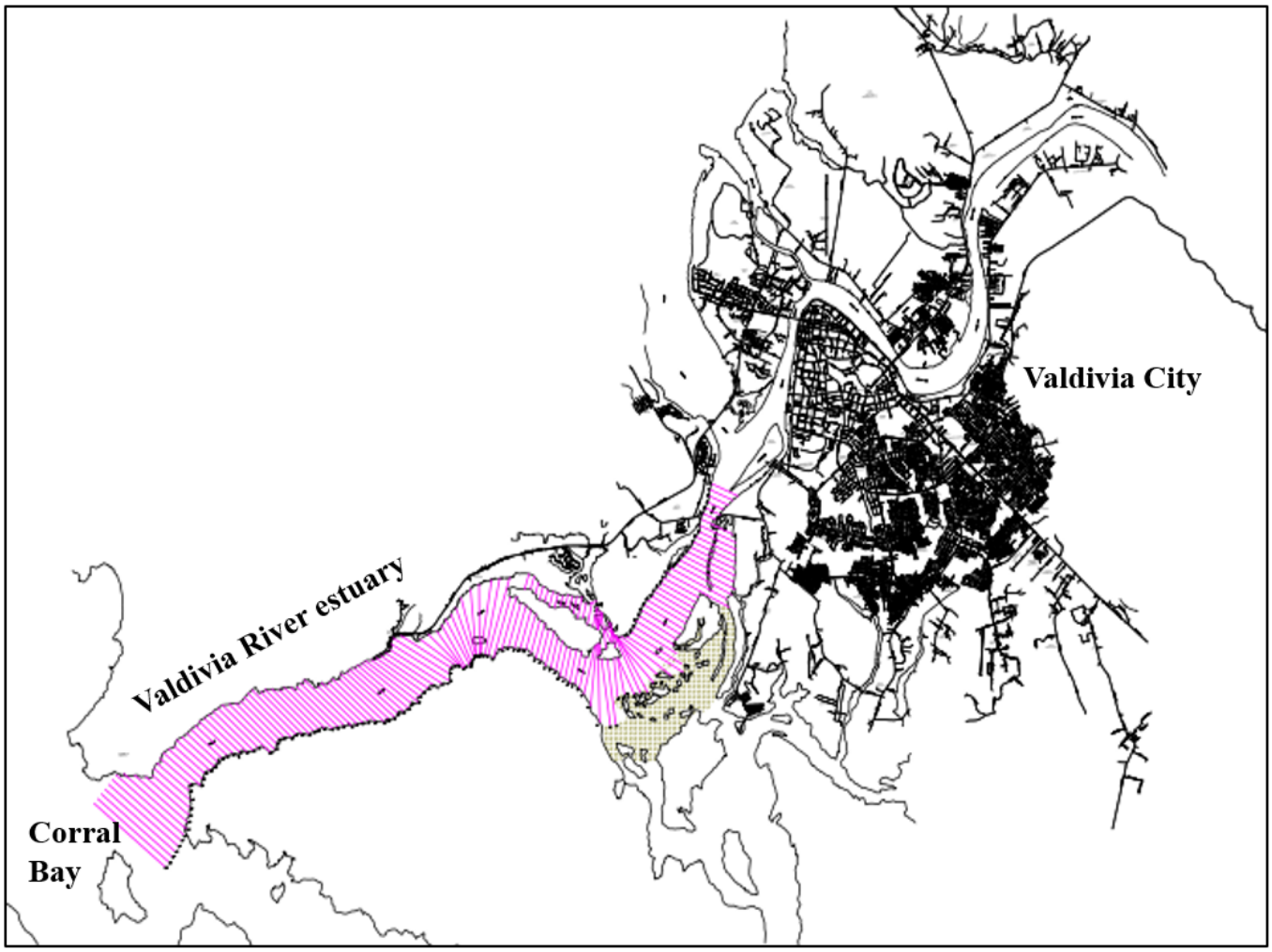
El estuario del río Valdivia es uno de los más importantes del sur de Chile, debido a su ubicación estratégica, que conecta el océano pacífico con la ciudad del mismo nombre, distantes a unos 17 kilómetros (Perillo et al., 1999).

Este trabajo describe la estimación de un coeficiente relevante del estuario del río Valdivia, influido por forzamientos, como el viento, gradiente de densidad y descarga fluvial. Este coeficiente es el de viscosidad turbulenta, el cual es una relación entre el esfuerzo de cizallamiento promedio al interior de un flujo turbulento de agua o aire con el gradiente vertical de velocidad de este. Este coeficiente depende de la densidad del fluido y de la distancia del fondo del cuerpo de agua o de la superficie del lecho (Allaby, 2019).



Área de Estudio del Estuario del Río Valdivia. (Elaboración propia).

El modelo matemático utilizado fue desarrollado por IISTA de la Universidad de Granda, el cual describe la circulación longitudinal y vertical de un estuario idealizado. Éste incluye las soluciones analíticas De Swart et al. (2009) y Talke et al. (2009).

Para la calibración del coeficiente de viscosidad turbulenta, se realizó un análisis grafico de resultados numéricos teóricos, en comparación con los datos obtenidos durante las mediciones del del Río Valdivia en el año 1990 y expuestos en el trabajo de Pino et al (1994).

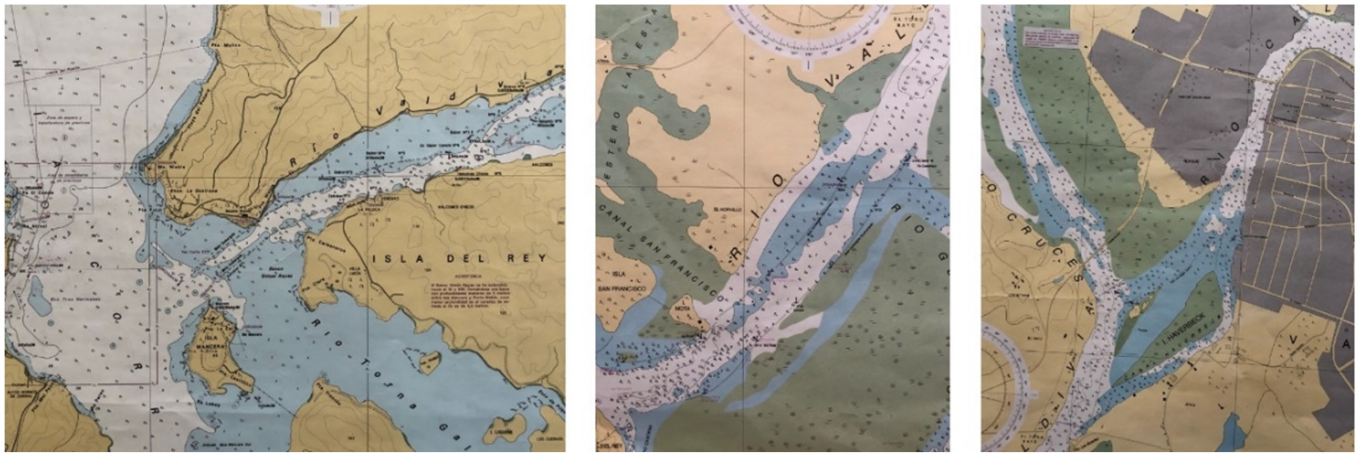
Metodología

En primer lugar, se implementan las ecuaciones que describen un estuario idealizado en el lenguaje Python, con el polinomio desarrollado por Hansen y Rattray (1965) para calcular la velocidad total en la columna de agua a diferentes profundidades y el trabajo de W. Geyer (1997), quien adopta como forzantes principales, la gradiente de densidad, la circulación fluvial, y el viento sobre la superficie del estuario, y el coeficiente de viscosidad turbulenta (Av):

$$u(z) = \frac{1}{48}\frac{g\frac{\partial \rho}{\partial x}h^3}{\rho(Av)}\left(1 - 9\left(\frac{z}{h}\right)^2 - 8\left(\frac{z}{h}\right)^3\right) + \frac{3}{2}u_0\left(1 - \left(\frac{z}{h}\right)^2\right) + \frac{1}{4}\frac{\tau_w h}{\rho(Av)}\left(1 + 4\frac{z}{h} + 3\left(\frac{z}{h}\right)^2\right) \quad (1)$$

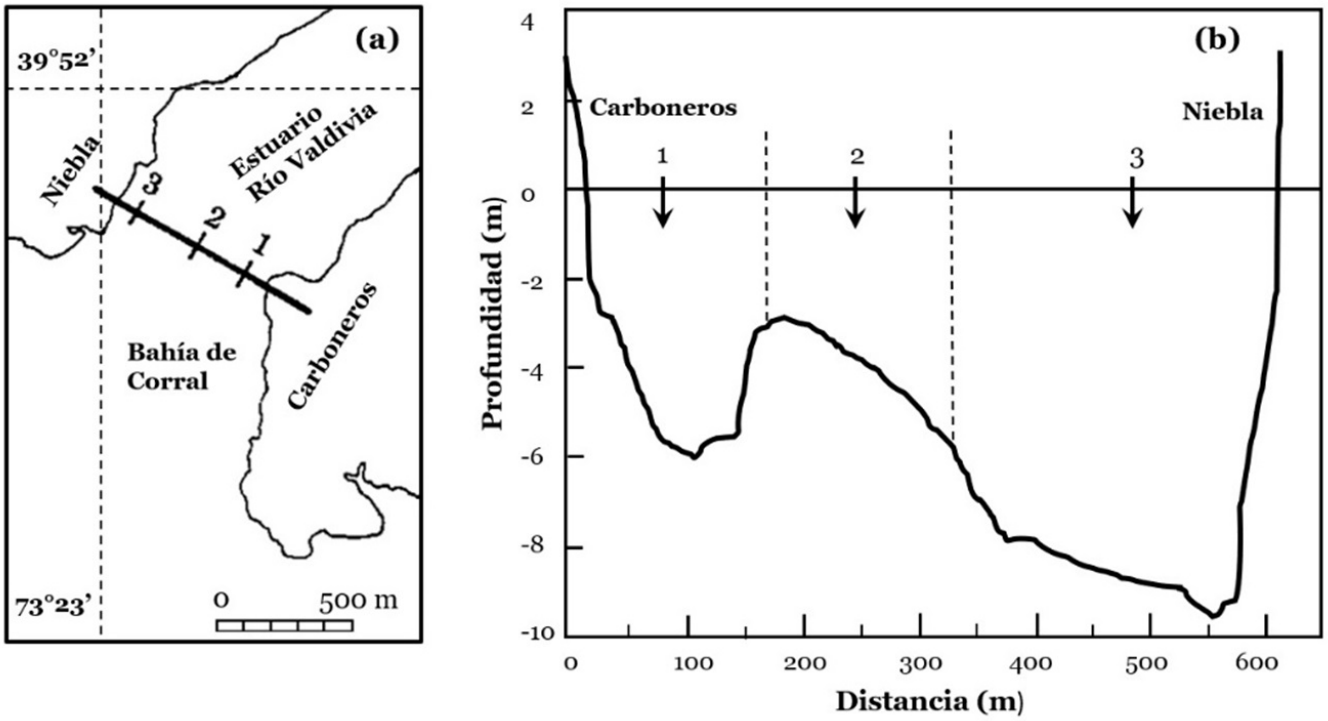
Donde u(z), corresponde a la corriente total a lo largo de la profundidad, ρ es la densidad, g es la aceleración de la gravedad, h es la profundidad del agua, τw es el estrés del viento, y uo es la velocidad media debido a la descarga fluvial.

En cuanto a la geomorfología del estuario utilizada para el ajuste del modelo, se consideraron las cartas náuticas N°6251 y 6254 (siguiente figura), del Catálogo de cartas y publicaciones náuticas – 2015, del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile [2].



Cartas náuticas del estuario del Río Valdivia. (SHOA, 2015).

Campaña de campo en el estuario del Río Valdivia “Se realizaron mediciones, cerca de la boca, en una sección transversal perpendicular al canal durante un período de 12,5 horas el 27 de diciembre de 1990. Se establecieron tres estaciones (S1, S2 y S3) en la sección transversal” (siguiente figura) y “Las corrientes de marea se midieron en cada nivel durante 1 minuto con un medidor de corriente digital, luego la salinidad y la temperatura se determinaron con un puente MC5” (Pino et al, 1994).



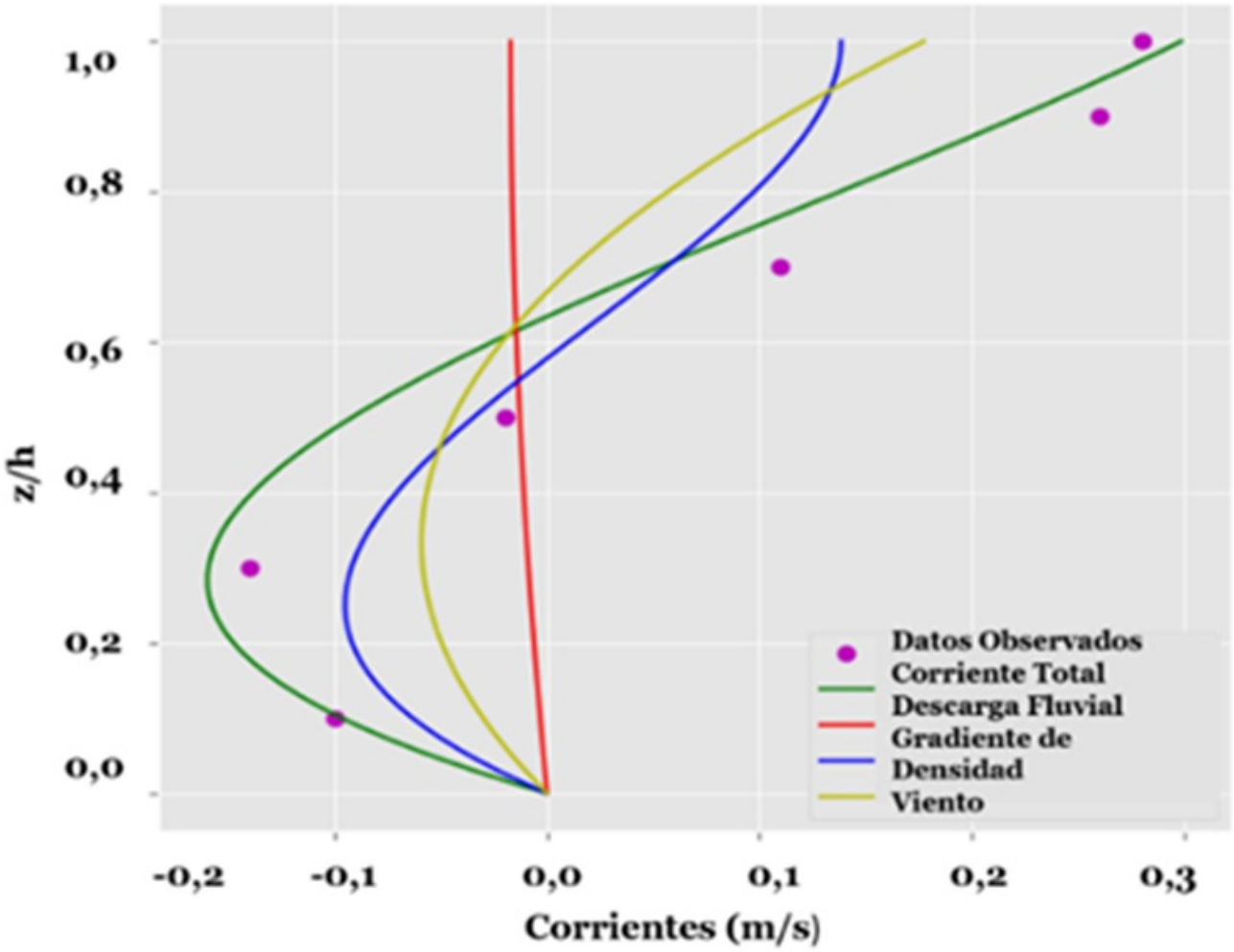
(a) Ubicación de las secciones de estudio. (b) Perfiles de batimetría de la sección de estudio. El número 1, 2 y 3 representa la posición de las estaciones. (Adaptada de Pino et al., 1994).

Resultados

De los resultados obtenidos en esta campaña, la salinidad y la temperatura fluctuaron entre 5 y 30 (psu) y entre 10 y 20 °C. En cuanto a la velocidad longitudinal máxima fue de 0,9 m/s para el reflujo y de 0,8 m/s para la inundación en la superficie y en media profundidad.

Los valores medios de la salinidad en verano fueron de 22,12 psu en la boca delo estuario, el cual descendió exponencialmente a un valor de 10,5 psu hasta la cabecera. Por otro lado, el caudal de la descarga fluvial para el 27 de diciembre de 1990, día en que se realizó la campaña, fue de 156 m3/s (DGA, 2019) y en cuanto al Viento, el promedio del mes de diciembre para la zona de estudio fue de 4 m/s en dirección NE (Dirección Metrológica de Chile, 2019).

El resultado obtenido con el análisis gráfico, indica que el coeficiente de viscosidad turbulenta optimo bajo las condiciones de campaña es: Av = 3,7 *10-4, con un error medio cuadrático de e = 0.074. La línea verde de la siguiente figura, correspondiente a la suma de las corrientes horizontales provocada por cada uno de los forzamientos submareales (gradiente de densidad, descarga fluvial y viento) para el día de la campaña, se ajusta razonablemente bien a los puntos color magenta que corresponden al promedio de corrientes observadas por Pino et al (1994). Por lo que se considera que el coeficiente de viscosidad turbulenta Av es aceptable para el estuario del Río Valdivia.



Comparación de corrientes producto de los diferentes forzamientos, corriente total,

versus corriente observada promedio del estudio de Pino et al. (1994), para ajuste de Av. (Elaboración Propia).

Conclusiones

La utilización de los datos observados por la campaña del 27 de diciembre de 1990, permitió ajustar el coeficiente de viscosidad turbulento Av, que es una de las variables más complicadas de obtener directamente en las campañas de campo.

Se observa también, que cada forzamiento contribuye de manera singular sobre la circulación total del estuario.

El ajuste del coeficiente ayuda, a la simulación de campos de corrientes que podría sufrir el estuario del Río Valdivia frente a cambios extremos en su hidrodinámica.

Notas

[1] Detalle de la obtención del polinomio disponible en la tesis doctoral de la Universidad de Sevilla, de Liu, L. (2018). “Análisis de sistemas dinámicos dimensionales infinitos asociados a ecuaciones diferenciales funcionales”.

[2] Obtenido del “Catálogo de cartas y publicaciones náuticas”, del Instituto Hidrográfico de la Armada – Chile.

Referencias

Allaby M. “Eddy Viscosity” A Dictionary of Ecology. Retrieved November 12, 2019 from Encyclopedia.com: https://www.encyclopedia.com/science/dictionaries-thesauruses-pictures-and-press-releases/eddy-viscosity-0

De Swart, H., Schuttelaars, H. and Talke, S. (2009). Initial growth of phytoplankton in turbid estuaries: A simple model. Continental Shelf Research, 29(1), pp.136-147.

Dirección Meteorológica de Chile (2019). Portal de Servicios Climáticos. [online] Climatologia.meteochile.gob.cl. Available at:

https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/mensuales/viento10DireccionesMensual/390043/2018/12 [Accessed 15 Mar. 2019].

DGA (2019). MOP – Chile. [online] Snia.dga.cl. Available at:

http://snia.dga.cl/BNAConsultas/reportes [Accessed 8 Mar. 2019].

Geyer, W. (1997). Influence of Wind on Dynamics and Flushing of Shallow Estuaries. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 44(6), pp.713-722.

Google (2019). Google Maps. [online] Google Maps. Available at:

https://www.google.cl/maps/place/Valdivia,+Los+R%C3%ADos/@-39.8350137,-73.3058303,53529m/data=!3m2!1e3!4b1!4m5!3m4!1s0x9615e94f20de4501:0x89b7301051537813!8m2!3d-39.8195857!4d-73.2452103 [Accessed 17 Nov. 2019].

Hansen, D. V. & Rattray, Jr. M. 1965 Gravitational circulation straits and estuaries. Journal of Marine Research, 23: 104-122.

Pino M., Perillo, G. and Santamarina, P. (1994). Residual Fluxes in a Cross-section of the Valdivia River Estuary, Chile. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 38(5), pp.491-505.

Perillo, G.M.E., M.C. Piccolo & M. Pino-Quivira. (1999). Estuaries of South America: their geomorphology and dynamics. Springer, Berlin, 223 pp.

SHOA (2015). Catálogo de cartas y publicaciones náuticas. Valparaiso, Chile: Instituto Hidrográfico de la Armada, pp.6251-6254.

Talke SA, de Swart HE, Schuttelaars HM (2009) Feedback between residual circulations and sediment distribution in highly turbid estuaries: an analytical model. Cont Shelf Res 29:119–135.

Head image: Mapa de localización del Estuario del Río Valdivia. (Adaptación de Google, 2019).