

## Modelo estructural de sector norte de la península de Mejillones, Chile

Álvaro Araneda\*  
Marcello Capelli\*\*  
Manuel Araneda\*

*Recibido en febrero de 2016; aceptado en enero de 2017*

### Abstract

The structural model of the north area of Mejillones Peninsula is located between the Mejillones fault to the west, Aeropuerto fault to the east, and Cerro Gordo fault to the south. The width is approximately 20 km with north-south length of 25 km.

This model was obtained by processing and analyzing 420 homogeneously distributed gravity stations and through geological observations. Bedrock underground morphology obtained with the gravimetric model matches the geological hypothesis stating that the segmentation of the continental margin is comprised of a series of normal faults remarkably expressed at the east margin of the Mejillones Peninsula that can be explained by the tectonic erosion of such margin. Both the geological arguments and the contributions of this publication can be corroborated by the results of a series of marine seismic profiles conducted in the area. It must be highlighted that the Mejillones fault located west to the survey area has an approximate depth of 1200 meters. The sedimentary fill of the basin is comprised of a series of undifferentiated marine deposits of the Cenozoic era.

*Key words: Tectonic basin, Underground morphology, Gravity.*

### Resumen

El modelo estructural del sector norte de la península de Mejillones se encuentra ubicado entre las fallas de Mejillones por el oeste, falla el Aeropuerto por el este y la falla Cerro Gordo en el sector sur. Su ancho es de aproximadamente 20 km con un largo norte-sur de 25 km.

Dicho modelo fue obtenido mediante el procesamiento y análisis de 420 estaciones de gravedad distribuidas homogéneamente y por observaciones geológicas.

.....  
\* SEGMI, correo electrónico: [segmi@netexpress.cl](mailto:segmi@netexpress.cl)

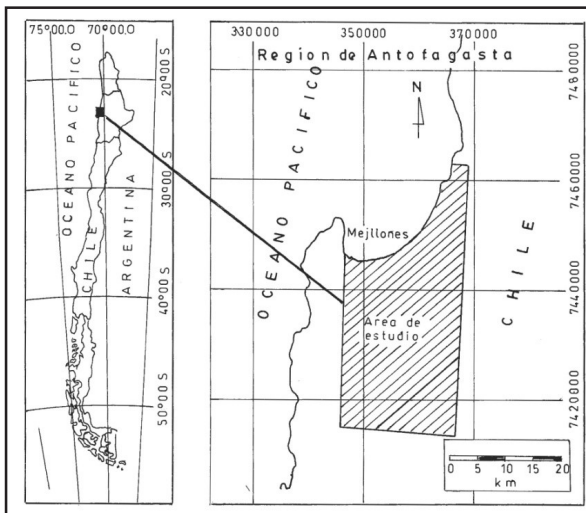
\*\* Hidrogestión.

La morfología subterránea del basamento obtenida mediante el modelo gravimétrico coincide con la hipótesis geológica que da cuenta que la segmentación del margen continental está compuesto por una serie de fallas normales que se expresan notablemente en el borde este de la península de Mejillones lo cual puede ser explicado por la erosión tectónica del dicho margen. Tanto los argumentos geológicos como los aportados en esta publicación pueden corroborarse por los resultados de una serie de perfiles sísmicos marinos realizados en el área. Se destaca que la falla de Mejillones ubicada al oeste del área estudiada tiene una profundidad aproximada de 1200 metros. El relleno sedimentario de la cuenca está compuesto por una serie de depósitos marinos indiferenciados de época Cenozoica.

*Palabras claves: Cuenca tectónica, Morfología subterránea, Gravedad.*

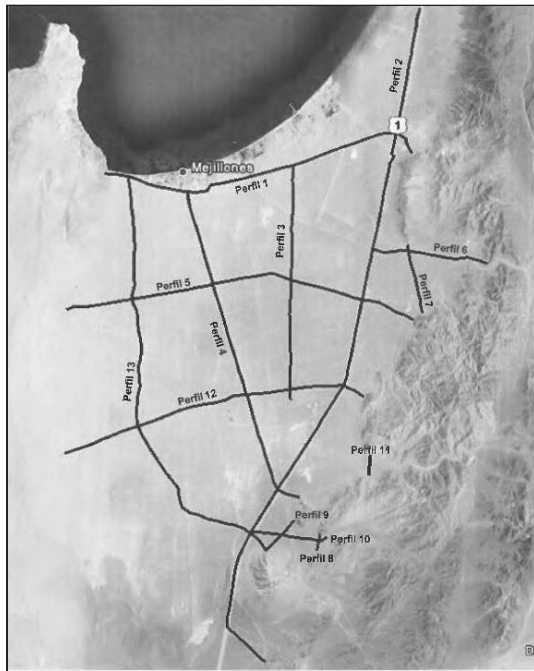
## Introducción

Zonas adyacentes a la ciudad de Antofagasta constituyen un sector único en la costa del norte de Chile ya que aún se puede estudiar la geotectónica activa de un margen continental. En particular la península de Mejillones, Figura 1, la cual forma un bloque tectónico activo separado de la cordillera de la Costa que interrumpe la morfología relativamente lineal del litoral. En ella afloran secuencias sedimentarias rodeadas en depresiones tectónicas que guardan un completo registro de la sedimentación marina cenozoica (Krebs *et al.*, 1992).



**Figura 1.** Ubicación de la zona y área de estudio.

Además este sector es el único lugar del norte chileno donde se exponen sedimentos marinos del Mioceno inferior. Registros sísmicos y muestreo del fondo marino han detectado que sedimentos de esa edad ocupan una posición estratigráfica similar a la de las secuencias expuestas en la península de Mejillones (Farraris, 1979; Padilla y Elgueta, 1992). De esta forma el estudio de las secuencias sedimentarias Cenozoicas marinas de la península de Mejillones aportan un antecedente importante para entender la evolución tectónica del margen continental activo del norte de Chile y por consecuencia el proceso de subducción. Con el objeto de estudiar esta estructura se diseñó una red de perfiles gravimétricos de acuerdo a como se observa en la Figura 2.



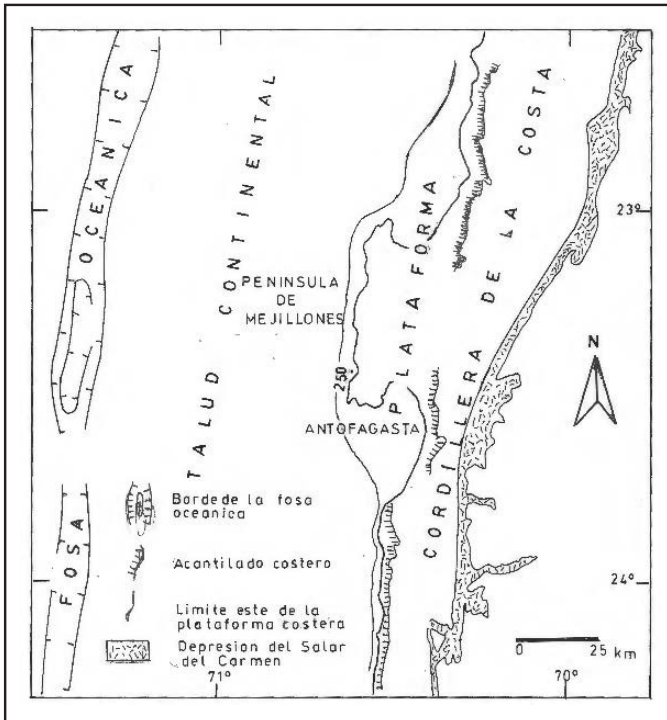
**Figura 2.** Líneas Gravimétricas.

En general las investigaciones en el área tienen un carácter local. Una excepción de ello lo constituyen el trabajo de Armijo y Thiele (1990), quienes intentaron relacionar rasgos morfoestructurales del margen continental con la subducción. Según estos mismos autores la deformación extensional de la península de Mejillones sería un fenómeno local relacionado con una gran falla

normal que produjo el acantilado costero. Esta causa sería un cambio drástico en el ángulo de manto de la placa subductante el cual se verificaría por debajo de la cordillera de la Costa. Niemeyer *et al.*, (1996) postulan que la deformación extensional en la actualidad es un fenómeno compartido por todo el margen continental comprendido entre la cordillera de la Costa y el frente de subducción. Según estos autores este hecho constituye un antecedente importante para entender la deformación rígida del margen continental y su relación con el proceso de subducción.

### Dominios morfoestructurales

En el área de estudio del margen continental se pueden distinguir tres dominios morfoestructurales (Niemeyer *et al.*, 1996) cordillera de la Costa, plataforma costera y talud continental (Figura 3).



**Figura 3.** Ubicación de los dominios morfoestructurales de borde continental adyacentes a Antofagasta.

La cordillera de la Costa está formada por un conjunto de bloques alzados de orientación norte-sur que alcanzan alturas superiores a 2 000 metros. Su límite oriental es una estrecha depresión tectónica de orientación submeridiana. Su límite occidental está dado por el acantilado costero el cual corresponde a un rasgo morfológico a escala continental con alturas de hasta 1 300 msnm.

La plataforma costera se ubica entre el acantilado costero y los 200 msnm, quedando incorporada la península de Mejillones. También la plataforma costera se extiende entre Cobija y caleta El Cobre incluyendo los llanos entre Mejillones y la zona de "La Portada". La península de Mejillones está considerada como una parte de la plataforma costera emergida tectónicamente. De acuerdo a la batimetría la parte sumergida de la plataforma es relativamente angosta alcanzando un ancho menor de 5 km. Finalmente el talud se extiende entre el margen continental comprendido entre la costa 200 msnm y la losa oceánica cuyo eje define el actual límite entre la placa Sudamericana por el este y la placa de Nazca por el oeste. En este dominio a una distancia de 80 km aproximadamente del margen de la plataforma se alcanza la profundidad máxima de la fosa chileno peruana con una profundidad a 8 000 metros (Niemeyer *et al.*, 1996).

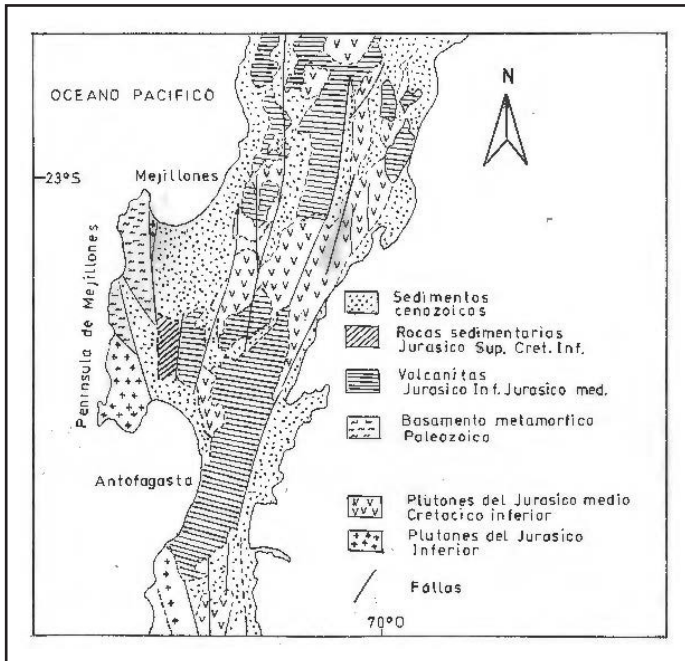
La cuña de la corteza continental más próxima al frente de subducción presenta un espesor aproximado de 20 km cuya base compuesta probablemente por un manto serpentinizado de edad más antigua que la del Cenozoico (Reutter *et al.*, 1991). Bajo esta cuña la placa de Nazca subducta a una velocidad de 6.2 cm/año con un ángulo de 18° al este (Kendrick *et al.*, 1999).

### **Marco tectónico**

La estructura más importante de la cordillera de la Costa está representada por la falla de Atacama (ZFA) la cual corresponde un conjunto de lineamientos tectónicos orientados norte-sur los cuales atraviesan prácticamente todas las unidades litológicas. La Figura 4 muestra estos lineamientos acompañados por la geología de la zona. Esta zona de falla de dimensiones corticales ha tenido una actividad tectónica prolongada cuyo inicio se remonta al Cretácico Inferior (Scheuber, Adriessen, 1990; Brown *et al.*, 1993; González, 1998) cuando comenzó un período de rápida movilidad del continente sudamericano hacia el oeste.

Durante este período la ZFA absorbió gran parte de la deformación del margen continental provocado por la subducción oblicua de la litosfera oceánica (Scheuber, Adriessen, 1990; Grocott *et al.*, 1995). Los movimientos fueron uniformemente similares y se desarrollaron según fallas norte-sur. La actividad más reciente de ZFA aparece documentada por escarpes de fallas que cortan depósitos nuevos, donde su naturaleza transcurrente sinistral ha sido demostrada por Armijo y Thiele (1990). Otros estudios han considerado la actividad reciente de esta zona de falla como del tipo extensional con descenso del bloque oriental (Herve, 1987b; Naranjo, 1987; Schaubert, Adriessen, 1990). Hoy

día no existe certeza si los movimientos transcurrentes señalados por Armijo y Thiele (1990) son locales o se extienden regionalmente a lo largo de la cordillera de la Costa.



**Figura 4.** Lineamientos estructurales (fallas) con el respectivo marco geológico.

### Antecedentes estratigráficos de la formación Mejillones

Estos depósitos están integrados principalmente por arenas que no superan los 20 metros de espesor. En el presente el reconocimiento de esta estructura sedimentaria alcanza hasta los 70 metros de profundidad de acuerdo a antecedentes proporcionados por sondajes. Nuevos antecedentes obtenidos por el levantamiento gravimétrico realizado en el sector norte de la península Mejillones indican que la potencia sedimentaria alcanza aproximadamente 1 200 metros de profundidad en el área de la falla Mejillones. El depósito sedimentario además presenta una variada macrofauna en la cual el elemento diagnóstico es *Chlamys Prpurata* que es el fósil-guía del Pleistoceno (Hern, 1969).

Estos depósitos se correlacionan en general con las diferentes terrazas marinas que se extienden a lo largo de la costa entre Cobija y Mejillones.

Depósitos aterrazados de edad Pleistocena se exponen escalonadamente flanqueando los bloques tectónicos de morros Mejillones, Jorgino y Moreno. Adicionalmente existen depósitos aluviales compuestos por abanicos colaterales en las depresiones intermontanas y en los faldeos de la cordillera de la Costa.

En el dominio morfoestructural de la plataforma costera los sedimentos marinos Cenozoicos alcanzan su mayor expresión en la península de Mejillones. En él se pueden distinguir de los más antiguos a los más modernos.

Estos depósitos eólicos están formados por arenas de grano medio a grueso formando dunas de varias formas y tamaños. Dichos materiales provienen de las distintas unidades cenozoicas expuestas en la península de Mejillones. Niemeyer *et al.* (1996) sugieren que la parte central de la península se debe a una intensa erosión eólica que ha llegado a formar un substrato de material Mesozoico. Estos depósitos también se expresan al oriente de la Portada donde las arenas se presentan semi consolidadas.

### **Estructura del dominio de la plataforma costera**

La plataforma costera en la bahía de Antofagasta se encuentra interrumpida por un cambio de pendiente lo cual se interpreta como una gran falla de orientación meridiana (Niemeyer *et al.* 1996) la cual es conocida como la falla Los Metales ubicada en las inmediaciones del sector de la bahía Juan López al sur de la península de Mejillones. En la misma bahía se determinó la ocurrencia de fallas activas que afectan tanto al basamento como a la cobertura sedimentaria, (Arabasz, 1971). Ellas forman una serie de bloques en escalón con descenso y basculamiento hacia el oeste de los bloques en posición oriental respecto de las fallas. Dicha geometría es similar a la observada en el campo de las fallas de la península de Mejillones, esto sugiere que este campo se prolongaría en el fondo marino frente a Antofagasta.

Al sur de la bahía de Antofagasta la plataforma costera se reduce en su ancho hasta alcanzar entre 3 a 5 km, al norte de la península de Mejillones frente a Punta Yayas existen antecedentes batimétricos que permiten inferir la existencia de una morfología de bloques alzados y deprimidos de manera similar a la topografía del basamento de la península de Mejillones.

El prototipo de la tectónica y sedimentación dominante en la plataforma costera aparece en plenitud en la península de Mejillones. Allí el control tectónico sobre la morfología se expresa como un relieve del tipo hort y graben simétricos y asimétricos limitado por grandes fallas normales entre las que se destacan las fallas de Mejillones y Aeropuerto.

Por otra parte frente a la península de Mejillones Ferrari; (1979) dio cuenta de por lo menos cinco escalones b.n.m.m en el sector donde la fosa alcanza su máxima profundidad. Sin embargo el rasgo tectónico de mayor importancia lo constituye la falla de Antofagasta.

Esta irregularidad del fondo marino refleja la gran inestabilidad tectónica del dominio del talud continental próximo a la zona de subducción donde se produciría el colapso gravitacional de bloques hacia el eje de la fosa (Niemeyer *et al.*, 1996).

La península de Mejillones ubicada en la plataforma costera se ha tomado como prototipo para estudiar las características tectónicas y morfológicas de este dominio ya que aparecen expuestas sobre el nivel del mar. Su característica típica es el campo de fallas normales activas entre el Mioceno y el reciente. Las estructuras más importantes en dicha área están dadas por la falla Mejillones, caleta Herradura y Aeropuerto. Dichas estructuras presentan importantes rechazos verticales que ponen en contacto rocas del basamento pre Mesozoico con la cobertura sedimentaria marina Cenozoica.

El talud continental marca un descenso escalonado desde la plataforma costera hasta el frente de subducción, sus estructuras muestran una gran similitud con las fallas tipo dominó expuestas en la península de Mejillones. Esta similitud hace pensar que la estructura de la península y el talud pertenecen a la misma génesis del campo de fallas. De esto se desprende que la extensión este-oeste observada en la península de Mejillones no constituye un fenómeno local (Armijo, Thiele, 1990), sino que sería un fenómeno común de la plataforma costera y el talud continental.

Los dominios de la plataforma continental y el talud continental parecen haber iniciado su actividad en el Mioceno cuando está franja alcanzó por erosión tectónica, una posición próxima al frente de subducción (Niemeyer *et al.*, 1996).

### **Marco geofísico en el área norte de la península de Mejillones**

El método gravimétrico utilizado en esta investigación es ampliamente conocido por su capacidad de conocer y resolver problemas asociados a variaciones de la densidad de las formaciones geológicas. Es importante destacar que la información obtenida en esta zona de estudio se puede considerar como una base de datos homogénea ya que fueron obtenidos solo mediante un gravímetro marca LaCoste Romberg modelo G. Estos instrumentos tienen baja deriva la cual es considerada lineal (1 mGal/mes). La base referencial utilizada para el estudio se ubica en el aeropuerto de Antofagasta, la cual pertenece a la Red Nacional de Gravedad de Chile, ligada a la Red Internacional Estandarizada de Gravedad 1971 (IGSN 71). Los parámetros de dicha base son los siguientes: latitud 23° 26.97' S, longitud 70° 26.44' O, elevación 108 metros y gravedad 978 873,62 mGal.

La mayoría de las líneas gravimétricas, Figura 2, se efectuaron en la planicie sedimentaria ubicada entre el cordón montañoso de Mejillones y la precordillera de la Costa, sector oeste. Las distancias entre las estaciones gravimétricas fueron en general cada 500 metros las cuales fueron georeferenciadas mediante



GPS navegador y replanteadas topográficamente, de acuerdo al avance de la campaña, en cartas a escala 1:250 000 y 1:50 000 del Instituto Geográfico Militar (IGM).

La ubicación de las estaciones quedó determinada con una precisión aproximada de 25 metros en coordenadas horizontales. Para minimizar el error de altura el tiempo de los circuitos con altímetro no fue superior a tres horas. Las alturas fueron medidas mediante un altímetro Wallace y Tiernan con un rango de alturas de 5 000 metros. Para el control de las alturas los cierres de los circuitos (Loops) fueron realizados a nivel del mar frente a la Capitanía de Puerto de Mejillones. Además se efectuaron correcciones por presión y temperatura obteniéndose una precisión de  $\pm 3$  metros en las cotas de las estaciones. La deriva instrumental no fue superior a 0.07 mGal. Usando la metodología descrita se estima que el error total de la anomalía Bouguer es aproximadamente 0.3 mGal por estación.

Para obtener la anomalía de Bouguer (Figuras 5, 6 y 7) se consideró los siguientes valores medios para la densidad: Relleno Sedimentario, 2.1 gr/cm<sup>3</sup> y Roca Base, 2.6 gr/cm<sup>3</sup>. Los valores de las reducciones fueron los siguientes: Latitud  $C_l = 0.7476$  mGal/km, Altura  $C_h = 0.3086$  mGal/m, Bouguer  $C_b = 0.2010$  mGal/m.

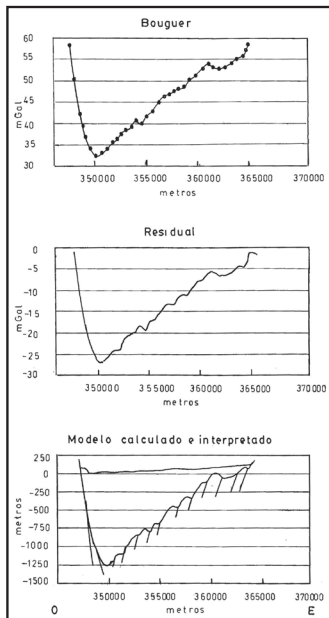


Figura 5. Interpretación del perfil gravimétrico No. 1.

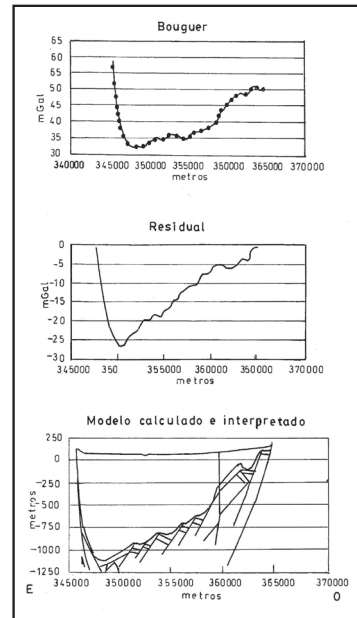


Figura 6. Interpretación del perfil gravimétrico No. 5.

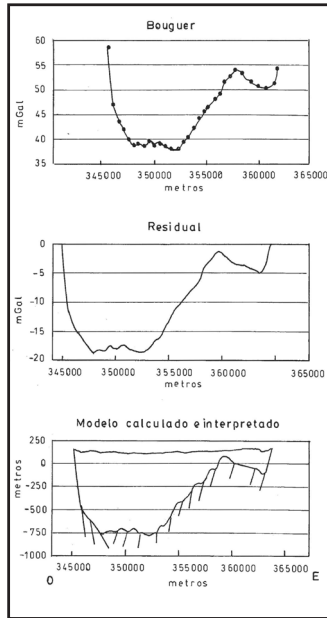


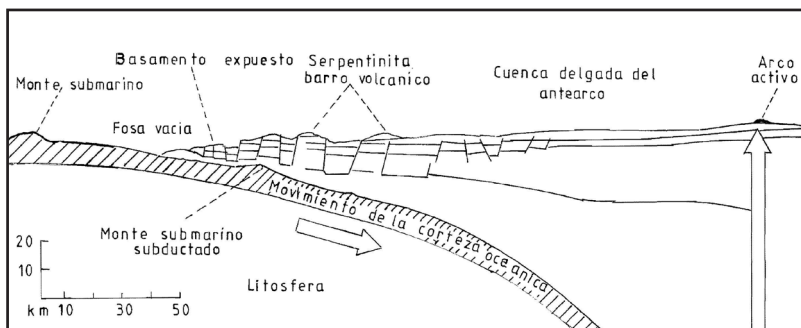
Figura 7. Interpretación del perfil gravimétrico No.12.

## Interpretación

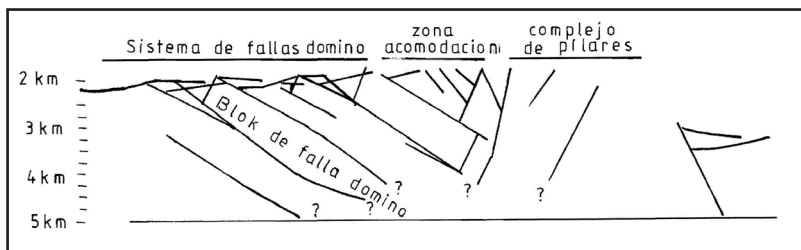
Normalmente para obtener el regional de una zona se utilizan regionales analíticos de primer orden o más, en este caso no pudo ser cuantificado mediante el método descrito debido a la gran complejidad geológica y morfológica que presenta el área estudiada. Por lo expuesto se utilizó el método de rectas (1er. orden) cuyos vértices están ligados a afloramientos de rocas. Para ello se definieron tres regionales de 1er. orden para los perfiles 1, 5 y 12, obteniéndose el regional de la cuenca. Posteriormente estos regionales fueron restados a la anomalía de Bouguer obteniéndose así los residuales de la zona. Referencia que se utilizó para la interpretación de los perfiles adicionales.

El análisis de los perfiles 1, 5 y 12 se basa en cierta medida, en las evidencias superficiales y submarinas aportadas por la tectónica observadas por Von Huene y Lallemand, 1990; González, 1998 y Delouis *et al.*, 1998, la cual consiste en una sucesión de *horst* separados por fallas normales que se mueven en dirección este-oeste desde la plataforma hasta la zona de subducción (arco activo), Figura 8. Los modelos presentados en las Figuras 5, 6 y 7 destacan fuertemente la disposición de bloques tipo dominó corroborando la hipótesis de que el talud continental está marcado por un descenso escalonado de la plataforma costera, Figura 9.

El basamento en su parte más profunda presenta una morfología tipo cuenca en la que se destaca su mayor profundidad hacia el sur, Figura 10.



**Figura 8.** Corte batimétrico de la zona central de la península de Mejillones. Las áreas achuradas representan los horsts limitados por fallas normales en la zona de antearco.



**Figura 9.** Modelo de sistema de falla tipo dominó, modificado de Structural Geology by H. Fossen, 2010.

**Conclusiones**

El análisis de los perfiles gravimétricos 1, 5 y 12 de dirección oeste-este presentados en las Figuras 5, 6 y 7 muestran una asimetría gravimétrica en relación a su eje central, observándose una tendencia de valores mínimos en la zona hacia el oeste, Figura 10.

Se destaca la congruencia existente entre los resultados gravimétricos y la hipótesis geológica en el sentido que la plataforma continental de la Península de Mejillones está compuesta por un sistema de fallas tipo dominó que al llegar a la fosa son subductadas por la corteza oceánica. Estas mismas características estructurales se presentan al sur de la ciudad de Antofagasta y al norte de la

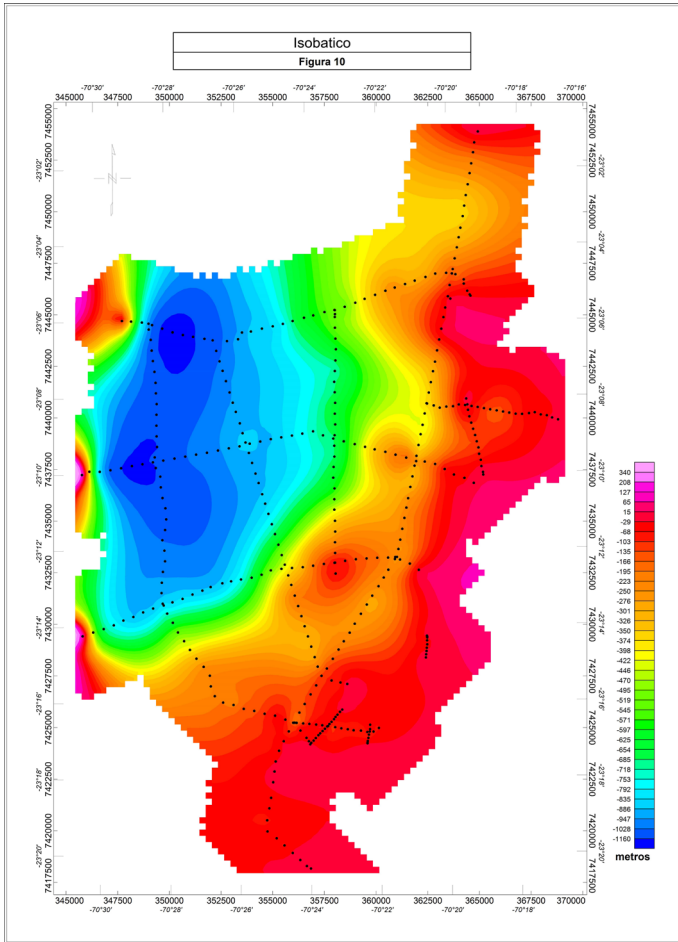


Figura 10. Plano isobatico de la zona y perfiles gravimétricos realizados.

península de Mejillones frente a la península Yayes. Al respecto existen datos batimétricos que dan cuenta de la existencia de bloques alzados y deprimidos de manera similar a la morfología existente en la península de Mejillones.

De acuerdo al plano isobático presentado en la Figura 10 la zona de mayor profundidad que existe al basamento rocoso desde superficie se encuentra en el sector norte de la zona de estudio alcanzando hasta los 1 200 metros.

**Bibliografía**

- Arabasz, W.I., 1971. Geological and geophysical study of the Atacama fault zone in northern Chile. PhD Thesis (Unpublished), California Institute of Technology, Pasadena, 264 pp.
- Armijo, R., Thile, R., 1990. Active faulting in northern Chile, ramp stacking and lateral decoupling along a subduction plate boundary. *Earth and Planetary Science Letters*, 88, 40-61.
- Brown, M.; Dalimeyer, D. and Grocott, J., 1993. Tectonic controls on Mesozoic arc magmatism in northern Chile Andean geodynamics, *Second ISAG*, 167-170.
- Delouis, B.; Philip, H.; Dorbath, L. and Cisternas, A., 1998. Recent crustal deformation in the Antofagasta region (northern Chile) and the subduction process. *Geophys. J. Int* 132, 302-338.
- Ferraris, F., 1979. Antecedentes geológicos del borde continental del norte de Chile. *Congreso Geológico chileno*, Actas, Arica, 2 (1), A2-A23.
- Fossen, H., 2010. *Structural Geology*. United States of America, Cambridge University Press, 460 pp.
- González, G., 1998. "Evolución tectónica de la cordillera de la Costa de Antofagasta (Chile); con especial referencia a las deformaciones sinmagmáticas del jurásico-cretácico inferior", Tesis doctorado (Unpublished), Freie Universität Berlin, 111 pp.
- Grocott, J.; Taylor, G.; Treolar, P. and Wilson, J., 1995. Magmatic arc fault systems in the Mesozoic of northern Chile. *Andean Geoscience Workshop*, Abstracts Kingston University, 14 pp.
- Hern, D., 1969. Marines Pliozän in nord und mittel Chile unter besonderer Berücksichtigung der Entwickelung der mollieskenfaunen. *Zitteliana*, 2, 1-159.
- Herve, M., 1987b. Movimiento normal de la falla Paposo, zona de falla Atacama en el Mioceno, Chile. *Revista Geológica de Chile*, 31, 31-36.
- Kendrick, E.; Brevis, M.; Smally, R.; Cifuentes, O. and Galban, F., 1999. Current rates of convergence across the Central Andes: estimates from continuous GPS observation. *Geophys. Res. Letter* 26, 541-544.
- Krebs, W.; Aleman, A.; Padilla, H.; Rosenfeld, J. and Niemeyer, H., 1992. Age and paleoceanographic significance of the caleta Herradura diatomite. Península de Mejillones. Antofagasta, Chile. *Revista Geológica de Chile*, 19 (1), 75-81.
- Naranjo, J., 1987. Interpretación de la actividad Cenozoica Superior a lo largo de la zona de falla de Atacama, norte de Chile. *Revista Geológica de Chile*, 31, 43-55.
- Niemeyer, H.; Gonzalez, G. y Martinez-De los Rios. (1996). Evolución tectónica Cenozoica del margen continental activo de Antofagasta, norte de Chile. *Revista Geológica de Chile*, 23, 165-186.

- Padilla, H. and Elgueta, S., 1992. Neogene marine deposits of caleta Patillos northern Chile their relationship with neogene sediments of the Mejillones Península. *Revista Geológica de Chile*, 19 (1), 83-89.
- Reutter, K.J.; Heinsohn, W. D.; Scheuber, E. and Wigger, P., 1991. Crustal structure of the coastal cordillera near Antofagasta northern Chile. *Congreso Geológico Chileno, actas*, 1 (6), 862-866.
- Scheuber, E. and Ardiesen, P.A., 1990. The kinematic and geodynamic significance of the Atacama fault zone, northern. *Journal of Structural Geology*, 12, 243-257.
- Von Hune, R. and Lallemand, S., 1990. Tectonic along Japan and Peru convergent margins. *Geological Society of America, Bulletin*, 102, 704-720.