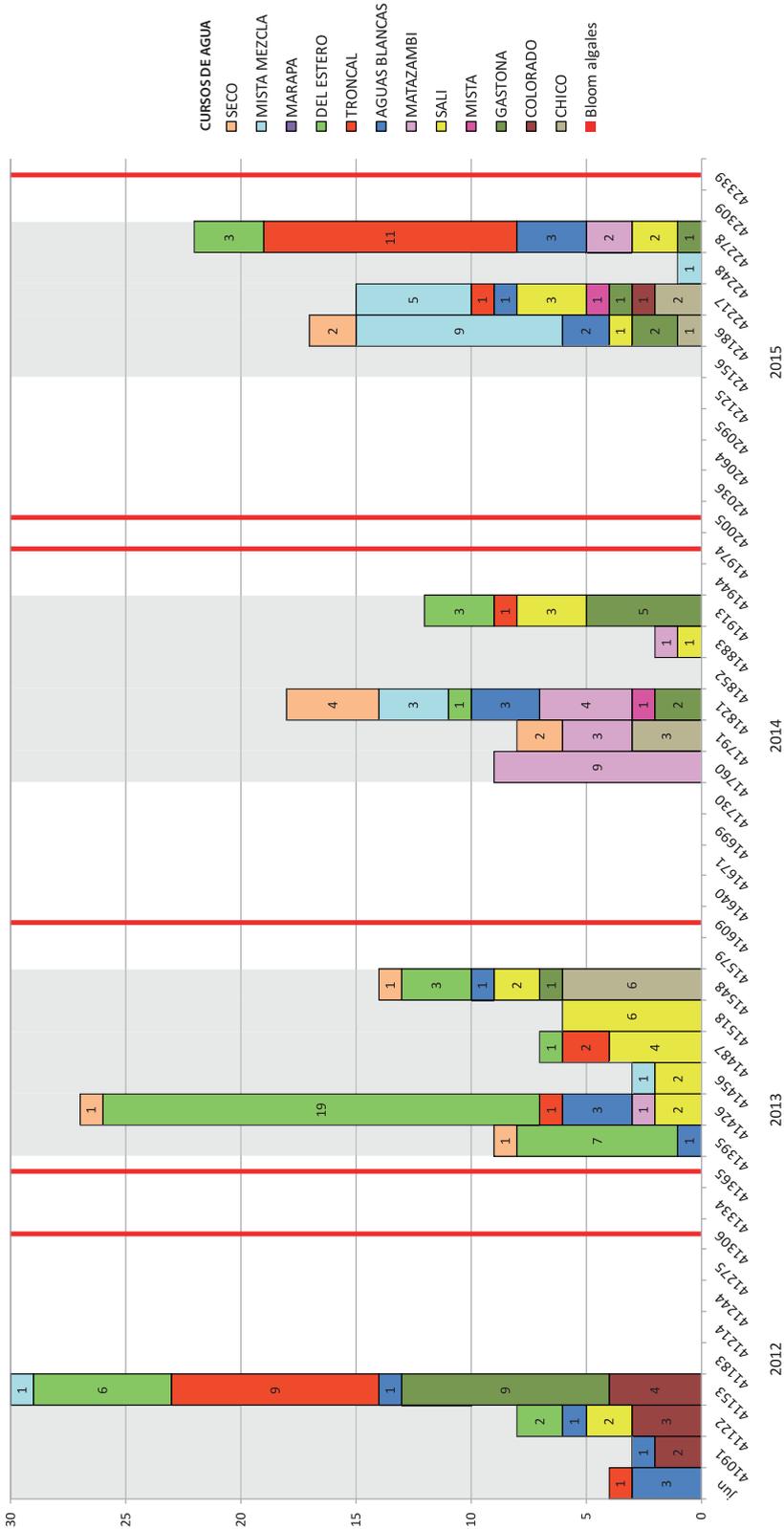


Figura 92 Distribución temporal de las alertas de vuelco compatibles con vertidos de ceniza. El área sombreada corresponde al período de estiaje.

* No recibe descargas directas de ceniza

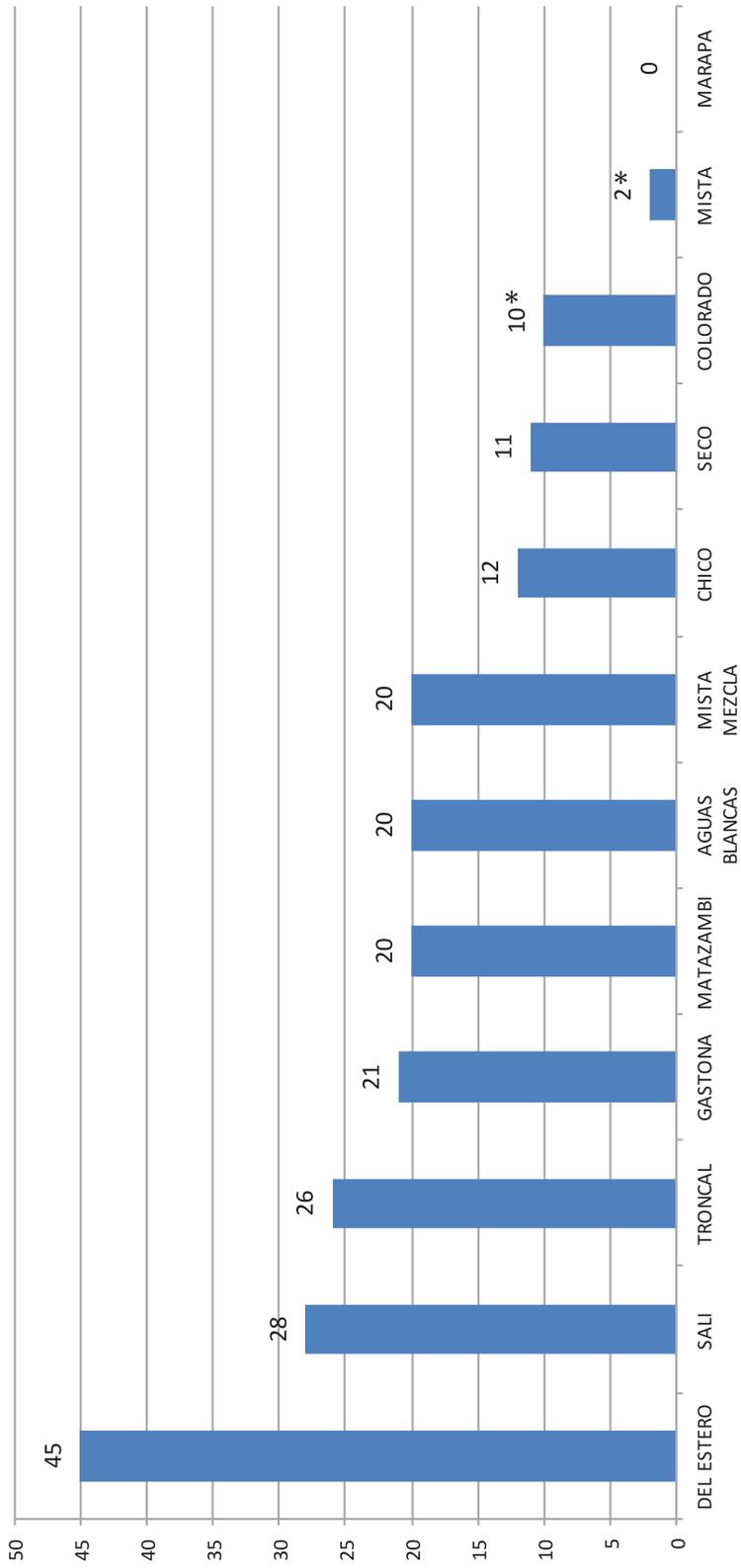


Figura 93 Frecuencia total, por afluente, de alertas de vuelco de ceniza.

CONCLUSIONES

El Programa de Monitoreo Permanente desarrollado por la Defensoría de Santiago del Estero en colaboración con el Ministerio del Agua y el Ambiente es una herramienta simple en cuanto sus características técnicas, y robusta en cuanto a la cantidad y continuidad de los sitios de muestreo y los parámetros monitoreados.

Sin lugar a duda, su principal logro fue desplegar en el terreno un sistema diario de identificación y alerta de vuelcos ilegales de vinaza y ceniza para que las autoridades de aplicación de Tucumán pudieran actuar en forma inmediata. El hecho de que las acciones para el tratamiento y disposición de la vinaza y la ceniza, impulsadas por la Nación y la Provincia de Tucumán estuvieran acompañadas por este sistema de alertas por parte de Santiago del Estero, funcionó como un incentivo clave para que disminuyeran significativamente los vuelcos ilegales.

Así, representa un componente central en la evaluación del cumplimiento de los objetivos “ceniza cero” y “vinaza cero” a cuerpos de agua que son el eje de los Planes de Reconversión Industrial-PRI de los ingenios.

El análisis *ex post* de la base de datos generada confirma las observaciones de los responsables del Programa de Monitoreo Permanente respecto a la reducción progresiva de vuelcos de vinaza y ceniza a ríos y arroyos. En el caso de la vinaza, los

episodios disminuyeron en frecuencia e intensidad a la par que se incrementaban los controles estatales sobre el manejo de este residuo. En el caso de la ceniza, se produjo una estabilización de los episodios de vuelco a los cuerpos de agua. Aunque están lejos de haberse eliminado completamente, gracias a la implementación de los PRI los vuelcos de ceniza a los ríos y arroyos son de una magnitud sustancialmente menor. El cumplimiento de la meta “ceniza cero” en los cuerpos de agua requiere aún de una mejora sustantiva del manejo de este residuo por parte de los ingenios.

Por su parte, el análisis de la correlación entre las variables analizadas y su significación estadística, arrojó una información importante respecto del comportamiento del oxígeno disuelto: contrariamente a lo esperado, su correlación con la temperatura es muy baja, por lo que las bajas concentraciones de OD encontradas en ríos y arroyos estarían más relacionadas con la contaminación orgánica que con los aumentos de temperatura.

Adicionalmente, con más de 3.000 mediciones por afluente durante tres años y medio, el Programa de Monitoreo Permanente permitió generar un conocimiento sin precedentes sobre el estado en que los ríos y arroyos de la cuenca alta del Salí ingresan al Embalse de Río Hondo a lo largo del año. Si bien no fue el objetivo original del

Monitoreo, esta labor permite establecer una línea de base de calidad de agua de los tributarios del embalse que sirve de referencia para evaluar el éxito de las políticas públicas para reducir la contaminación en los cursos de agua.

El análisis de la información recabada pone de manifiesto que la calidad del agua de los ríos y arroyos es baja y presenta una alta carga contaminante. Aun así, la disminución de los vertidos ilegales de vinaza y ceniza permitió reducir las crisis en el embalse: a partir de 2012 no se detectaron mortandades masivas de peces y los *blooms* algales se volvieron menos frecuentes y más acotados en cuanto a la superficie afectada. Esto es un logro significativo, considerando que este embalse compartido es la principal fuente de agua para una amplia zona de Santiago

del Estero y representa un recurso turístico sobre el cual se asienta la economía local.

Más allá de la mejora en la situación del embalse, no se puede obviar la baja calidad que presenta el agua de ríos y arroyos en Tucumán. Esto es un claro indicador de que es preciso profundizar los controles y extenderlos a todas las actividades productivas y de servicios identificados como agentes contaminantes (citricolas, frigoríficos, papeleras, curtiembres, plantas de tratamiento de afluentes cloacales, etc.), así como promover mejores prácticas para el sector agropecuario.

A la vez, pone en evidencia la necesidad de impulsar, con carácter urgente, un plan integral de recomposición para la cuenca con metas claras, acciones, plazos, indicadores, responsables y presupuesto asignado.

RECOMENDACIONES

La evaluación de las acciones realizadas y de la utilidad de los datos obtenidos, permite detectar una serie de medidas y recomendaciones para mejorar el funcionamiento y la eficiencia futura del Programa del Monitoreo Permanente.

En primer lugar, y por tratarse de una cuenca con un marcado régimen hidrológico estacional, se presenta la necesidad de medir los caudales en los puntos de monitoreo, de forma de poder determinar la capacidad de asimilación de los contaminantes del curso de agua receptor. Idealmente sería clave determinar la relación altura-caudal e instalar escalas limnimétricas. Sin embargo, a falta de ello, se podría obtener una estimación aproximada del caudal utilizando un flotador y midiendo la velocidad de desplazamiento del mismo para un determinado ancho y profundidad del curso de agua. El caudal calculado por este método tiene un error alto pero proporciona un orden de magnitud del mismo que sería de ayuda para la interpretación de los parámetros medidos. Asimismo, sería interesante incorporar alguna medida de la carga orgánica, determinando la Demanda Química de Oxígeno (DQO) o la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) de las aguas.

Por otra parte, la identificación de patrones indicativos, para cada afluente, de la ocurrencia de posibles vuelcos compatibles

con vinaza y ceniza permite estandarizar algunas reglas de decisión ante la emisión de alertas. Se sugiere que los integrantes del Programa de Monitoreo Permanente incorporen el uso de estos umbrales en forma sistemática para simplificar el trabajo futuro de determinación de las mismas.

Independientemente de ello, debe destacarse que los logros del Programa de Monitoreo Permanente confirman la importancia de realizar acciones sostenidas en el tiempo. No sólo por la cantidad de información que ello genera sino también porque se produce una necesaria institucionalización de los procedimientos y un reconocimiento del rol desempeñado, por parte del conjunto de actores sociales involucrados. En este caso en particular, hay que sumar el empoderamiento que este trabajo implicó para la Provincia de Santiago del Estero que, en corto tiempo, se ha transformado en un referente obligado sobre la contaminación de la Cuenca Salí-Dulce.

Por último, la reducción de los vuelcos ilegales y la determinación de la línea de base de calidad de las aguas que ingresan al embalse ponen de manifiesto la necesidad de extender este tipo de monitoreo a toda la cuenca incorporando: a) sitios de muestreo aguas arriba de las industrias potencialmente contaminantes; y b) puntos de muestreo de calidad de aguas en las nacientes de

los ríos y/o en el punto de ingreso a cada provincia para dirimir responsabilidades respecto de la contaminación, comparando la calidad de los ingresos y egresos para cada jurisdicción.

REFLEXIÓN FINAL

Grandes fueron los esfuerzos para consensuar los mecanismos que hicieron posible la puesta en marcha de un Programa de Monitoreo Permanente en Tucumán por parte de la provincia de Santiago del Estero. Así, la principal lección aprendida durante la implementación del mismo fue la necesidad de institucionalizar una Autoridad de Cuenca que haga realidad una gestión compartida y un aprovechamiento equitativo y sustentable de esta cuenca interjurisdiccional, conforme lo establecido en la Ley N° 25.688, “Régimen de Gestión Ambiental de Aguas”.

Los logros en producir información sobre el estado de los ríos y arroyos en tiempo real y reducir los eventos críticos en el embalse, sólo fueron posibles gracias a que se otorgó a la provincia afectada aguas abajo, la capacidad real de participar en la gestión de la cuenca. De esta forma se logró compensar la desigualdad propia de la ubicación geográfica aguas abajo mediante mecanismos institucionales; en este caso en el marco de un conflicto judicializado.

Una consecuencia directa de la falta de institucionalización de una Autoridad Interjurisdiccional de Cuenca en los términos de la Ley N° 25.688, es la ausencia de valores guía de calidad de las aguas en función de los distintos usos aceptables para cada subcuenca (que tampoco se encuentran

definidos). Así, la interpretación de la información sobre la calidad de las aguas de los ríos y arroyos debió ser realizada en base a parámetros de referencia que no habían sido desarrollados específicamente para esta cuenca. Si bien este método resultó de utilidad, es necesario hacer notar la urgente necesidad de fijar estos valores guía para la calidad de aguas y de definir límites de vertido, para la Cuenca Salí-Dulce, que contemplen su capacidad para recibir descargas sin perder el equilibrio ambiental. Adicionalmente, es necesario caracterizar los diferentes efluentes industriales, establecer cargas máxicas máximas para los vertidos y límites individuales de descarga que contemplen el régimen hidrológico estacional de esta cuenca y sus variadas características físicas y morfológicas.

Hoy en día nadie puede ignorar -y aquí se ve claramente- que lo que sucede en el agua está íntimamente relacionado con lo que ocurre en la tierra, en el territorio. Por lo tanto, la extensión de la cuenca, la heterogeneidad en cuanto a sus características naturales y socioeconómicas y la multiplicidad de usos y actividades productivas existentes requieren de un proceso de Ordenamiento Ambiental del Territorio como una herramienta de planificación estratégica que no sólo regule los usos del suelo sino que constituya la expresión del modelo de desarrollo deseado

para la misma. Esto sólo puede alcanzarse mediante una construcción colectiva entre el Estado, el sector privado y la comunidad que integre, entre otras cuestiones, las aspiraciones sociales en relación a los bienes colectivos, como lo son el agua, el suelo y el aire.

Hasta alcanzar esta meta, las políticas públicas que fomentan la producción de alcohol deben contemplar la necesidad de destinar parte del aumento de la renta a que los proyectos productivos internalicen las externalidades ambientales. Esto implica que, con carácter urgente, los ingenios deben incorporar en sus costos de producción el adecuado tratamiento de la vinaza y la ceniza para que no constituyan un residuo contaminante. Una deuda ambiental que ya lleva más de 150 años. Con un monto anual de 2.400 millones de litros de vinaza rica en potasio y nitrógeno y 300.000 toneladas de cenizas, se impone la obligación de construir el escenario para que éstas se reinserten en algún proceso productivo. De esta forma, la vinaza y la ceniza dejarían de ser residuos para considerarse subproductos o materias primas de una nueva actividad.

Esto conlleva una mirada superadora de la actual, que sólo puede ser considerada “de transición”. Por un lado, el uso de la vinaza para realizar el llamado “fertirriego” requiere mayor estudio ya que, en principio, se están exportando nutrientes (como el potasio) que se extraen del suelo de la zona de cultivo cañero para ser depositados, en forma de vinaza, en el embalse y en superficies acotadas bajo riego. Por otro, el uso de la ceniza para relleno de campos bajos tiene un horizonte temporal (y espacial) acotado relacionado con la disponibilidad de zonas bajas.

La solución integral de esta problemática requiere políticas públicas en sintonía con los

principios de la economía circular, que busque reducir la generación de contaminantes y de reincorporar al sistema la mayoría de los nutrientes que se extraen del mismo. Esto implica el trabajo conjunto e intersectorial de las autoridades nacionales, provinciales y municipales que permita dimensionar el problema, desarrollar las herramientas para su solución, y -no menos importante- controlar la implementación de las acciones, informar a la sociedad, y verificar que efectivamente se reduzca la contaminación.

ANEXO METODOLÓGICO

PREPROCESAMIENTO GENERAL DE LA BASE DE DATOS

Los datos relevados en campo son ingresados por el equipo de trabajo del Programa de Monitoreo, de manera manual, en tablas elaboradas en Excel, separadas por mes y tributario. Por esta razón, ha sido necesario, antes de realizar el análisis de los resultados, compilar y homogeneizar todos los datos tomados desde junio de 2012 a diciembre de 2015 en una única planilla. Luego, se depuraron de la base de datos aquellos valores que presentaban errores o vacíos. La base de datos final ha sido georreferenciada de acuerdo a los puntos de muestreo, la que estará disponible en el sitio web de la Defensoría del Pueblo de Santiago del Estero, a disposición de la administración pública, el sector académico y público en general. La base de datos será publicada en formato *csv* y *shapefile*.

METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUA

Correlación y selección de las variables analizadas

Con el fin de facilitar la interpretación de resultados, se buscó reducir el volumen de datos evaluando el grado de asociación entre las variables monitoreadas, para luego

analizar sólo aquellas que son más significativas estadísticamente⁹. Para ello se aplicó el coeficiente de correlación no paramétrica Rho de Spearman, debido a la falta de normalidad de los residuos.

Se encontró una asociación del 94% ($r=0,940$) de la conductividad con los sólidos disueltos y se encontró colinealidad significativa del potencial redox con el oxígeno disuelto, el pH y la temperatura, que explican el 64% de su variabilidad (Tabla 21). Por la colinealidad, se eliminaron las variables sólidos disueltos, potencial redox y temperatura de los análisis posteriores, para evitar la información redundante que enmascara los patrones de variabilidad.

Se destaca la baja correlación de la concentración de oxígeno disuelto (OD) con la temperatura ($r= -0.140$), indicando que la alta variabilidad registrada en los valores de OD en todos los cuerpos de agua, no está correlacionada con las variaciones climáticas de temperatura que afectan la difusión del medio aéreo al acuoso. Las bajas concentraciones de OD pueden estar relacionadas con aportes de materia orgánica, dado que su correlación con la temperatura es muy baja.

⁹ Este análisis fue realizado sobre los resultados obtenidos desde el comienzo del Programa de Monitoreo hasta agosto de 2015, empleando el software Canoco.

Rho Spearman	pH	Conductiv	OxDis	Turbidez	SolDis	Redox	Temp
pH	1.000	.148	.074	-.242	.191	-.319**	-.087
Conductiv	.148	1.000	-.052	-.025	.940**	-.203	-.021
OxDis	.074	-.052	1.000	-.393	-.072	.526**	-.140
Turbidez	-.242	-.025	-.393	1.000	.016	.074	.225
SolDis	.191	.940**	-.072	.016	1.000	-.205	-.040
Redox	-.319**	-.203	.526**	.074	-.205	1.000	.223**
Temp	-.087	-.021	-.140	.225	-.040	.223**	1.000

Tabla 21 Correlación entre las variables analizadas y su significación estadística. **la correlación es significativa al nivel 0.01.

Por lo tanto, las variables seleccionadas para el análisis posterior de la base de datos fueron: oxígeno disuelto, turbiedad, conductividad y pH (se redujo el análisis de 10 a 4 parámetros).

Análisis de componentes principales

A los resultados de cada sitio muestreado se aplicó el Análisis de Componentes Principales para las 4 variables seleccionadas. Esto permitió representar en dos dimensiones la variabilidad de las muestras en las que se evaluaron diferentes características físico-químicas, facilitando la interpretación visual de los resultados al identificar patrones asociados a los diferentes cursos de agua. Los 2 primeros componentes explican el 55% de la variabilidad total de los datos. Las variables correlacionadas con el primer componente son oxígeno disuelto y turbidez, y con el segundo componente, conductividad y pH.

En la Figura 91 se esquematizan las áreas de diferente composición físico-química de acuerdo a las principales respuestas de las variables analizadas. Los parámetros aumentan en el sentido del vector. La zona sombreada corresponde a la óptima combinación conjunta de los parámetros

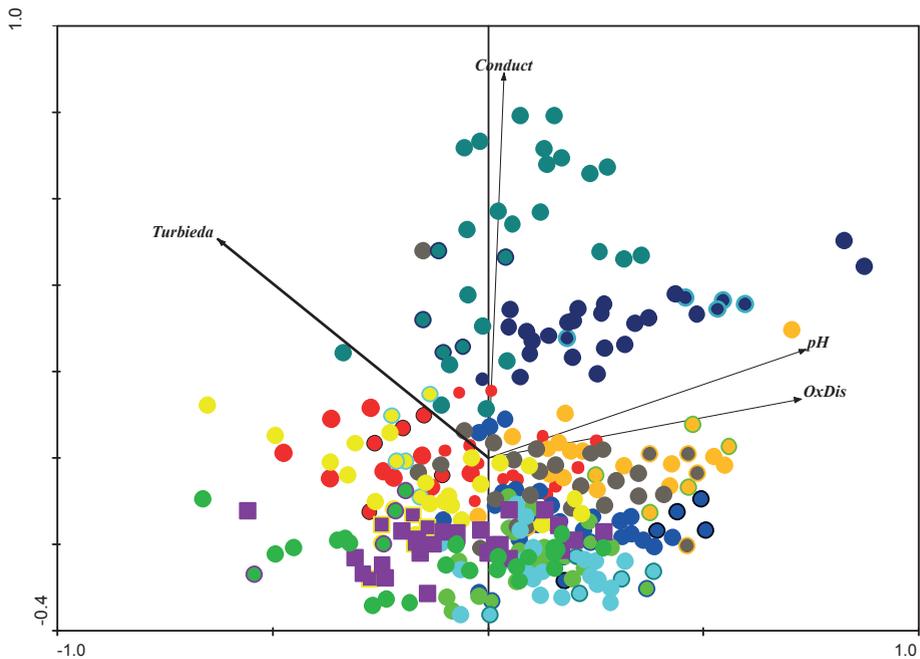
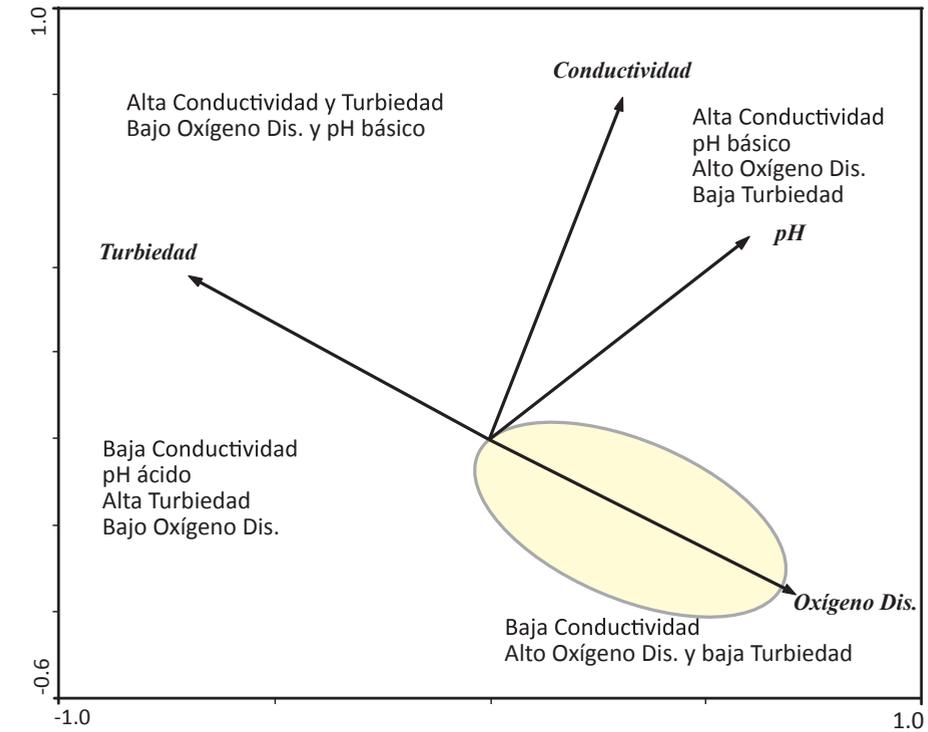
de calidad de agua (baja conductividad, alta concentración de oxígeno disuelto, baja turbiedad y pH circunneutral).

La ordenación de los resultados para todos los puntos de muestreo sobre los tributarios se muestra en la Figura 92. La alta dispersión que presenta la respuesta de las variables analizadas da cuenta de la gran heterogeneidad de los cursos de agua del área de estudio. En la caracterización de los cursos de agua se interpreta individualmente el Análisis de Componentes Principales de cada afluente, lo que provee una idea de la calidad del agua de ese río o arroyo en relación al conjunto estudiado.

Gráficos de evolución de las principales variables

Para cada uno de los cursos de agua monitoreados, se ha elaborado un gráfico donde se muestra simultáneamente la evolución del oxígeno disuelto, la turbiedad, la conductividad y el pH, respetando las escalas de cada uno, para todo el período analizado. Los valores graficados corresponden a los promedios mensuales.

Asimismo, en el gráfico se diferencian los meses húmedos y de estiaje y se han destacado los límites de los niveles guía, en los casos que correspondía.



SPECIES
 →
 SAMPLES

- Salí
- Chico
- Gastona
- Granero
- Matazambi
- Mista
- Troncal
- Colorado
- Seco
- Aguas Blancas
- Esteros

Figura 94 (arriba) Esquema de los patrones físico-químicos de los cursos de agua. Figura 95 (abajo) Análisis de Componentes Principales de los afluentes.

Valores guía de calidad de agua

La interpretación de los resultados de calidad de agua requiere conocer los valores guía establecidos para los parámetros estudiados. Sin embargo, la República Argentina no cuenta hasta la fecha con niveles guía de calidad de agua, a pesar de que el Plan Nacional Federal de Recursos Hídricos establece que la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación, en su carácter de Autoridad de Aplicación Nacional “establecerá a modo de presupuestos mínimos niveles guía de calidad de agua ambiente que sirvan como criterios referenciales para definir su aptitud en relación con los usos que le sean asignados” (AGN, 2015). Por su parte, la Provincia de Tucumán tampoco ha establecido niveles guía de los distintos parámetros de calidad de agua, según los diversos usos que se hagan del recurso (DPN, 2010).

Se han considerado en este informe, para el análisis de los resultados de oxígeno disuelto y pH, los valores guía propuestos por la Autoridad de la Cuenca Matanza Riachuelo para el tipo de uso “Preservación de la vida acuática con exposición prolongada” (ACUMAR, 2009):

- Oxígeno disuelto: mayor a 5mg/l.
- pH: entre 6 y 9.

La Provincia de Buenos Aires, a través de la Res. 42/06 de la Autoridad del Agua (ADA, 2006), establece un nivel guía de turbiedad de 100NTU. Sin embargo éste no ha sido considerando aquí dado que las características hidrogeológicas de los cursos de agua de Tucumán no serían comparables con Buenos Aires. No se han encontrado antecedentes de normas que establezcan para calidad de agua superficial el límite máximo del parámetro conductividad eléctrica.

Mapas de uso del suelo

Con el objetivo de apoyar la interpretación de los resultados de calidad de agua, fue elaborado para cada curso de agua un mapa donde se representen los distintos usos del suelo y las actividades económicas que allí se desarrollan. La cartografía muestra los puntos de muestreo, las principales industrias (se identifican las más importantes), los distintos tipos de cultivos, los cursos y cuerpos de agua, la vegetación natural, la red vial, ejidos urbanos y límites administrativos.

Las fuentes de información a partir de las cuales se obtuvieron los datos, para ser cartografiados mediante un Sistema de Información Geográfica, fueron las siguientes:

- Puntos de muestreo: georreferenciados a partir de las coordenadas relevadas en campo.
- Ingenios, citrícolas, cursos y cuerpos de agua, red vial, cultivos, ejidos y límites administrativos: RIDES Tucumán.
- Vegetación: RIDES Tucumán y Mapa de usos del suelo (INTA).
- Otras industrias: Defensoría del Pueblo de la Nación (DPN, 2010).
- *Feedlots* y granjas porcinas: SENASA.

Estadística descriptiva

La caracterización de cada afluente presenta complementariamente una tabla que muestra una serie de estadísticos descriptivos para los siguientes parámetros muestreados: temperatura, pH, potencial redox, conductividad, turbiedad, oxígeno disuelto y sólidos disueltos. Los estadísticos calculados son: número de casos, valor mínimo, valor máximo, media, mediana y desviación estándar.

Las estadísticas se presentan desglosadas por año y por época húmeda y seca (estiaje).

METODOLOGÍA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ALERTAS DE VUELCO EN LA BASE DE DATOS

A fin de graficar y comprender la evolución de los eventos de vuelco de ceniza y vinaza, se analizó la base de datos con el objeto de identificar la combinación (patrones) de valores y parámetros indicativos de la ocurrencia de posibles vuelcos compatibles con esos efluentes.

El diseño de este procedimiento se basó en la premisa de que, para la mayoría de las situaciones, los vuelcos impactan sobre la calidad de las aguas de la siguiente manera:

Vinaza: simultáneamente aumentan los valores medidos de conductividad, disminuye el valor de pH (se acidifica el medio) y se reduce la cantidad de oxígeno disuelto.

Ceniza: simultáneamente disminuye el oxígeno disuelto y se incrementa la turbidez, mientras que el pH tiende a neutro o alcalino.

Dado que los valores de estos parámetros varían ampliamente entre los distintos afluentes, ha sido necesario establecer el valor de referencia o medio de cada uno y el límite a partir del cual se presume la presencia de un vuelco compatible con vinaza o ceniza, lo que aquí se ha denominado “umbral de calidad del agua”.

Los valores de referencia de cada curso de agua se determinaron calculando la media de cada parámetro en época de estiaje de los 4 años monitoreados. Los umbrales de calidad del agua se establecieron empleando la desviación estándar promedio de

los mismos años y sólo para el estiaje, que en general coincide con la época de zafra. Esta desviación estándar fue sumada o restada a la media de cada variable según correspondiera. Así, los umbrales de calidad del agua se configuraron de la siguiente manera:

- al pH medio de la época de estiaje se le restó 1 desvío estándar
- a la conductividad media de la época de estiaje se sumó 1 desvío estándar
- a la turbiedad media de la época de estiaje se sumó 1 desvío estándar
- al oxígeno disuelto de la época de estiaje se le restó 1 desvío estándar (en los casos que el valor fuera menor a 1, se consideró 1 como umbral).

Se optó por seleccionar los valores promedios en la época de estiaje dado que es en ese período cuando los ingenios se encuentran en producción y hay más posibilidades de vuelcos.

Los promedios y desviaciones estándar de los 4 parámetros y todos los afluentes, y los umbrales de calidad del agua adoptados se presentan en la Tabla 22.

Para identificar posibles vuelcos compatibles con ceniza, sólo se analizaron los meses de estiaje, dado que la turbiedad provocada por el aumento de caudal de ríos y arroyos a causa de las precipitaciones durante el período húmedo agregaría demasiados falsos positivos al análisis.

Por su parte, para la vinaza se tuvo en cuenta todo el período analizado, tanto en el período húmedo como de estiaje.

Afluente	Parámetro	Húmedo (interzafra)		Estiaje (zafra)		Umbral	Condiciones posible vuelco de vinaza	Condiciones posible vuelco de ceniza
		Media	Desvío est.	Media	Desvío est.			
Salí	pH	7.91	1.10	7.83	0.98	6.85		
	Conductividad	911.00	210.00	1083.00	112.00	1195.00	ph < 6.85 + OD < 1.00 + conductividad > 1195.00	Turbiedad > 292.00 + OD < 1.00 + pH > 6.85
	Turbiedad	203.00	191.00	184.00	108.00	292.00		
	OD	4.42	1.57	1.71	2.02	<1		
Chico	pH	7.86	1.12	8.22	0.80	7.42		
	Conductividad	275.00	112.00	412.00	92.00	504.00	ph < 7.42 + OD < 5.70 + conductividad > 504.00	Turbiedad > 158.00 + OD < 5.70 + pH > 7.42
	Turbiedad	207.00	209.00	65.00	93.00	158.00		
	OD	5.84	1.14	7.16	1.46	5.70		
Gastona	pH	7.77	1.00	7.89	0.77	7.12		
	Conductividad	154.00	82.00	258.00	75.00	333.00	ph < 7.12 + OD < 2.00 + conductividad > 333.00	Turbiedad > 138.00 + OD < 2.00 + pH > 7.12
	Turbiedad	149.00	164.00	70.00	68.00	138.00		
	OD	5.00	1.00	4.00	2.00	2.00		
Marapa	pH	7.86	0.80	8.32	0.80	7.52		
	Conductividad	809.00	478.00	1040.00	305.00	1345.00	ph < 7.52 + OD < 6.00 + conductividad > 1345.00	Turbiedad > 128.00 + OD < 6.00 + pH > 7.52
	Turbiedad	155.00	174.00	58.00	70.00	128.00		
	OD	6.30	1.27	7.50	1.50	6.00		
Seco	pH	7.66	1.04	7.76	0.83	6.93		
	Conductividad	144.00	67.00	230.00	97.00	327.00	ph < 6.93 + OD < 4.40 + conductividad > 327.00	Turbiedad > 131.00 + OD < 4.40 + pH > 6.93
	Turbiedad	123.00	144.00	55.00	76.00	131.00		
	OD	5.50	1.30	5.90	1.50	4.40		
Colorado	pH	7.65	1.00	7.84	0.90	6.94		
	Conductividad	619.00	255.00	914.00	166.00	1080.00	ph < 6.94 + OD < 1.00 + conductividad > 1080.00	Turbiedad > 326.00 + OD < 1.00 + pH > 6.94
	Turbiedad	181.00	150.00	208.00	118.00	326.00		
	OD	3.70	1.70	1.50	1.30	<1		
Matzambi	pH	8.03	1.20	8.30	1.00	7.30		
	Conductividad	794.00	249.00	1025.00	149.00	1174.00	ph < 7.30 + OD < 4.90 + conductividad > 1174.00	Turbiedad > 114.00 + OD < 4.90 + pH > 7.30
	Turbiedad	170.00	157.00	55.00	59.00	114.00		
	OD	4.90	1.40	6.60	1.70	4.90		
Mista	pH	8.20	1.06	8.40	0.97	7.43		
	Conductividad	3845.00	16531.00	2839.00	236.00	3075.00	ph < 7.43 + OD < 5.50 + conductividad > 3075.00	Turbiedad > 68.00 + OD < 5.50 + pH > 7.43
	Turbiedad	61.00	79.00	29.00	39.00	68.00		
	OD	5.40	2.50	8.10	2.60	5.50		
Troncal	pH	8.25	1.08	8.10	0.90	7.20		
	Conductividad	3432.00	906.00	2726.00	640.00	3366.00	ph < 7.20 + OD < 1.00 + conductividad > 3366.00	Turbiedad > 236.00 + OD < 1.00 + pH > 7.20
	Turbiedad	134.00	145.00	143.00	93.00	236.00		
	OD	5.10	2.30	2.50	2.30	<1		
Aguas Blancas	pH	7.60	1.00	7.50	0.80	6.70		
	Conductividad	471.00	156.00	504.00	100.00	604.00	ph < 6.70 + OD < 1.00 + conductividad > 604.00	Turbiedad > 228.00 + OD < 1.00 + pH > 6.70
	Turbiedad	97.00	105.00	137.00	91.00	228.00		
	OD	3.90	1.50	1.40	1.60	<1		
Del Estero	pH	7.40	1.10	7.30	0.90	6.40		
	Conductividad	301.00	65.00	281.00	43.00	324.00	ph < 6.40 + OD < 1.00 + conductividad > 324.00	Turbiedad > 278.00 + OD < 1.00 + pH > 6.40
	Turbiedad	95.00	99.00	179.00	99.00	278.00		
	OD	4.30	1.70	1.80	1.40	<1		
Mista Mezcla	pH	8.40	0.90	6.60	1.10	5.50		
	Conductividad	1438.00	693.00	1470.00	180.00	1650.00	ph < 5.50 + OD < 1.00 + conductividad > 1650.00	Turbiedad > 259.00 + OD < 1.00 + pH > 5.50
	Turbiedad	85.00	136.00	167.00	92.00	259.00		
	OD	2.80	2.10	1.90	1.70	<1		

Tabla 22 Valores medio y desviación estándar en el período húmedo/estiaje y umbrales de calidad de agua para emisión de alerta.

BIBLIOGRAFÍA

- Adler, F. 2014. El futuro del agua de Tucumán. Yerba Buena. 492p.
- Arango Romero, Paola. 2013. Evaluación de alternativas para el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Antanas del Municipio de San Juan de Pasto en Colombia. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Exactas. Universidad de Buenos Aires. Publicado en: http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_5415_ArangoRomero.pdf. Fecha de consulta: abril 2016.
- Auditoría General de la Nación. 2015. Implementación del Plan Nacional Federal de Recursos Hídricos (PNFRH). Período auditado: 2008 - junio de 2014. Publicado en: http://www.agn.gov.ar/files/informes/2015_070info_0.pdf. Fecha de consulta: mayo 2016.
- Autoridad de Cuenca Matanza Riachuelo. 2009. Criterios utilizados para la definición de los valores asociados a cada zona de uso. Publicado en: <http://www.acumar.gov.ar/ACUsentencias/ndoza/2009abril/060409e/AnexoIIusos060409.pdf>. Fecha de consulta: mayo de 2016.
- Autoridad del Agua de la Provincia de Buenos Aires. 2006. Resolución 42/2006. Referencia de calidad de aguas dulces y marinas para la protección de la vida acuática, para agua de uso recreativo en la zona de uso exclusivo del Río de la Plata y su frente marítimo y aguas dulces como fuente de agua potable. Publicado en: <http://www.ada.gba.gov.ar/normativa/RESOLUCIONES/resol42-2006.pdf>. Fecha de consulta: mayo de 2016.
- Calzada, J. y Rossi, G. 2014. La producción de bioetanol en base a maíz supera a la de caña de azúcar en Argentina. Bolsa de Comercio de Rosario. Boletín Informativo Semanal. AÑO XXXII - N° 1677 - 26 de septiembre de 2014. Publicado en: https://www.bcr.com.ar/Publicaciones/Informativo%20semanal/bcr2014_09_26.pdf. Fecha de consulta: mayo de 2016.
- Centro Azucarero Argentino. 2016. Estadísticas zafra 2015. Publicado en: <http://www.centroazucarero.com.ar/zafras/zafra2015.html>. Fecha de consulta: mayo de 2016.
- Chorus, Indrid; Falconer, Ian; Salas, Henry y Bartram, Jamie. 1998. Riesgos a la salud causados por cianobacterias y algas de agua dulce en aguas recreacionales. Publicado en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/caliagua/peru/percca023.pdf>. Fecha de consulta: abril de 2016.
- Defensoría del Pueblo de la Nación. 2006. Actuación 2150/06 "Solicitud de intervención sobre las radicaciones de pasteras en país limítrofe y dentro del país", folio 915, Nota SPACCyDS N°49/2016.
- Defensoría del Pueblo de la Nación. 2010. Informe Base de Datos Georreferenciada de la Cuenca Salí-Dulce.
- Defensoría del Pueblo de la Nación. 2015. Actuación 3636/11 "Defensoría del Pueblo de la Nación sobre seguimiento del cumplimiento de los planes de reconversión industrial de la Cuenca Salí-Dulce", folios 1145 a 1155.
- Diez, Oscar; Cruz, Carolina y Cárdenas, Gerónimo. Optimización energética para la producción simultánea de azúcar y alcohol en Tucumán, República Argentina. Revista industrial y agrícola. Volumen 88. Número 2. Diciembre 2011. Publicado en: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-30182011000200004. Fecha de consulta: septiembre 2014.
- Dirección de Estadística, Secretaría de Planeamiento, Provincia de Tucumán. 2010. Documento Informativo – Infraestructura de Datos Espaciales de la Provincia de Tucumán, Proyecto IDE. Publicado en: <http://central.tucuman.gov.ar:8180/pmappdev/Educativo/TextoInformatTUCUMAN.pdf>. Fecha de consulta: septiembre de 2014.

- Fink, Nadia (Editora). 2010. Engordes a corral en Argentina - Una amenaza para la salud, el ambiente y la producción campesino-indígena. Taller Ecologista, Food and Water Watch y Acción por la Biodiversidad. Publicado en: http://www.biodiversidadla.org/Autores/Taller_Ecologista_Food_and_Water_Watch_MNCI_y_Accion_por_la_Biodiversidad. Fecha de consulta: abril de 2016.
- Frediani, G. 1992. Aspectos económicos en la zona semiárida de Santiago del Estero. Publicado en: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/30109/Documento_completo.pdf?sequence=1. Fecha de consulta: abril de 2016.
- García, A. y Rivas, A. 2012. Geografía de Tucumán. Universidad Nacional de Tucumán. Publicado en: <https://es.scribd.com/doc/296508898/1855173808-HIDROGRAFIA2012>. Fecha de consulta: mayo de 2016.
- Global Water Partnership. 2009. Manual para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos en Cuenas. Publicado en: [http://www.gwp.org/Global/ToolBox/References/A%20Handbook%20for%20Integrated%20Water%20Resources%20Management%20in%20Basins%20\(INBO,%20GWP,%202009\)%20SPANISH.pdf](http://www.gwp.org/Global/ToolBox/References/A%20Handbook%20for%20Integrated%20Water%20Resources%20Management%20in%20Basins%20(INBO,%20GWP,%202009)%20SPANISH.pdf). Fecha de consulta: abril de 2016.
- Greenpeace. 2006. El Futuro de la Producción de Celulosa y las técnicas de producción más favorables para el medio ambiente. Publicado en: <http://www.greenpeace.org/argentina/Global/argentina/report/2006/4/el-futuro-de-la-produccion-n-de.pdf>. Fecha de consulta: abril de 2016.
- Greenpeace. 2009. Justicia Ambiental. La crítica situación del acceso al agua. Campaña Tóxicos / Riachuelo. Publicado en: <http://www.greenpeace.org/argentina/Global/argentina/report/2009/5/justicia-ambiental-la-cr-tica.pdf>. Fecha de consulta: septiembre de 2014.
- Gutiérrez, R. 2011. Modelo para armar: gestión del agua en la provincia de Buenos Aires. Universidad Nacional de San Martín. Publicado en: https://aaep.org.ar/wp-content/uploads/2013/6cong/GUTIERREZ_RICARDO.pdf Fecha de consulta: abril de 2016.
- Instituto de Recursos Naturales y Ecodesarrollo (IRNED), Universidad Nacional de Salta. 2002. Informe Especial. Análisis de la situación del embalse Río Hondo.
- Instituto Geográfico Nacional. 2014. Modelo Digital de Elevaciones de la República Argentina.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. 2010. Censo Nacional de Población, Hogares y Vivienda 2010.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. 2014. Publicado en: http://www.indec.mecon.ar/nivel4_default.asp?id_tema_1=4&id_tema_2=27&id_tema_3=66. Fecha de consulta: abril de 2016.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 2007. Mapa de cobertura y uso del suelo de Argentina. Publicado en: <http://geointa.inta.gov.ar/visor/>. Fecha de consulta: abril de 2016.
- JMB Ingeniería Ambiental. 2005. Estudio de la situación actual de la Cuenca del Río Salí. Informe Final. Proyecto JICA – JMB SA.
- La Gaceta. 19 de julio de 2013. Se incrementaron los focos de fuego y elevó el nivel de polución en la provincia. Publicado en: <http://www.lagaceta.com.ar/nota/552951/economia/se-incrementaron-focos-fuego-elevo-nivel-polucion-provincia.html>. Fecha de consulta: mayo de 2016.
- Luna, Daniel; Salusso, María M. y Moraña, Lilianna. 2002. Procesos de Autodepuración en Ríos y Embalses del Noroeste Argentino (Salta y Tucumán). Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional Salta. Publicado en: <http://www.editorial.unca.edu.ar/Publicacione%20on%20line/CD%20INTERACTIVOS/NOA2002/Proceso%20Autodepuracion%20Rios.pdf>. Fecha de consulta: abril de 2016.
- Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de la República de Cuba y Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente Humano de la República Argentina. 1995. Diagnóstico de la Contaminación de la Cuenca del Río Salí. Plan Integral de Acción para su Solución.
- Ministerio de Energía y Minería. 2016. Estadísticas biocombustibles. Publicado en: <http://www.energia.gov.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=3853>. Fecha de consulta: mayo de 2016.
- Ministerio de Energía y Minería. Resolución 37/2016. Boletín Oficial 07/04/16.
- Otaño, S. s/f. Cianobacterias toxigénicas. Fecha de consulta: abril 2016.

Programa de Financiamiento Externo Desarrollo de Áreas Metropolitanas del Interior (DAMI). 2012. Préstamo BID 2499 – OC / AR. Plan de Ejecución Metropolitana. Publicado en: http://www.dami.uec.gov.ar/wp-content/uploads/2014/07/dami.uec.gov.ar_plandeejecucionmetropolitanatucuman.pdf. Fecha de consulta: marzo de 2016.

Red de Información para el Desarrollo Productivo de Tucumán (RIDES). Geoservicios. Publicado en: <http://rides.producciontucuman.gov.ar/category/sig/visor-de-mapas/>. Fecha de consulta: abril de 2016.

San Román, Cristina (Editora). Junio 2013. Agua y Producción del NOA. Cuenca Sal-Dulce. Revista Declarada de Interés Provincial.

Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. 2007. Cuenca SALI-DULCE Componente Industria Síntesis de lo actuado. Publicado en: <http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/UPLCS/File/Cuenca%20Sal%20Dulce%20-%20Informe%20a%20Dic%202007.pdf>. Fecha de consulta: mayo de 2016.

Secretaría de Energía de la Nación. Resolución 44/14. Boletín Oficial 22/09/14.

Secretaría de Energía de la Nación. Resolución 450/13. Boletín Oficial 12/08/13.

Secretaría de Energía de la Nación. Resolución 5/12. Boletín Oficial 30/01/12.

Secretaría de Energía de la Nación. Resolución 553/10. Boletín Oficial 12/07/10.

Secretaría de Energía de la Nación. Resolución 56/12. Boletín Oficial 16/03/12.

Secretaría de Energía de la Nación. Resolución 660/15. Boletín Oficial 26/08/15.

Secretaría de Energía de la Nación. Resolución 698/09. Boletín Oficial 25/09/09.

Secretaría de Energía de la Nación. Resolución 7/10. Boletín Oficial 09/02/10.

Secretaría de Energía de la Nación. Resolución 733/09. Boletín Oficial 23/10/09.

Secretaría de Estado de Medio Ambiente de la Provincia de Tucumán. Resolución SEMA 30/2012. Protocolo de Fiscalización correspondiente al “Acuerdo para la Prevención de la Contaminación

de Origen Industrial en el Embalse Río Hondo”. Publicado en: http://sematucuman.gov.ar/web/descargas/Resoluciones%202012-2013/2012_sema_resolucion030.pdf. Fecha de consulta: mayo de 2016.

Secretaría de Minería de la Nación. 2013. Área pedemontana y llanura tucumana –Provincia de Tucumán – Recursos Hídricos. Inventario de Recursos Naturales. Publicado en: <http://web.archive.org/web/20131017180514/http://www.mineria.gov.ar/estudios/irn/tucuman/t-4a.asp>. Fecha de consulta: mayo de 2016.

Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación. 2010. Atlas de Cuencas y Regiones Hídricas Superficiales de la República Argentina – Versión 2010.

Subsecretaría de Recursos Hídricos, Universidad Nacional de Córdoba, Universidad Nacional de Santiago del Estero y DIPAS Córdoba. 2007. Programa de Monitoreo del Embalse Río Hondo – Informe Final. Disponible en: Publicado en: http://www.hidricosargentina.gov.ar/cuencas_comite.php?seccion=comite&item=1. Fecha de consulta: mayo de 2016.

UNESCO. 2010. Procesos de erosión - sedimentación en cauces y cuencas. Daniel Brea y Francisco Balocchi Editores. Documentos Técnicos del PHI-LAC, N° 22. Publicado en: http://eias.entalca.cl/isi/publicaciones/erosion_y_sedimentacion_voll.pdf. Fecha de consulta: abril 2016.

Universidad Mayor de San Simón. s/f. Eutrofización de cuerpos de agua. Facultad de Ciencias y Tecnología. Cochabamba. Bolivia. Publicado en: http://www.proyectopandora.es/wp-content/uploads/Bibliografia/13101319_eutrofizacion_cuerpos.pdf. Fecha de consulta: abril 2016.

Yinet Marzo, M. 2011. Diagnóstico ambiental de la cuenca hidrográfica Guaso. Revista Vinculando. Ciudad de México. Publicado en: http://vinculando.org/articulos/sociedad_america_latina/diagnostico_ambiental_de_la_cuenca_hidrografica_guaso.html. Fecha de consulta: abril de 2016.