

COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE  
XII REGIÓN DE MAGALLANES Y ANTÁRTICA CHILENA

**INFORME FINAL**

**SUSTENTABILIDAD HÍDRICA DEL HUMEDAL DE TRES PUENTES**

**PUNTA ARENAS**

FERNANDO HARAMBOUR PALMA

---

Septiembre 2007

## 1. INTRODUCCIÓN

En el acceso norte a la ciudad de Punta Arenas, inmediatamente al suroriente de la Av. Presidente Carlos Ibáñez Del Campo, entre los esteros Bitsch y Llau Llau, se encuentra un terreno plano donde se halla una serie de lagunas de escasa profundidad, que los habitantes y autoridades de la ciudad de Punta Arenas han denominado “*Humedal de Tres Puentes*”.



Fotografía 1.1: “*Humedal de Tres Puentes*”

En este humedal se ha observado una rica avifauna, que, según diversos especialistas, estaría compuesta por 60 especies de aves.

Debido al atractivo turístico y riqueza biológica de este humedal, y a que se encuentra dentro del radio urbano de Punta Arenas, estando sujeto como consecuencia de ello a los efectos del crecimiento y desarrollo de la ciudad, la Ilustre Municipalidad de Punta Arenas y el Consejo Regional han manifestado la intención de adoptar medidas destinadas a asegurar su conservación. Por este motivo la Dirección Regional de la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) ha iniciado una línea de estudios conducentes a evaluar su sustentabilidad, y, si fuera necesario, adoptar medidas para asegurar su conservación. Con este propósito ha licitado recientemente la realización de una consultoría denominada “*Sustentabilidad Hídrica del Humedal de Tres Puentes*”, cuyos objetivos son: (1) recopilar la información cartográfica existente sobre el humedal, para definir en base a ella y a recorridos del terreno las hoyas hidrográficas relevantes; (2) establecer a nivel conceptual los principales componentes del balance hídrico, y (3) proponer términos de referencia que regulen el desarrollo de estudios específicos, destinados a

establecer el balance hídrico de detalle del humedal y las medidas que se deberá implementar para preservarlo.

## **2. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA**

### **2.1 Antecedentes Generales**

Con la finalidad de establecer cuáles son las hoyas hidrográficas relevantes para el análisis de la sustentabilidad del humedal y conocer sus principales propiedades morfométricas, se obtuvo, recopiló y/o adquirió información cartográfica y aerofotogramétrica en las siguientes instituciones: (1) Departamento de Gestión Territorial del Gobierno Regional; (2) Ilustre Municipalidad de Punta Arenas; (3) Ministerio de Vivienda y Urbanismo; (4) Ministerio de Obras Públicas y, (5) Instituto Geográfico Militar. Adicionalmente, con el propósito de conocer los proyectos de aguas lluvias que revisten importancia para el humedal y la infraestructura construida en su entorno inmediato, se sostuvo reuniones con profesionales de las Direcciones Regionales de Obras Hidráulicas y de Vialidad (Ministerio de Obras Públicas), y con profesionales de la Oficina Regional del Servicio de Vivienda y Urbanismo (Ministerio de Vivienda y Urbanismo).

La información cartográfica y aerofotogramétrica recopilada, se complementó con fotografías satelitales obtenidas del sitio “*Google Earth*” de Internet y con fotografías digitales tomadas durante el recorrido del terreno. Ello permitió obtener las siguientes fotografías, planos y/o documentos:

- Fotografías aéreas a color de la ciudad de Punta Arenas, escala 1:20.000, generadas por SOLFA S.A. en el año 2004.
- Fotografías aéreas correspondientes a las líneas de vuelo del levantamiento aerofotogramétrico de Punta Arenas, escala 1:4.000, realizado en enero 1996 por el Instituto Geográfico Militar.
- Planchetas IGM de la ciudad de Punta Arenas, escala 1:1.000, con curvas de nivel cada 1 m, generadas por el Instituto Geográfico Militar a partir del levantamiento aerofotogramétrico escala 1:4.000 de enero 1996.
- Plano escala 1:5.000, con curvas de nivel cada 1 m, titulado “*Vías de Escurrimiento, Infraestructura Existente, Áreas Aportantes y Colectores Proyectoados*”, generado por el estudio titulado “*Mejoramiento Estero Llau Llau en Zona Urbana. Punta Arenas*”, realizado para la Dirección de Obras Hidráulicas por la empresa CONIC – BF Ingenieros Civiles. Año 2002.
- Ordenanza Plan Regulador Comunal de Punta Arenas. Texto Actualizado Abril 2006. Documento elaborado por la Ilustre Municipalidad de Punta Arenas.

- Fotografía satelital del sector de Punta Arenas donde se encuentra el humedal. Sitio “*Google Earth*” de Internet.
- Fotografías digitales de la cuenca del Humedal de Tres Puentes, tomadas durante los recorridos del terreno realizados durante la presente consultoría.

## 2.2 Evolución Histórica y Situación Actual del Humedal

La información señalada en el punto precedente, permitió determinar que el humedal ha experimentado a lo largo del tiempo un alto grado de intervención, que se ha hecho más evidente durante los últimos años, producto de la expansión urbana y vial de la ciudad de Punta Arenas.

Al comparar la fotografía aérea tomada en el año 1996 (Fotografía 2.1) con fotografías más recientes (Fotografía 2.2, incluida en la página siguiente), se torna evidente que en el periodo transcurrido entre ambas: (1) se construyó el terraplén de la avenida Presidente Frei Montalva, que dividió en dos el terreno donde se encuentra el humedal, y (2) aumentó la superficie de los rellenos realizados por particulares en los extremos nororiente y suroriente del humedal, próximos a la avenida Presidente Ibáñez.



Fotografía 2.1: Vista aérea del humedal en el año 1996

En la Fotografía 2.1 también se observa: (1) un relleno incipiente y una urbanización industrial en el extremo nororiente del humedal; (2) la avenida Presidente José Joaquín Pérez, en el costado sur del humedal, y (3) las obras terminales del canal de trasvase entre los esteros Llau Llau y Bitsch, que

cerraron la salida de la quebrada ubicada inmediatamente al norte del humedal, desviando sus aguas hacia el estero Bitsch (Fotografía 2.3).



Fotografía 2.2: Vista aérea del humedal en el año 2004



Fotografía 2.3: Obras terminales del canal de trasvase

Los cambios introducidos en el humedal, no obstante alterar su superficie y situación hídrica, no han ocurrido al margen de los reglamentos de la ciudad. Son compatibles con lo señalado en el “*Plan Regulador Comunal de Punta Arenas*”, que establece que este sistema hídrico se encuentra mayoritariamente en un área definida como R8, que corresponde a un “*área de alto riesgo de asentamientos humanos, por sus inundaciones frecuentes, pero que por medio de mejoramiento y regulación de los esteros y cauces que lo afectan, son susceptibles de recuperarse para uso urbano*”.

El atractivo que han adquirido durante los últimos años los terrenos aledaños al humedal, ha dado lugar a la construcción de obras que no aparecen en las fotografías anteriormente señaladas. Al recorrer el terreno se observa que junto con la pavimentación del tramo de la avenida Presidente Frei Montalva que pasa por el humedal, se ha construido los terraplenes de la calle Retiro y de la avenida Los Generales. El primero de ellos se muestra en la siguiente Fotografía 2.4, en tanto que el segundo se observa en la Fotografía 2.5, que se incluye en la página siguiente.



Fotografía 2.4: Terraplén de calle Retiro

No sólo el humedal y su entorno inmediato han experimentado cambios. Las hoyas hidrográficas que lo surten de agua también han variado, tanto en lo que se refiere a su forma y extensión, como a las características de su superficie, que paulatinamente se ha ido impermeabilizando producto de una gradual y sostenida urbanización. Estos cambios han producido, por una parte, variaciones en el sentido y orientación de los flujos superficiales (generados por la construcción de las redes vial y de evacuación de aguas lluvias de la ciudad), y, por otra parte, un aumento en la escorrentía superficial

(debido al mayor nivel de impermeabilización generado por la pavimentación de las calles).



Fotografía 2.5: Terraplén de Av. Los Generales

### 2.3 Hoyas Hidrográficas Relevantes

De acuerdo con lo señalado en el punto precedente, la superficie y condición hídrica del humedal ha variado a lo largo del tiempo. La construcción del canal de trasvase, de las avenidas Presidente Frei Montalva y Presidente José Joaquín Pérez, y posiblemente también hace muchos años del terraplén de la avenida Presidente Ibáñez, han alterado sus flujos superficiales.

Para conocer en detalle la situación actual del humedal, en relación con la orientación y sentido de su escorrentía superficial, se revisó detalladamente los planos existentes del extremo norte de Punta Arenas, se recorrió detenidamente el terreno y se sostuvo reuniones con profesionales del Ministerio de Obras Públicas y del Servicio de Vivienda y Urbanismo. En base estos antecedentes se determinó lo siguiente:

- a) El humedal forma parte de la cuenca del estero Llau Llau. El excedente de agua que se acumula en sus principales lagunas es descargado en un sistema de canales y apozamientos de agua, que finalmente se conecta con el estero Llau Llau. Esto ocurre a través de a lo menos una alcantarilla situada bajo la avenida Presidente José Joaquín Pérez.

No se dispone de planos u otros antecedentes técnicos de estas alcantarillas, debido a que ellas se construyeron para dar solución a

situaciones de emergencia. Durante el recorrido del terreno se pudo observar sólo una de ellas (la que se muestra en la Fotografía 2.6). No se pudo observar las dos restantes, sin embargo cabe destacar que según profesionales de la Dirección de Vialidad debieran existir tres.

Los antecedentes recabados durante la preparación de este informe, muestran claramente que en la condición que ha imperado durante los meses de otoño e invierno del presente año, el flujo de agua que sale por la alcantarilla observada en el terreno y llega al estero Llau Llau es muy pequeño. Sin embargo, con los antecedentes topográficos existentes es imposible descartar completamente que en alguna época del año ocurran flujos esporádicos en sentido contrario y que en esas ocasiones una pequeña parte de las aguas del estero Llau Llau lleguen al humedal.



Fotografía 2.6: Tubería que pasa bajo la Av. Presidente José Joaquín Pérez

- b) El terraplén de la avenida Presidente Frei Montalva, no obstante constituir en su parte más cercana a la calle Los Flamencos una barrera para el paso de agua, incorporó en su extremo más cercano a la Av. Presidente Ibáñez un sistema de alcantarillas que comunica las lagunas más grandes del humedal.

Las alcantarillas recién indicadas se disponen en dos grupos, compuestos cada uno por dos tuberías de gran diámetro. Estos grupos se encuentran inmediatamente al oriente y al poniente del mirador de la avenida Frei Montalva. En la Fotografía 2.7, que se incluye en la página siguiente, se muestran las dos tuberías de la alcantarilla situada al oriente del mirador.



Fotografía 2.7: Alcantarilla situada al oriente del mirador

Cuando se pavimentó la avenida Presidente Frei Montalva, se instalaron sumideros que descargan en el humedal las aguas de esta avenida. Por este motivo las aguas que escurren por la parte alta de la calle Los Flamencos y son derivadas hacia la avenida Frei llegan al humedal.

- c) El terraplén de la prolongación de la avenida Los Generales hasta empalmar con la Av. Frei Montalva, constituye una barrera para la escorrentía superficial. Sin embargo no la interrumpe completamente, debido a la incorporación de una alcantarilla que da continuidad a una de las zanjas de drenaje existentes en la parte más alta del humedal. En la Fotografía 2.8 se observa esta alcantarilla.



Fotografía 2.8: Alcantarilla en prolongación de la Av. Los Generales

- d) El terraplén de la prolongación hacia el norte de la calle Retiro, impide el paso de agua proveniente del surponiente hacia la parte más baja del humedal, donde se localizan las lagunas más importantes. Cuando crece el nivel de la laguna que se forma al poniente de este terraplén, se producen desbordes hacia el oriente, que anegan parcialmente la avenida Presidente José Joaquín Pérez.



Fotografía 2.9: Anegamiento de avenida Presidente José J. Pérez

- e) El canal de trasvase entre los esteros Llau Llau y Bitsch, constituye a lo largo de parte importante de su trazado el límite norte de la hoya tributaria del humedal. De hecho, como se indicó anteriormente en este mismo informe técnico, cierra una quebrada sin nombre que antiguamente descargaba sus aguas en el extremo nororiente del humedal.

De acuerdo con lo señalado en los párrafos precedentes, el humedal es alimentado con el agua generada en una hoya hidrográfica principal, que se encuentra entre la avenida Presidente Ibáñez; la calle Enrique Abello; el canal de trasvase y la avenida José Joaquín Pérez.

Debido a que las alcantarillas de la avenida Frei Montalva se sitúan cerca del extremo oriental de esta avenida y a que el terraplén de la calle Retiro no posee un sistema de drenaje que posibilite el paso de agua bajo esta calle, las aguas generadas al sur de la calle Retiro y de la avenida Frei Montalva no llegan al humedal. En caso de que se construya un sistema que posibilite el paso de agua bajo la calle Retiro y que no se prolongue el sistema de evacuación de aguas lluvias de la avenida Los Generales hacia el

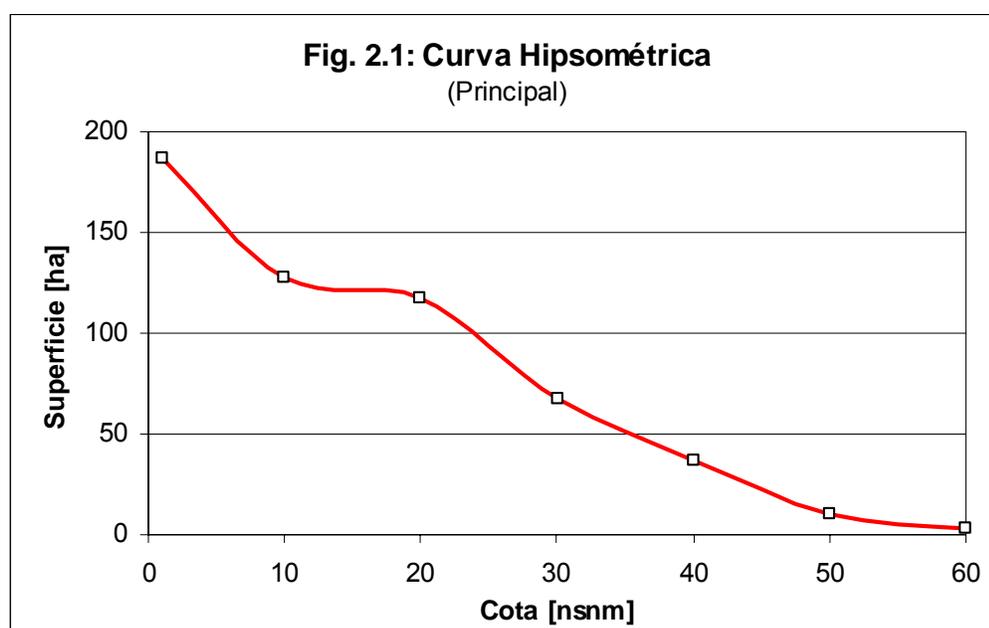
norponiente, al humedal llegarán las aguas generadas en una hoya hidrográfica secundaria, situada entre la calle Retiro; la avenida Presidente Frei Montalva; la calle Los Flamencos, y una línea irregular próxima a la avenida Presidente José Joaquín Pérez.

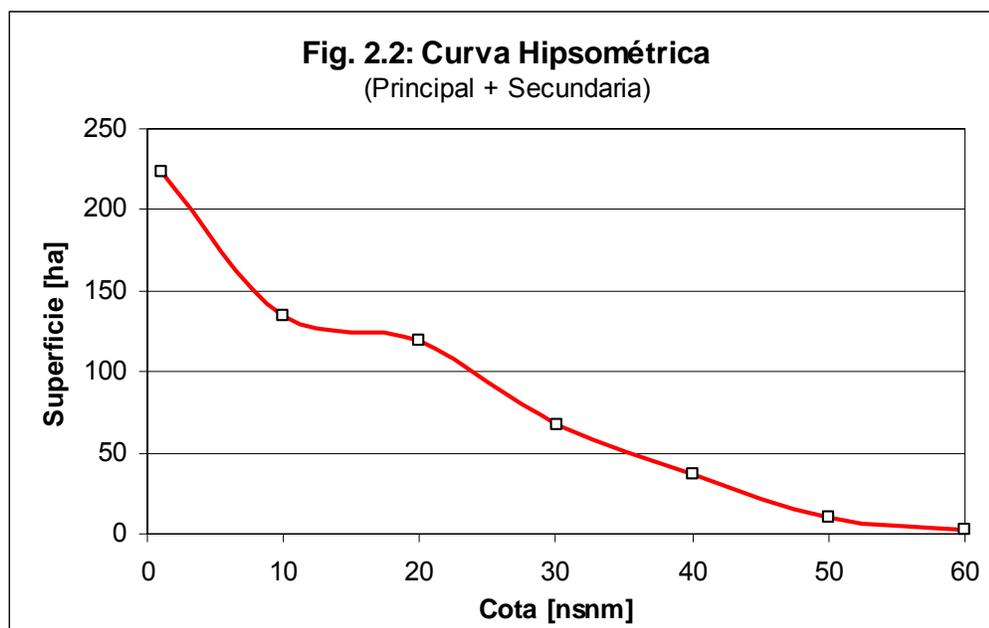
En el plano titulado “*Vías de Esguerrimiento y Hoyas Hidrográficas Humedal de Tres Puentes*”, que se adjunta al presente informe técnico, se muestran los límites y principales características topográficas de las hoyas tributarias principal y secundaria anteriormente indicadas.

La hoya principal se desarrolla de poniente a oriente entre los 62 y 1 msnm, en tanto que la hoya secundaria se encuentra entre los 25 y 3 msnm. En el siguiente Cuadro 2.1 se indica la superficie, cota media y coeficiente de compacidad de las hoyas principal y principal más secundaria; en tanto que en la siguiente Fig. 2.1 y en la Fig. 2.2, que se presenta en la página siguiente, se ilustran sus respectivas curvas hipsométricas.

Cuadro 2.1: características hoyas hidrográficas

Hoya	Superficie [ha]	Cota media [msnm]	Coficiente de compacidad
Principal	186,4	25	1,63
Principal + secundaria	222,8	22	1,51





### 3. PRINCIPALES COMPONENTES DEL BALANCE HÍDRICO Y CAUDALES MEDIOS ANUALES

#### 3.1 Principales Componentes del Balance Hídrico

La ecuación de balance hídrico de una hoya hidrográfica se deriva del principio de conservación de la masa y se expresa matemáticamente del siguiente modo:

$$\frac{dS}{dt} = P' + R_a + G_a - R_e - G_e - E_T \quad (3.1)$$

En esta ecuación  $dS$  corresponde a la variación experimentada por la cantidad total de agua almacenada en el sector de la cuenca bajo estudio durante un intervalo de tiempo  $dt$ ;  $P'$  es el flujo medio generado por la precipitación;  $R_a$  y  $G_a$  representan, respectivamente, la escorrentía superficial y subsuperficial afluente al sector bajo estudio;  $R_e$  y  $G_e$  son, respectivamente, la escorrentía superficial y subsuperficial efluente de dicho sector, y  $E_T$  corresponde a la tasa media de evapotranspiración, que incorpora tanto la pérdida de agua por evaporación desde chorrillos y lagunas, como la que se produce desde el suelo húmedo, por evaporación y/o por transpiración vegetal.

La aplicación de esta ecuación al Humedal de Tres Puentes. Específicamente al conjunto de lagunas situadas en el terreno localizado bajo la cota 4 msnm, en el espacio delimitado por: (1) la cota recién indicada; (2) las avenidas

Presidente José Joaquín Pérez y Presidente Ibáñez; (3) el límite norte de la hoya hidrográfica del humedal, y (4) el terraplén de la calle Retiro y su prolongación hacia el norte en línea recta hasta empalmar con la cota 4 msnm, conduce a la siguiente expresión:

$$dV = A \cdot (P - I - E) + (R_a - R_e) \cdot dt \quad (3.2)$$

En la ecuación 3.2  $V$  representa al volumen de agua almacenado en el conjunto de lagunas que conforman el humedal;  $A$  es la superficie ocupada por estas lagunas;  $P$  corresponde a la precipitación media que cae sobre ellas en el intervalo de tiempo  $dt$ ;  $I$  y  $E$  representan, respectivamente, la infiltración y evaporación que sale de ellas en el intervalo de tiempo recién indicado;  $R_a$  es la escorrentía superficial afluente a las lagunas (generada en la hoya hidrográfica que las surten de agua), y  $R_e$  es el caudal medio que sale superficialmente de ellas, principalmente a través de las alcantarillas existentes bajo la avenida Presidente José Joaquín Pérez y, eventualmente, por desbordes sobre el terraplén de esta avenida.

Para resolver la ecuación 3.2 es necesario disponer de los levantamientos topográficos de detalle que posibiliten determinar la curva de embalse del conjunto de lagunas que interesa preservar. También es necesario efectuar estudios de terreno que permitan modelar los términos que aparecen en el lado derecho de esta ecuación.

Exceptuando el intervalo de tiempo ( $dt$ ) y la superficie de las lagunas ( $A$ ), los restantes términos que aparecen en el lado derecho de la ecuación 3.2, corresponden a los componentes del balance hídrico del humedal. Su magnitud y variación temporal depende principalmente de las condiciones climáticas de Punta Arenas, de las características del suelo del humedal y del comportamiento hidrológico de la hoya hidrográfica que lo surte de agua.

El caudal que sale superficialmente del humedal ( $R_e$ ), depende, sin embargo, del nivel que alcanzan las lagunas, y de las características de las alcantarillas y del terraplén de la avenida Presidente José Joaquín Pérez. La infiltración ( $I$ ) y la escorrentía superficial que llega al humedal ( $R_a$ ), pueden depender de la posición de la napa freática, especialmente en el caso que los terrenos ocupados por el humedal estén constituidos por estratos superficiales relativamente permeables, donde aflora un acuífero de carácter regional. Si este último es el caso, para modelar estos componentes se debe conocer la magnitud de la recarga del acuífero regional que aflora en el humedal; su espesor y extensión superficial; sus coeficientes de almacenamiento y permeabilidad, y su relación con el mar y con los esteros Bitsch y Llau Llau. Asimismo, en este último caso para establecer el balance hídrico del humedal se deberá resolver la ecuación 3.2 en conjunto con el sistema de ecuaciones diferenciales que describen el comportamiento del acuífero regional.

Sin perjuicio de lo señalado en el párrafo precedente y de que no se dispone de estudios específicos de terreno que permitan establecer la capacidad de infiltración de los suelos superficiales existentes en el lugar donde se encuentra el humedal, así como las eventuales relaciones entre sus principales lagunas y la napa freática (por quedar la realización de tales actividades fuera del alcance de este estudio), los antecedentes recabados durante el recorrido del terreno respecto de la ubicación y características generales del humedal, conducen postular, en el intertanto, que los principales componentes del balance hídrico son:

- a) La escorrentía superficial ( $R_a$ ) generada en las hoyas hidrográficas con salida en las lagunas que conforman el humedal.
- b) La escorrentía superficial ( $R_e$ ) que abandona el humedal por el sector donde se encuentra el terraplén de la avenida Presidente José Joaquín Pérez.
- c) La precipitación ( $P$ ) que cae directamente sobre las lagunas que conforman el humedal.
- d) La evaporación ( $E$ ) que se produce desde ellas.

### **3.2 Caudales Medios Anuales**

Con el propósito de establecer la magnitud de los caudales medios anuales afluente al humedal, es necesario introducir algunas hipótesis concordantes con los antecedentes topográficos disponibles para la realización de este estudio y con la información recabada durante el recorrido del terreno.

La primera hipótesis se introduce debido a la carencia de antecedentes topográficos de detalle, que permitan precisar la extensión y ubicación de cada una de las depresiones existentes en los terrenos ocupados por el humedal (donde se forman las lagunas) y acerca de la relación existente entre ellas. Corresponde a suponer que en el humedal se forma una sola laguna, que ocupa una superficie de 44,2 ha (que es igual al área de la totalidad del terreno plano localizado bajo la cota 4 msnm, en el espacio ubicado al norponiente de las avenidas Presidente José Joaquín Pérez y Presidente Ibáñez, menos la superficie ocupada por la avenida Presidente Frei).

Las restantes hipótesis se introducen debido a la carencia de antecedentes respecto de las características del subsuelo y sobre la existencia de acuíferos de carácter regional que afloran en el terreno plano donde se localiza el humedal. Consisten en suponer que: (1) a escala anual la escorrentía total generada en la hoya hidrográfica que abastece el humedal llega a sus

lagunas, sin ser derivada a acuíferos profundos, y (2) no existen acuíferos de carácter regional que afloren superficialmente en los terrenos del humedal, alimentando con agua proveniente de otras cuencas sus lagunas.

De acuerdo con las hipótesis recién indicadas, la esorrentía media anual afluente al humedal ( $R_a^m$ ), se calcula resolviendo la siguiente ecuación:

$$R_a^m = P_1^m \cdot A_s \cdot \{1 - f(\varphi)\} + P_2^m \cdot A_l \quad (3.3)$$

En la ecuación 3.3,  $P_1^m$  representa la precipitación media anual que cae sobre la hoya hidrográfica cuya esorrentía total llega al humedal;  $A_s$  corresponde a la superficie de esta cuenca;  $f(\varphi)$  es una función que permite calcular el cociente entre la evapotranspiración real y la precipitación media anual (ecuaciones de Budyko, Ol'deskop o Turc-Pike);  $\varphi$  corresponde al coeficiente de aridez de la cuenca;  $P_2^m$  es la precipitación media anual que cae directamente sobre el humedal, y  $A_l$  es la superficie de la laguna que se forma en el humedal (44,2 ha).

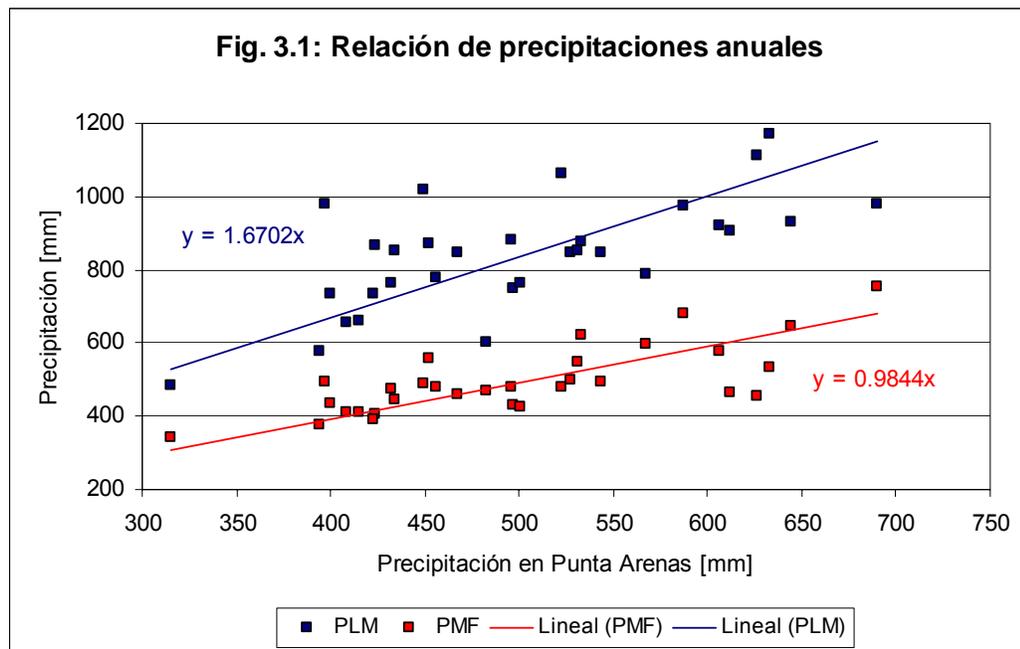
Si se considera la superficie de 44,2 hectáreas recién indicada y el tamaño de la cuenca principal señalada en el Cuadro 2.1, se deduce que  $A_s$  es igual a 142,2 hectáreas.

Con el propósito de determinar las precipitaciones medias anuales  $P_1^m$  y  $P_2^m$ , se rellenó y extendió las series mensuales de precipitación medidas en las estaciones pluviométricas Punta Arenas, Monseñor Fagnano y Las Minas, haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$\text{Log}_e P_{ijk} = n_{ikl} + m_{ikl} \cdot \text{Log}_e P_{ijl} + \alpha \cdot \sqrt{1 - R_{ikl}^2} \cdot \sigma_{ik} \cdot \varepsilon \quad (3.4)$$

En esta expresión,  $P_{ijk}$  corresponde a la precipitación que ocurre en el mes "i" del año "j", en la estación pluviométrica "k";  $n_{ikl}$  y  $m_{ikl}$  son los coeficientes de la regresión lineal que se establece entre los logaritmos naturales de las precipitaciones concurrentes medidas en el mes "i" en las estaciones "k" y "l";  $\alpha$  es el coeficiente de corrección que se introduce en el término aleatorio;  $R_{ikl}$  corresponde al coeficiente de correlación lineal entre los logaritmos de la precipitaciones medidas en el mes "i" en las estaciones "k" y "l";  $\sigma_{ik}$  representa la desviación estándar de los logaritmos de la precipitación del mes "i" en la estación "k", y  $\varepsilon$  es una variable normal estandarizada.

Después de rellenar y extender las series mensuales de precipitación, se calculó la precipitación anual, considerando para ello que en Punta Arenas el año hidrológico comienza en el mes de abril y finaliza en el mes de marzo, y se graficó, enseguida, la relación existente entre la precipitación anual concurrente de las estaciones Punta Arenas (PPA); Monseñor Fagnano (PMF) y Las Minas (PLM), obteniendo la siguiente Fig. 3.1.



Las relaciones que se muestran en la Fig. 3.1, entre las precipitaciones anuales medidas en Punta Arenas (6 msnm), Monseñor Fagnano (27 msnm) y Las Minas (135 msnm), conducen a establecer el siguiente modelo matemático entre la precipitación media anual ( $P^m$ ) que cae sobre una hoya hidrográfica y su cota media ( $Z$ ):

$$P^m [\text{mm}] = 487,3 + 2,614 \cdot Z [\text{msnm}] \quad (3.5)$$

Con la ecuación 3.5 se determinó que la precipitación media anual que cae sobre la hoya hidrográfica de 142,2 hectáreas que alimenta al humedal ( $P^m_1$ ), es de 569,9 mm, en tanto que la que cae directamente sobre él ( $P^m_2$ ) es de 492,5 mm.

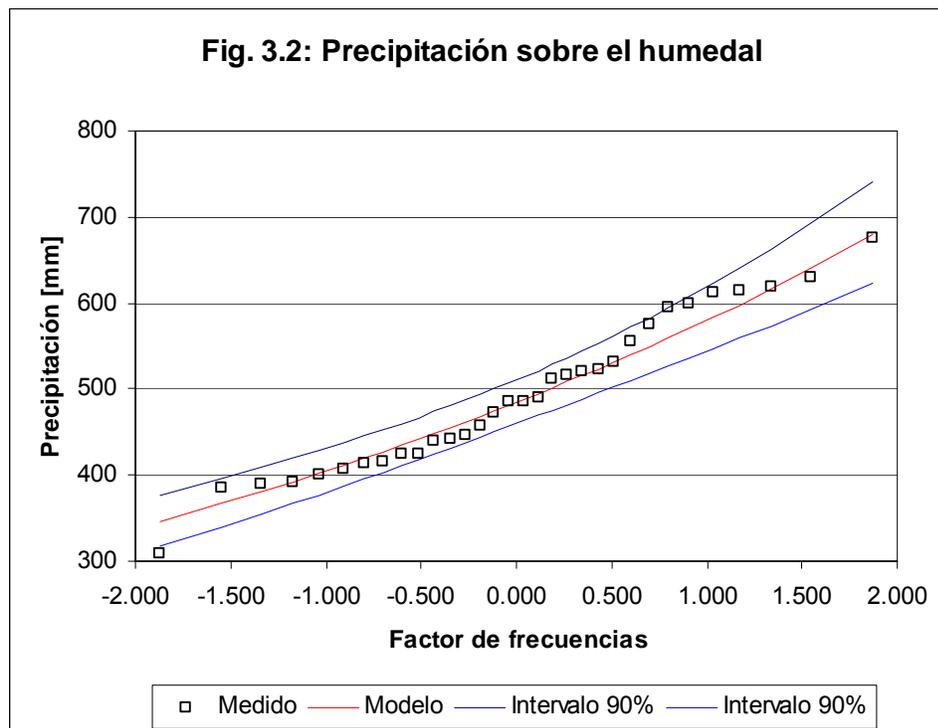
Si se considera que la evaporación media anual medida en Punta Arenas es igual a 728,6 mm y un coeficiente de bandeja igual a 0,75, se deduce que la evapotranspiración potencial de la hoya hidrográfica donde se genera la escorrentía que llega al humedal es de 546,5 mm (que es similar al que se obtiene haciendo uso de la ecuación de Hargreaves y Samani, 1982).

Con esta evapotranspiración potencial y una precipitación de 569,9 mm, se obtiene un coeficiente de aridez igual a 0,959 (característico de la transición entre estepas y bosques) y un valor de la función  $f(\varphi)$  igual a 0,692 para el modelo de Turc - Pike (1964) e igual a 0,679 para el modelo de Budyko (1948).

Aceptando la validez del modelo de Turc - Pike (1964) por sobre el de Budyko (1948), con los valores señalados en los párrafos precedentes y la ecuación 3.3 se deduce que el volumen medio de agua que llega al humedal es de 467.288 m<sup>3</sup> anuales (equivalente a un caudal medio anual de 14,8 l/s). El 53,4% de este volumen es generado en la hoya hidrográfica de 142,2 hectáreas que alimenta al humedal, y el 46,6% restante es generado por la precipitación que cae directamente sobre sus lagunas.

Para establecer el volumen de agua que llega al humedal en años con probabilidades de excedencia comprendidas entre 10% y 90%, es necesario establecer un modelo de distribución de frecuencias para la precipitación que cae sobre él y para la escorrentía generada en la hoya de 142,2 hectáreas que lo surte de agua.

Con el primer propósito se efectuó lo siguiente: (1) se supuso que la precipitación que cae sobre el humedal corresponde a la medida en la estación Punta Arenas multiplicada por un factor igual a 0,979 (que corresponde al cociente entre los 492,5 mm indicados anteriormente y la precipitación media anual medida en dicha estación entre los años hidrológicos 1974/75 y 2005/06), y (2) se ajustó un modelo de distribución de frecuencias lognormal a la serie de precipitaciones que cae sobre el humedal (dado que reproduce mejor sus propiedades estadísticas que otros modelos de distribución de frecuencias con igual número de parámetros). En la Fig. 3.2 se ilustra la función de distribución de frecuencias ajustada y sus intervalos de confianza al 90%.



Con el modelo de distribución de frecuencias recién señalado, se calculó la precipitación anual que cae sobre el humedal en años con probabilidades de excedencia comprendidos entre 10% y 90%; obteniéndose los valores e intervalos de confianza que se indican en el siguiente Cuadro 3.1.

Cuadro 3.1: Precipitación anual que cae sobre el humedal

Probabilidad	Precipitación [mm]		
	Modelo	Superior	Inferior
0,10	610,3	654,9	568,6
0,20	563,8	599,2	530,5
0,50	484,5	510,6	459,8
0,80	416,4	442,6	391,8
0,90	384,7	412,9	358,5

Con los valores consignados en el Cuadro 3.1, resolviendo el segundo término del lado derecho de la ecuación 3.3 se determinó el volumen de agua indicado en el siguiente Cuadro 3.2.

Cuadro 3.2: Volumen generado por la precipitación que cae sobre el humedal

Probabilidad	Volumen [m <sup>3</sup> ]
0,10	269.753
0,20	249.200
0,50	214.149
0,80	184.049
0,90	170.037

Por su parte, para calcular la escorrentía total generada en años con probabilidades de excedencia comprendidas entre 10% y 90%, por la cuenca de 142,2 hectáreas que alimenta al humedal, se ajustó un modelo de distribución de frecuencias lognormal, cuyos parámetros ( $\mu$  y  $\sigma$ ) se calcularon resolviendo las siguientes ecuaciones:

$$\sigma = \sqrt{\ln ( 1 + (\sigma_Q / \mu_Q)^2 )} \quad (3.6)$$

$$\mu = \ln \mu_Q - 1/2 \cdot \sigma^2 \quad (3.7)$$

En las ecuaciones 3.6 y 3.7,  $\mu_Q$  y  $\sigma_Q$  corresponden, respectivamente, a la escorrentía media anual generada por la hoya hidrográfica considerada (que es igual a 175,5 mm) y a su desviación estándar; que se calcula a partir del modelo de Turc - Pike, haciendo uso de la siguiente relación propuesta por Koster y Suarez (1999):

$$\sigma_Q = \sigma_P \cdot \left\{ 1 - f(\varphi) + \varphi \cdot \frac{df}{d\varphi} \right\} \quad (3.6)$$

La ecuación 3.6 presupone que la variación interanual de la evapotranspiración potencial es despreciable frente a la variación interanual de la precipitación y que la covarianza entre la precipitación y la evaporación potencial es cercana a cero. En esta ecuación  $\varphi$  corresponde al índice de aridez de la cuenca y  $\sigma_P$  es la desviación estándar de la precipitación que cae sobre ella, que se puede calcular a partir de la serie de precipitaciones anuales medidas en la estación pluviométrica Punta Arenas, multiplicando los valores anuales registrados por un factor igual a 1,133.

Al efectuar los cálculos se deduce que  $\sigma_P$  es igual a 103,4 mm; que  $\sigma_Q$  es igual a 69,1 mm, y que  $\mu$  y  $\sigma$  son iguales a 5,0957 y 0,3798 respectivamente. Con estos parámetros se resolvió las ecuaciones del modelo de distribución lognormal para obtener los volúmenes de esorrentía que se señalan en el siguiente Cuadro 3.3.

Cuadro 3.3: Volumen generado por la hoya que alimenta al humedal

Probabilidad	Volumen [m <sup>3</sup> ]
0,10	377.845
0,20	319.704
0,50	232.234
0,80	168.695
0,90	142.737

Finalmente, para estimar el volumen total de agua que llega al humedal en años con probabilidades de excedencia comprendidas entre 10% y 90%, se sumó los volúmenes indicados en los cuadros 3.2 y 3.3. Los resultados obtenidos se señalan en el siguiente Cuadro 3.4.

Cuadro 3.4: Escorrentía media anual afluyente al humedal

Probabilidad	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Caudal [l/s]
0,10	647.598	20,5
0,20	568.904	18,0
0,50	446.383	14,2
0,80	352.744	11,2
0,90	312.774	9,9

Los valores consignados en el Cuadro 3.4, muestran que la escorrentía media anual que llega al humedal varía entre un máximo de 20,5 l/s, para un año húmedo (con probabilidad de excedencia del 10%), y un mínimo de 9,9 l/s, para un año seco (con probabilidad de excedencia del 90%).

## **4. CONCLUSIONES Y PROPOSICIÓN DE TÉRMINOS DE REFERENCIA**

### **4.1 Conclusiones del Estudio**

Los antecedentes recabados durante la realización del presente estudio, en conjunto con los trabajos y análisis efectuados, conducen a recomendar y concluir lo siguiente:

- a) El Humedal de Tres Puentes se localiza en terrenos planos ubicados en el acceso norte a la ciudad de Punta Arenas, donde durante las últimas décadas se han construido importantes obras de infraestructura y se han realizado actividades que han conducido a reducir la superficie del humedal. Como consecuencia de ello, del atractivo comercial que han ido adquiriendo estos terrenos, de que no existe una prohibición en el Plan Regulador Comunal de Punta Arenas para urbanizarlos y de los malos hábitos de algunas personas que depositan escombros y descargan aguas contaminadas, el humedal ha experimentado un alto grado de intervención.
- b) De acuerdo con el interés de preservar este humedal, manifestado por la Ilustre Municipalidad de Punta Arenas y por el Consejo Regional, para evitar que siga siendo intervenido es necesario establecer, en primer lugar, cuál es el terreno y cuáles son las lagunas que realmente se desea preservar, y cuál es el terreno donde se permitirá la realización de obras de infraestructura urbana. Una vez establecido esto, se deberá adoptar las medidas de carácter técnico y legal necesarias para proteger el terreno que se desea preservar. Esta es una decisión que involucra aspectos netamente técnicos, pues si la superficie escogida es muy pequeña puede que no sea posible albergar una avifauna con la riqueza actual, y si los terrenos que se desea preservar están ubicados en lugares que no reciben agua de la calidad ni en cantidad suficiente, puede que no se asegure su sustentabilidad hídrica, ni ambiental. Y también involucra aspectos legales y sociales, relacionados con la propiedad de los terrenos, de los usos permitidos por el Plan Regulador y de las medidas que se debe adoptar para evitar que terceros depositen escombros (ver Fotografía 4.1, incluida en la página siguiente) y/o descarguen aguas con residuos dañinos (ver Fotografía 4.2, incluida a continuación de la fotografía anterior).
- c) Una vez establecida la ubicación y superficie mínima del terreno que se desea preservar, es conveniente desarrollar las obras de infraestructura que permitan delimitarlo y protegerlo. En el diseño y dimensionamiento de estas obras se deberá dar suma importancia a garantizar que los flujos de agua que ingresan y salen en la actualidad del humedal se mantengan, de modo de evitar que se altere su balance hídrico, o bien a garantizar los flujos de agua que los estudios específicos indiquen que es conveniente adoptar para asegurar la preservación del humedal. En este sentido es necesario

señalar que si se desea conservar la totalidad o gran parte del humedal, es necesario mejorar las alcantarillas y obras de drenaje existentes.



Fotografía 4.1: Depósito de escombros en el extremo nororiente del humedal



Fotografía 4.2: Lavado de camiones en el extremo suroriente del humedal

- d) Para preservar parte o la totalidad del humedal, también se debe evitar que se contaminen las aguas generadas en su hoya hidrográfica y que ellas sean derivadas por proyectos de drenaje urbano hacia otros lugares. Esta recomendación es especialmente válida si en los estudios específicos que

se desarrollen para establecer los equilibrios de mediano y largo plazo del humedal, se determina la necesidad de contar con esta fuente de agua. En términos prácticos esto significa adoptar medidas específicas respecto del control y aprobación de los proyectos de drenaje que se desarrollen en su hoya tributaria; sobre las actividades permitidas en ella, y en el control efectivo del destino que se deberá dar a los residuos líquidos generados en ella. A modo de ejemplo de la importancia que reviste esto último, cabe destacar que si no se adoptan todas las medidas necesarias para evitar que los residuos líquidos generados en el hospital que se proyecta construir muy cerca del humedal lleguen a este cuerpo de agua, se pueden generar problemas de contaminación bacteriológica que ponga en riesgo la avifauna allí existente y la población de Punta Arenas.

- e) Los estudios cartográficos realizados, indican que en la actualidad el humedal recibe directa o indirectamente las aguas generadas en una hoya hidrográfica de 186,4 hectáreas, con una cota media de 25 msnm. En esta superficie se incluyen 142,2 hectáreas correspondientes a una cuenca urbana ubicada al poniente del humedal, cuyas aguas llegan a este cuerpo de agua, y 44,2 hectáreas correspondientes a los terrenos planos, localizados bajo la cota 4 msnm, donde se encuentran las principales lagunas del humedal.
- f) Los estudios hidrológicos realizados, aunque son de carácter preliminar, indican que en la actualidad el humedal es alimentado con un volumen medio anual de aproximadamente 467.300 m<sup>3</sup>. El 53,4% de este volumen es generado en la hoya de 142,2 hectáreas anteriormente indicada, donde cae una precipitación media anual de 569,9 mm y donde se genera un escorrentía media anual total de aproximadamente 249.600 m<sup>3</sup> (equivalente a 175,5 mm). El 46,6% restante es generado por la precipitación que cae directamente sobre las 44,2 hectáreas del humedal, generando un volumen medio anual de 217.700 m<sup>3</sup> (equivalente a 492,5 mm). De acuerdo con lo anterior, a nivel anual se produce una renovación de agua equivalente a 467.300 m<sup>3</sup>, con un tiempo medio de permanencia en el humedal que depende del volumen medio de agua ocupado por sus lagunas.

Para la obtención del volumen medio anual indicado en el párrafo precedente, se consideró que el humedal cubre la totalidad de los terrenos planos localizados bajo la cota 4 msnm. En caso de que los estudios topobatimétricos especificados en los Términos de Referencia del Anexo I, muestren que las lagunas del humedal no cubren la totalidad de estos terrenos planos, se reducirá el volumen de agua afluente a estas lagunas y aumentará la importancia relativa de la hoya hidrográfica que las surte con agua.

- g) Los estudios hidrológicos realizados no permiten establecer la existencia de acuíferos de carácter regional que afloren en los terrenos planos del humedal. Tampoco posibilitan establecer qué parte de la escorrentía total generada en la hoya de 142,2 hectáreas se infiltra en acuíferos profundos que no alimentan el humedal. Si bien este tipo de incógnitas deben ser despejadas, se estima que los volúmenes de renovación de agua señalados en el párrafo precedente son del mismo orden de magnitud que los reales.

## **4.2 Términos de Referencia**

De acuerdo con lo señalado en las conclusiones y recomendaciones del punto precedente, para asegurar la preservación del humedal se deben adoptar medidas que involucran tanto al humedal como a su hoya hidrográfica. Para establecer los fundamentos técnicos de estas medidas, es necesario realizar una serie de estudios que son regulados por los Términos de Referencia que se presentan en el Anexo I.

## ANEXO I

## ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA SUSTENTABILIDAD HÍDRICA Y AMBIENTAL DEL HUMEDAL DE TRES PUENTES

### TÉRMINOS DE REFERENCIA

#### 1. INTRODUCCIÓN

Los presentes Términos de Referencia, establecen los trabajos que se deberán desarrollar en el marco de la consultoría titulada "Análisis y Evaluación de la Sustentabilidad Hídrica y Ambiental del Humedal de Tres Puentes"; los plazos de este estudio, y los requisitos mínimos que deberán satisfacer los profesionales que participen en ella.

El objetivo último de esta consultoría es establecer, con fundamentos técnicos, las medidas y obras que se deberá implementar y/o construir para asegurar la conservación del humedal.

Los objetivos específicos son: (1) establecer las características mínimas del hábitat requerido para preservar la avifauna existente; (2) elaborar un modelo hidrológico de escala diaria, que permita establecer el comportamiento hidrológicos de las lagunas que se desea preservar; (3) desarrollar un modelo básico que permita establecer la calidad físico química y bacteriológica de las aguas del humedal, y (4) proponer las medidas necesarias para asegurar la preservación del humedal y describir las obras mínimas que se recomienda realizar para ello.

#### 2. ANTECEDENTES GENERALES

Recibe el nombre genérico de "Humedal de Tres Puentes", el conjunto de lagunas y terrenos planos localizados en un espacio de aproximadamente 44 hectáreas, situado en el acceso norte a la ciudad de Punta Arenas, bajo la cota 4 msnm, inmediatamente al suroriente de la Av. Presidente Carlos Ibáñez Del Campo, entre la avenida Presidente José Joaquín Pérez y el canal de trasvase del estero LLau LLau al estero Bitsch.

Debido al atractivo turístico y riqueza biológica de este humedal, donde diversos especialistas han indicado que existiría una avifauna compuesta por alrededor de 60 especies de aves, las autoridades de la ciudad de Punta Arenas y del Gobierno Regional, y organizaciones de carácter particular, están interesadas en que se adopten las medidas necesarias para asegurar la preservación de este hábitat.

Con esta finalidad la Comisión Regional del Medioambiente (CONAMA), realizó un estudio titulado "Sustentabilidad Hídrica del Humedal de Tres

*Puentes*", que permitió recopilar información cartográfica sobre el humedal; definir sus hoyas hidrográficas relevantes; establecer a nivel conceptual los principales componentes de su balance hídrico; estimar los volúmenes de agua que llegan anualmente a él, y proponer la realización de estudios técnicos específicos conducentes a determinar las medidas que será necesario implementar para preservar el humedal.

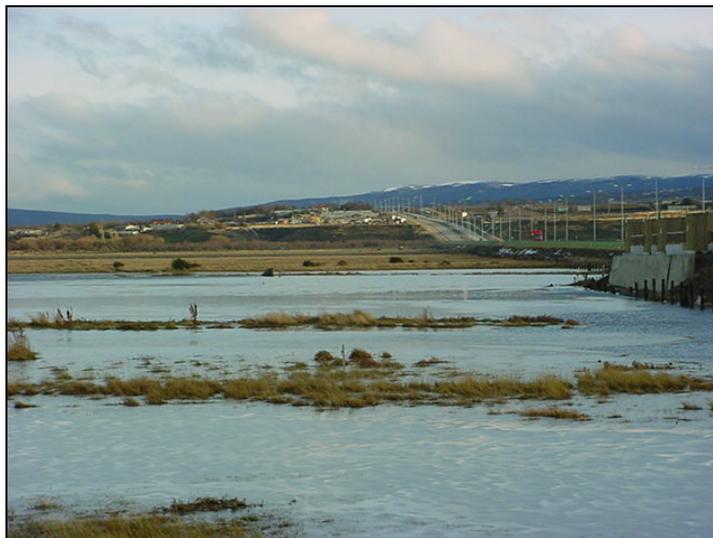


Fig. I.1: Humedal de Tres Puentes

### 3. OBJETIVOS DE LA CONSULTORÍA

Los objetivos de la consultoría son los siguientes:

- a) Establecer sobre bases técnicas las características mínimas del hábitat requerido para asegurar el mantenimiento de la avifauna existente en el Humedal de Tres Puentes, incluyendo, entre ellas: (1) la superficie mínima de terreno requerido; (2) el tamaño y volumen mínimo de agua que deben tener sus lagunas, y (3) los estándares mínimos de calidad del agua del humedal.
- b) Elaborar y operar un modelo hidrológico que permita determinar, a escala diaria, el comportamiento hidrológico de las lagunas que se desea preservar, de modo de conocer los niveles y volúmenes extremos que pueden alcanzar sus lagunas, los volúmenes de renovación anual de agua y los tiempos medios de permanencia del agua en el humedal.
- c) Desarrollar un modelo básico que permita establecer la calidad físico química y bacteriológica de las aguas del humedal, para determinar con él

la factibilidad técnica y ambiental de preservar el humedal en un ambiente urbano.

- d) Proponer las medidas necesarias para preservar el humedal y describir las obras mínimas que se recomienda realizar.

## **4. TRABAJOS POR DESARROLLAR**

### **4.1 Descripción del trabajo**

De acuerdo con los objetivos señalados en el punto precedente, la consultoría ha sido dividida en las siguientes cuatro etapas que se desarrollan en forma consecutiva.

#### Etapa I: Caracterización y definición del hábitat que se desea preservar

En esta etapa de la consultoría, sobre la base de antecedentes bibliográficos acerca de la avifauna existente en el humedal, de observaciones realizadas en campañas de terreno destinadas a verificar la información bibliográfica y la propia experiencia del equipo de biólogos del consultor, se deberá establecer con claridad las características físicas y biológicas mínimas necesarias para asegurar la supervivencia y, si correspondiese, la reproducción de la avifauna existente.

Especial relevancia deberá darse a: (1) el establecimiento de la ubicación territorial y superficie mínima del terreno que se considera necesario conservar para asegurar la preservación de la avifauna; (2) la determinación de la superficie y volumen mínimo de agua que deberán tener sus lagunas; (3) la especificación de los estándares de calidad mínima que deberá tener el agua, y (4) el establecimiento de la cantidad y calidad de los residuos descargados por la avifauna.

Esta etapa del estudio comprende, también, la realización de un levantamiento topobatimétrico escala 1:500 o menor, con curvas de nivel cada 0,5 m, de la totalidad de los terrenos planos localizados bajo la cota 4 msnm, entre el canal de trasvase, la avenida Presidente José Joaquín Pérez y la avenida Presidente Carlos Ibáñez del Campo, incluyendo una monografía de los canales, alcantarillas y obras de conducción y/o desvío de las aguas superficiales que ingresan o salen de estos terrenos.

Con los resultados obtenidos en este estudio topobatimétrico se deberá complementar, precisar y/o corregir la cartografía del humedal, de modo de generar una nueva versión del plano escala 1:5.000 titulado "Vías de Ecurrimiento y Hoyas Hidrográficas Humedal de Tres Puentes", donde se

muestren los límites de las distintas hoyas hidrográficas que surten con agua al humedal.

Los estudios y trabajos señalados en los párrafos precedentes, y las conclusiones y recomendaciones que se deriven de ellos, deberán ser incluidos en un informe técnico donde se señale con claridad la ubicación y superficie mínima del terreno y de las lagunas que se considera necesario preservar. Los resultados y conclusiones de esta etapa del estudio también deberán ser expuestas en una reunión ampliada, en la que participen como mínimo representantes de la Ilustre Municipalidad de Punta Arenas, del Servicio de Vivienda y Urbanismo, del Ministerio de Obras Públicas, y de las organizaciones particulares interesadas en preservar el humedal, para que ellos conozcan la superficie de los terrenos que se recomienda preservar y su ubicación dentro del humedal existente.

Junto con el informe técnico recién señalado, se deberá entregar los siguientes planos: (1) versión corregida del plano escala 1:5.000 titulado "*Vías de Escurrimiento y Hoyas Hidrográficas Humedal de Tres Puentes*", donde se incorporen las modificaciones realizadas al plano del mismo nombre proporcionado por CONAMA, sobre la base de los resultados obtenidos en el levantamiento topobatimétrico realizado, y se muestren los límites de las distintas hoyas hidrográficas que surten con agua al humedal; (2) plano escala 1:500 o menor, titulado "*Lagunas del Humedal de Tres Puentes*", donde se presenten los resultados obtenidos en el levantamiento topobatimétrico del humedal, y (3) plano escala 1:5.000 o menor, titulado "*Ubicación Territorial y Superficie Mínima del Humedal*", donde se señale claramente la ubicación y superficie mínima del terreno que se considera necesario conservar para asegurar la preservación de la avifauna existente.

### Etapa II: Desarrollo y operación del modelo hidrológico

Una vez establecida a firme la superficie del terreno que se considera necesario preservar y su ubicación en el humedal, a partir de los antecedentes cartográficos elaborados en la etapa precedente, se calculará la superficie de las hoyas hidrográficas involucradas en el balance hídrico del humedal y la curva de embalse de cada una de las lagunas allí existentes, y se deberá determinar la conexión hidráulica existente entre cada laguna.

Enseguida, a partir de los resultados obtenidos en las campañas de prospección del suelo existente en los terrenos donde se ubica el humedal, y de los antecedentes meteorológicos e hidrológicos de la zona, se deberá desarrollar un modelo matemático de escala diaria, que permita determinar como mínimo lo siguiente: (1) los volúmenes mensuales de agua afluente a las lagunas de humedal; (2) sus cotas medias mensuales y niveles extremos

diarios; (3) el tiempo medio de residencia del agua en el humedal, y (4) su respuesta frente a alteraciones en las condiciones de borde, ya sea respecto de las obras que permiten el ingreso y salida de agua de las lagunas, como respecto de modificaciones en los volúmenes de agua generados por cambios introducidos en la hoya tributaria. En este último sentido es importante señalar que para la determinación de los volúmenes de agua generados en la hoya tributaria del humedal, se deberá considerar las siguientes tres alternativas de urbanización de la cuenca: (a) mantener los parámetros de desarrollo actual, propuestos en el Plan Regulador Comunal vigente; (b) considerar un escenario de máximo desarrollo, con una densidad de 240 habitantes por hectárea, y (c) proponer un escenario intermedio, debidamente justificado por el consultor.

Para apoyar y fundamentar el desarrollo del modelo hidrológico, durante las fases iniciales de esta etapa se deberá: (1) recopilar y revisar antecedentes sobre los suelos que se encuentran en el área ocupada por el humedal; (2) realizar prospecciones del terreno (consistentes en dos o tres sondajes con cuchara normal, de 5 metros de profundidad, y dos calicatas de 1,5 m de profundidad) que posibiliten conocer la estratigrafía y características de los horizontes más superficiales del suelo; (3) efectuar tres ensayos de permeabilidad, y (4) recopilar información respecto de las alternativas de urbanización de la cuenca.

### Etapa III: Modelación de la calidad del agua

Con el propósito de establecer el cumplimiento de los estándares de calidad establecidos para las aguas del humedal en la primera etapa de esta consultoría, y analizar la evolución de mediano y largo plazo de los cuerpos de agua que lo conforman, en esta etapa de la consultoría se deberá elaborar un modelo simplificado de calidad físico-químico y bacteriológica de las aguas del humedal.

Para desarrollar este modelo se considerarán los resultados obtenidos en las dos etapas anteriores y durante la realización de campañas de terreno destinadas a establecer lo siguiente: (1) la calidad físico química y bacteriológica actual de las aguas acumuladas en las lagunas que conforman el humedal, y (2) la calidad físico química de las aguas generadas en su hoya tributaria.

Con este modelo también deberá efectuarse un análisis de sensibilidad de muestre la respuesta del humedal a cambios en la calidad físico química y bacteriológica de las aguas generadas en la hoya tributaria del humedal.

#### Etapa IV: Establecimiento de medidas para preservar el humedal

En esta etapa, a partir de los resultados obtenidos en las tres etapas anteriores, se deberá proponer el conjunto de medidas mínimas que se considera necesario implementar en el corto plazo para asegurar la conservación del humedal. Asimismo, se deberá indicar las principales características generales de las obras que se propone implementar.

Si los análisis efectuados en las etapas precedentes indican la necesidad de desarrollar nuevos estudios para precisar las medidas propuestas o para asegurar la conservación en el largo plazo del humedal, en esta etapa de la consultoría también se deberá describir los estudios que se propone realizar y los objetivos específicos que se persiguen con cada uno de ellos.

#### **4.1 Plazos de cada etapa**

La consultoría se desarrollará en cuatro etapas, cuyas duraciones serán las siguientes:

La primera etapa tendrá una duración de 75 días. Al término de ella el consultor deberá entregar el informe técnico correspondiente, y organizar una reunión donde describa los resultados obtenidos en esta etapa y proponga la superficie mínima del humedal que se propone conservar.

La segunda etapa se iniciará una vez que CONAMA de por escrito su visto bueno a la proposición realizada por el consultor. Tendrá una duración de 110 días y al término de ella el consultor deberá entregar el informe técnico correspondiente.

La tercera etapa tendrá una duración de 90 días. Al término de ella el consultor deberá entregar el informe técnico correspondiente.

La cuarta etapa tendrá una duración de 35 días, al término de los cuales el consultor deberá entregar el Informe Final de la consultoría.

#### **5. FORMA DE PAGO**

Las actividades descritas deberán ser cotizadas bajo la modalidad de precios unitarios. Las etapas de la consultoría se pagarán de acuerdo al programa financiero del consultor, previa aprobación por parte de la Inspección Fiscal de cada una de ellas.

## **6. RECURSOS HUMANOS**

Para desarrollar esta consultoría se deberá proponer un equipo de trabajo que cumpla con los requisitos que a continuación se detallan.

### **6.1 Perfil del Personal**

El estudio deberá ser dirigido por un ingeniero civil hidráulico, sanitario o ambiental, con una experiencia mínima de 10 años, o por un biólogo con una experiencia profesional superior o igual a 10 años y que acredite haber realizado estudios de impacto ambiental en la Región de Magallanes.

En el equipo de trabajo se deberá ofrecer la participación de lo menos un biólogo titulado, con una experiencia mínima de 8 años, que acredite la realización de estudios y/o publicaciones técnicas en revistas y/o congresos de reconocido prestigio nacional y/o internacional sobre el comportamiento y características de la avifauna de Magallanes. También se deberá ofrecer la participación de un ingeniero civil mención hidráulica, con una experiencia mínima de 8 años, que acredite la realización de estudios hidrológicos en Magallanes y/o la publicación de artículos técnicos en revistas y/o congresos de reconocido prestigio nacional y/o internacional en que se aborden problemas hidrológicos de la Región de Magallanes.

Para la realización y/o supervisión de los estudios cartográficos y topobatimétricos solicitados, y apoyar la determinación de las alternativas de urbanización de la hoya hidrográfica del humedal, se deberá ofrecer la participación de un cartógrafo, ingeniero de ejecución en geomensura o un especialista en desarrollo urbano con conocimiento de sistemas de información geográfica, de a lo menos 2 años de experiencia en la Región de Magallanes.