

TABLA DE CONTENIDO

Tabla de Contenido.....	III
Indice de Figuras	V
1 Introducción.....	1
1.1 Formulación del estudio propuesto.....	1
1.2 Hipótesis del estudio.....	2
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 Objetivo general	2
1.3.2 Objetivos específicos.....	2
2 Marco Geológico	3
2.1 Basamento Paleozoico	4
2.2 Depósitos Mesozoicos	4
2.3 Depósitos Cenozoicos.....	4
2.4 Estructuras	4
2.5 Mapa	5
2.6 Perfiles	6
3 Antecedentes.....	7
3.1 Inversión Tectónica.....	7
3.1.1 Criterios para el reconocimiento de inversión positiva	7
3.1.2 Magnitud de la inversión	9
3.1.3 Factores que favorecen la reactivación de fallas	10
3.1.4 Causas de la inversión	10
3.2 Modelación Analógica.....	11
3.2.1 Teoría de escalamiento	12
3.2.2 Materiales	16
3.2.3 Discontinuidad de Velocidad.....	17
3.2.4 Ventajas y limitaciones.....	17
4 Metodología Experimental	18
4.1 Material Análogo	18
4.2 Discontinuidades de Velocidad	18
4.3 Escalamiento	19
4.4 Montaje Experimental.....	20
4.5 Limitaciones de la Metodología	23

5	Resultados.....	24
5.1	Serie 1	25
5.1.1	S1DV1	25
5.1.2	S1DV2	28
5.1.3	S1DV3	30
5.2	Serie 2	32
5.2.1	S2DV1	32
5.2.2	S2DV2	36
5.2.3	S2DV3	40
5.3	Serie 3	44
5.3.1	S3DV2	44
5.3.2	S3DV3	47
6	Discusiones.....	50
6.1	Análisis de Modelos Extensionales	50
6.2	Análisis de Modelos Sometidos a Compresión	52
6.3	Modelos vs Prototipo Natural	55
6.3.1	Orientación de las Cuencas.....	55
6.3.2	Fallas Inversas vs Bordes de Cuenca.....	56
6.3.3	Solo un Hemi-graben.....	56
6.3.4	Rotaciones Tectónicas	57
6.4	Otros Prototipos Naturales.....	57
6.4.1	Falla del Zapallo – Falla del Tabaco	57
6.4.2	Falla Pinte.....	58
7	Conclusiones.....	59
8	Bibliografía.....	60
9	Anexo	66
9.1	Basamento Paleozoico	66
9.2	Depósitos Mesozoicos	66
9.2.1	Cuenca Lautaro.....	66
9.2.2	Cuenca Lagunillas	67
9.3	Depósitos Cenozoicos.....	67
9.4	Estructuras	68
9.4.1	Estructuras Cuenca Lautaro.....	68
9.4.2	Estructuras Cuenca Lagunillas	70

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Zona de estudio en rojo, curvas de nivel muestran la profundidad del slab	3
Figura 2 – Mapa de la zona de estudio, modificado de Martínez et al. 2012; y Martínez et al. 2015b.	5
Figura 4 – Perfiles de la zona de estudio desde (Martínez et al. 2015a).	6
Figura 4 – Geometrías estructurales comunes en inversión: (a) anticlinal sobre la falla reactivada; (b) shortcut sobre el boque yacente; (c) flor positiva; (d) fallamiento inverso hacia el bloque colgante; (e) estructura tipo arpón; y (f) buttressing. Para esquemas a) a d), en rojo, falla normal invertida, en azul, falla inversa nueva. Desde Bonini et al. (2012) y Martínez et al. (2012).	8
Figura 5 – Parámetros definidos en una falla invertida, punto negro corresponde al null-point, notar que en este lugar coinciden la base del estrato gris (modificado de Williams et al. 1989).	9
Figura 6 – Distintos valores de Razón de Inversión para la progresión de inversión de un hemigraben. 0:= sin inversión, 0,5:=inversión moderada; 1:= inversión total, punto negro corresponde al null-point Modificado de Cooper et al. 1989.....	9
Figura 8 – Primer diseño realizado por Hall (1815) para modelar la formación de pliegues. Trozos de tela son apilados bajo presión, y luego acortados entre 2 tablas de madera.	11
Figura 8 – Similitud geométrica entre el prototipo y el modelo.....	12
Figura 10 - Similitud cinemática entre prototipo y modelo, entre 3 estados de deformación.....	13
Figura 11 - Similitud dinámica entre el prototipo y el modelo	14
Figura 11 – Comparación de modelos de arena y arcilla tras 4 cm de extensión. Notar como las fallas en arena cortan todo el volumen, mientras muchas fallas en arcilla no alcanzan a aflorar en superficie. Modificado de Eisenstadt y Sims 2005.	16
Figura 12 – Esquema de un modelo en el cual se utiliza una discontinuidad de velocidad.	17
Figura 13 – Discontinuidades de velocidad impuestas, en naranja sección móvil, en blanco sección fija.....	18
Figura 14 – Esquema de dispositivo utilizado, en naranja se aprecia DV1 montada en el dispositivo	20
Figura 15 – Dimensiones y montaje de los modelos, flecha indica dirección de extensión	21
Figura 16 – (a) sección WE ortorectificada y en la cual ya fue reconocida en programa Move la superficie y fallas; la sección tiene 33 cm de largo. b) reconstrucción de la superficie, en azul oscura las zonas sin alzamiento, en fucsia zonas con 44 mm de alzamiento. Notar que el origen de las ordenadas se encuentra en el centro del modelo, a la altura del servomotor; además que la unidad de medida es metros (ver texto para mayor explicación). c) secciones proyectadas en modelo 3D, solo se presentan 5 para facilitar la visualización.....	23
Figura 18 – Simbología utilizada, de izquierda a derecha: falla normal, falla normal inactiva, falla normal reactivada en sentido inverso, falla normal reactivada inactiva, falla inversa, falla inversa inactiva, falla de rumbo. Bloques y triángulos apuntan al bloque colgante.	24
Figura 18 – Evolución en superficie de la extensión oblicua con sedimentación, experiencia S1DV1. (a) Inicio del experimento, línea segmentada corresponde a la posición de la discontinuidad de velocidad inducida, flecha roja indica el sentido de movimiento de la pared móvil. (b) estructuras desarrolladas a los 8 mm de extensión. (c) estructuras desarrolladas después de 20 mm de extensión. (d) fin de la experiencia, 30 mm de extensión; marcas en los extremos izquierdo y derecho indican la ubicación de los perfiles 1, 7 y 13.....	25
Figura 19 – Perfiles 1, 7 y 13 de experiencia S1DV1. Líneas grises indican las fallas reconocidas, flechas rojas el sentido de movimiento del bloque colgante. Línea naranja en la base de cada perfil	

corresponde a la sección móvil (lámina de acetato), su extremo izquierdo a la ubicación de DV1. Escala indica 5 cm. Para ubicación de perfiles ver Figura 18.d	26
Figura 20 – Evolución en superficie de la extensión oblicua con sedimentación, experiencia S1DV2. (a) Inicio del experimento, línea segmentada corresponde a la posición de la discontinuidad de velocidad inducida, flecha roja indica el sentido de movimiento de la pared móvil. (b) estructuras desarrolladas a los 8 mm de extensión. (c) estructuras desarrolladas a los 18 mm de extensión. (d) fin de la experiencia, 30 mm de extensión, marcas en los extremos izquierdo y derecho indican la ubicación de los perfiles 4, 7 y 10. Escala corresponde a 5 cm.	28
Figura 21 – Perfiles 4, 7 y 10 de experiencia S1DV2. Líneas grises indican las fallas reconocidas, flechas rojas el sentido de movimiento del bloque colgante. Línea naranja en la base de cada perfil corresponde a la sección móvil (lámina de acetato), su extremo izquierdo a la ubicación de DV2. Para ubicación de perfiles ver Figura 20.d.	29
Figura 22 – Evolución en superficie de la extensión con sedimentación, experiencia S1DV3. (a) Inicio del experimento, línea segmentada corresponde a la posición de la discontinuidad de velocidad inducida, flecha roja indica el sentido de movimiento de la pared móvil. (b) transcurridos 17 min desde la experiencia con 8 mm de extensión. (c) transcurridos 51 minutos con 20 mm de extensión. (d) fin de la experiencia, al cabo de 86 minutos y 30 mm de extensión, marcas en los extremos izquierdo y derecho indican la ubicación de los perfiles 5, 7 y 10. Escala corresponde a 5 cm.	30
Figura 23 – Perfiles 5, 7 y 10 de experiencia S1DV3. Líneas grises indican las fallas reconocidas, flechas rojas el sentido de movimiento del bloque colgante. Línea naranja en la base de cada perfil corresponde a la sección móvil (lámina de acetato), su extremo izquierdo a la ubicación de DV3. Escala indica 5 cm. Para ubicación de perfiles ver Figura 22.d.	31
Figura 24 – Evolución en superficie del modelo durante la fase de compresión, experiencia S2DV1. (a) Inicio del experimento, se muestra la traza de las fallas formadas durante la extensión, flecha roja indica el sentido de movimiento de la pared móvil. (b) configuración estructural con 20 mm de acortamiento (c) con 40 mm de acortamiento (d) fin de la experiencia, con 50 mm de acortamiento. Marcas en los extremos izquierdo y derecho indican la ubicación de los perfiles 4, 17 y 29. Escala corresponde a 5 cm.....	32
Figura 25 – Modelo digital de elevación interpuesto entre foto de del estadio final y fallas interpretadas del modelo S2DV1. Barra a la derecha indica la elevación en milímetros considerándose como referencia el pre-rift no deformado.	33
Figura 26 – Perfiles 4, 17 y 29 de experiencia S2DV1. La compresión fue llevada a cabo de E a W. Líneas grises indican las fallas normales reconocidas, líneas rojas fallas inversas reconocidas, flechas rojas el sentido de movimiento del bloque colgante. Línea naranja en la base de cada perfil corresponde a la sección móvil (lámina de acetato), su extremo izquierdo a la ubicación de DV1, notar que la posición final de la DV1 fue alcanzada durante la extensión, y no fue alterada durante la compresión. Escala indica 5 cm. Para ubicación de perfiles Figura 24.d.....	34
Figura 27 – Evolución en superficie del modelo durante la fase de compresión, experiencia S2DV2. (a) Inicio del experimento, se muestra la traza de las fallas formadas durante la extensión, flecha roja indica el sentido de movimiento de la pared móvil. (b) configuración estructural con 24 mm de acortamiento (c) con 40 mm de acortamiento (d) fin de la experiencia, con 50 mm de acortamiento. Marcas en los extremos izquierdo y derecho indican la ubicación de los perfiles 6, 16 y 25. Escala corresponde a 5 cm.....	36
Figura 28 – Modelo digital de elevación interpuesto entre foto de del estadio final y fallas interpretadas del modelo S2DV2. Barra a la derecha indica la elevación en milímetros considerándose como referencia el pre-rift no deformado.	37

Figura 29 – Perfiles 6, 16 y 25 de experiencia S2DV2. La compresión fue llevada a cabo de E a W. Líneas grises indican las fallas normales reconocidas, líneas rojas fallas inversas reconocidas, flechas rojas el sentido de movimiento del bloque colgante. Línea naranja en la base de cada perfil corresponde a la sección móvil (lámina de acetato), su extremo izquierdo a la ubicación de DV2, notar que la posición final de la DV2 fue alcanzada durante la extensión, y no fue alterada durante la compresión. Escala indica 5 cm. Para ubicación de perfiles Figura 27.d.....	38
Figura 30 – Evolución en superficie del modelo durante la fase de compresión, experiencia S2DV3. (a) Inicio del experimento, se muestra la traza de las fallas formadas durante la extensión, flecha roja indica el sentido de movimiento de la pared móvil. (b) configuración estructural con 18 mm de acortamiento (c) con 36 mm de acortamiento (d) fin de la experiencia, con 50 mm de acortamiento. Marcas en los extremos izquierdo y derecho indican la ubicación de los perfiles 10, 16 y 26. Escala corresponde a 5 cm.....	40
Figura 31 – Modelo digital de elevación interpuesto entre foto de del estadio final y fallas interpretadas del modelo S2DV3. Barra a la derecha indica la elevación en milímetros considerándose como referencia el pre-rift no deformado	41
Figura 32 – Perfiles 10, 16 y 26 de experiencia S2DV3. La compresión fue llevada a cabo de E a W. Líneas grises indican las fallas normales reconocidas, líneas rojas fallas inversas reconocidas, flechas rojas el sentido de movimiento del bloque colgante. Línea naranja en la base de cada perfil corresponde a la sección móvil (lámina de acetato), su extremo izquierdo a la ubicación de DV3, notar que la posición final de la DV3 fue alcanzada durante la extensión, y no fue alterada durante la compresión. Escala indica 5 cm. Para ubicación de perfiles Figura 30.d.....	42
Figura 33 – Evolución en superficie de la compresión con sedimentación, experiencia S3DV2. (a) Inicio del experimento, se muestra la traza de las fallas formadas durante la extensión, flecha roja indica el sentido de movimiento de la pared móvil. (b) configuración estructural con 18 mm de acortamiento (c) con 37 mm de acortamiento (d) fin de la experiencia, con 50 mm de acortamiento. Marcas en los extremos izquierdo y derecho indican la ubicación de los perfiles 6, 15 y 25. Escala corresponde a 5 cm.	44
Figura 34 – Perfiles 6, 15 y 25 de experiencia S3DV2. La compresión fue llevada a cabo de E a W. Líneas grises indican las fallas normales reconocidas, líneas rojas fallas inversas reconocidas, flechas rojas el sentido de movimiento del bloque colgante. Línea naranja en la base de cada perfil corresponde a la sección móvil (lámina de acetato), su extremo izquierdo a la ubicación de DV2, notar que la posición final de la DV2 fue alcanzada durante la extensión, y no fue alterada durante la compresión. Escala indica 5 cm. Para ubicación de perfiles Figura 33.d.....	45
Figura 35 – Evolución en superficie de la compresión con sedimentación, experiencia S3DV3. (a) Inicio del experimento, se muestra la traza de las fallas formadas durante la extensión, flecha roja indica el sentido de movimiento de la pared móvil. (b) configuración estructural con 20 mm de acortamiento (c) con 38 mm de acortamiento (d) fin de la experiencia, con 50 mm de acortamiento. Marcas en los extremos izquierdo y derecho indican la ubicación de los perfiles 10, 16 y 25. Escala corresponde a 5 cm.	47
Figura 36 – Perfiles 10, 16 y 25 de experiencia S3DV3. La compresión fue llevada a cabo de E a W. Líneas grises indican las fallas normales reconocidas, líneas rojas fallas inversas reconocidas, flechas rojas el sentido de movimiento del bloque colgante. Línea naranja en la base de cada perfil corresponde a la sección móvil (lámina de acetato), su extremo izquierdo a la ubicación de DV3, notar que la posición final de la DV3 fue alcanzada durante la extensión, y no fue alterada durante la compresión. Escala indica 5 cm. Para ubicación de perfiles Figura 35.d.....	48
Figura 37 – Reconstrucción 3D de los modelos extensionales, vista al NE (a) Modelo S1DV1, (b) Modelo S1DV2, (c) Modelo S1DV3.....	50

Figura 38 – Razón $R = \sigma_1/\sigma_3$ para el material utilizado ($\mu = 0,56$). Correspondiendo θ^* al ángulo óptimo para la reactivación y R^* al mínimo R necesario, en base a Sibson (1985)	52
Figura 39 – Proyecciones estereográficas (red de Schmidt) del promedio de las estructuras extensionales desarrolladas en los modelos, para cada segmento de cada discontinuidad de velocidad. En línea segmentada, promedio para fallas normales vergentes al este y oeste, (Serie 1). En línea continua, promedio para estructuras pre-existentes, post-compresión (Serie 2). En gris, promedio de fallas inversas vergente al este (Serie 2); en verde, fallas pre-existentes que mantean al este; en fucsia, fallas pre-existentes que mantean al oeste.	53
Figura 40 – Detalle de geometrías estructurales, (a) modelo S2DV3, perfil 10, (b) modelo S2DV3, perfil 16, (c) S2DV1, perfil 29.	54
Figura 41 – Mapa simplificado; línea roja, ubicación Figura 42.....	55
Figura 42 – (a) detalle de sección balanceada, modificada de (Martínez et al. 2015a), ubicación en Figura 41, (b) detalle de modelo S2DV3, perfil 16.	56