

DIAGNÓSTICO FÍSICO QUÍMICO Y  
MICROBIOLÓGICO DEL AGUA  
SUPERFICIAL DEL ÁREA SERRANA DEL  
ARROYO NAPALEOFU.

TANDIL, PROVINCIA DE BUENOS AIRES

---

María Gabriela Mazzucchelli

2016

Maestría en Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas

Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales

Universidad Nacional de La Plata

2016

## **DIAGNÓSTICO FÍSICO - QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO**

**DEL ÁREA SERRANA DEL ARROYO NAPALEOFU.**

**TANDIL. PROVINCIA DE BUENOS AIRES.**

Lic. María Gabriela Mazzucchelli

Director: Dr. Mg. Sc. Ing. Ftal. Fernanda J. Gaspari

Co Director: Dr. Ing. Agr. Gabriel Vázquez Amábile

**DIAGNÓSTICO FÍSICO -QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DEL AGUA SUPERFICIAL DEL ÁREA  
SERRANA DEL ARROYO NAPALEOFU. TANDIL. PROVINCIA DE BUENOS AIRES**

**ÍNDICE TEMÁTICO**

<b>RESUMEN</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>3</b>
<b>MARCO CONCEPTUAL</b>	<b>4</b>
<b>RESEÑA CONCEPTUAL DE LA DINÁMICA ESPACIO – TEMPORAL DE NUTRIENTES Y MICROORGANISMOS</b>	<b>8</b>
<b>FUNDAMENTACIÓN DE LA ELECCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO</b>	<b>11</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>13</b>
<b>CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO</b>	<b>13</b>
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>19</b>
<b>1. Recopilación de antecedentes bibliográficos y de campo.</b>	<b>19</b>
<b>2. Diagnóstico ambiental espacio temporal.</b>	<b>19</b>
2.1. Análisis espacio temporal de uso del suelo.	19
2.2. Zonificación espacio temporal de índices de vegetación.	21
2.3. Análisis de la tasa de cambio de uso del suelo.	22
2.4. Análisis climático.	23
2.5. Caracterización geológica.	23
2.6. Caracterización edafológica.	23
2.7. Caracterización paisajística.	24
<b>3. Determinación de los sitios de muestreo en la cuenca.</b>	<b>25</b>
<b>4. Caracterización físico química y microbiológica del agua superficial de     la cuenca.</b>	<b>26</b>
4.1 Protocolos de muestreo y tratamiento de las muestras.	26
4.2 Determinación de parámetros.	28
<b>5. Calidad del agua.</b>	<b>28</b>
5.1. Evaluación de la calidad del agua mediante la aplicación de índices de calidad de agua.	28
5.1.1. Índice de calidad de agua de la National Science Foundation (ICA NSF).	29
5.1.2. Índice de calidad de agua ICAsub propuesto por Rodríguez de Bascarón (1979).	30
5.1.3. Índice de calidad de agua British Columbia (BCWQI).	31
5.2 Evaluación de la calidad del agua mediante análisis comparativo con valores normados nacionales e internacionales.	32
<b>6. Evaluación de la calidad del agua espacial y temporal.</b>	<b>33</b>
<b>7. Cuantificación del índice de estado trófico en la cuenca del arroyo     Napaleofú.</b>	<b>33</b>
<b>RESULTADOS.</b>	<b>37</b>
<b>1. Recopilación de antecedentes bibliográficos y de campo.</b>	<b>37</b>
<b>2 Diagnóstico ambiental espacio temporal.</b>	<b>38</b>
2.1) Análisis espacio temporal de uso del suelo.	38
2.2) Zonificación espacio temporal de índices de vegetación.	41

2.3) Análisis de la tasa de cambio de uso del suelo.	45
2.4) Análisis climático.	45
2.5) Caracterización geológica.	47
2.6) Caracterización edafológica.	50
2.7) Caracterización paisajística.	56
<b>3. Caracterización de los Sitios de muestreo en la cuenca.</b>	<b>58</b>
Sitio 1: Ruta 226	60
Sitio 2. Arroyo Ballenera	61
Sitio 3: Arroyo Napaleofú.	63
Sitio 4: Naciente Arroyo Napaleofú	66
Sitio 5: Arroyo Los Galpones	68
Sitio 6: Arroyo Pesquería	71
Sitio 7. Cabecera del Arroyo Pesquería	73
<b>4. Caracterización físico química y microbiológica del agua superficial de la cuenca.</b>	<b>75</b>
<b>5. Calidad del agua.</b>	<b>84</b>
5.1) Evaluación de la calidad del agua mediante la aplicación de índices de calidad de agua.	84
5.1.1. Índice de calidad de agua de la National Science Foundation (ICA NSF).	84
5.1.2 Índice de calidad de agua ICA sub.	91
5.1.3. Índice de calidad de agua British Columbia (BCWQI.)	92
5.2) Evaluación de la calidad del agua mediante análisis comparativo con valores normados nacionales e internacionales.	94
<b>6. Evaluación de la calidad del agua espacial y temporal.</b>	<b>102</b>
<b>7. Cuantificación del índice de estado trófico en la cuenca del arroyo Napaleofú.</b>	<b>107</b>
<b>CONCLUSIÓN</b>	<b>113</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>117</b>
<b>Anexo 1. Materiales y Métodos - Capítulo 4 – Procedimientos toma de muestra y análisis.</b>	<b>125</b>
1) Ph	126
2) TEMPERATURA (T°)	126
3) OXIGENO DISUELTO (OD)	127
4) NITRATO (NO <sub>3</sub> -)	129
5) AMONIO (NH <sub>4</sub> -)	130
6) SÓLIDOS TOTALES (ST)	131
7) FÓSFORO TOTAL	132
8) ORTOFOSFATO (PO <sub>4</sub> -)	133
9) COLIFORMES TOTALES - COLIFORMES FECALES	134
<b>Anexo 2. Resultados – Capítulo 1: Trabajos publicados de la cuenca del Arroyo Napaleofú durante el desarrollo de la tesis.</b>	<b>138</b>
<b>Anexo 3. Resultados – Capítulo 5: Tablas de parámetros registrados en los muestreos</b>	<b>139</b>

## ÍNDICE FIGURAS

### RESEÑA CONCEPTUAL DE LA DINÁMICA ESPACIO – TEMPORAL DE NUTRIENTES Y MICROORGANISMOS

Figura 1: Reciclado de nutrientes en un sistema lótico. 9

### CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Figura 2: Ubicación de la cuenca serrana del arroyo Napaleofú. 13

Figura 3: Mapa topográfico de la cuenca alta del arroyo Napaleofú. 15

Figura 4: Modelo digital de elevación de la cuenca en estudio. 16

Figura 5: Drenaje permanente y temporario de la cuenca de estudio. 16

Figura 6: Red y orden de drenaje en la cuenca alta del A° Napaleofú. 17

Figura 7: Subcuencas de la Cuenca serrana del arroyo Napaleofú. 18

### MATERIALES Y MÉTODOS

Figura 2.1. Referencia colorimétrica de los mapas según NDVI 22

Figura 5. 1: Escala de clasificación del Índice ICA NSF. 30

Figura 5.2: Rangos y relaciones de los factores del índice BCWQI. 31

### RESULTADOS.

Figura 2.1: Usos de suelo presentes en los años 1986; 1996 y 2011 40

Figura 2.2: Porcentajes de cambio de usos de suelo entre los años 1986; 1996 y 2011. 41

Figura 2.3: NDVI 1986; 1996 y 2011. 42

Figura 2.4: Histograma de frecuencias relativas de NDVI. 43

Figura 2.5: Relación temperatura y precipitación media mensual Tandil (1996 – 2011). 46

Figura 2.6: Precipitaciones medias mensual y media de días llovidos (1996 – 2011). 46

Figura 2.7: Rosa de los vientos Tandil (1996 – 2011). 47

Figura 2.8: Secuencia estratigráfica. 48

Figura 2.9: Dominios edáficos presentes en la cuenca. 51

Figura 2.10 dominios edáficos presentes en el área de estudio. 52

Figura 2.11: Dominios edáficos presentes en la cuenca (%) 52

Figura 2.12. Curvas de potencial mátrico, mátrico más osmótico y conductividad hidráulica 55

Figura 3.1: Sitios de muestreo de agua superficial. 59

Figura 3.2: Sitio 1. Detalle. 60

Figura 3.3: Sitio 1: Vista general; aguas arriba y aguas abajo. 61

Figura 3.4: Sitios 2 y 3 62

Figura 3.5: Sitio 2. Restos vegetales sobre los alambrados de los alrededores del Sitio. 62

Figura 3.6: Sitio 2. Corte transversal del arroyo Ballenera 63

Figura 3.7: Sitio 2. Vista aguas arriba y aguas abajo. 63

Figura 3.8: Sitio 3. Observaciones abril 2014. 64

Figura 3.9: Sitio 3. Perfil transversal. 64

Figura 3.10: Sitio 3. Detalle, vista aguas arriba (A) y aguas abajo (B). 65

Figura 3.11: Sitio 3. Alrededores con restos vegetales sobre el alambrado. 65

Figura 3.12: Sitio 4. Detalle 66

Figura 3.13: Sitio 4. Perfil transversal. 66

Figura 3.14: Sitio 4. Restos vegetales sobre los alambrados de los alrededores del Sitio 67

Figura 3.15: Sitio 4. Vista aguas arriba y aguas abajo. 67

Figura 3.16: Sitio 4. Presencia de ganado aguas abajo. 68

Figura 3.17: Sitio 5. Ubicación. 68

Figura 3.18: Sitio 5. Afloramientos rocosos.	69
Figura 3.19: Sitio 5. Sauces en las riberas y el cauce del arroyo Los Galpones.	69
Figura 3.20: Sitio 5. “Embalsados” sobre el arroyo.	70
Figura 3.21: Sitio 5 Vista general; aguas arriba y aguas abajo.	70
Figura 3.22: Sitio 6. Ubicación.	71
Figura 3.23: Sitio 6. Vegetación flotante y arraigada en el curso de agua.	71
Figura 3.24: Sitio 6. Perfil medio al pelo de agua.	72
Figura 3.25: Sitio 6. Terrazas de cultivo de papa y maíz; pivotes de riego y potreros de ganado vacuno.	72
Figura 3.26: Sitio 6. Vista general; aguas arriba y aguas abajo.	73
Figura 3.27: Sitio 7. Ubicación	74
Figura 3.28: Sitio 7. Perfil transversal.	74
Figura 3.31: Sitio 7. Vista general; aguas arriba y aguas abajo.	75
Figura 4.1: Variación de la temperatura del agua superficial (°C) en los cuatro Momentos de la toma de datos.	76
Figura 4.2: Variación del pH en los cuatro momentos de la toma de datos.	77
Figura 4.3: Variación del oxígeno disuelto en el período muestreado.	78
Figura 4.4: Variación de los sólidos totales en el período muestreado.	79
Figura 4.5: Variación del amonio en los cuatro Momentos de la toma de datos.	80
Figura 4.6. Variación del nitrato en los cuatro Momentos de la toma de datos.	81
Figura 4.7: Variación del fósforo total en los cuatro Momentos de la toma de datos.	82
Figura 4.8: Variación de coliformes totales y fecales y escala ampliada.	84
Figura 5.1: Sitio 1. Calidad de los parámetros.	86
Figura 5.2: Sitio 2. Calidad de los parámetros.	87
Figura 5.3: Sitio 3. Calidad de los parámetros.	88
Figura 5.4: Sitio 4. Calidad de los parámetros.	88
Figura 5.5: Sitio 5. Calidad de los parámetros.	89
Figura 5.6: Sitio 6. Calidad de los parámetros.	90
Figura 5.7: Sitio 7. Calidad de los parámetros.	90
Figura 5.8: Índice de calidad de agua BCWQI. Factores componentes.	93
Figura 5.9: Índice de calidad BCWQI e índice normalizado.	93
Figura 5.10 Cuantificación de pH por Sitio y por fecha.	96
Figura 5.11: Cuantificación de OD por Sitio y por fecha.	97
Figura 5.12: Cuantificación de $\text{NH}_4^+$ por Sitio y por fecha.	97
Figura 5. 13: Cuantificación de $\text{NO}_3^-$ por Sitio y por fecha.	99
Figura 5. 14: Cuantificación de P total por Sitio y por fecha.	100
Figura 5. 15: Cuantificación de coliformes totales por Sitio y por fecha.	101
Figura 5. 16: Cuantificación de coliformes fecales por Sitio y por fecha.	102
Figura 6.1: Incidencia de los parámetros involucrados en el ICA NSF – Abril 2013.	103
Figura 6.2: Incidencia de los parámetros involucrados en el ICA NSF – Agosto 2014.	104
Figura 6.3: Incidencia de los parámetros involucrados en el ICASub: Abril 2013 - Agosto 2014.	105
Figura 6.4: Incidencia del ICA BCWQI en los Sitios evaluados.	106

---

Figura 7.1: Estados tróficos presentes en cada Sitio.	108
Figura 7.2: Variación del estado trófico durante el Momento 3 (otoño).	109
Figura 7.3: Variación del estado trófico durante el Momento 4 (nvierno).	110
Figura 7.4: Variación del estado trófico durante el Momento 1 (primavera).	110
Figura 7.5: Variación del estado trófico durante el Momento 2 (verano).	111
Figura 7.6: Estados tróficos prevalentes por fechas de muestreo.	112
<b>Anexo 1. Materiales y Métodos - Capítulo 4</b>	
Figura 1: Procedimiento de análisis con kit colorimétrico.	125
Figura 2: Nomograma.	128
Figura 3: Fotómetro monoparamétrico y procedimiento de análisis	133
Figura 4: Diluciones de la muestra de agua superficial.	135
Figura 5: Diagrama de procedimientos coliformes totales y coliformes fecales. Técnica de tubos múltiples.	136

## ÍNDICE TABLAS

---

### MATERIALES Y MÉTODOS

Tabla 4. 1: Normas de muestreo.	27
Tabla 4. 2: Procedimientos para el tratamiento de las muestras.	27
Tabla 5.1: Clasificación del índice ICAsub	30
Tabla 5.2: Clasificación del ICA BCWQI.	32
Tabla 6.1: Clasificación del estado trófico para ríos. Índice de Carlson modificado por Lamparelli.	36
Tabla 6.2: Clases de estado trófico. Características principales.	36

### RESULTADOS.

Tabla 2.1: Estadísticos de NDVI obtenidos.	43
Tabla 2.2. Características estructurales y texturales de suelos en la cuenca.	53
Tabla 2.3. Características de los suelos que componen los dominios edáficos de la cuenca.	54
Tabla 3.1: Ubicación y coordenadas geográficas de los Sitios de muestreo	59
Tabla 5.1: ICA NSF abril 2013.	85
Tabla 5.2: ICA NSF agosto 2014.	85
Tabla 5.3: ICAsub Abril 2013.	91
Tabla 5.4: ICA sub agosto 2014.	92
Tabla 5.5: Legislación nacional e internacional con reglamentación vinculada a los usos protección de biota, recreativo, riego y bebida de animales.	95
Tabla 5.6: Cuantificación de $\text{NH}_4^+$ por Sitio y por fecha.	98
Tabla 7.1: Estados tróficos ponderados del Arroyo Napaleofú.	107
Tabla 7.2: Clasificación del estado trófico del arroyo Napaleofú en los distintos muestreos.	107
Tabla 7.3: Porcentaje de estado trófico prevalente de cada Sitio.	108
Tabla 7.4: Estimación de IET por fechas de muestreo.	111
<b>Anexo 1. Materiales y Métodos - Capítulo 4</b>	
Tabla A.1: Porcentaje de amoníaco a diferentes valores de pH y temperatura.	130



## DIAGNÓSTICO FÍSICO -QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DEL AGUA SUPERFICIAL DEL ÁREA SERRANA DEL ARROYO NAPALEOFU. TANDIL. PROVINCIA DE BUENOS AIRES

### RESUMEN

Las aguas superficiales son vulnerables a diferentes factores que pueden afectar su calidad. El clima, la hidrología, la geomorfología y la influencia de actividades realizadas por el hombre afectan la calidad física, química y biológica del agua. El objetivo principal de esta tesis fue realizar un diagnóstico físico - químico y microbiológico del agua superficial del área serrana del arroyo Napaleofú, Argentina. La metodología aplicada se basó en un diagnóstico ambiental espacio temporal a partir de la zonificación del uso de suelo y de índices de vegetación. Se realizó un monitoreo de agua superficial del arroyo, entre septiembre 2012 y enero 2015, y se cuantificaron parámetros físico – químicos y bacteriológicos. Para evaluar la calidad del agua se aplicaron los índices de calidad de agua ICA NSF, ICAsub e ICA BCWQI y se contrastó los valores hallados con valores de referencia nacional e internacional para distintos usos. Se determinó el estado trófico del arroyo por aplicación del índice de Carlson modificado por Lamparelli en base a la concentración de fósforo. Los ICAs obtenidos para los meses de abril 2013 y agosto 2014 se incorporaron, mediante SIG, a la cartografía de la cuenca, observándose la incidencia espacio – territorial de los mismos. Se realizó un diagnóstico morfométrico de la cuenca y de cambio de uso del suelo. El análisis de los parámetros físico-químicos (amonio, nitrato y fósforo total) y biológicos (coliformes totales y fecales) fueron determinantes respecto de la calidad del agua del arroyo. La presencia de los compuestos nitrogenados en distintos estados de oxidación podría inferirse a partir de la mineralización de la materia orgánica presente más el aporte de nitratos provenientes del agua subterránea. El registro de amonio en situaciones puntuales podría indicar su procedencia de fuentes antrópicas. No fue posible detectar una relación causa – efecto para el fósforo total. La presencia de coliformes totales y fecales se observó en Sitios vinculados a actividades antrópicas. Los resultados de todos los índices aplicados (ICAs e IET) reflejaron que en agosto 2014 el agua superficial presentó mejores condiciones de calidad y particularmente en la cuenca alta. A partir de los datos relevados durante el desarrollo de esta tesis y con los resultados alcanzados, se ha generado un punto de partida para futuras investigaciones que prosigan con el monitoreo de aguas superficiales y zonificación de sus parámetros en el arroyo Napaleofú.

**Palabras claves:** Arroyo Napaleofú, Indicadores Calidad de Agua, diagnóstico espacio temporal.

A mi viejo, que siempre soñó estudiar...

## DIAGNÓSTICO FÍSICO -QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DEL AGUA SUPERFICIAL DEL ÁREA SERRANA DEL ARROYO NAPALEOFU. TANDIL. PROVINCIA DE BUENOS AIRES

### INTRODUCCIÓN

Las características físicas, químicas y microbiológicas del agua determinan su calidad, la cual puede ser modificada por procesos naturales o antrópicos. De los procesos mencionados, los segundos adquieren importancia dada la velocidad a la que ocurren y a la magnitud de los mismos, en tales casos se puede hablar de contaminación. La contaminación es la introducción de agentes biológicos, químicos o físicos a un medio al que no pertenecen. De acuerdo al modo en que se produce la contaminación y a su forma de llegada a la fuente de agua, se puede distinguir entre contaminación difusa y puntual. La contaminación difusa es el resultado generalmente de actividades de tipo agropecuarias, como lo son el uso de fertilizantes, plaguicidas, excretas de animales domésticos/ganado, que por escorrentía llegan al cuerpo de agua (Lassaletta Coto, 2003).

Un cambio en el uso del suelo puede alterar el contenido de nutrientes de las aguas superficiales y subterráneas, más concretamente los niveles de nitrógeno y fósforo (Kiersch, 2002; Moreno Franco et al., 2010). Las prácticas de uso de la tierra pueden afectar la calidad del agua en forma cuali y cuantitativa, tendiendo este cambio a un proceso de contaminación por excesos o deficiente distribución en el espacio y en el tiempo.

El nitrógeno y el fósforo son dos nutrientes vinculados a los procesos de eutrofización de los cuerpos de agua, pudiendo llegar a estos por medio de contaminación difusa vinculada al uso de fertilizantes, entre otros (Kiely, 1999; Moreno Franco et al., 2010). La palabra eutrofia procede del adjetivo alemán “eutrophe” y significa “rico en nutrientes”. La eutrofización se define como el enriquecimiento de las aguas con nutrientes, específicamente compuestos de nitrógeno y fósforo, a un ritmo tal que no puede ser compensado por la eliminación o mineralización total de éstos (Martino, 1989). Las actividades agrícolas son una de las principales fuentes de ingreso difuso de fósforo y nitrógeno a los ecosistemas acuáticos. Estos ingresos son difíciles de medir, ya que derivan de actividades dispersas en zonas amplias y, son variables en el tiempo debido a los efectos del clima. En los ecosistemas acuáticos, estos nutrientes en alta concentración causan diversos problemas tales como floraciones de algas tóxicas, limitación de oxígeno (anoxia), muerte de peces, pérdida de la biodiversidad, entre otros (Ongley, 1997; Carpenter, et al., 1998; Arcos Pulido et al., 2005), deteriorando la calidad de agua.

Las actividades antrópicas afectan la calidad bacteriológica del agua. En las zonas rurales la contaminación bacteriológica puede originarse en el pastoreo en las riberas de los ríos, el aporte de desechos de la producción ganadera y la presencia de corrales de animales que actúan como reservorios de agentes microbianos, muchos de ellos incluso patógenos.

Estados Unidos es uno de los pocos países que elabora sistemáticamente estadísticas nacionales sobre los problemas de calidad del agua, desglosando entre fuentes localizadas y no localizadas. Es así que según un estudio realizado por la Environmental Protection Agency de EEUU (EPA) en 1994, entre las causas principales de deterioro de la calidad del agua en Estados Unidos, en orden de importancia, la agricultura ocupa el primer lugar. En el mismo, se observaron efectos ecológicos negativos debidos a la agricultura en un 72% de la longitud de los ríos, siendo los nutrientes los causantes de esta contaminación en un 37 % y los agentes patógenos en un 27 %, entre otros. Del mismo modo, en Francia en 1980, dada la intensificación de los cultivos y las actividades ganaderas “industrializadas”, se llegó a la conclusión que la agricultura es un importante factor de contaminación difusa de las aguas superficiales. En un estudio comparativo, entre las fuentes de contaminación de origen doméstico, industrial y agrícola en la zona costera de los países mediterráneos europeos, el PNUMA, en 1996, comprobó que la agricultura era la principal fuente de compuestos de fósforos y sedimentos (Ongley, 1997).

Respecto al nitrógeno inorgánico, según datos consultados, la agricultura contribuye con el 50 % en Dinamarca y el 71 % en los Países Bajos (FAO, 1996). Las altas pérdidas de nitrógeno en los horizontes superficiales de los suelos agrícolas por lixiviados pueden ocurrir cuando se aplica fertilizantes a cultivos estacionales en suelos permeables. La cubierta continua del suelo reduce la lixiviación del nitrógeno, en cambio durante los períodos de barbecho la incrementan (BGS et al., 1996). El laboreo puede aumentar las concentraciones de nitratos en las aguas superficiales y subterráneas ya que la oxigenación del suelo acelera el proceso de nitrificación (Falkenmark y Chapman, 1989).

La producción ganadera puede ser la principal fuente de fósforo en las aguas. El lixiviado de los fosfatos en el agua es inhibido por los procesos de adsorción de las partículas arcillosas (BGS et al., 1996).

## **MARCO CONCEPTUAL**

Las aguas superficiales son vulnerables a diferentes factores que pueden afectar su calidad. El clima, la hidrología, la geomorfología y la influencia de actividades realizadas por el hombre afectan la calidad física, química y biológica del agua. La calidad del agua no es una característica absoluta, sino

que es más un atributo definido socialmente en función del uso que se le piense dar al líquido; considerando que cada uso requiere un determinado estándar de calidad. Por esta razón, para evaluar la calidad del agua es necesario considerar el contexto del uso probable que tendrá (SEMARNAT, 2005).

La calidad del agua puede definirse relacionando los valores obtenidos de una medición del curso de agua por medio de la construcción de índices de calidad según un sistema de referencia o, en contraste con los niveles guía

Según González (2007), la UNESCO/WHO/UNEP establece que determinar el valor de la calidad del agua, significa evaluar su naturaleza química, física y biológica, en relación con su calidad natural, efectos humanos y uso pretendido, es decir, consumo, recreación, irrigación y pesca; y en particular los que puedan afectar la salud pública o la de los sistemas acuáticos. Por otro lado, define como objetivos principales: verificar si la calidad observada del agua es adecuada para el uso pretendido, determinar tendencias en la calidad del agua y en la evaluación de impactos (por ejemplo, la liberación de contaminantes o los efectos de medidas de restauración), estimar el flujo de nutrientes o contaminantes y valorar el entorno y trasfondo de la calidad de los ambientes acuáticos.

El monitoreo es la principal herramienta para definir la calidad del curso de agua. El mismo implica periodos de muestreo largos en el tiempo, mediciones estandarizadas, colección de información en un número determinado de estaciones a intervalos de tiempos regulares, con el fin de proveer datos que puedan ser usados para recabar información y definir las condiciones actuales del sistema, establecer tendencias y proporcionar información para verificar las relaciones causa-efecto (Gonzalez, 2007). Por tal razón, agencias gubernamentales, ambientales, universidades y diversas organizaciones, se han preocupado por evaluar el impacto antrópico sobre los recursos hídricos a través del estudio de la naturaleza química, física y biológica del agua, mediante programas de monitoreo. El tratamiento de los datos obtenidos en el monitoreo es una tarea compleja, larga y, en muchas ocasiones difícil de comprender para los diferentes actores involucrados en el proceso de valorar la calidad del agua.

Un índice de calidad de agua es una expresión matemática sencilla de una combinación más o menos compleja de un número de parámetros, en su mayoría físico-químicos y en algunos casos microbiológicos, los cuales sirven como una medida de la calidad del agua (ICA, 2010).

El índice puede ser representado por un número, un rango, una descripción verbal, un símbolo o un color. Su ventaja radica en que la información puede ser interpretada más fácilmente que una lista de valores numéricos, pudiendo asociarse a un porcentaje de calidad, fácil de interpretar y construido a partir de criterios científicos de calidad de agua (ICA, 2010).

La elaboración y aplicación de cualquier índice es específica para cada región o fuente en particular; y su construcción consta básicamente de tres pasos fundamentales: la selección de las variables, la determinación de los subíndices para cada parámetro y la elección de la Fórmula de agregación (Carrillo Castro y Villalobos Alcázar, 2012).

Entre los índices de calidad de agua, el de National Science Foundation (NSF)(EE UU) es el índice más empleado en la valoración de la calidad de las aguas superficiales. De igual modo el índice se puede adaptar y modificar de acuerdo a las condiciones que prevalecen en cada sistema acuático en particular (Gonzalez Melendez et al., 2013). De esta manera, se puede conocer mejor la calidad del agua de un curso y tomar medidas para prevenir su contaminación, programar metas y objetivos de corto y largo plazo de cumplimiento y medir y evaluar los resultados en el tiempo a través del índice seleccionado.

En América Latina existen estudios sobre construcción de índices de calidad en humedales tropicales en la costa sur de México (Escobedo Urías et al., 2011) y en la cuenca del Río Suquia (Córdoba, Argentina) donde Pesce y Wunderlin (2000) desarrollaron un índice mínimo de exitosa aplicación.

El análisis cuali-cuantitativo del agua en América Latina y el Caribe tiene una particular importancia, dado que a pesar de contar con el 30% de los recursos hídricos del mundo la distribución de la población con respecto a estos recursos es irregular e inequitativa, ya que la mayor parte de las personas viven en áreas donde el agua, si existe, escasea y/o está contaminada. Por este motivo dentro de los objetivos del milenio se encuentran el suministro de agua, el saneamiento y la gestión de los recursos hídricos (PNUMA, 2003).

La toma de conciencia de la vulnerabilidad y el deterioro de la gestión de los recursos hídricos, motivó que las Provincias Argentinas, en el año 2003, convocaran a sectores vinculados con el uso, gestión y protección de los mismos. Considerando que el aprovechamiento de éstos requiere la armonización de aspectos sociales, económicos y ambientales, se arribó al Acuerdo Federal del Agua donde se formularon los principios rectores que sentaron las bases de la política hídrica del país. Sobre esta base el Consejo Hídrico Federal (COHIFE) generó la Ley Marco de Política Hídrica (COHIFE, 2003). Entre los principios rectores, la articulación de la gestión hídrica con la gestión territorial considera que todas las actividades que se desarrollan en un territorio afectan de una u otra forma sus recursos hídricos, motivo por el cual es imprescindible la adopción de prácticas sustentables de todas las actividades a realizarse en la cuenca. Otro de los principios rectores alude a la calidad de las aguas, para lo cual la autoridad hídrica nacional debe establecer, a modo de presupuestos mínimos, “niveles guía de calidad de agua ambiente”, que sirvan como valores de referencia para definir su aptitud en relación con los usos que se le asignen (COHIFE, 2003). Los niveles guía de calidad son expresiones basadas en

información científica relativas a parámetros de calidad, ya sea estos químicos, físicos, fisicoquímicos y biológicos, que tienen por objetivo salvaguardar los componentes bióticos involucrados en los distintos usos del agua. Estos usos o destinos son: fuente de provisión de agua para consumo humano, protección de la biota acuática, irrigación de cultivos, bebidas de especies de producción animal y recreación humana.

El Decreto 831/93 reglamentario de la Ley Nacional N° 24.051 establece, para el territorio nacional, niveles guía de calidad de agua para diversos usos (protección de vida acuática, irrigación, bebida de ganado, recreación, entre otros).

A partir de 1998, desde la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (SSRH) se inició la elaboración de Niveles Guía de calidad de agua ambiente, basados en metodologías propias, que constituyen el marco referencial primario para poder fijar objetivos y estándares de calidad para los cuerpos de agua, clasificarlos de acuerdo a los usos asignados, salvaguardar los componentes bióticos involucrados y definir estrategias apropiadas para la protección y recuperación de la calidad de los mismos (SSRH, 2015). En la actualidad, estos valores se encuentran en revisión de acuerdo a la evaluación de nuevas experiencias mundiales y locales (Lic. Laura Pertusi, Comunicación Personal, 2015).

En los últimos años, distintas instituciones con incumbencias en la temática han generado normativas aplicables regionalmente de calidad de agua para distintos usos, incorporando parámetros innovadores o ajustando los existentes acordados en reuniones de expertos en materia ambiental y funcionarios de gobierno. Una nueva normativa es la Resolución 42/06 de la Autoridad del Agua de la Provincia de Buenos Aires (ADA), con valores de referencia de calidad de aguas dulces y marinas para la protección de la biota acuática y, para agua de uso recreativo en la zona de uso exclusivo del Río de La Plata y su frente marítimo, y la Resolución N° 03/09 de la Autoridad de Cuenca del Río Matanza Riachuelo (ACUMAR), que en su anexo I establece valores de calidad para parámetros asociados al uso IV, recreativos sin contacto directo, en el ámbito de la Cuenca Matanza Riachuelo.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) constituyen una herramienta idónea para la gestión del medio ambiente, por su capacidad para integrar información espacial de diferentes fuentes con bases de datos temáticas, generar modelos y simular escenarios y prever consecuencias de determinadas decisiones de planificación (Hämmerly et al., 2006). El SIG permite recolectar, exhibir, manejar, analizar y producir datos espacialmente referenciados. Los estratos de datos pueden considerarse como una pila de “mapas flotantes” con referencias espaciales comunes, que permiten “mirar” hacia abajo y a través de los datos utilizando las capacidades de despliegue y análisis del SIG. En general, permite el análisis singular e integral de los recursos y subsistemas que conforman una cuenca, constituyendo

herramientas aptas para representar correctamente la variabilidad espacial y temporal del medio físico. Además, permite identificar diferentes análisis, por ejemplo, estudios de la contaminación de fuentes difusas, el cambio de uso de la tierra, análisis de aptitud de uso de suelo y modelación hidrológica de nutrientes y bacterias.

La conjunción de ambos, modelos hidrológicos de simulación espacio temporal con apoyo en SIG y el monitoreo de calidad de agua, permiten evaluar la dinámica espacio-temporal de nutrientes y microorganismos.

## **RESEÑA CONCEPTUAL DE LA DINÁMICA ESPACIO – TEMPORAL DE NUTRIENTES Y MICROORGANISMOS**

Según Valenzuela et al. (2012), variables como la temperatura, pH, conductividad, concentración de nitrógeno y fósforo afectan la dinámica de las poblaciones bacterianas en el agua. El nitrógeno (N) y el fósforo (P) son los nutrientes mayoritarios en las actividades agropecuarias y, se estima que la mitad de ellos provendría de actividades agrícolas. En su trabajo intentaron determinar si la actividad agrícola ganadera, con aplicación de fertilizantes inorgánicos, provocaría un efecto negativo en la calidad microbiológica y físico química del agua, concluyendo que el pH y los nitratos influyen positivamente en la presencia de los coliformes mientras que los fosfatos y la temperatura se correlacionan negativamente con los mismos.

El reciclado de nutrientes dentro del sistema es fundamental para asegurar la disponibilidad de los mismos y el mantenimiento de los procesos autotróficos sin los cuales, la materia y energía dejarían de fluir en los ecosistemas. Dado que el aporte externo de nutrientes a los sistemas acuáticos no es continuo y, en muchas ocasiones es escaso, el reciclado interno de los mismos es fundamental para asegurar el funcionamiento de los sistemas (Valenzuela et al., 2012).

Las transformaciones de los nutrientes constituyen los elementos de su ciclo biogeoquímico. En los ecosistemas fluviales, no se conoce exactamente el papel que juega este reciclaje en su funcionamiento, a diferencia de lo que ocurre en los lagos y estuarios. En los primeros, la principal fuente de variación espacial es la longitudinal, no sólo según el eje cabecera-desembocadura, a escala global, sino también a menor escala (subtramo, tramo). Los nutrientes generados en un punto del cauce (por aporte externo o reciclado interno) son transportados corriente abajo y durante este proceso de transporte sufren importantes transformaciones, conforme interaccionan con los elementos bióticos y abióticos del sistema. De tal manera, el reciclado de nutrientes en sistemas lóticos describe una espiral, como muestra la Figura 1 (Garzón García, 2010).



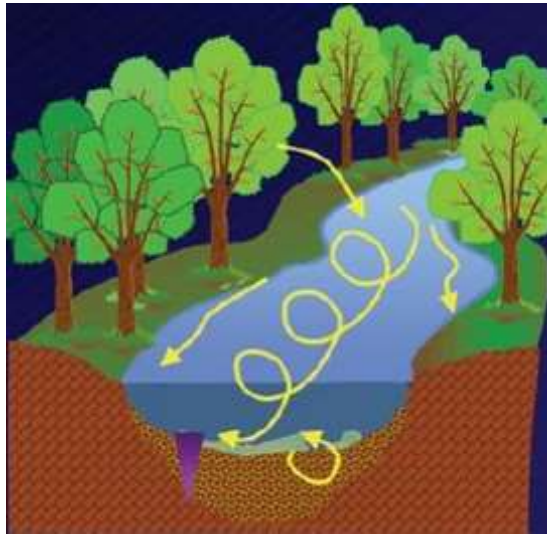


Figura 1: Reciclado de nutrientes en un sistema lótico.

Fuente: Garzón García (2010).

El nitrógeno puede estar presente en la columna de agua como  $N_2$  inorgánico disuelto bajo tres formas de oxidación: amonio ( $NH_4$ ), nitrito ( $NO_2$ ) y nitrato ( $NO_3$ ), de las cuales el amonio y el nitrato son las formas utilizadas por los organismos, mientras que el nitrito es una forma muy lábil que suele oxidarse rápidamente a nitrato. Las fracciones disueltas son transformadas en particuladas mediante procesos físicos, químicos y metabólicos. En el ciclo del Nitrógeno intervienen además otras transformaciones llevadas a cabo por distintos grupos de bacterias (García-Ruiz et al., 2001).

Por otra parte, el fósforo (P) puede presentarse en los sistemas acuáticos tanto en forma inorgánica como orgánica, disuelta y particulada. El fósforo inorgánico disuelto se presenta en un 99% en forma de ión ortofosfato ( $PO_4^-$ ). Esta es la forma en que el fósforo es utilizado por los organismos (plantas, algas y microorganismos). En el ciclo del P son importantes los procesos físico-químicos, entre los que destacan la adsorción a partículas del sedimento, la floculación junto con partículas coloidales o la precipitación química (García-Ruiz et al., 2001).

Así, el N en relación al P, posee mayor movilidad, y explica que éste soluto llegue con facilidad a los sistemas acuáticos receptores de la escorrentía superficial (ríos, lagos, embalses y zonas costeras). En la actualidad y a nivel mundial, uno de los principales problemas relacionados con la calidad del agua es precisamente el exceso de N, causado por el incremento de la agricultura intensiva y el uso masivo de compuestos nitrogenados como fertilizantes (García-Ruiz et al., 2001).

El nitrógeno y el fósforo tienden a encontrarse en baja concentración en relación a la demanda que presentan, lo que suele convertirlos en nutrientes limitantes de la producción primaria en sistemas acuáticos. El término de nutriente limitante se refiere a aquel nutriente que podría llegar a limitar o

limita, por ejemplo, la producción primaria en los medios acuáticos. Por lo tanto, en un ecosistema, un único nutriente es el que limita el crecimiento de los productores primarios aunque exista un exceso de otros nutrientes y, solo se producirá el crecimiento si se añade el limitante (García-Ruiz et al., 2001).

El P es considerado como el limitante por excelencia de la productividad fitoplanctónica (Reynolds, 1984; Lampert y Sommer, 1997; García-Ruiz et al., 2001). Por ello, la concentración de fósforo total (PT) ha sido tradicionalmente empleada como índice de la calidad del agua y del estado trófico de los ecosistemas acuáticos.

La eutrofización, aumento de nutrientes disponibles para las plantas, es el proceso de cambio de un estado trófico a otro superior por adición de nutrientes (Moreno Franco et al., 2010) y representa actualmente uno de los principales problemas que afectan a la calidad del agua (Ryding y Rast, 1992). El estado trófico o grado de eutrofización, describe la relación entre el estado de nutrientes y el crecimiento de materia orgánica y se basa en que los cambios en los niveles de nutrientes (medido por el fósforo total) provocan cambios en la biomasa algal (medida por la clorofila a), la que a su vez provoca cambios en la claridad y/o turbidez del agua (medida de la transparencia con el disco de Secchi). Un índice de estado trófico es una manera conveniente de cuantificar esta relación (Carlson et al., 1996)

La determinación de la calidad sanitaria de un curso de agua se puede realizar por medio de la cuantificación de microorganismos. No obstante, existe una gran dificultad para determinar la presencia de todos los microorganismos patógenos involucrados en los procesos de contaminación ambiental, implicando costos elevados, tiempo y laboratorios especializados. Estas dificultades han hecho que se utilicen grupos fisiológicos de microorganismos de detección y cuantificación práctica y, cuya manifestación en cierto número sea considerada como indicativa de la presencia y exposición del curso de agua analizado ante una fuente reservorio de microorganismos peligrosos. Estos grupos de microorganismos se denominan “indicadores”.

Los microorganismos indicadores son aquellos que tienen un comportamiento similar a los patógenos, concentración y reacción frente a factores ambientales, siendo fáciles, rápidos y económicos de identificar. Una vez que se ha demostrado la presencia de grupos indicadores, se puede inferir que los patógenos se encuentran presentes en la misma concentración y que su comportamiento frente a diferentes factores como el pH, temperatura, presencia de nutrientes, tiempo de retención hidráulica o sistemas de desinfección son similares a las del indicador (Arcos Pulido et al., 2005; Campos Pinilla, 2003; Mondaca y Campos, 2003). En la bibliografía, entre los microorganismos citados para su adopción como indicadores se citan, entre otros, las bacterias coliformes.

El grupo de bacterias coliformes es adecuado como indicador de contaminación de una fuente de descarga de materia orgánica, sea de un efluente doméstico y/o industrial y/o desechos cloacales y/o desechos provenientes de cría intensiva de ganado o feedlots, debido a que estos incluyen contaminantes comunes del tracto gastrointestinal, tanto del hombre como de los animales de sangre caliente u homeotermos. Están presentes en grandes cantidades y permanecen por más tiempo en el agua que otras bacterias patógenas. Cuando estos microorganismos se introducen en el agua, las condiciones ambientales son muy diferentes y por lo tanto su capacidad de reproducirse y de sobrevivir son limitadas.

La presencia de coliformes en el agua indica la contaminación con carga orgánica (incluyendo materia fecal) y constituye un indicador del deterioro de los cuerpos de agua. Los coliformes fecales son termo tolerantes por su capacidad de soportar y desarrollarse a 44 °C, cualidad que los diferencia de los coliformes totales. La capacidad de multiplicación de los coliformes fecales fuera del intestino de los animales homeotérmicos es favorecida por la existencia de condiciones adecuadas de materia orgánica, pH, humedad, etc. Los coliformes totales funcionan como una alerta de que ocurrió contaminación, sin identificar el origen (Arcos Pulido et al., 2005; Campos Pinilla, 2003).

Según Madigan et al. (1998) muchas bacterias como *Escherichia coli* y *Enterobacter aerogenes* que, en ausencia de oxígeno pueden crecer realizando una respiración anaerobia, resultan beneficiadas por la presencia de nitrato, debido a que pueden transferirle los electrones del sustrato y producir nitrito. Esto se evidencia en otoño y primavera, donde hay un aumento en el ingreso de materia orgánica (Von Johnn Navarro, 2006).

## FUNDAMENTACIÓN DE LA ELECCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La cuenca hidrográfica, es un sistema en el que se vinculan los procesos hidrológicos, geomorfológicos, edáficos y culturales, generándose procesos hidrometeorológicos como erosión, remociones en masa, inundaciones y crecidas torrenciales. Además, esta unidad territorial permite describir el impacto de la contaminación sólida y líquida, la degradación de los suelos producto del uso excesivo de los fertilizantes y agroquímicos y/o sobreexplotación de los recursos. Por este motivo el mal uso de los recursos naturales en las cuencas altas y medias repercutirá y será una amenaza para la población situada aguas abajo (agua potable, sistemas agro productivos, energéticos y de transporte), entre otros problemas producidos por el hombre los cuales deben ser resueltos tomando a la cuenca hidrográfica como una unidad territorial (Tapia, 2012).

El presente estudio de tesis se desarrolló en el área serrana de la cuenca del arroyo Napaleofú, ubicada en el Sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Esta cuenca conforma la base territorial del proyecto “Servicios ambientales de agroecosistemas para el ordenamiento territorial en el sur de la provincia de Buenos Aires”, siendo investigador participante (Proyecto 11 A – 223/2012-2015), cuyo objetivo es estudiar la contribución de los servicios ambientales de los agroecosistemas a la optimización del recurso suelo - agua en cuencas hidrográficas, para el ordenamiento territorial. El aporte original consistió en estudiar la contribución de los servicios ambientales de agroecosistemas (SAA), interdisciplinariamente, al desarrollo regional en un sistema dinámico concreto (cuenca) y representativo, aplicando un diagnóstico físico químico con la tecnología de Sistemas de Información Geográfica, permitiendo fundar las bases para un potencial ordenamiento territorial.

Desde la década de 1980, la región de referencia ha manifestado cambios en el uso del suelo por las transformaciones en la estructura productiva regional, derivadas de la introducción de tecnología y de la adquisición de capacidades técnicas de los productores agropecuarios. Esta transformación podría incidir en la dinámica hídrica superficial (Senisterra et al., 2014a), considerando la cuenca alta del arroyo Napaleofú como un área vulnerable, dada la fragilidad de los ecosistemas situados en zonas de serranías sometidos a altas productividades.

En el año 2010 por Ley Provincial N° 14126, con Decreto Reglamentario 1766/10 se declaró Paisaje Protegido de Interés Provincial, al área denominada “La Poligonal”, comprendida en la intersección de las Rutas Nacional N° 226, y Provinciales N° 74 y N° 30. Esta decisión se fundamentó en la importancia paisajística que tienen las sierras de Tandil, por constituir el afloramiento precámbrico más austral de América del Sur (OPDS, 2012). Esta área es aledaña al estudio de tesis.

En los últimos años, el potencial turístico de la zona incrementó la presión de esta actividad humana sobre la misma, tanto la infraestructura necesaria para satisfacer al turismo, como el uso de los recursos para mantener a la población en aumento (Mikkelsen et al., 2013, Rodriguez, 2014).

El diagnóstico ambiental integrado del área en estudio es importante para brindar una aproximación al conocimiento de las condiciones de referencia de la ecoregión a la que pertenecen para la preservación, mejoramiento o restauración de cuencas similares de los procesos de degradación ambiental a los que se encuentran sometidos.

## OBJETIVOS

El objetivo principal fue realizar un diagnóstico físico - químico y microbiológico del agua superficial del área serrana del arroyo Napaleofú.

Los objetivos específicos fueron:

1. Realizar un diagnóstico ambiental espacio temporal de la cuenca alta del arroyo Napaleofú.
2. Caracterizar físico - química y microbiológicamente las aguas superficiales de la cuenca.
3. Aplicar y definir índices de calidad para evaluar la aptitud del agua para distintos usos.
4. Predecir la dinámica espacio temporal de los nutrientes utilizando SIG.

## CARACTERIZACION DEL AREA DE ESTUDIO

La caracterización de la cuenca alta del Arroyo Napaleofú se realizó como parte del Trabajo Grupal de la carrera en estudio. A continuación, se presentan la metodología base y resultados alcanzados en esta caracterización.

### ⊗ Ubicación

La cuenca serrana o cuenca alta del Arroyo Napaleofú, se encuentra al Sudoeste de la provincia de Buenos Aires, situada territorialmente en los partidos de Tandil, Lobería y Balcarce. Es un área delimitada aproximadamente por los meridianos sur  $37^{\circ} 34'$  a  $37^{\circ} 41'$  y por los paralelos oeste  $58^{\circ} 46'$  a  $59^{\circ} 02'$ , abarcando una superficie aproximada de 34.330 hectáreas (Figura 2).

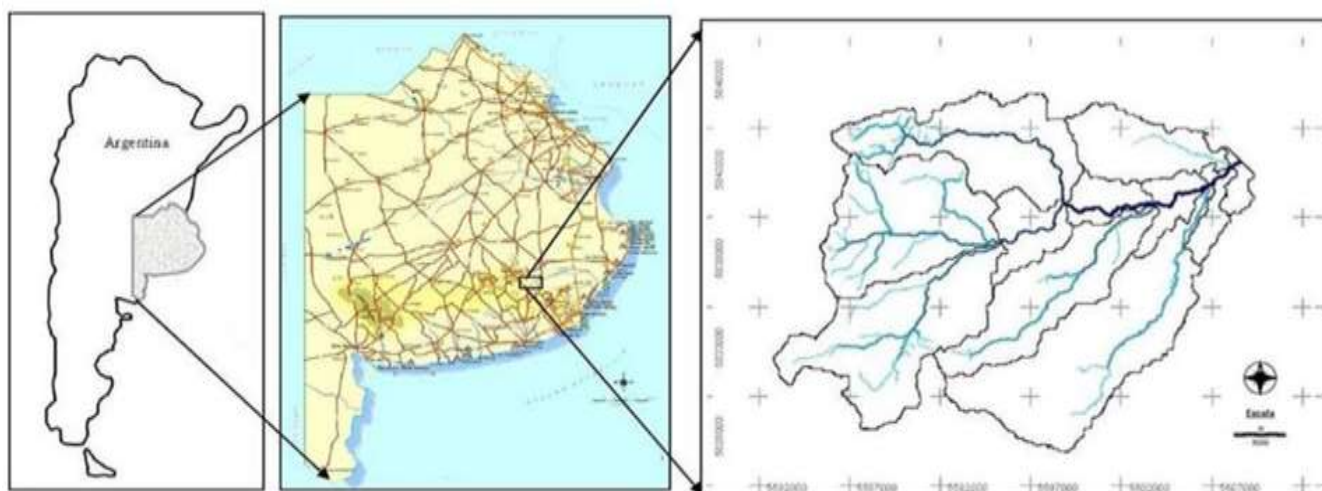


Figura 2: Ubicación de la cuenca serrana del arroyo Napaleofú.

Fuente: Mazzucchelli y Senisterra, 2013.

### ⊗ Clima

El clima sub-húmedo serrano, en general, es suave, sin situaciones extremas. La temperatura promedio anual es de 14° C, con máximas promedio de 20° C (enero) y mínimas promedio cercanas a los 8° C (junio, julio y agosto). La precipitación media anual es de 800 mm con régimen isohigro (INTA Balcarce).

### ⊗ Suelos

Los suelos dominantes en la zona corresponden a Hapludoles y Argiudoles (INTA, 1986). Los primeros están representados por materiales más gruesos que los loessicos, con un desarrollo incipiente y un horizonte A bien estructurado y con buena cobertura vegetal; mientras que los segundos poseen un enriquecimiento del horizonte A en materia orgánica y aumento de arcilla en el Bt. Las restricciones más importantes que presentan estos suelos están dadas por las limitaciones de profundidad, por la presencia de tosca o roca y por las pendientes pronunciadas que los exponen a procesos de erosión hídrica.

### ⊗ Actividades productivas

La vegetación natural de esta región ha sido fuertemente modificada por la actividad antrópica. El sistema productivo predominante es mixto agrícola - ganadero, teniendo un papel muy relevante la agricultura. En los últimos años se evidenciaron cambios en la estructura productiva y empresarial de los establecimientos agropecuarios de la región, entre ellos, aumento de la superficie bajo siembra directa asociado a una mayor utilización de agroquímicos y fertilizantes; simplificación de las rotaciones; incorporación de nueva superficie destinada a la agricultura que provoca desplazamiento y/o intensificación de la actividad ganadera y crecimiento explosivo de la superficie con cultivo de soja y el doble cultivo de esta oleaginosa sobre trigo o cebada (INTA, 1990).

En ganadería, los sistemas disminuyeron sus superficies utilizables, pero mantuvieron una cantidad similar de cabezas de ganado vacuno, por lo que la concentración y/o intensificación se dio de manera obligada. Los sistemas productivos son básicamente pastoriles, cada vez más complejos, con incrementos importantes en los niveles de suplementación (concentrados y forrajes) y uso frecuente de corrales estratégicos de alimentación, e incluso incorporando el suministro de la dieta en confinamiento dentro del mismo sistema. La región comprende la mayor parte de la superficie de la Cuenca Lechera denominada Mar y Sierra (INTA, 1990).

⊗ Modelo Cartográfico.

A partir de cartas topográficas del Instituto Geográfico Militar a escala 1:50.000 (Estancia La Pacífica (Hoja 3760-29-4 con equidistancia 10 m.)(IGM, 1956), Estancia La Esperanza (Hoja 3760-30-3 con equidistancia 5m.)(IGM, 1955), Almacén La Numancia (Hoja 3760-35-2 con equidistancia 10m.) y San Manuel (Hoja 3760-36-1 con equidistancia 5 m.) (IGM, 1956) se digitalizaron en pantalla , (vectorialmente) con un programa de diseño asistido por computadora (CAD), la red de drenaje, los caminos principales y rurales y las curvas de nivel con equidistancia de 10 m, obteniéndose a partir de este último el mapa topográfico del área en estudio (Figura 3). La cuenca se definió por divisorias de aguas sobre la topografía, dibujándola y luego se la digitalizó, definiendo de esta manera el límite físico por el análisis y procesamiento de las curvas de nivel.

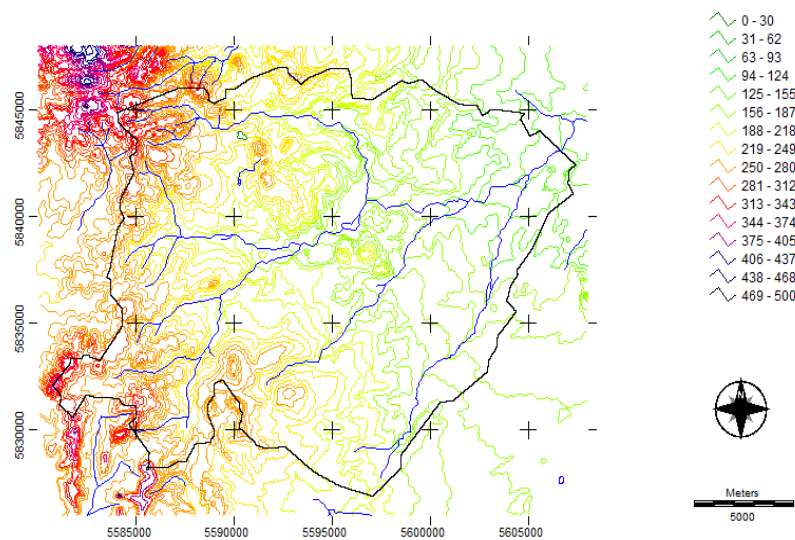


Figura 3: Mapa topográfico de la cuenca alta del arroyo Napaleofú.

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente se rasterizaron los mapas con el programa Sistema de Información Geográfica (SIG) Idrisi Taiga® (Clark Labs 2009). A partir del mapa topográfico y su interpolación se generó el Modelo Digital de Elevación (MDE)(Figura 4). El MDE es una representación visual y matemática de los valores de altura, pendientes y dimensiones del terreno con respecto al nivel medio del mar, ofreciendo una imagen en 3D de la superficie de la cuenca y permitiendo definir la cartografía del área de estudio. A partir del MDE, se determinó que la altura máxima de la cuenca es de 498,50 msnm y la mínima de 140 msnm.



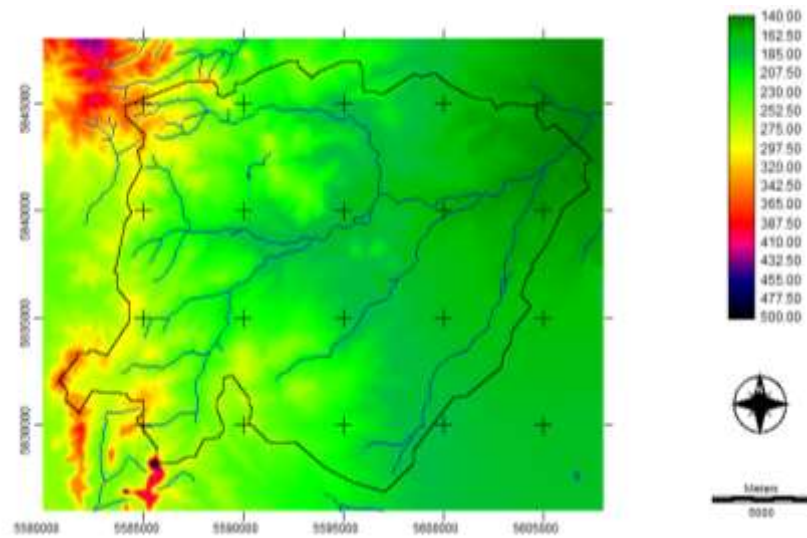


Figura 4: Modelo digital de elevación de la cuenca en estudio.

Fuente: Elaboración propia

⊗ Delimitación de subcuencas

Los arroyos digitalizados de la cuenca se constataron con puntos GPS de verdad terreno. En la cuenca existen arroyos permanentes, con presencia de agua durante todo el año, y otros temporarios, es decir tienen agua en períodos de lluvia. Los arroyos Pesquería, Los Galpones y Napaleofú presentan agua en forma permanente y conforman las principales vías de escurrimiento del caudal desde las nacientes a la desembocadura (Figura 5).

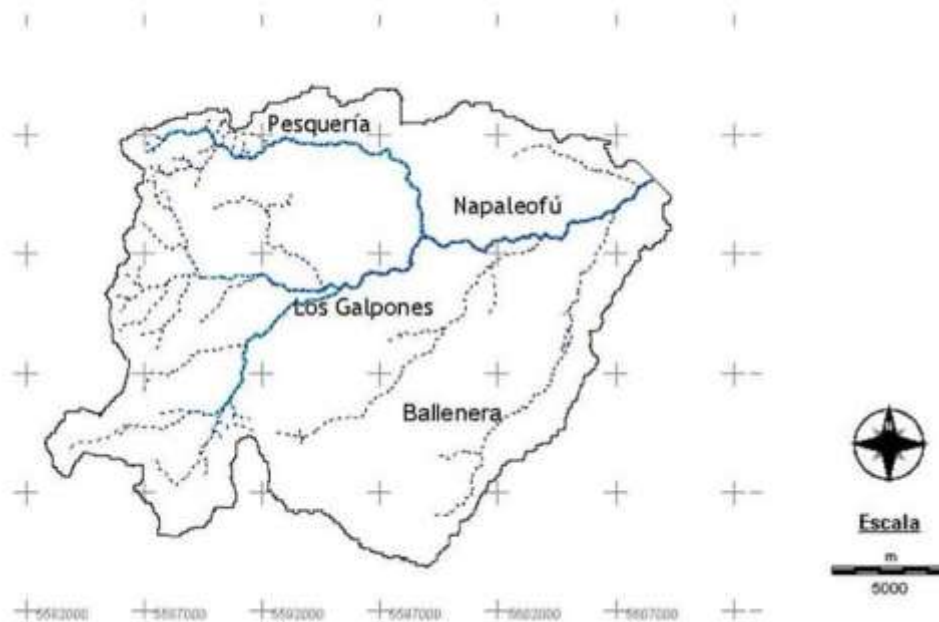


Figura 5: Drenaje permanente y temporario de la cuenca de estudio. Fuente: elaboración propia.



El número de orden de los cursos de agua o jerarquización, está estrechamente relacionado con el número de ramificaciones de la red de drenaje, siendo para la cuenca en estudio el número máximo de orden tres, que reflejan en este caso, una cuenca con un nivel erosivo bajo. La red de drenaje y el número de orden de los arroyos que la conforman se presenta en la Figura 6.

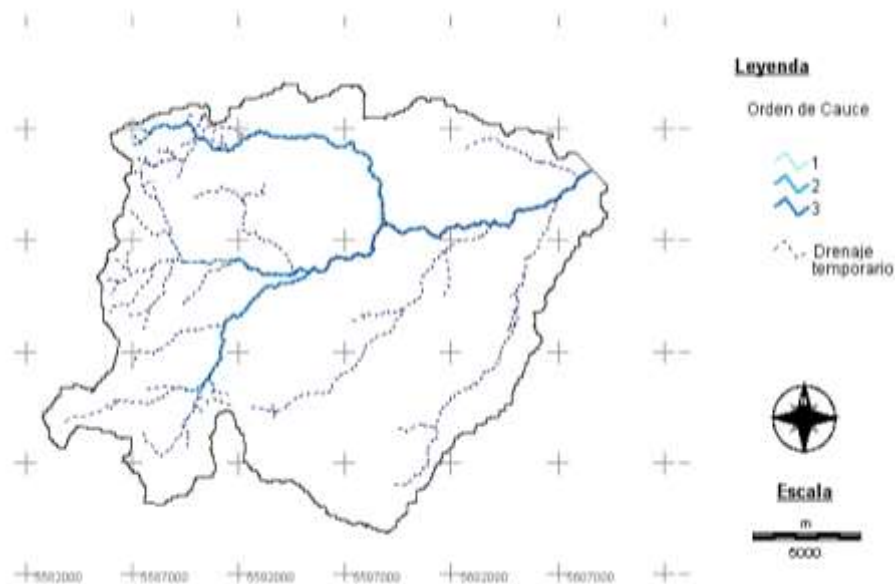


Figura 6: Red y orden de drenaje en la cuenca alta del A° Napaleofú.

Fuente: Mazzucchelli y Senisterra, 2013.

La cartografía elaborada permitió realizar un estudio detallado del área, para lo cual se dividió la cuenca en unidades hidrológicas menores, denominadas subcuencas, con cursos de agua transitorios. En la cuenca serrana del arroyo Napaleofú se definieron once subcuencas (Figura 7).



Figura 7: Subcuencas de la Cuenca serrana del arroyo Napaleofú.

Fuente: Mazzucchelli y Senisterra, 2014.

#### ⊗ Morfometría

Según Senisterra et al. (2014), las subcuencas que conforman la cuenca en estudio presentan formas oblonga a rectangular oblonga, son alargadas, con picos de crecidas poco violentos, actividad sedimentaria tendientes al equilibrio, desarrollando una fase de madurez. El relieve predominante es plano (subcuencas 5 a 11), suavemente ondulado con escasa presencia de superficies accidentadas a muy escarpadas (subcuencas 1 a 4). En cuanto al drenaje, son subcuencas de baja complejidad, permeables y de bajo relieve, asociadas a áreas resistentes a la erosión.

La relación existente entre los parámetros físicos de la cuenca y las variables hidrológicas otorgan una orientación cualitativa en cuanto a la respuesta hidrológica de la cuenca. La morfometría definida permitió inferir que la cuenca se encuentra en una zona de bajo relieve, en equilibrio dinámico del sistema según las características de relieve y geomorfológicas. Las suaves pendientes presentes en la mayor parte de la cuenca disminuyen el escurrimiento, aumentando el tiempo de concentración (Senisterra et al., 2014b).

## MATERIALES Y METODOS

Para el cumplimiento de los objetivos enunciados, se realizaron diversas tareas

### 1. Recopilación de antecedentes bibliográficos y de campo.

Se procedió a la búsqueda y recopilación de información bibliográfica vinculada a la geología, geomorfología, paisajes del lugar y a antecedentes vinculados al monitoreo de parámetros físico – químicos de la cuenca.

Se incluyó la revisión y sistematización de antecedentes cartográficos de la topografía, edafología y uso del suelo, y por medio de entrevistas con investigadores de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Tandil, se obtuvieron publicaciones relacionado con el problema, lo que resultó fundamental para la elección del área de estudio.

Se realizaron viajes de campaña a las posibles áreas de estudio planteadas, para obtener datos de campo que caractericen cuali-cuantitativamente los diferentes sitios y así definir los análisis a realizar.

### 2. Diagnóstico ambiental espacio temporal.

El diagnóstico ambiental espacio temporal se realizó a partir de la zonificación del uso de suelo por medio de la evaluación de cartografía antecedente y el procesamiento, análisis, interpretación y clasificación supervisada de imágenes satelitales por medio de un Sistema de Información Geográfica (SIG). Para el procesamiento geoespacial se utilizó el Software Idrisi Taiga® (Clark Labs, 2009).

#### 2.1) Análisis espacio temporal de uso del suelo.

Se realizó un análisis espacial multi-temporal de uso de suelo, que abarcó una ventana de 25 años. Para ello se seleccionaron imágenes Landsat 5 TM, correspondientes a fechas de diferentes años con igual tipo de estacionalidad climática, correspondientes a la estación seca, es decir entre los meses de diciembre y febrero, provistas por el INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, de Brasil). Las imágenes seleccionadas se hallaban sin nubes y limpias.

A partir de esta primera preselección, se determinó la fecha óptima de elección de las imágenes. Esta segunda selección se basó en el resultado del análisis de los datos de humedad de suelo

antecedente, considerando que en los cinco días previos a la fecha de toma de la imagen, la precipitación sea menor de 13,5 mm. Esta información fue provista por la estación meteorológica de Tandil del Servicio Meteorológico Nacional, a partir de un convenio específico realizado para el Proyecto 11 A – 223/2012-2015 -SECYT-UNLP, mencionado con anterioridad.

Finalmente se seleccionaron las imágenes Landsat 5 TM del área en estudio que abarca el Path 224 - Row 86, de tres fechas: 13 de enero de 1986, 26 de diciembre de 1996 y 18 de enero de 2011. La resolución espacial de las imágenes Landsat 5 TM es de 30 metros x 30 metros por pixel, que en el terreno implican áreas de 185 km. x 185 km. A partir de éstas se seleccionó una miniescena flotante, escena buffer que abarcó un rectángulo que incluyó el límite de la cuenca (imagen de 2200 columnas y 2800 filas).

Las bandas del sensor Landsat utilizadas en este trabajo fueron la 3, 4, 5 y 7. La banda 3 en el rango visible permitió detectar suelos desnudos. Las bandas 4 y 5 en el infrarrojo cercano y medio respectivamente, ofrecen buena información espectral de los diferentes cultivos, cobertura y estado fitosanitario en general, mientras que la banda 7 permitió discriminar rocas. Estas bandas se combinaron generando imágenes de color compuesto que incrementan sus aplicaciones.

A partir de la escena buffer lograda anteriormente, se georreferenciaron las bandas mencionadas a coordenadas Gauss-Krüger faja 5, correspondientes a Argentina. Para ello, a cada banda se la identificó con datos de los vectores del sistema de drenaje georreferenciado a partir de las cartas IGM y de datos de GPS, para reconocer puntos verdad terreno, tomados a campo, apoyados además de vectores de caminos para verificar su distribución en las imágenes de satélite. Con las imágenes en coordenadas Gauss-Krüger, se realizaron las composiciones de bandas: BGR 543, BGR 453 y BGR 743.

Posteriormente, se seleccionaron para cada año la combinación de colores que facilitara la delimitación de los distintos tipos de coberturas. Así, se seleccionó para el año 1986 la combinación BGR 543 y para los años 1996 y 2011 la combinación BGR 743. Con estas composiciones se realizó una interpretación de distintos usos de suelo y por medio de la digitalización en pantalla, se generaron polígonos uniformes validados con datos de relevamiento de campo. A partir de éstas se analizaron las anteriores en condiciones de uso homogéneas. Para otros usos de suelo se consultó bibliografía y cartografía antecedente.

Con toda la información precedente procesada se obtuvieron los mapas de uso del suelo para los años 1986, 1996 y 2011 y se generó el análisis espacio temporal en la cuenca en estudio por medio de la comparación de la ocupación en superficie de cada año en la cuenca.

## 2.2) Zonificación espacio temporal de índices de vegetación.

Un índice de vegetación tiene como objetivo estimar la condición de la vegetación a través de imágenes de sensores remotos, realizando la expresión de la cobertura vegetal y su estado sanitario / desarrollo, atenuando la de otras cubiertas como, por ejemplo: el suelo, el agua, las rocas.

Los pigmentos de las plantas captan diversas ondas del espectro de luz y la utilizan en las reacciones fotosintéticas. Dos bandas del espectro, la azul (430 nm) y la roja (600nm) muestran la cantidad de energía absorbida por las plantas. Estas dos frecuencias de la luz son las más absorbidas por las plantas, por consiguiente poco reflejadas. En contraste, la banda del infrarrojo cercano (750-1100 nm) actúa de forma inversa y es reflejada casi en su totalidad. La mayor absorción del rojo y azul, junto con la fuerte reflexión del infrarrojo cercano es la diferencia espectral de la respuesta de toda la vegetación. Ninguna otra cubierta refleja de forma semejante, y por lo tanto, esta peculiaridad se utiliza para poder diferenciar las superficies ocupadas por vegetación de las otras superficies (Chuvieco et al., 2000).

El índice de vegetación de mayor difusión es el NDVI (Índice de vegetación digital normalizado). El uso del NDVI para la zonificación de la cobertura vegetal se expresa a partir del procesamiento de la reflectividad en diferentes bandas en las imágenes satelitales, que indican la abundancia y estado de la vegetación, basándose en el comportamiento reflectivo particular de la vegetación para un momento determinado. Este índice permite revelar cuando la vegetación comienza a sufrir un estrés, debido a que el color verde típico de una vegetación sana y vigorosa comienza a tomar tintes marrones, aumentando la reflectancia, que es leída por los sensores remotos. Cabe mencionar que la vegetación estresada presenta una mayor reflectividad en la región del visible en comparación con la vegetación sana. A su vez, este comportamiento se invierte en la región del infrarrojo cercana, pudiendo utilizarse esta diferencia para caracterizar el estado de los cultivos (Chuvieco et al., 2000; Gaspari et al., 2009).

Según la Fórmula 2.1, el NDVI relaciona diferentes firmas espectrales, caracterizando y diferenciando la vegetación sana. Esta última presenta un fuerte contraste entre la baja reflectividad en el rojo (630 – 690 nm) (VIS) y la alta reflectividad en el infrarrojo de longitud de onda más corta (760 - 900 nm) (NIR). Esta diferencia es mayor, cuanto mayor es la densidad de la vegetación y mejor su estado fitosanitario (Eastman, 2009; Gaspari et al., 2009).

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{VIS}) / (\text{NIR} + \text{VIS}) \quad (\text{Fórmula 2.1})$$



construyó a partir de la superposición y álgebra de mapas con SIG. La tasa de cambio P se calculó a partir de la Fórmula 2.2.

$$P = (100/t_2 - t_1) * \ln (S_2/S_1) \quad (\text{Fórmula 2.2})$$

Donde S1 y S2 corresponden a la superficie en el tiempo t1 y t2 respectivamente, y P es el porcentaje de cambio por año (FAO, 1996; Echeverría et al. 2006).

#### 2.4) Análisis climático.

Se evaluaron las lluvias, temperatura y velocidad de los vientos para registros del período 1996-2011, de la estación Napaleofú, aportadas por el Servicio Meteorológico Nacional. Para completar esta información, se gestionó ante la Autoridad del Agua, el suministro de datos hidrometeorológicos de la zona mencionada, los cuales permitieron conformar una base de datos para avanzar en el análisis y cuantificación de caudales líquidos en relación a los sistemas productivos y del ambiente.

A partir de la información recabada de temperaturas máximas y mínimas diarias se calculó la temperatura media diaria y las medias mensuales para el período 1996 – 2011. De igual forma, se calculó la precipitación media mensual y la de días con precipitaciones; luego se combinaron los datos analizados en gráficos de columnas y puntos. La velocidad de los vientos se calculó y graficó mediante gráficos polares.

#### 2.5) Caracterización geológica.

Se describieron los componentes del medio físico más relevantes del lugar, a partir de información disponible en gabinete, considerando su geología, litología, origen de los sedimentos, unidades estratigráficas que conforman y comportamiento hidrológico que presentan.

#### 2.6) Caracterización edafológica.

Se identificaron y describieron las unidades cartográficas de suelos con base en información técnica proveniente de la carta de Suelos de la República Argentina (escala 1:50000) descrita por el Atlas de Suelos del INTA (INTA, 1990). Este procesamiento se realizó con programa de Sistema de

Información Geográfica (SIG) Idrisi Taiga® (Clark Labs 2009), por medio de la digitalización de la cartografía en papel y su posterior rasterización para el análisis digital de la superficie de ocupación y distribución edáfica en la cuenca.

Los datos obtenidos para cada perfil representativo de los dominios edáficos en la cuenca fueron los correspondientes a los suelos Hapludol lítico franco fino; Hapludol típico franco fino; Argiudol típico franco, fino somero; Argiudol típico franco fino somero inclinado; Argiudol típico; Hapludol petrocálcico; Argiudol típico fino somero, Argiudol ácuico y Natracuol típico.

Los efectos hidrológicos del agua del suelo fueron estudiados mediante diversas variables, como ser: la textura, el contenido de materia orgánica y la estructura. Estas variables se analizaron con el software gráfico "Soil Water Characteristics" (SWC), que estima las características de retención y transmisión del agua hidrológica de una capa de perfil de suelo. El SWC contiene ecuaciones de estimación que se desarrollaron a partir de correlaciones de un extenso conjunto de datos, proporcionado por el Laboratorio Nacional de Suelos USDA / NRCS. Las estimaciones de textura fueron acompañadas por una variable adicional: el contenido de materia orgánica, proporcionando una representación más realista del agua del suelo que cualquier método de estimación individual o conjunto de datos (Saxton y Rawls, 2006). Además, se calcularon variables como Capacidad de Campo (CC), saturación y Punto de marchitez.

Las capas temáticas obtenidas, mediante el programa de Sistema de Información Geográfica (SIG) Idrisi Taiga® (Clark Labs 2009), fueron de utilidad para zonificar la cuenca según las características taxonómicas del suelo y del contenido de materia orgánica.

## 2.7) Caracterización paisajística.

Sánchez (2009) realizó la zonificación ecológica – paisajística del partido de Tandil. La zonificación ecológica es un instrumento técnico de caracterización del territorio que, mediante la descripción, clasificación, síntesis y espacialización del paisaje, a partir de los elementos bióticos y abióticos que lo integran, permite identificar las potencialidades y restricciones de uso que puedan tener las diferentes unidades de paisaje resultantes.

La metodología utilizada por Sánchez (2009) consistió en el análisis de la diversidad de unidades de tierra y el ordenamiento de los paisajes según la especificidad de su relieve, suelos y vegetación, caracteres que en conjunto permiten visualizar las potencialidades y restricciones de los ecosistemas para la producción de biomasa primaria y secundaria. En primera instancia, desagregó y mapeó el



espacio en zonas o áreas que presentaban un conjunto de atributos geomórficos, edáficos y vegetacionales comunes. El principio conductor del proceso de zonación residió en el análisis de la morfología superficial (topografía, geofomas simples y compuestas) y en segunda instancia, información de la vegetación asociada, dando como resultado el mapeo morfo-fitoedáfico de la diversidad de elementos del paisaje.

El mapa morfo-fitoedáfico fue procesado con SIG y se definió la cuenca en estudio.

### **3. Determinación de los sitios de muestreo en la cuenca.**

Determinar la calidad del agua en su estado natural, disponible para satisfacer necesidades futuras, es uno de los objetivos fundamentales del sistema de monitoreo de la calidad del agua, considerados por la Organización Mundial de la Salud, para lo cual es necesario establecer estaciones de línea de base (OMS, 1975).

La selección de las estaciones de muestreo está influenciada por los diferentes usos del agua y su ubicación, así como su magnitud e importancia relativa. Dentro de los usos del agua, considerados por la OMS, se observaron en la cuenca principalmente dos: bebida de ganado y actividad recreativa a baja escala (pesca recreativa y recreación).

La población de la cuenca es de tipo rural, con baja densidad poblacional. La localidad denominada estación Napaleofú, distante aproximadamente a 10 km de la desembocadura del arroyo, con una población de 374 habitantes (INDEC, 2010), puede considerarse la más poblada de los alrededores y junto con los habitantes rurales de las cercanías del arroyo serían los posibles usuarios de los usos recreativos antes mencionados. Por otra parte, los arroyos que forman parte de la cuenca de estudio atraviesan los campos a los que, sin restricción, se acerca el ganado a beber. Finalmente se consideró además el uso protección y/o conservación de la biota con la finalidad de establecer cuáles son los valores mínimos que deben observarse para preservar la calidad del agua que no afecten el funcionamiento normal de los ecosistemas naturales.

La toma de muestras de agua superficial se realizó en puntos que representan diferentes tipos de hábitat de estudio, teniendo en cuenta el análisis de uso de suelo, prácticas de laboreo empleadas en la cuenca, salida de sub - cuencas, seguridad del acceso a los sitios y respetando las precauciones de seguridad general para los muestreos del apartado 7 sección 2 establecidas en las normas internacionales ISO 5667:1 (1980)(Directivas generales para el diseño de programas de muestreo), ISO 5667:6 (1995)(Directrices para el muestreo de los ríos y arroyos), la norma española UNE – EN 25667-

1:1995 (AENOR, 1997 ) y la norma IRAM 29012 – 1 (1996)(Muestreo. Parte 1: Directrices generales para el diseño de programas de muestreo).

Se seleccionaron áreas donde el agua estuviera bien mezclada (zonas centrales), evitando tomar agua superficial, confluencias de arroyos poco importantes, lugares de pequeños vertidos, etc., debido a que éstos tienen efectos muy localizados del agua de ese tramo, y evaluarían incorrectamente el estado del río y las características del agua en la cuenca en estudio.

Para el análisis de oxígeno disuelto se evitaron los flujos turbulentos, que podrían alterar las concentraciones del mismo (ISO 5667:1, 1980).

La localización de los lugares de muestreo fue definida según la propuesta del proyecto PNUMA/OMS/UNESCO/OMM para el monitoreo mundial de la calidad del agua (GEMS/AGUA Guía operacional - OMS, 1975). De acuerdo a las recomendaciones de muestreo mencionadas en este proyecto se consideraron los criterios línea de base, recreación y pesca y cuenca no desarrollada y escasamente pobladas. El período de muestreo se extendió entre septiembre 2012 y enero 2015. Los análisis microbiológicos se realizaron en abril de 2013 y se ampliaron en agosto de 2014.

Para facilitar la interpretación de los resultados, se analizaron considerando distintos momentos que coinciden con las estaciones climáticas: Momento 1 (primavera), Momento 2 (verano), Momento 3 (otoño) y Momento 4 (invierno).

#### **4. Caracterización físico química y microbiológica del agua superficial de la cuenca.**

##### **4.1 Protocolos de muestreo y tratamiento de las muestras.**

Las recomendaciones para la toma de muestras de los parámetros a analizar se recopilaron a partir de los protocolos propuestos en las normas internacionales ISO 5667 (1990, 1995), las normas UNE (AENOR, 1997) y las normas IRAM 29012 (1996, 1998), tanto en sus procedimientos generales de técnicas de muestreo, como en los que se refieren a parámetros específicos (Tabla 4.1).

Tabla 4. 1: Normas de muestreo. Fuente: Elaboración propia

Norma internacional ISO	Título	Norma UNE (España)	Título	Norma IRAM (Argentina)	Título
ISO 5667-2:1991	Muestreo - Parte 2: Guía sobre técnicas de muestreo	UNE-EN 25667-2:1995	Calidad del agua. Muestreo. Parte 2: Guía para las técnicas de muestreo	IRAM 29012 - 2: 1996	Calidad del medio ambiente. Agua. Muestreo. Directivas generales sobre técnicas.
ISO 5667-6:1990	Calidad del agua - Muestreo - Parte 6: Guía sobre técnicas de muestreo de ríos y cursos de agua				
ISO 5667-3:1994	Calidad del agua - Muestreo - Parte 3: Guía para la conservación y manejo de las muestras de agua	UNE-EN ISO 25667-3:1996	Calidad del agua. Muestreo. Parte 3: Guía para la conservación y manejo de las muestras de agua.	IRAM 29012 - 3: 1998	Calidad ambiental. Calidad del agua. Muestreo. Parte 3: Guía para la preservación y manipulación de las muestras.

Alguna de las sugerencias de muestreo, conservación de muestras, derivación y análisis de los parámetros in-situ, de laboratorio y bacteriológicos, requerimientos establecidos en lo referente al tipo de envase, tamaño mínimo de la muestra, preservante, tiempo máximo de conservación recomendado y/u obligatorio se recopilaron de los Métodos Normalizados (APHA, 1998) (Tabla 4. 2).

Tabla 4. 2: Procedimientos para el tratamiento de las muestras. Fuente: APHA, 1998

Parámetro		Material del recipiente	Tamaño mínimo de la muestra (ml)	Conservación	Tiempo máximo de conservación recomendado / obligado
AMONIO	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	plastico , vidrio	500	Analizar lo antes posible; o añadir H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hasta pH < 2; Refrigerar	7 d / 28 d
COLIFORMES TOTALES		plastico estéril	125	Analizar lo antes posible; Refrigerar	6 hs
COLIFORMES FECALES		plástico estéril	125	Analizar lo antes posible; Refrigerar	6 hs
ESCHERICHIA COLI		plástico estéril	125	Analizar lo antes posible; Refrigerar	6 hs
FÓSFORO TOTAL	Pt				
FOSFATO (como ORTOFOSFATO)	PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	vidrio	100	Filtrar inmediatamente Refrigerar	48 hs / N.C.
NITRATO	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	plastico , vidrio	100	Analizar lo antes posible; Refrigerar	48 hs / 48 hs
SOLIDOS TOTALES		plastico , vidrio	200	Refrigerar	7 d / 2-7 d

#### 4.2 Determinación de parámetros.

Los parámetros seleccionados para el desarrollo de esta tesis se analizaron de dos formas diferentes: Parámetros analizados “in situ”, es decir en el punto de muestreo en forma instantánea y, parámetros que se analizaron “en laboratorio”.

- Entre los analizados “in situ” se determinaron pH, temperatura, oxígeno disuelto, mientras que las mediciones de nitrato, amonio, fósforo total y fosfato se analizaron horas después “en laboratorio” y, los sólidos totales, y microbiológicos se acondicionaron para su derivación y análisis en el laboratorio del curso de análisis químico (Departamento Ciencias Exactas – FCAYF – UNLP) en el primer caso y Laboratorio de las Sierras en Tandil y Laboratorio industrial Lister Gema, habilitado por Resolución 504/01 de OPDS, en el segundo.
- Las muestras de agua superficial para las mediciones “en laboratorio”, se recogieron en frascos de vidrio color caramelo. Se llenó el frasco, en el sentido de la corriente, hasta rebalsar, tapándolo sin dejar cámara de aire. Las muestras se acondicionaron en heladera portátil y se procedió al análisis de las muestras en las 8 hs posteriores después de recogidas, mediante kits colorimétricos.

Los principios de cada parámetro analizado, el procedimiento de toma de muestra y de análisis se presentan en el Anexo 1.

### 5. Calidad del agua.

#### 5.1) Evaluación de la calidad del agua mediante la aplicación de índices de calidad de agua.

Los índices de calidad permiten evaluar cambios en el agua e identificar tendencias. Existen índices de calidad de agua (ICA) desarrollados para condiciones propias de una región o un país y validados en diferentes estudios. A partir de ellos, numerosos autores y entidades de control ambiental han realizado modificaciones para adaptarlos a condiciones específicas de cada río.

La construcción del ICA requiere en primer lugar la normalización de los parámetros, por el cual cada uno se transforma en una escala de 0 - 100, donde el 100 representa la mejor calidad y el 0 la peor. En segundo lugar, se realiza la aplicación de un factor de peso a cada variable que refleje la importancia relativa de cada parámetro en la calidad del agua. Aquí, el peso de estas variables está estandarizado y se utilizan valores de la literatura (Pesce y Wunderlin, 2000). El ICA, una vez construido arroja un valor

adimensional asociado a una calidad de agua en particular. El resultado obtenido es de fácil entendimiento y se basa en criterios científicos (Pesce y Wunderlin, 2000; Glatstein et al., 2010).

En algunos casos, los índices se han basado en la medición de parámetros y en otros en el cumplimiento de los valores normados o reglamentados. Así, entre los primeros encontramos el ICA de National Sanitation Foundation de los Estados Unidos (ICA NSF, 1970) y el ICAsub propuesto por Rodríguez de Bascarón (1979) (Pesce y Wunderlin, 2000) y entre los segundos el índice de calidad de agua de la British Columbia (BCWQI, 1996).

#### 5.1.1. Índice de calidad de agua de la National Science Foundation (ICA NSF).

Según Fernández y Solano (2005), el ICA NSF es un índice multiparámetro, que surgió en la década de 1970 en la National Sanitation Foundation de los Estados Unidos y se basó en tres estudios en los que paneles de 142 expertos determinaron cuales variables debían tenerse en cuenta, las relacionales funcionales entre parámetros y la calidad de agua que representaban y el peso que cada parámetro aportaba al índice. Para la definición del ICA NSF se aplicó el método de cálculo aditivo, que se obtiene de la suma lineal ponderada de los productos resultantes entre los subíndices de cada parámetro de calidad y los pesos o porcentajes asignados a cada parámetro, según la expresión Fórmula 5.1.

$$ICA = \sum_{i=1}^n (S_i * W_i) \quad (\text{Fórmula 5.1})$$

Donde: ICA: índice de Calidad de Agua

$S_i$ : Subíndice del Parámetro  $i$

$W_i$ : Factor de Ponderación para el subíndice  $i$

El resultado de su aplicación, debe ser un número entre 0 y 100, donde 0 representa la calidad de agua muy pobre y 100 representa la calidad de agua excelente. El resultado final es interpretado de acuerdo con la escala de clasificación de la Figura 5.1, en la que el fondo representa el color correspondiente a cada rango.

Excelente: 91 - 100
Buena: 71 - 90
Media: 51 - 70
Mala: 26 - 50
Muy Mala: 0 - 25

Figura 5. 1: Escala de clasificación del Índice ICA NSF.

Fuente: Fernández y Solano, 2005.

### 5.1.2. Índice de calidad de agua ICAsub propuesto por Rodríguez de Bascarón (1979).

De acuerdo a Pesce y Wunderlin (2000), el ICAsub se denomina así por contar en su cálculo con una variable subjetiva “k” que tiene en cuenta la impresión visual del observador respecto de la calidad del agua superficial, de acuerdo a la ecuación (Fórmula 5.2)

$$ICA = k * \frac{\sum C_i * P_i}{\sum P_i} \quad (\text{Fórmula 5.2})$$

Donde: n representa el número total de variables

$C_i$  es el valor asignado a la variable  $i$  normalizada

$P_i$  es un valor de ponderación que va entre 1 y 4, donde 4 se les asigna a aquellas variables de mayor importancia para la vida acuática (ej. oxígeno disuelto) (Pesce y Wunderlin, 2000; Glatstein et al., 2010).

En la práctica el valor de “k” no se considera por introducir apreciaciones subjetivas.

El valor numérico del índice y la clasificación del agua se muestran en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1: Clasificación del índice ICAsub. Fuente: Glatstein et al., 2010.

Descriptor	ICAsub
muy mala	0-25
mala	26-50
regular	51-70
buena	71-90
excelente	91-100

### 5.1.3. Índice de calidad de agua British Columbia (BCWQI).

Este índice está basado en la consecución de objetivos, que no son otra cosa que límites seguros de las variables, dados por la legislación con el fin de proteger todos los usos de un cuerpo de agua (BCWQI, 1996). En este índice se deben calcular tres factores: F1: alcance; F2: frecuencia y F3: amplitud. Los rangos y relaciones individuales de cada factor y su aporte al índice se pueden observar en la Figura 5.2.

Rango	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	Valor del índice	Rango del índice
Excelente	0 - 2	0 - 1	0 - 9	0 - 4	0 - 3
Bueno	3 - 14	2 - 14	10 - 45	5 - 25	4 - 17
Aceptable	15 - 35	15 - 40	46 - 96	26 - 62	18 - 43
Marginal	36 - 50	41 - 60	97 - 99	63 - 85	44 - 59
Pobre	51 - 100	61 - 100	99.1 - 100	86 - 145	60 - 100

Figura 5.2: Rangos y relaciones de los factores del índice BCWQI.

Fuente: Fernandez Parada y Solano Ortega, 2005

Finalmente, estos tres factores se combinan para formar el índice que se calcula como se expresa en la Fórmula 5.3.

$$BCWQI = 100 - \left( \frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1.732} \right) \quad (\text{Fórmula 5.3})$$

Cada factor es tomado como un vector y así, el índice, o espacio definido por los factores, cambia en proporción directa a los cambios en todos los tres factores pese al tipo de cuerpo de agua involucrado (Fernandez y Solano, 2005).

Los valores resultantes de la aplicación del índice califican al curso / cuerpo de agua en las categorías de la Tabla 5.2 (BCWQI, 1996).

Tabla 5.2: Clasificación del ICA BCWQI. Fuente: Valcarcel Rojas et al., 2009.

Excelente	Curso de agua en condiciones cercanas a las naturales, sin amenazas de deterioro. Uso del agua continuo
Buena	Curso de agua en condiciones raramente lejos de las naturales o de los niveles deseables, se requiere bajo grado de tratamiento para todos los usos. Uso del agua permanente
Aceptable	Curso de agua en condiciones varias veces lejos de las naturales o de los niveles deseables, muchos de los usos presentan deterioro. Uso individual del agua temporalmente interrumpido
Marginal	Curso de agua en condiciones a menudo lejos de las naturales o de los niveles deseables, muchos de los usos requieren tratamiento. Más de un uso del agua temporalmente interrumpido.
Pobre	Curso de agua en condiciones usualmente lejos de las naturales o de los niveles deseables, muchos de los usos requieren de tratamiento. Usos del agua temporalmente interrumpidos.

Para la valoración de los ICA NSF y BCWQI, se utilizó el ICATest versión 1.0<sup>®</sup>, software diseñado por el Grupo de Investigación en Recursos Naturales en la Línea de Investigación Valoración y Monitoreo de la Calidad Ambiental, dentro del Programa de Calidad del Agua, a partir de las investigaciones desarrolladas en la Universidad de Pamplona (Fernández, 2003). El ICATest versión 1.0<sup>®</sup> corre bajo plataforma Windows y permite acceder, introducir, modificar y eliminar datos analíticos de las variables físico químicas de las muestras, contenidas en plantillas preestablecidas dentro del mismo programa o desde Microsoft Excel. Los resultados de los cálculos se muestran en tablas y reportes, donde se expresa toda la información generada para el índice calculado y gráficos 2D que exponen la relación de los parámetros Vs curva funcional (Q), en el caso del ICA NSF, o en el BCWQI la distribución de los valores de factores y su influencia en el índice general.

El ICASub se calculó y graficó manualmente con Microsoft Excel.

5.2) Evaluación de la calidad del agua mediante análisis comparativo con valores normados nacionales e internacionales.

Para establecer la calidad del agua del arroyo se compararon los valores observados de las determinaciones de los distintos parámetros medidos, con valores guía o estándares de referencia. Los valores responden a normas específicas o a valores naturales que deberían encontrarse en sistemas acuáticos superficiales de características en lo posible semejantes, no intervenidos por el hombre.



Se consultó bibliografía en relación a la reglamentación nacional e internacional, diferentes valores guía y niveles de referencia establecidos para los distintos tipos de usos del agua, adoptados en esta tesis, de la cuenca en estudio.

En líneas generales, de los usos posibles del agua del arroyo Napaleofú, en la actualidad, se menciona el uso recreativo y la bebida de ganado. Cabe destacar que los parámetros analizados en esta tesis afectan, en líneas generales la calidad de la biota acuática, por este motivo también se consideró este uso.

Los valores hallados de los parámetros analizados en el agua superficial del arroyo Napaleofú, se contrastaron con distintas reglamentaciones consultadas y se interpretó si los primeros se encontraban dentro de los límites permitidos/recomendados por las legislaciones mencionadas.

## **6. Evaluación de la calidad del agua espacial y temporal.**

Los resultados obtenidos de la aplicación de los índices ICA NSF, ICASub e ICA BCWQI fueron vinculados, mediante herramientas SIG, a los sitios de muestreo con el fin de analizar espacial y temporalmente las variaciones de calidad del recurso y visualizar tendencias.

Para la aplicación del SIG se elaboró una codificación que integró cada una de las fechas muestreadas y los índices calculados.

## **7. Cuantificación del índice de estado trófico en la cuenca del arroyo Napaleofú.**

El índice de estado trófico de Carlson (TSI, 1977) es uno de los índices más utilizados en la evaluación, determinación y clasificación del estado trófico de un cuerpo de agua, incluyendo ríos y arroyos debido a su sencillez y objetividad (Carlson, 1977; Limnología, 2010). Tres variables (clorofila, profundidad del disco de Secchi y fósforo total), se pueden utilizar independientemente para estimar la biomasa de algas. Las tres variables del índice están relacionadas entre sí por modelos de regresión lineal, y deberían producir el mismo valor de índice para una determinada combinación de valores de las variables. Por lo tanto, cualquiera de las tres puede, teóricamente, ser utilizada para clasificar un cuerpo de agua.

Las ecuaciones que explican estas relaciones se detallan en las Fórmulas 7.1; 7.2 y 7.3

$IET (\text{Secchi}) = 10 \times [6 - (\ln DS / \ln 2)]$	(Fórmula 7.1)
$IET (\text{Clorofila A}) = 10 \times [6 - (2.04 - 0.68 \times \ln cIA) / \ln 2]$	(Fórmula 7.2)
$IET (\text{Fósforo total}) = 10 \times \{6 - [\ln(48 / FT) / \ln 2]\}$	(Fórmula 7.3)

Donde: IET representa el índice de estado trófico

DS es la distancia donde se pierde la visión del disco de Secchi en mt

Cl A es la concentración de clorofila A medida en la superficie del agua en  $\mu\text{g} / \text{lt}$

FT es la concentración de fósforo total medida en la superficie del agua en  $\mu\text{g} / \text{lt}$

Ln es el logaritmo natural

Profundidad Secchi: La transparencia de los cuerpos de agua puede disminuir por la presencia de materia orgánica e inorgánica, el plancton y las partículas disueltas y en suspensión que se encuentran presentes en el agua, afectando la cantidad de luz que penetra en el agua (Roldán, 2008). El disco Secchi es el instrumento utilizado para medir la profundidad de la zona fótica de un lago, que es aquella distancia a la que desaparece el 99% de luz superficial. Debajo de esta zona es casi nula la productividad primaria ya que no se lleva a cabo la fotosíntesis (Cole, 1988; Roldán Perez et al., 2008).

La profundidad de Secchi no es la metodología más adecuada para medir el estado trófico en ríos (Lamparelli, 2004) por lo cual no se utilizó en esta tesis.

Clorofila A: La clorofila es el pigmento verde que poseen las plantas y las algas y es fundamental en el proceso de la fotosíntesis. Este pigmento interviene en la conversión de energía solar a energía química necesaria para el metabolismo de las plantas durante la fotosíntesis. El pigmento más importante es la clorofila A, que permite determinar la cantidad total de biomasa fitoplanctónica presente en un momento dado y en una cantidad determinada de agua. La presencia de clorofila A es un indicador confiable de la cuantificación y seguimiento de las variaciones de biomasa, permitiendo determinar la calidad del agua y la salud del ecosistema (Contreras, 1994).

Fósforo Total: El fósforo es un elemento importante dentro del metabolismo biológico. Se presenta en el agua en forma de fosfatos: ortofosfatos, fosfatos condensados (piro, meta y polifosfatos) y fosfatos orgánicos. El fósforo en forma natural se encuentra en rocas fosfatadas y en cerca de 200 minerales más (Roldán Pérez y Ramírez Restrepo, 2008). La forma más sencilla de los fosfatos son los ortofosfatos ( $\text{PO}_4^{-3}$ ) los cuales se encuentran principalmente en rocas y son de gran importancia en la limnología, ya que es la forma como las plantas acuáticas y el fitoplancton pueden absorberlo. Su disponibilidad en el agua aumenta a pH básico y disminuye a pH ácido. El fósforo es el factor limitante de la productividad primaria y además posee un efecto mayor sobre la eutrofización, puesto que cantidades mínimas de este elemento pueden favorecer al crecimiento de fitoplancton, afectando la estructura y funcionamiento del ecosistema acuático (Roldán Perez et al., 2008). El fósforo también se encuentra en los sedimentos, siendo su cantidad mucho mayor a la que se encuentra en el agua. Esto tiene que ver con la habilidad de los sedimentos de retornar el fósforo, el tipo de biota en los sedimentos y las condiciones del agua; todo esto puede afectar el retorno del fósforo a la zona trofogénica (zona donde se realiza la fotosíntesis) (Roldán Pérez y Ramírez Restrepo, 2008). Debido a la actividad humana, existe un aumento en la cantidad de fósforo en diversos cuerpos de agua, producido por fertilizantes, detergentes, descargar industriales y humanas (Roldán Pérez y Ramírez Restrepo, 2008).

Lamparelli modificó las ecuaciones para su aplicación en ambientes lóticos (Lamparelli, 2004), y estas modificaciones han sido adoptadas por Alves y otros para el río Arari, en la Isla de Marajo en el Norte de Brasil (Alves et al., 2011). Así, las ecuaciones quedan como se detalla en las Fórmulas 7.4 y 7.5:

$$\text{IET (Clorofila A)} = 10 \times [6 - ((-0.7 - 0.6 \times (\ln \text{clA})) / \ln 2)] - 20 \quad (\text{Fórmula 7.4})$$

$$\text{IET(Fósforo total)} = 10 \times \{6 - [(0.42 - 0.36 \times (\ln \text{FT})) / \ln 2]\} \quad (\text{Fórmula 7.5})$$

Donde: FT es la concentración de fósforo total medida en la superficie del agua en  $\mu\text{g} / \text{lt}$

Cl A es la concentración de clorofila A medida en la superficie del agua en  $\mu\text{g} / \text{lt}$

Ln es el logaritmo natural

Una vez obtenidos los resultados de la aplicación de las ecuaciones de IET modificadas por Lamparelli, se hallaron las correspondencias con el estado trófico de acuerdo a la Tabla 7.1.

Tabla 7.1: Clasificación del estado trófico para ríos según el índice de Carlson modificado por Lamparelli.

Fuente: Lamparelli, 2004.

Categoría (Estado trófico)	Ponderación	Fósforo total (P) (mg/lt)	Clorofila A (Cl) (mg/lt)
Ultraoligotrófico	IET ≤ 47	P ≤ 0.013	Cl ≤ 0.00074
oligotrófico	47 < IET ≤ 52	0.013 < P ≤ 0.035	0.00074 < Cl ≤ 0.00131
Mesotrófico	52 < IET ≤ 59	0.035 < P ≤ 0.137	0.00131 < Cl ≤ 0.00296
Eutrófico	59 < IET ≤ 63	0.137 < P ≤ 0.296	0.00296 < Cl ≤ 0.0047
Supereutrófico	63 < IET ≤ 67	0.296 < P ≤ 0.64	0.0047 < Cl ≤ 0.00746
Hipereutrófico	IET > 67	P > 0.64	Cl > 0.00746

Las características que se observan en los cuerpos/cursos de agua de acuerdo al nivel de estado trófico que presentan se detallan en la Tabla 7.2.

Tabla 7.2: Clases de estado trófico y sus características principales. Fuente: Lamparelli (2004).

Valor del índice	Estado Trófico	Características
47	Ultraoligotrófico	Cuerpos de agua limpios, de muy baja productividad, con concentraciones insignificantes de nutrientes que no provocan perjuicios a los distintos usos del agua
47 < IET = 52	Oligotrófico	Cuerpos de agua limpios, de baja productividad, la presencia de nutrientes no provoca interferencias con los usos del agua.
52 < IET = 59	Mesotrófico	Cuerpos de agua con productividad intermedia, con afectación de la calidad del agua en niveles aceptables.
59 < IET = 63	Eutrófico	Cuerpos de agua con alta productividad en relación a las condiciones naturales, con transparencia reducida, en general afectados por actividades antrópicas. El aumento de la concentración de nutrientes genera alteraciones de la calidad del agua e interfieren en múltiples usos.
63 < IET = 67	Supereutrófico	Cuerpos de agua con alta productividad en relación a las condiciones naturales, baja transparencia, en general afectados por actividades antrópicas. El aumento de la concentración de nutrientes genera alteraciones de la calidad del agua como la ocurrencia de floraciones algales por ejemplo e interfieren en múltiples usos.
> 67	Hipereutrófico	Cuerpos de agua afectados significativamente por elevadas concentraciones de materia orgánica y nutrientes. Usos de agua comprometidos asociados a episodios de floraciones algales y mortandad de pece, con consecuencias indeseables en múltiples usos incluyendo las actividades ganaderas.

## RESULTADOS.

### 1. Recopilación de antecedentes bibliográficos y de campo.

Los estudios ambientales realizados en la zona son escasos, pudiéndose encontrar trabajos geológicos y estudios de paisajes (zonificación ecológica) del Dr. Sánchez, del partido de Tandil o de las Sierras de Tandil en general, que incluyen a la cuenca del arroyo Napaleofú, entre otros (Comunicación Personal, 2014). Vinculado a la medición de parámetros físico - químicos en el arroyo Napaleofú, se cita como antecedente la tesis doctoral de la Dra. en Ciencias Naturales Delia Bauer (Comunicación Personal, 2014). El trabajo desarrollado por la Dra Bauer tuvo como finalidad estudiar el fitoplancton de 10 arroyos pampeanos con el objeto de identificar los principales gradientes ambientales a los que responde la variación en la composición del fitoplancton y las respuestas estructurales del mismo a los cambios en la calidad del agua debidos al impacto humano. La cuenca ha integrado un estudio de diagnóstico de contaminación difusa por nitratos y agroquímicos llevado a cabo entre 2011 y 2013 por INTA, AACREA y la UNLP para cuencas rurales del sudeste y oeste bonaerense (Vázquez Amábile et al., 2013, 2014).

Como resultados del desarrollo del Proyecto “Servicios ambientales de agroecosistemas para el ordenamiento territorial en el sur de la provincia de Buenos Aires”, se han realizado diversas publicaciones en congresos y revistas de la especialidad, vinculados a la morfometría de la cuenca (Senisterra et al., 2014a); al cambio de la cobertura vegetal y uso de suelo (Senisterra et al., 2014b); la variación del índice de vegetación normalizado (NDVI) (Mazzucchelli et al., 2014), los cuales se presentan en el Anexo 2.

Se tomaron los valores físico-químicos del Arroyo Napaleofú publicados como antecedentes del trabajo realizado en esta tesis. Así, de acuerdo al análisis de los iones mayoritarios, el tipo de agua de los arroyos de la zona de Tandil es bicarbonatada sódica con altos niveles de mineralización. Por otro lado, el Arroyo Napaleofú presentó altos valores de oxígeno disuelto y baja Demanda Biológica de Oxígeno, sólidos totales en suspensión y turbidez.

Entre las actividades del ciclo Teórico Práctico de la presente Maestría se realizó el trabajo “Relación entre la aptitud edáfica y el cambio espacio-temporal de la cobertura y uso del suelo en una cuenca serrana de la provincia de Buenos Aires” (Mazzucchelli y Senisterra). El mismo, fue presentado con fecha 7/8/2013 y aprobado con calificación 9 (nueve). Este trabajo analizó la correspondencia entre

la aptitud y el uso de la tierra, para demostrar la existencia o no de sectores en los cuales se produce un uso conflictivo de la misma. Los resultados indicaron que la actividad productiva es netamente agropecuaria. La expansión agrícola comenzó en los años 1970, profundizándose en la década del '90 en la que el agro vivió un intenso proceso caracterizado por una mayor eficiencia en el uso de los factores productivos, acompañado por la adopción de cambios técnicos y por el desarrollo de nuevas formas organizacionales de la producción, a través de la tecnificación y la diversificación de la producción.

## **2. Diagnóstico ambiental espacio temporal.**

### **2.1) Análisis espacio temporal de uso del suelo.**

Se determinaron 5 categorías de uso del suelo, con base al año 2011 para generar el análisis de tendencia con SIG: agrícola (A), agrícola-ganadero (AG), ganadero-agrícola (GA), ganadero (G3b) y monte (M) (INTA, 1986).

El uso agrícola (A), se corresponde a unidades donde el suelo, clima y otros factores de incidencia agronómica permiten obtener cosechas permanentemente. Las tierras no presentan limitaciones o si las tienen son leves y se solucionan con simples prácticas de manejo y conservación de suelos para mantener su productividad. Generalmente son suelos profundos, medianamente o bien provistos de materia orgánica, neutros, bien drenados, bien estructurados, con buena disponibilidad de nutrientes minerales, desarrollados en terrenos relativamente altos y de pendientes suaves y con adecuada disponibilidad de agua. Constituyen los sectores de mayor potencial agropecuario.

El uso con aptitud agrícola ganadera (AG), corresponde a unidades con suelos y condiciones semejantes a las del uso agrícola, pero con determinadas características que requieren la alternancia entre cultivos anuales y pasturas cultivadas plurianuales. La primera es la fase predominante, mientras que la ganadería se desarrolla sobre la segunda y así el suelo recupera las condiciones necesarias para reiniciar el ciclo agrícola. Las tierras tienen limitaciones edáficas y/o climáticas moderadas que restringen la elección de los cultivos o requieren prácticas de conservación de suelo y agua, como la susceptibilidad a la erosión hídrica y/o eólica, profundidad efectiva limitada y ligeras deficiencias de drenaje.

Las condiciones de las unidades con aptitud ganadero agrícola (GA), permiten la producción principalmente bovina sobre pasturas cultivadas plurianuales y verdeos en rotación con ciclos cortos de

cultivos de cosecha adaptados al clima y al suelo. Las tierras tienen severas limitaciones y requieren prácticas de conservación y manejo de suelo y agua para mantener su nivel productivo. Estas tierras tienen mayores limitaciones ya que son más susceptibles a erosiones severas, peligro de anegamiento e inundación, baja disponibilidad de nutrientes, alta probabilidad de sequías, escasa profundidad, drenaje deficiente, salinidad y/o alcalinidad.

Los suelos con aptitud ganadera extensiva sobre pastizales naturales (G3b), incluyen tierras con limitaciones graves de suelo que no permiten implantaciones de pasturas cultivadas, con baja disponibilidad hídrica, relieve quebrado, baja retención de humedad, escasa profundidad efectiva, erosión eólica o hídrica grave.

El uso denominado Monte (M) se corresponde con aquellas áreas con cobertura arbórea, arbustiva y subarbustiva que, en la cuenca de estudio comprende cortinas forestales para reparo de animales de *Eucalyptus* sp y *Pinus* sp y, en las márgenes de los cursos de agua compuesta principalmente por sauce criollo (*Salix humboldtiana*).

En la Figura 2.1 se observan los usos de suelo correspondientes a los años 1986 (A), 1996 (B) y 2011 (C) respectivamente.

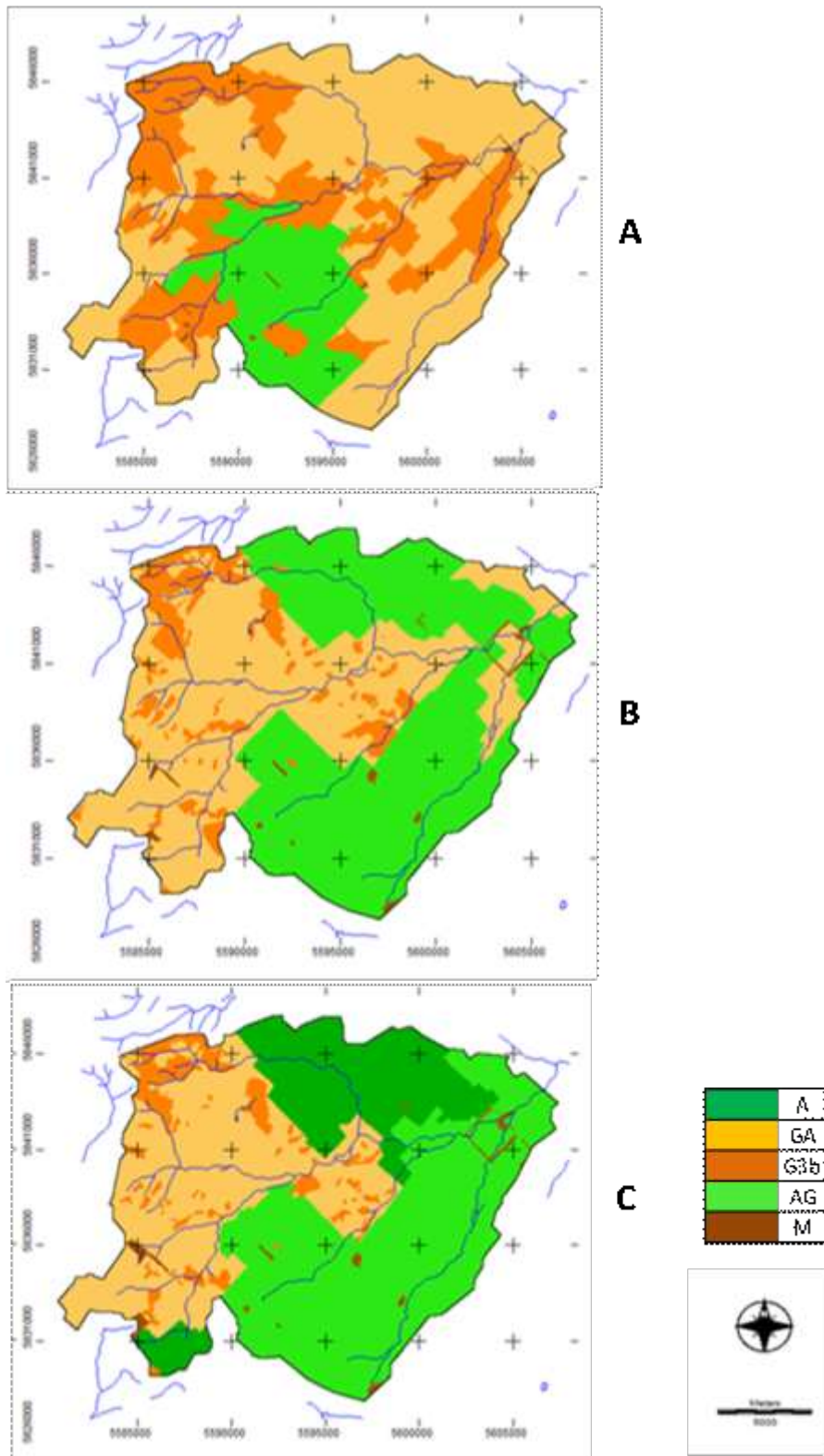


Figura 2.1: Usos de suelo presentes en los años A) 1986; B) 1996 y C) 2011

Fuente: Elaboración propia.



En el año 1986, de las 34.374 Ha que comprenden la cuenca, el uso GA ocupaba alrededor de la mitad (18.273 Ha.); 10.343 Ha. correspondían al uso G3b y 5.632 Ha presentaban uso AG. En el año 1996 persistían los mismos usos del año 1986, variando las superficies. Así, los usos G3b y GA sufrieron una reducción de sus áreas (70 % y 20 % respectivamente) en favor del uso de suelo AG, que triplicó su área de incidencia. Finalmente, en el año 2011 se incorporó el uso agrícola (A), ocupando áreas antes destinadas al uso AG en el N de la cuenca y GA en el SO.

Las coberturas que experimentaron los mayores cambios corresponden a los usos ganadero-agrícola y ganadero sobre roca en superficie, mostrando una tendencia hacia los usos agrícola-ganadero y agrícola. Esto ha sido producto de la incorporación de nuevas tecnologías agropecuarias que favoreció a aquellos suelos que se utilizaban con fines solo ganaderos y que poseían aptitud para uso agrícola. El 32,98% de la superficie mantuvo los usos respectivos durante los 25 años analizados. El mayor cambio se evidenció en el uso agrícola, el cual manifestó un incremento de alrededor del 20% (Figura 2.2).

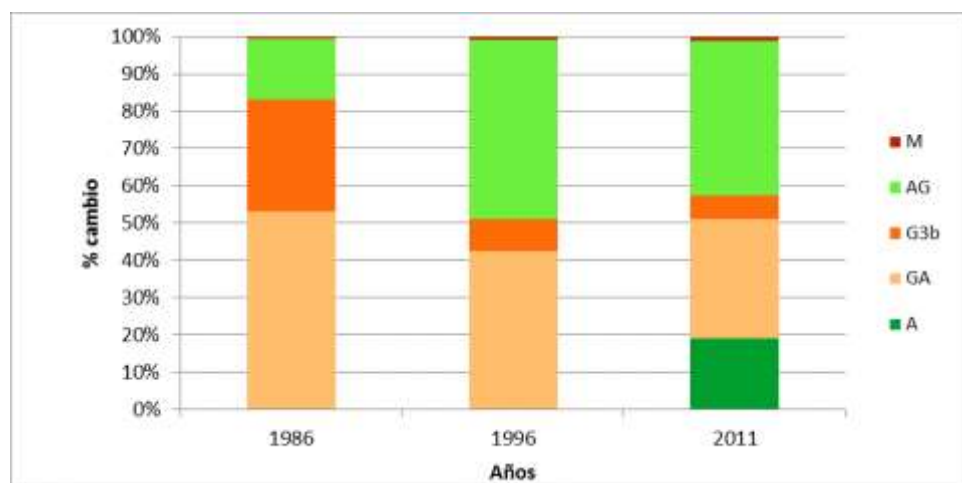


Figura 2.2: Porcentajes de cambio de usos de suelo entre los años 1986; 1996 y 2011.

Fuente: Elaboración propia.

## 2.2) Zonificación espacio temporal de índices de vegetación.

El índice de vegetación (NDVI) comparativo indica que los píxeles en tonos verdes claro y oscuro expresan mejor estado de la biomasa y vegetación fotosintéticamente activa respecto de aquellos con coloración amarillo y naranja, indicando un estado inferior de la misma. Se considera que los valores de

NDVI entre 0,5 y 0,7 corresponden a una buena cobertura de suelo. Los valores de NDVI calculados para los años 1986 (A), 1996 (B) y 2011 (C), con imágenes Landsat 5 TM definieron los mapas de distribución del NDVI respectivos que se muestran en la Figura 2.3.

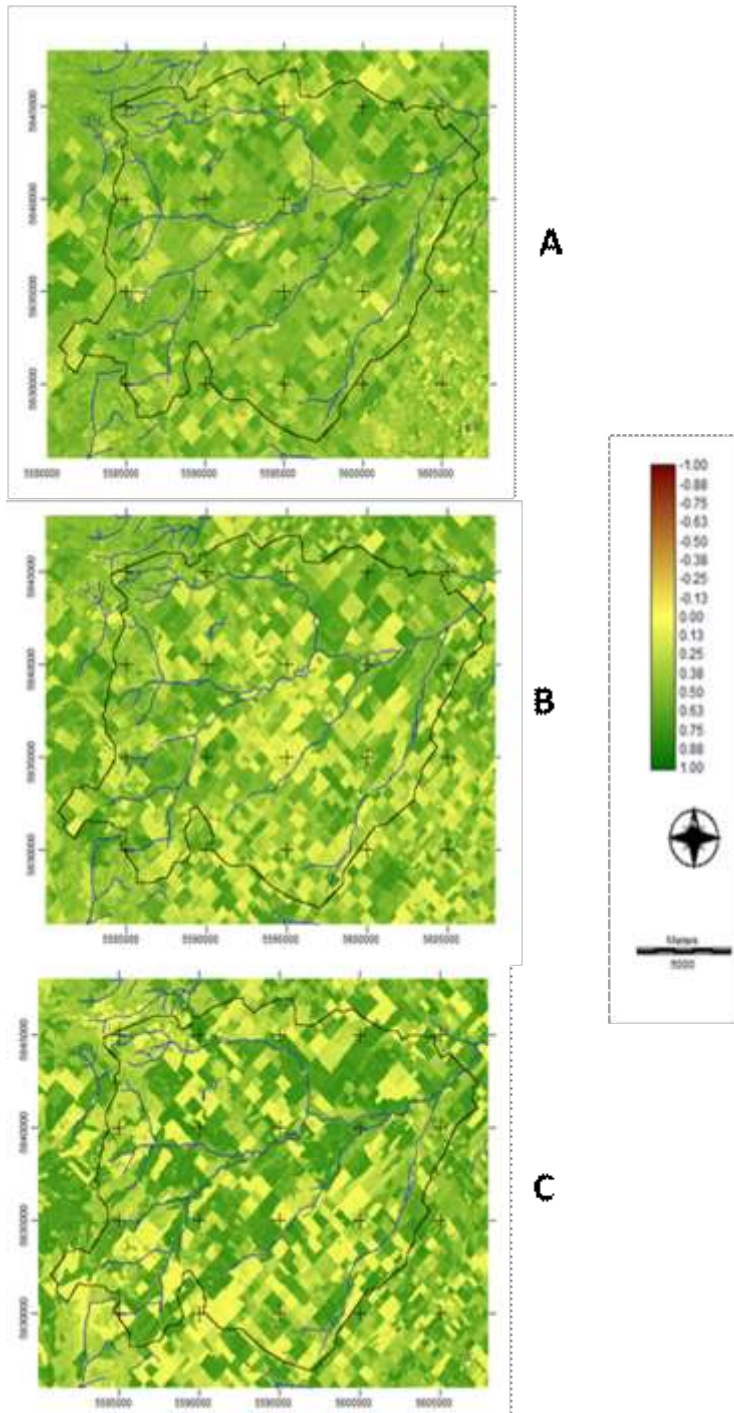


Figura 2.3: A) NDVI imagen TM año 1986; B) NDVI imagen TM año 1996 y C) NDVI imagen TM año 2011.

Fuente: Elaboración propia.

En el año 1986, las tonalidades predominantes se encontraron por encima del valor 0, de colores verdoso y homogéneas. En el año 1996, se observaron manchones amarillos (colores de NDVI cercanos a 0) y disminución de los sectores color verde. Esta diferenciación observada se hizo más notoria en la imagen correspondiente al año 2011, en la que se encontró una mayor distinción entre las tonalidades amarillas y verdes.

La distribución de los valores NDVI durante los años de estudio se expresó mediante el histograma de frecuencias relativas de la Figura 2.4, que representa el porcentaje de superficie que ocupa cada valor de NDVI.

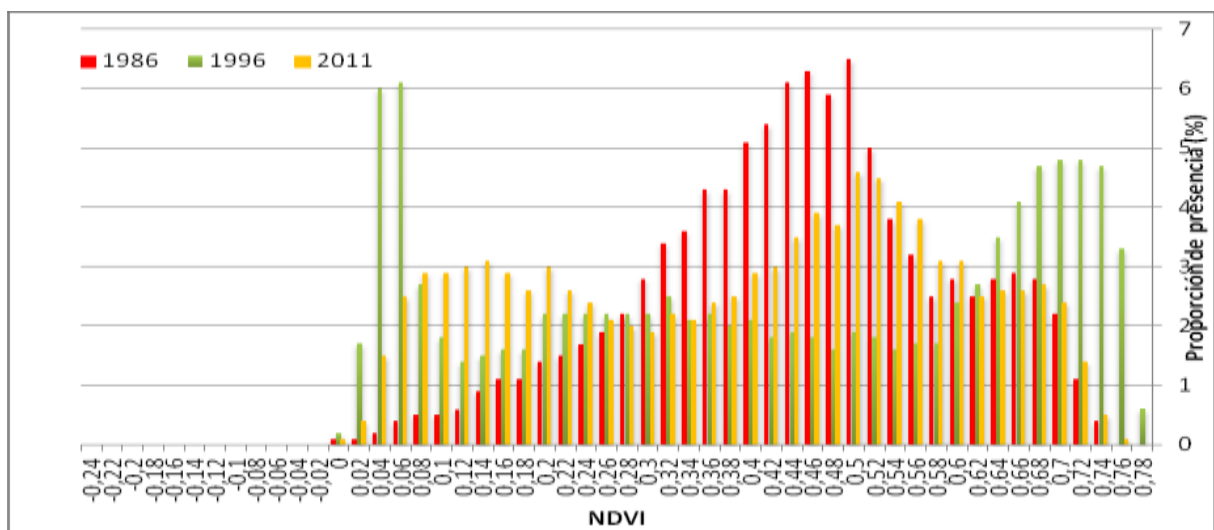


Figura 2.4: Histograma de frecuencias relativas del porcentaje de superficie ocupado por cada valor de NDVI.

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 2.1 muestra los resultados de los cálculos de los estadísticos media y desvío estándar para cada año de estudio.

Tabla 2.1: Estadísticos de los NDVI obtenidos. Fuente: Elaboración propia.

	1986	1996	2011
Media	0,455	0,401	0,426
Desvío estándar	0,148	0,198	0,249
N:	3437462		

Los valores estadísticos hallados a partir del histograma del año 1986 demostraron que el 62,9 % de los pixeles expresaron valores de NDVI entre 0,32 y 0,56, que se distribuyeron simétricamente alrededor de la media ( $X=0,455$ ), el 20 % de los valores de NDVI se encontraron por debajo del valor 0,32, con una disminución regular de los mismos, mientras que el 17% restante se halló por encima del valor 0,56. En el año 1996 el porcentaje de superficie del suelo con cobertura vegetal se encontró más uniformemente distribuida respecto de la media; así el 48 % de los valores de NDVI se dieron por debajo del valor medio y el 52 % por encima. En el 2011, se registró que el 45 % de los valores de NDVI se encontraba entre 0,2 y 0,62, con una media igual a 0,42, el 24,6 % de los valores registrados eran menores a 0,2 y el 30,5% mayor a 0,62.

El porcentaje de superficie comprendido entre los valores 0,5 y 0,7 del índice resultó similar en los tres períodos analizados, con una leve tendencia regresiva, ya que en 1986 fue de 37%, en 1996 de 36 % y en el año 2011 de un 30 %. En las imágenes de los años 1996 y 2011 se observó un mayor porcentaje de valores de NDVI cercanos a 0, representando un cambio en la cobertura vegetal o una disminución del vigor de la misma.

Las precipitaciones tuvieron un papel destacado en las diferencias de NDVI observadas. Si bien los registros anuales no presentaron diferencias notables, estas pueden apreciarse en el registro de los 5 días previos a la toma de la imagen y en la humedad antecedente de los meses anteriores.

Respecto a la humedad antecedente, en el último bimestre del año 1985 se registró una importante inundación en la zona de estudio (CIMA/CONICET Hidroestructuras SA, 2007), situación contraria a la sucedida en los siguientes años analizados. En el bimestre diciembre 2010-enero 2011, un período de sequía generó un retroceso en el crecimiento de los cultivos de cosecha gruesa (soja de segunda y maíz) que acusaron un leve estrés hídrico sufrido en el período seco previo (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, 2011).

Dado que las imágenes corresponden al mismo período de estacionalidad climática, no necesariamente lo hacen respecto al mismo fenotipo de cultivo. El NDVI podría indicar un cultivo con crecimiento desparejo, manchones en los mismos, zonas afectadas por falta de agua, o la situación de las napas que pueden no ser profundas pero que, al haber una falta de agua en los primeros centímetros del suelo, se afectarían los cultivos sembrados a partir de diciembre, al igual que las sojas de segunda cultivadas en enero que tendrían retrasado su crecimiento.

### 2.3) Análisis de la tasa de cambio de uso del suelo.

El uso del suelo en la cuenca del arroyo Napaleofú experimentó cambios en el período estudiado. En el año 1986 las tierras se utilizaban para actividades mixtas (agrícolas y ganaderas), ocupando casi la totalidad de la superficie. En el año 2011 se produjo un cambio en el uso del suelo ocupando casi el 20% de la superficie, actividades netamente agrícolas, cultivándose maíz, soja, papa, entre otros cultivos. A su vez hubo un avance en las actividades mixtas con predominio de la agricultura sobre la ganadería.

Para comprender en mayor detalle la dinámica de cambio espacio- temporal del uso del suelo se desglosó el análisis en dos períodos. El primero está comprendido entre los años 1986 y 1996 y el segundo entre los años 1996 y 2011. En cada uno de ellos se analizaron las imágenes referidas al uso de suelo con las correspondientes del NDVI observándose que, en el período 1986 – 1996 se observó que la ganadería sobre roca perdió 12,41% de superficie y el uso GA perdió el 2,24%, mientras que los usos AG y monte ganaron superficie en un 10,78% y 5,97% respectivamente. El uso A no se encontraba en la cuenca.

En el período 1996-2011, los cambios resultaron negativos para los usos GA, G3b y AG, perdiendo superficies y los usos M y A aumentaron las propias. El uso A ocupó 6520,51 has. de la cuenca. Esta tendencia concuerda con lo expresado por Vázquez y Zulaica (2011), para el partido de Tandil en cuanto al aumento de las superficies dedicadas a la agricultura, producto de la agriculturización que se presentó en toda la región pampeana.

### 2.4) Análisis climático.

A partir de los datos de la estación Tandil Napaleofú se obtuvo la Figura 2.5 donde se presentan los datos de temperatura y precipitación media mensual entre los períodos 1996 al 2011 y, en la Figura 2.6 se observan la media de los mm llovidos por mes en el período mencionado y la media de los días llovidos mensuales.

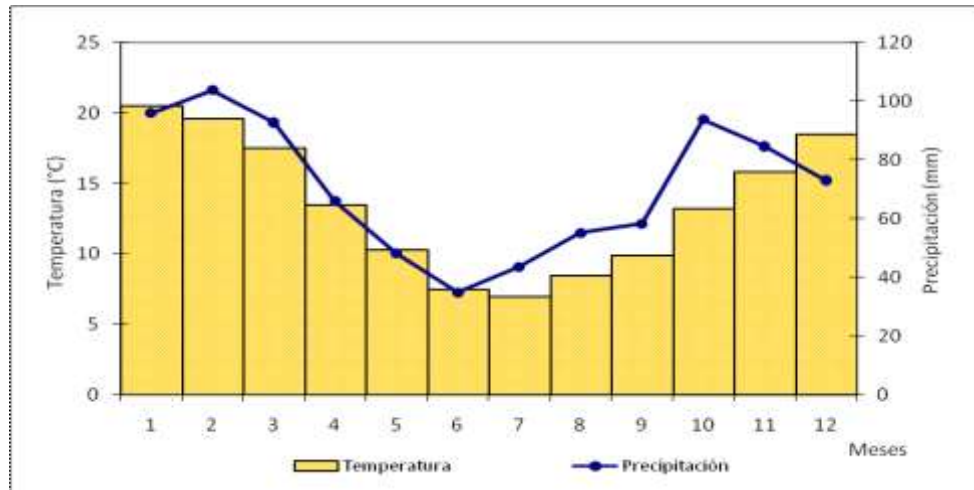


Figura 2.5: Relación temperatura y precipitación media mensual en Tandil (Período 1996 – 2011).

Fuente: Elaboración propia.

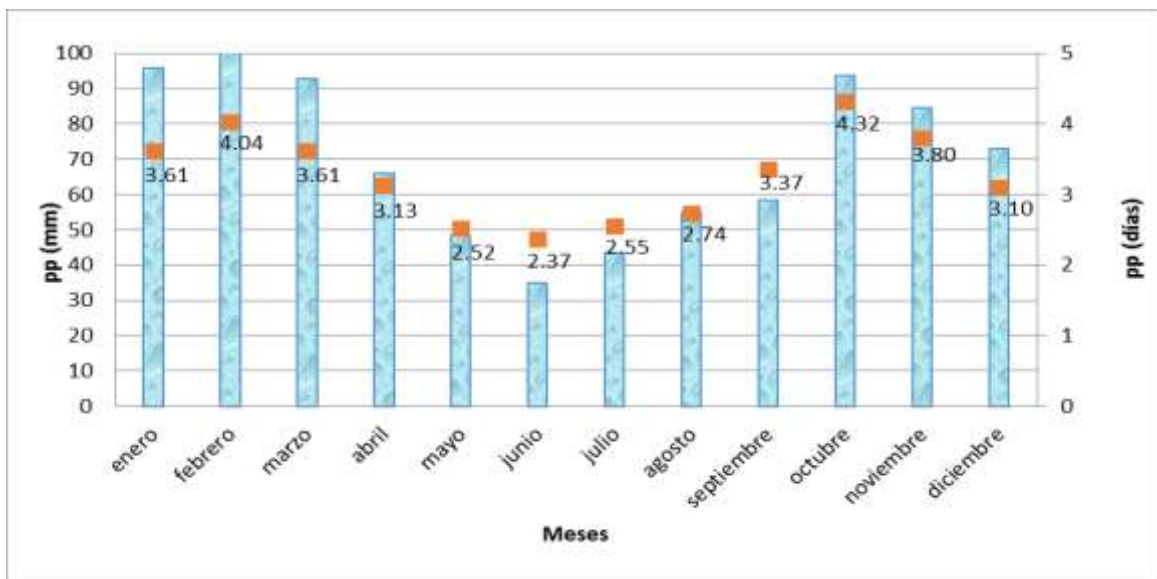


Figura 2.6: Precipitaciones medias mensuales (eje izquierdo, barras) y media de días llovidos (eje derecho, cuadrado). (Período 1996 – 2011).

Fuente: Elaboración propia.

Surge de la Figura 2.6 que las mayores precipitaciones se encuentran comprendidas entre los meses de octubre a abril, con picos en octubre y febrero, con un promedio alrededor de 4 días con lluvia en cada mes. El período con menores precipitaciones se encuentra de mayo a septiembre con un promedio de 2,5 días de lluvias.

La velocidad de los vientos se encuentra graficada en la Figura 2.7. De su análisis surge que la mayor velocidad de los vientos se encuentra entre los meses de octubre a febrero, con un pico de máxima velocidad en enero de 6 m/seg, disminuyendo en otoño hasta alcanzar su pico mínimo en el mes de junio.



Figura 2.7: Rosa de los vientos (Velocidad m/s): Tandil (período 1996 – 2011).

Fuente: Elaboración propia.

## 2.5) Caracterización geológica.

El cordón de Tandilia representa una provincia geológica, constituida por sierras, cerros, cerrilladas y lomas que sobresalen entre 50 y 250 m de la llanura pampeana. De acuerdo a Dalla Salda et al. (2006), las sierras de Tandilia constituyen una de las regiones geológicas más estables del país y presentan los afloramientos más australes del Cratón del Río de la Plata. Tandilia representa un típico sistema de montañas de bloques, separados por fallas y alineados según ellas. Según Nájera (1940), Tandilia corre con un rumbo general noroeste-sudeste. El cordón serrano es discontinuo, con un relieve en general bajo y afloramientos de granitoides que constituyen cerros con alturas superiores a los 500 metros. Las dos pendientes regionales de Tandilia, hacia el NE y SO respectivamente, originaron un



drenaje hacia ambas vertientes, cuya erosión modificó la forma de las sierras y elaboró valles que las cortan, llanuras menores y cuencas pequeñas en las cabeceras. El basamento cristalino se encuentra bien expuesto, recorriendo el núcleo de la sierra a lo largo y se ausenta en los extremos. El arroyo Napaleofú estaría limitando las sierras de Tandil y las de Balcarce (Fernández et al., 2008).

Las rocas del basamento cristalino de Tandilia o complejo Buenos Aires, son una típica asociación de rocas ígneo-metamórficas y escasas rocas metavolcánicas y diques básicos tardíos y discordantes, con conspicuos cinturones miloníticos (Dalla Salda et al., 2006). El complejo Buenos Aires se encuentra parcialmente cubierto por una delgada secuencia de plataforma sedimentaria depositada durante el precámbrico más alto –Formación Balcarce- (edad Eopaleozoica), tal como puede observarse en la Figura 2.8. Estas secuencias de plataformas son las más antiguas de Gondwana, y vinculan cratones vecinos como los del Río de La Plata y el del Kalahari. El basamento y la Formación Balcarce fueron intruídos por diabasas ordovícicas, confirmando un período regional de estabilidad de la corteza durante el fin del Brasiliano (Dalla Salda et al., 2006).

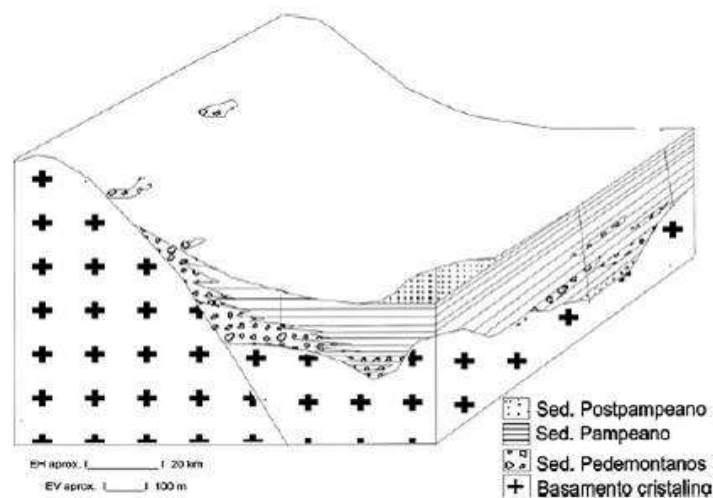


Figura 2.8: Secuencia estratigráfica.

Fuente: Silva Busso y Amato, 2012.

Desde el punto de vista hidrogeológico, el Grupo Buenos Aires incluye rocas del basamento cristalino y ortocuarcitas. Las primeras constituyen el complejo ígneo-metamórfico (edad precámbrica) y presentan generalmente comportamiento acuífugo; las ortocuarcitas son sedimentitas paleozoicas



inferiores con marcados planos de estratificación, exfoliación, diaclasamiento y fallamiento, con porosidad secundaria no cuantificada y que origina, en algunos sectores, acuíferos fisurados. Por encima del basamento, aparecen los denominados sedimentos periserranos de Tandilia. Estos se refieren a sedimentos cuaternarios que conforman una cubierta rocosa sin consolidar, de espesor y textura variable que, desde el punto de vista paleoambiental, constituyen derrubios de ladera, depósitos aluviales y fluviales entrelazados y facies asociadas (Silva Busso y Amato, 2012). Los sedimentos pampeanos son sedimentos loessicos del Pleistoceno inferior y medio, que se pueden observar en cortes de arroyos y ríos meandriformes de la llanura. Tienen texturas limo-arenosas, con estructuras masivas y valores de permeabilidad variables de acuerdo a la presencia o no de las duricostras calcáreas (Tchilinguirian et al., 2004). Los sedimentos post-Pampeanos están constituidos por sedimentos del Pleistoceno superior, de origen eólico. Estos depósitos han cubierto la superficie de los sedimentos pampeanos y se corresponden con el relieve de lomadas (Sala et al., 1987). Son sedimentos arenosos finos y limosos, con escasa proporción de carbonatos y espesores variables (Silva Busso y Amato, 2012). Son más friables en seco, en húmedo se disgregan fácilmente y tienen buena permeabilidad (Tchilinguirian et al., 2004). El solum comprende a los horizontes orgánico-minerales que se desarrollan en los sedimentos previamente descriptos. Tiene entre 0,5 a 1,5 m de profundidad y está constituido por el horizonte A y B del suelo (Tchilinguirian et al., 2004).

Así, en la cuenca en estudio, la geomorfología de la cabecera (subcuencas 1, 2, 3 y 4), con rocas ígneo-metamórficas corresponden a sierras y cerros de rocas de basamento cristalino. El relieve de esta zona presenta elevaciones con pendientes fuertes. En el piedemonte, parte media de la cuenca, también hay presencia de rocas ígneas metamórficas con relieve ondulado, donde existen sedimentos loésicos del pleistoceno superior con texturas limo-arenosas finas, friables en seco, y en húmedo se disgregan fácilmente. Son de baja plasticidad. En la parte baja de la cuenca, se ubican los depósitos loésicos del Pleistoceno medio e inferior, con limos calcáreos y paleosuelos arcillosos. La geomorfología está representada como una planicie modelada por acción fluvial y eólica con relieves planos (SEGEMAR, 2004). Estas características están presentes en las subcuencas 5 a 11. En la subcuenca 10 hay depósitos palustres, representadas por cubetas de deflación inundadas, que son depresiones someras de escasa profundidad, con presencia de arcillas y limos, que permiten la instalación de vegetación temporaria. En las subcuencas 1 a 9, y 11 se presentan paleocauces, ocupando planicies y terrazas aluviales con un relieve particular de depresiones.

## 2.6) Caracterización edafológica.

En el sector de la cuenca correspondiente al área serrana del arroyo Napaleofú se observan las unidades cartográficas pertenecientes a los Dominios Edáficos 1 y 2, predominando los Hapludoles en el primero y los Argiudoles en el segundo. En la Figura 2.9 se visualiza la zonificación espacial de los dominios edáficos.

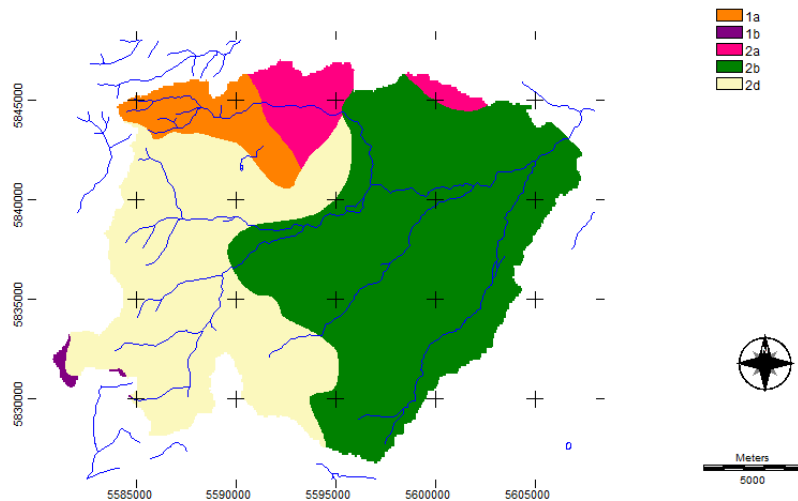


Figura 2.9: Dominios edáficos presentes en la cuenca.

Fuente: elaboración propia

Los Argiudoles (Dominio 2), se encuentran sobre materiales loésicos y en posiciones de buen drenaje. El enriquecimiento en materia orgánica en el horizonte A y el incremento de arcilla en el Bt son los rasgos distintivos de este Subgrupo, presentando algunas variaciones que dependen de la localización geográfica de los perfiles.

El grupo de los Hapludoles (Dominio 1) está representado por materiales más gruesos que los loésicos, alcanzando un desarrollo incipiente. El subgrupo típico muestra un horizonte B definido por una ligera estructuración, por lo que resulta buen regulador de la economía del agua. Este ocupa paisajes con buena cobertura vegetal y posee un horizonte A bien estructurado y resistente a la acción del viento.

El dominio edáfico 1 presenta una fina capa de loess de menos de 50 cm. Cubre gran cantidad de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias. Los suelos de este dominio ocupan las partes altas de las

sierras de Tandilla, con formas redondeadas. Los Hapludoles líticos se desarrollan sobre un delgado manto de loess que cubre las rocas. Donde el espesor del loess es mayor a los 50 cm se desarrollan Argiudoles o Hapludoles típicos, en fases someras y muy someras. En los valles interserranos, con relleno loésico que supera el metro de profundidad, aparecen Argiudoles y Hapludoles típicos, en fase inclinada.

Los suelos del dominio edáfico 2 se desarrollaron a partir de materiales loésicos que han cubierto por completo los faldeos de las sierras. Este sedimento tiene un espesor aproximado de 100 cm con variaciones debidas a que antiguamente ha sepultado una topografía más accidentada que la actual. Generalmente está apoyado sobre una costra calcárea de distribución regional. La granulometría y la naturaleza del sedimento son muy homogéneas. La inclinación de los terrenos y la costra calcárea subsuperficial son las dos características que definen este dominio.

El piedemonte presenta ondulaciones más pronunciadas donde, los Hapludoles petrocálcicos se localizan en las partes superiores de las lomas y la tosca está más cercana a la superficie. Las pendientes y senos entre lomas están ocupadas por Argiudoles típicos, franco finos y sus fases someras e inclinadas. En las partes más alejadas del piedemonte donde el relieve se atenúa, se hallan los Argiudoles típicos de familia fina, asociados con Argiudoles ácuicos.

En las vías de escurrimiento que nacen en los faldeos y luego ingresan en otras unidades geomorfológicas, se hallan los Argialboles argiácuicos, Udipsamentos típicos, Ustifluventes mólicos, Natracualfes típicos y Natracuoles típicos.

Los Hapludoles énticos y sus fases someras, solo se encuentran en las unidades de N-NO, transicionales a subregiones geomorfológicas donde los materiales originarios son más gruesos.

La Figura 2.10 muestra los dominios edáficos y las unidades cartográficas que los componen, presentes en el área de estudio y en la Figura 2.11 se observa porcentualmente la superficie que ocupa cada uno de ellos.

Dominio	Descripción	Suelos Asociación	Limitaciones
1a	<u>R- M<sub>18</sub> Li3</u> Pr r	Hapludoles líticos y típicos	Rocas en superficie y pendientes altas
1b	<u>M<sub>18</sub> tc3s-M<sub>17</sub>tcS- M<sub>18</sub> Li3</u> Pr Pe	Hapludol típico y lítico, Argiudol típico	Escasa profundidad, fragmentos de roca y tosca en superficie e inaccesibilidad maquinaria agrícola
2a	<u>M<sub>17</sub>tc3si-M<sub>17</sub>tc-M<sub>18</sub>pa</u> H Pr	Argiudol típico, Hapludol petrocálcico	La profundidad está limitada por una costra calcárea y escasa capacidad de almacenamiento en los Hapludoles
2b	<u>M<sub>17</sub>tc2s – M<sub>17</sub>ac – M8tc</u> Pr D	Argiudol típico, Natracuol típico y Argiudol ácuico	Escasa profundidad. Presencia de tosca. En cubetas y áreas deprimidas los suelos permanecen Anegados durante períodos prolongados.
2d	<u>M<sub>17</sub>tc3si – M<sub>18</sub>pa</u> Pr h	Argiudol típico y Hapludol petrocálcico	Tosca subsuperficial, susceptibilidad a la erosión hídrica y presencia de pedregosidad

Figura 2.10 dominios edáficos presentes en el área de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

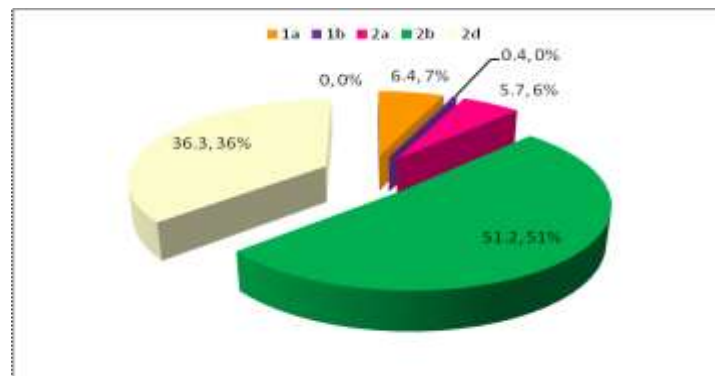


Figura 2.11: Dominios edáficos presentes en la cuenca (%)

Fuente: Elaboración propia.

De la Figura 2.11 se desprende que más del 50% de la superficie de la cuenca objeto de estudio, está ocupada por suelos que corresponden al dominio edáfico 2b, donde predominan las cubetas y pequeños microrelieves.

El dominio 2d ocupa el 36,3% de la superficie, identificándose lomadas y pendientes adosadas a las sierras. Hay tosca en algunos Sitios, aflorando en las lomas. El resto de la superficie (12,5%) corresponde a los dominios edáficos 1a, 2a y 1b, que presentan rocas graníticas redondeadas, lomadas y pendientes adosadas y sierras tipo meseta respectivamente (Senisterra y Mazzucchelli, 2013)

En función de la composición textural y el contenido de materia orgánica (MO), cada suelo presenta valores específicos de parámetros físicos, como son el Punto de Marchitez Permanente (PMP a 1500 kPa), Capacidad de campo (CC 33 kPa), Saturación (Sat. 0 kPa), Agua útil (AU), Conductividad hidráulica saturada (K sat), Densidad aparente (DA), Humedad, Potencial mátrico, Potencial mátrico + osmótico y Conductividad hidráulica (Cond). En la Tabla 2.2 se presentan los valores de las diferentes características texturales y de materia orgánica de los suelos y en la Tabla 2.3 se describen las características de los suelos que componen los dominios edáficos.

Tabla 2.2. Características texturales y materia orgánica de los suelos en la cuenca. Fuente: Elaboración propia.

SUELOS	Arena	Arcilla	Limo	MO
	%Wt	%Wt	%Wt	%Wt
Hapludol lítico franco fino	41	29	30	4,3
Hapludol típico franco fino	30	30	40	7,3
Argiudol típico franco fino somero	23	30	47	8
Argiudol típico franco fino somero inclinado	40	28	32	3,9
Argiudol típico	34	32	34	4
Hapludol petrocálcico	28	32	40	7,7
Argiudol típico fino somero	36	30	34	5,9
Argiudol ácuico	32	28	40	4,4
Natracuol típico	31	28	41	2,6

Tabla 2.3. Características de los suelos que componen los dominios edáficos de la cuenca. Fuente:  
Elaboración propia.

SUELOS	PMP	CC	Sat	AU	Ksat	D	Humedad	Potencial mátrico	Matrico+ Osmótico	Cond
	%Vol	%Vol	%Vol	cm/cm	mm/hr	g/cm <sup>3</sup>	%Vol	kPa	kPa	mm/hr
Hapludol lítico franco fino	19,5	33,2	49,3	0,14	10,33	1,34	23,1	457	457	1,96E-05
Hapludol típico franco fino	21,1	37,2	57,5	0,16	20,43	1,13	23,1	817	817	6,54E-06
Argiudol típico franco fino somero	21,1	38,5	60,9	0,17	27,63	1,04	23,1	847	847	6,99E-06
Argiudol típico franco fino somero inclinado	18,8	32,7	48,9	0,14	10,68	1,36	23,1	369	369	3,54E-05
Argiudol típico	20,8	35	49,7	0,14	7,89	1,33	23,1	714	714	1,04E-05
Hapludol petrocálcico	22,1	38,1	58,2	0,16	19,66	1,11	23,1	1107	1107	3,01E-06
Argiudol típico fino somero	20,7	35,5	53,3	0,15	13,91	1,24	23,1	699	699	8,40E-06
Argiudol ácuico	18,9	34,2	51,3	0,15	12,69	1,29	23,1	420	420	4,06E-05
Natracuol típico	18,1	33	47,5	1,79	0,31	87	19,2	31	10,35	2,12E-07

Donde: PMP: Punto de marchitez permanente

CC: Capacidad de campo

Sat: Saturación

Au: Agua útil

K sat: Conductividad hidráulica saturada

D: Densidad aparente

Cond: Conductividad hidráulica

El incremento del MO generalmente produce un aumento de la capacidad de retención de agua y de la conductividad, como resultado de su influencia en la agregación del suelo, asociado a la distribución de poros. El contenido de agua a tensiones mayores, por ejemplo -1500 kPa, se encuentra mayormente determinado por la textura del suelo, sin impactar el efecto de la MO sobre la agregación.

En la Figura 2.12 se presentan las curvas de potencial mátrico, mátrico más osmótico y conductividad hidráulica que se derivan de la textura y contenido de materia orgánica para un estado hídrico determinado del suelo dentro del rango que va de Punto de marchitez permanente a Saturación.

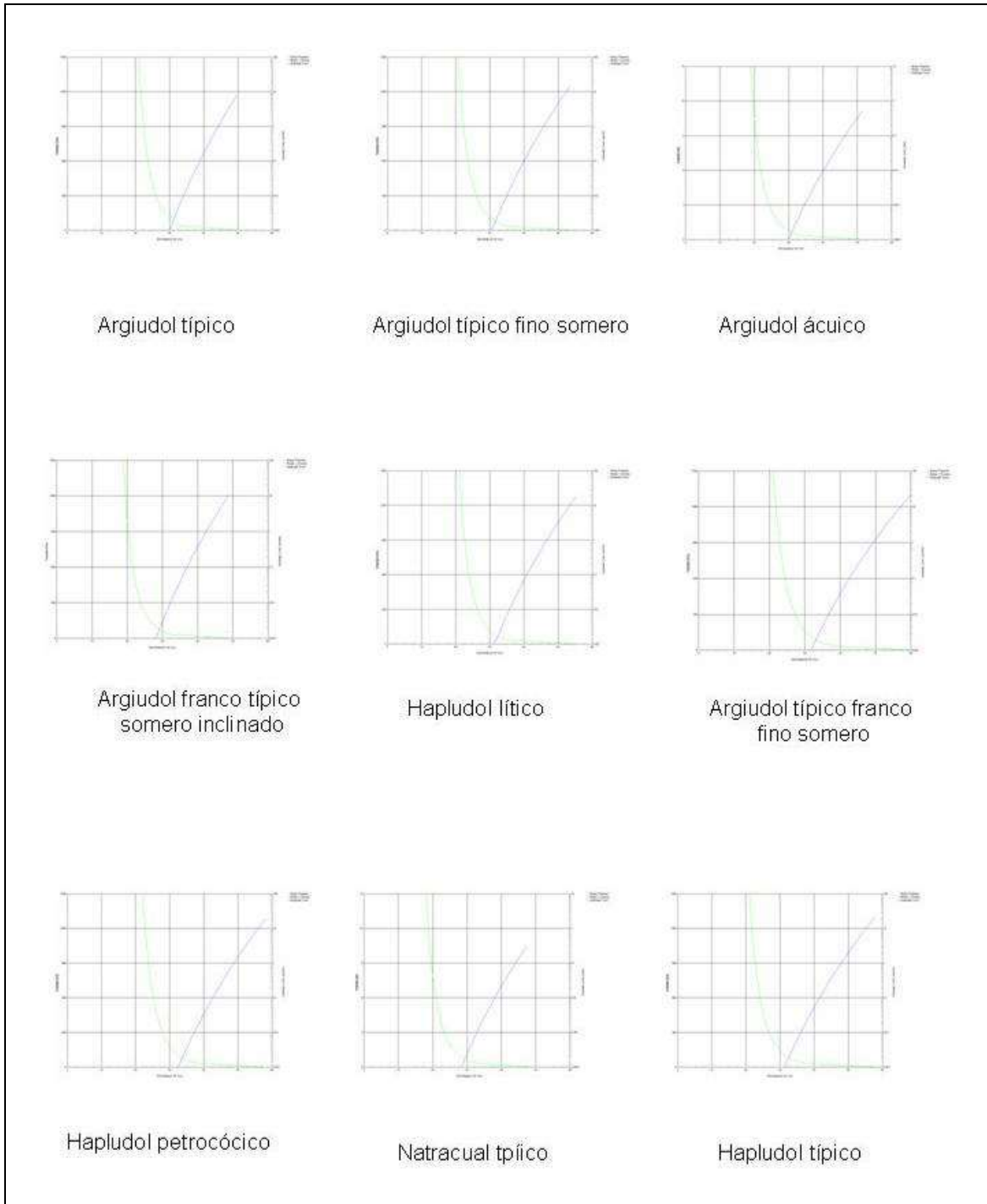


Figura 2.12. Curvas de potencial mátrico, mátrico más osmótico y conductividad hidráulica

Fuente: Elaboración propia.

## 2.7) Caracterización paisajística.

“Un paisaje siempre está compuesto por una serie de elementos de paisaje, los cuales corresponden a porciones homogéneas de espacio geográfico, equiparables a la noción de ecosistema. Los elementos del paisaje son el resultado de la interacción de los actores formadores del paisaje (clima, geología, hidrología, suelos, vegetación, fauna, hombre), así como de su variabilidad a través del espacio geográfico, a lo largo del tiempo” (Etter Andrés, 1991).

El análisis integrado del territorio mediante la fisiografía, material litológico, vegetación, hidrología, entre otros, que se enmarcan dentro de condiciones climáticas definidas, son el punto de partida de la zonificación ecológica, proceso por medio del cual se estructura la georreferenciación en el análisis de la morfología superficial de las tierras, basándose en registros cartográficos de la diversidad y organización de las formas del relieve, a partir de las cuales se establecen relaciones con los suelos, la vegetación y la modalidad de uso humano de las tierras.

Como resultado de la aplicación de la técnica de zonificación ecológica, en la zona de estudio se identificaron tres compartimentos o sistemas morfológicos:

- 1) Sistema serrano: relieves montañosos de fragmentos serranos en los que difunden cúspides granitoides redondeadas y laderas con declives más o menos pronunciados y con frecuencia superiores al 10%. Las laderas de las sierras pueden presentar pendientes con formas cóncavas o convexas, con pedregosidad y afloramientos frecuentes de diversos tamaños. Estos ambientes, además de rocosidades, presentan formaciones superficiales que asocian suelos con contactos líticos muy próximos a la superficie. La forma del relieve de cada ladera determina variaciones espaciales internas en los regímenes de escurrimiento superficial, subsuperficial y edáfico a nivel de ladera.

Se destacan las asociaciones fisonómico florísticas formadas por pastizales de flechillas (*Stipa* sp, *Piptochaetium* sp), arbustales mixtos (*Baccharis tandilensis*, *Eupatorium buniifolium*), pajonales de paja colorada (*Paspalum cuadrifarium*), cardales de *Eryngium paniculatum* y roquedales de *Eupatorium tweedianum*, *Hysterionica pinifolia*, etc.

- 2) Sistema de llanuras periserranas: relieves moderado y fuertemente ondulados, que definen declives locales del 2-5 % y, aunque pueden ser mayores nunca superan el 10%. Se corresponden con sedimentos denominados limos loessoides pampeanos.



Las morfologías están conformadas por lomas pronunciadas y lomadas más o menos longitudinales con pendientes transversales fuertes (5-10%) que presentan pequeñas y ocasionales formaciones rocosas en las que difunden mosaicos vegetales muy heterogéneos denominados localmente “cerrilladas”.

La llanura también presenta una multitud de geformas modeladas por la acción eólica. Las más conspicuas son las cubetas de deflación, las que actualmente están parcialmente cegadas o inundadas. Muchas de las cubetas se encuentran alineadas según el recorrido de los antiguos cauces provenientes de las sierras. Las cubetas de deflación son depresiones que en planta tienen formas ovales y ocupan entre 1 y 5 Ha y tienen entre 0,5 a 1,4 m de profundidad. Por lo general las cubetas de deflación no se encuentran aisladas, sino que se agrupan con diferente densidad a lo largo del paisaje (Tricart 1973). En el área de estudio aparecen con mayor densidad en las zonas alejadas de la sierra, donde la pendiente del terreno no es superior al 2% (Tchilinguirian et al., 2004).

El clima regional y las buenas condiciones de drenaje interno y superficial de las tierras colaboran en que los suelos presenten un régimen de humedad favorable para su agriculturización, simplificando florísticamente un ecosistema en el que se desarrollaban los “flechillares” por agroecosistemas orientados a la producción tecnificada y extensiva de granos principalmente de cereales y oleaginosas.

- 3) Sistema de vías de escurrimiento, temporarios y permanentes: relieves diversos según atraviesan el sistema serrano (formas de V pronunciadas) o de llanuras (formas de V poco pronunciadas, asociando a veces planicies de inundación). Son geformas pertenecientes a relieves negativos, que reúnen unas veces una línea central de escurrimiento temporario y, otras veces, cauces más o menos permanentes, con pequeños segmentos de pendientes interfluviales, que contactan generalmente interfluvios con vías de escurrimiento o, en algunas situaciones con estrechas planicies de inundación otorgándole una estructura de valle más desarrollada. El conjunto de fajas del sector inferior de las pendientes registran procesos erosivos que agudizan los declives como consecuencia de procesos de escurrimiento local que proceden de los segmentos interfluviales y en parte de crecientes durante las lluvias de alta intensidad.

Las zonas vinculadas a cada uno de los tres elementos del paisaje asocian procesos ecológicos cuya intensidad está regulada por dinámicas hídricas específicas. El subsistema serrano motiva y

direcciona la concentración del escurrimiento en toda el área. Las pendientes, la escasa profundidad de sus formaciones superficiales y la presencia de materiales subyacentes impermeables determinan la pérdida del agua pluvial por escurrimiento superficial y subsuperficial. Hernández y Ruiz de Galarreta (1985) distinguieron dos situaciones de las características hidrológicas de los materiales superficiales i) una acuifuga constituida por el basamento cristalino y con permeabilidad secundaria dada por el diaclasamiento existente en zonas de afloramientos aislados y, ii) otra acuífera, compuesta por sedimentos de tipo loess con permeabilidad media.

Previo al desarrollo humano existente en la actualidad en las zonas serranas, los flechillares controlaban los procesos erosivos. Con excepción de los sectores con afloramientos rocosos, los bloques serranos presentan asociaciones florísticas poco densas, pero con estructuras que cubren amplios espacios. Los suelos serranos están bien estructurados y las superficies morfoedáficas son rugosas. Este conjunto de vegetación – suelo – rugosidad superficial confluyen e interactúan limitando la energía potencial del relieve.

La red fluvial conforma un elemento ecosistémico donde se produjeron cambios geomórficos y ecológicos de mayor relieve en condiciones previas a la ocupación humana, incluyendo los procesos erosivos sobre tierras de bordes serranos y de llanura. En la actualidad, los procesos erosivos se dan principalmente en la llanura periserrana, donde las simplificaciones de los ecosistemas por cultivos anuales sensibilizaron el paisaje a los procesos de erosión. Esto sumado a contaminación por plaguicidas o construcciones humanas (principalmente vías de comunicación) han afectado el régimen natural de escurrimiento, el diseño de la red fluvial y la calidad ecológica del agua. En los bloques serranos, los procesos erosivos responden a pequeños y ocasionales transportes de materia de corto alcance (en general como respuesta a lluvias torrenciales) y solo generan las modificaciones locales del terreno.

### **3. Caracterización de los Sitios de muestreo en la cuenca.**

Los Sitios seleccionados para la toma de muestras de agua superficial fueron siete (Figura 3.1), denominados numéricamente desde la desembocadura hacia las nacientes. En la Tabla 3.1 se detalla la ubicación de los Sitios y las coordenadas geográficas correspondientes.

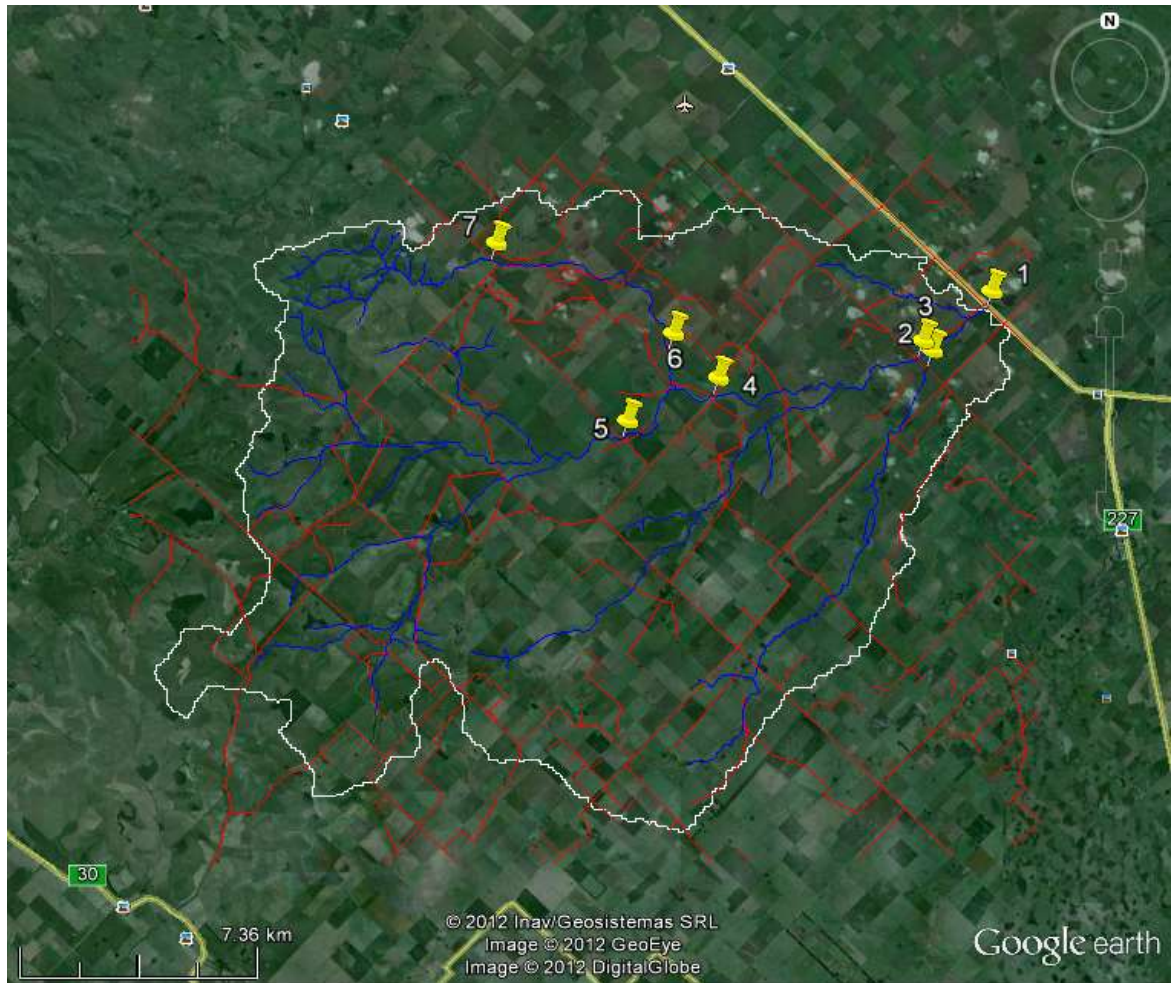


Figura 3.1: Sitios de muestreo de agua superficial. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.1: Ubicación y coordenadas geográficas de los Sitios de muestreo. Fuente: Elab. propia

Sitio	Ubicación	Coordenadas
1	Ruta 226	37°33'26,40" S; 58°47'38,04" W
2	Ballenera	37°34'27,22" S; 58°48'53,90" W
3	Napa final	37°34'18,15" S; 58°49'5,89" W
4	napa inicio confluencia	37°34'55.92"S; 58°53'24.31"W
5	A° Los Galpones (Baden)	37°35'40.15"S; 58°55'19.84"W
6	A° Pesqueria (en campo)	37°34'36.91"S; 58°54'17.96"W
7	A° Pesqueria (nacientes)	37°32'38.33"S; 58°58'3.73"W

A continuación, se presenta la caracterización de cada Sitio.

**Sitio 1: Ruta 226**

Está ubicado sobre el puente de la Ruta Provincial N° 226. La muestra se tomó aguas abajo en sentido de la dirección del flujo. Se encuentra sobre una cota 161.5 msnm.

En la Figura 3.2 se presenta en detalle la ubicación del Sitio 1.



Figura 3.2: Detalle del Sitio 1.

En la Figura 3.3 se puede observar una vista general del Sitio y una visión detallada aguas arriba (A) y aguas abajo (B).



Figura 3.3: Sitio 1: Vista general (imagen superior); vista aguas arriba (imagen inferior A) y aguas abajo (imagen inferior B).

Este Sitio se seleccionó por ser el punto de cierre de la cuenca de estudio, que sintetiza la calidad de agua general, considerando el aporte del Arroyo Ballenera.

A lo largo de todos los muestreos realizados no hubo situaciones diferentes a destacar.

## Sitio 2. Arroyo Ballenera

Se encuentra sobre un camino vecinal, a una distancia de 700 m del camino de ingreso desde ruta Provincial N° 226 y previo al Sitio 3. La muestra se tomó aguas abajo. En la Figura 3.4 se presenta en detalle la ubicación del Sitio 2.





Figura 3.4: Detalle de los Sitios 2 y 3.

Durante el tiempo de muestreo, el arroyo presentó, en varias oportunidades, importante caudal con abundante material de arrastre. En septiembre de 2012, coincidiendo con precipitaciones registradas en los días previos se observaron restos vegetales sobre el alambrado, (Figura 3.5) por lo que se infirió que el caudal del arroyo, alcanzó una altura aproximada de dos metros. En enero de 2014, se observó espuma en la superficie que se deduce podría deberse a la presencia de materia orgánica que, al ser removida (hay un pequeño salto de agua de aproximadamente 1 m) la provocaría.



Figura 3.5: Imagen de restos vegetales sobre los alambrados de los alrededores del Sitio 2.

Si bien en la cartografía consultada este arroyo se registra como un curso de agua temporario, en todos los relevamientos se observó como un cauce permanente.

La Figura 3.6 representa el corte transversal del arroyo en el Sitio de estudio y la Figura 3.7 muestra una vista general aguas arriba (A) y aguas abajo (B)

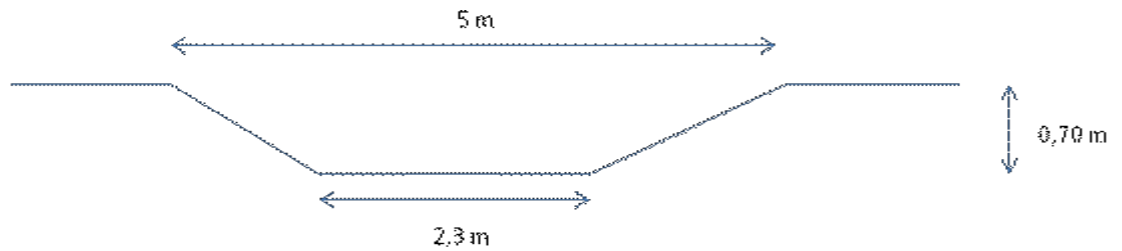


Figura 3.6: Corte transversal del arroyo Ballenera en el Sitio 2

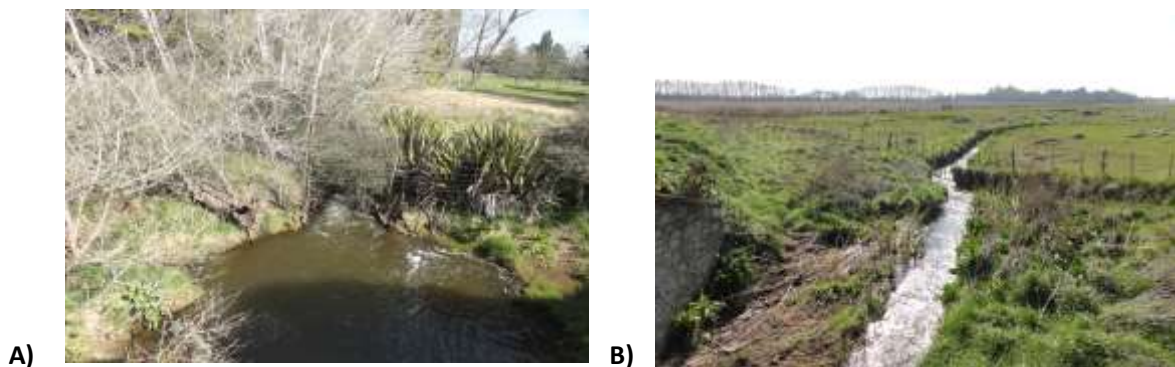


Figura 3.7: Sitio 2. Vista del Sitio aguas arriba (A) y aguas abajo (B).

### Sitio 3: Arroyo Napaleofú.

Este Sitio se encuentra sobre un camino vecinal, cercano a la entrada de una propiedad privada, sobre una cota 163.4 msnm. El paisaje es levemente ondulado sobre pie de loma. La exposición de la ladera izquierda es Este y de la ladera derecha es Oeste. En la Figura 3.4 se presenta en detalle la ubicación del Sitio 3.

Se observó vegetación arbórea con un 10 % de cobertura (*Eucaliptus* sp, *Salix* sp, *Celtis tala* y *Juglans* sp.), vegetación arbustiva abierta natural, con un 20% de cobertura, vegetación herbácea (*Cynara cardunculus*, *Cirsium vulgare*, *Conium* sp y gramíneas de varias especies), con un 70% de cubrimiento y vegetación palustre (*Typha* sp).

El cauce presentó agua permanente, con escurrimiento medio, con poco material de arrastre en suspensión de tipo leñoso (ramitas, hojas y raicillas). Aguas abajo del Sitio, se observaron árboles caídos que generaban un “embalsado” (Figura 3.8, A). En varias oportunidades se encontraron personas pescando, o descansando en sus orillas, situación que fue tomada en cuenta para considerar el uso recreativo del arroyo. Cabe destacar que en la muestra tomada en abril del 2014 el color del agua era blanquecino. (Figura 3.8, B).



Figura 3.8: Observaciones realizadas en el Sitio. A) “Embalsado” aguas abajo y (B) color blanquecino en abril 2014.

El perfil transversal resultante de las mediciones efectuadas se muestra en la Figura 3.9.

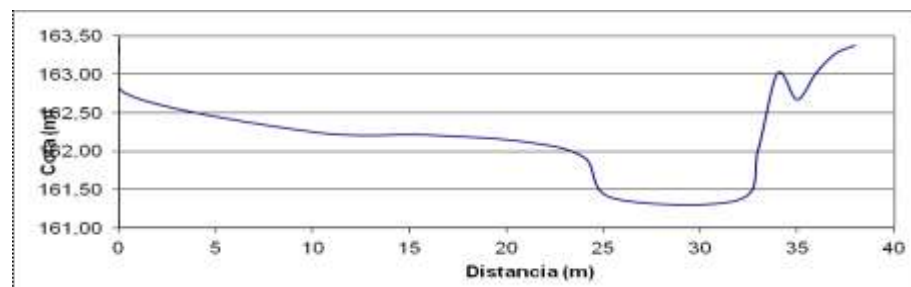


Figura 3.9: Perfil transversal del Sitio 3.



Se pueden observar las características aguas arriba y aguas abajo del Sitio en la Figura 3.10.



Figura 3.10: Detalle del Sitio 3, vista aguas arriba (A) y aguas abajo (B).

Tal como se mencionó en el Sitio 2 (A° Ballenera), en los alrededores del Sitio 3 se observó, en los alambrados, abundante material arrastrado por el caudal de escorrentía generado durante las abundantes precipitaciones anteriores al momento de muestreo (Figura 3.11)



Figura 3.11: Alrededores del Sitio 3, con restos vegetales sobre el alambrado.

Del mismo modo que el Sitio 1 representa la calidad del agua de la cuenca de estudio, el Sitio 3 es la representación de la calidad del agua que viene del Arroyo Napaleofú propiamente dicho y de todos los arroyos que confluyen en él.

#### Sitio 4: Naciente Arroyo Napaleofú

Los arroyos Los Galpones y Pesquería confluyen en el arroyo Napaleofú y éste, aproximadamente a 1500 m, cruza un camino vecinal, elegido como el Sitio de muestreo 4, con una cota de 172.5 msnm, el cual puede observarse en detalle en la Figura 3.12.



Figura 3.12: Detalle del Sitio 4.

La vegetación dominante observada sobre las márgenes del cauce fue de tipo pajonal, con una cobertura del 100 %. El paisaje observado fue levemente ondulado sobre pie de loma. La ladera izquierda presentó exposición Sur y la ladera derecha Norte.

El perfil transversal resultante de las mediciones efectuadas se muestra en la Figura 3.13.

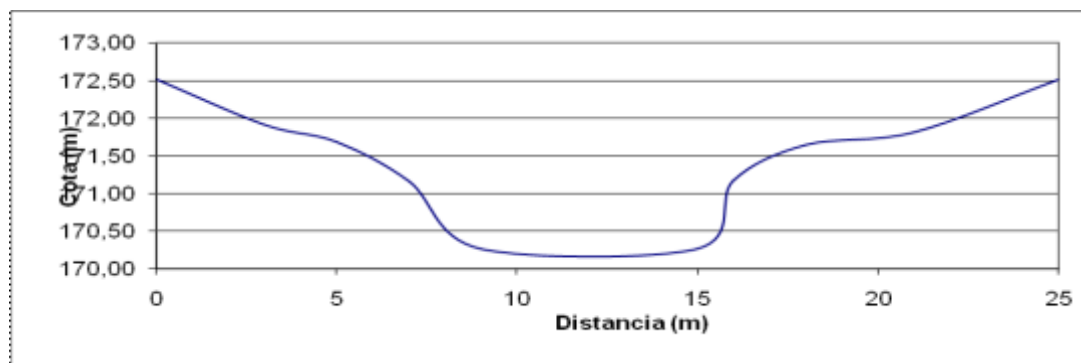


Figura 3.13: Perfil transversal del Sitio 4.

Al igual que en los Sitios anteriores se pudo observar, en ocasiones, matas de pastos depositadas en altura; en los sauces de los márgenes, fue de 2,45 m; mientras que sobre el cauce del arroyo en el puente, la altura al pelo de agua fue de aproximadamente 4 m (Figura 3.14).



Figura 3.14: Vista de matas de pasto en el borde inferior del puente y sobre los sauces.

En la Figura 3.15 se aprecia una vista del Sitio aguas arriba (A) y aguas abajo (B).

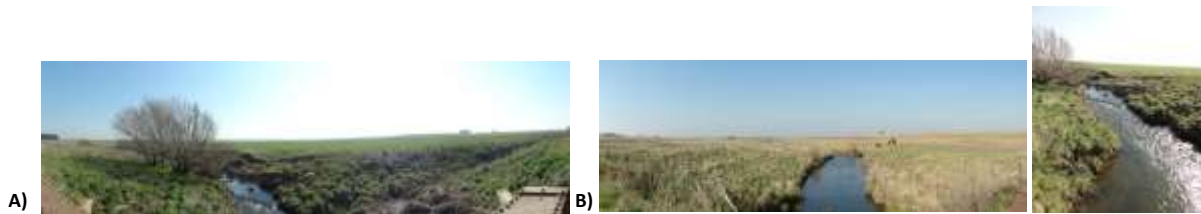


Figura 3.15: Vista del Sitio 4 aguas arriba (A) y aguas abajo (B).

En agosto 2014 se pudo observar la presencia de ganado vacuno con acceso al arroyo (Figura 3.16). En otras oportunidades y, particularmente en los Sitios 5 y 6, se visualizó la misma situación o se observaron huellas de ganado linderas al arroyo.

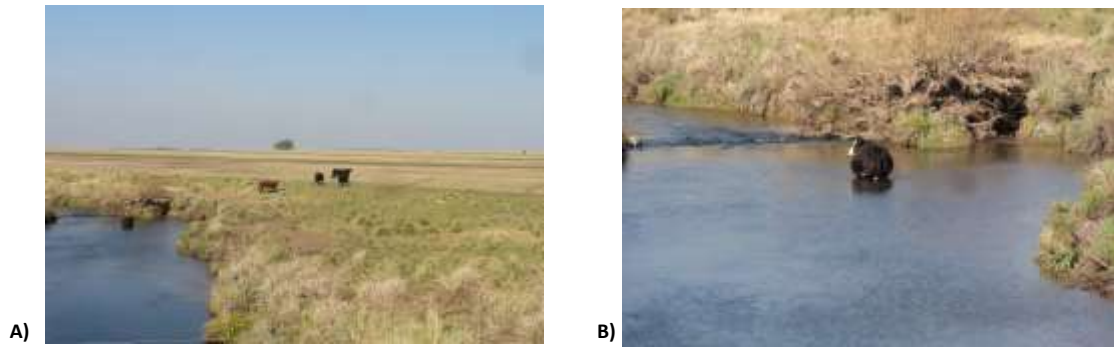


Figura 3.16: A y B: Presencia de ganado aguas abajo del Sitio 4.

### Sitio 5: Arroyo Los Galpones

Siguiendo el camino vecinal que cruza al arroyo Napaleofú en el Sitio 4 y, doblando a la derecha, se encuentra el Sitio 5 sobre el arroyo Los Galpones, afluente sur del Arroyo Napaleofú en la cuenca en estudio. En este Sitio, el arroyo cruza el camino en un badén, por lo que las muestras se tomaron aguas arriba del mismo, para evitar la influencia de los vehículos que atraviesan el camino. En la Figura 3.17, se puede observar la localización del Sitio 5.



Figura 3.17: Ubicación del Sitio 5, sobre camino vecinal en un badén.



El paisaje circundante es colinoso, con relieve de media loma y una pendiente menor al 5%. La exposición de la ladera izquierda fue noroeste y la de la derecha fue sureste. La Figura 3.18 muestra afloramientos rocosos (cobertura 5%), quebrados, con infiltración media.



Figura 3.18: Afloramientos rocosos.

El suelo presenta textura franco limosa, de color negro y la vegetación está representada por un pastizal natural, un arbustal abierto bajo y la presencia de sauces de 3 a 5 m de altura sobre el cauce y en las riberas del mismo (Figura 3.19).

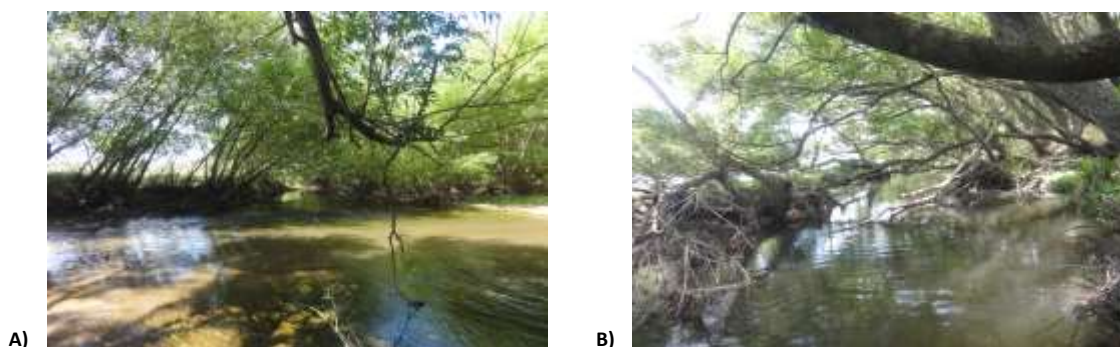


Figura 3.19: Sauces en las riberas (A) y el cauce (B) del arroyo Los Galpones.

En líneas generales, es un sector del arroyo bastante sombreado, con aguas transparentes y de profundidad baja. Los sauces que se encuentran en las riberas y dentro del cauce generan remansos y forman “embalsados” que desaparecen naturalmente por aumentos y descensos del caudal de esorrentía de acuerdo a la precipitación (Figura 3.20). En varias ocasiones, tanto verano como invierno, se observó que es un Sitio utilizado con fines recreativos, desde pesca a natación. Incluso se han registrado restos de residuos domiciliarios y carbonizados. En el último muestreo (enero 2014) se vieron cultivos de maíz (aguas arriba) y soja (aguas abajo).



Figura 3.20: “Embalsados” formados por las raíces de los sauces sobre el arroyo.

En la Figura 3.21 se aprecia una vista general del paisaje que rodea al Sitio y una vista aguas arriba y aguas abajo



Figura 3.21: Vista general Sitio 5 (Imagen superior – A); vista aguas arriba (B) y aguas abajo (C).

### Sitio 6: Arroyo Pesquería

El Sitio 6 se eligió dentro de la estancia La Esperanza por donde escurre el arroyo Pesquería, sobre un pequeño puente de paso entre potreros, en un camino interno de la estancia. Presenta una cota de 180.5 msnm. En la Figura 3.22 se observa un detalle del Sitio.



Figura 3.22: Ubicación del Sitio 6.

En general, el cauce presentó agua permanente y se observó limpio. El paisaje, levemente ondulado sobre pie de loma, con exposición de la ladera izquierda Norte y de la ladera derecha Sur. La vegetación natural sobre las márgenes del curso de agua se consideró de tipo pajonal, con una cobertura del 100 %. En el fondo del arroyo se observaron gramíneas y, sobre el mismo vegetación flotante y arraigada como repollito de agua (*Pistia stratiotes*) (Figura 3.23)



Figura 3.23: Vegetación flotante y arraigada en el curso de agua (Arroyo Pesquería).

En la Figura 3.24 se representa el perfil medio al pelo de agua.

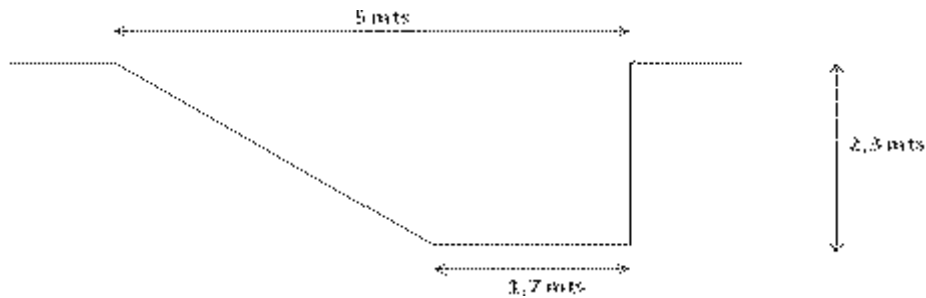


Figura 3.24: Perfil medio al pelo de agua.

En los alrededores se observaron cultivos de papa (*Solanum tuberosum*) (años 2012 y 2013) y de maíz (*Zea mays*), soja (*Glycine max*) y girasol (*Helianthus annuus*) (año 2014), aproximadamente unas 2500 has. Estos cultivos presentaron riegos con pivotes y se realizaron en terrazas, con la finalidad de evitar la erosión del suelo y obtener mayores rindes (Figura 3.25). Según datos aportados por los productores de la Estancia La Esperanza, las perforaciones son temporarias, sin encamisar, a 8 mts de profundidad aproximadamente con un caudal de 120-160 m<sup>3</sup>/seg. Por otro lado, los productores informaron que se realizaba un manejo de potreros con rotación de cultivos y ganado.

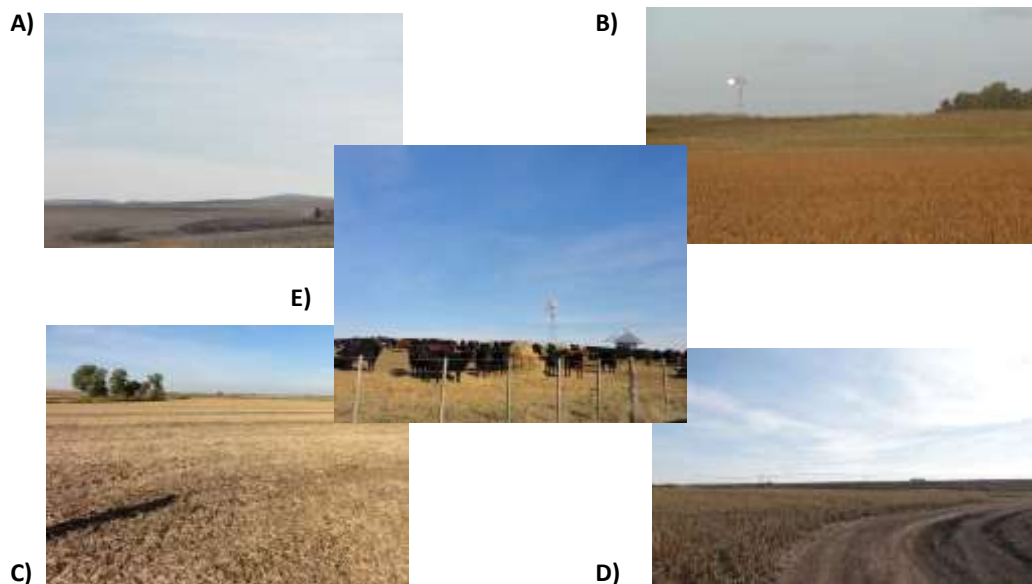


Figura 3.25: A, B y C) terrazas de cultivo de papa, maíz, (D) pivotes de riego, (E) potreros de ganado vacuno.



En la Figura 3.26 se puede observar una vista general del Sitio y detalles de la zona aguas arriba y aguas abajo.



Figura 3.26: Vista general del Sitio (Imágenes superiores -A); Vista aguas arriba (B) y aguas abajo (C).

### Sitio 7. Cabecera del Arroyo Pesquería

Continuando el camino vecinal que sigue desde el Sitio 5, se llega a las nacientes del arroyo Pesquería, lugar elegido como Sitio 7. Presenta una cota de 205 msnm. En la Figura 3.27 se observa un detalle del Sitio.



Figura 3.27: Ubicación del Sitio 7.

Se observó un paisaje colinoso sobre loma alta con una exposición en la ladera izquierda Oeste y en la ladera derecha Este. La pendiente aproximada fue del 5 % con el cauce muy encajonado. Las vegetaciones de los alrededores fueron pasturas con presencia de ganado bovino. Se observaron también parcelas con cultivos en terrazas.

Existen afloramientos rocosos. El cauce presentó agua permanente sin material de arrastre.

En la Figura 3.28 se representa el perfil del cauce de agua.

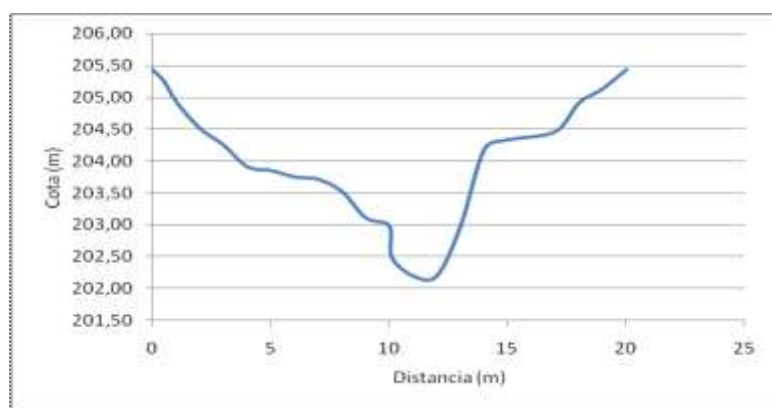


Figura 3.28: Perfil transversal del cauce del Sitio 7.

Se puede observar en la Figura 3.31 una vista general del Sitio 7 y sus características aguas arriba y aguas abajo.



Figura 3.31: Sitio 7 vista general del Sitio (A); vista aguas arriba (B) y aguas abajo (C).

#### 4. Caracterización físico química y microbiológica del agua superficial de la cuenca.

A partir de los datos de los parámetros físico químico y biológicos registrados (Anexo 3 – Tablas 1-8), se obtuvieron gráficos de barras y líneas por Sitios. Los datos se agruparon de acuerdo a los momentos de toma de datos correlacionados por estaciones climáticas (momentos 1, 2, 3 y 4) para su mejor interpretación, tal como se describió en Materiales y Métodos

En la Figura 4.1 se detalla los valores observados de temperatura del agua superficial en cada uno de los siete Sitios en los cuatro Momentos.

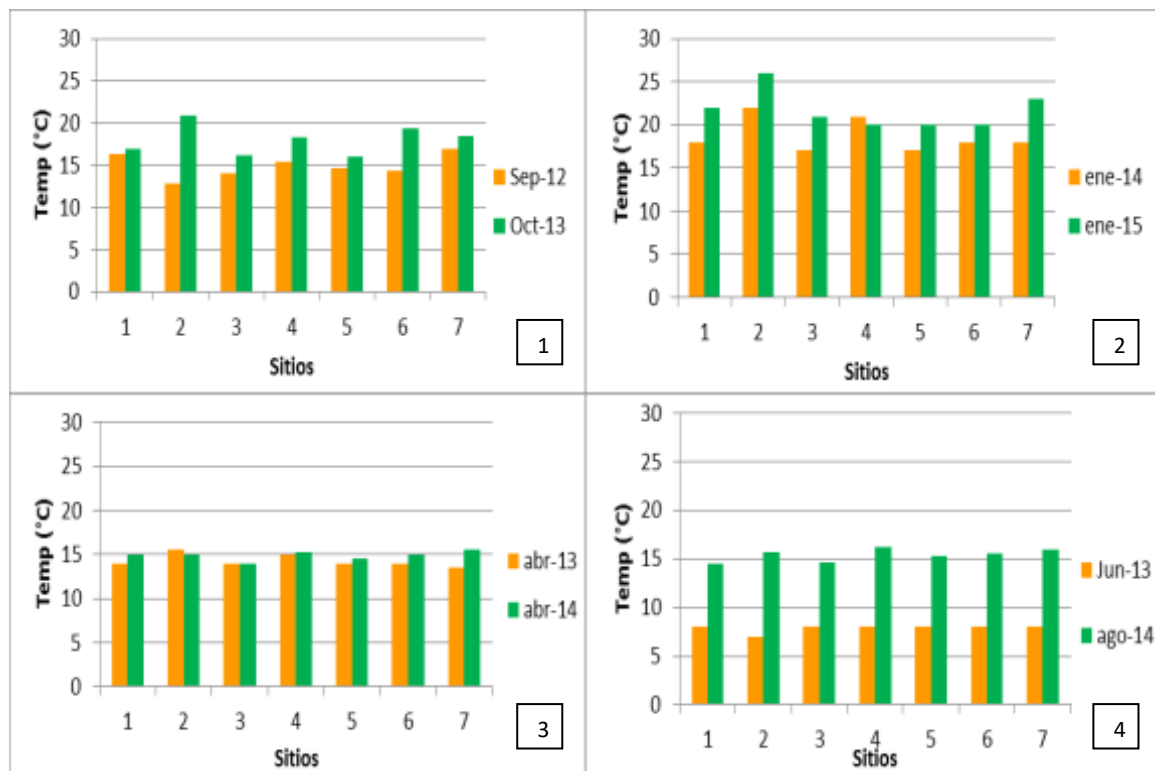


Figura 4.1: Variación de la temperatura del agua superficial (°C) en los cuatro Momentos de la toma de datos (1, primavera; 2, verano; 3, otoño; 4, invierno).

Fuente: Elaboración propia.

La temperatura del agua superficial registrada estuvo en rangos de valores concordantes con los esperados para los meses analizados, coincidiendo con las distintas estaciones climáticas. Los valores más bajos corresponden a las estaciones frías y los más altos a las más cálidas y, no se observaron fluctuaciones dentro de una misma estación climática, con excepción del Momento 4. La variación observada en los valores para junio 2013 y agosto 2014 (Momento 4), estuvo influenciada por las temperaturas climáticas máximas y mínimas informadas para cada fecha. En agosto 2014 el valor máximo de temperatura del aire fue 23 °C y el mínimo de 8,8; siendo este mínimo similar al máximo informado para junio 2013 (temperatura del aire), de ahí que la temperatura del agua en agosto 2014 se registró alrededor de 10 grados más alta que la de junio 2013.

La Figura 4.2 muestra que el rango de pH hallado a lo largo del monitoreo se mantuvo cercano a la neutralidad o levemente alcalino. El comportamiento observado fue similar en todos los Sitios de muestreo. En abril 2013 los valores registrados mostraron valores de pH menores (entre 6 y 7).

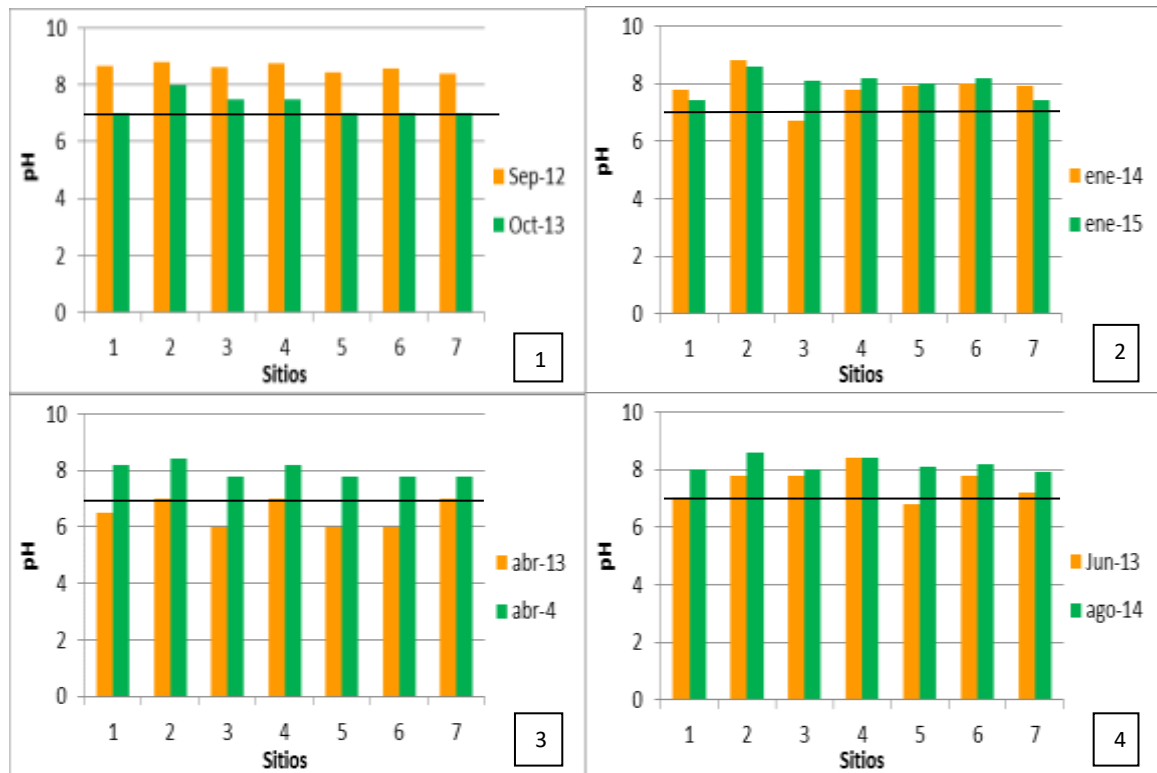


Figura 4.2: Variación del pH en los cuatro momentos de la toma de datos (1, primavera; 2, verano; 3, otoño; 4, invierno).

Fuente: Elaboración propia.

En relación al oxígeno disuelto representado en la Figura 4.3, a lo largo del recorrido del arroyo se observó un comportamiento similar. Se descartaron los datos de septiembre 2012 y octubre 2013, dado que, en días anteriores al muestreo, se registraron abundantes precipitaciones que modificarían los datos obtenidos, debido a que la mayor turbulencia provoca aumento en la concentración de OD.

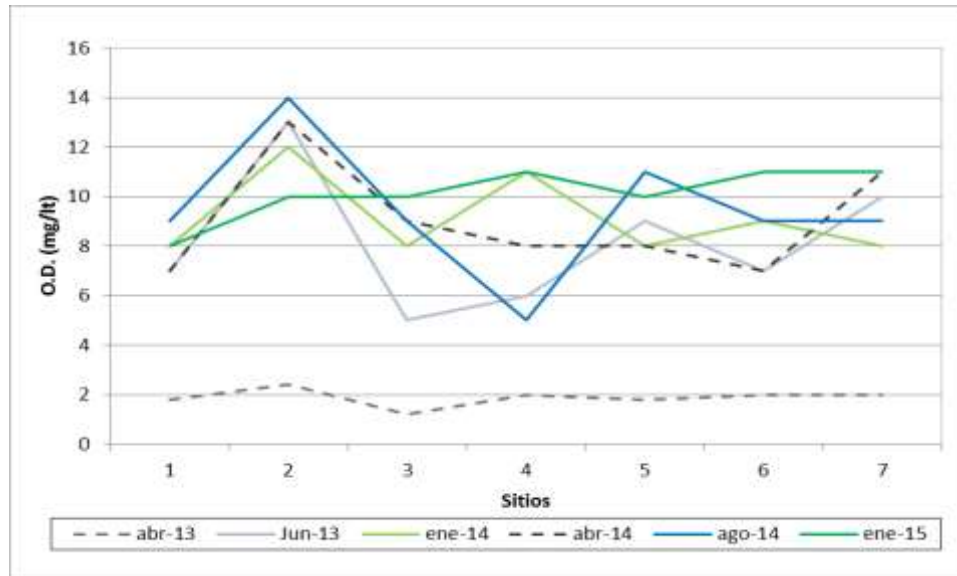


Figura 4.3: Variación del oxígeno disuelto (mg/l) en el período muestreado.

Fuente: Elaboración propia.

Como surge de la Figura, en el Momento 4 (invierno - junio 2013, agosto 2014), se observó más fluctuación entre los valores registrados de OD, evidenciando alguna alteración en el arroyo que sistemáticamente se repitió en ambos años.

En el Sitio 4 el comportamiento del OD respecto a lo que corresponde esperar se invirtió. Como es sabido, las altas temperaturas provocan menor solubilidad de los gases disueltos en el agua, por ello es que en verano la concentración de OD es menor y en invierno la situación es la inversa. En el arroyo Napaleofú se observó que, en verano, con mayor temperatura, la concentración de OD aumentó y en invierno, con menor temperatura, disminuyó. Este Sitio corresponde a la unión de los arroyos Los Galpones y Pesquería, es decir que el volumen de agua es mayor, representando una capacidad de carga hídrica más alta (mayor caudal) por lo que la influencia de la temperatura del aire sobre el volumen de agua es menor.

Se reconoce que en la Figura 4.3 la medición de abril 2013 es muy baja, debido a fallas en el instrumental.

En la Figura 4.4 se observa el comportamiento de los sólidos totales a lo largo de la traza del arroyo, el cual respondió a lo esperado.

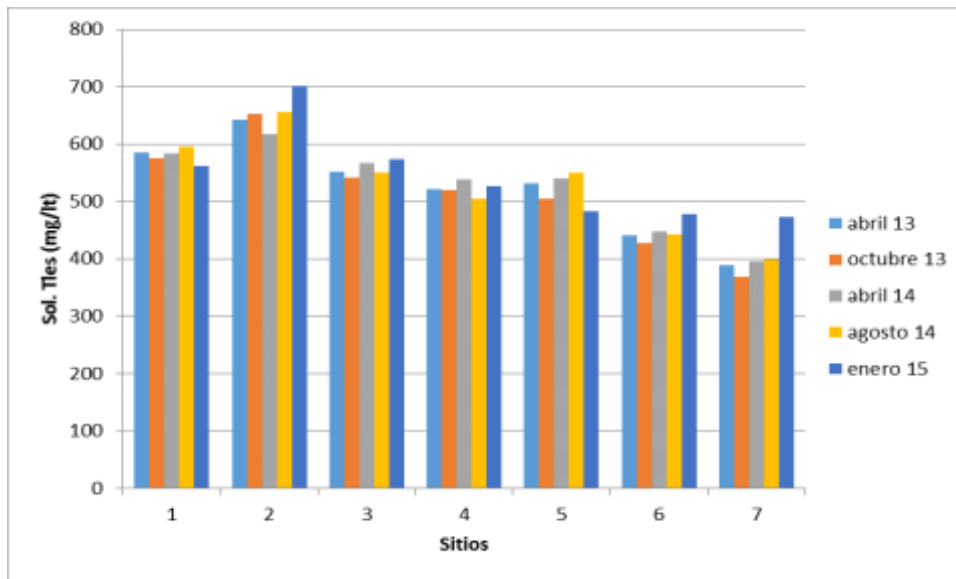


Figura 4.4: Variación de los sólidos totales (mg/lt) en el período muestreado.

Fuente: Elaboración propia.

*Nota: La numeración de los Sitios es inversa a las características descriptas (Sitio 7 naciente y Sitio 1 desembocadura del arroyo).*

En las nacientes del arroyo (Sitio 7), los suelos son pedregosos y la cantidad de sólidos que se halló respondió a esta situación. A medida que se avanza en el trayecto del arroyo, hacia la desembocadura, los sólidos aumentaron, correspondiendo con el mayor desarrollo de suelos, el uso de los mismos y el arrastre por escorrentía y la variación de caudales.

En la Figura 4.5, se observa el comportamiento del amonio en la cuenca en estudio.

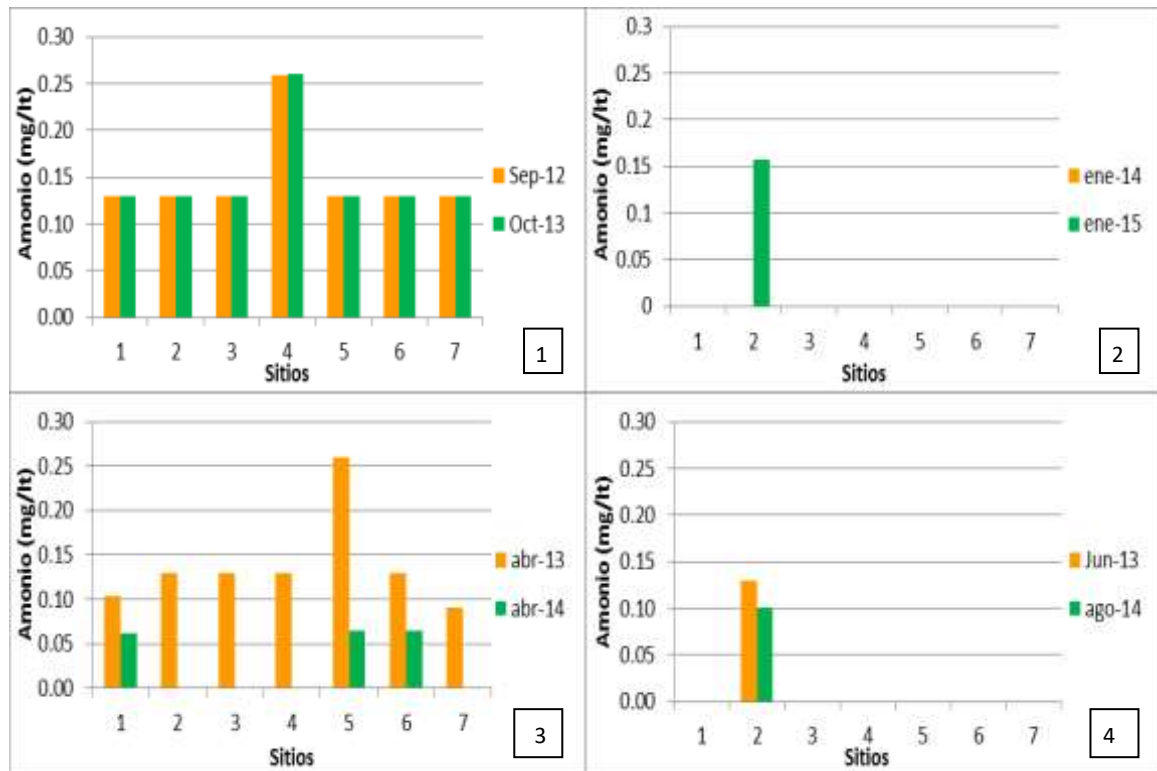


Figura 4.5: Variación del amonio (mg/lt) en los cuatro Momentos de la toma de datos (1, primavera; 2, verano; 3, otoño; 4, invierno).

Fuente: Elaboración propia.

Los valores de amonio en los momentos 1 y 3 se registraron a lo largo de toda la traza del arroyo, no así para los momentos 2 y 4 en que solo se observaron en el Sitio 2.

En la Figura 4.6 se muestra el comportamiento que sigue el nitrato en la cuenca, en los cuatro Momentos.



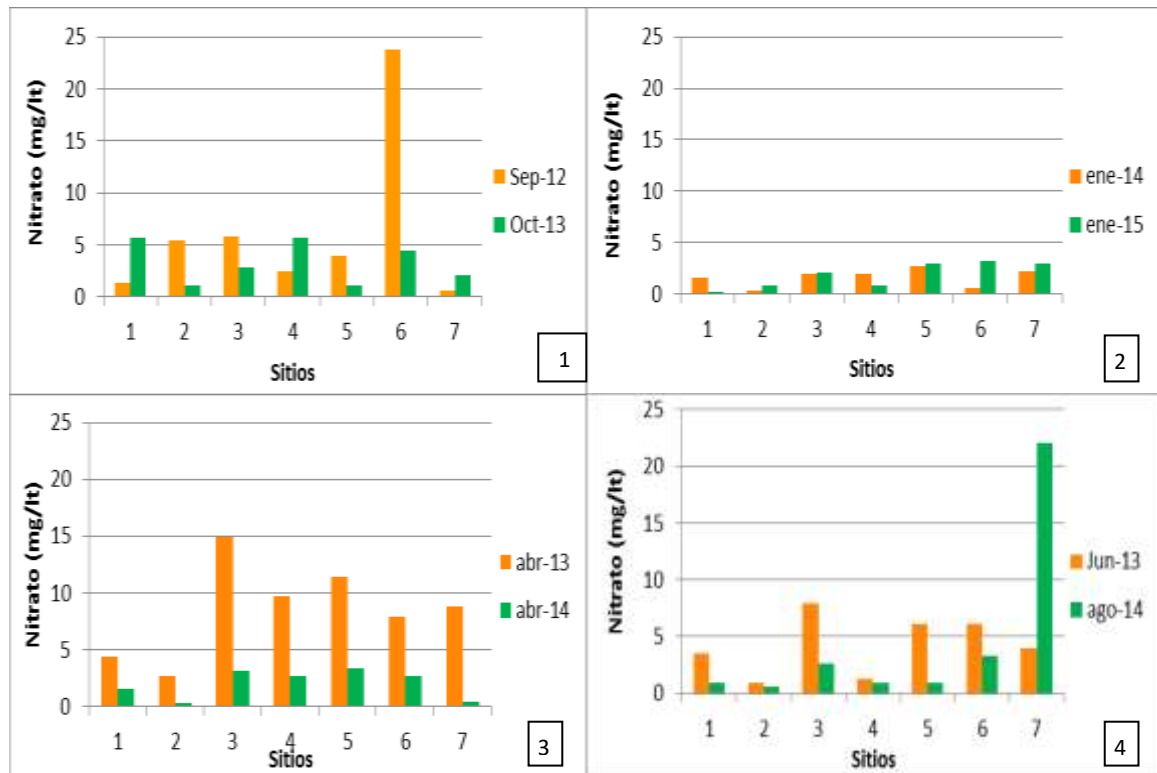


Figura 4.6. Variación del nitrato (mg/Lt) en los cuatro Momentos de la toma de datos (1, primavera; 2, verano; 3, otoño; 4, invierno).

Fuente: Elaboración propia.

En todos los muestreos se registró la presencia de nitratos. Los valores medios hallados por Sitio en el tiempo de estudio se encontraron entre 1.5 mg/Lt y 6.5 mg/Lt, con máximos de 22 – 23.7 mg/Lt en la cuenca alta y mínimos de 0.2-0.9 mg/Lt en la cuenca baja.

Portella et al., (2006), en suelos de la región pampeana, utilizaron  $N^{15}$  para rastrear nitrógeno lixiviado proveniente de fertilizantes nitrogenados. Los autores reportaron que la contribución del fertilizante fue baja (0-35 %), mientras que el 96% del N lixiviado derivó de la mineralización de la materia orgánica del suelo.

Vázquez Amábile et al. (2014) estudiaron la distribución de nitratos en aguas subterráneas y superficiales de la cuenca y concluyeron que la cantidad y frecuencia de precipitaciones incidieron mayormente en el transporte del nitrógeno al acuífero, más que la aplicación de fertilizantes, la posición en el paisaje y la proximidad del nivel freático a la superficie.

Así, la presencia constante de compuestos de nitrógeno en distintos estados de oxidación en el agua superficial del arroyo Napaleofú podría inferirse a partir de la mineralización de la materia orgánica presente más el aporte de nitratos provenientes del agua subterránea. La mineralización es la transformación, mediante la acción de microorganismos del suelo, de la materia orgánica en amonio, el que rápidamente es oxidado a formas más estables o nitratos. La velocidad de mineralización de la materia orgánica depende en forma directa de dos factores fundamentales (que influyen en la actividad de los microorganismos): la presencia de oxígeno y la temperatura, es decir a mayor temperatura y oxígeno, mayor velocidad de mineralización y viceversa.

De acuerdo a las Cartas de Suelo del INTA (ver Resultados – Capítulo 4: Tabla 4.2), corroborado por análisis de laboratorio realizados en campos de la cuenca (Vázquez Amábile, Comunicación Personal), los suelos de la región poseen un alto porcentaje de materia orgánica. Por otra parte, el hallazgo de amonio en situaciones puntuales podría indicar su procedencia a partir de fuentes antrópicas (ganadería, presencia humana).

En la Figura 4.7, se observa el comportamiento del fósforo total (PT), en los cuatro Momentos.

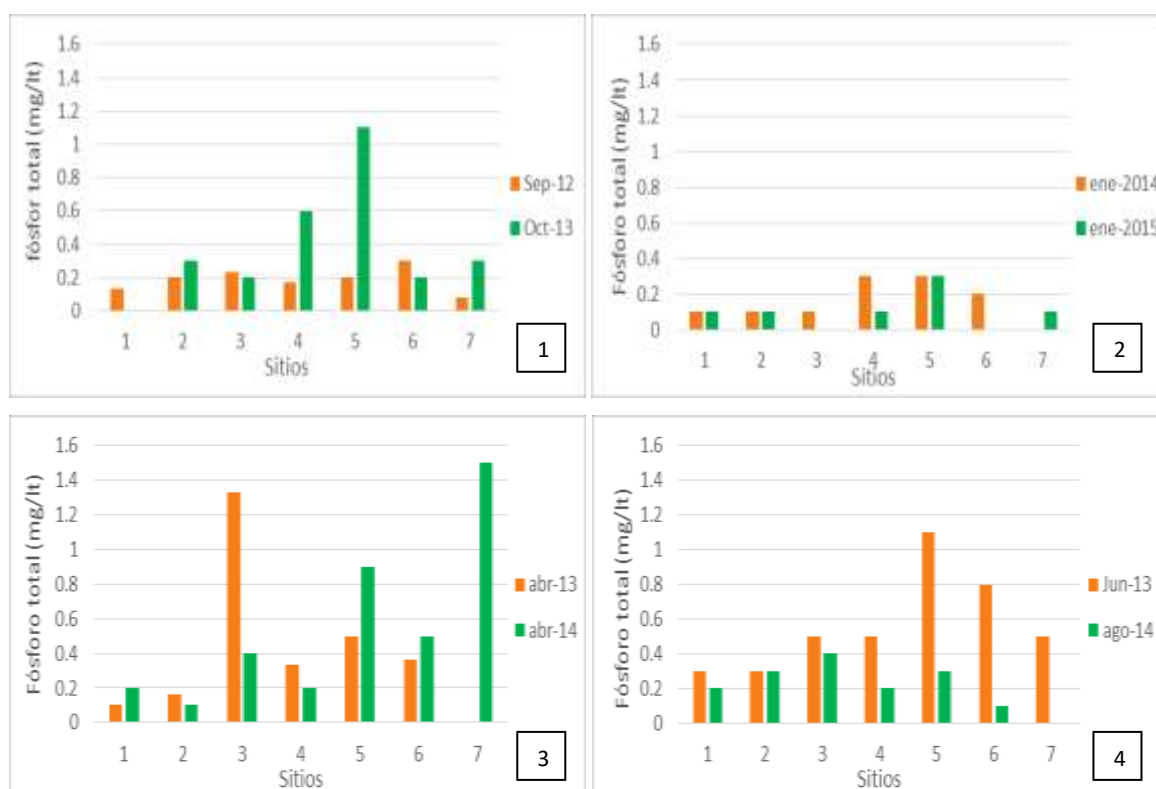


Figura 4.7: Variación del fósforo total (mg/l) en los cuatro Momentos de la toma de datos (1, primavera; 2, verano; 3, otoño; 4, invierno). Fuente: Elaboración propia.

Sande Fouz et al., (2006) analizaron fracciones de fósforo total (asociado a sedimentos) y soluble, en una cuenca agroforestal y probaron que, cantidades elevadas de fósforo total se pueden registrar en cualquier época del año, en especial asociadas a eventos de precipitaciones intensas, en las que se deben de movilizar los sedimentos procedentes de diferentes fuentes en particular de terrenos de cultivo labrados. También estimaron importante considerar la removilización del P a partir de los sedimentos del cauce del río, durante las crecidas y la interacción entre la carga de fondo y las materias en suspensión, en otras palabras, las características hidrológicas de la cuenca. Estimaron que concentraciones elevadas de P pueden estar relacionadas simultáneamente con distintos factores; así, los fenómenos de escorrentía y erosión causan el aumento del P asociado a los sedimentos y, la aplicación de purines y fertilizantes se relacionan al incremento del P soluble. Finalmente concluyeron que no siempre se puede observar una relación causa efecto que explique la magnitud del contenido de P en una época dada, es decir, contenidos elevados de P pueden estar relacionados con distintos factores

Particularmente en la cuenca del arroyo Napaleofú, se observó en todos los Sitios la presencia de fósforo total. Los resultados de muestreos que arrojaron mayor carga de fósforo total en el agua superficial fueron junio 2013 y agosto 2014. En las fechas septiembre 2012, octubre 2013 y enero 2015 se observaron eventos de precipitaciones entre 25 y 35 mm y, en abril 2013, se registraron 103 mm en dos días. Al analizar los eventos de lluvia con los resultados de fósforo total no se observó correspondencia entre las precipitaciones y los mayores niveles de fósforo total en el agua superficial.

Los valores medios hallados para los dos años de muestreo mostraron que los Sitios 3, 4, 5, 6 y 7 poseen los mayores valores de fósforo total.

En la Figura 4.8 se detalla el comportamiento de los coliformes totales y los fecales en general (A), y con una escala ampliada en (B) para poder individualizar los valores observados en los Sitios.

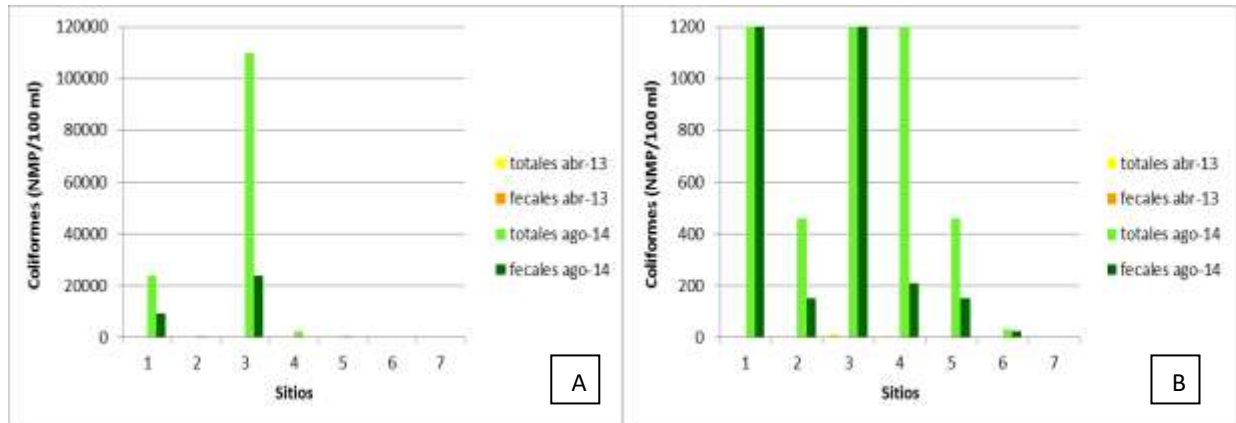


Figura 4.8: (A) Variación de coliformes totales y fecales; (B) escala ampliada X100 (NMP/100ml) en período muestreado.

Fuente: Elaboración propia.

Como es esperable, los coliformes totales se presentan en mayor cantidad que los fecales. Los valores registrados en agosto 2014 fueron significativamente mayores que los observados en abril 2013.

La presencia de coliformes totales y fecales se observó numéricamente en orden descendente en los Sitios 3, 1, 4, 2 y 5 respectivamente. Los Sitios con mayor incidencia fueron el 3 y el 1, ambos ubicados en la zona más baja de la cuenca en estudio, coincidiendo con la subcuenca que presenta mayor desarrollo de la actividad ganadera y presencia antrópica.

## 5. Calidad del agua.

### 5.1) Evaluación de la calidad del agua mediante la aplicación de índices de calidad de agua.

#### 5.1.1. Índice de calidad de agua de la National Science Foundation (ICA NSF).

La Tabla 5.1 resume los reportes obtenidos del ICATEST, en el muestreo de abril 2013, que expresan la calidad del agua superficial en los distintos Sitios.

Tabla 5.1: ICA NSF abril 2013. Fuente: Elaboración propia.

Sitio s	N° parámetros	valor índice	clasificación	Rango	Escala color
Sitio 1	5	14.96	pobre	0-25	
sitio 2	5	38.76	mala	26-50	
Sitio 3	6	30.17	mala	26-50	
Sitio 4	6	47.34	mala	26-50	
Sitio 5	6	31.79	mala	26-50	
Sitio 6	6	32.01	mala	26-50	
Sitio 7	5	42.31	mala	26-50	

Se observó que la calidad del arroyo, con excepción del Sitio 1, fue mala. Las aguas con un ICA de categoría “mala” tienen una baja diversidad de vida acuática y presentan diversos problemas con la calidad del agua. El Sitio 1 obtuvo un rango menor de calidad y, de acuerdo a SNET (2004), el agua no sería apta para realizar actividades recreativas que implicaran contacto directo con la misma.

Los valores del ICA resultantes en agosto 2014 se expresan en la Tabla 5.2

Tabla 5.2: ICA NSF agosto 2014. Fuente: Elaboración propia.

Sitio s	N° parámetros	valor índice	clasificación	Rango	Escala color
Sitio 1	6	47.22	mala	26-50	
sitio 2	6	38.56	mala	26-50	
Sitio 3	6	46.36	mala	26-50	
Sitio 4	6	21.82	pobre	0-25	
Sitio 5	6	34.11	mala	26-50	
Sitio 6	6	37.85	mala	26-50	
Sitio 7	5	36.11	mala	26-50	

En agosto 2014 se observa que la calidad del agua fue en general “mala” y en particular en el Sitio 4 fue “pobre”. Los Sitios 2, 5 y 6 se mantuvieron en valores similares a abril del año anterior; el Sitio 1 mejoró su calidad triplicando el valor hallado en abril y el Sitio 4 disminuyó su registró un 50%.

En las Figuras 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6 y 5.7 se evaluó la calidad de los parámetros que constituyen el índice, en relación a los valores establecidos por las curvas funcionales (Q) respectivas en cada uno de los Sitios en los muestreos de abril 2013 y agosto 2014.

En el Sitio 1 (Fig. 5.1) se puede distinguir en abril 2013 que la mala calidad observada en el ICA fue influenciada por los bajos valores de calidad de todos los parámetros. En agosto 2014, los mismos parámetros impactaron positivamente en el índice registrándose una mejoría. Se detectó que las

variables coliformes,  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{PO}_4^-$  no alcanzaron registros de buena calidad, siendo los responsables del bajo valor obtenido por el índice.

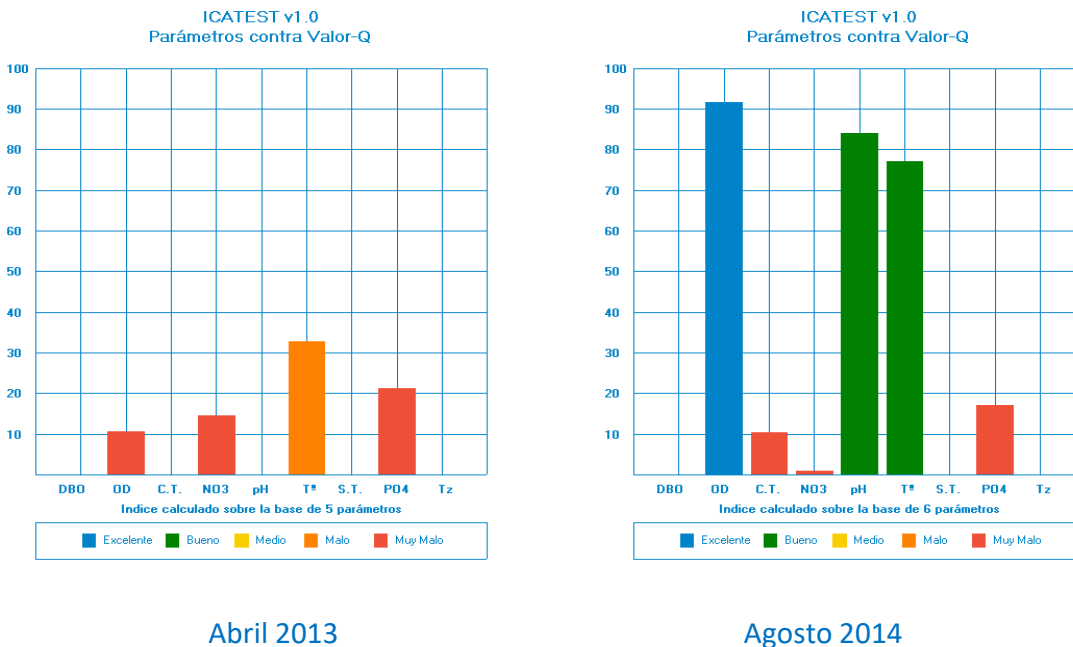


Figura 5.1: Calidad de los parámetros. Sitio 1.

Fuente: Elaboración propia.

En el Sitio 2, como puede observarse en la Figura 5.2, los parámetros pH y temperatura fueron los de mayor relevancia con categorías de calidad buena. Por el contrario, los registros de oxígeno disuelto y fosfatos tuvieron una incidencia negativa en el índice. Los índices de los dos años para el Sitio presentaron una mala calidad del agua y no se observaron grandes fluctuaciones entre los parámetros individuales, con excepción de los coliformes que solo fueron registrados en 2014, lo que incide negativamente en el índice. En este Sitio, los responsables de los bajos valores obtenidos fueron los fosfatos, los coliformes y el oxígeno disuelto.

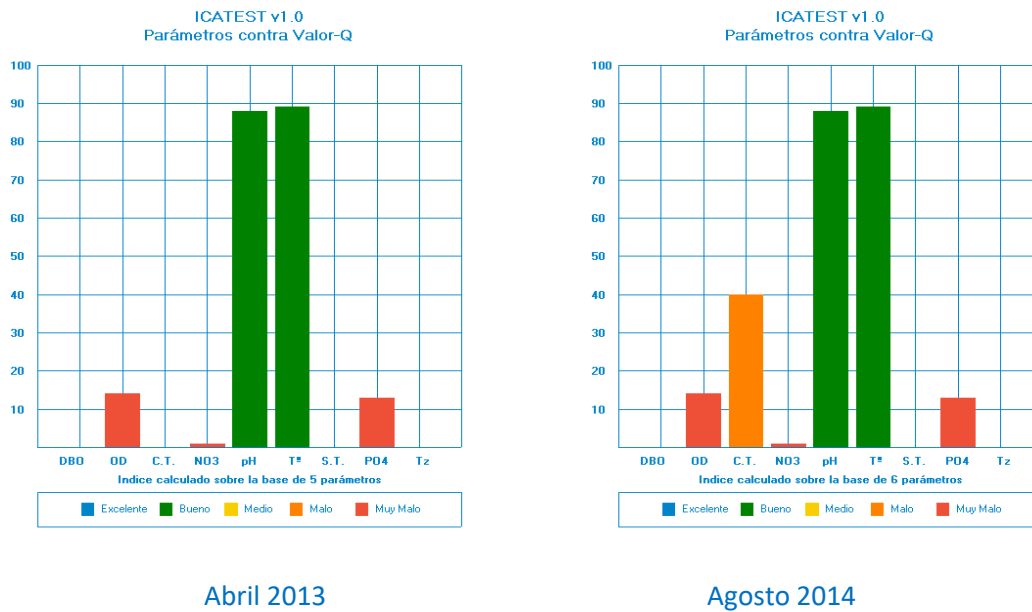


Figura 5.2: Calidad de los parámetros. Sitio 2.

Fuente: Elaboración propia.

En el Sitio 3, se observó una mejora en los valores del ICA entre abril 2013 y agosto 2014, lo cual puede observarse en el cambio que presentaron las variables individuales del índice en los dos muestreos (Figura 5.3). Así, el oxígeno disuelto se encontró en excelente estado y se apreció una mejora en los niveles de pH y temperatura. Coliformes, nitratos y fosfatos fueron los responsables que incidieron en el bajo resultado registrado en el índice.

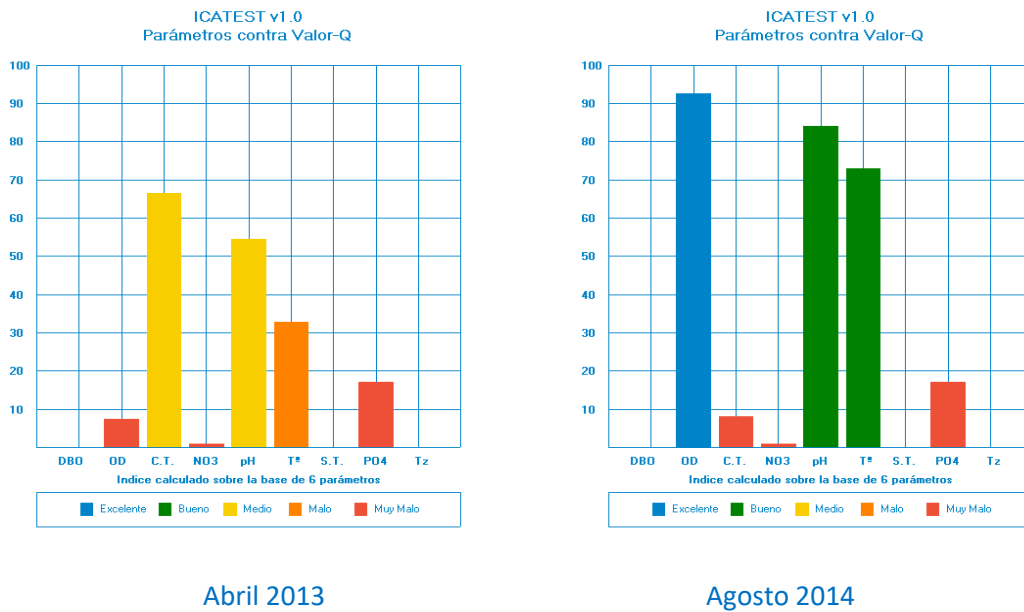


Figura 5.3: Calidad de los parámetros. Sitio 3.

Fuente: Elaboración propia.

En el Sitio 4, la calidad expresada por los valores de coliformes, pH, temperatura y fosfatos disminuyeron entre abril 2013 y agosto 2014 (Figura 5.4), provocando que el ICA se redujera en un 50 %.

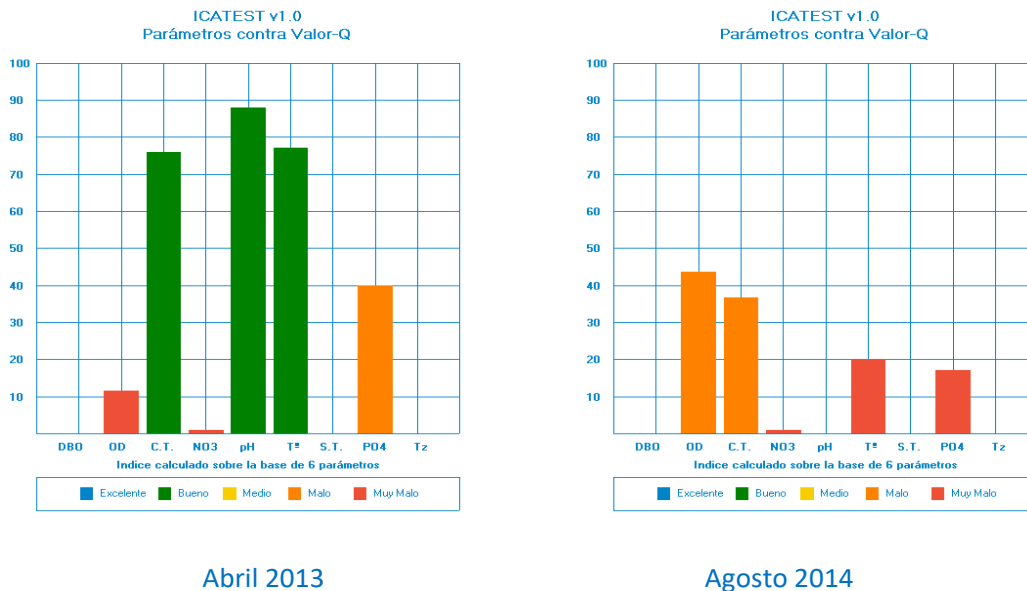


Figura 5.4: Calidad de los parámetros. Sitio 4.

Fuente: Elaboración propia.



En el Sitio 5 (Figura 5.5) los parámetros que más influencia ejercieron en el valor del ICA fueron el oxígeno disuelto y los coliformes, registrando en ambos casos situaciones inversas (OD “muy malo” en 2013 y “excelente” en 2014; coliformes “buenos” en 2013 y “malos” en 2014). Los restantes parámetros se mantuvieron en valores similares.

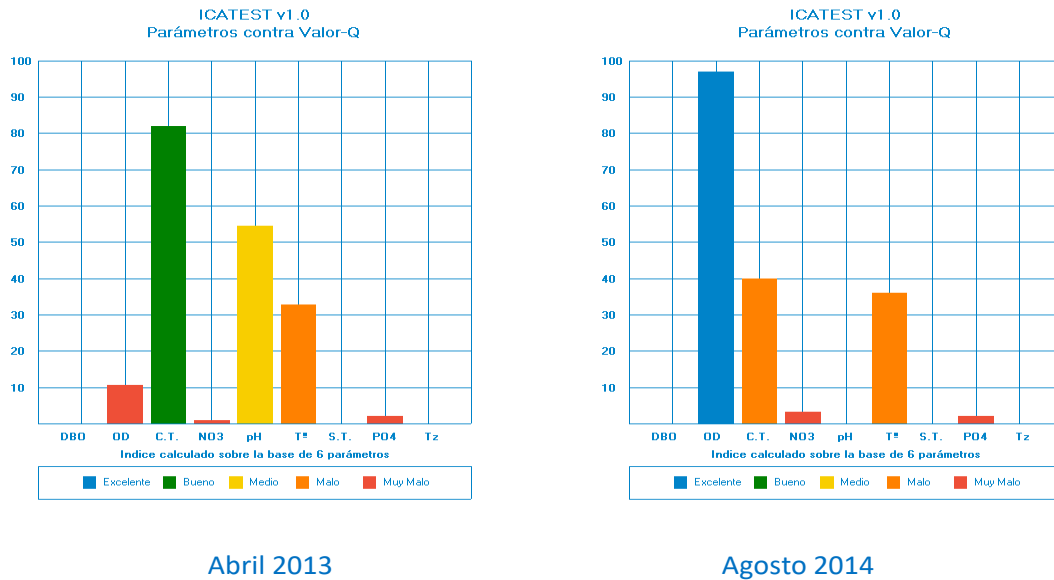


Figura 5.5: Calidad de los parámetros. Sitio 5.

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la Figura 5.6, el ICA del Sitio 6 registró un comportamiento similar al del Sitio 5, la mayor incidencia en el valor del índice estuvo dado por las variables oxígeno disuelto y coliformes.

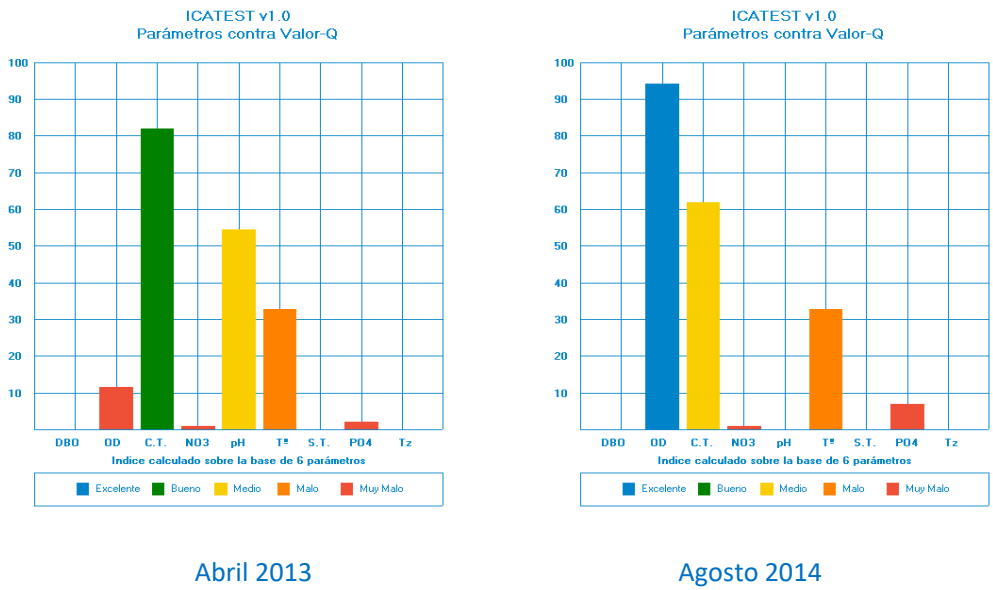


Figura 5.6: Calidad de los parámetros. Sitio 6.

Fuente: Elaboración propia.

En el Sitio 7, el valor del ICA registrado en agosto 2014 fue menor que en abril 2013. En la Figura 5.7 se puede observar una mejora individual principalmente en oxígeno disuelto, mientras que en las otras variables los valores se mantuvieron iguales o disminuyeron considerablemente su calidad como se observó con el fosfato.

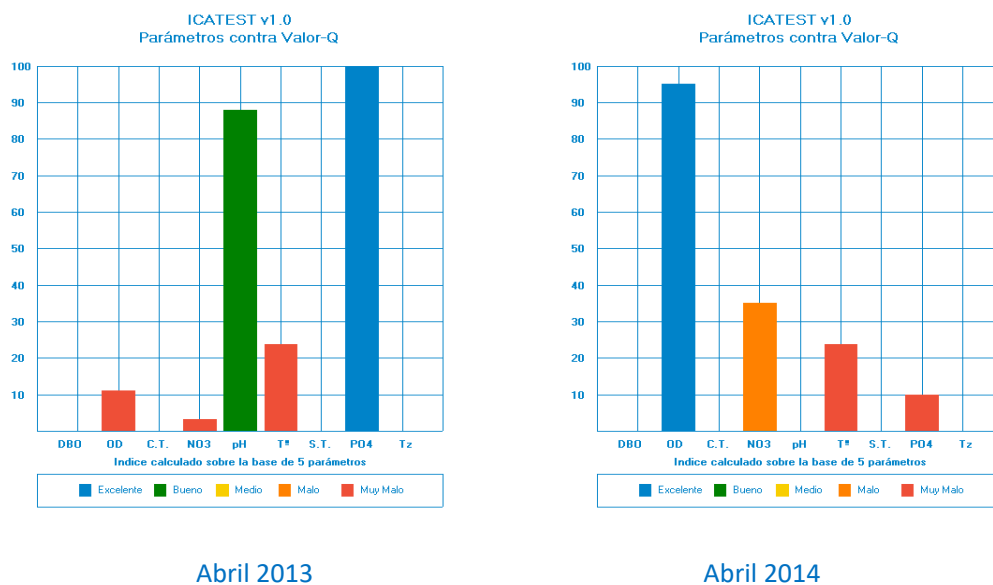


Figura 5.7: Calidad de los parámetros. Sitio 7.

Fuente: Elaboración propia.

Resumiendo, en el Sitio 4 se registró un ICA menor en 2014, apreciándose en las variables individuales que componen el índice un descenso generalizado. En los Sitios 1 y 3, por el contrario, las variables mejoraron aumentando el valor del ICA. En el Sitio 2 no se observaron diferencias significativas entre los índices de ambos años. Los Sitios 5 y 6 modificaron los valores de calidad fundamentalmente de dos variables (oxígeno disuelto y coliformes), en forma inversa, compensándose entre ellas y no modificaron el valor del ICA final. El Sitio 7, en 2014, disminuyó en forma leve el valor del ICA NSF debido principalmente a la variable fosfato.

En todos los Sitios, las variables fosfatos y nitratos reflejaron condiciones muy malas. Cabe destacar que en los sitios 1, 3 y 4 los valores del ICA NSF fluctuaron en forma abrupta entre las dos fechas de muestreo.

#### 5.1.2 Índice de calidad de agua ICA sub.

Los resultados obtenidos de la aplicación del índice ICAsub para los parámetros analizados en abril 2013 se expresan en la Tabla 5.3

Tabla 5.3: ICAsub Abril 2013. Fuente: Elaboración propia.

Sitios	ICAsub
Sitio 1	52.73
Sitio 2	60.00
Sitio 3	43.64
Sitio 4	53.64
Sitio 5	41.82
Sitio 6	50.91
Sitio 7	56.36

Como surge de la Tabla 5.3, la calidad del arroyo Napaleofú fue “media” en los Sitios 1, 2, 4 y 7 y “mala” en los Sitios 3, 5 y 6. En líneas generales todos los valores se encuentran cercanos entre ellos, y próximos al límite entre “medio” y “malo”, por lo que puede interpretarse que el agua, en estos valores del índice de acuerdo a la descripción del mismo, presentó condiciones de baja diversidad de organismos acuáticos, sin conflictos ambientales.

En la Tabla 5.4 se pueden observar los valores obtenidos en el ICAsub en agosto 2014.

Tabla 5.4: ICA sub agosto 2014. Fuente: Elaboración propia.

Sitios	ICAsub
Sitio 1	95.45
Sitio 2	87.27
Sitio 3	92.73
Sitio 4	78.18
Sitio 5	93.64
Sitio 6	92.73
Sitio 7	82.73

Todos los Sitios registraron una mejora, respecto de los valores obtenidos en abril 2013, con ICAsub que oscilaron entre “buenos” a “excelentes”. Los Sitios 1, 3, 5 y 6, con clasificación de ICAsub “excelente” pueden sustentar formas diversas de vida acuática y son aptas para actividades de recreación que impliquen contacto directo con el agua, como la natación.

Los valores de ICAsub de agosto 2014 mostraron calidades de agua superiores a las de abril 2013.

En resumen, los valores de ICAsub registrados demostraron calidades de agua mejores que las surgidas de la aplicación del ICA NSF.

### 5.1.3. Índice de calidad de agua British Columbia (BCWQI.)

En la Figura 5.8, se resumen los Factores F1, F2 y F3 que componen al índice BCWQI en cada uno de los Sitios.

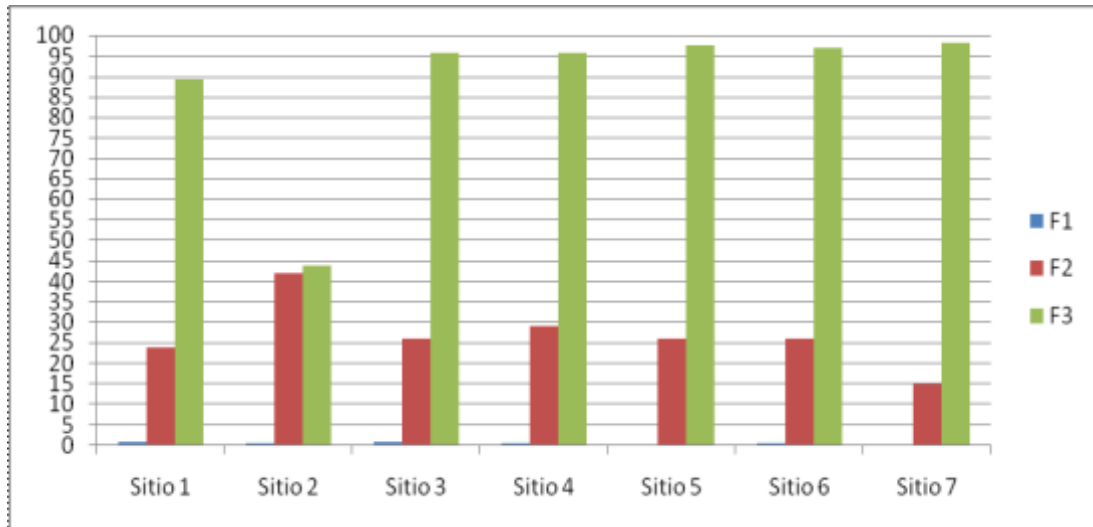


Figura 5.8: Factores componentes del Índice de calidad de agua BCWQI.

Fuente: Elaboración propia.

Del análisis de la Figura 5.8 y considerando los rangos definidos (Figura 5.2 – Materiales y Métodos) surge que en todos los Sitios el factor F1 se encontró en el rango de categoría excelente (0-3); el factor F2, se expresó en el rango de la categoría “aceptable”, con excepción del Sitio 2 que lo hizo en la categoría inferior “marginal” y, el factor F3 categorizó al Sitio 2 en “bueno”, 1 en “aceptable” y los restantes en “marginal”. Finalmente, la Figura 5.9 expresa el índice BCWQI.

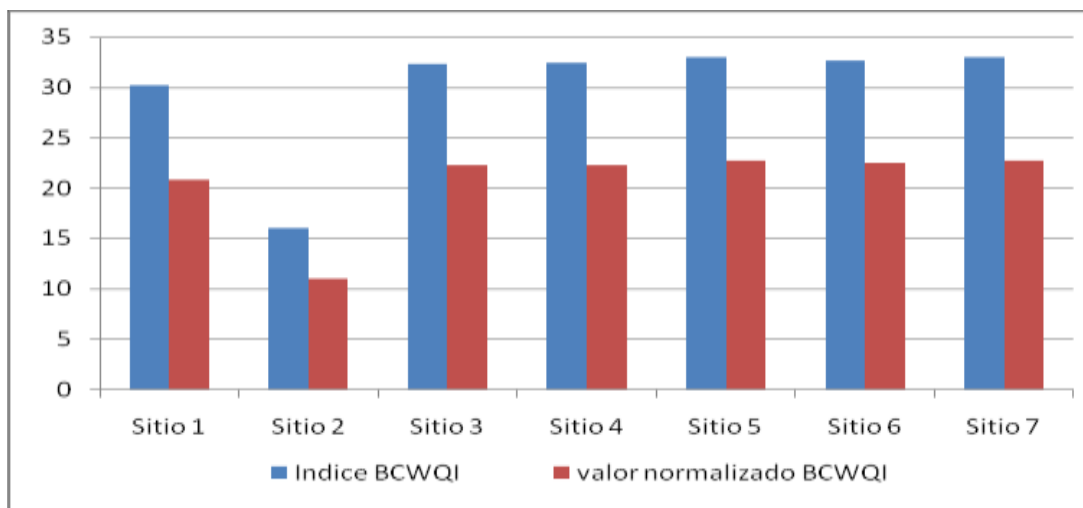


Figura 5.9: Índice de calidad BCWQI e índice normalizado.

Fuente: Elaboración propia.

El índice BCWQI se halló, en general, en valores entre 30 y 35. Esta calificación caracteriza al índice como “aceptable”, donde los usos del agua pueden darse y la calidad de la misma difiere, en algunas oportunidades, de la calidad original. El Sitio 2 registró valores menores (=16) que califican al curso como “bueno”, es decir que el agua se encuentra cercana a sus condiciones naturales.

5.2) Evaluación de la calidad del agua mediante análisis comparativo con valores normados nacionales e internacionales.

En Argentina la legislación que define los niveles guía o niveles de referencia de calidad del agua para los distintos usos es escasa y/o se encuentra en revisión, como es el caso de los niveles guía de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (Pertussi, 2014. Comunicación Personal).

Por ello, se consultó normativa en páginas web de organismos oficiales, considerando los usos de agua recreativo, riego y bebida de animales y protección de biota tal como puede observarse en la Tabla 5.5, donde se registraron los valores normados para los parámetros analizados. Las filas pintadas de color celeste corresponden a la legislación de Argentina.

Tabla 5.5: Legislación nacional e internacional con reglamentación vinculada a los usos protección de biota, recreativo, riego y bebida de animales. Fuente: Elaboración propia.

Norma	País	pH (u pH)	Temp (°C)	O.D. (mg/l)	PO <sub>4</sub> (mg/l)	P total (mg/l)	NO <sub>3</sub> (mg/l)	NH <sub>4</sub> (mg/l)	Coliformes totales (NMP/100 ml)	Coliformes fecales (NMP/100 ml)	Uso del agua
Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM (31/7/08)	peru	6,5-8,5		>=5	0,5 (fosfato total)		10	0,02 (nitrogeno amoniacal)	3000	2000	Conservación ambientes acuáticos
Resolucion 42/2006 ADA	argentina	6,5-9						$0.5596/(1+10^{pH-(2362.6/(temp+273.15))})$			proteccion biota
Decreto 831/93 - Ley Nacional 24051	argentina							1.37			proteccion biota
Norma Chilema Oficial 1333-1978 modificada 1987	chile	6-9	no mas de 3° C de aumento respecto del valor natural	>=5							proteccion biota
Decreto 598/89	uruguay	6,5-8,5		> 5		<0,025	<10			(*) <2000 MG1000	proteccion biota
Guía Canadiense de la Calidad del Agua	canada	6,5-9		variable: biota cálida (estadios tempr 6; otros 5.5); biota fría (estadios tempr 9.5; otros 6.5)			550 (corto plazo); 13 (largo plazo)				protección biota
Directiva 2006/44/CE	comunidad Económica Europea	obliga 6-9	no mas de 3° C de aumento respecto del valor natural; Máxima 28°	guia 50% >=8; 100 % >=5; obliga 50% >= 7				guia <=0.2; obliga < 1			protección biota peces ciprinícolas (no se controla salmonícolas porque no hay en la rg)
Resolucion 42/2006 ADA	argentina	6,5-8,5				0.025	125	0.5		126 colonias	recreación
Directiva 2006/7/CE	comunidad europea	6-9									recreación - aguas de baño
Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM (31/7/08)	peru	6-9		>=5 (Cntct 1°); >= 4 (Cntct 2°)			10		4000 (cntct 1°); 1000 (cntct 2°)	200 (cntct 1°); 1000 (cntct 2°)	Recreación (Contacto 1° y 2°)
Norma Chilema Oficial 1333-1978 modificada 1987	chile	6,5-8,3	30							1000	recreacion contacto primario
NOM-003-SEMARNAT-1997	mexico									1000	recreacion contacto primario
ley gral de aguas DL N° 17752	peru	ne							5000	1000	recreacion contacto primario
Decreto 598/89	uruguay	6,5-8,5		> 5		<0,025	<10			(*) <1000 MG500	recreacion contacto primario
Resolución N° 3/2009 - ACUMAR	argentina	6 - 9 (*)	< 35 (*)	> 2 (*)			< 5 (*)				recreación pasiva (sin contacto directo) (*) 90 % del tiempo
Concejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente (CCME)	canada								1000	100	riego
Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM (31/7/08)	peru	6,5-8,4		>5			50		5000	1000	riego y bebida animales

En la Figura 5.10 se observa que los valores de pH, en líneas generales, se encontraron dentro de los límites permitidos. Los Sitios 3, 5 y 6, en el muestreo de abril 2013, registraron valores menores que el rango establecido por la resolución ADA 42/06 ( $\text{pH}=6,5$ ), tanto para protección de biota como para recreación. Respecto al rango superior que se establece para protección de biota, en ningún caso fue superado y, en los Sitios 1, 2, 3, 4 y 6 los observados fueron mayores que los reglamentados en la fecha de muestreo correspondiente al mes de septiembre 2012.

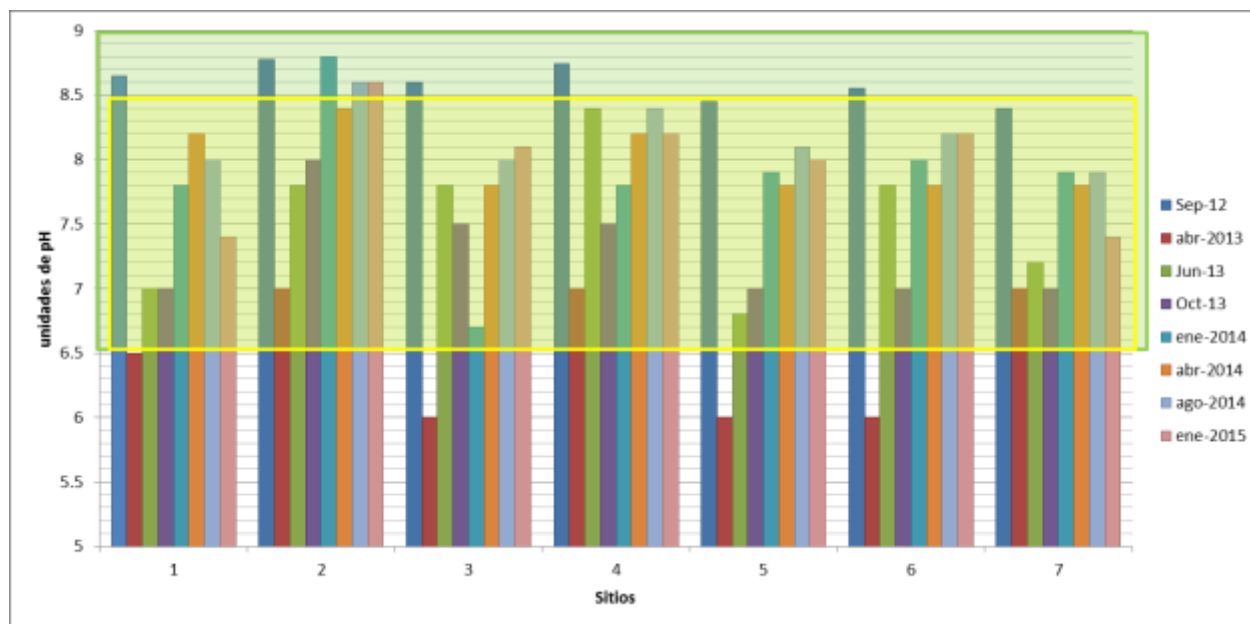


Figura 5.10 Cuantificación de pH por Sitio y por fecha. Valoración permitida Resolución 42/06 ADA uso recreativo rectángulo color amarillo y protección de biota rectángulo verde.

Fuente: Elaboración propia.

La legislación argentina no contempla la variable oxígeno disuelto, razón por la cual se tomaron como referencia los valores normados para protección de biota y uso recreativo del Decreto 598/89 de Uruguay y los valores normados en el Decreto Supremo N° 002-2008 de Perú para bebida de ganado. En los tres casos el valor mínimo requerido de oxígeno disuelto en agua superficial es de 5 mg/lit. Del análisis de la Figura 5.11, con excepción del muestreo de abril 2013, los valores registrados para el oxígeno disuelto superaron el mínimo requerido.



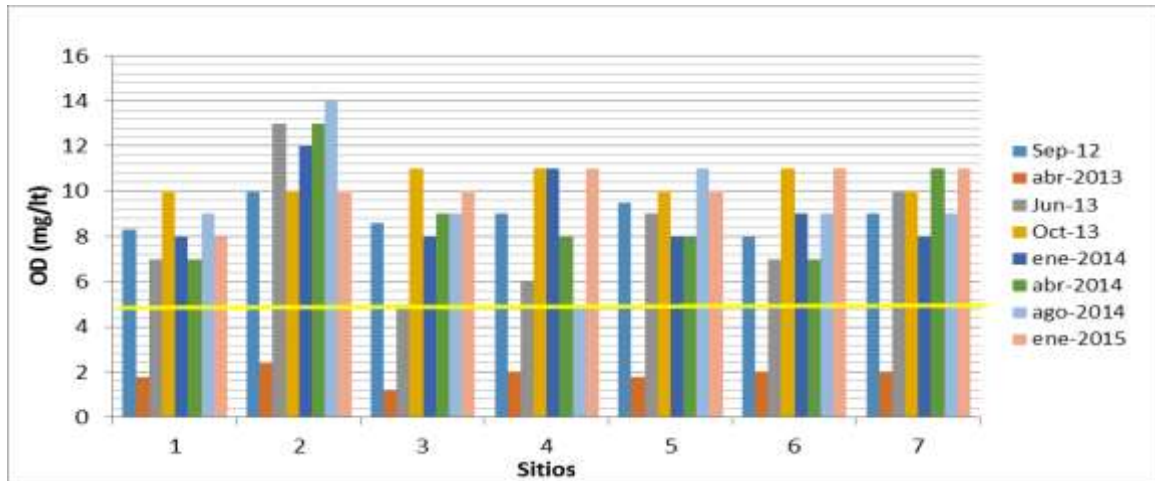


Figura 5.11: Cuantificación de OD por Sitio y por fecha. Valoración permitida línea amarilla.

Fuente: Elaboración propia.

Respecto al amonio, en Argentina, la Resolución ADA 42/06 estableció como valor límite máximo para el uso recreativo 5 mg/lt (Figura 5. 12), mientras que para el uso protección de biota definió una ecuación en función del pH y la temperatura del Sitio, como puede observarse en la Tabla 5.6.

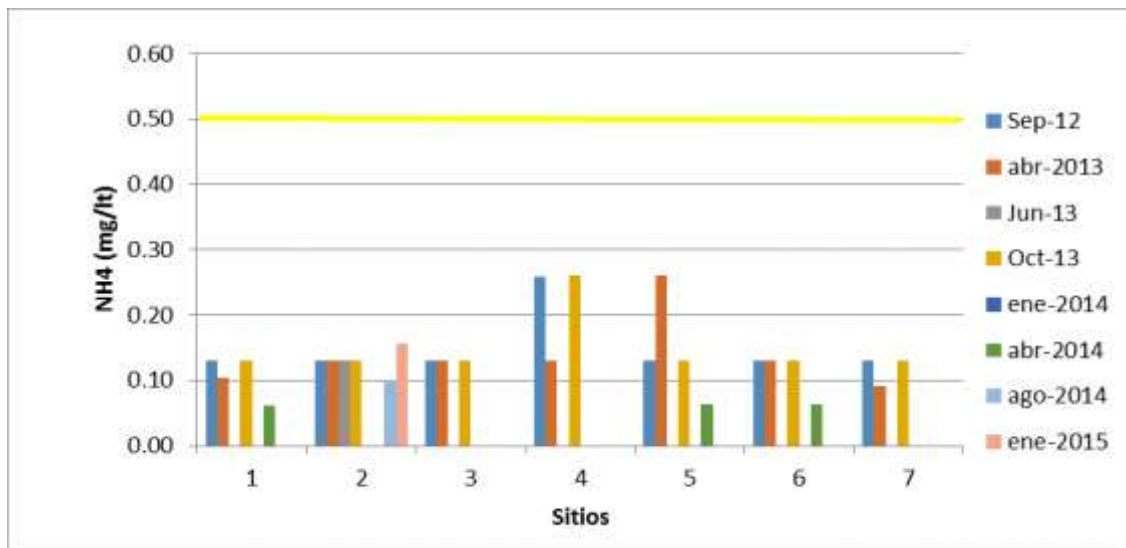


Figura 5.12: Cuantificación de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> por Sitio y por fecha. Valoración permitida uso recreativo Resolución 42/06 ADA línea amarilla.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.6: Cuantificación de  $\text{NH}_4^+$  por Sitio y por fecha. Celdas color verde: Valoración permitida uso protección de biota -Resolución 42/06 ADA. Celdas color blanca: Valores observados. Celda color gris: Valores hallados que superaron la Resolución. Fuente: Elaboración propia.

Sitios	Sep-12	Res 42/06	abr-2013	Res 42/06	Jun-13	Res 42/06	Oct-13	Res 42/06	ene-2014	Res 42/06	abr-2014	Res 42/06	ago-2014	Res 42/06	ene-2015	Res 42/06
1	0.13	0.14	0.10	0.55	0.00	0.54	0.13	0.52	0	0.38	0.06	0.28	0.00	0.35	0.00	0.45
2	0.13	0.13	0.13	0.53	0.13	0.45	0.13	0.29	0	0.08	0.00	0.22	0.10	0.15	0.16	0.09
3	0.13	0.17	0.13	0.56	0.00	0.45	0.13	0.46	0	0.54	0.00	0.41	0.00	0.35	0.00	0.26
4	0.26	0.12	0.13	0.53	0.00	0.28	0.26	0.45	0	0.35	0.00	0.28	0.00	0.21	0.00	0.23
5	0.13	0.20	0.26	0.56	0.00	0.55	0.13	0.52	0	0.36	0.06	0.40	0.00	0.31	0.00	0.30
6	0.13	0.18	0.13	0.56	0.00	0.45	0.13	0.52	0	0.32	0.06	0.40	0.00	0.27	0.00	0.23
7	0.13	0.20	0.09	0.53	0.00	0.53	0.13	0.52	0	0.35	0.00	0.40	0.00	0.36	0.00	0.44

Como puede observarse en la Figura 5.12 (uso recreativo), los valores hallados para amonio, en todas las fechas de muestreo, no presentaron conflictos con los valores normados por la legislación argentina.

Surge de la Tabla 5.6 que, con excepción de los Sitios 2 y 4, los restantes Sitios y fechas, mostraron valores de amonio aptos para la protección de biota. El Sitio 2, en septiembre 2012, obtuvo una valoración en el límite de lo reglamentado, excediendo la misma en el muestreo de enero 2015 en un 100%. Idéntica situación se registró en septiembre 2012 en el Sitio 4 ( $\text{NH}_4^+$  observado= 0.26;  $\text{NH}_4^+$  referencia= 0.12).

En la legislación argentina, el  $\text{NO}_3^-$  se encuentra reglamentado solo para uso recreativo en 125 mg/lit. Para los usos protección de biota y bebida de ganado se consideró el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM de Perú; en el primer uso, el límite dado por esta legislación es 10 mg/lit (Figura 5.13), y en el segundo de 50 mg/lit. Dado que los valores reglamentados para recreación y bebida de ganado superan ampliamente los registros hallados no fueron representados en la Figura 5.13.

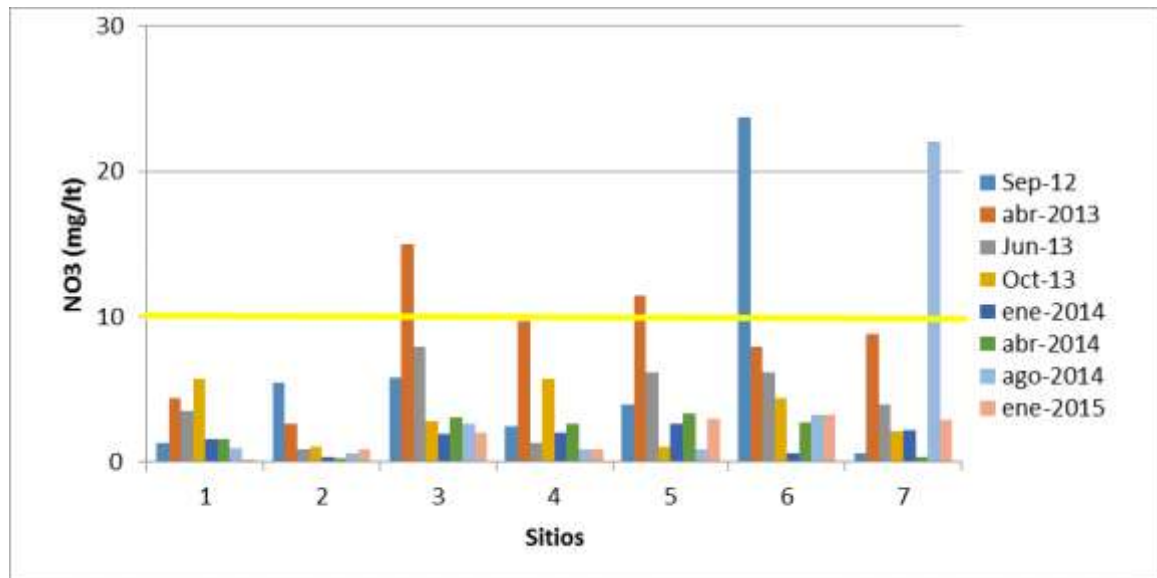


Figura 5. 13: Cuantificación de  $\text{NO}_3^-$  por Sitio y por fecha. Valoración permitida protección biota Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM en línea amarilla.

Fuente: Elaboración propia.

Como puede observarse en la Figura 5.13 el comportamiento de la variable se mantuvo por debajo de los límites máximos de concentración permitidos por la legislación. Los Sitios 3 y 5 excedieron dicho valor en abril 2013; el Sitio 6 lo duplicó en septiembre 2012 y el Sitio 7 lo hizo en agosto 2014.

El fósforo total se encuentra reglamentado con un nivel de referencia de 0.025 mg/lit en Argentina para el uso recreativo (Figura 5.14). Por otra parte, Uruguay, por medio del Decreto N° 598/89, estableció el mismo límite que Argentina para los usos protección de biota y recreación con contacto directo.

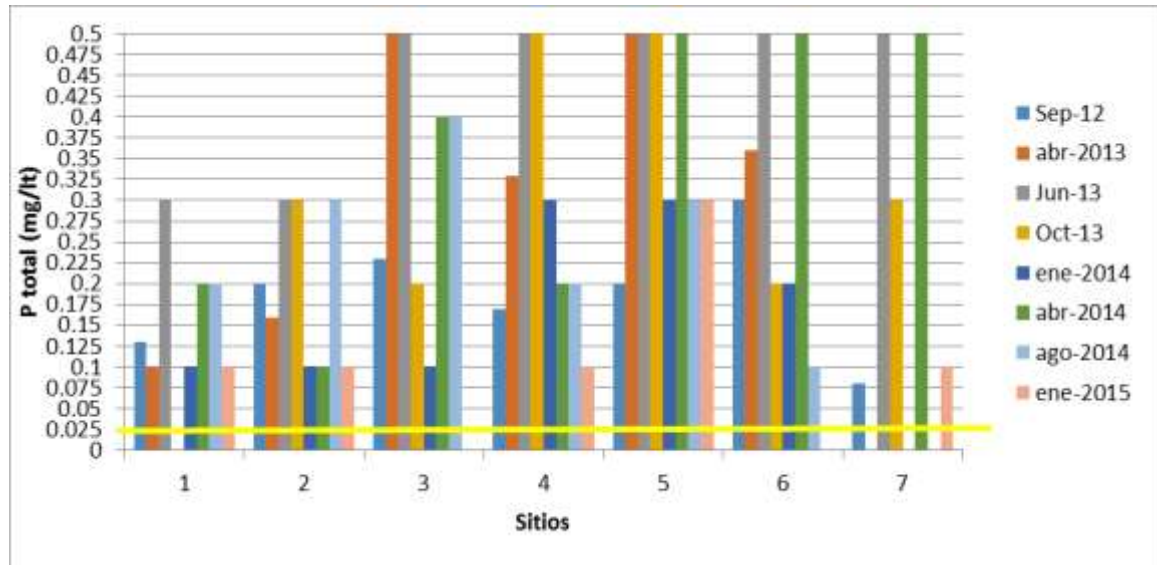


Figura 5. 14: Cuantificación de P total por Sitio y por fecha. Línea amarilla (0.025 mg/lit): Valoración permitida uso recreativo Resolución 42/06 ADA (Argentina) y Valoración permitida protección de biota y recreación con contacto directo Decreto N° 598/89 (Uruguay)

Fuente: Elaboración propia.

Por lo que se observa en la Figura 5. 14 todos los Sitios superaron el nivel de referencia. En junio 2013, en el Sitio 1, no se registraron valores de fósforo total por encima del nivel de referencia mencionado. El Sitio 7 fue el menos afectado por este parámetro, ya que en 3 oportunidades los valores de referencia no fueron superados.

En la Figura 5. 15 se expresan la cuantificación de coliformes totales por Sitio y por fecha. Como puede observarse existe disparidad en la normativa respecto a este parámetro.

Para los coliformes totales se tomaron los valores reglamentados por el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM (31/7/08) de Perú que establece como límites máximos 5000 NMP/100 ml para bebida de ganado, 4000 NMP/100 ml para uso recreativo con contacto primario y 3000 NMP/100 ml para protección de biota.

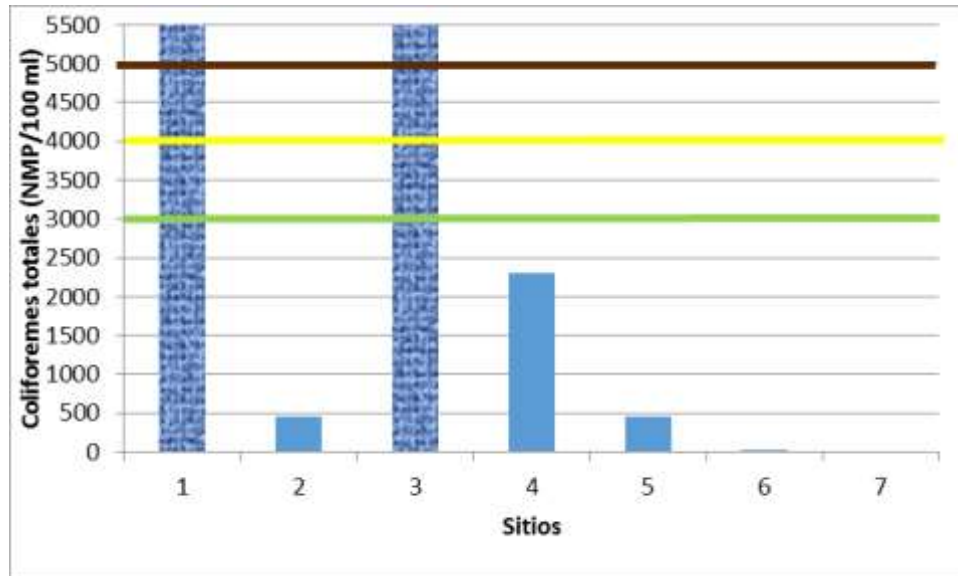


Figura 5. 15 Cuantificación de coliformes totales por Sitio y por fecha. Valoraciones permitidas uso recreativo línea amarillo; protección biota línea verde; bebida de ganado línea marrón; riego en línea gris. Las barras texturadas superan el límite de la gráfica.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 5. 16 se observa la cuantificación de coliformes fecales por Sitio y por fecha. Al igual que para los coliformes totales existen diferencias en la normativa consultada.

En el caso de los coliformes fecales el Decreto de Perú establece como límite 2000 NMP/100 ml para protección de biota y 1000 NMP/100 ml para recreación, al igual que México y Chile. El Concejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente (CCME) recomienda, para riego, no superar el límite de 100 NMP/100 ml de coliformes fecales. La resolución ADA 42/06 (Argentina), para uso recreativo, expresa los límites en colonias/100 ml (técnica de filtro membrana) y, dado que la técnica usada en este trabajo es NMP/100 ml (fermentación en tubos múltiples), los resultados no son comparables entre sí, por lo que se determinó adoptar como límite 1000 NMP/100 ml para uso recreativo, por ser el más utilizado en otros países y ajustarse al método de medida utilizado.

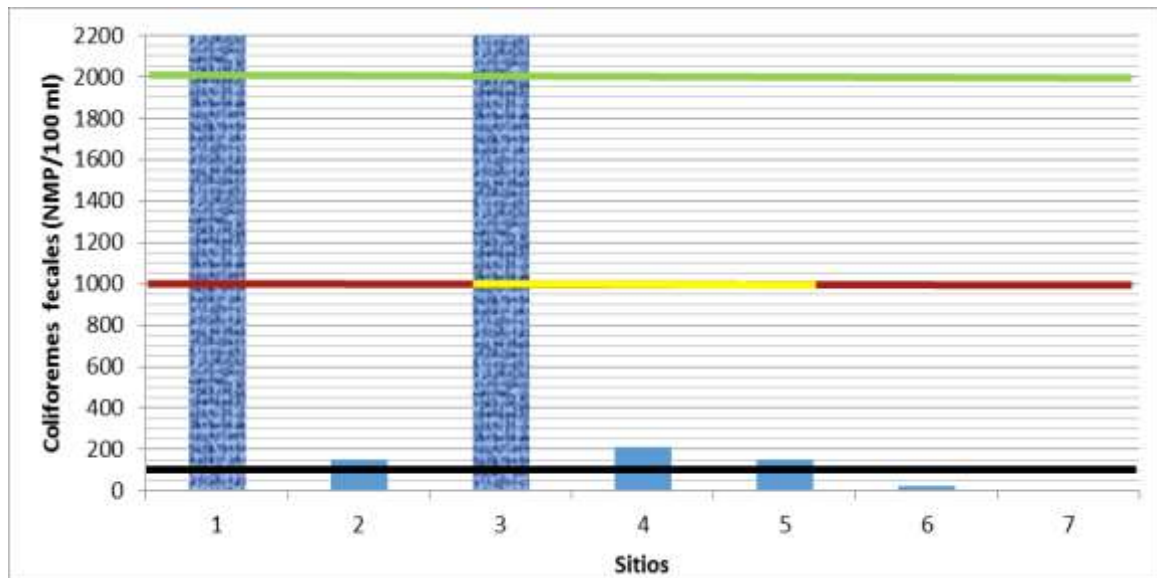


Figura 5. 16 Cuantificación de coliformes fecales por Sitio y por fecha. Valoraciones permitidas uso recreativo línea amarillo; protección biota línea verde; bebida de ganado línea marrón; riego en línea gris. Las barras texturadas superan el límite de la gráfica.

Fuente: Elaboración propia.

El muestreo de agosto 2014 expuso que los coliformes totales y fecales de los Sitios 1 y 3 superaron todos los límites establecidos por las legislaciones consultadas, no así para el resto de los Sitios que se manifestaron por debajo. Para el límite de riego dado por el CCME, respecto de los coliformes fecales, el agua no fue apta para este uso.

## 6. Evaluación de la calidad del agua espacial y temporal.

Los valores obtenidos para cada parámetro de calidad de agua tomados en los meses de abril 2013 y agosto 2014 se incorporaron a la cartografía de la cuenca y se observó la incidencia espacio – territorial que tiene cada una de las variables que forman parte del índice ICA NSF.

En abril 2013, los cursos de agua del norte de la cuenca se encontraron más comprometidos que los cursos del sur, como lo representa la Figura 6.1.

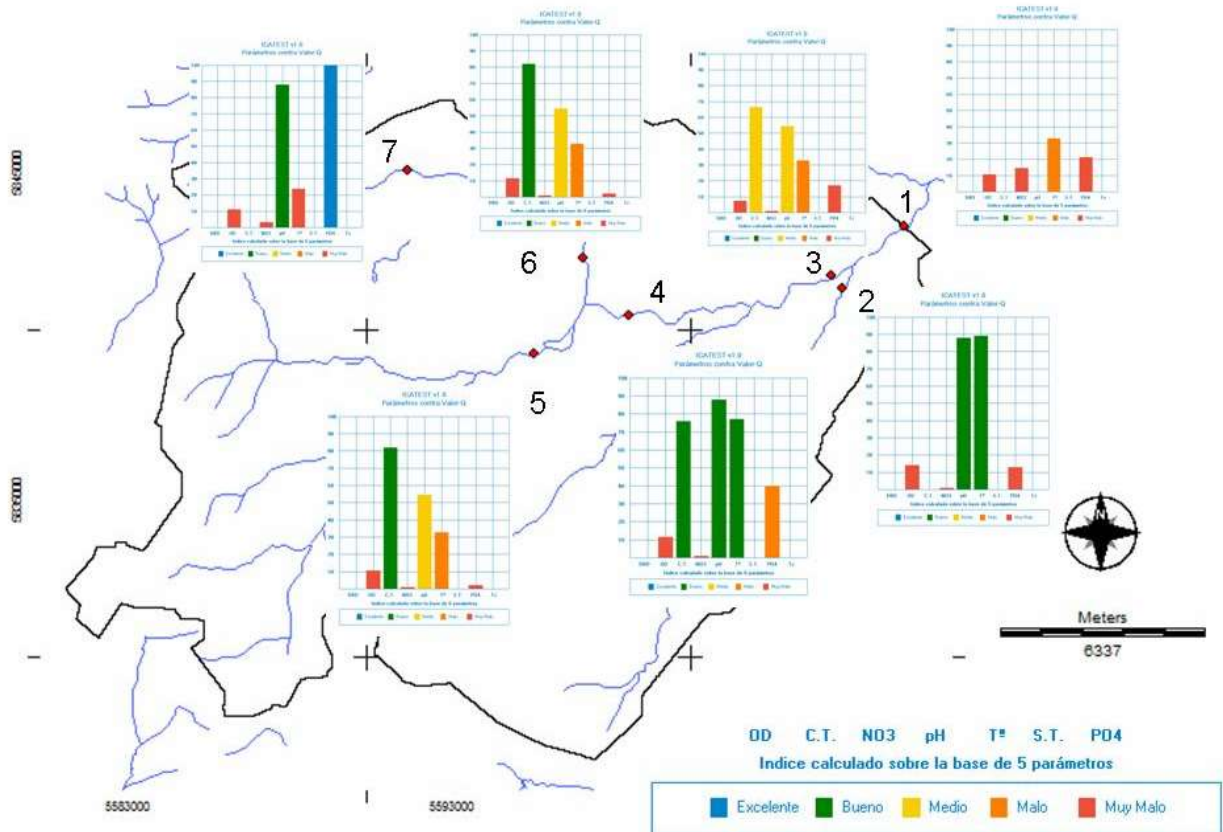


Figura 6.1: Incidencia de los parámetros involucrados en el ICA NSF – Abril 2013.

Fuente: Elaboración propia.

Esto se revirtió en agosto 2014, como lo representa la Figura 6.2, donde los parámetros analizados expresaron mejor calidad en los cursos de agua del norte. En agosto, el OD se registró en los Sitios de la zona norte con un alto valor de saturación. Considerando que esta variable afecta junto con el pH la movilidad del fosfato, el cual se encontró en altas concentraciones en los cursos, se estableció que el fosfato sea uno de los parámetros que afectaron negativamente a los valores del índice.



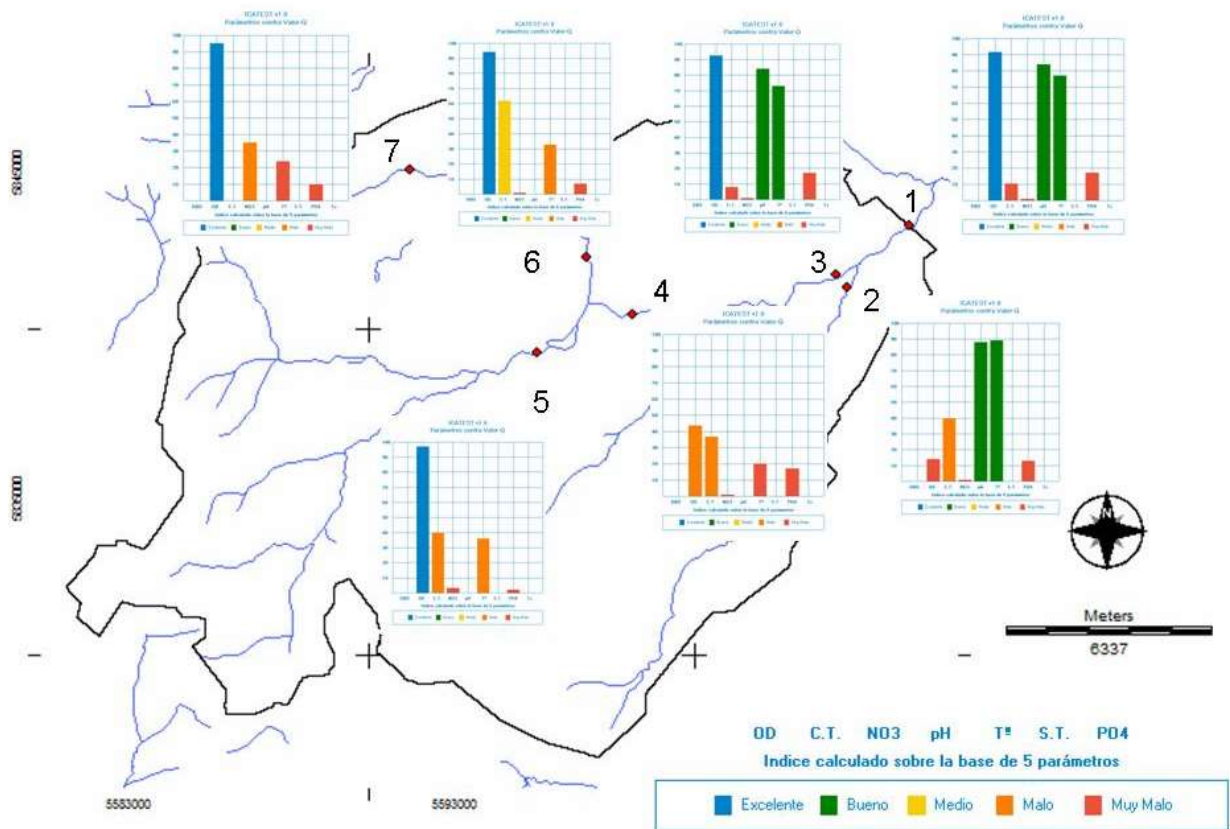


Figura 6.2: Incidencia de los parámetros involucrados en el ICA NSF – Agosto 2014.

Fuente: Elaboración propia.

En líneas generales los ICA NSF resumieron la calidad del agua de los Sitios en “mala”. Los parámetros que más influencia ejercieron en este resultado son los coliformes y las concentraciones de nitrato y fosfato.

La aplicación del ICAsub incorporó otro aporte de la calidad del agua en el arroyo Napaleofú (Figura 6.3). En este caso, de los parámetros observados, la mayor relevancia en el resultado está dada por el oxígeno disuelto, seguido del amonio y nitrato. La temperatura, fósforo total y pH son los de menor relevancia de acuerdo a la clasificación establecida.

En ambos monitoreos (abril 2013 y agosto 2014), la dinámica en el arroyo fue similar. La diferencia se establece en que la calidad observada para el primer monitoreo fue malo – medio y en



agosto 2014 se observó una calidad buena - excelente. Los valores del ICA sub de abril 2013 responden al mayor caudal de agua que transporta el arroyo, motivando que los Sitios con mayor presión antrópica o con presencia de ganado presentan valores de menor calidad.

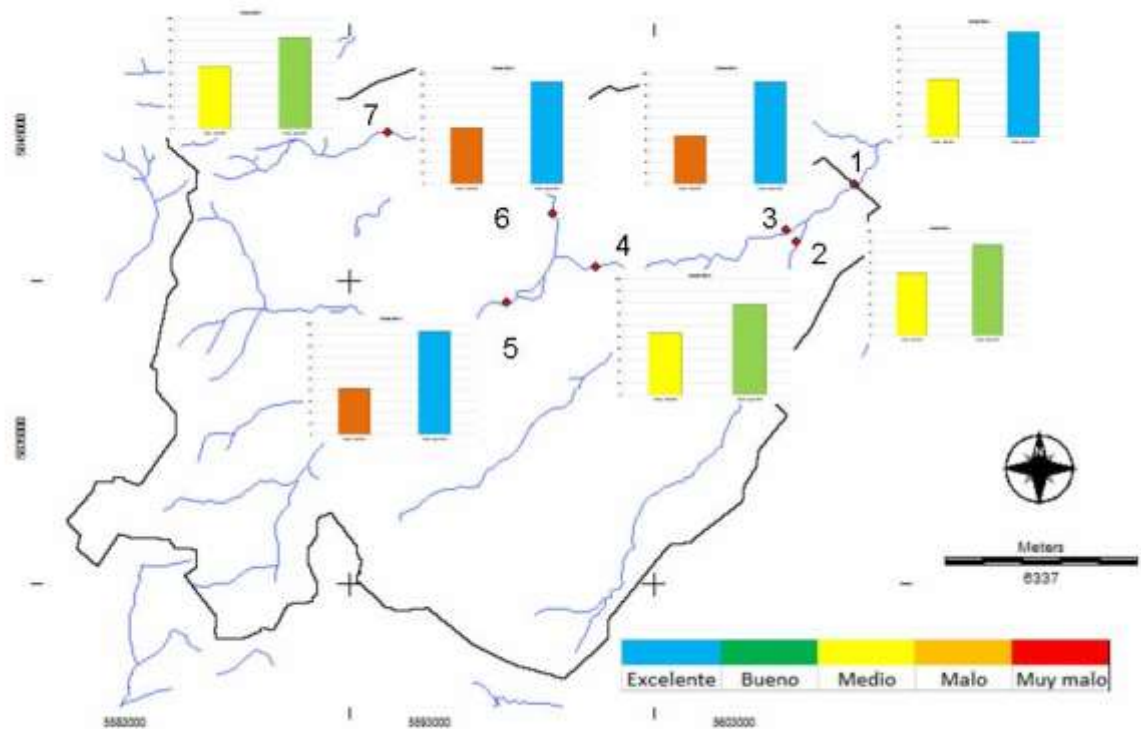


Figura 6.3: Incidencia de los parámetros involucrados en el ICASub: Abril 2013 (barra izquierda) - Agosto 2014 (barra derecha).

Fuente: Elaboración propia.

El ICA BCWQI toma en consideración los valores de los parámetros que exceden los valores normados. De acuerdo a ello la calidad del arroyo en líneas generales, se considera media o aceptable. El ICA BCWQI, para los parámetros normados, refleja una situación media de cumplimiento de los mismos (Figura 6.4)

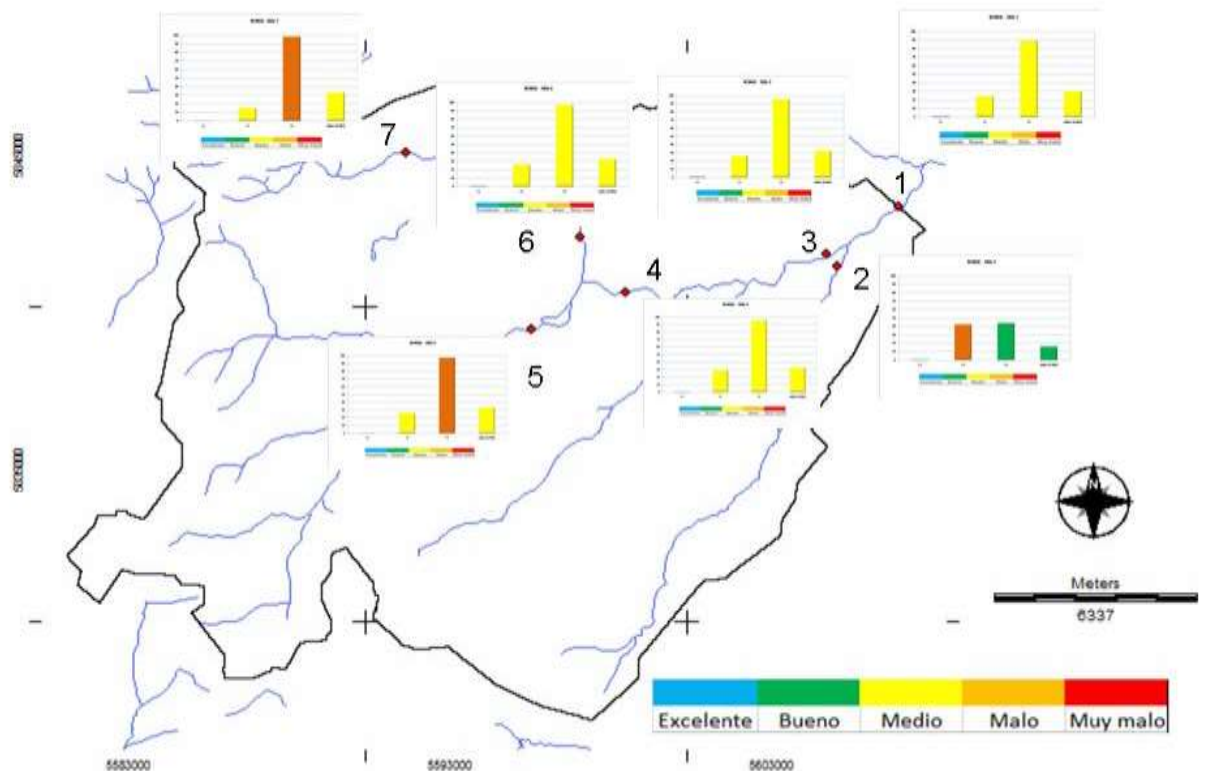


Figura 6.4: Incidencia del ICA BCWQI en los Sitios evaluados.

Gráfico por sitio: 1° columna F1; 2° columna F2; 3° columna F3 y 4° columna ICA BCWQI.

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a los resultados alcanzados con ICA NSF, ICAsub e ICA BCWQI es recomendable la formulación de un programa de control y vigilancia de la calidad del agua superficial y que los análisis se efectúen siguiendo procedimientos aceptados a fin de garantizar y hacer comparables los resultados de las pruebas analíticas, como es el caso de esta tesis.

El programa se recomienda que sea definido por planificación geoespacial. Al efecto, se sugiere que el control y monitoreo sea realizado por personal capacitado para cumplir estrictamente con los procedimientos de muestreo, preservación, embalaje y traslado de muestras al laboratorio, a fin de que se dé el tratamiento adecuado a las mismas evitando su contaminación.

## 7. Cuantificación del índice de estado trófico en la cuenca del arroyo Napaleofú.

A partir de los análisis de IET se determinó el estado trófico de los siete Sitios para cada uno de los muestreos (Tabla 7.1)

Tabla 7.1: Estados tróficos ponderados del Arroyo Napaleofú. Fuente: Elaboración propia.

	21/9/12	15/4/2013	30/6/13	6/10/2013	11/1/2014	29/4/14	20/8/14	22/1/15
Sitio 1	59.00	64.00	64.00	0.00	58.00	61.00	61.00	58.00
Sitio 2	60.00	66.00	64.00	64.00	58.00	58.00	64.00	58.00
Sitio 3	61.00	77.00	66.00	61.00	58.00	65.00	65.00	0.00
Sitio 4	60.00	70.00	66.00	67.00	64.00	61.00	61.00	58.00
Sitio 5	61.00	72.00	70.00	70.00	64.00	69.00	64.00	64.00
Sitio 6	64.00	70.00	69.00	61.00	61.00	66.00	58.00	0.00
Sitio 7	57.00	46.00	66.00	64.00	0.00	72.00	0.00	58.00

Se obtuvieron las categorías de estados tróficos presentes en el arroyo Napaleofú, que se presentan en la Tabla 7.2.

Tabla 7.2: Clasificación del estado trófico del arroyo Napaleofú en los distintos muestreos. Fuente: Elaboración propia.

	21/9/12	15/4/2013	30/6/13	6/10/2013	11/1/2014	29/4/14	20/8/14	22/1/15
Sitio 1	59.00	64.00	64.00	0.00	58.00	61.00	61.00	58.00
Sitio 2	60.00	66.00	64.00	64.00	58.00	58.00	64.00	58.00
Sitio 3	61.00	77.00	66.00	61.00	58.00	65.00	65.00	0.00
Sitio 4	60.00	70.00	66.00	67.00	64.00	61.00	61.00	58.00
Sitio 5	61.00	72.00	70.00	70.00	64.00	69.00	64.00	64.00
Sitio 6	64.00	70.00	69.00	61.00	61.00	66.00	58.00	0.00
Sitio 7	57.00	46.00	66.00	64.00	0.00	72.00	0.00	58.00

En líneas generales todos los Sitios se encuentran afectados en diferente medida respecto de sus niveles tróficos, siendo los más representados los estados eutróficos, supereutrófico e hipereutrófico, es decir los niveles de productividad más altos, con mayor afectación de la calidad del agua. Los mayores valores se registran a lo largo de todo el arroyo en la segunda y tercera fecha de muestreo (abril y junio de 2013). Los niveles tróficos observados en el primer año de muestreo fueron mayores que aquellos registrados en el segundo año.

En la Tabla 7.3 se muestra en forma porcentual la aparición de los diferentes estados tróficos prevalentes en cada Sitio, representados en la Figura 7.1.

Tabla 7.3: Porcentaje de estado trófico prevalente de cada Sitio. Fuente: Elaboración propia.

	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4	Sitio 5	Sitio 6	Sitio 7
ultraoligotrofico	12.5		12.5			12.5	37.5
oligotrofico							
mesotrofico	37.5	37.5	12.5	12.5		12.5	25
eutrofico	25	12.5	25	37.5	12.5	25	
supereutrofico	25	50	37.5	37.5	37.5	25	25
hipereutrofico			12.5	12.5	50	25	12.5

Según la Tabla 7.3, el Sitio 7 presentó el mayor porcentaje del estado ultraoligotrófico; en contraposición el Sitio 5 presentó los mayores valores de trofía, con prevalencia del estado hipereutrófico. El Sitio 2, se encontró en un estado intermedio entre los anteriores. En los Sitios 1, 3 y 6 se observaron estados ultraoligotróficos en una oportunidad y, variaron los tipos de trofía preponderantes en cada uno. En el Sitio 1 los valores se distribuyen en forma intermedia; en el Sitio 3 predomina el estado supereutrófico, seguido del eutrófico; y en el Sitio 6 se observó igual participación de los estados eutrófico, supereutrófico e hipereutrófico. El Sitio 4 presentó valores tróficos muy altos.

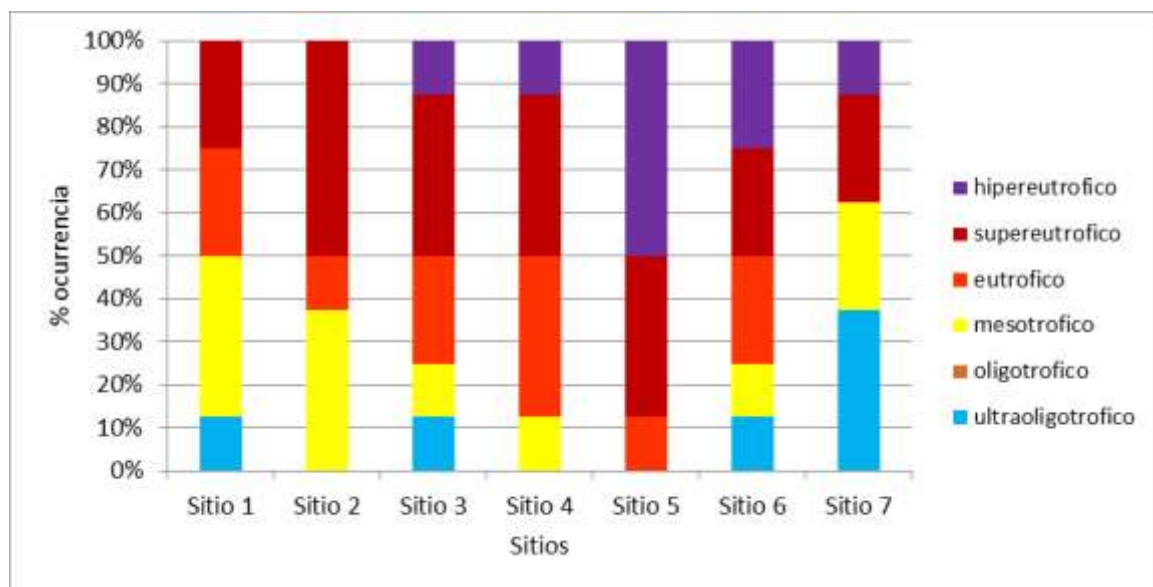


Figura 7.1: Estados tróficos presentes en cada Sitio.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la Figura 7.1 los Sitios más afectados fueron el 5, 4 y 2, con los mayores valores tróficos registrados. En el Sitio 5 se observó mayor prevalencia del estado hipereutrófico, en el Sitio 4 se

registraron idénticos porcentajes para los estados eutrófico y supereutrófico y el Sitio 2 presentó, dentro de los valores de trofia altos, una mejor calidad que los anteriores ya que a pesar de observarse un alto porcentaje del estado supereutrófico presentó un alto porcentaje del estado intermedio (mesotrófico).

El Sitio 5 es de baja profundidad, sin grandes desniveles entre la orilla del arroyo y el curso del mismo, por lo que fácilmente el ganado bovino de la zona puede acceder a él. Por otro lado, se observaron, en varias oportunidades, registros de presencia humana. El Sitio 4 representa la unión de los arroyos Pesquería y Los Galpones, y cruza campos con producción agrícola y ganadera. En el Sitio 2 se registró actividad ganadera.

Los Sitios en mejores condiciones son el 7 y el 1. El primero corresponde a las nacientes del arroyo Pesquería, se encuentra en una zona agrícola. El Sitio 1, representa la unión de todos los cursos de agua pero es el que presenta un mayor caudal, con lo cual se supone una dilución de los valores de fósforo que llegarían al mismo.

Las variaciones del IET se pueden observar en las Figuras 7.2 para el momento 3 (otoño), 7.3 para el momento 4 (invierno), 7.4 para el momento 1 (primavera) y 7.5 para el momento 2 (verano). Los momentos con mayores valores de IET fueron el 3 y 4 (otoño e invierno respectivamente). Los valores registrados en el primer año de muestreo fueron superiores a los registrados en el segundo año.

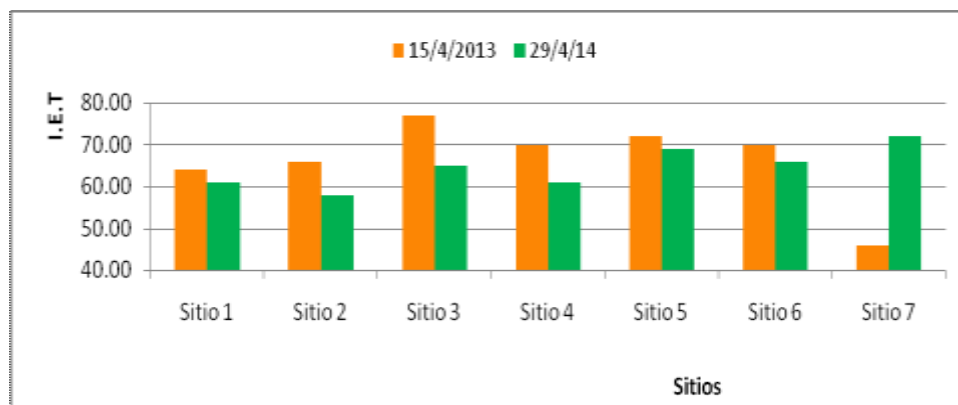


Figura 7.2: Variación del estado trófico durante el Momento 3 (otoño).

Fuente: Elaboración propia.

Los valores de IET registrados en los siete Sitios, en el Momento 3 (otoño) del primer año de muestreo, fueron superiores a los del segundo año, con excepción del Sitio 7 (Figura 7.2). En el primer

año de muestreo los registros de IET correspondieron a los estados supereutrífico e hipereutrífico. A lo largo del segundo año, se observó una mayor variabilidad, con IETs entre 58 y 72 correspondientes a los estados mesotrófico, eutrífico, supereutrífico e hipereutrífico.

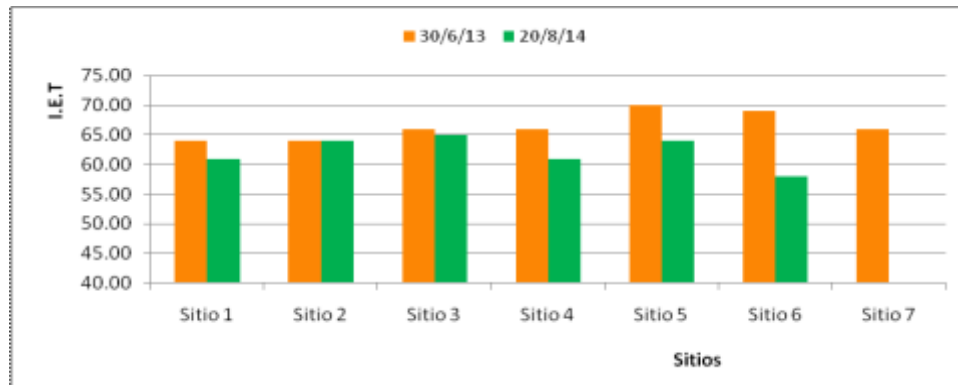


Figura 7.3: Variación del estado trófico durante el Momento 4 (invierno).

Fuente: Elaboración propia.

En el Momento 4 (invierno) (Figura 7.3), se registraron mayores valores de IET en el primer año de muestreo que correspondieron a los estados supereutrífico e hipereutrífico. A lo largo del segundo año, se observó mayor variabilidad aún que en el Momento 3 (otoño), con IET correspondientes desde estados ultraoligotróficos (Sitio 7) hasta supereutríficos (Sitios 2, 3 y 5).

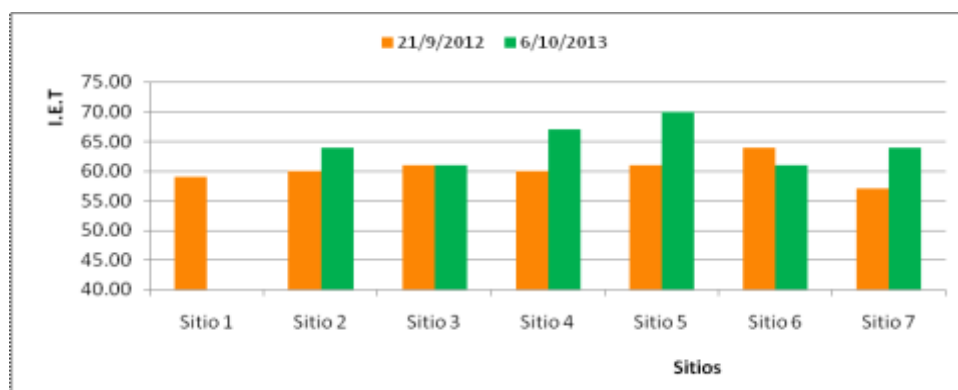


Figura 7.4: Variación del estado trófico durante el Momento 1 (primavera).

Fuente: Elaboración propia.

Los valores registrados para el Momento 1 (primavera) en el primer muestreo, fueron homogéneos e inferiores a los registrados en el segundo año, presentando a lo largo de todos los

muestreos en los siete Sitios la mayor variabilidad de estados tróficos (ultraoligotrófico, mesotrófico, eutrófico, supereutrófico e hipereutrófico) (Figura 7.4).

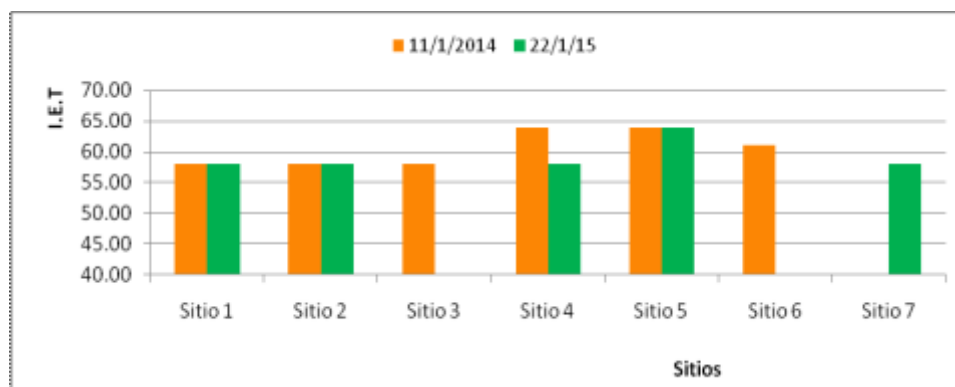


Figura 7.5: Variación del estado trófico durante el Momento 2 (verano).

Fuente: Elaboración propia.

El Momento 2 (verano) (Figura 7.5) registró los menores valores de IET en ambos años de muestreo. En el segundo año los valores de IET, en algunos Sitios se mantuvieron constantes a los observados en el primer año (Sitios 1, 2 y 5) o disminuyeron considerablemente (Sitios 3, 4 y 6)

Se analizó el estado trófico por fechas, registrándose los valores en forma porcentual (Tabla 7.4) y se representaron en la Figura 7.6.

Tabla 7.4: Estimación de IET por fechas de muestreo. Fuente: Elaboración propia.

	21-9-12	15-4-13	30-6-13	6/10/2013	11/1/2014	29-4-14	20-8-14	22-1-15
ultraoligotrofico		14.2857143		14.2857143	14.2857143		14.2857143	28.5714286
oligotrofico								
mesotrofico	28.57142857				42.8571429	14.2857143	14.2857143	57.1428571
eutrofico	57.14285714			28.5714286	14.2857143	28.5714286	28.5714286	
supereutrofico	14.28571429	28.5714286	71.4285714	42.8571429	28.5714286	28.5714286	42.8571429	14.2857143
hipereutrofico		57.1428571	28.5714286	14.2857143		28.5714286		

Según la Tabla 7.4, el estado supereutrófico se detectó en todos los muestreos, siendo el más representado, seguido por los estados mesotrófico y eutrófico. El estado hipereutrófico se expresó principalmente durante el primer año de muestreo, en contraposición el mesotrófico se expresó mayoritariamente durante el segundo año. Del análisis de lo anteriormente expresado, se detectó una leve mejoría en la trofia del curso de agua a lo largo del segundo año.

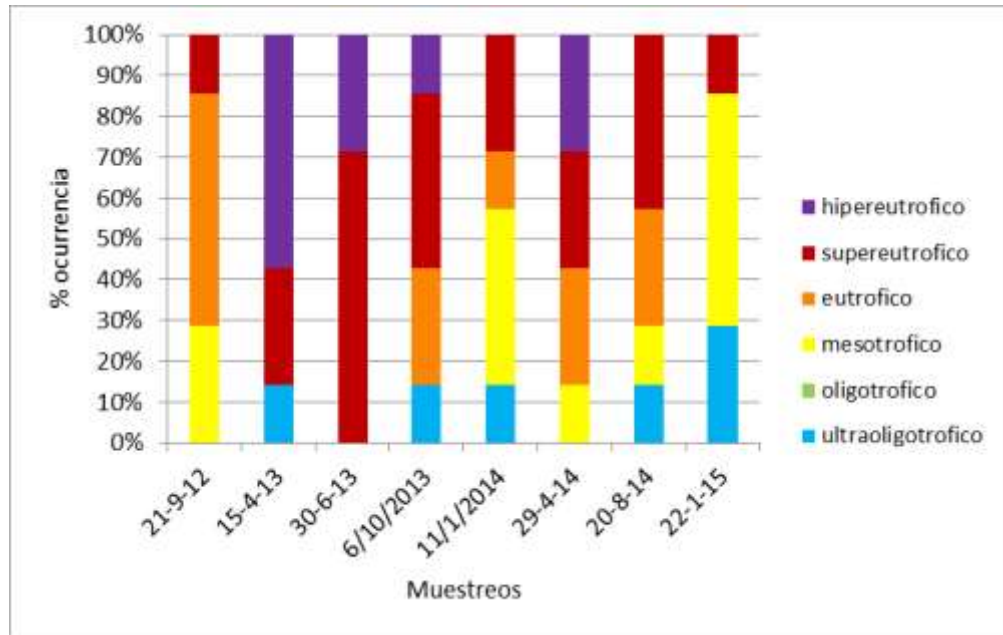


Figura 7.6: Estados tróficos prevalentes por fechas de muestreo.

Fuente: Elaboración propia.

De la Figura 7.6 surge que las fechas de muestreo con valores de IET mayores, corresponden a junio 2013, con los estados más tróficos de la escala (súper e hipereutrófico), seguido de los valores hallados en abril de 2014, observándose una leve mejoría al presentar mayor variabilidad. Por otro lado, en enero 2015, se registraron los mínimos IETs hallados, representando la mejor condición trófica durante todo el muestreo.

A partir del índice de estado trófico analizado por fechas de muestreo, no se observó un patrón estacional.

En el Anexo 2 se presentan los trabajos publicados en congresos y revistas científicas, a partir de los resultados logrados en esta Tesis y en el Proyecto de Investigación del cual formo parte y financió esta Tesis.



## CONCLUSION

La tesis estableció un diagnóstico físico - químico y microbiológico del agua superficial del área serrana del arroyo Napaleofú.

La caracterización del uso del suelo según las clases agrícola (A), agrícola-ganadero (AG), ganadero-agrícola (GA), ganadero (G3b) y monte (M) permitió zonificar los cambios de cobertura de suelo y tendencia geoespacial, mostrando disposición territorial hacia los usos agrícola-ganadero y agrícola, debido a la incorporación de nuevas tecnologías agropecuarias.

El análisis de NDVI manifestó que el porcentaje de superficie con cobertura vegetal resultó similar en los tres períodos analizados, representando el cambio de cobertura vegetal o una disminución del vigor de la misma en los años 1996 y 2011.

Los parámetros físico-químicos y microbiológicos analizados en el agua superficial de la cuenca alta del arroyo Napaleofú, expresaron que:

- La temperatura del agua superficial se encontró en rangos de valores normales para los momentos analizados.
- El pH resultó levemente alcalino.
- Los sólidos totales aumentaron, desde la naciente a la desembocadura, correspondiendo con el mayor desarrollo de suelos, el uso de los mismos y el arrastre por escorrentía.
- El oxígeno disuelto se comportó en forma similar a lo largo del recorrido del arroyo, con fluctuaciones en invierno.
- En todos los muestreos se registró amonio, nitrato y fosforo total.
- ✓ El registro de amonio en situaciones puntuales podría indicar su procedencia de fuentes antrópicas.
- ✓ La presencia constante de compuestos de nitrógeno (amonio, nitrato) en distintos estados de oxidación en el agua superficial del arroyo Napaleofú podría inferirse a partir de la mineralización de la materia orgánica presente más el aporte de nitratos provenientes del agua subterránea.

- ✓ Los Sitios 3, 4, 5, 6 y 7 poseen los mayores valores de fósforo total. No fue posible detectar una relación causa – efecto para el parámetro fósforo total
- La presencia de coliformes totales y fecales se observó en los Sitios 3, 1, 4, 2 y 5 en orden descendente respectivamente, evidenciando la vinculación de los mismos a la influencia antrópica para actividades productivas, sumados a las actividades de tipo recreativa que se observaron en la zona.

Los ICA NSF resumieron la calidad del agua de los siete Sitios en “mala”. Los parámetros que más influencia ejercieron en este resultado son los coliformes y las concentraciones de nitrato y fosfato. En abril 2013, los cursos de agua del norte de la cuenca se encontraron más comprometidos que los cursos del sur.

Los valores de ICAsub registrados demostraron calidades de agua mejores que las surgidas de la aplicación del ICA NSF. El oxígeno disuelto, seguido del amonio y nitrato, fueron los parámetros más relevantes en la cuantificación de este índice.

El ICA BCWQI expresó que la calidad del arroyo es media o aceptable, debido a que para los parámetros normados, el ICA BCWQI refleja una situación media de cumplimiento de los mismos.

La zonificación de los ICAs calculados es el primer ejercicio que ha sido elaborado para la cuenca del A° Napaleofú con el fin de informar el estado de calidad e identificar zonas aptas y medianamente aptas para actividades agropecuarias / productivas / recreativas.

El producto final de la zonificación con Sistema de Información Geográfica (SIG) constituyó una base de datos geográfica con capas temáticas de información biofísica y de restricciones que conciernen al manejo de cuencas, para la calidad del agua superficial en la zona serrana de Tandilia. El SIG construido permite responder a preguntas geográficas básicas como: dónde se encuentran diferentes grados de aptitud agrícola, cuales son los posibles requerimientos ambientales y qué tipo de restricciones tienen las áreas identificadas como aptas. La tesis documenta la metodología utilizada para la construcción de los mapas de zonificación para la agricultura a escala 1:50.000 y los mapas resultantes de la evaluación de aptitud. También incluye tablas estadísticas y por nivel de aptitud.

La normativa que expresa los límites / restricciones de calidad para los distintos usos del agua fue excedida, principalmente por los parámetros fósforo total y coliformes fecales, en algún momento del muestreo. En coincidencia con Vazquez Amabile et al. (2014), merece atención identificar las

prácticas de manejo que minimicen el escurrimiento (terrazas, franjas buffer, etc.), teniendo en cuenta que el transporte de sedimento y agua, implica el transporte de constituyentes que pueden ir en suspensión y en solución. De igual modo se considera necesario realizar una revalorización de los valores límites para parámetros.

Los niveles tróficos más representados en la cuenca alta del arroyo Napaleofú, son los estados eutróficos, supereutrófico e hipereutrófico, es decir los niveles de productividad más altos, con mayor afectación de la calidad del agua, según los momentos estudiados. No se identificó un patrón espacio temporal de los estados tróficos en la cuenca.

Se concluye que los resultados de todos los índices aplicados (ICAs e IET) reflejaron que en agosto 2014 el agua superficial presentó mejores condiciones de calidad, particularmente en la cuenca alta.

## **RECOMENDACIONES**

A partir de los datos relevados durante el desarrollo de esta tesis y con los resultados alcanzados por la aplicación de índices de calidad de agua, a nivel puntual y geoespacial, se ha generado un punto de partida para futuras investigaciones que prosigan con el monitoreo de aguas superficiales en los puntos de control definidos, con el fin de plantear y estimar el aporte de nutrientes por contaminación difusa en la cuenca del Arroyo Napaleofú.

## AGRADECIMIENTOS

A mi esposo, Mauricio, por cada minuto compartido, por ser mi chofer, muestreador, medidor, asador, en la mayoría de mis viajes a Tandil. Porque cada día encuentra nuevos desafíos para incentivarme a seguir contra todas las dificultades.

A mis hijos, Manuel y Gonzalo, por ser mi fortaleza y aceptar que mamá les quitó horas de atención porque “está haciendo la tesis”.

A mi directora, Pachi, por ayudarme, alentarme, incentivarme, acompañarme, explicarme mil veces, retarme, insistirme y ser una gran persona con tiempos extras siempre para mí...

A mi madre, Lola, que sigue buscando y encontrando “cosas para hacer”, que la mantienen activa, feliz y con proyectos nuevos.

A mi co-director, Gabriel por la claridad de sus conceptos y por su generosidad.

A mi compañera Gabriela, por el apoyo y las horas de mate discutiendo trabajos.

A mi compañero Alfonso, por sus cuestionamientos y preguntas, que me obligan a repensar las cosas y por su paciencia para explicarme cada vez.

A mi amiga, Vero, por su paciencia química

A los profesores, Adonis Giorgi, Lia Solari y Delia Bauer que generosamente me brindaron sus conocimientos.

A mi compañero de trabajo, Guillermo, por acompañarme en los muestreos.

## BIBLIOGRAFIA

- AENOR. 1997. Recopilación de Normas UNE. Medio Ambiente. Tomo 1: Calidad del Agua. Madrid: Asociación Española de Normalización y Certificación. 205 pp.
- Aguayo M., Pauchard, A., Azócar, G. y O. Parra. 2009. Cambio del uso del suelo en el centro sur de Chile a fines del siglo XX. Entendiendo la dinámica espacial y temporal del paisaje. *Revista Chilena de Historia Natural* 82: 361-374.
- ALVES, I; El-Robrini, M.; Souza Santos, M.; de Moura Monteiro, S.; Barbosa, L.; y J. Guimarães. Qualidade das águas superficiais e avaliação do estado trófico do Rio Arari (Ilha de Marajó, norte do Brasil). 2012. *Acta Amaz.* 42 (1): 115-124 pp. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672012000100014>
- American Public Health Association (APHA) 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20 th edition. Ed American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Washington DC. 1200 pp
- Arcos Pulido M., S. L. Ávila de Navia, S. M. Estupiñán Torres, A. C. Gómez Prieto. 2005. Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. *NOVA* 3 (4): 1-116 pp
- BGS/ODA/UEP/WHO. 1996. Characterization and assessment of groundwater quality concerns in Asia Pacific Region. Doc. UNEP/DEIA/AR.96-1. Nairobi. 56 pp.
- Camacho, A.; M. Giles; A. Ortegón; M. Palao; B. Serrano y O. Velázquez. 2009. Técnicas para el análisis microbiológico de alimentos. 2° Ed. Facultad de Química. UNAM. Mexico. 17 pp. <http://es.slideshare.net/tranzitasdf/tecnic-basicas-coliftofecalesecolinmp6529>
- Campos Pinilla C., 2003. Capítulo 20: Indicadores de contaminación fecal en aguas. En: Agua potable para comunidades rurales, reuso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas. Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua y Centro Interamericano de Recursos del Agua, Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma del Estado de México. Editores: Díaz Delgado C., Fall C., Quentin E., Jiménez Moleón M.C., Alberich M.V.E., Garrido Hoyos S.E., López Vázquez C.M. y García Pulido D. Libro Digital. <http://tierra.rediris.es/hidrored/eBooks/ripda/> pp.224-229.
- Carlson, R. 1977. A trophic state index for lakes. *ASLO*. 22(2): 361-369 University of Wisconsin Press, Madison
- Carlson R. E., J Simpson. 1996. A Coordinator's Guide to Volunteer Lake Monitoring Methods. North American Lake Management Society. 96 pp
- Carpenter S. R., N. F. Caraco, D. L. Correll, R. W. Howarth, A. N. Sharpley, V. H. Smith Source. 1998. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological Applications*. 8 (3): 559-568.

- Carrillo Castro A. y R. Villalobos Alcazar. 2011. Análisis comparativo de los índices de calidad del agua (ica) de los ríos Tecolutla y Cazonen en el periodo marzo diciembre 2010. Edit. Universidad Veracruzana. Mexico. 86 pp.  
<http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/29483/1/CarrilloCastroyVillalobosAlcazar.pdf>
- Castor Alves, I.; El-Robrini, M.; Souza Santos M.; Monteiro, S.; Leandro Patrick Ferreira Barbosa, L. y F. Guimaraes. 2012. Qualidade das águas superficiais e avaliação do estado trófico do Rio Arari (Ilha de Marajó, norte do Brasil). Acta amazónica. vol 42(1): 115 – 124
- Chuvieco, E. 2000. Fundamentos de teledetección espacial. Ediciones RIALP, S. A. Madrid. 568 p.
- CIMA/CONICET Hidroestructuras SA, 2007. Secretaria de Ambiente y Desarrollo sustentable de la Nación. Presentación del Informe Final de la Segunda comunicación Nacional. Dirección de Cambio Climático. 113 pp.  
[http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/UCC/File/vulnerabilidad\\_zona\\_pampa\\_bonaerense.pdf](http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/UCC/File/vulnerabilidad_zona_pampa_bonaerense.pdf)
- Clark Labs. 2009. IDRISI Taiga®. , Clark University. Worcester. USA.
- COHIFE. 2003. Principios rectores de política hídrica de la República Argentina. 14 pp.
- Cole, G. 1988. Manual de limnología. Edit Hemisferio Sur. Buenos Aires. 405 pp.
- Contreras, E. F. 1994. Manual de Técnicas hidrobiológicas. Editorial Trillas. Mexico D.F. 140 pp.
- Dalla Salda, L; L. Spalletti; D. Poiré; R. de Barrio; H. Echeveste y A. Benialgo. 2006. Tandilia. INSUGEO. Ser. correl. Geol. 21(1): 17-46. Tucumán.
- Eastman, J. R. 2009. Idrisi Taiga Tutorial. Clark Labs, Clark University, USA. 333 p.
- Echeverria, C; D. Coomes; J. Salas; J. Rey-Benayas y A. Lara. 2006. Rapid deforestation and fragmentation of Chilean temperate forest. Biological Conservation 130: 481 – 494. FAO 1988. Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas en América Latina. Santiago de Chile. 36 pp.
- EPA. 2000. Nutrient criteria technical guidance manual-lakes and reservoirs. Office of Water & Office of Science and Technology, U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC, EEUU. EPA822-B00-001. 228 pp.
- Escobedo Urías D., M. T. Hernandez-Real. 2011. Calidad bacteriológica del sistema lagunar de San Ignacio-Navachiste, Sinaloa. Rvta Ciencia y Mar N° 9: 17-27- Oaxaca México
- Etter Andres. 1991. Introducción a la ecología del paisaje: un marco de integración para los levantamientos ecológicos. IGAC. Bogotá. 96 pp.
- Falkenmark, M., T. Chapman. (eds). 1989. Comparative hydrology. An ecological approach to land and water resources. Paris. UNESCO. 479 pp.
- FAO. 1996. Control of water pollution from agriculture. Preparado por Ongley E.D. FAO Irrigation and Drainage Paper N°55

Fernández G., S Valenzuela, R. Castronovo, S. Ricci, A. Dillon y A. Ramos. 2008. El patrimonio geológico-minero como recurso para crear rutas turísticas en el sistema de Tandilia, Argentina. *Re Metallica*, 10-11, 2008 pp. 81-90. © Sociedad Española para la Defensa del Patrimonio Geológico y Minero

Fernandez, N., Ramos, G. y F. Solano. 2003. ICATEST v 1.0<sup>®</sup>. Una Herramienta informática para el análisis y valoración de la calidad del agua. *Bistua* 2(2): 88 – 97 pp. Colombia.

Fernandez Parada, N.J. y F. Solano Ortega. 2005. Indices de Calidad y de Contaminación del Agua, pág. 43. Página web:

[http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home\\_10/recursos/general/pag\\_contenido/libros/05082010/libros.jsp](http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_10/recursos/general/pag_contenido/libros/05082010/libros.jsp)

García Ruiz R.; G. Parra; F. Guerrero y J. Lucena. 2001. Sedimentation and phosphorus fractions and temporal variation in the C:P ratio in La Concepción reservoir, southern Spain. *New Zeal J Mar Fresh* 35: 711-723 pp.

Gaspari, F.J.; Senisterra, G.E.; Delgado, M.I.; Rodríguez Vagaría, A. y S. Besteiro. 2009. Manual de Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas. Primera Edición. La Plata. 321 pp.

Gaspari, F.J.; Rodríguez Vagaría, A.; Senisterra, G.E.; Delgado, M.I.; y S. Besteiro. 2013. Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas. Edulp. Primera Edición. La Plata. 191 pp.

Glatstein, D.; T. Pilan; R. Bazan; N. Larrosa; F. Cerminato; P. O' Mill; H. Muratore y F. Reuter. 2010. Indices de calidad de agua de los principales tributarios del Embalse Río Hondo. *Ciencia*. 5 (20): 75-86.

Gonzalez, I. 2007 Universidad de Los Andes. Tesis. 133 pp. [http://tesis.ula.ve/pregrado/tde\\_arquivos/8/TDE-2007-05-29T03:42:35Z-281/Publico/Ismar%20Gonzalez.pdf](http://tesis.ula.ve/pregrado/tde_arquivos/8/TDE-2007-05-29T03:42:35Z-281/Publico/Ismar%20Gonzalez.pdf)

Gonzalez Melendez, V., Caicedo Quintero, O., Aguirre Ramirez, N. 2013. Aplicación de los índices de calidad de agua NSF, DINIUS y BMWPH. *Rvta Gestión y Ambiente* 16 (1): 97 – 108. Colombia

Hach. Test kit test 146900 (OX2P). Página web: <http://es.hach.com/dissolved-oxygen-test-kit-model-ox-2p/product?id=25116630603&callback=pf>

Hach. Test kit test 2428700 (NI-SA). Página web: <http://www.hach.com/nitrogen-ammonia-test-kit-model-ni-sa/product?id=7640220995>

Hach (Test Kit Orthophosphate 224800 (PO-19). Página web: <http://www.hach.com/phosphorus-orthophosphate-reactive-test-kit-model-po-19/product-details?id=7640214958>

Hach. Test KIT Nitrato – nitrito (NI-12). Página web: <http://latam.hach.com/kit-de-prueba-de-nitrato-nitrito-modelo-ni-12/product-downloads?id=16076382223>

Hämmerly R. et al. 2006. Modelación hidrológica con SIG. Contribuciones en su difusión y aplicación. Universidad Nacional del Litoral. 34 pp.

Hanna, modelo Checker®HC HI 706. Página web: <http://shop.hannainst.com/hi706-phosphorus-hr.html?id=030011&ProdCode=HI%2520706>

ICA. 2010. Capítulo I. La calidad del agua. Valoración y monitoreo. Universidad de Pamplona. Colombia. 24 pp.

[http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home\\_10/recursos/general/pag\\_contenido/libros/06082010/icatest\\_capitulo1.pdf](http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_10/recursos/general/pag_contenido/libros/06082010/icatest_capitulo1.pdf)

INDEC. 2010. Página Web: <http://www.censo2010.indec.gov.ar/>

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, INTA. 1986. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. Aptitud y uso actual de las tierras argentinas. Estudios para la implementación de la reforma impositiva agropecuaria. Proyecto PNUD. Argentina 85/019 Área edafología. 32 pp.

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. INTA 1989 Mapa de suelos de la Provincia de Buenos Aires. Escala 1:50000. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. Versión Digital

INVEVAR. 2003. Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros físicoquímicos y contaminantes marinos (aguas, sedimentos y organismos). Disponible en <http://www.invevar.org.co/redcostera1/invevar/docs/7010manualTecnicasanaliticas..pdf>. Dato

obtenido el día 25/11/11. ISO 5667: 1. 1989. Calidad del agua. Muestreo. Parte 1: Guía para el diseño de los programas de muestreo.

IRAM 1996. Norma 29012-2. Muestreo. Directivas generales sobre técnicas.

IRAM 1996. Norma 29012-3. Muestreo. Parte 3: Guía para la preservación y manipulación de las muestras.

ISO 5667: 1. 1980. Calidad del agua. Muestreo. Parte 1. Guía general para el diseño de programas de muestreo.

ISO 5667: 2. 1991. Calidad del agua. Muestreo. Parte 2. Guía para las técnicas de muestreo.

ISO 5667: 3. 1994. Calidad del agua. Muestreo. Parte 3. Guía para la conservación y manipulación de las muestras.

ISO 5667-6. 1995. Calidad del agua. Muestreo. Parte 6: Directrices para el muestreo de los ríos y arroyos

Kiely, G. 1999. Ingeniería ambiental: fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión. Edit. McGrawHill. Madrid. 1360 pp.

Kiersch, B. 2002. Relación tierra-agua en cuencas hidrográficas rurales. Boletín de tierras y agua de la FAO N°9 pp. 49 - 57 Rome.

Lamparelli, M. C. 2004. Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento. São Paulo: USP/ Departamento de Ecologia., 2004. 235 f. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, 2004. 221 pp.



Lampert y Sommer. 1997. Limnology. The ecology of lakes and streams. Oxford. University Press. Oxford. 382 pp.

Lassaletta Coto L. 2003. Flujos superficiales de nutrientes en las aguas fluviales por un problema de contaminación agraria difusa. Exposición de un caso práctico. I Jornadas Técnicas de Ciencias Ambientales. 3 al 14 de Noviembre. Madrid. 11 pp.

Limnología. 2010. Apuntes de cátedra. Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Universidad Nacional de La Plata. Disponible en página Web: <http://www.fcnym.unlp.edu.ar/catedras/limnologia/tps/TP19.pdf>.

Lopretto, E. C. y G. Tell (dir.). 1995. Ecosistemas de aguas continentales. Métodos para su estudio, Tomos I, II y III. Ediciones Sur, 1401 pp.

Martino, Paloma. 1989. Curso básico sobre eutroficación. Centro Panamericano de Ingeniería y Ciencias del Ambiente. CEPIS. 72 pp. Disponible en página Web: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/020465.pdf>

Mazzucchelli, M.G; Senisterra, G.E. y F.J. Gaspari. 2014. Evaluación de la variación del NDVI en la Cuenca del Arroyo Napaleofú en el Sudeste Bonaerense. Séptimo Congreso de la Ciencia Cartográfica. 19 al 21 de noviembre de 2014. Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

Mikkelsen, C. A.; M. Sagua; M. Tomás y H. Massone. 2013. Dinámica socio-territorial de las localidades menores en el Corredor Mar del Plata-Tandil (CMT). Revista Estudios Ambientales, 1 (1): 67 – 84 pp. Publicación digital del CINEA. En: <http://revistas.ojs.es/index.php/estudios-ambientales>

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. 2011 Informe semanal al 03/03/2011. Cultivos. <http://www.globalagro.com.ar/upload/110303%20Informe%20semanal%2003-Mar-11.pdf>

Mondaca J. y A. Campos. 2003. Riesgo de enfermedades transmitidas por el agua en zonas rurales. in Agua potable para comunidades rurales, reuso y tratamientos avanzados de aguas residuales domesticas. RIPDA- MÉXICO, CYTED ©CYRA-UAEM. 269 pp.

Moreno Franco, D.; J. Quintero Manzano y A. López Cuevas. 2010. Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia. ContactoS 78, 25–33 . Mexico D. F:

Nadal, F.; Brandalise, V.; Rodríguez, M.I ; Larrosa, N. ; Ruiz, M. ; Halac, S. ; Olivera, P. 2012. Evaluación y valoración de la calidad del agua del embalse San Roque (Córdoba) para uso recreativo. IV Congreso de Internacional Sobre Gestión y Tratamiento Integral del Agua, 14 al 16 de noviembre de 2012, Córdoba, Argentina. 12 pp.

OMS. 1975. Proyecto PNUMA/OMS/UNESCO/OMM sobre el monitoreo mundial de la calidad del agua. Guía operativa GEMS/AGUA. Capitulo I. (traducido por CEPIS 1983) 201 pp.

Ongley, E. D. 1997. Lucha Contra la Contaminación Agrícola de los Recursos Hídricos. Estudio FAO Riego y Drenaje – 55. Roma 116 pp.

- O.P.D.S. 2012. Plan de Manejo Ambiental Ley N° 14126. Partido de Tandil. Paisaje protegido de interés provincial Área del Partido de Tandil denominada "La Poligonal". Inédito.
- Pesce S. y D. Wunderlin. 2000. Use of wáter quality índices to verify the impact of Cordoba city (Argentina) on Suquia river. *Wat. Res.* 34 (11): 2915 – 2926. Great Britain
- PNUMA. 2003. GEO América Latina y el Caribe. Perspectivas del medio ambiente. Costa Rica. 242 pp.
- Portela S.; Andriulo A.; MC Sasal, M.; Mary, B. Y E. Jobbágy. 2006. Fertilizer vs. organic matter contributions to nitrogen leaching in cropping systems of the Pampas: 15N application in field lysimeters. *Plant and Soil.* 289:265-277 PP.
- Reynolds C. 1984. The ecology of freshwater phytoplankton. Cambridge University Press, Cambridge, 384 pp.
- Riding S. y W. Rast. 1992. El control de la eutrofización en lagos y pantanos. Edit. Pirámide. Madrid. 375 pp.
- Rodier, J.1981. Análisis de las Aguas. Aguas naturales, aguas residuales y agua de mar. Ediciones Omega. Barcelona-España. 148 pp.
- Rodriguez C. 2014. Evaluación ambiental del uso y gestión del agua subterránea en el partido de Tandil. Pautas para su gestión sustentable, Tesis doctorado en Ciencias Naturales. Facultad de Ciencias Naturales y Museo. UNLP. 212 pp.
- Roldán Perez, G.; J.J. Ramirez Restrepo. 2008. Fundamentos de limnología tropical. Edit Universidad de Antioquía. Colombia. 440 pag.
- Sala, J.; Kruse, E. y R. Aguglino. 1987. Investigación hidrológica de la cuenca del arroyo Azul, provincia de Buenos Aires. Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, La Plata, Argentina. Informe 37. 325 pp.
- Sanchez, R. O. 2009. Ordenamiento territorial. Bases y estrategia metodológica para abordar la ordenación ecológica y ambiental de tierras. Orientación Gráfica Edit. Buenos Aires. Argentina. 1° ed. 266 pp.
- Saxton, K. y W. Rawls. 2006. Soil water characteristic estimates by texture and organic matter for hydrologic solutions. *Soil and Water Management and Conservation. Soil Sci. Soc. American Journal.* 70: 1569-1578. USA
- Schwoerbel J. 1975. Métodos de hidrobiología: biología del agua dulce. Edit Blume. 262 pp.
- SEMARNAT. 2005. Indicadores básicos del desempeño ambiental de México: 2005. México, D.F. 337 pp.
- Senisterra, G., Rodríguez Vagaría, A., Gaspari, F., Mazzucchelli, G. 2014a. Aspectos morfométricos de la cuenca alta del arroyo Napaleofú, provincia de Buenos Aires-Argentina. *Revista Geográfica Venezolana*, Vol. 55(2) 2014, 287-303. ISSN 1012-1617.

Senisterra, G.E, Gaspari, F.J. y M.G. Mazzucchelli, M.G. 2014b. Análisis espacio temporal del cambio de uso del suelo en una cuenca Serrana de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. Séptimo Congreso de la Ciencia Cartográfica. 19 al 21 de noviembre de 2014. Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

Servicio Nacional de Estudios Territoriales. SNET. 2004. Índice de calidad de agua general "ICA". Página Web: <http://www.snet.gob.sv/Hidrologia/Documentos/calculoICA.pdf>

Silva Busso, A. A. y Amato, S. D., 2012. Aspectos hidrogeológicos de la región periserrana de Tandilia (Buenos Aires, Argentina). Boletín Geológico y Minero, 123 (1): 27-40 pp.

Subsecretaría de Recursos Hídricos SSRH. 2015. Página Web: <http://www.hidricosargentina.gov.ar/>

Tapia Aldas J.C. 2012. Modelización hidrológica de un área experimental en la cuenca del río Guayas en la producción de caudales y sedimentos. Tesis Magister en Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas; Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. UNLP. 239 pp.

Tchilinguirian, P; Tello, N.; Cavallaro, S. y C Fratolocchi. 2004. Boletín N° 341. Carta de Línea de Base Ambiental 3760-IV. Tandil. Servicio Geológico Minero Argentino. Instituto de Geología y Recursos Minerales Instituto de Geología y Recursos Minerales. Dirección de Geología Ambiental Aplicada. 115 p.

Tricart, J. 1973. Geomorfología de la Pampa Deprimida. INTA, Colección Científica, 12: 202 p., Buenos Aires.

Valcarcel Rojas L., N. Alberro Macías y D. Frías Fonseca . 2009. El índice de calidad de agua como herramienta para la gestión de los recursos hídricos. Cub@: Medio Ambiente y Desarrollo. Revista electrónica de la Agencia de Medio Ambiente, Año 9, No.16, La Habana, Cuba.

Valenzuela, E.; R. Godoy, L. Almonacid y M. Barrientos. 2012. Calidad microbiológica del agua de un área agrícola ganadera del centro sur de Chile y su posible implicancia en la salud humana. Revista Chilena de Infectología. 29 (6): 628 – 634 p.

Vazquez-Amabile, G.; Ricca, A; Rojas, D.; Cristos D.; Ortiz de Zarate, M.; Bosch, N.; Lascombes, J.; Pons, D.; Rodriguez-Vagaria, A.; Gaspari F.; Feler, M; Mercuri, P.; Flamenco, E. y M- Feiguin. 2013. NPS pollution analysis in groundwater and streams of rural watersheds in western and southeastern Pampas, Argentina. 2013 ASABE Annual International Meeting. Missouri 21-24 Julio 2013.

Vazquez-Amabile, G.; Ricca, A; Rojas, D.; Cristos D.; Ortiz de Zarate, M.; Pellisier, G.; Bosch, N.; Pons, D.; Feler, M; Rodriguez-Vagaria, A y F.Gaspari. 2014. Análisis de agroquímicos y nitratos en cursos y aguas subterránea de cuencas rurales del oeste y sudeste de Buenos Aires. II Congreso Internacional de Hidrología de Llanuras - Santa Fe. Universidad Nacional del Litoral.

Vázquez, P. y L. Zulaica,. 2011. Cambios en el uso de la tierra en el partido de Tandil y principales impactos ambientales. Párrafos geográficos, Vol 10 (2)242 - 267 Instituto Geográfico de la Patagonia. Facultad de Humanidades y Ciencias Sociales de la Universidad de la Patagonia San Juan Bosco.

Von Johnn Navarro, S. B. 2006. Calidad bacteriana del agua del río Lollehue de la X región de Chile. Tesis de grado de la Facultad de Ciencias de la Universidad Austral de Chile. Valdivia. Chile. 74 pp. Página web: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2006/fcj.65c/sources/fcj.65c.pdf>

## Anexo 1.

### Materiales y Métodos - Capítulo 4.

Los principios de cada parámetro analizado, el procedimiento de toma de muestra y de análisis se presentan a continuación, considerando que los kits colorimétricos que permitieron el cumplimiento de los objetivos de esta tesis, se seleccionaron teniendo en cuenta las interferencias presentes, la precisión deseada y en algunos casos la comodidad o la conveniencia de muestreo (APHA, 1998).

El procedimiento para la utilización de los kits colorimétricos es similar para nitrato, amonio y ortofosfato, con diferencias propias respecto a los tiempos de reacción o a la inclusión de uno o más reactivos. En general (Figura 1), con la muestra recogida se enjuaga un tubo de ensayo, se toma una cuota de la muestra y se le añade el sobre del reactivo (Figura 1.A); se agita el tubo para lograr una mezcla homogénea (Figura 1.B) y se deja en reposo el tiempo necesario para que se complete la reacción. Por otro lado, en otro tubo de ensayo, se toma otra cuota de la muestra y se ubican (la muestra tratada y la testigo) en el comparador a derecha e izquierda respectivamente (Figura 1.C). Finalmente se observa visualmente bajo una fuente de luz girando el disco comparador hasta coincidir los colores en ambas ventanas (Figura 1.D).

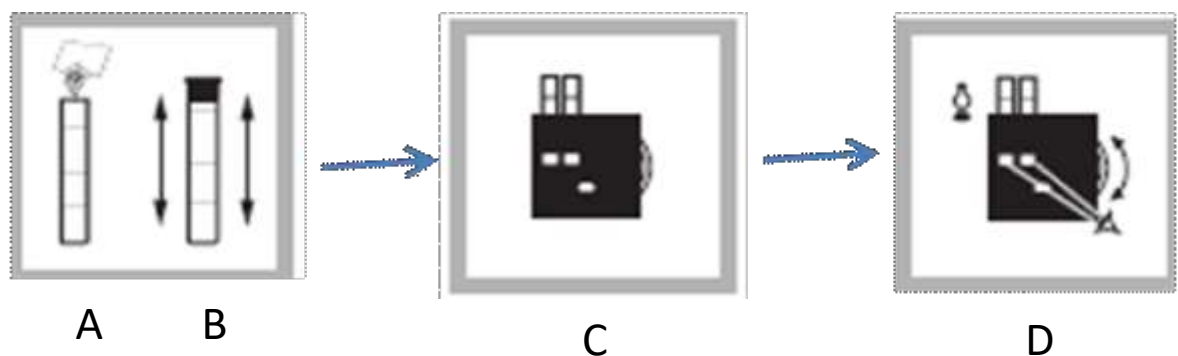


Figura 1: Procedimiento de análisis con kit colorimétrico.

Fuente: Manual de procedimientos Hach.

## 1) pH

### PRINCIPIO

El agua pura químicamente está disociada en  $H^+$  y  $OH^-$ , por partes iguales, valiéndose la disociación a 22 °C, 10-14 g / l (Schwoerbel, 1975; Cole, 1988). Cuando los dos iones están en igual concentración, el agua es neutra, mientras que si la concentración de  $H^+$  es mayor que la de  $OH^-$ , el agua es ácida y básica cuando la concentración de  $OH^-$  es mayor que la de  $H^+$ . Todo esto se expresa por medio del pH, que es el logaritmo negativo de la concentración de hidrogeniones. El agua con un valor de pH de 7 es neutra, entre 7 y 14 es alcalina y por debajo de 7 es ácida (Schwoerbel, 1975).

El pH de las aguas naturales está generalmente gobernado por el equilibrio dióxido de carbono – bicarbonato y yace en un rango entre 4,5 y 8,5. Está afectado por sustancias húmicas, por cambios en el equilibrio carbonato debido a la bioactividad de las plantas y en algunos casos por sales hidrolizables (OMS, 1975). Por otro lado, el pH puede influenciar otros aspectos de la dinámica de los cursos de agua así como causar la liberación de compuestos y elementos tóxicos presentes en los sedimentos en el agua y también influir en la disponibilidad de nutrientes en el agua para los vegetales, tales como fosfato, amoníaco, hierro y metales traza.

El pH del agua también es importante para los organismos acuáticos porque necesitan para su crecimiento óptimo y supervivencia vivir en un ambiente dentro de un cierto rango de pH. Aunque cada organismo tiene un pH ideal, la mayoría de los organismos acuáticos prefieren el rango de pH entre 6,5 a 8,0. Fuera de este rango, los organismos se estresan fisiológicamente pudiendo incluso morir si el pH se aleja demasiado de su rango óptimo.

### TOMA DE MUESTRAS Y PROCEDIMIENTO:

La medición del pH se realizó en cada uno de los Sitios de muestreo con tiras reactivas Merck, que tienen una exactitud de 0,5 unidades. Esta determinación se basa en el principio de que ciertos compuestos cambian de color según la reacción del agua con ellos. (Schwoerbel, 1975).

## 2) TEMPERATURA (T°)

### PRINCIPIO

La temperatura es una variable física que influye notablemente en la calidad de un agua. La temperatura del agua es importante para el desarrollo de diversos procesos que se producen en ella. Un aumento de la temperatura modifica la solubilidad de ciertas sustancias, aumentando por ejemplo la de los sólidos disueltos y disminuyendo la de los gases. Afecta también la cinética de las reacciones

químicas y bioquímicas, el desplazamiento de los equilibrios químicos, como por ejemplo el equilibrio dióxido de carbono – bicarbonato – carbonato, la tensión superficial y el desarrollo de los organismos presentes en el agua. La actividad biológica aproximadamente se duplica cada diez grados (ley del Q10), aunque superado un cierto valor característico de cada especie viva, tiene efectos letales para los organismos.

#### TOMA DE MUESTRAS Y PROCEDIMIENTO:

La medición de la temperatura se realizó en cada uno de los Sitios de muestreo con termómetro de alcohol.

### 3) OXIGENO DISUELTO (OD)

#### PRINCIPIO

La metodología para análisis de oxígeno disuelto (OD) seleccionada fue la de Winkler o yodométrico (APHA, 1998; Rodier, 1981; INVEMAR, 2003). Es un procedimiento titulométrico basado en la propiedad oxidante del oxígeno disuelto (OD) y, el más exacto y fiable.

En líneas generales, se basa en la adición de solución de manganeso divalente seguido de álcali fuerte, a la muestra contenida en un frasco con tapón de vidrio. El OD oxida rápidamente una cantidad equivalente del precipitado disperso de hidróxido manganeso divalente, a hidróxidos con mayor estado de valencia. En presencia de iones yoduro, en solución ácida, el manganeso oxidado revierte al estado divalente, con liberación de yodo equivalente al contenido original de OD. Entonces se valora el yodo con una solución patrón de tiosulfato. (APHA, 1998)

#### PORCENTAJE DE SATURACIÓN:

Debido a la influencia de la temperatura en la solubilidad del oxígeno disuelto, conocer solo la medida del oxígeno no permite ver la oxigenación del agua en cuestión. Teniendo el dato de la temperatura del agua en el momento de la toma de muestra y la solubilidad del oxígeno mediante Tablas, se calculó el porcentaje de saturación mediante la Fórmula 1. (Lopretto y Tell, 1995).

$$\text{Porcentaje de saturación} = \frac{\text{Concentración de oxígeno en la muestra} \times 100}{\text{Solubilidad a la temperatura de la muestra}}$$

Fórmula 1

En la práctica se utiliza el nomograma de la Figura 2, en el que se ubica con una regla la temperatura a la que se midió el oxígeno (línea superior) y se une con el valor en mg/lit del contenido de oxígeno medido en el campo. El % de Oxígeno respectivo se podrá leer en la línea diagonal.

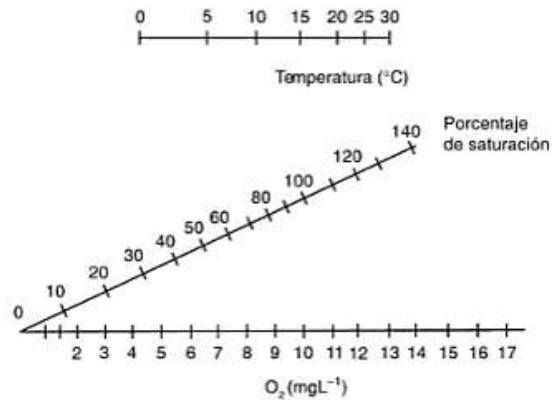


Figura 2: Nomograma para determinar % de saturación de oxígeno a partir de la temperatura y la concentración medida en campo.

Fuente: Roldán Perez, 2008

#### TOMA DE MUESTRAS:

Las muestras de agua superficial se recogieron en frascos de boca ancha de DBO de 60 ml de capacidad, con tapones de vidrio esmerilado, de forma apuntada y boca con reborde.

Las muestras fueron tomadas con extremo cuidado, sin agitar ni dejar en contacto con el aire para evitar que varíe el contenido gaseoso. Se llenó el frasco hasta rebalsar, manteniendo el exceso por aproximadamente unos 10 segundos, evitando la turbulencia y la formación de burbujas.

Se procedió al análisis de las muestras inmediatamente después de recogidas.

#### PROCEDIMIENTO

Se utilizó un kit HACH (Test Kit 146900 -Modelo OX2P-) para la medición del oxígeno disuelto, basado en los principios de la metodología de Winkler modificada. El rango de este método es de 0.2 a 4 mg/lit de OD y 1 a 20 mg/lit de OD

A la muestra recogida en el frasco de DBO de 60 ml, se le añadió un sobre de reactivo en polvo Nº 1 para oxígeno disuelto y un sobre de reactivo en polvo Nº 2 para oxígeno disuelto. Se tapó el frasco y se invirtió varias veces para disolver el reactivo. Se formó un precipitado de flóculos. El precipitado



parduzco o anaranjado indica la presencia de oxígeno. Se dejó que los flóculos se asentaran al fondo del frasco y una vez sucedido esto, se destapó el frasco y se añadió un sobre de reactivo N° 3 para determinar la presencia de oxígeno disuelto. Se tapó el frasco y se invirtió varias veces, los flóculos se disolvieron y la muestra se puso con distintas tonalidades de amarillo (de acuerdo a la variación en el contenido de oxígeno disuelto).

Se tomó una probeta de medición llena de muestra en otro frasco, guardando el resto de la muestra para realizar el análisis de rango bajo de concentración en caso que fuese necesario. Se añadió solución de tiosulfato de sodio de 0,0109 N estabilizada en gotas, contando cada una de las gotas hasta que la solución amarilla quedó incolora. Se agitó, con rotación, para mezclar la solución luego del agregado de cada gota (Hach, 2006). La cantidad de gotas equivale al resultado del análisis en mg/lit.

Posteriormente con los datos de oxígeno disuelto y los de temperatura se calculó, mediante nomograma, el porcentaje de saturación.

#### 4) NITRATO ( $\text{NO}_3^-$ )

##### PRINCIPIO

En el ciclo del nitrógeno, el ión nitrato es el estado más oxidado. Bajo condiciones oxidativas favorables, tiende a ser mayor su concentración frente a los demás iones del ciclo del nitrógeno por lo que su determinación favorece un análisis ecológico del sistema.

La metodología para análisis de nitrato seleccionada fue la de reducción con cadmio (APHA, 1998). Esta técnica colorimétrica se basa en la reducción del nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) casi cuantitativamente a nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) en presencia de cadmio (Cd). El  $\text{NO}_2^-$  así producido es determinado por la diazotización de la sulfanilamida acoplada con diclorhidrato N-(1-naftil)-etilendiamina para formar un colorante azo muy coloreado que es medido colorimétricamente.

##### PROCEDIMIENTO

Se utilizó un kit HACH (Test Kit 1416100 Nitrogen, Nitrate Color Disc Test Kit, Model NI-14) para la medición del nitrato como nitrógeno de nitrato ( $\text{NO}_3\text{--N}$ ), basado en los principios de la metodología de reducción con cadmio

El rango de este método es de 0 a 1 mg/L  $\text{NO}_3\text{--N}$  y 0 a 10 mg/L  $\text{NO}_3\text{--N}$

El procedimiento de determinación de nitrato es similar al descrito en general (ver Figura 4.1), con algunas excepciones. En primera instancia se agregó el reactivo en polvo NitraVer®. Se agitó y se

dejó reposar por 30 segundos. Las partículas sin oxidar del metal cadmio quedan en la muestra y se depositan en el fondo del tubo. Transcurrido el tiempo establecido, se pasó el agua de la muestra tratada a otro tubo de ensayo (con cuidado para que las partículas de cadmio queden en el primero), se le agregó un sobre de reactivo en polvo Nitrifer® y se volvió agitó por 30 segundos. En este momento, si hay nitrato presente en la muestra, ésta se tornará de un color rojizo. El tiempo de reposo para que se completara la reacción fue de 10 minutos.

Al valor de lectura que se observó en la ventana indicadora se lo multiplicó por 10 para obtener el valor de  $\text{N-NO}_3^-$  en mg/lit (nitrógeno de nitrato), y luego se lo multiplicó por 4,4 para obtener el valor de nitrato presente en la muestra.

### 5) AMONIO ( $\text{NH}_4^+$ )

#### PRINCIPIO

El amoníaco se encuentra en el agua en dos formas, amoníaco no ionizado ( $\text{NH}_3$ ) y el ion amonio ( $\text{NH}_4^+$ ). El primero es tóxico para los peces, mientras que el amonio no lo es (excepto a niveles muy altos). A un pH neutro y temperatura ambiente, casi todo el amoníaco existe como amonio. Con el aumento del pH y la temperatura, aumenta la proporción de  $\text{NH}_3$ . Así a un pH 7, la concentración de amoníaco será de 1%, mientras que a pH 8 es del 10%. El intervalo normal de la concentración de amonio varía de 1 a 50  $\mu\text{g} / \text{lit}$  de  $\text{N-NH}_4^+$ . (Contreras, 1994; Hach, 2006) (Tabla 1).

Tabla 1: Porcentaje de amoníaco a diferentes valores de pH y temperatura. Fuente: Hach. Test kit test 2428700 (NI-SA).

pH	Temperature °C								
	16	18	20	22	24	26	28	30	32
7.0	0.29	0.34	0.39	0.46	0.52	0.60	0.69	0.80	0.91
7.2	0.46	0.54	0.62	0.82	0.83	0.96	1.10	1.26	1.44
7.4	0.73	0.85	0.98	1.14	1.31	1.50	1.73	1.98	2.26
7.6	1.16	1.34	1.55	1.79	2.06	2.36	2.71	3.10	3.53
7.8	1.82	2.11	2.44	2.81	3.22	3.70	4.23	4.82	5.48
8.0	2.86	3.30	3.81	4.38	5.02	5.74	6.54	7.43	8.42
8.2	4.45	5.14	5.90	6.76	7.72	8.80	9.98	11.29	12.72
8.4	6.88	7.90	9.04	10.31	11.71	13.26	14.95	16.78	18.77
8.6	10.48	11.97	13.61	15.41	17.37	19.50	21.78	24.22	26.80
8.8	15.66	17.73	19.98	22.41	25.00	27.74	30.62	33.62	36.72
9.0	22.73	25.46	28.36	31.40	34.56	37.83	41.16	44.53	47.91
9.2	31.80	35.12	38.55	42.04	45.57	49.09	52.58	55.99	59.31
9.4	42.49	46.18	49.85	53.48	57.02	60.45	63.73	66.85	69.79
9.6	53.94	57.62	61.17	64.56	67.77	70.78	73.58	76.17	78.55
9.8	64.99	68.31	71.40	74.28	76.92	79.33	81.53	83.51	85.30
10.0	74.63	77.35	79.83	82.07	84.08	85.88	87.49	88.92	90.19
10.2	82.34	84.41	86.25	87.88	89.33	90.60	91.73	92.71	93.58

El amonio es la forma en que asimila el fitoplancton el nitrógeno y, es el compuesto que aparece primero en los procesos de metabolismo y descomposición de los organismos, por esta razón es

considerado un índice de la actividad biológica y, para algunos autores, un índice de contaminación (Contreras, 1994)

La metodología de análisis seleccionada fue la del salicilato. En este método, el amoniaco libre reacciona con el hipoclorito para formar monocloramina. La monocloramina reacciona con el salicilato, en presencia de sodio nitroferricianuro, para formar 5-aminosalicilato, un complejo de color verde. La intensidad del color resultante es proporcional a la concentración de amonio presente (Lopretto y Tell, 1995; Hach, 2006)

#### PROCEDIMIENTO

Se utilizó un kit HACH (Test Kit 2428700 Color Disc Test Kit, Model NI-SA) basado en los principios de la metodología del salicilato.

El rango de este procedimiento con el kit HACH es de 0 a 2,5 mg/lit como NH<sub>3</sub>-N.

Se siguió el procedimiento de la Figura 4. 1. A la muestra para analizar, se le añadió un sobre de reactivo en polvo de salicilato amonio, se tapó y agitó hasta la disolución completa. Se esperó 3 minutos y al mismo tubo se le agregó un sobre con cianurato y se dejó en reposo por espacio de 15 minutos. Finalmente, conociendo el porcentaje de NH<sub>3</sub> presente (Tabla 4.3), se determinó la cantidad de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> en la muestra, aplicando la Fórmula 2.

$$\text{mg/lit NH}_4^+ = \frac{\text{mg/l NH}_3\text{-N} \times (100 - \text{valor de tabla})}{100} \times 1,3$$

Fórmula 2

#### 6) SOLIDOS TOTALES (ST)

##### PRINCIPIO

El término sólido hace referencia a la materia suspendida o disuelta en un medio acuoso. Una de las características físicas más importantes del agua es el contenido total de sólidos, que incluye la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y la materia disuelta. Los sólidos disueltos pueden afectar negativamente la calidad del agua. Los sólidos totales incluyen los sólidos totales suspendidos, o porción de sólidos totales retenidos en un filtro, y los sólidos disueltos totales o porción que atraviesa el filtro (sales y residuos orgánicos). La determinación de sólidos disueltos totales permite estimar la cantidad de materia disuelta y en suspensión que lleva una muestra de agua (APHA, 1998).

##### TOMA DE MUESTRAS:

Las muestras de agua superficial se recogieron en bidones de plástico opaco. Se llenó el bidón, en dirección a la corriente, hasta rebalsar, tapándolo sin dejar cámara de aire. Las muestras se acondicionaron en heladera portátil y se procedió a la derivación al laboratorio del curso de análisis químico (Departamento Ciencias Exactas – FCAyF – UNLP) para su análisis posterior.

## PROCEDIMIENTO

Una metodología muy común para la determinación de sólidos totales en muestras de agua es la de desecación. Se basó en filtrar un volumen de agua conocido (100 ml es un volumen conveniente para agua dulce), bien mezclado. El residuo retenido se secó a un peso constante a 103 - 105°C. A continuación, se procedió a pesar el filtro. El aumento del peso del filtro representa la concentración de sólidos disueltos totales (APHA, 1998).

### 7) FÓSFORO TOTAL

#### PRINCIPIO

El fósforo total es una medida de todas las formas de fósforo, orgánico o inorgánico, disuelto o particulado, que pueden encontrarse en una muestra (EPA, 2000).

El fósforo total fue determinado por medio de un fotómetro monoparamétrico de bolsillo, marca HANNA modelo Checker®HC HI 706, el cual realiza la medición de fósforo total de acuerdo a una adaptación del método de Aminoácido del Standard Methods (APHA, 1998). (Hanna, modelo Checker®HC HI 706). El principio del método seleccionado es llevar a cabo una hidrólisis de fosfatos condensados y la oxidación de los fosfatos orgánicos con persulfato de sodio. (Contreras, 1994)

El fotómetro realiza determinaciones en el rango entre 0 y 15 mg/l de fósforo, con una resolución de 0,1 mg/l y una precisión +/- 5 % de lectura o +/- 0.2 mg/l (Hanna, modelo Checker®HC HI 706)

#### PROCEDIMIENTO

Previo al análisis se filtraron las muestras con filtro de fibra de vidrio Whatman® GF/F de 0,45 µm de diámetro de poro.

A partir de la muestra recogida se tomó en la cubeta de determinación una cuota de 10 ml de muestra para la realización del testigo y en otra cubeta se agregaron 10 ml de muestra a la que se le añadieron 10 gotas del reactivo HI 706 a y un sobre de reactivo en polvo HI 706 b. Se agitó la cubeta hasta mezclar y se dejó reposar.

Con la muestra testigo (sin tratar), se realizó el blanco, se seteó el fotómetro, se colocó la muestra tratada y se midió. El display mostró el valor de fósforo total de la muestra (Figura 3).



Figura 3: Fotómetro monoparamétrico y procedimiento de análisis.

Fuente: Manual de procedimientos Hanna.

## 8) ORTOFOSFATO (PO<sub>4</sub><sup>-</sup>)

### PRINCIPIO

La elección del método depende considerablemente de su concentración. Se seleccionó el método del ácido ascórbico porque es el más adecuado para un rango de concentración de 0,01 a 6 mg P/lit (APHA, 1998). El método del ácido ascórbico fue desarrollado por Murphy y Riley (1962) y es el recomendado por Strickland y Parsons (1968). Por otra parte, en este método el error dado por la salinidad es insignificante y el color desarrollado por el complejo es más estable (Contreras, 1994).

El principio de esta técnica consiste en la reacción del ortofosfato con el molibdato de amonio y el tartrato de antimonio y potasio para formar un complejo, el cual es reducido por el ácido ascórbico dando lugar al azul de molibdeno, color que es proporcional a la concentración de ortofosfato (Lopretto y Tell, 1995).

### PROCEDIMIENTO

Se utilizó un kit HACH (Test Kit Orthophosphate 224800 (PO-19) para la medición del ortofosfato.

El rango de este método es de 0 a 1 mg/lit PO<sub>4</sub>, 0 a 5 mg/lit PO<sub>4</sub> y 0 a 50 mg/lit PO<sub>4</sub>.

La metodología de procedimiento siguió la explicada en forma general (Figura A. 1) con la diferencia que el tiempo de reacción fue de 5 minutos

Se dividió la lectura de la ventana por 10 para obtener los mg/lit de fosfato.

## 9) COLIFORMES TOTALES - COLIFORMES FECALES

### PRINCIPIO

Para el análisis de los coliformes se aplicó la técnica de fermentación en tubos múltiples o método del Número Más Probable (NMP). Se fundamenta en la capacidad de este grupo microbiano de fermentar la lactosa con producción de ácido y gas al incubarlos a 35°C durante 48 hs, utilizando un medio de cultivo que contenga sales biliares (APHA, 1998).

La cuantificación clásica se realizó por medio de un método estadístico denominado del número más probable (NMP). Se basa en el concepto de que una o más bacterias inoculadas en el medio de cultivo adecuado, producen una población que se evidenciará dando un resultado positivo (en el caso de las coliformes turbidez en el medio y gas en la campana de Durham) (Lopretto y Tell, 1995).

### TOMA DE MUESTRAS:

La toma de muestras para análisis microbiológicos requiere de algunas consideraciones particulares. Los frascos utilizados se mantuvieron cerrados hasta el momento de llenarlos. La toma de muestras se hizo sosteniendo el frasco estéril cerca de su base con una mano, se sumergió boca abajo, se destapó bajo el agua y se giró hasta que el cuello apuntó hacia arriba, con la boca dirigida hacia la corriente. Se destapó el recipiente y se llenó hasta 2/3 partes y, dejando cámara de aire se tapó y se retiró. Se conservó en heladera portátil con hielo hasta derivarlo al laboratorio Mar y sierras de Tandil en una oportunidad y la segunda vez se derivó al laboratorio Lister Gema, habilitado por Resolución 504/01 de OPDS para su análisis (APHA, 1998).

### PROCEDIMIENTO

El procedimiento se describe bibliográficamente a partir del Standard Methods (APHA, 1998) de acuerdo a la técnica utilizada por el laboratorio analista.

Las bacterias en el agua no se distribuyen de manera homogénea. Al realizar diluciones de la muestra e inocular una serie de tubos con cada una de ellas, se obtienen series con todos resultados positivos, otras con positivos y negativos y otras series con resultados negativos. Para obtener resultados válidos, se deben sembrar alícuotas apropiadas de la muestra para lograr que la primera serie de tubos (inoculados con la dilución más baja) presente todos resultados positivos, y la última (tubos inoculados con mayor dilución) todos negativos.

La técnica estándar consiste en sembrar tres serie de tubos con caldo lauril triptosa (CLT) con 10, 1 y 0,1 ml de la muestra. Para ello se preparan tubos con 10 ml de CLT de doble concentración que, con el agregado de la muestra, llegan a la concentración normal (Figura 4).

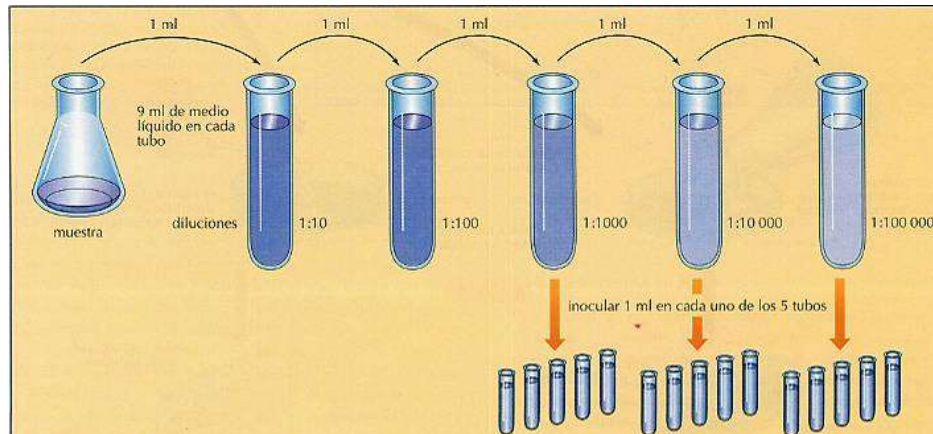


Figura 4: Diluciones de la muestra de agua superficial.

Fuente: <http://bagginis.blogspot.com.ar/2014/07/guia-practica-del-laboratorio.html>

El método consta de dos fases, una presuntiva y otra confirmativa.

Fase presuntiva: el medio de cultivo que se utiliza es el caldo lauril triptosa (CLT) el cual permite la recuperación de los microorganismos dañados que se encuentren en la muestra y que sean capaces de utilizar a la lactosa como fuente de carbono. Se inocula y se incuba a 35°C por 24 – 48 hs. El desarrollo de bacterias que atacan la lactosa con producción de gas se evidencia por el enturbiamiento del medio de cultivo y por la acumulación de gas en un tubo de vidrio invertido (campana de Durham) incluidos en el tubo de ensayo. Como existen algunas bacterias gram positivas que pueden producir esta reacción, este resultado se debe confirmar.

Fase confirmativa: Una porción de CLT positivo se inocula en un tubo de caldo lactosado bilis verde brillante (CLVBB), el cual es selectivo y solo permite el desarrollo de coliformes. La producción de turbidez y gas en 24-48 hs, confirma la presencia de los coliformes totales (Figura 5).

La confirmación de coliformes fecales se realiza a partir de los tubos positivos de la prueba presuntiva. Se inocula una porción de CLT positivo en un tubo de caldo EC y se observa la producción de



turbidez y gas en un período de 24 hs a una temperatura de 44.5 °C (Figura 5 - Prueba de alta temperatura).

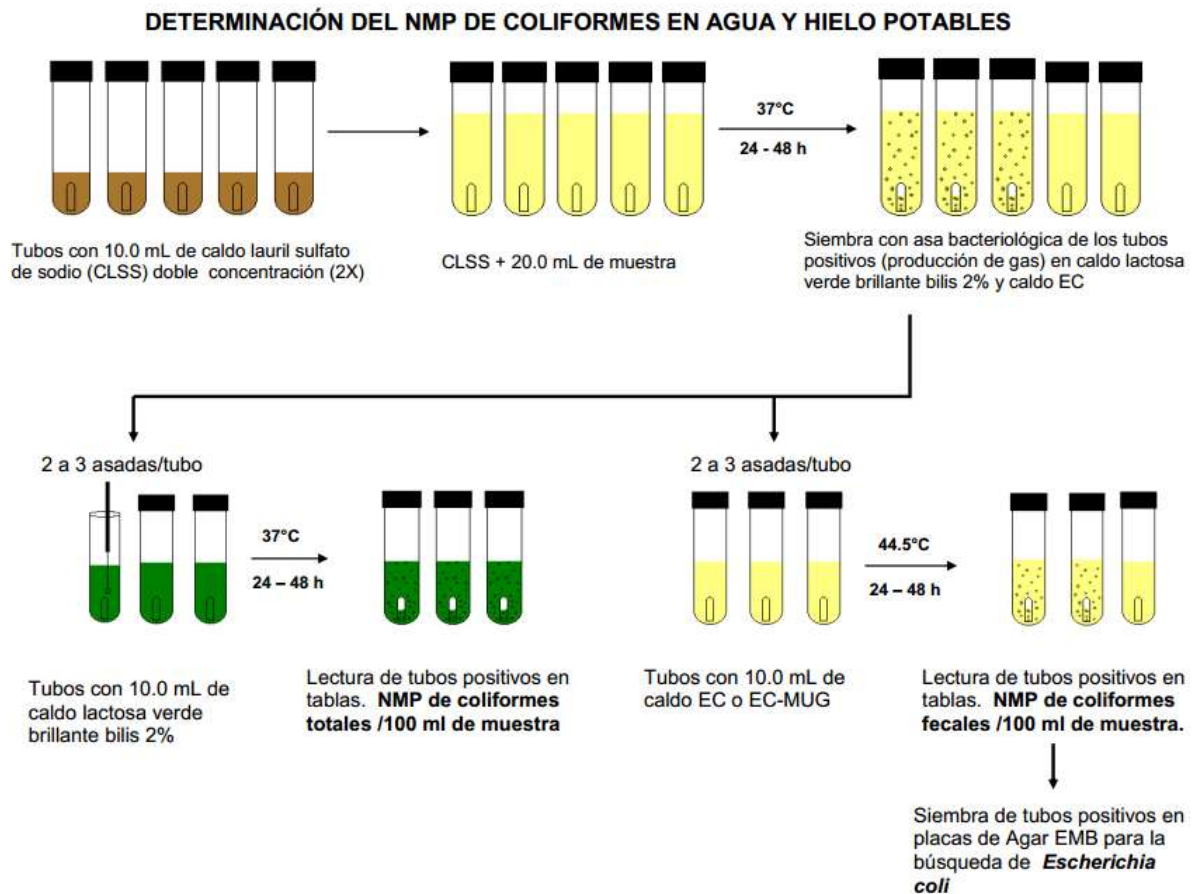


Figura 5: Diagrama de procedimientos para el análisis de coliformes totales y coliformes fecales según la técnica de tubos múltiples.

Fuente: Camacho et al. 2009.

Existe una tercera fase o prueba completa en que se aíslan los microorganismos que crecen en la fase confirmatoria, se los observa al microscopio y se realizan análisis tintoriales y bioquímicos.

Finalmente, la búsqueda de *Escherichia coli* se realiza a partir de los tubos positivos de caldo EC, los cuales se siembran por agotamiento en medios selectivos y diferenciales (Agar Mac Conkey, Agar eosina azul de metileno) y posteriormente realizando las pruebas bioquímicas básicas (IMViC) a las colonias típicas.

Los resultados se expresan en términos del número más probable (NMP) de microorganismos existentes. Este número, basado en determinadas Fórmulas de probabilidad o, por medio de una Tabla



que utiliza el número de tubos positivos en las diluciones múltiples, es un cálculo de la densidad media de coliformes en la muestra (APHA, 1998).

## Anexo 2.

### Resultados – Capítulo 1.

Este material se encuentra disponible en versión digital.

**Mazzucchelli, M.G;** Senisterra, G.E. y F.J. Gaspari. 2014. Evaluación de la variación del NDVI en la Cuenca del Arroyo Napaleofú en el Sudeste Bonaerense. Séptimo Congreso de la Ciencia Cartográfica. 19 al 21 de noviembre de 2014. Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

<http://www.ign.gob.ar/content/vii-congreso-de-la-ciencia-cartogr%C3%A1fica>

Senisterra, G., Rodríguez Vagaría, A., Gaspari, F., **Mazzucchelli, M.G. 2014** a. Aspectos morfométricos de la cuenca alta del arroyo Napaleofú, provincia de Buenos Aires-Argentina. Revista Geográfica Venezolana, Vol. 55(2) 2014, 287-303. ISSN 1012-1617.

<http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/39614/1/articulo6.pdf>

Senisterra, G.E, Gaspari, F.J. y **M.G. Mazzucchelli 2014** b. Análisis espacio temporal del cambio de uso del suelo en una cuenca Serrana de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. Séptimo Congreso de la Ciencia Cartográfica. 19 al 21 de noviembre de 2014. Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

<http://www.ign.gob.ar/content/vii-congreso-de-la-ciencia-cartogr%C3%A1fica>

**Anexo 3.****Resultados – Capítulo 5.**

Fecha de muestreo: 11-9-2012												
	Sitio	Hora	temperatura (°C)	pH	oxig disuelto (mg/lit)	oxigeno disuelto (% sat)	N-NO3 (mg/lit)	nitrato (mg/lit)	Amonio (mg/lit)	fosfatos (mg/lit)	fosforo total (mg/lit)	
ruta 226	1	16:30	16.4	8.65	8.3	84	0.3	1.32	0.13	0.4	0.13	
Ballenera	2	0:00	12.8	8.78	10	93	1.23	5.412	0.13	0.6	0.2	
napa final	3	9:45	14	8.6	8.6	83	1.32	5.808	0.13	0.7	0.23	
napa union	4	11:25	15.4	8.74	9	90	0.56	2.464	0.26	0.5	0.17	
los galpones	5	12	14.7	8.45	9.5	93	0.9	3.96	0.13	0.6	0.2	
pesqueria final	6	16 hs	14.3	8.55	8	77.5	5.4	23.76	0.13	0.9	0.3	
pesqueria nacientes	7	17:00	17	8.4	9	92	0.13	0.572	0.13	0.25	0.08	

Fecha de muestreo 15-4-2013														
	sitio	Hora	temperatura (°C)	pH	oxig disuelto (mg/lit)	oxigeno disuelto (% sat)	N-NO3 (mg/lit)	nitrato (mg/lit)	amonio (mg/lit)	fosfatos (mg/lit)	fosforo total (mg/lit)	sol tot (mg/lit)	Coliformes totales (NMP/100ml)	Coliformes fecales (NMP/100ml)
ruta 226	1	12	14	6.5	1.8	17	1	4.4	0.10	0.3	0.1	585		
Ballenera	2	11:15	15.5	7	2.4	23	0.6	2.64	0.13	0.5	0.16	642		
napa final	3	14	14	6	1.2	11	3.4	14.96	0.13	4	1.33	552	15	7
napa union	4	16	15	7	2	19	2.2	9.68	0.13	1	0.33	521	7	2
los galpones	5	17	14	6	1.8	17	2.6	11.44	0.26	1.5	0.5	531	4	1
pesqueria final	6	17:50	14	6	2	19	1.8	7.92	0.13	1.1	0.36	440	4	1
pesqueria nacientes	7	10	13.5	7	2	18	2	8.8	0.09	0	0	388		

Fecha de muestreo 30-6-2013												
	sitio	hora	temperatura (°C)	pH	oxig disuelto (mg/lit)	oxig disuelto (% sat)	N-NO3 (mg/lit)	nitrato (mg/lit)	amonio (mg/lit)	fosfatos (mg/lit)	fosforo total (mg/lit)	
ruta 226	1	11	8	7	7	59	0.8	3.52	0.00	0.15	0.3	
Ballenera	2	11:40	7	7.8	13	105	0.2	0.88	0.13	0.8	0.3	
napa final	3	12:13	8	7.8	5	42	1.8	7.92	0.00	0.3	0.5	
napa union	4	12:56	8	8.4	6	50	0.3	1.32	0.00	0.2	0.5	
los galpones	5	13:35	8	6.8	9	75	1.4	6.16	0.00	0.4	1.1	
pesqueria final	6	15:38	8	7.8	7	59	1.4	6.16	0.00	0.5	0.8	
pesqueria nacientes	7	14:45	8	7.2	10	84	0.9	3.96	0.00	1.2	0.5	

Fecha de muestreo 6-10-2013												
	sitio	hora	temperatura (°C)	pH	oxig disuelto (mg/lt)	oxig disuelto (%sat)	N-NO3 (mg/lt)	nitrato (mg/lt)	amonio (mg/lt)	fosfatos (mg/lt)	fosforo total (mg/lt)	sol tot (ppm)
ruta 226	1	12:50	17	7	10	102	1.3	5.72	0.13	0.5	0	576
Ballenera	2	13:30	20.9	8	10	110	0.24	1.056	0.13	0.9	0.3	653
napa final	3	13:50	16.2	7.5	11	110	0.64	2.816	0.13	1.2	0.2	541
napa union	4	15:45	18.3	7.5	11	115	1.3	5.72	0.26	0.4	0.6	520
los galpones	5	16:20	16	7	10	100	0.24	1.056	0.13	0.6	1.1	504
pesqueria final	6	15:15	19.4	7	11	118	1	4.4	0.13	1.2	0.2	428
pesqueria nacientes	7	16	18.5	7	10	105	0.48	2.112	0.13	1	0.3	369

Fecha de muestreo 11-1-2014												
	sitio	hora	temperatura (°C)	pH	oxig disuelto (mg/lt)	oxig disuelto (% sat)	N-NO3 (mg/lt)	nitrato (mg/lt)	amonio (mg/lt)	fosfatos (mg/lt)	fosforo total (mg/lt)	
ruta 226	1	20:00	18	7.8	8	85	0.36	1.584	0	0.08	0.1	
Ballenera	2	20:30	22	8.8	12	137	0.08	0.352	0	0.05	0.1	
napa final	3	20:12	17	6.7	8	82	0.44	1.936	0	1.2	0.1	
napa union	4	17:50	21	7.8	11	123	0.45	1.98	0	1	0.3	
los galpones	5	18:25	17	7.9	8	81	0.6	2.64	0	0.6	0.3	
pesqueria final	6	17:00	18	8	9	95	0.14	0.616	0	1	0.2	
pesqueria nacientes	7	19:00	18	7.9	8	85	0.5	2.2	0	0.04	0	

Fecha de muestreo 29-4-2014												
	sitio	hora	temperatura (°C)	pH	oxig disuelto (mg/lt)	oxig disuelto (% sat)	N-NO3 (mg/lt)	nitrato (mg/lt)	amonio (mg/lt)	fosfatos (mg/lt)	fosforo total (mg/lt)	sol totles mg/lt)
ruta 226	1	15:50	15	8.2	7	68	0.36	1.584	0.06	0.4	0.2	583
Ballenera	2	16:15	15	8.4	13	127	0.06	0.264	0.00	0.3	0.1	617
napa final	3	16:45	14	7.8	9	86	0.7	3.08	0.00	0	0.4	566
napa union	4	14:05	15.3	8.2	8	79	0.6	2.64	0.00	0.2	0.2	539
los galpones	5	14:35	14.6	7.8	8	77	0.76	3.344	0.06	0.01	0.9	540
pesqueria final	6	13:30	15	7.8	7	68	0.62	2.728	0.06	0.4	0.5	448
pesqueria nacientes	7	15:10	15.6	7.8	11	110	0.08	0.352	0.00	0.01	1.5	396

Fecha de muestreo 20-8-2014														
	sitio	hora	temperatura (°C)	pH	oxig disuelto (mg/lit)	oxig disuelto (% sat)	N-NO3 (mg/lit)	nitrito (mg/lit)	amonio (mg/lit)	fosfatos (mg/lit)	fosforo total (mg/lit)	sol totales (mg/lit)	Coliformes totales (NMP/100 ml)	Coliformes fecales (NMP/100 ml)
ruta 226	1	12:30	14.5	8	9	86	0.22	0.968	0.00	4	0.2	595	24000	9300
Ballenera	2	13:00	15.7	8.6	14	140	0.14	0.616	0.00	0.8	0.30	656	460	150
napa final	3	13:15	14.6	8	9	87	0.6	2.64	0.00	0.4	0.40	550	110000	24000
napa union	4	14:15	16.2	8.4	5	50	0.2	0.88	0.00	0.4	0.20	505	2300	210
los galpones	5	14:50	15.3	8.1	11	108	0.2	0.88	0.00	1.05	0.30	550	460	150
pesqueria final	6	13:55	15.5	8.2	9	89	0.74	3.256	0.00	0.8	0.10	443	30	23
pesqueria nacientes	7	15:10	16	7.9	9	90	5	22	0.00	0.6	0.00	399		

Fecha de muestreo 22-1-2015													
	sitio	hora	temperatura (°C)	pH	oxig disuelto (mg/lit)	oxig disuelto (% sat)	N-NO3 (mg/lit)	nitrito (mg/lit)	amonio (mg/lit)	fosfatos (mg/lit)	fosforo total (mg/lit)	sol tot (mg/lit)	
ruta 226	1	15:17	22	7.4	8	91	0.04	0.176	0.00	1	0.10	561	
Ballenera	2	12:50	26	8.6	10	123	0.2	0.88	0.16	0.2	0.10	701	
napa final	3	13:10	21	8.1	10	110	0.46	2.024	0.00	0.3	0.00	573	
napa union	4	13:53	20	8.2	11	120	0.2	0.88	0.00	0.2	0.10	527	
los galpones	5	14:15	20	8	10	109	0.68	2.992	0.00	0.2	0.30	482	
pesqueria final	6	13:32	20	8.2	11	120	0.74	3.256	0.00	0.2	0.00	477	
pesqueria nacientes	7	14:35	23	7.4	11	126	0.66	2.904	0.00	0.4	0.10	473	