



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**

CATÁLOGO ACTUALIZADO DE INTENSIDADES SÍSMICAS PARA CHILE

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

PEDRO FERNANDO ARAYA RUIZ

**PROFESOR GUÍA:
EDGAR KAUSEL VECCHIOLA**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
MAXIMILIANO ASTROZA INOSTROZA
MARIO PARDO PEDEMONTTE**

**SANTIAGO DE CHILE
ABRIL 2007**

AGRADECIMIENTOS

A Don Maximiliano Astroza, por su gran dedicación a todos los alumnos, por su constante ayuda y orientación en la realización de este trabajo, sin la cual no hubiese sido posible. A Don Edgar Kausel y a Don Mario Pardo por sus invaluable consejos y sugerencias que permitieron un mejor desarrollo de la memoria.

A Jessica y a todos mis amigos que me apoyaron y alentaron en todo momento.

A todas las personas que hicieron posible la realización de esta memoria.

Y especialmente a mis padres y mi familia, que son y serán un apoyo fundamental en la realización de cada uno de mis logros, por su irrestricto e incondicional afecto, se los agradeceré por siempre.

INDICE

CAPÍTULO 1:	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Motivación	1
1.2	Objetivos	1
1.2.1	<i>Objetivo General</i>	2
1.2.2	<i>Objetivo Específico</i>	2
1.3	Organización de la Memoria	2
CAPÍTULO 2:	ANTECEDENTES	4
2.1	Sismicidad de Chile.....	4
2.2	Segmentación de la Placa de Nazca	6
2.3	Mecanismos de los Terremotos	13
2.3.1	<i>Sismos Intraplaca Continental (Tipo D, superficiales o corticales)</i>	13
2.2.2	<i>Sismos intraplaca al exterior de la fosa (Tipo A)</i>	14
2.3.3	<i>Sismos intraplaca oceánica de profundidad intermedia (Tipo C)</i>	14
2.4	Estudio de la sismicidad nacional.....	15
2.5	Sismos ocurridos en los últimos 100 años.....	16
2.6	Riesgo sísmico en Chile	26
2.7	Lagunas sísmicas	28
2.7.1	<i>La laguna sísmica del Norte de Chile</i>	28
2.7.2	<i>La laguna sísmica de Chile Central</i>	28
2.8	Comentarios	29
CAPÍTULO 3:	CATÁLOGO DE HIPOCENTROS	31
3.1	Introducción	31
3.2	Base de Datos	31
3.2.1	<i>Catálogo del NEIC</i>	32
3.2.2	<i>Catálogo del ISC</i>	33
3.2.3	<i>Catálogo de HARVARD</i>	34
3.2.4	<i>Catálogo de ENGDAHL</i>	35

3.2.5	<i>Catálogo del SERVICIO SISMOLÓGICO</i>	37
3.3	Catálogo de Hipocentros	38
3.3.1	<i>Criterio de selección de datos</i>	39
3.3.2	<i>Formato del Catálogo de Hipocentros</i>	41
3.4	Análisis preliminar de la información del catálogo de hipocentros.....	44
3.4.1	<i>Relaciones entre las magnitudes</i>	45
3.4.1.1	<i>Relación M_s - m_b</i>	45
3.4.1.2	<i>Relación M_L - m_b</i>	46
3.4.1.3	<i>Relación M_c - m_b</i>	47
3.4.2	<i>Clasificación de los Sismos por Tipo</i>	49
3.4.3	<i>Frecuencia anual de ocurrencia de sismos para cada segmento</i>	97
3.5	Comentarios y Conclusiones	116
 CAPÍTULO 4: CATÁLOGO DE INTENSIDADES		126
4.1	Introducción	126
4.2	Escala de Intensidades.....	127
4.3	Base de Datos	129
4.4	Criterio utilizado para confeccionar el catálogo de intensidades.....	129
4.5	Formato del Catálogo de Intensidades.....	131
4.6	Análisis preliminar del catálogo de intensidades de los eventos ocurridos entre 1982 y 2005 ...	136
4.6.1	<i>Segmento 1 de la Placa de Nazca</i>	137
4.6.1.1	<i>Análisis de la información según la cantidad de datos de intensidades</i>	137
4.6.1.2	<i>Análisis de la información de intensidades según la distancia epicentral</i>	145
4.6.2	<i>Segmento 2 de la Placa de Nazca</i>	150
4.6.2.1	<i>Análisis de la información según la cantidad de datos de intensidades</i>	150
4.6.2.2	<i>Análisis de la información de intensidades según la distancia epicentral</i>	160
4.6.3	<i>Segmento 3 de la Placa de Nazca</i>	164
4.6.3.1	<i>Análisis de la información según la cantidad de datos de intensidades</i>	164
4.6.3.2	<i>Análisis de la información de intensidades según la distancia epicentral</i>	174
4.7	Comentarios y Conclusiones	179
 CAPÍTULO 5: COMENTARIOS Y CONCLUSIONES GENERALES.....		183

REFERENCIAS..	191
ANEXOS	195
A. MAGNITUD	195
A.1. Magnitud de ondas de cuerpo, mb	195
A.2. Magnitud de ondas superficiales, Ms	195
A.3. Magnitud de momento, Mw	196
A.4. Magnitud de coda, Mc	196
A.5. MAGNITUD LOCAL, ML	196
B. ESCALAS DE INTENSIDADES	197
B.1. Escala Chilena	197
B.2. Escala Modificada de Mercalli	198
B.3. Escala M.S.K.	201
B.4. Escala DE ROSSI-FOREL	209
C. EQUIVALENCIA ENTRE LA ESCALA MODIFICADA DE MERCALLI Y LA ESCALA CHILENA	211
D. FÓRMULA PARA CALCULAR LA DISTANCIA EPICENTRAL E HIPOCENTRAL	212

INDICE TABLAS

<i>Tabla 2.1: Sismos ocurridos en los últimos 100 años.</i>	17
<i>Tabla 2.2: Aceleraciones máximas de registros de terremotos del tipo B.</i>	18
<i>Tabla 2.3. Aceleraciones máximas de registros de terremotos intraplaca oceánica de profundidad intermedia (Tipo C)</i>	22
<i>Tabla 2.4. Autores de donde se obtuvo la información (Ruiz, 2002).</i>	23
<i>Tabla 3.1: Cuadrantes considerados para determinar los sismos que se incorporan al catálogo de hipocentros.</i>	39
<i>Tabla 3.2: Detalle de la información entregada en el catálogo de hipocentros.</i>	42
<i>Tabla 3.3: Segmentación de la placa de Nazca.</i>	49
<i>Tabla 3.4: Cantidad de sismos por segmento.</i>	49
<i>Tabla 3.5: Cantidad de sismos por tipo del segmento 1.</i>	50
<i>Tabla 3.6: Cantidad de sismos del Tipo A del segmento 1 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud Ms o mb.</i>	54
<i>Tabla 3.7: Cantidad de sismos del Tipo B del segmento 1 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud Ms.</i>	55
<i>Tabla 3.8: Cantidad de sismos del Tipo B del segmento 1 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud mb.</i>	56
<i>Tabla 3.9: Cantidad de sismos del Tipo C del segmento 1 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud Ms.</i>	57
<i>Tabla 3.10: Cantidad de sismos del Tipo C del segmento 1 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud mb.</i>	58
<i>Tabla 3.11: Cantidad de sismos del Tipo D del segmento 1 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud Ms o mb.</i>	59
<i>Tabla 3.12: Cantidad de sismos por tipo en el Segmento 2</i>	63
<i>Tabla 3.13: Cantidad de sismos del Tipo A del segmento 2 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud Ms o mb</i>	68
<i>Tabla 3.14: Cantidad de sismos del Tipo B del segmento 2 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud Ms.</i>	69
<i>Tabla 3.15: Cantidad de sismos del Tipo B del segmento 2 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud mb.</i>	70
<i>Tabla 3.16: Cantidad de sismos del Tipo C del segmento 2 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud Ms.</i>	71

<i>Tabla 3.17: Cantidad de sismos del Tipo C del segmento 2 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud utilizando mb.</i>	72
<i>Tabla 3.18: Cantidad de sismos del Tipo D del segmento 2 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud Ms o mb.</i>	73
<i>Tabla 3.19: Cantidad de sismos por tipo del segmento 3.</i>	77
<i>Tabla 3.20: Cantidad de sismos del Tipo A del segmento 3 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud Ms.</i>	82
<i>Tabla 3.21: Cantidad de sismos del Tipo A del segmento 3 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud mb.</i>	83
<i>Tabla 3.22: Cantidad de sismos del Tipo B del segmento 3 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitudes Ms.</i>	84
<i>Tabla 3.23: Cantidad de sismos del Tipo B del segmento 3 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud mb.</i>	85
<i>Tabla 3.24: Cantidad de sismos del Tipo C del segmento 3 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud Ms.</i>	86
<i>Tabla 3.25: Cantidad de sismos del Tipo C del segmento 3 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud mb.</i>	87
<i>Tabla 3.26: Cantidad de sismos del Tipo D del segmento 3 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud Ms.</i>	88
<i>Tabla 3.27: Cantidad de sismos del Tipo D del segmento 3 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud mb.</i>	89
<i>Tabla 3.28: Cantidad de sismos del segmento 1 para el periodo 1982-2005 cuya magnitud Ms es superior o igual a 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0 y 7.5.</i>	97
<i>Tabla 3.29: Cantidad de sismos del segmento 1 para el periodo 1982-2005 cuya magnitud mb es superior o igual a 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0 y 7.5.</i>	98
<i>Tabla 3.30: Sismos del Tipo B del segmento 1 para el periodo 1982-2005 cuya magnitud Ms es superior o igual a 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0 y 7.5.</i>	99
<i>Tabla 3.31: Sismos del Tipo B del segmento 1 para el periodo 1982-2005 cuya magnitud mb es superior o igual a 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0 y 7.5.</i>	100
<i>Tabla 3.32: Sismos del Tipo C del segmento 1 para el periodo 1982-2005 cuya magnitud Ms es superior o igual a 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0 y 7.5.</i>	101
<i>Tabla 3.33: Sismos del Tipo C del segmento 1 para el periodo 1982-2005 cuya magnitud mb es superior o igual a 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0 y 7.5.</i>	102
<i>Tabla 3.34: Cantidad de sismos del segmento 2 para el periodo 1982-2005 cuya magnitud Ms es superior o igual a 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0 y 7.5.</i>	103
<i>Tabla 3.35: Cantidad de sismos del segmento 2 para el periodo 1982-2005 cuya magnitud mb es superior o igual a 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0 y 7.5.</i>	104

<i>Tabla 3.36: Sismos del Tipo B del segmento 2 para el periodo 1982-2005 cuya magnitud Ms es superior o igual a 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0 y 7.5.</i>	<i>105</i>
<i>Tabla 3.37: Sismos del Tipo B del segmento 2 para el periodo 1982-2005 cuya magnitud mb es superior o igual a 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0 y 7.5.</i>	<i>106</i>
<i>Tabla 3.38: Sismos del Tipo C del segmento 2 para el periodo 1982-2005 cuya magnitud Ms es superior o igual a 4.5, 5.0, 5.5, 6.0 y 6.5.</i>	<i>107</i>
<i>Tabla 3.39: Sismos del Tipo C del segmento 2 para el periodo 1982-2005 cuya magnitud Ms es superior o igual a 4.5, 5.0, 5.5, 6.0 y 6.5.</i>	<i>108</i>
<i>Tabla 3.40: Cantidad de sismos del segmento 3 para el periodo 1982-2005 cuya magnitud Ms es superior o igual a 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0 y 7.5.</i>	<i>109</i>
<i>Tabla 3.41: Cantidad de sismos del segmento 3 para el periodo 1982-2005 cuya magnitud mb es superior o igual a 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0 y 7.5.</i>	<i>110</i>
<i>Tabla 3.42: Cantidad de sismos en todo el país para el periodo 1982-2005 cuya magnitud Ms es superior o igual a 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0 y 7.5.</i>	<i>112</i>
<i>Tabla 3.43: Cantidad de sismos de todo el país para el periodo 1982-2005 cuya magnitud mb es superior o igual a 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0 y 7.5.</i>	<i>113</i>
<i>Tabla 3.44: Área de cada uno de los segmentos de la placa de Nazca, expresada en km².</i>	<i>114</i>
<i>Tabla 3.45: Área de cada uno de los segmentos de la placa de Nazca, expresada en grados², es decir, cuadrantes de 1° x 1°.</i>	<i>114</i>
<i>Tabla 3.46: Relación de G-R para cada uno de los segmentos de la placa de Nazca, por unidad de área y unidad de tiempo, utilizando la magnitud Ms.</i>	<i>120</i>
<i>Tabla 3.47: Relación de G-R para sismos del Tipo B y C de los segmentos 1 y 2 de la placa de Nazca, por unidad de área y unidad de superficie, utilizando la magnitud Ms.</i>	<i>121</i>
<i>Tabla 4.1: Formato de la sección donde se entregan los parámetros focales</i>	<i>131</i>
<i>Tabla 4.2: Formato del catálogo donde se entregan las intensidades</i>	<i>133</i>
<i>Tabla 4.3: Formato de l catálogo que entrega las intensidades del sismo de 3/3/1985.....</i>	<i>134</i>
<i>Tabla 4.4: Cantidad de eventos por segmento.</i>	<i>137</i>
<i>Tabla 4.5: Distribución de los valores de intensidades del Segmento 1. Cantidad de localidades para las cuales se ha estimado un valor de intensidad. Sin diferenciar por el valor de la magnitud.</i>	<i>138</i>
<i>Tabla 4.6: Distribución de los valores de intensidades del Segmento 1. Cantidad de localidades para las cuales se ha estimado un valor de intensidad. Diferenciando por el valor de la magnitud Ms.</i>	<i>138</i>
<i>Tabla 4.7: Cantidad de sismos por tipo del segmento 1.....</i>	<i>139</i>
<i>Tabla 4.8: Distribución de los valores de intensidades del Segmento 1 para sismos del Tipo B. Cantidad de localidades para las cuales se ha estimado un valor de intensidad. Sin diferenciar por el valor de la magnitud.....</i>	<i>140</i>

<i>Tabla 4.9: Distribución de los valores de intensidades del Segmento 1 para sismos del Tipo B. Cantidad de localidades para las cuales se ha estimado un valor de intensidad. Diferenciando por el valor de la magnitud Ms.....</i>	<i>140</i>
<i>Tabla 4.10: Distribución de los valores de intensidades del Segmento 1 para sismos del Tipo C. Cantidad de localidades para las cuales se ha estimado un valor de intensidad. Sin diferenciar por el valor de la magnitud.....</i>	<i>142</i>
<i>Tabla 4.11: Distribución de los valores de intensidades del Segmento 1 para sismos del Tipo C. Cantidad de localidades para las cuales se ha estimado un valor de intensidad. Diferenciando por el valor de la magnitud Ms.....</i>	<i>142</i>
<i>Tabla 4.12: Distribución de los valores de intensidades del Segmento 1 para sismos del Tipo D. Cantidad de localidades para las cuales se ha estimado un valor de intensidad. Sin diferenciar por el valor de la magnitud.....</i>	<i>144</i>
<i>Tabla 4.13: Distribución de los valores de intensidades del Segmento 1 para sismos del Tipo D. Cantidad de localidades para las cuales se ha estimado un valor de intensidad. Diferenciando por el valor de la magnitud Ms.....</i>	<i>144</i>
<i>Tabla 4.14: Distribución de los datos de intensidades para el Segmento 1 según la distancia epicentral. Sin diferenciar por el valor de la magnitud.....</i>	<i>146</i>
<i>Tabla 4.15: Distribución de los datos de intensidades para el Segmento 1 según la distancia epicentral. Para sismos con magnitud menor o igual a 5.5 grados, utilizando la magnitud Ms.....</i>	<i>146</i>
<i>Tabla 4.16: Distribución de los datos de intensidades para el Segmento 1 según la distancia epicentral: Para sismos con magnitud menor o igual a 6.5 grados, utilizando la magnitud Ms.....</i>	<i>147</i>
<i>Tabla 4.17: Distribución de los datos de intensidades para el Segmento 1 según la distancia epicentral. Para sismos con magnitud menor o igual a 7.5 grados, utilizando la magnitud Ms</i>	<i>147</i>
<i>Tabla 4.18: Distribución de los valores de intensidades del Segmento 2. Cantidad de localidades para las cuales se ha estimado un valor de intensidad. Sin diferenciar por el valor de la magnitud.</i>	<i>150</i>
<i>Tabla 4.19: Distribución de los valores de intensidades del Segmento 2. Cantidad de localidades para las cuales se ha estimado un valor de intensidad. Diferenciando por el valor de la magnitud Ms.</i>	<i>151</i>
<i>Tabla 4.20: Cantidad de sismos por tipo del Segmento 2</i>	<i>152</i>
<i>Tabla 4.21: Distribución de los valores de intensidades del Segmento 2 para sismos del Tipo A. Cantidad de localidades para las cuales se ha estimado un valor de intensidad. Sin diferenciar por el valor de la magnitud.....</i>	<i>152</i>
<i>Tabla 4.22: Distribución de los valores de intensidades del Segmento 2 para sismos del Tipo A. Cantidad de localidades para las cuales se ha estimado un valor de intensidad. Diferenciando por el valor de la magnitud Ms.....</i>	<i>153</i>
<i>Tabla 4.23: Distribución de los valores de intensidades del Segmento 2 para sismos del Tipo B. Cantidad de localidades para las cuales se ha estimado un valor de intensidad. Sin diferenciar por el valor de la magnitud.....</i>	<i>154</i>

<i>Tabla 4.24: Distribución de los valores de intensidades del Segmento 2 para sismos del Tipo B. Cantidad de localidades para las cuales se ha estimado un valor de intensidad. Diferenciando por el valor de la magnitud Ms.....</i>	<i>155</i>
<i>Tabla 4.25: Distribución de los valores de intensidades del Segmento 2 para sismos del Tipo C. Cantidad de localidades para las cuales se ha estimado un valor de intensidad. Sin diferenciar por el valor de la magnitud.....</i>	<i>156</i>
<i>Tabla 4.26: Distribución de los valores de intensidades del Segmento 2 para sismos del Tipo C. Cantidad de localidades para las cuales se ha estimado un valor de intensidad. Diferenciando por el valor de la magnitud Ms.....</i>	<i>157</i>
<i>Tabla 4.27: Distribución de los valores de intensidades del Segmento 2 para sismos del Tipo D. Cantidad de localidades para las cuales se ha estimado un valor de intensidad. Sin diferenciar por el valor de la magnitud.....</i>	<i>158</i>
<i>Tabla 4.28: Distribución de los valores de intensidades del Segmento 2 para sismos del Tipo D. Cantidad de localidades para las cuales se ha estimado un valor de intensidad. Diferenciando por el valor de la magnitud Ms.....</i>	<i>159</i>
<i>Tabla 4.29: Distribución de los datos de intensidades para el Segmento 2 según la distancia epicentral, Sin diferenciar por el valor de la magnitud.....</i>	<i>160</i>
<i>Tabla 4.30: Distribución de los datos de intensidades para el Segmento 2 según la distancia epicentral. Sismos con magnitud menor o igual a 5.5 grados, utilizando la magnitud Ms.</i>	<i>161</i>
<i>Tabla 4.31: Distribución de los datos de intensidades para el Segmento 2 según la distancia epicentral. Para sismos con magnitud menor o igual a 6.5 grados, utilizando la magnitud Ms</i>	<i>161</i>
<i>Tabla 4.32: Distribución de los datos de intensidades para el Segmento 2 según la distancia epicentral. Para sismos con magnitud menor o igual a 7.5 grados, utilizando la magnitud Ms.....</i>	<i>162</i>
<i>Tabla 4.33: Distribución de los valores de intensidades del Segmento 3. Cantidad de localidades para las cuales se ha estimado un valor de intensidad. Sin diferenciar por el valor de la magnitud.</i>	<i>165</i>
<i>Tabla 4.34: Distribución de los valores de intensidades del Segmento 3. Cantidad de localidades para las cuales se ha estimado un valor de intensidad. Diferenciando por el valor de la magnitud Ms.</i>	<i>165</i>
<i>Tabla 4.35: Cantidad de sismos por tipo del Segmento 3</i>	<i>166</i>
<i>Tabla 4.36: Distribución de los valores de intensidades del Segmento 3 para sismos del Tipo A. Cantidad de localidades para las cuales se ha estimado un valor de intensidad. Sin diferenciar por el valor de la magnitud.....</i>	<i>167</i>
<i>Tabla 4.37: Distribución de los valores de intensidades del Segmento 3 para sismos del Tipo A. Cantidad de localidades para las cuales se ha estimado un valor de intensidad. Diferenciando por el valor de la magnitud Ms.....</i>	<i>167</i>
<i>Tabla 4.38: Distribución de los valores de intensidades del Segmento 3 para sismos del Tipo B. Cantidad de localidades para las cuales se ha estimado un valor de intensidad. Sin diferenciar por el valor de la magnitud.....</i>	<i>169</i>

<i>Tabla 4.39: Distribución de los valores de intensidades del Segmento 3 para sismos del Tipo B. Cantidad de localidades para las cuales se ha estimado un valor de intensidad. Diferenciando por el valor de la magnitud Ms.....</i>	<i>169</i>
<i>Tabla 4.40: Distribución de los valores de intensidades del Segmento 3 para sismos del Tipo C. Cantidad de localidades para las cuales se ha estimado un valor de intensidad. Sin diferenciar por el valor de la magnitud.....</i>	<i>171</i>
<i>Tabla 4.41: Distribución de los valores de intensidades del Segmento 3 para sismos del Tipo C. Cantidad de localidades para las cuales se ha estimado un valor de intensidad. Diferenciando por el valor de la magnitud Ms.....</i>	<i>171</i>
<i>Tabla 4.42: Distribución de los valores de intensidades del Segmento 3 para sismos del Tipo D. Cantidad de localidades para las cuales se ha estimado un valor de intensidad. Sin diferenciar por el valor de la magnitud.....</i>	<i>173</i>
<i>Tabla 4.43: Distribución de los valores de intensidades del Segmento 3 para sismos del Tipo D. Cantidad de localidades para las cuales se ha estimado un valor de intensidad. Diferenciando por el valor de la magnitud Ms.....</i>	<i>173</i>
<i>Tabla 4.44: Distribución de los datos de intensidades para el Segmento 3 según la distancia epicentral. Sin diferenciar por el valor de la magnitud.....</i>	<i>175</i>
<i>Tabla 4.45: Distribución de los datos de intensidades para el Segmento 3 según la distancia epicentral. Para sismos con magnitud menor o igual a 5.5 grados, utilizando la magnitud Ms.....</i>	<i>175</i>
<i>Tabla 4.46: Distribución de los datos de intensidades para el Segmento 3 según la distancia epicentral. Para sismos con magnitud menor o igual a 6.5 grados, utilizando la magnitud Ms</i>	<i>176</i>
<i>Tabla 4.47: Distribución de los datos de intensidades para el Segmento 3 según la distancia epicentral. Para sismos con magnitud menor o igual a 7.5 grados, utilizando la magnitud Ms</i>	<i>176</i>
<i>Tabla 5.1: Relación de G-R para cada uno de los segmentos de la placa de Nazca, por unidad de área y unidad de tiempo, utilizando la magnitud Ms</i>	<i>186</i>
<i>Tabla 5.2: Ley de Gutenberg y Richter para sismos del Tipo B y C de los segmentos 1 y 2 de la placa de Nazca.....</i>	<i>187</i>
<i>Tabla C 1: Equivalencia entre la Escala Modificada de Mercalli y la Escala Chilena.....</i>	<i>211</i>

INDICE FIGURAS

<i>Figura 2.1. Áreas de ruptura de los mayores terremotos chilenos de subducción de los últimos 150 años. (Pardo, Conceptos Básicos de Sismología).</i>	5
<i>Figura 2.2(a). Curvas de isoprofundidad de la zona de Benioff. Se pueden apreciar los volcanes con actividad (triángulos), demostrando la no actividad volcánica en la zona entre las latitudes 27°S-33°S aproximadamente producto de la poca inclinación con que se curva la placa de Nazca bajo el continente (Cahill y Isacks, 1992).</i>	8
<i>Figura 2.2(b). Vista tridimensional de la subducción de placa de Nazca entre las latitudes 12°S-35°S. Se puede apreciar claramente la diferencia del ángulo con que descende la placa de Nazca en la zona 26°-33° latitud sur con respecto alas otras zonas (Cahill y Isacks, 1992).</i>	9
<i>Figura 2.3(a). Se indican los cortes transversales a lo largo de los cuales se ubican los hipocentros en la figura 2.3(b). Además, se muestran los epicentros de los sismos (Cahill y Isacks, 1992).</i>	9
<i>Figura 2.3(b). Cortes transversales en los que se indica la ubicación de los hipocentros de los sismos (Cahill y Isacks, 1992).</i>	10
<i>Figura 2.3(c). Vista 3-D de la subducción de placa de Nazca entre las latitudes 20°S-32°S (Cahill y Isacks, 1992).</i>	11
<i>Figura 2.4: Vista 3-D la subducción de placa de Nazca entre las latitudes 28°S-36°S (Cahill y Isacks, 1992)</i>	11
<i>Figura 2.5(a). Se indican los cortes transversales a lo largos de los cuales se hizo la ubicación de hipocentros mostrada en la figura 2.5(b) (Cahill y Isacks, 1992).</i>	12
<i>Figura 2.5(b). Cortes transversales en los que se indica la ubicación de los hipocentros de los sismos (Cahill y Isacks, 1992).</i>	12
<i>Figura 2.6: Identificación de los tipos de sismos que ocurren en la zona de subducción de Chile (Pardo, Conceptos Básicos de Sismología).</i>	15
<i>Figura 2.7(a): Red de acelerógrafos zona norte (Renadic, 2006).</i>	24
<i>Figura 2.7(b): Red de acelerógrafos zona centro y sur (Renadic, 2006).</i>	25
<i>Figura 3.1: Formato de datos del catálogo del NEIC (http://neic.usgs.gov/neis/epic/epic.html)</i>	32
<i>Figura 3.2: Formato de datos del catálogo del ISC (http://www.isc.ac.uk/).</i>	33
<i>Figura 3.3: Formato de datos del catálogo de HARVARD (http://www.seismology.harvard.edu/)</i>	34
<i>Figura 3.4: Formato de datos del catálogo de HARVARD (http://www.seismology.harvard.edu/).</i>	35
<i>Figura 3.5: Formato de datos del catálogo ENGDAHL (E.R. Engdahl, Van der Hilst, R.D., and Buland, R.P., 1998).</i>	36
<i>Figura 3.6: Base de datos Servicio Sismológico (http://ssn.dgf.uchile.cl/).</i>	38
<i>Figura 3.7: Catálogo conjunto</i>	41
<i>Figura 3.8: Muestra del Catálogo de Hipocentros</i>	41
<i>Figura 3.9: Relación lineal entre magnitudes mb y Ms</i>	46

<i>Figura 3.10: Relación entre M_L y m_b.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 3.11: Relación entre M_c y m_b.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 3.12: Sismos del Tipo A en el Segmento 1.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 3.13: Sismos cuyo hipocentro está bajo o sobre los 50 km de profundidad.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 3.14: Perfil transversal con los sismos del segmento 1. Debido a que el eje de la fosa se desvía aproximadamente a partir de los -19° de latitud hacia el norte, no se graficaron los sismos correspondientes a esa zona. Además, se indica (triángulos azules) la longitud donde esta comprendida la fosa para la zona entre los -19° y -26° de latitud.</i>	<i>52</i>
<i>Figura 3.15: Sismos del Tipo B, C y D en el Segmento 1.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 3.16: Sismos del Tipo B, C y D del Segmento 1.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 3.17: Cantidad de sismos del Tipo A del segmento 1 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud M_s o m_b.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 3.18: Cantidad de sismos del Tipo B del segmento 1 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud M_s.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 3.19: Cantidad de sismos del Tipo B del segmento 1 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud m_b.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 3.20: Cantidad de sismos del Tipo C del segmento 1 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud M_s.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 3.21: Cantidad de sismos del Tipo C del segmento 1 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud utilizando la magnitud m_b.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 3.22: Cantidad de sismos del Tipo D del segmento 1 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud M_s o m_b.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 3.23: Sismos del Tipo A del segmento 1 divididos en 4 sectores, para 4 intervalos de tiempo y 4 rangos de magnitudes M_s o m_b.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 3.24: Sismos del Tipo B del segmento 1 divididos en 4 sectores, para 4 intervalos de tiempo y 4 rangos de magnitudes M_s.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 3.25: Sismos del Tipo B del segmento 1 divididos en 4 sectores, para 4 intervalos de tiempo y 4 rangos de magnitudes m_b.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 3.26: Sismos del Tipo C del segmento 1 divididos en 4 sectores, para 4 intervalos de tiempo y 4 rangos de magnitudes M_s.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 3.27: Sismos del Tipo C del segmento 1 divididos en 4 sectores, para 4 intervalos de tiempo y 4 rangos de magnitudes m_b.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 3.28: Sismos del Tipo D del segmento 1 divididos en 4 sectores, para 4 intervalos de tiempo y 4 rangos de magnitudes M_s o m_b.....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 3.29: Sismos del Tipo A del Segmento 2.....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 3.30: Sismos cuyo hipocentro está bajo o sobre los 50 km de profundidad.</i>	<i>65</i>
<i>Figura 3.31: Perfil transversal de los sismos del segmento 2.....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 3.32: Sismos del Tipo B, C y D del Segmento 2.....</i>	<i>66</i>

<i>Figura 3.33: Sismos del Tipo B, C y D del segmento 2.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 3.34: Cantidad de sismos del Tipo A del segmento 2 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud Ms o mb</i>	<i>68</i>
<i>Figura 3.35: Cantidad de sismos del Tipo B del segmento 2 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud Ms</i>	<i>69</i>
<i>Figura 3.36: Cantidad de sismos del Tipo B del segmento 2 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud mb</i>	<i>70</i>
<i>Figura 3.37: Cantidad de sismos del Tipo C del segmento 2 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud Ms</i>	<i>71</i>
<i>Figura 3.38: Cantidad de sismos del Tipo C del segmento 2 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud mb</i>	<i>72</i>
<i>Figura 3.39: Cantidad de sismos del Tipo D del segmento 2 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud Ms o mb</i>	<i>73</i>
<i>Figura 3.40: Sismos del Tipo A del segmento 2 divididos en 4 sectores, para 4 intervalos de tiempo y 4 rangos de magnitudes Ms o mb</i>	<i>74</i>
<i>Figura 3.41: Sismos del Tipo B del segmento 2 divididos en 4 sectores, para 4 intervalos de tiempo y 4 rangos de magnitudes Ms</i>	<i>75</i>
<i>Figura 3.42: Sismos del Tipo B del segmento 2 divididos en 4 sectores, para 4 intervalos de tiempo y 4 rangos de magnitudes mb</i>	<i>75</i>
<i>Figura 3.43: Sismos del Tipo C del segmento 2 divididos en 4 sectores, para 4 intervalos de tiempo y 4 rangos de magnitudes Ms</i>	<i>76</i>
<i>Figura 3.44: Sismos del Tipo C del segmento 2 divididos en 4 sectores, para 4 intervalos de tiempo y 4 rangos de magnitudes mb</i>	<i>76</i>
<i>Figura 3.45: Sismos del Tipo D del segmento 2 divididos en 4 sectores, para 4 intervalos de tiempo y 4 rangos de magnitudes Ms o mb</i>	<i>77</i>
<i>Figura 3.46: Sismos Tipo A del segmento 3</i>	<i>78</i>
<i>Figura 3.47: Sismos cuyo hipocentro está bajo o sobre los 50 km de profundidad en el segmento 3</i>	<i>79</i>
<i>Figura 3.48: Perfil transversal donde se observan los sismos del segmento 3</i>	<i>79</i>
<i>Figura 3.49: Sismos del Tipo B, C y D del segmento 3</i>	<i>80</i>
<i>Figura 3.50: Sismos del Tipo B, C y D del segmento 3</i>	<i>81</i>
<i>Figura 3.51: Cantidad de sismos del Tipo A del segmento 3 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud Ms</i>	<i>82</i>
<i>Figura 3.52: Cantidad de sismos del Tipo A del segmento 3 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud mb</i>	<i>83</i>
<i>Figura 3.53: Cantidad de sismos del Tipo B del segmento 3 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud Ms</i>	<i>84</i>
<i>Figura 3.54: Cantidad de sismos del Tipo B del segmento 3 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud mb</i>	<i>85</i>

<i>Figura 3.55: Cantidad de sismos del Tipo C del segmento 3 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud Ms</i>	86
<i>Figura 3.56: Cantidad de sismos del Tipo C del segmento 3 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud mb</i>	87
<i>Figura 3.57: Cantidad de sismos del Tipo D del segmento 3 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud Ms</i>	88
<i>Figura 3.58: Cantidad de sismos del Tipo D del segmento 3 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud mb</i>	89
<i>Figura 3.59: Sismos del Tipo A del segmento 3 divididos en 6 sectores, para 4 intervalos de tiempo y 4 rangos de magnitudes Ms</i>	90
<i>Figura 3.60: Sismos del Tipo A del segmento 3 divididos en 6 sectores, para 4 intervalos de tiempo y 4 rangos de magnitudes mb</i>	91
<i>Figura 3.61: Sismos del Tipo B del segmento 3 divididos en 6 sectores, para 4 intervalos de tiempo y 4 rangos de magnitudes Ms</i>	92
<i>Figura 3.62: Sismos del Tipo B del segmento 3 divididos en 6 sectores, para 4 intervalos de tiempo y 4 rangos de magnitudes mb</i>	93
<i>Figura 3.63: Sismos del Tipo C del segmento 3 divididos en 6 sectores, para 4 intervalos de tiempo y 4 rangos de magnitudes Ms</i>	94
<i>Figura 3.64: Sismos del Tipo C del segmento 3 divididos en 6 sectores, para 4 intervalos de tiempo y 4 rangos de magnitudes mb</i>	94
<i>Figura 3.65: Sismos del Tipo D del segmento 3 divididos en 6 sectores, para 4 intervalos de tiempo y 4 rangos de magnitudes Ms</i>	95
<i>Figura 3.66: Sismos del Tipo D del segmento 3 divididos en 6 sectores, para 4 intervalos de tiempo y 4 rangos de magnitudes mb</i>	96
<i>Figura 3.67: Frecuencia anual de los sismos del segmento 1 en función de la magnitud (Ms)</i>	98
<i>Figura 3.68: Frecuencia anual de los sismos del segmento 1 en función de la magnitud mb</i>	99
<i>Figura 3.69: Frecuencia anual de los sismos Tipo B del segmento 1 en función de la magnitud Ms</i>	100
<i>Figura 3.70: Frecuencia anual de los sismos Tipo B del segmento 1 en función de la magnitud mb</i>	101
<i>Figura 3.71: Frecuencia anual de los sismos Tipo C del segmento 1 en función de la magnitud Ms</i>	102
<i>Figura 3.72: Frecuencia anual de los sismos Tipo C del segmento 1 en función de la magnitud mb</i>	103
<i>Figura 3.73: Frecuencia anual de los sismos del segmento 2 en función de la magnitud Ms</i>	104
<i>Figura 3.74: Frecuencia anual de los sismos del segmento 2 en función de la magnitud mb</i>	105
<i>Figura 3.75: Frecuencia anual de los sismos Tipo B del segmento 2 en función de la magnitud Ms</i>	106
<i>Figura 3.76: Frecuencia anual de los sismos Tipo B del segmento 2 en función de la magnitud mb</i>	107
<i>Figura 3.77: Frecuencia anual de los sismos Tipo C del segmento 2 en función de la magnitud Ms</i>	108
<i>Figura 3.78: Frecuencia anual de los sismos Tipo C del segmento 2 en función de la magnitud mb</i>	109
<i>Figura 3.79: Frecuencia anual de los sismos del segmento 3 en función de la magnitud Ms</i>	110
<i>Figura 3.80: Frecuencia anual de los sismos del segmento 3 en función de la magnitud mb</i>	111

<i>Figura 3.81: Frecuencia anual de los sismos del segmento 1 (línea continua), del segmento 2 (línea segmentada) y segmento 3 (línea segmentada y punteada) utilizando la magnitud M_s.....</i>	<i>111</i>
<i>Figura 3.82: Frecuencia anual de los sismos del segmento 1 (línea continua), del segmento 2 (línea segmentada) y segmento 3 (línea segmentada y punteada) utilizando la magnitud m_b.....</i>	<i>112</i>
<i>Figura 3.83: Frecuencia anual de los sismos de todo el país en función de la magnitud M_s.....</i>	<i>113</i>
<i>Figura 3.84: Frecuencia anual de los sismos de todo el país en función de la magnitud m_b.....</i>	<i>114</i>
<i>Figura 3.85: Relación entre M_s y m_b.....</i>	<i>117</i>
<i>Figura 3.86: Relación entre m_b y M_L y entre m_b y M_c</i>	<i>118</i>
<i>Figura 3.87: Relaciones G-R obtenidas por Barrientos (2004) y en este trabajo.....</i>	<i>123</i>
<i>Figura 3.88: Relaciones G-R obtenidas por Labbe (1976) para la zona 1 y en este trabajo para el segmento 1.....</i>	<i>124</i>
<i>Figura 3.89: Relaciones G-R obtenidas por Labbe (1976) para la zona 2 y en este trabajo para el segmento 2.....</i>	<i>124</i>
<i>Figura 3.90: Relaciones G-R obtenidas por Labbe (1976) para la zona 3 y en este trabajo para el segmento 3.....</i>	<i>125</i>
<i>Figura 3.91: Relaciones G-R obtenidas por Labbe (1976) y en este trabajo para todo el país.....</i>	<i>125</i>
<i>Figura 4.1: Distribución de datos de intensidad para el Segmento 1 utilizando la magnitud M_s</i>	<i>139</i>
<i>Figura 4.2: Distribución de datos de intensidad para sismos del Tipo B del Segmento 1 utilizando la magnitud M_s.....</i>	<i>141</i>
<i>Figura 4.3: Distribución de datos de intensidad para sismos del Tipo C del segmento 1 utilizando la magnitud M_s.....</i>	<i>143</i>
<i>Figura 4.4: Distribución de datos de intensidad para sismos del Tipo D del segmento 1 utilizando la magnitud M_s.....</i>	<i>145</i>
<i>Figura 4.5: Distribución de los datos de intensidades según la distancia epicentral para los sismos del Segmento 1. Sin diferenciar por el valor de la magnitud (Tabla 4.14)</i>	<i>148</i>
<i>Figura 4.6: Distribución de los datos de intensidades según la distancia epicentral para los sismos del Segmento 1. Para magnitud menor o igual a 5.5 grados utilizando la magnitud M_s (Tabla 4.15).....</i>	<i>148</i>
<i>Figura 4.7: Distribución de los datos de intensidades según la distancia epicentral para los sismos del Segmento 1. Para magnitud menor o igual a 6.5 grados utilizando la magnitud M_s (Tabla 4.16).....</i>	<i>149</i>
<i>Figura 4.8: Distribución de los datos de intensidades según la distancia epicentral para los sismos del Segmento 1. Para magnitud menor o igual a 7.5 grados utilizando la magnitud M_s (Tabla 4.17).....</i>	<i>149</i>
<i>Figura 4.9: Distribución de datos de la intensidad para el Segmento 2 utilizando la magnitud M_s</i>	<i>151</i>
<i>Figura 4.10: Distribución de datos de intensidad para sismos del Tipo A del Segmento 2 utilizado la magnitud M_s.....</i>	<i>153</i>
<i>Figura 4.11: Distribución de datos de intensidad para sismos del Tipo B del Segmento 2 utilizando la magnitud M_s.....</i>	<i>155</i>

<i>Figura 4.12: Distribución de datos de intensidad para sismos del Tipo C del Segmento 2 utilizando la magnitud Ms.....</i>	<i>157</i>
<i>Figura 4.13: Distribución de datos de intensidad para sismos del Tipo D del Segmento 2 utilizando la magnitud Ms.....</i>	<i>159</i>
<i>Figura 4.14: Distribución de los datos de intensidades según la distancia epicentral para los sismos del Segmento 2. Sin diferenciar por magnitud (Tabla 4.29)</i>	<i>162</i>
<i>Figura 4.15: Distribución de los datos de intensidades según la distancia epicentral para los sismos del Segmento 2. Para magnitud menor o igual a 5.5 grados utilizando la magnitud Ms (Tabla 4.30).....</i>	<i>163</i>
<i>Figura 4.16: Distribución de los datos de intensidades según la distancia epicentral para los sismos del Segmento 2. Para magnitud menor o igual a 6.5 grados utilizando la magnitud Ms (Tabla 4.31).....</i>	<i>163</i>
<i>Figura 4.17: Distribución de los datos de intensidades según la distancia epicentral para los sismos del Segmento 2. Para magnitud menor o igual a 7.5 grados utilizando la magnitud Ms (Tabla 4.32).....</i>	<i>164</i>
<i>Figura 4.18: Distribución de datos de intensidad para el Segmento 3</i>	<i>166</i>
<i>Figura 4.19: Distribución de datos de intensidad para sismos del Tipo A del Segmento 3</i>	<i>168</i>
<i>Figura 4.20: Distribución de datos de intensidad para sismos del Tipo B del Segmento 3.....</i>	<i>170</i>
<i>Figura 4.21: Distribución de datos de intensidad para sismos del Tipo C del Segmento 3.....</i>	<i>172</i>
<i>Figura 4.22: Distribución de datos de intensidad para sismos del Tipo D del segmento 3.....</i>	<i>173</i>
<i>Figura 4.23: Distribución de los datos de intensidades según la distancia epicentral para los sismos del Segmento 3. Sin diferenciar por magnitud (Tabla 4.44).</i>	<i>177</i>
<i>Figura 4.24: Distribución de los datos de intensidades según la distancia epicentral para los sismos del Segmento 3. Para magnitud menor o igual a 5.5 grados utilizando la magnitud Ms (Tabla 4.45).....</i>	<i>177</i>
<i>Figura 4.25: Distribución de los datos de intensidades según la distancia epicentral para los sismos del Segmento 3. Para magnitud menor o igual a 6.5 grados utilizando la magnitud Ms (Tabla 4.46).....</i>	<i>178</i>
<i>Figura 4.26: Distribución de los datos de intensidades según la distancia epicentral para los sismos del Segmento 3. Para magnitud menor o igual a 7.5 grados utilizando la magnitud Ms (Tabla 4.47).....</i>	<i>178</i>
<i>Figura 4.27: Porcentajes de distribución de los datos de intensidades para cada uno de los segmentos.</i>	<i>182</i>
<i>Figura 5.1: Porcentaje de Sismos por Tipo.....</i>	<i>184</i>
<i>Figura 5.2: Porcentajes de distribución de los datos de intensidades para cada uno de los segmentos</i>	<i>189</i>

Capítulo 1 INTRODUCCIÓN

1.1 Motivación

Hoy en día se cuenta con una base de datos de los sismos ocurridos a lo largo de todo el mundo y en particular en Chile, uno de los países con mayor actividad sísmica del mundo. La base de datos reunida los últimos 25 años se caracteriza por ser muy abundante y por contar con datos más precisos de los parámetros que caracterizan a un sismo debido al avance del conocimiento y de los equipos utilizados para registrar estos eventos, especialmente en las redes locales o de campo cercano utilizadas.

Procesar esta información es fundamental para contar con un catálogo confiable, especialmente de los sismos de mayor magnitud que han ocurrido los últimos 25 años, para realizar estudios de interés tanto para la sismología como para la ingeniería sismorresistente. A modo de ejemplo, se puede destacar que a partir de esta información se pueden identificar tanto las zonas con mayor sismicidad a lo largo y a lo ancho de Chile de acuerdo con las fuentes sismogénicas reconocidas para el país, así como identificar las lagunas sísmicas más importantes de Chile.

1.2 Objetivos

Actualmente la información disponible sobre las Intensidades y Parámetros Focales de los terremotos que han ocurrido en el país desde la llegada de los conquistadores españoles y hasta 1981 se encuentra en el catálogo preparado por el CERESIS, Proyecto SISRA (CERESIS, 1985).

Considerando que desde el año 1982 hasta la fecha han ocurrido varios terremotos de magnitud 6.5 o mayor, y muchos eventos de magnitudes menores, es necesario incluir esta información en el catálogo existente.

1.2.1 Objetivo general

El principal objetivo de esta memoria es reunir la información de intensidades e hipocentros que se encuentra disponible para nuestro país, de modo de ordenarla con el fin de obtener un catálogo de parámetros focales e intensidades.

1.2.2 Objetivo específico

El objetivo específico es actualizar el Catálogo de Hipocentros e Intensidades que existe actualmente para los sismos chilenos (CERESIS, 1985), considerando que este catálogo contiene la información de los sismos ocurridos en Chile hasta finales del año 1981. El catálogo que se desarrolla en esta memoria incluye los sismos ocurridos desde el primer día del año 1982 hasta el último día del año 2005.

La actualización del catálogo se hace con el mismo formato utilizado en el catálogo del Proyecto SISRA, es decir, se usan los mismos criterios y se entrega la misma información para los sismos ocurridos en el país en los últimos 24 años.

1.3 Organización de la Memoria

La memoria se organiza en cinco capítulos cuyo contenido es el siguiente:

CAPITULO 1: se destacan los objetivos generales y específicos de la memoria, además se destacan los motivos por los cuales se decidió desarrollar este trabajo.

CAPITULO 2: se entregan antecedentes relacionados con la sismicidad del país, destacando las características de ella.

CAPITULO 3: se indican las características de los catálogos que entregan información de la sismicidad chilena y el criterio utilizado para preparar el catálogo de hipocentros a partir de ésta información. Además, se hace un análisis preliminar de la información del catálogo de hipocentros, catálogo que se adjunta en un documento anexo.

CAPITULO 4: se entrega la información relacionada con las escalas de intensidades que se han utilizado en este trabajo y en Chile durante el siglo XX, junto con la base de datos y el criterio utilizado para preparar el catálogo de intensidades, catálogo que se adjunta en un documento anexo junto al catálogo de hipocentros. Además, se presenta un

análisis preliminar de la distribución de los datos de intensidades de acuerdo al tipo de terremoto y a la distancia epicentral para cada uno de los segmentos de la placa de Nazca.

CAPITULO 5: se entregan las conclusiones y los comentarios más relevantes del trabajo.

El Catálogo de Hipocentros y el Catálogo de Intensidades se adjuntan en un documento anexo.

Capítulo 2 ANTECEDENTES

En este capítulo se entregan antecedentes relacionados con la sismicidad del país, destacando algunas características de ella.

2.1 Sismicidad de Chile

La sismicidad de Chile Continental, desde Arica hasta Chiloé, es una consecuencia directa de la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana. Si se excluye la sismicidad superficial de ciertas zonas de la precordillera, prácticamente todos los sismos de Chile se producen en la zona de acoplamiento entre las placas o en el interior de la placa de Nazca, identificándose tres diferentes tipos de sismicidad: *de la zona exterior de la fosa, de la zona de contacto entre las placas, de extensión en el interior de la placa de Nazca y a más de 40 km de profundidad.*

Hasta ahora, los sismos más peligrosos del punto de vista del riesgo sísmico son los grandes terremotos de la zona de contacto entre las placas, también llamados terremotos de subducción (interplacas), los que alcanzan magnitudes de hasta 9.5 grados en diversas zonas a lo largo del país, y los terremotos de profundidad intermedia en el interior de la placa de Nazca (intraplacas) con magnitudes máximas del orden de 8 grados.

En términos generales, se puede destacar que Chile es uno de los países más sísmicos de la tierra, produciéndose en promedio en los últimos cinco siglos un terremoto destructor de magnitud próxima a 8 cada 10 años en alguna parte del territorio nacional, eventos que han producido daños y pérdidas de vidas humanas y heridos. La figura 2.1 muestra una visión esquemática de los más grandes terremotos que se han producido a lo largo de la costa de Chile en los últimos 150 años, identificándose la zona de ruptura estimada a partir de datos sísmicos o a partir de la evaluación de daños para los más antiguos. Como se aprecia en esta figura prácticamente toda la costa chilena desde Arica hasta la península de Taitao en Aysen ha sufrido al menos un evento de este tipo en ese período de tiempo.

Ultimos Grandes Terremotos en Chile

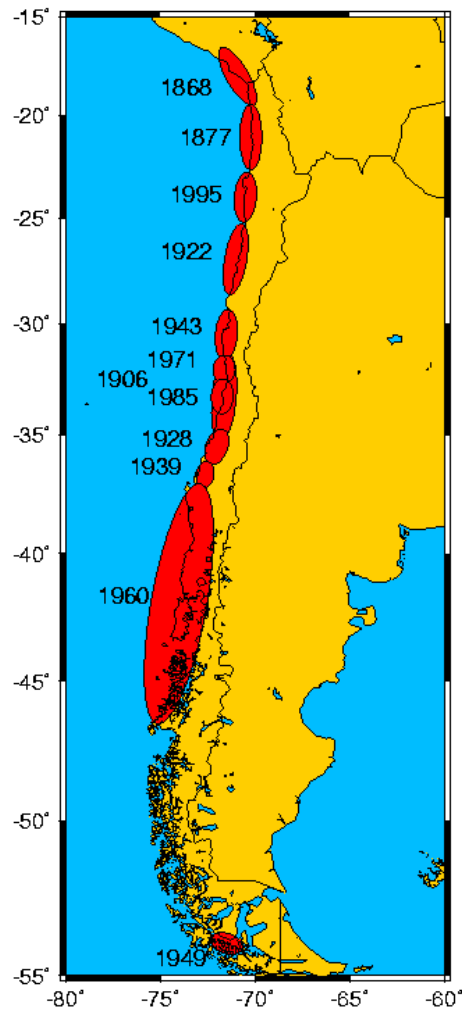


Figura 2.1 Áreas de ruptura de los mayores terremotos chilenos de subducción de los últimos 150 años. (Pardo, Conceptos Básicos de Sismología).

Desde el punto de vista práctico, es indudable que esta sismicidad es causa de permanente preocupación por parte de sismólogos e ingenieros nacionales y extranjeros, y ello ha significado el desarrollo de numerosos estudios con el fin de establecer la distribución de los terremotos tanto espacial como temporal, la tectónica general de Chile y los efectos que estos eventos han tenido en las distintas regiones del país.

Gracias a estos estudios se tiene actualmente una idea relativamente clara tanto de los tipos de sismicidad que afectan a Chile y su peligrosidad relativa como una cuantificación de sus efectos: *atenuación de la intensidad y extensión del área de daños*.

Además se ha podido comprobar que la sismicidad a lo largo del tiempo no se ha repartido uniformemente en el territorio, apreciándose claramente que dependiendo del período de tiempo que se considere, la sismicidad es más abundante en una zona con respecto a otra producto de las replicas del terremotos de mayor magnitud, entre otras causas. Esto se podrá apreciar cuando se analice el catálogo de parámetros focales que se entrega en esta memoria, especialmente si se revisa la sismicidad para el periodo 1982-2005 al sur del paralelo 40° S.

También se puede apreciar que esta sismicidad está asociada a lo eventos que se producen en las distintas fuentes sismogénicas, con preferencia a veces en una de ellas.

2.2 Segmentación de la placa de Nazca

La zona de subducción de la placa de Nazca se divide en cinco segmentos de longitud variable (Barazangi y Isacks, 1976). En Chile las tres zonas principales son:

(1). **Segmento 1:** Zona comprendida entre los paralelos 15° S y 27° S donde la placa de Nazca desciende bajo el continente sudamericano con un ángulo calificado como “normal” de unos 25 a 30°. Esta es la zona del Norte Grande de Chile de acuerdo con la designación de los textos de geografía de Chile.

(2) **Segmento 2:** Zona comprendida entre los paralelos 26° S y 33° S, donde la placa de Nazca se flecta bajo el continente sudamericano y desciende bajo Argentina con un ángulo de sólo unos 10° de inclinación antes de continuar su descenso en el manto. Esta es la zona de los Valles Transversales de acuerdo con la designación de los textos de geografía.

(3) **Segmento 3:** A partir de los 33° S, la zona de Benioff vuelve a tener un ángulo normal de cerca de 30° de inclinación con una sismicidad que no se extiende más allá de 200 km de profundidad.

Esta diferencia en el ángulo de la zona de contacto entre las dos placas, se manifiesta de manera perfectamente clara en la topografía y la geología de Chile. Es así como la zona del Norte Grande posee grandes volcanes activos, una cordillera de la Costa y una meseta intermedia. En cambio, la zona de los Valles Transversales carece de volcanes y las estructuras geológicas tienen una dirección transversal al eje principal andino; en esta zona existe una abundante sismicidad al otro lado de la cordillera de Los Andes, especialmente en las cercanías de San Juan y Mendoza. Más al sur, en la zona identificada como del Valle Central, nuevamente hay volcanes activos y una depresión central muy bien desarrollada.

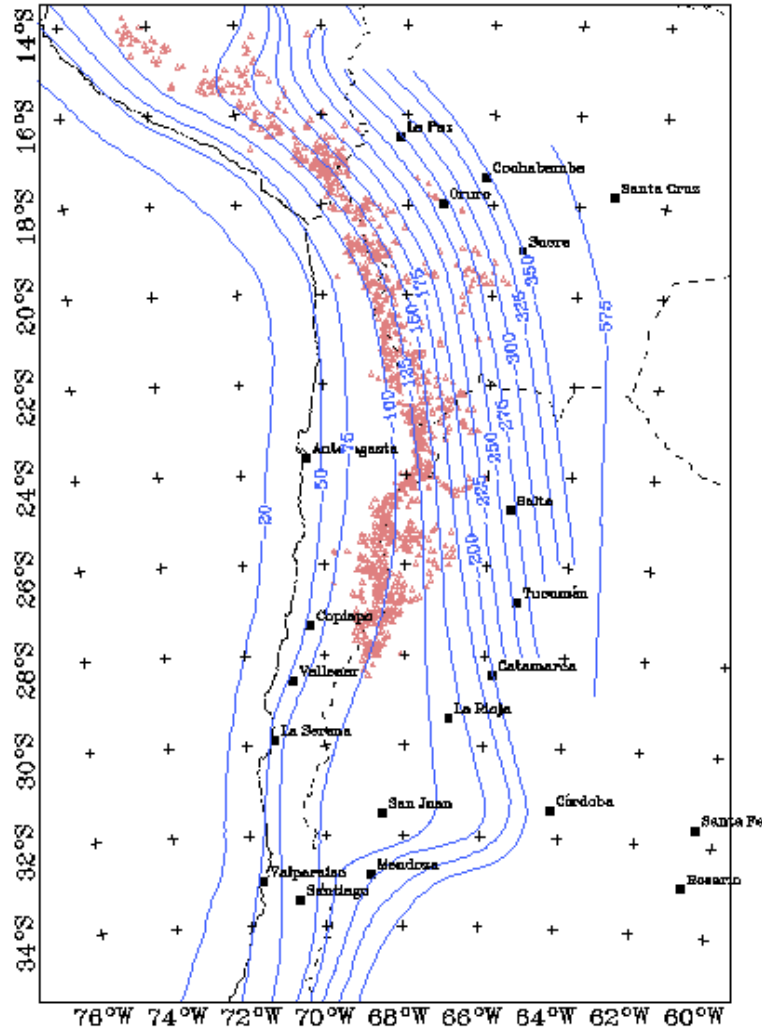
La presencia de volcanes permite pensar que entre la placa de Nazca y la base de la corteza terrestre existe un proceso de fusión parcial que produce la lava que alimenta estos volcanes. En cambio en la zona que desaparecen los volcanes, aparentemente no habría espacio entre las dos placas para generar suficiente lava para alimentar volcanes, desapareciendo los volcanes activos en ella.

La identificación de estas tres zonas en las que se ha segmentado la placa de Nazca en el sector de Chile, permite analizar las diferencias que presenta la sismicidad en cada una de ellas, lo que se podrá apreciar al analizar la información del Catálogo de Hipocentros.

Según Cahill y Isacks (1992), la transición de subducción normal a subducción casi plana en la zona de los Valles Transversales de Chile es gradual y forma una especie de lengua alargada hacia el territorio argentino, como se muestra en la figura 2.2(a). Más al sur del paralelo 31° S, el paso de la subducción casi plana a la subducción normal de la zona central-sur de Chile, es más abrupto y coincide con la subducción de la zona de elevación de Juan Fernández (Dorsal de Juan Fernández).

Según Madariaga (1998), la segmentación es una característica esencial de la sismicidad de la zona de subducción de Chile pero su origen exacto y su relación con estructuras de la placa oceánica aún no están entendidos.

Teniendo en cuenta esta información, cualquier análisis de la sismicidad de Chile debe considerar esta segmentación. En la figura 2.2 (a) se muestra esta segmentación del punto de vista de su pendiente a partir de las curvas de isopropundidad. En la figura 2.2 (b) se puede ver una imagen tridimensional de la zona de Benioff.



zona Wadati Benioff

Figura 2.2 (a) Curvas de isopropfundidad de la zona de Benioff. Se pueden apreciar los volcanes con actividad (triángulos), demostrando la no actividad volcánica en la zona entre las latitudes 27°S-33°S aproximadamente producto de la poca inclinación con que se curva la placa de Nazca bajo el continente (Cahill y Isacks, 1992)

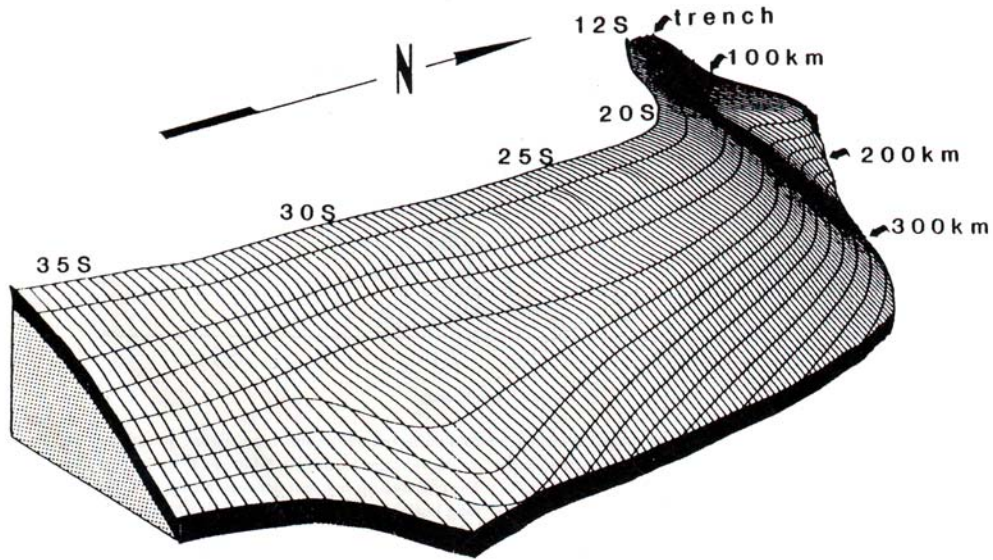


Figura 2.2 (b) Vista tridimensional de la subducción de placa de Nazca entre las latitudes 12°S-35°S. Se puede apreciar claramente la diferencia del ángulo con que descende la placa de Nazca en la zona 26°-33° latitud sur con respecto a las otras zonas (Cahill y Isacks, 1992).

Lo anterior se puede ver con más detalle haciendo cortes transversales a lo largo de la placa de Nazca, como los indicados en la figura 2.3 (a), graficando en ellos la ubicación de los hipocentros de los sismos (figura 2.3 (b)). En la figura 2.3 (c) se aprecia claramente el menor ángulo de inclinación de la placa de Nazca a partir de los 26° S de latitud.

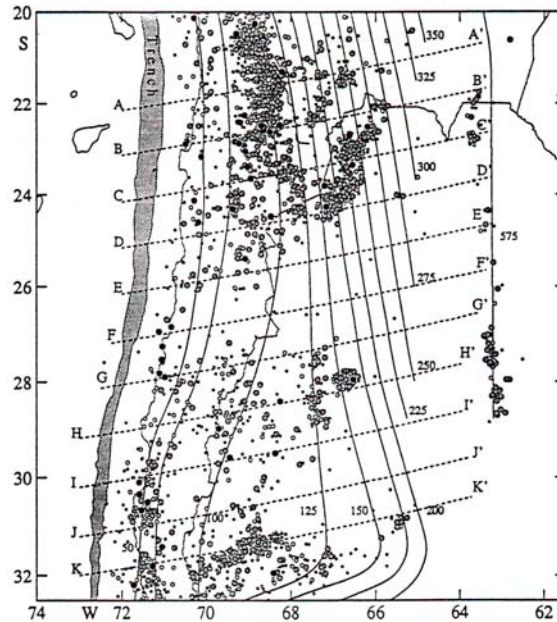


Figura 2.3(a) Se indican los cortes transversales a lo largo de los cuales se ubican los hipocentros en la figura 2.3(b). Además, se muestran los epicentros de los sismos (Cahill y Isacks, 1992).

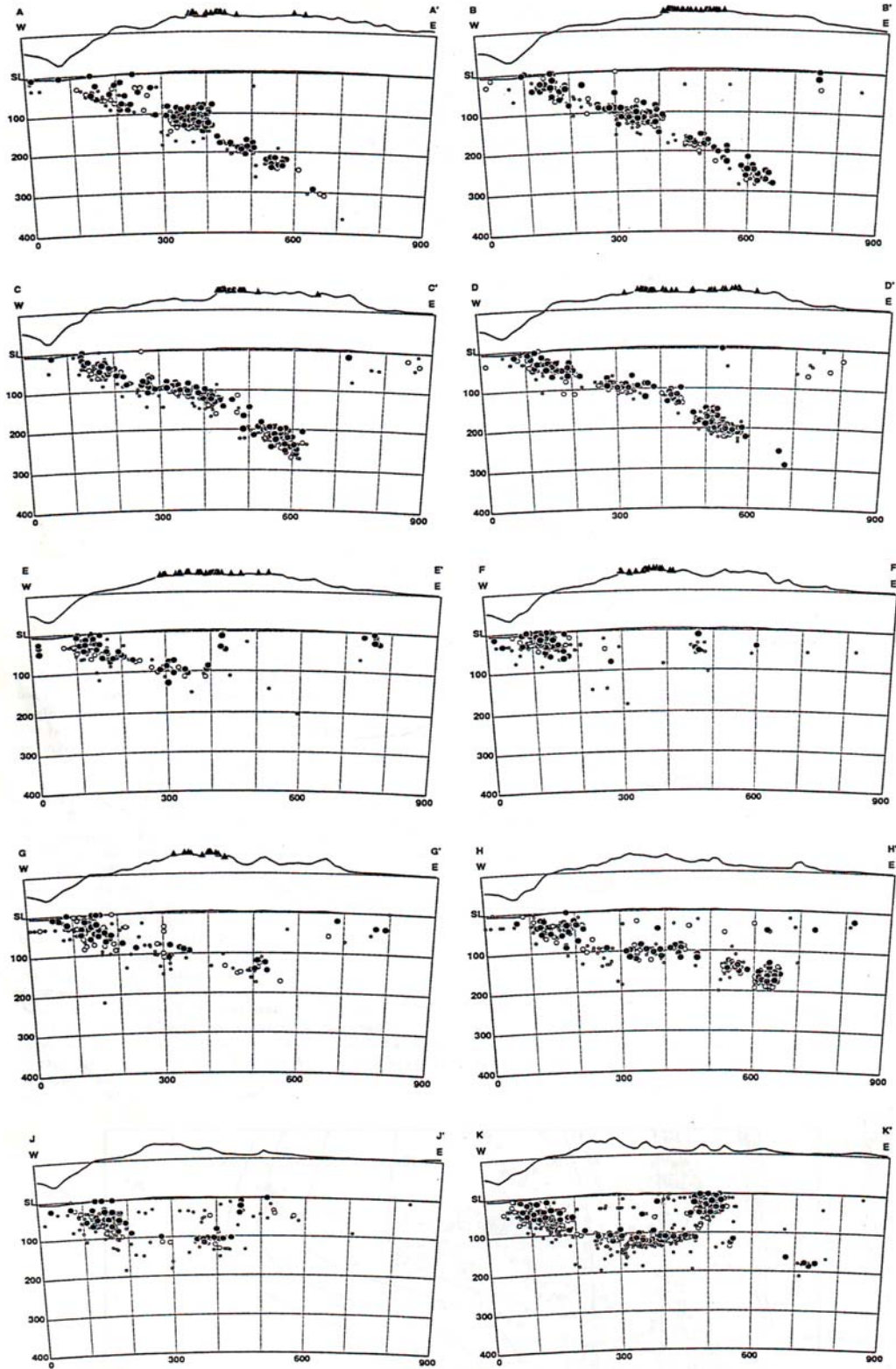


Figura 2.3(b) Cortes transversales en los que se indica la ubicación de los hipocentros de los sismos (Cahill y Isacks, 1992).

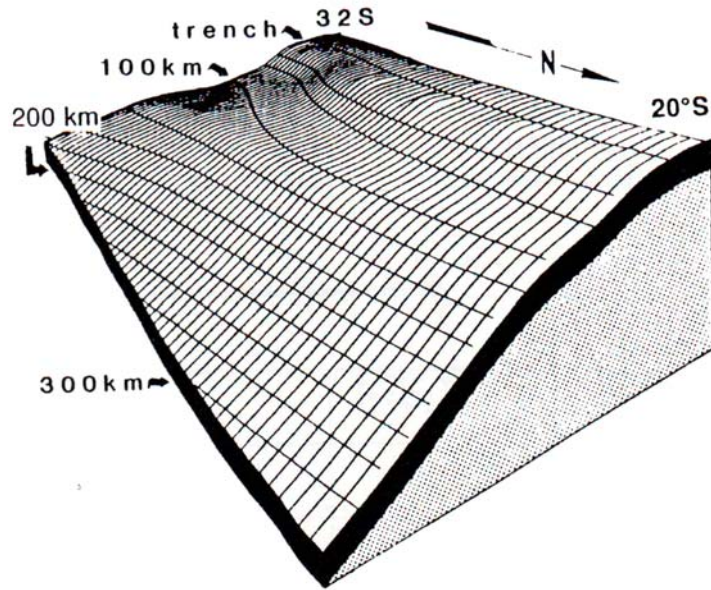


Figura 2.3(c) Vista 3-D de la subducción de placa de Nazca entre las latitudes 20°S-32°S (Cahill y Isacks, 1992).

Exactamente lo mismo que para la zona comprendida entre los paralelos 20° S y 32° S, se puede hacer para la zona comprendida entre las latitudes 28°S-36°S, abarcando una zona más austral. El resultado se muestra en la figura 2.4.

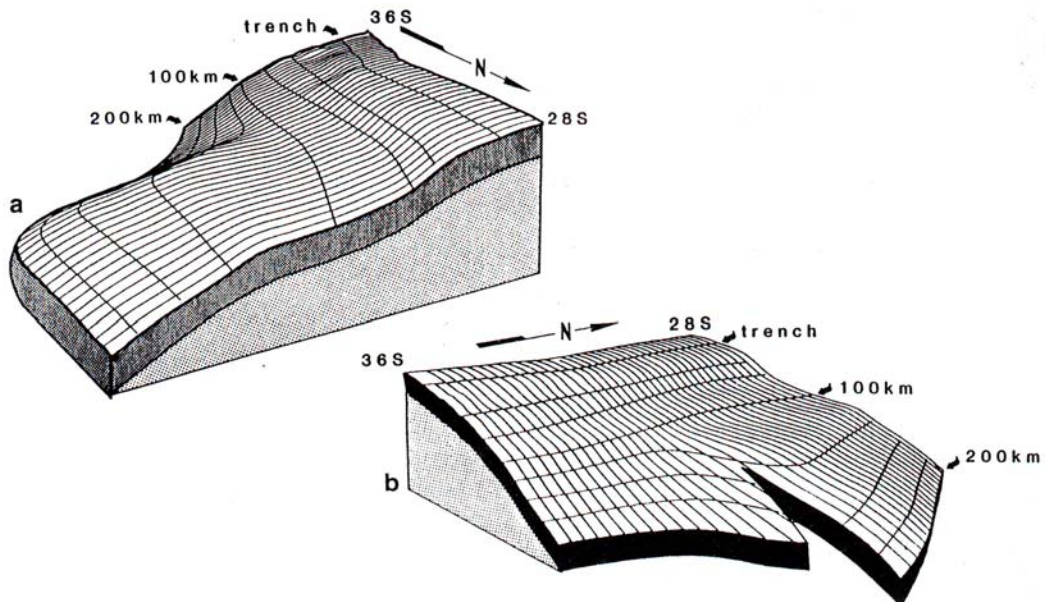


Figura 2.4 Vista 3-D la subducción de placa de Nazca entre las latitudes 28°S-36°S (Cahill y Isacks, 1992).

En las figuras 2.5 (a) y 2.5 (b) se muestra la situación en las proximidades de la ciudad de Santiago.

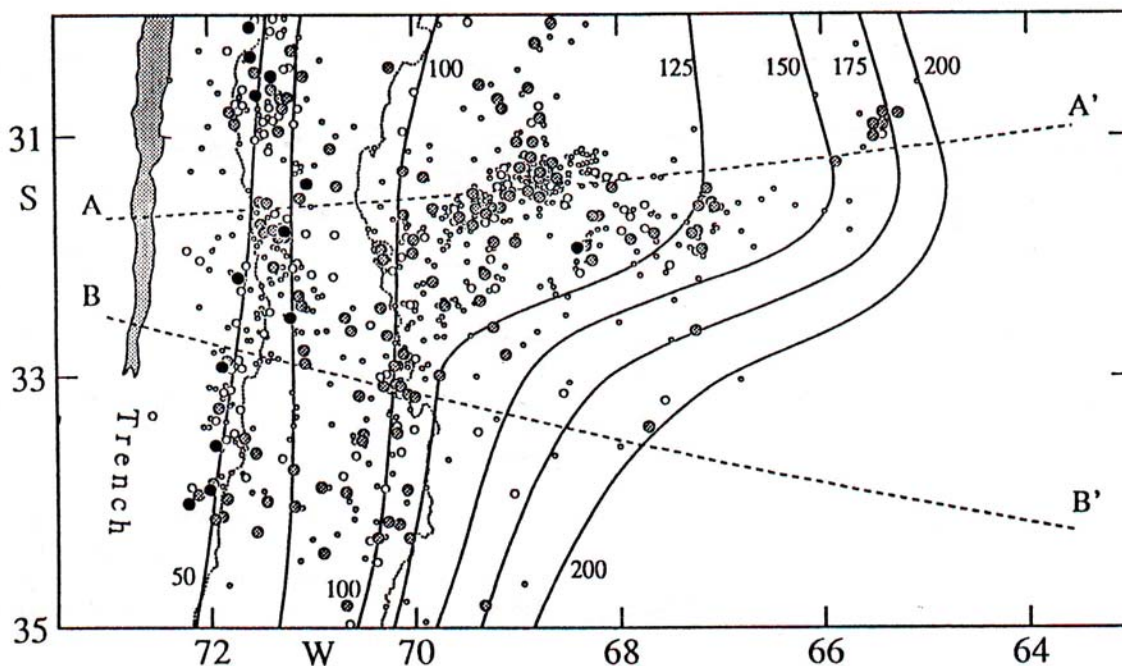


Figura 2.5 (a) Se indican los cortes transversales a lo largos de los cuales se hizo la ubicación de hipocentros mostrada en la figura 2.5(b) (Cahill y Isacks, 1992).

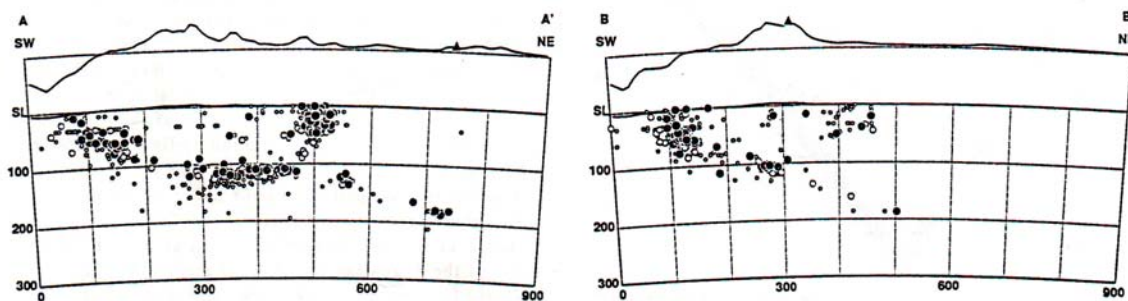


Figura 2.5 (b) Cortes transversales en los que se indica la ubicación de los hipocentros de los sismos (Cahill y Isacks, 1992).

2.3 Mecanismos de los terremotos

Los terremotos que se producen en la zona de contacto entre las placas de Nazca y de Sudamérica, la mayoría de ellos tienen un mecanismo de falla inversa con un plano de falla que posee un bajo ángulo de inclinación. La profundidad de los terremotos está limitada a una zona de profundidad máxima de 60 km.

Es claro que de acuerdo con la información que se ha contado hasta ahora, la sismicidad de Chile estaría dominada por este tipo de temblores, los que se identifican habitualmente como “de subducción” o “*Interplaca*” (**Tipo B o Thrust**).

Sin embargo los estudios de la sismicidad de detalle, incorporando los datos de redes locales, identifican otros tipos de terremotos que es necesario caracterizar y estudiar sus efectos. Entre ellos los más importantes por los efectos que han producido en las instalaciones existentes son los que a continuación se detallan.

2.3.1 *Sismos intraplaca continental* (**Tipo D, superficiales o corticales**)

Estos son sismos que se ubican sobre el plano de Benioff al pie de la cordillera de Los Andes en la parte central del territorio y en la precordillera en el Norte Grande. Estos eventos se caracterizan por su reducida profundidad focal y porque sus efectos destructivos se concentran en un área de dimensiones reducida.

Con la información reunida en los últimos años, gracias a las redes locales o a la red telemétrica de Santiago, se ha podido comprobar que esta actividad es persistente pero no se ha podido estimar la magnitud máxima esperada ni la frecuencia de estos terremotos.

De acuerdo con los datos históricos, el evento más importante de este grupo corresponde al terremoto de Las Melosas de 1958 con una magnitud del orden de 7.0 y con una intensidad en la zona epicentral de IX grados en la escala de Mercalli Modificada (Astroza y Sepúlveda, 2006). Además de este evento, en los últimos cinco años han ocurrido dos eventos de este tipo que han provocado daños y cuyos epicentros se han ubicado al interior de Iquique, terremoto de Chusmiza del 2001, y al interior de Curico, terremoto de Curico del 2004.

2.3.2 *Sismos intraplaca al exterior de la fosa (Tipo A)*

Existe una actividad sísmica en el interior de la placa de Nazca al exterior de la fosa, su origen se atribuye generalmente a la flexión de la placa oceánica antes de descender bajo el continente y se caracterizan por ser muy superficiales. Un número importante de ellos se presentan en el sur de Chile frente a la Isla de Chiloé.

En relación con su magnitud, según Madariaga (1998), frente a la costa de Talca y Valparaíso se han producido terremotos de este tipo de magnitud cercana a 6.0. Los efectos de estos terremotos no han sido destructivos por su reducida profundidad y por ubicarse distantes de los centros poblados ubicados a lo largo del borde costero.

2.3.3 *Sismos intraplaca oceánica de profundidad intermedia (Tipo C)*

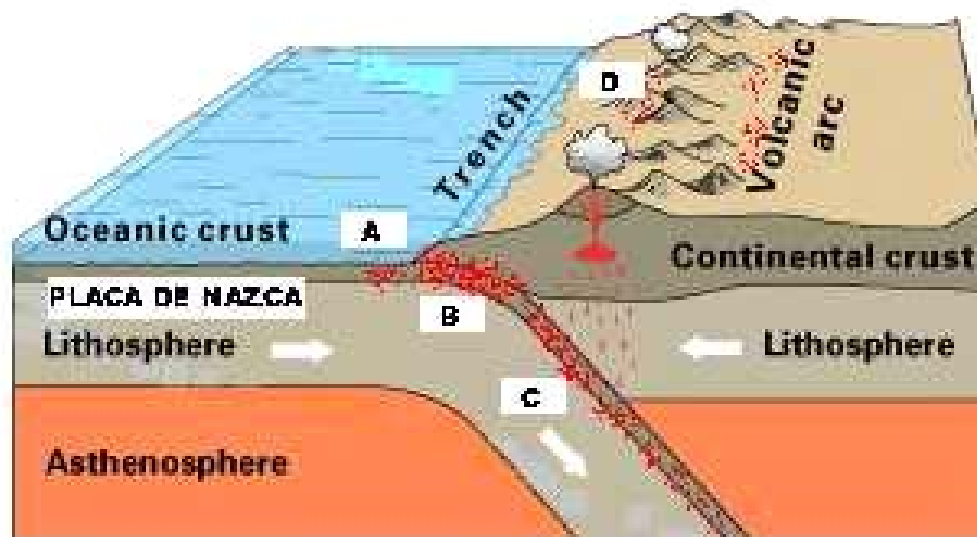
Otro tipo de terremoto importante en Chile, por controlar la demanda sísmica para los efectos de diseño de los sectores actualmente habitados, es el terremoto que se produce en el interior de la placa de Nazca a una profundidad intermedia (80 a 120 km). Estos eventos se caracterizan por ser más profundos con un mecanismo de foco de extensión o compresión a lo largo de la placa de Nazca y están presentes a todo lo largo de la parte activa del territorio chileno.

Los dos mayores sismos de este tipo se produjeron en 1950, con un epicentro ubicado al interior de Antofagasta en las proximidades de Calama, y en 1939, con un epicentro ubicado en las proximidades de Chillán. Las magnitudes de ambos eventos fueron del orden de 8 grados.

Además de los eventos anteriores, es conveniente destacar entre ellos al terremoto de La Ligua de 1965, el terremoto de Punitaqui de 1997 y el terremoto de Tarapacá del 2005.

Se ha podido comprobar que estos sismos son muy destructores y su profundidad de foco es cercana a 90 km o bien mayor a este valor. Es decir estos eventos se producen bajo la profundidad que define el fin de la zona de acoplamiento entre placas.

En la figura 2.6 se muestran los diferentes tipos de terremotos que ocurren en la zona de subducción de Chile.



ZONA DE SUBDUCCION

Figura 2.6: Identificación de los tipos de sismos que ocurren en la zona de subducción de Chile (Pardo, Conceptos Básicos de Sismología).

2.4 Estudio de la sismicidad nacional

La estimación de las características máximas que puede tener un movimiento sísmico en un determinado lugar durante un período de tiempo especificado constituye uno de los problemas fundamentales de la ingeniería sísmica. Para resolver este problema es necesario conocer la frecuencia con que ocurren en una determinada región o lugar los sismos de magnitud mayor o igual a un valor determinado, conocida también como ley de Gutenberg y Richter.

Para establecer esta ley es necesario tener la estadística sísmica como la entregada por el Catálogo de terremotos chilenos del Proyecto SISRA (1985), desde 1520 hasta 1881, o bien en otros catálogos disponibles actualmente. Con este propósito, a partir de la información estadística disponible hasta los años 80, se ha establecido una regionalización sísmica del país como las sugeridas por Labbe y Saragoni (1976) y por Barrientos (1980), entre otras. Probablemente la segmentación de la placa de Nazca a lo largo de Chile y las

distintas fuentes sismogénicas identificadas en los estudios realizados en los últimos 20 años, cambiarán las regionalizaciones propuestas para establecer la relación de Gutenberg y Richter.

Para hacer una revisión de esta ley es necesario contar con un catálogo de los parámetros focales de los sismos chilenos actualizado como el que se entrega en esta memoria. Además, para determinar el riesgo sísmico a lo largo y ancho de Chile, es necesario conocer las leyes de atenuación que relacionan la intensidad o algún otro índice de naturaleza instrumental (aceleración máxima registrada, amplitud espectral, potencial destructivo) con la magnitud del sismo y la distancia epicentral o focal.

Considerando que la información instrumental de campo cercano es muy escasa para Chile y la que existe corresponde más bien en un tipo de sismo (Tipo B) y dentro de ellos principalmente a uno de ellos (Terremoto de San Antonio del 3 /03/1985), es necesario seguir estudiando las leyes de atenuación de las intensidades. En relación con esto último, los estudios realizados en los últimos cinco años (Astroza et al., 2001, Astroza et al., 2005, Astroza y Sepúlveda, 2006) han permitido comprobar que las fórmulas propuestas por Barrientos (1980) no representan adecuadamente las atenuaciones observadas en las intensidades de los terremotos del Tipo C y del Tipo D.

Con el propósito de reunir más información sobre las intensidades reportadas, en esta memoria se hace una recopilación de las intensidades de los sismos ocurridos desde 1982.

2.5 Sismos ocurridos en los últimos 100 años

En los últimos 100 años se han producido por lo menos 22 terremotos destructores a lo largo de Chile en la zona de subducción, es decir desde Arica hasta la península de Taitao, los que se detallan en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1: Sismos ocurridos en los últimos 100 años

Evento	Fecha	Coordenadas Hipocentro			Magnitud Ms
		Latitud (°)	Longitud (°)	Profundidad (km)	
1	17-08-1906	-33,00	-72,00	25,0	8,4
2	14-04-1927	-32,40	69,50	128,0	7,1
3	01-12-1928	-35,00	-72,00	25,0	8,0
4	24-01-1939	-36,25	-72,25	75,0	7,8
5	13-09-1945	-33,25	-70,50	100,0	7,1
6	04-09-1953	-32,70	-71,80	50,0	6,4
7	04-09-1958	-33,90	-70,20	10,0	6,9
8	22-05-1960	-39,50	-74,50	60,0	8,5
9	28-03-1965	-32,42	-71,21	72,0	7,1
10	26-09-1967	-33,50	-70,67	81,2	5,6
11	09-07-1971	-32,59	-71,25	40,0	7,5
12	05-10-1973	-32,93	-71,95	29,4	6,7
13	12-11-1974	-33,08	-70,64	81,1	6,2
14	21-12-1978	-36,29	-72,46	47,0	5,6
15	07-11-1981	-32,24	-71,47	56,1	6,7
16	03-03-1985	-33,13	-71,76	40,0	7,4
17	09-04-1985	-34,08	-71,57	40,0	7,2
18	05-03-1987	-24,39	-69,99	38,0	7,3
19	08-08-1987	-19,20	-70,10	82,0	6,9
20	30-07-1995	-23,43	-70,48	36,0	7,4
21	15-10-1997	-30,88	-71,17	58,0	6,8
22	13-06-2005	-20,05	-69,33	114,9	7,0 m _b

Dentro de estos eventos se destacan los terremotos de Valparaíso de 1906 y de Chillán de 1939 por el número de víctimas – muertos y heridos- que produjeron, el terremoto de Sur de Chile de 1960 por ser el terremoto de mayor magnitud registrado en el mundo y el terremoto del 3 de marzo de 1985 por afectar la zona más densamente poblada del territorio nacional y por ser el primer terremoto chileno bien registrado por una red local de acelerógrafos.

Sólo a partir de 1985 se ha podido estudiar los terremotos chilenos con un nivel de detalle que no era posible en Chile hasta ese momento, gracias al desarrollo de redes locales y de la existencia de la red mundial de banda ancha.

Considerando esta limitación, se han revisado los efectos de los terremotos históricos ocurridos con anterioridad a 1985 de modo de trazar las isosistas de estos eventos, identificando los efectos de sitio con el propósito de obtener un trazado más regular de ellas. Entre estos estudios se pueden destacar los estudios realizados por (Moya, 2002, Sanhueza 2002, Sandoval, 2004, Norambuena, 2006, Astroza, 2006).

Del punto de vista de la Ingeniería Sismorresistente es interesante destacar los sismos que han sido registrados desde cuando el país cuenta con redes de instrumentos, una de estas redes se muestra en la figura 2.7 (Renadic, 2006). En las tablas 2.2 y 2.3 se detallan los valores de las aceleraciones máximas registradas de los eventos de mayor magnitud, muchos de los cuales han causado daños.

Tabla 2.2 Aceleraciones máximas de registros de terremotos del tipo B.

N	Sismo Fecha	Estación	Comp.	a max [g]	Referencia Tabla 2.4	Equipo
1	4/09/53	Santiago Ing.	S260W	0.015	1	USGS
2			N35W	0.017		
3			V	0.014		
4	8/07/71	Santiago Ing.	S80W	0.134	1	USGS
5			N10W	0.165		
6	5/10/73	Santiago Ing.	S80W	0.011	1	USGS
7			N10W	0.010		
8			V	0.010		
9	21/12/78	Concepción	Long.	0.091	1	DG2
10			Tran.	0.080		
11			V	0.100		
12	21/12/78	Chillán	Long.	0.051	1	DG2
13			Tran.	0.050		
14			V	0.030		
15	21/12/78	Talca	Long.	0.026	1	DG2
16			Tran.	0.031		
17	5/07/79	La Ligua	NS	0.202	1	DG2
18	5/07/79	Papudo	N40W	0.200	1	DG2
19	5/07/79	Viña del Mar	N10E	0.034	1	DG2
20			N80W	0.025		
21			V	0.030		
22	5/07/79	Valparaíso	N70W	0.011	1	DG1
23		UTFSM	V	0.010		
24	3/03/85	Illapel	N20W	0.116	2	SMA - 1
25			S70W	0.091		
26			V	0.053		
27	3/03/85	Los Vilos	NS	0.026	2	SMA - 1
28			EW	0.033		
29			V	0.023		
30	3/03/85	La Ligua	N70W	0.171	2	SMA - 1
31			S20W	0.131		

N	Sismo Fecha	Estación	Comp.	a max [g]	Referencia Tabla 2.4	Equipo
32			V			
33	3/03/85	Papudo	N50E		2	SMA - 1
34			S40E	0.232		
35			V	0.202		
36	3/03/85	Zapallar	NS	0.289	2	SMA - 1
37			EW	0.298		
38			V	0.217		
39	3/03/85	Ventanas	NS	0.213	2	SMA - 1
40			EW	0.233		
41			V	0.177		
42	3/03/85	San Felipe	S10E	0.317	2	SMA - 1
43			N80E	0.424		
44			V	0.195		
45	3/03/85	Llayllay	N80W	0.474	2	SMA - 1
46			S10W	0.353		
47			V	0.234		
48	3/03/85	Viña del Mar	N70W	0.216	2	SMA - 1
49			S20W	0.354		
50			V	0.164		
51	3/03/85	Valparaíso	N50E	0.291	2	SMA - 1
52		El Almendral	S40E	0.162		
53			V			
54	3/03/85	Valparaíso	S20E	0.162	2	SMA - 1
55		U.T.F.S.M	N70E	0.177		
56			V	0.121		
57	3/03/85	Las Tortolas	N26W	0.145	2	*
58			N64E	0.172		
59			V	0.104		
60	3/03/85	Quintay	NS	0.237	2	SMA - 1
61			EW	0.240		
62			V	0.161		
63	3/03/85	Llolleo	S80E	0.406	2	SMA - 1
64			N10E	0.654		
65			V	0.815		
66	3/03/85	Melipilla	EW	0.630	2	SMA - 1
67			NS	0.654		
68			V	0.312		
69	3/03/85	Rapel	NS	0.476	2	RFT - 250
70			EW	0.172		
71			V	0.133		
72	3/03/85	Pichilemu	NS	0.261	2	SMA - 1

N	Sismo Fecha	Estación	Comp.	a max [g]	Referencia Tabla 2.4	Equipo
73			EW	0.185		
74			V	0.122		
75	3/03/85	San Fernando	NS	0.277	2	SMA - 1
76			EW	0.335		
77			V	0.122		
78	3/03/85	Iloca	NS	0.213	2	SMA - 1
79			EW	0.283		
80			V	0.087		
81	3/03/85	Hualañe	NS	0.174	2	SMA - 1
82			EW	0.136		
83			V	0.089		
84	3/03/85	Constitución	NS	0.140	2	SMA - 1
85			EW	0.082		
86			V	0.043		
87	3/03/85	Talca	N80W	0.166	2	SMA - 1
88			N10E	0.168		
89			V	0.068		
90	3/03/85	Cauquenes	NS	0.085	2	SMA - 1
91			EW	0.115		
92			V	0.044		
93	3/03/85	Chillán Viejo	N80E	0.059	2	SMA - 1
94			N10W	0.054		
95			V	0.035		
96	3/03/85	Stgo Endesa	Long	0.126	3	Katsujima
97			Trans	0.122		
98			V	0.097		
99	3/03/85 R	Viña del Mar	NS	0.083	2	SMA - 1
100			EW	0.082		
101			V	0.056		
102	3/03/85 R	Valparaíso	NS	0.041	2	SMA - 1
103		U.T.F.S.M.	EW	0.033		
104			V	0.032		
105	3/03/85 R	Llolleo	NS	0.19	2	SMA - 1
106			EW	0.188		
107			V	0.134		
108	3/03/85 R	Stgo Endesa	NS	0.046	3	Katsujima
109			EW	0.027		
110			V	0.024		
111	3/03/85 R	Hualañe	N80W	0.019	3	SMA - 1
112			N10E	0.019		
113			V	0.016		

N	Sismo Fecha	Estación	Comp.	a max [g]	Referencia Tabla 2.4	Equipo
114	3/03/85 R	Iloca	NS	0.045	3	SMA - 1
115			EW	0.043		
116			V	0.011		
117	3/03/85 R	San Fernando	N80E	0.048	2	SMA - 1
118			N10W	0.045		
119			V	0.018		
120	9/04/85	Cauquenes	NS	0.055	3	SMA - 1
121			EW	0.074		
122			V	0.038		
123	9/04/85	Constitución	NS	0.049	3	SMA - 1
124			EW	0.044		
125			V	0.025		
126	9/04/85	Iloca	NS	0.162	3	SMA - 1
127			EW	0.112		
128			V	0.057		
129	9/04/85	Llolleo	S80E	0.170	2	SMA - 1
130			N10E	0.203		
131			V	0.295		
132	9/04/85	Quintay	NS	0.032	3	SMA - 1
133			EW	0.023		
134			V	0.019		
135	9/04/85	Rapel	NS	0.103	3	SMA - 1
136			EW	0.217		
137			V	0.091		
138	9/04/85	San Fernando	NS	0.062	3	SMA - 1
139			EW	0.066		
140			V	0.044		
141	9/04/85	Stgo Endesa	Long	0.033	2	Katsujima
142			Trans	0.021		
143			V	0.017		
144	9/04/85	Stgo	Long	0.039	4	SMA - 1
145		Geofísica	Trans	0.034		
146			V	0.025		
147	9/04/85	Ventanas	Long	0.068	4	SMA - 1
148			Trans	0.075		
149			V	0.035		
150	5/03/87	Antofagasta	EW	0.086	5	DG2
151	5/03/87	Calama	N70W	0.029	5	DG2
152			N20E	0.038		
153			V	0.038		

N	Sismo Fecha	Estación	Comp.	a max [g]	Referencia Tabla 2.4	Equipo
----------	------------------------	-----------------	--------------	----------------------	---------------------------------	---------------

154	5/03/87	Taltal	N40W	0.440	5	DG2
155			S50W	0.260		
156			V	0.150		
157	30/07/95	Antofagasta	NS	0.213	3	*
158			EW	0.288		
159			V	0.148		

* Sin Información

Tabla 2.3. Aceleraciones máximas de registros de terremotos intraplaca oceánica de profundidad intermedia (Tipo C)

N	Sismo Fecha	Estación	Comp.	a max [g]	Referencia Tabla 2.4	Equipo
1	13/09/45	Santiago Ing.	S260W	0.131	1	USGS
2			N35W	0.067		
3			V	0.053		
4	28/03/65	Santiago Ing.	S80W	0.187	1	USGS
5			N10W	0.171		
6			V	0.085		
7	26/09/67	Santiago Ing.	S80W	0.028	1	USGS
8			N10W	0.025		
9	12/11/74	Santiago Ing.	S80W	0.033	1	USGS
10			N10W	0.044		
11	12/11/74	Sta. Lucia	S80W	0.031	1	RFT - 250
12			V	0.020		
13	7/11/81	Papudo	N50E	0.379	6	SMA - 1
14			S40E	0.605		
15				0.533		
16	7/11/81	La Ligua	N70W	0.366	6	DG2
17			S20W	0.472		
18				0.345		
19	7/11/81	San Felipe	S20E	0.377	6	DG2
20			N70E	0.371		
21				0.109		
22	7/11/81	Ventanas	NS	0.270	6	SMA - 1
23			EW	0.277		

N	Sismo Fecha	Estación	Comp.	a max [g]	Referencia Tabla 2.4	Equipo
24				0.215		
25	7/11/81	Peldehue	NS	0.290	6	DG2
26	7/11/81	Santiago	NS	0.077	6	SMA - 1
27			EW	0.080		
28				0.051		
29	7/11/81	Llolleo	N10E	0.197	6	DG2
30			S80E	0.073		
31	7/11/81	Viña del Mar	N80W	0.110	6	DG2
32	8/08/87	Arica Cementerio	NS	0.270	7	SMA - 1
33			EW	0.260		
34			V	0.199		
35	8/08/87	Arica Costanera	NS	0.211	7	SMA - 1
36			EW	0.283		
37			V	0.119		
38	8/08/87	Iquique IDIEM	NS	0.103	7	SMA - 1
39			EW	0.152		
40			V	0.080		
41	15/10/97	Ilapel	N20W	0.354	3	SMA - 1
42			S70W	0.277		
43			V	0.178		
44	15/10/97	Papudo	N50E	0.086	3	SMA - 1
45			S40E	0.145		
46			V	0.039		
47	15/10/97	Zapallar	NS	0.051	3	SMA - 1
48			EW	0.064		
49			V	0.037		

Tabla 2.4 Autores de donde se obtuvo la información (Ruiz, 2002).

N°	Autor
1	Saragoni y otros (1981)
2	Holmberg y Saez (1990)
3	Ruiz (2002)
4	Riddell y otros (1993)
5	Saragoni (1987)
6	Shaad (1991)
7	González (1998)

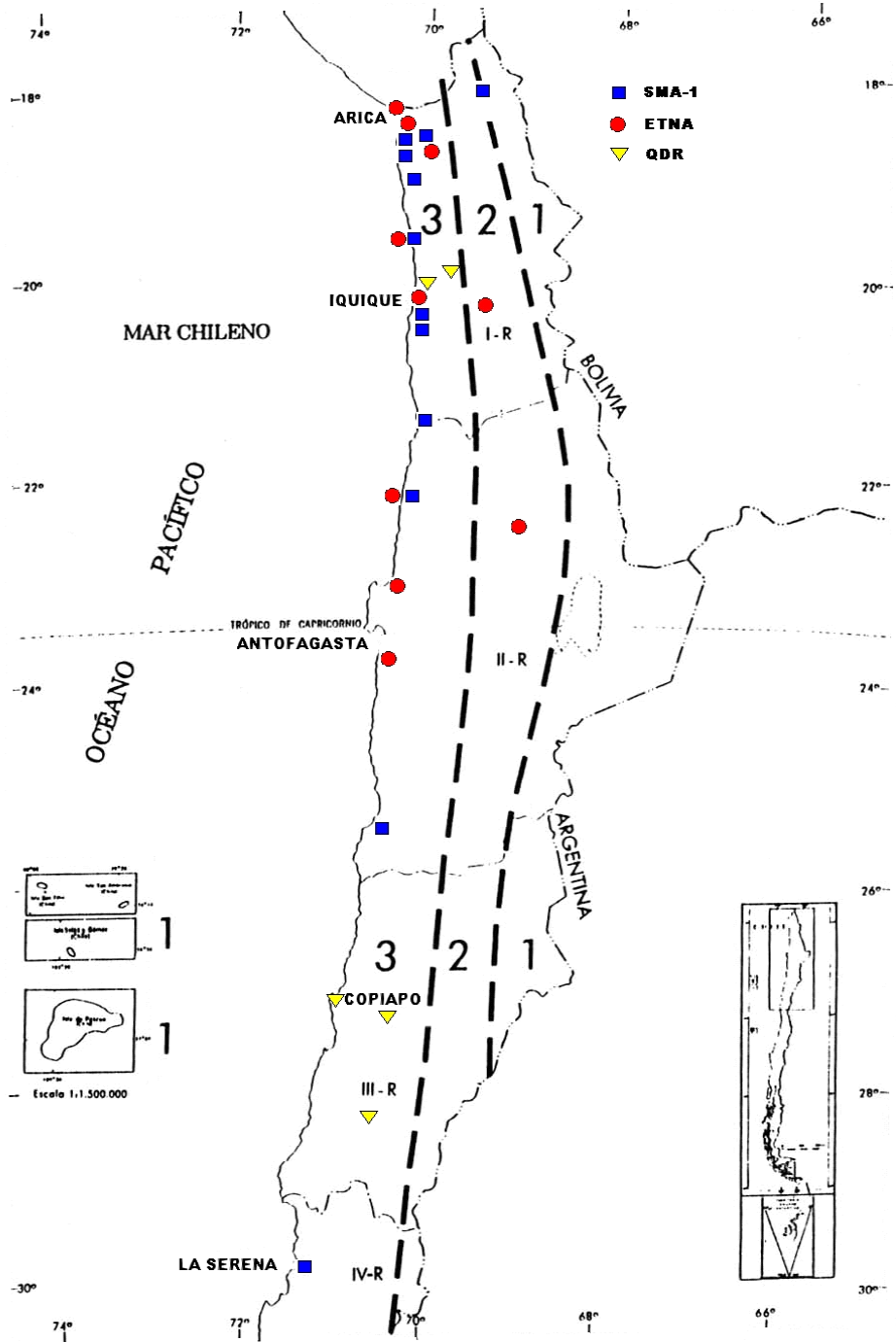


Figura 2.7 (a) Red de acelerógrafos zona norte (Renadic, 2006)

NCh433

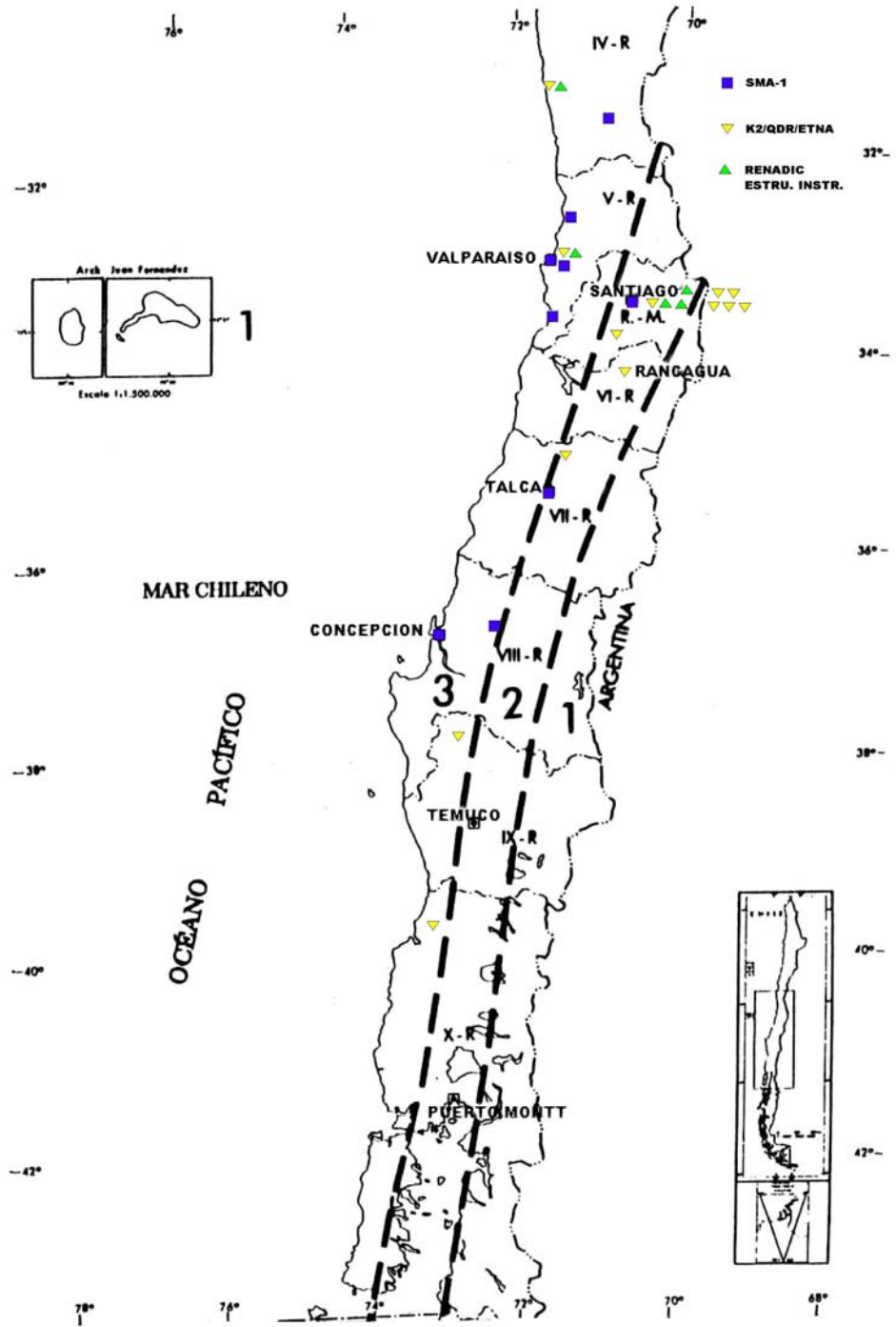


Figura 2.7 (b) Red de acelerógrafos zona centro y sur (Renadic, 2006)

Comparando el contenido de las tablas 2.1 y 2.2, se comprueba que los eventos registrados no corresponden a los de mayor magnitud. Además se puede apreciar que con excepción del terremoto del 3 de marzo de 1985, los registros instrumentales obtenidos no corresponden a estaciones ubicadas en la zona epicentral, lo que explica los bajos valores de aceleraciones máximas registradas. Esta última situación se produce por la reducida cantidad de instrumentos con que cuentan las redes fijas existentes en Chile debido a la falta de presupuesto para adquirir y mantener una red de mayor densidad.

Esta situación obliga a seguir usando la *Intensidad* como un índice para cuantificar la severidad sísmica y obtener relaciones entre ella con los índices de tipo instrumental usados para medir la severidad sísmica (Saragoni et al, 1989, Saragoni et al., 2004).

2.6 Riesgo sísmico en Chile

Debido a su geografía, históricamente la población de Chile se ha distribuido de manera muy irregular a lo largo del país.

En la zona del Norte la población está muy dispersa concentrándose en unas pocas ciudades, como son las ciudades de Arica, Iquique y Antofagasta. Esta concentración ha aumentado debido a la emigración de los habitantes de los pueblos del altiplano chileno hacia la ciudad, situación que quedó en evidencia con el terremoto de Tarapacá del 2005, el cual afectó seriamente un número importante de pueblos del interior de la ciudad de Iquique sin producir prácticamente víctimas o heridos a pesar de haber causado la destrucción de pueblos completos (Astroza et al. ,2005). Esta misma situación se observa en la zona comprendida al norte de La Serena, concentrándose la población en las ciudades de Copiapó y Vallenar.

El desarrollo de nuevos proyectos industriales, especialmente instalaciones mineras y plantas de generación de energía, ha aumentado el riesgo sísmico de esta zona si se considera el impacto que estas actividades tienen en la economía del país, pero no ha modificado la concentración de la población en las ciudades destacadas sino por el contrario la ha aumentado debido a la política de las empresas de evitar el desplazamiento de las familias a sus instalaciones.

Por otro lado, entre La Serena y Puerto Montt se concentra la mayor parte de la población de Chile, ubicándose en ciudades ubicadas en la costa, como Valparaíso, Viña del Mar, Concepción, Valdivia y Puerto Montt, y en ciudades ubicadas en el Valle Central, más o menos a 100 km de la costa, destacándose entre ellas las ciudades de Santiago, Rancagua, San Fernando, Talca, Linares. Chillán, Los Angeles, Temuco y Osorno. El sector industrial de esta región se concentra en la actividad agropecuaria y forestal principalmente, con un importante impacto en la economía del país. Los efectos de la importante concentración de la población del país en esta zona han quedado de manifiesto en los numerosos terremotos que la han afectado a lo largo del tiempo, los que han producido un número cuantioso de muertos y heridos (Valparaíso-1906 y Chillán-1939), damnificados (Valdivia-1960 y Lolleo-1985) y pérdidas económicas (Valdivia-1960).

En la parte ubicada al sur de Puerto Montt, la población es muy escasa y las actividades industriales se han ido desarrollando los últimos 25 años. Probablemente por la edad de la placa de Nazca en esta zona, no se tiene evidencia de la ocurrencia de terremotos destructores en los períodos de tiempo en que los catálogos entregan información confiable. Por lo anterior, se puede pensar que por ahora esta zona del país presenta un bajo riesgo sísmico.

Teniendo en cuenta el riesgo sísmico que presenta actualmente el país de acuerdo como se distribuye su población y las actividades económicas, es claro que hay que poner un fuerte énfasis en el estudio de las regiones más pobladas de Santiago a Puerto Montt y las zonas donde se ubican las grandes instalaciones industriales del norte del país. Esto obliga a conocer más de la sismicidad relacionada con los sismos intraplaca oceánica de profundidad intermedia (**Tipo C**) y de los sismos intraplaca continental (**Tipo D**), considerando que son particularmente peligrosos porque se producen directamente bajo las zonas pobladas de Chile y no bajo el mar como los terremotos del **Tipo A** y **Tipo B**.

Del mismo modo se debe considerar el peligro de tsunamis asociado a los terremotos del tipo interplaca (**Tipo B**), los cuales han tenido efectos devastadores como han sido los tsunamis ocurridos en el terremoto de 1535,1730, 1977, 1922 y 1960, entre otros, y las condiciones bajo las cuales se producen grandes olas es decir extensas áreas de inundación. El efecto destructivo de estos tsunamis ha abarcado distintos sectores de la costa chilena,

los que integrados comprometen toda la costa entre Arica y Chiloé. Aunque este tema es importante, está fuera del alcance de esta memoria.

2.7 Lagunas sísmicas

Estas lagunas sísmicas corresponden a regiones que no han tenido grandes terremotos desde hace treinta o más años (Madariaga, 1998).

Considerando esta definición, existirían dos sitios en Chile que se pueden identificar como peligrosos al existir dos grandes lagunas sísmicas. En ellas puede ocurrir un gran terremoto del que no se sabe su magnitud ni su tiempo de ocurrencia.

2.7.1 La laguna sísmica del Norte de Chile.

La zona Norte de Chile fue escenario de un gran terremoto el año 1877 (M= 9.0) con una ruptura que se extendió 500 km desde unos 50 km al Sur de Arica hasta 50 km al norte de Antofagasta (Madariaga, 1998).

Con la tasa actual de convergencia entre la placa de Nazca y Sudamericana, 10cm/año, se concluye que desde 1877 hay un deslizamiento acumulado de más de 12 m, suficiente para generar un terremoto de gran magnitud en una zona de subducción como la chilena o bien una serie de terremotos de menor magnitud como ha ocurrido frente a las costas de Valparaíso. La respuesta precisa a cual de estas dos posibilidades ocurrirá se ignora ya que los antecedentes que se disponen con anterioridad a 1877 en esta región son muy escasos por corresponder a una zona muy despoblada.

Si se acepta el escenario más desfavorable, el riesgo sísmico y los efectos del tsunami son difíciles de cuantificar, lo que evidentemente produce inseguridad e incomodidad en las autoridades de la región en el momento de hacer una planificación de desarrollo sustentable con las condiciones locales.

2.7.2 La laguna sísmica de Chile Central.

Muchos de los autores que han estudiado el terremoto de 1985, han llegado a la conclusión que una de las zonas más peligrosa desde el punto de vista sísmico es la que se extiende desde el sur del terremoto de 1985 hasta el comienzo de los terremotos de mayo de 1960.

Para obtener esta conclusión se han considerado los grandes terremotos que han afectado la zona central de Chile desde 1600, siendo el mayor de ellos el terremoto del 8 de julio de 1730 cuyos efectos se sintieron entre La Serena y Concepción (Astroza, 2006) con una zona total de ruptura estimada entre 450 km (Lomnitz, 1971) y 550 km (Comte et al., 1986) y un tsunami que destruyó parte importante de la ciudad de Concepción, ubicada en esa fecha en lo que hoy es la localidad de Penco, lo que obligó al traslado de la ciudad de Concepción a su ubicación actual.

Considerando que ninguno de los terremotos ocurridos con posterioridad a 1730 se aproxima a la dimensión del terremoto de 1730 y que en los últimos 80 años no ha ocurrido un terremoto de magnitud mayor o igual a 8 entre Constitución y Pichilemu y que desde 1835, es decir hace 170 años, no ha ocurrido un terremoto en la zona ubicada entre Constitución y Concepción, se reconoce una laguna sísmica en el sector ubicado entre Pichilemu y Concepción.

2.8 Comentarios

- Del estudio de la información reunida hasta 1980, se reconoce que las estadísticas sísmicas de Chile han sido reportada en forma bastante incompleta en el pasado, especialmente de los eventos que ocurren al sur de Chiloé.
- La estadística sísmica no es homogénea o integra, es decir los eventos sísmicos de distintas magnitudes no han sido reportados con el mismo cuidado a través del tiempo. Como prueba de ello se puede destacar que los sismos de magnitudes inferiores a 6.5 sólo se han recopilados en su totalidad a partir de 1960, siendo gran parte de ellos réplicas de los terremotos del 21 y 22 de mayo de 1960. En cambio, para magnitudes altas, mayores o iguales a 7.0, se observa que existe uniformidad de información para un periodo de tiempo como es el siglo XX.

De acuerdo con Madariaga (1998), la lista de terremotos de magnitud próxima a 8 no es completa en los estudios históricos porque sus daños se limitaron a zonas locales que de no estar pobladas han pasado desapercibido.

- Teniendo en cuenta los antecedentes de este capítulo, en el Capítulo 3 se hace un análisis de la información reunida entre los 1982 y 2005. Con este propósito se hace un análisis de la distribución *espacial y temporal* de los sismos asociados a los cuatro tipos de mecanismo (**A, B, C y D**) en cada uno de los tres segmentos en que se ha dividido la placa de Nazca (**1, 2 y 3**) agrupándolos de acuerdo con su magnitud.
- En el Capítulo 4 se hace un análisis de la información según la cantidad de datos de intensidades y un análisis de la información de intensidades según la distancia epicentral en cada uno de los tres segmentos en que se ha dividido la placa de Nazca (**1, 2 y 3**), agrupándolos de acuerdo con su magnitud.
- Al analizar la información entregada en esta memoria es recomendable reconocer que los temblores y sobre todo los terremotos del norte de Chile y del sur del Perú no pueden separarse cuando se procesa la estadística sísmica para efecto de los estudios de riesgo sísmico. Esto fue destacado por Montesus de Ballore (1912) y es necesario tenerlo en cuenta al procesar la información entregada en esta memoria.

Capítulo 3 CATÁLOGO DE HIPOCENTROS

3.1 Introducción

En este capítulo se indica el criterio utilizado para preparar este catálogo a partir de la información existente en cinco catálogos que tienen información de los sismos ocurridos en Chile desde el año 1982 hasta fines del 2005.

Para confeccionar este catálogo se aprovechó la experiencia reunida durante la ejecución del Proyecto SISRA (CERESIS, 1985), proyecto en el cual participó activamente el profesor Edgar Kausel V. La actualización del Catálogo de Hipocentros e Intensidades de los sismos chilenos se hizo manteniendo el formato utilizado en la elaboración del catálogo del proyecto SISRA.

La información reunida corresponde a la proporcionada por:

- Catálogo del Centro Internacional de Sismología (Internacional Seismological Centre, ISC)
- Catálogo del Nacional Earthquake Information Center, NEIC
- Catálogo del Harvard Seismology
- Catálogo de Engdahl
- Datos del Servicio Sismológico de la Universidad de Chile

3.2 Base de Datos

La información reunida se ordenó y procesó de manera de entregar el dato más confiable, con este propósito se escogió un criterio para seleccionar la fuente de donde se obtienen los datos entregados en el catálogo. Sin embargo, debe reconocerse que el criterio seleccionado no es único, de esta forma si se desea cambiar el criterio, se adjunta un disco compacto con la información de cada una de las cinco fuentes consultadas sobre los sismos ocurridos en el país en el periodo de tiempo analizado.

A continuación se hace una breve descripción de cada una de las bases de datos utilizados en esta memoria.

3.2.1 Catálogo del NEIC

Es esta base de datos se entrega información que se publica inmediatamente después de ocurrido el sismo, sin incluir la información que generen estudios posteriores, por lo que se puede esperar que los errores que pueda contener sean mayores y por consiguiente la información podría ser menos confiable.

La información que entrega el catálogo del NEIC (<http://neic.usgs.gov/neis/epic/epic.html>) corresponde a: Año, mes, día y hora (UTC) en que ocurrió el evento, las coordenadas del hipocentro (latitud, longitud y profundidad) y la magnitud. El formato en que se entrega esta información es el mostrado en la Figura 3.1.

CAT	YEAR	MO	DA	ORIG	TIME	LAT	LONG	DEP	MAGNITUDE	IEFM	DTSVNWG	DIST
										NFPO		km
										TFS		
PDE	2000	01	01	043010.37		-26.01	-68.80	105	4.50 mb GS	..	.	.....
PDE	2000	01	08	115921.84		-23.17	-70.12	36	6.40 MwGS	.FFM	.	.....
PDE	2000	01	21	090104.20		-22.98	-69.02	78	4.80 mb GS	4F	.	.....
PDE	2000	02	18	092316.75		-22.17	-68.65	113	4.50 mb GS	..	.	.....
PDE	2000	03	08	054452.68		-25.95	-70.88	61	4.80 mb GS	4F	.	.....
PDE	2000	03	25	172631.96		-23.36	-70.69	51	5.10 mb GS	..	.	.....
PDE	2000	03	29	011534.59		-27.62	-70.93	33	4.70 mb GS	..	.	.....
PDE	2000	04	18	075828		-27.47	-69.06	110	4.50 mb GS	..	.	.....
PDE	2000	04	22	213628.41		-27.05	-69.05	121	4.80 mb GS	3F	.	.....
PDE	2000	05	09	004540.07		-25.96	-69.91	57	5.20 mb GS	4F M	.	.....
PDE	2000	05	12	115848.14		-27.75	-70.47	75	4.70 MDGUC	4F	.	.....
PDE	2000	06	14	100306.62		-24.10	-68.70	104	4.90 mb GS	2F	.	.....
PDE	2000	06	21	141757.04		-26.46	-70.67	33	4.90 mb GS	4F	.	.....
PDE	2000	07	27	083127.14		-23.61	-68.54	109	5.30 MwHRV	3F M	.	.....
PDE	2000	08	23	161531.72		-22.63	-68.28	118	5.50 MwHRV	4F M	.	.....
PDE	2000	09	08	010624.67		-27.31	-70.91	42	4.80 MDGUC	5F	.	.....
PDE	2000	10	22	033055.20		-27.79	-71.54	10	4.50 MDGUC	..	.	.....
PDE	2000	11	27	105429.84		-24.66	-70.15	58	5.20 MwHRV	4F M	.	.....
PDE	2000	11	29	102513.26		-24.87	-70.89	58	6.30 MwGS	5DFM	.	.....
PDE	2000	12	01	090202.16		-26.70	-71.51	33	4.50 MDGUC	3F	.	.....
PDE	2001	01	14	033253.24		-27.99	-71.20	33	4.80 mb GS	..	.	.....
PDE	2001	02	20	085343.48		-27.90	-71.56	33	4.80 MDGUC	..	.	.....
PDE	2001	02	22	075551.54		-27.82	-71.46	29	5.60 MwHRV	.. M	.	.....

Figura 3.1: Formato de datos del catálogo del NEIC (<http://neic.usgs.gov/neis/epic/epic.html>)

3.2.2 *Catálogo del ISC*

La información de esta base de datos tiene dos años de retraso con la base de datos anterior. Lo anterior se debe a que el Centro Internacional de Sismología recopila toda la información de las redes que reportan y publica datos procesados de los sismos y por lo tanto la información entregada es más confiable.

La base de datos del catálogo del ISC contiene los datos de las estaciones que entrega la base de datos del catálogo del NEIC, incluyendo datos adicionales de estaciones que el NEIC no usa.

Para los propósitos de este trabajo, la información obtenida del catálogo del ISC corresponde, entre otra, a: el código del evento, ubicación geográfica, fecha (año/mes/día) y hora del evento, la latitud y longitud del hipocentro, la profundidad del hipocentro (km), el valor y tipo magnitud, y el número de estaciones usadas para calcular la magnitud. La información en este catálogo se entrega en el formato mostrado en la Figura 3.2.

```
Event 1735480 Chile-Bolivia border region
  Date   Time     Err  RMS Latitude Longitude  Smaj Smin  Az Depth  Err Ndef Nsta Gap  mdist Mdist Qual  Author  OrigID
2000/05/15 11:24:46.06  0.28 1.131 -19.9910 -68.8470 7.928  6.3 90 112.0f  70  89 124  3.75 157.31 mi  ISC  3977436

Magnitude Err Nsta Author  OrigID
mb  4.6  33 ISC  3977436

Event 1738936 Near coast of northern Chile
  Date   Time     Err  RMS Latitude Longitude  Smaj Smin  Az Depth  Err Ndef Nsta Gap  mdist Mdist Qual  Author  OrigID
2000/08/11 17:31:13.32  0.20 1.03 -18.1810 -70.4310 5.273  4.8 90  f  184 223 133  2.89 169.90 mi  ISC  4174587

Magnitude Err Nsta Author  OrigID
MS  4.3  32 ISC  4174587
mb  5.1  86 ISC  4174587

Event 1739170 Near coast of northern Chile
  Date   Time     Err  RMS Latitude Longitude  Smaj Smin  Az Depth  Err Ndef Nsta Gap  mdist Mdist Qual  Author  OrigID
2000/08/18 13:21:00.64  1.33 1.032 -19.1690 -70.1360 6.500  6.0 90 46.6 12.7 117 150 134  3.44 172.17 mi  ISC  4175295

Magnitude Err Nsta Author  OrigID
MS  4.2  18 ISC  4175295
mb  5.3  55 ISC  4175295
```

Figura 3.2: Formato de datos del catálogo del ISC (<http://www.isc.ac.uk/>)

3.2.3 Catálogo de HARVARD

En este catálogo se entrega información que no proporcionan los otros catálogos, entre ellas se puede destacar: el momento sísmico, el mecanismo de falla y las coordenadas del centroide o centro de gravedad del área de ruptura.

Para obtener la información para este trabajo, fue necesario obtener la información del catálogo en dos de sus formatos. La información que entrega el catálogo Harvard en cada uno de estos formatos se muestra en las Figuras 3.3 y 3.4; como se aprecia en la Figura 3.3, en la primera fila se indica la fecha y hora del evento, luego las coordenadas del centroide y posteriormente información sobre el mecanismo de falla, incluyendo la la representación estereográfica del plano de falla. Por su parte en la Figura 3.4, se entrega en la primera fila la fecha y la hora de inicio del sismo, las coordenadas del hipocentro, las magnitudes m_b y M_s , y en las filas siguientes se entregan más datos del sismo como son las coordenadas del centroide y el mecanismo de falla.

081800D NEAR COAST OF NORTHERN C

Date: 2000/8/18 Centroid Time: 13:21:10.8 GMT
[Lat=-19.33 Lon=-70.24](#)
Depth= 95.3 Half duration= 1.0
Centroid time minus hypocenter time: 7.6
Moment Tensor: Expo=23 -5.169 0.542 4.628 -1.780 -4.698 3.129
Mw = 5.2 m_b = 5.4 M_s = 4.2 Scalar Moment = 7.64e+23
Fault plane: strike=216 dip=25 slip=-78
Fault plane: strike=23 dip=66 slip=-96



101800H CHILE-BOLIVIA BORDER REG

Date: 2000/10/18 Centroid Time: 16:37:45.4 GMT
[Lat=-19.53 Lon=-68.51](#)
Depth=159.0 Half duration= 1.3
Centroid time minus hypocenter time: 4.0
Moment Tensor: Expo=23 -0.784 -4.058 4.842 -2.283 -9.310 7.029
Mw = 5.3 m_b = 5.0 M_s = 0.0 Scalar Moment = 1.2e+24
Fault plane: strike=261 dip=43 slip=1
Fault plane: strike=170 dip=89 slip=133



Figura 3.3: Formato de datos del catálogo de HARVARD (<http://www.seismology.harvard.edu/>)

```

PDE 2000 8 18 13 21 3.20 -19.1700 -70.1300 69.5 5.4 4.2 NEAR COAST OF NORTHERN C
event name: 081800D
time shift: 7.6000
half duration: 1.0000
latitude: -19.3300
longitude: -70.2400
depth: 95.3000
Mrr: -5.169000e+23
Mtt: 5.420000e+22
Mpp: 4.628000e+23
Mrt: -1.780000e+23
Mrp: -4.698000e+23
Mtp: 3.129000e+23

PDE 2000 10 18 16 37 41.40 -19.2800 -68.2400 152.5 5.0 0.0 CHILE-BOLIVIA BORDER REG
event name: 101800H
time shift: 4.0000
half duration: 1.3000
latitude: -19.5300
longitude: -68.5100
depth: 159.0000
Mrr: -7.840000e+22
Mtt: -4.058000e+23
Mpp: 4.842000e+23
Mrt: -2.283000e+23
Mrp: -9.310000e+23
Mtp: 7.029000e+23

```

Figura 3.4: Formato de datos del catálogo de HARVARD (<http://www.seismology.harvard.edu/>)

3.2.4 *Catálogo de ENGDAHL*

En esta base de datos se entrega el resultado de una relocalización de los sismos ocurridos en el mundo entre los años 1964 y 2004. La calidad de los datos de la localización que entrega este catálogo se indica en las primeras columnas, advirtiendo al lector que no deben usarse los eventos que están pobremente localizados o que la profundidad está pobremente localizada, los que se identifican en las primeras columnas del catálogo con los símbolos “XEQ” y “LEQ”, respectivamente. Tampoco se deben usar los eventos que tengan un “*gap*” azimut secundario mayor que 180 grados, lo que se indica con un símbolo “Z” en la primera columna del catálogo, a menos que sea absolutamente necesario.

La información que proporciona este catálogo se entrega en el formato que se muestra en la Figura 3.5. El detalle de la información entregada en esta figura 3.5, es el siguiente: en la primera columna se indica la calidad de la información, en las columnas siguientes se indica el año, el mes, el día y la hora (hora, minutos y segundos) de origen del evento, luego la latitud, la longitud y la profundidad del hipocentro, también se entrega la profundidad dada por el ISC, después se entrega la magnitud mb, Ms y Mw. Posteriormente se indica el número total de observaciones usadas, el número de observaciones telesísmicas y de observaciones de fases de profundidad, luego el error de las observaciones usadas, el error en la posición y en la profundidad, la distancia a la estación más cercana, el azimut y el azimut secundario, los semi-ejes del azimut y la longitud y finalmente el promedio geométrico estadístico de los ejes.

Quality	Year	Month	Day	Hour	Min	Sec	Lat	Long	Depth	ISC Depth	Mb	Ms	Mw	N Obs	N Teles	N Phases	Error Obs	Error Pos	Error Prof	Dist	Az	Az2	Semi-Ax	Long	Geo-Mean			
DEQ	64	1	1	12	21	58.76	-6.810	129.799	111.4	95.0	0.0	0.0	0.0	65	60	9	280	0.78	9.43	4.61	5.7	60.3	95.9	47	95	137	51	5.3
DEQ	64	1	1	15	49	48.30	-55.912	-27.053	29.4	30.0	0.0	0.0	0.0	20	20	1	153	0.87	21.23	12.32	36.0	94.0	97.2	57	176	147	144	12.1
DEQ	64	1	1	17	26	41.84	45.376	151.787	20.6	0.0	5.6	0.0	0.0	165	137	17	221	0.98	5.70	2.87	2.8	98.3	99.1	154	50	64	40	3.4
DEQ	64	1	1	20	2	34.18	-3.203	139.752	35.2	30.0	4.9	0.0	0.0	33	27	1	201	0.80	16.54	13.02	9.6	62.9	84.5	57	109	147	78	7.0
DEQ	64	1	2	5	1	56.08	52.970	159.686	46.3	68.0	5.1	0.0	0.0	71	66	6	219	0.90	9.25	5.20	0.6	100.9	117.4	0	80	90	60	5.3
DEQ	64	1	2	5	21	2.98	54.597	161.537	34.8	55.0	4.9	0.0	0.0	50	44	5	218	0.79	9.03	4.53	2.3	119.3	121.6	171	80	81	63	5.4
DEQ	64	1	2	19	15	24.48	-8.266	157.184	25.9	30.0	5.2	0.0	0.0	37	25	1	193	0.99	14.70	10.43	3.5	114.2	122.2	83	105	173	86	7.2
DEQ	64	1	3	7	14	56.63	-7.185	129.036	157.0	164.0	0.0	0.0	0.0	29	26	3	280	1.20	20.86	12.05	5.5	97.0	137.8	47	194	137	112	11.2
DEQ	64	1	3	17	20	59.38	52.853	173.171	63.3	90.0	5.0	0.0	0.0	56	52	6	5	0.67	8.61	5.10	8.8	117.6	125.3	5	74	95	53	4.8
DEQ	64	1	3	21	25	0.01	-20.424	-178.318	558.6	562.0	4.9	0.0	0.0	45	39	6	181	0.74	10.69	6.27	12.9	118.5	131.7	148	96	58	60	5.8
DEQ	64	1	3	21	48	4.30	-52.997	21.070	18.2	30.0	0.0	0.0	0.0	17	15	1	430	1.30	29.77	13.27	18.6	68.4	99.9	96	300	6	184	17.8
DEQ	64	1	4	10	38	56.99	21.789	121.661	4.7	3.0	4.8	0.0	0.0	35	26	2	243	1.59	20.28	10.86	0.9	126.7	146.9	67	182	157	132	11.8
DEQ	64	1	4	16	17	15.02	44.528	151.004	17.7	0.0	4.7	0.0	0.0	42	37	6	222	1.27	14.91	5.52	2.3	119.6	122.9	174	155	84	94	9.2
DEQ	64	1	5	8	57	22.39	32.515	141.873	21.1	32.0	4.8	0.0	0.0	54	34	4	211	1.29	14.69	7.86	2.4	114.4	122.4	33	128	123	100	8.7
DEQ	64	1	5	10	11	51.48	-26.583	-175.495	10.3	0.0	5.1	0.0	0.0	37	32	2	175	1.03	16.76	8.94	3.4	116.6	128.0	145	155	55	103	9.6
DEQ	64	1	5	12	0	11.38	53.657	-165.161	104.9	75.0	4.9	0.0	0.0	58	56	1	9	0.72	16.21	13.84	14.3	126.3	130.4	24	95	114	56	5.6
DEQ	64	1	5	18	33	55.79	-7.994	-74.362	147.5	154.0	5.2	0.0	0.0	100	86	21	112	0.79	8.21	2.93	4.1	94.5	101.8	57	83	147	56	5.2
DEQ	64	1	5	23	46	7.25	-52.173	28.233	7.8	30.0	6.8	0.0	0.0	75	68	4	490	1.29	13.29	6.41	18.9	29.0	47.2	82	129	172	82	7.8
DEQ	64	1	6	5	54	49.03	27.243	127.383	100.2	103.0	5.6	0.0	0.0	125	112	7	238	0.86	7.13	4.59	5.6	57.7	73.9	54	57	144	43	3.8
DEQ	64	1	6	15	7	10.27	44.405	82.431	16.7	30.0	4.7	0.0	0.0	36	25	4	332	0.54	9.31	3.97	3.5	155.7	177.3	138	90	48	64	5.8
DEQ	64	1	6	23	45	26.89	50.849	157.276	48.3	55.0	5.7	0.0	0.0	155	146	17	221	0.94	6.14	3.42	2.3	53.4	95.0	164	53	74	41	3.6
LEQ	64	1	7	2	15	1.18	-18.032	-178.089	572.0	626.0	4.1	0.0	0.0	19	15	0	181	0.58	17.91	0.00	13.0	176.9	178.9	153	222	63	80	10.1
DEQ	64	1	7	8	46	42.75	53.805	-165.587	23.1	54.0	4.9	0.0	0.0	41	38	1	9	0.73	14.22	11.00	14.3	126.1	130.2	27	98	117	66	6.1
SLEQ	64	1	7	20	52	4.19	-4.853	103.126	70.6	92.0	5.0	0.0	0.0	32	29	0	274	0.78	17.57	0.00	3.9	171.6	180.0	40	219	130	73	9.6
DEQ	64	1	8	22	30	48.44	-3.738	119.417	60.0	81.0	5.5	0.0	0.0	89	83	4	268	1.04	12.04	7.93	12.1	51.5	64.2	50	104	140	57	5.9
DEQ	64	1	9	2	59	25.18	41.569	141.952	70.7	73.0	5.0	0.0	0.0	116	70	19	224	0.75	4.89	2.09	0.9	111.9	117.2	121	47	31	34	3.0
DEQ	64	1	9	18	31	54.50	45.635	150.914	36.8	36.0	5.8	0.0	0.0	213	177	23	221	1.01	5.50	2.79	4.5	58.0	61.9	154	51	64	35	3.2
DEQ	64	1	10	4	50	56.77	41.898	142.758	50.5	57.0	5.8	0.0	0.0	239	151	19	224	0.93	4.64	2.35	0.3	64.3	73.2	129	43	39	30	2.7
DEQ	64	1	10	16	52	34.32	-14.878	-175.208	3.3	30.0	5.0	0.0	0.0	27	25	1	169	1.01	25.72	10.68	3.5	118.1	176.2	150	288	60	108	13.4
DEQ	64	1	10	16	57	28.71	45.447	149.962	52.7	61.0	5.4	0.0	0.0	135	113	11	221	0.89	7.27	3.77	1.5	97.8	117.9	166	70	76	41	4.1
LEQ	64	1	10	19	22	0.50	2.694	127.068	35.0	30.0	0.0	0.0	0.0	18	17	0	266	0.95	19.44	0.00	20.1	104.0	135.1	61	229	151	116	12.3
LEQ	64	1	10	21	52	52.47	-6.953	129.561	148.4	142.0	5.0	0.0	0.0	32	28	0	280	0.69	9.32	0.00	17.6	96.3	128.8	55	110	145	59	6.2
LEQ	64	1	11	10	23	8.52	-11.461	90.792	10.0	30.0	0.0	0.0	0.0	21	20	0	425	0.89	16.40	0.00	17.2	84.9	143.9	42	191	132	101	10.5
LEQ	64	1	11	22	2	10.33	-8.781	123.379	126.3	45.0	5.3	0.0	0.0	49	42	0	286	0.83	10.04	0.00	15.7	98.2	131.7	49	120	139	54	6.1
DEQ	64	1	12	6	0	16.29	53.115	-166.354	52.0	30.0	5.6	0.0	0.0	169	164	9	9	0.88	6.66	4.78	15.1	61.5	65.4	9	49	99	36	3.2

Figura 3.5: Formato de datos del catálogo ENGDAHL (E.R. Engdahl, Van der Hilst, R.D., and Buland, R.P., 1998).

Además de la información detallada, hay un archivo de texto donde se explica el formato de este catálogo, columna por columna.

3.2.5 Catálogo del *SERVICIO SISMOLOGICO*

La información del Servicio Sismológico (GUC, Geofísica Universidad de Chile) es más completa en la última década, principalmente en los últimos años, por contar con un mayor número de estaciones a lo largo de Chile, muy por el contrario a lo que ocurría anteriormente, donde sólo se tenían unas pocas estaciones concentradas en la zona central del país.

Por lo anterior, esta base de datos tiene información de muchos sismos ocurridos en los últimos cinco años y muy pocos en la década del 80 y comienzos de la década del 90. Además, la información entregada por el Servicio Sismológico debiera ser más confiable que la entregada por el resto de los catálogos por tratarse de datos obtenidos de estaciones locales. Además, este catálogo proporciona información sobre las intensidades en los sectores directamente afectados por el sismo.

La magnitud que entrega el Servicio Sismológico para los sismos es calculada con la duración de los registros de los sismogramas y se identifica con el símbolo M_c (Ver Anexo A), dependiendo del tiempo (duración). Otra magnitud que entrega el Servicio Sismológico es la Magnitud Local, M_L , la cual es calculada para sismos cuyo hipocentro esté cercano a las estaciones que lo registraron (menor a 600 km), y se calcula de acuerdo a lo propuesto por Richter en 1935 (Ver Anexo A).

La información que entrega esta base de datos es: Año, mes y día en que ocurrió el evento, la hora de origen (hora, minutos y segundos), la latitud, longitud y profundidad del hipocentro, la magnitud y el tipo de magnitud y la agencia que da este valor. Finalmente se entregan localidades con sus respectivas intensidades. Esta información se entrega en el formato mostrado en la Figura 3.6

sfile	yr	mo	da	hr	mi	se	hora	lat	lon	dep	m/mag	m/lage	m/typ	time	int	localidad
11-1121-43L.S200308	2003	8	11	11	21	43,9	11:21:43,9	-28,372	-70,595	54,6	4	GUC	c	106060903	II-III	Freirina
11-1121-43L.S200308	2003	8	11	11	21	43,9	11:21:43,9	-28,372	-70,595	54,6	4	GUC	c	106060903	II	Vallenar
11-0026-34L.S200308	2003	8	11	0	26	34	0:26:34	-20,066	-69,88	63	4,8	NEIC	b	1060561594	III-IV	La Tirana
11-0026-34L.S200308	2003	8	11	0	26	34	0:26:34	-20,066	-69,88	63	4,8	NEIC	b	1060561594	II-III	La Huara
11-0026-34L.S200308	2003	8	11	0	26	34	0:26:34	-20,066	-69,88	63	4,8	NEIC	b	1060561594	III-IV	Pica
11-0026-34L.S200308	2003	8	11	0	26	34	0:26:34	-20,066	-69,88	63	4,8	NEIC	b	1060561594	III-IV	Iquique
11-0026-34L.S200308	2003	8	11	0	26	34	0:26:34	-20,066	-69,88	63	4,8	NEIC	b	1060561594	III-IV	Pisagua
11-0026-34L.S200308	2003	8	11	0	26	34	0:26:34	-20,066	-69,88	63	4,8	NEIC	b	1060561594	II-III	Camarones
11-0026-34L.S200308	2003	8	11	0	26	34	0:26:34	-20,066	-69,88	63	4,8	NEIC	b	1060561594	II-III	Camíña
11-0026-34L.S200308	2003	8	11	0	26	34	0:26:34	-20,066	-69,88	63	4,8	NEIC	b	1060561594	II-III	Cuya
11-0026-34L.S200308	2003	8	11	0	26	34	0:26:34	-20,066	-69,88	63	4,8	NEIC	b	1060561594	III-IV	Pozo Almonte
10-1104-41L.S200308	2003	8	10	11	4	41,3	11:4:41,3	-41,312	-73,823	34,1	3,8	GUC	c	1060513481	II	Frutillar
10-10606-30L.S200308	2003	8	10	6	6	30,5	6:6:30,5	-33,119	-70,424	101,1	3,7	GUC	c	1060495590	II	Santiago
08-1524-58L.S200308	2003	8	8	15	24	58,3	15:24:58,3	-27,001	-71,229	60	4,6	GUC	I	1060356298	II-III	Copiapó
08-1524-58L.S200308	2003	8	8	15	24	58,3	15:24:58,3	-27,001	-71,229	60	4,6	GUC	I	1060356298	II	Tierra Amarilla
06-2139-31L.S200308	2003	8	6	21	39	31,5	21:39:31,5	-33,941	-70,592	89,6	3,9	GUC	c	1060205971	II	Buín
06-2139-31L.S200308	2003	8	6	21	39	31,5	21:39:31,5	-33,941	-70,592	89,6	3,9	GUC	c	1060205971	II	Santiago
04-0935-56L.S200308	2003	8	4	9	35	56,7	9:35:56,7	-28,563	-69,707	106	5,1	GUC	I	105989756	II-III	Tierra Amarilla
04-0935-56L.S200308	2003	8	4	9	35	56,7	9:35:56,7	-28,563	-69,707	106	5,1	GUC	I	105989756	III	Copiapó
04-0935-56L.S200308	2003	8	4	9	35	56,7	9:35:56,7	-28,563	-69,707	106	5,1	GUC	I	105989756	II	Vallenar
01-1802-59L.S200308	2003	8	1	18	2	59,9	18:2:59,9	-37,554	-72,931	71,9	4	GUC	c	1059760979	II	Angol
01-0405-57L.S200308	2003	8	1	4	5	57,2	4:5:57,2	-28,172	-70,568	46,5	5,2	GUC	I	1059710757	III-IV	Huasco
01-0405-57L.S200308	2003	8	1	4	5	57,2	4:5:57,2	-28,172	-70,568	46,5	5,2	GUC	I	1059710757	III	Copiapó
01-0405-57L.S200308	2003	8	1	4	5	57,2	4:5:57,2	-28,172	-70,568	46,5	5,2	GUC	I	1059710757	II	La Serena
01-0405-57L.S200308	2003	8	1	4	5	57,2	4:5:57,2	-28,172	-70,568	46,5	5,2	GUC	I	1059710757	IV-V	Vallenar
01-0405-57L.S200308	2003	8	1	4	5	57,2	4:5:57,2	-28,172	-70,568	46,5	5,2	GUC	I	1059710757	IV-V	Freirina
31-1003-39L.S200307	2003	7	31	10	3	39,2	10:3:39,2	-39,692	-74,05	2,5	4	GUC	c	1059645819	III	Valdivia
29-1402-46R.S200307	2003	7	29	14	2	46,5	14:2:46,5	-22,143	-67,799	160	5,3	GUC	I	1059487366	II	Tocopilla
29-1402-46R.S200307	2003	7	29	14	2	46,5	14:2:46,5	-22,143	-67,799	160	5,3	GUC	I	1059487366	II	María Elena
29-1402-46R.S200307	2003	7	29	14	2	46,5	14:2:46,5	-22,143	-67,799	160	5,3	GUC	I	1059487366	II-III	Sierra Gorda
29-1402-46R.S200307	2003	7	29	14	2	46,5	14:2:46,5	-22,143	-67,799	160	5,3	GUC	I	1059487366	II	Calama
28-1813-55L.S200307	2003	7	28	18	13	55,7	18:13:55,7	-28,294	-70,937	42,7	4,3	GUC	I	1059416035	III	Huasco
28-1813-55L.S200307	2003	7	28	18	13	55,7	18:13:55,7	-28,294	-70,937	42,7	4,3	GUC	I	1059416035	II	Vallenar
28-1813-55L.S200307	2003	7	28	18	13	55,7	18:13:55,7	-28,294	-70,937	42,7	4,3	GUC	I	1059416035	III	Alto del Carmen
28-1813-55L.S200307	2003	7	28	18	13	55,7	18:13:55,7	-28,294	-70,937	42,7	4,3	GUC	I	1059416035	III	Freirina
28-1813-55L.S200307	2003	7	28	18	13	55,7	18:13:55,7	-28,294	-70,937	42,7	4,3	GUC	I	1059416035	II	Tierra Amarilla
28-1813-55L.S200307	2003	7	28	18	13	55,7	18:13:55,7	-28,294	-70,937	42,7	4,3	GUC	I	1059416035	II	Copiapó
27-1226-22L.S200307	2003	7	27	12	26	22,2	12:26:22,2	-34,343	-70,552	98,8	4,7	GUC	I	1059308782	II-III	Melipilla
27-1226-22L.S200307	2003	7	27	12	26	22,2	12:26:22,2	-34,343	-70,552	98,8	4,7	GUC	I	1059308782	II-III	Viña del Mar
27-1226-22L.S200307	2003	7	27	12	26	22,2	12:26:22,2	-34,343	-70,552	98,8	4,7	GUC	I	1059308782	II	Panagua
27-1226-22L.S200307	2003	7	27	12	26	22,2	12:26:22,2	-34,343	-70,552	98,8	4,7	GUC	I	1059308782	II-III	Valparaíso

Figura 3.6: Base de datos Servicio Sismológico (<http://ssn.dgf.uchile.cl/>).

3.3 Catálogo de Hipocentros

Para obtener los datos que forman el Catálogo de Hipocentros, que se adjunta en un documento anexo, se sectorizó el país en cuadrantes de 2 grados de latitud cuidando de mantenerse dentro de los límites del país, para no incluir sismos con epicentros en los países fronterizos. En los extremos del país se debió variar las dimensiones de la malla para hacer más precisa la búsqueda, es así como en el extremo norte se ocuparon intervalos de latitud más pequeños y en el extremo sur se ocuparon intervalos de latitud más grandes. En la tabla 3.1 se indican los cuadrantes que se utilizaron para determinar los sismos que se incluyen en el catálogo de hipocentros.

Tabla 3.1: Cuadrantes considerados para determinar los sismos que se incorporan al catálogo de hipocentros.

Cuadrante	Latitud extremo superior del cuadrante	Latitud extremo inferior del cuadrante	Longitud lado izquierdo del cuadrante	Longitud lado derecho del cuadrante
1	-17,50	-18,00	-69,25	-69,80
2	-18,00	-18,25	-69,00	-70,00
3	-18,25	-19,00	-68,80	-76,00
4	-19,00	-20,00	-68,50	-76,00
5	-20,00	-22,00	-68,00	-76,00
6	-22,00	-24,00	-67,00	-76,00
7	-24,00	-26,00	-68,00	-76,00
8	-26,00	-28,00	-68,00	-76,00
9	-28,00	-30,00	-69,00	-76,00
10	-30,00	-32,00	-70,00	-76,00
11	-32,00	-34,00	-69,70	-76,00
12	-34,00	-36,00	-69,80	-76,00
13	-36,00	-38,00	-70,30	-76,00
14	-38,00	-40,00	-70,80	-76,00
15	-40,00	-42,00	-71,50	-76,00
16	-42,00	-48,00	-71,00	-76,00
17	-48,00	-52,00	-72,00	-76,00
18	-52,00	-56,00	-68,50	-76,00

Al igual que el catálogo del proyecto SISRA, sólo consideran los sismos con una magnitud igual o superior que 4,5 sea ésta, mb (magnitud de la onda interna), Ms (magnitud de la onda de superficie), Mw (magnitud de Momento Sísmico), Mc (magnitud coda) o M_L (magnitud local). Para cada sismo se entrega la fecha y hora en que ocurrió junto con las coordenadas del hipocentro (latitud, longitud y profundidad), además de las magnitudes registradas, ya sea mb, Ms, Mw, Mc y M_L . En algunos casos también se entrega información sobre el centroide.

3.3.1 Criterio de selección de dato

Para confeccionar el Catálogo de Hipocentros se usó el criterio siguiente:

- Inicialmente se obtiene un primer catálogo base con la información que entrega el catálogo del ISC de los sismos ocurridos desde el 1 de enero de 1982 hasta julio del 2004. Desde esta última fecha hasta 31 de diciembre del

2005 se considera la información de los eventos que entrega el catálogo del NEIC.

- Luego, este catálogo base se corrige agregando todos los eventos del catálogo de Engdahl (sin considerar los pobremente localizados). Los datos de los eventos que se repiten en los catálogos del ISC y del NEIC se reemplazan por los datos del catálogo Engdahl.
- Al catálogo que resulta del paso anterior, se agrega la base de datos del Servicio Sismológico. En el caso de los eventos que se repiten, se dejan los datos que entrega la base de datos del Servicio Sismológico por usar los datos de estaciones locales.
- Finalmente, del catálogo de Harvard se agrega la representación estereográfica del plano de falla (Beach Ball) y la magnitud de momento (M_w) de los eventos que en él aparecen. También se agregaron las coordenadas del centroide (latitud, longitud y profundidad)

Junto con esta memoria se entrega un CD, el cual contiene los datos de cada uno de los cinco catálogos utilizados. Estos datos se entregan como archivo Excel, por lo cual se puede trabajar de manera fácil con cada uno de ellos. Además de los cinco catálogos se entrega un catálogo que contiene a los cinco catálogos unidos, con lo cual se puede comparar de manera más fácil la información que entrega cada uno de los catálogos para un determinado sismo, como se muestra en la Figura 3.7.

AÑO	MES	DIA	HORA	LATITUD	LONGITUD	PROF	mb	Ms	Mw	Me	MI	FUENTE
1997	7	10	13:6:23	-29.794	-72.605	47				4.7		GUC
1997	7	10	13:06:26	-29.92	-71.88	34.7	4.4	4.6				ISC
1997	7	10	13:6:26	-30.018	-72.572	51.8				4.7		GUC
1997	7	10	13:06:26.2	-29.91	-71.83	33.0	4.7					NEIC
1997	7	10	14:55:50	-23.05	-71.09	46.6	5	5.3				ISC
1997	7	10	14:55:49.44	-22.73	-70.89	33.0			5.9			NEIC
1997	7	10	14:55:49.40	-22.73	-70.89	33.0	5.1	5.3				Harvard
1997	7	10	14:55:47.84	-22.97	-71.11	16.0	5	5.3	5.9			Engdahl
1997	7	11	2:32:40	-18.78	-69.33	83.1	5.1					ISC
1997	7	11	2:32:42.27	-18.86	-69.44	106.0			5.4			NEIC
1997	7	11	2:32:42.30	-18.86	-69.44	106.1	5.1	0				Harvard
1997	7	11	2:32:43.26	-18.83	-69.35	101.4	5.1	0	5.4			Engdahl
1997	7	12	16:24:12	-21.19	-68.13	140.6	5.1					ISC
1997	7	12	16:24:10.33	-21.23	-68.15	122.0			5.3			NEIC
1997	7	12	16:24:10.30	-21.23	-68.15	122.9	5.2	0				Harvard
1997	7	12	16:24:11.74	-21.25	-68.14	124.5	5.1	0	5.3			Engdahl
1997	7	13	18:10:15	-23.56	-68.10	81.8	5.2					ISC
1997	7	13	18:10:19.92	-23.63	-68.12	124.0			5.3			NEIC
1997	7	13	18:10:19.90	-23.63	-68.12	124.5	5.2	0				Harvard
1997	7	13	18:10:21.16	-23.59	-68.07	122.5	5.2	0	5.3			Engdahl
1997	7	13	18:10:19.5	-24.034	-71.481	313.2				4.6		GUC
1997	7	13	20:28:17.04	-30.77	-72.14	33.0	4.6					NEIC
1997	7	13	20:28:17.2	-30.939	-72.017	9				4.6		GUC
1997	7	13	20:28:19.7	-30.898	-72.021	51.9				4.6		GUC
1997	7	16	16:31:53.65	-22.64	-67.92	157.0	4.5					NEIC
1997	7	19	12:22:54	-29.20	-71.59	4.2	5.8	5.6				ISC
1997	7	19	12:22:57.31	-29.28	-71.68	26.0			5.9			NEIC
1997	7	19	12:22:57.30	-29.28	-71.68	26.4	5.8	5.5				Harvard
1997	7	19	12:22:58.69	-29.28	-71.68	26.0	5.8	5.5	5.9			Engdahl

Figura 3.7: Catálogo conjunto

3.3.2 Formato del Catálogo de Hipocentros

El formato del catálogo de hipocentros se hizo similar al usado en el catálogo del proyecto SISRA (CERESIS, 1985). A continuación se presenta una muestra del catálogo de hipocentros que se adjunta en un documento anexo.

HIPOCENTRO												CENTROIDE							
AÑO	Fecha			HORA	Coordenadas			Magnitud					FUENTE	Coordenadas				Magnitud	Mecaa
	MES	DIA	UTC		LATITUD	LONGITUD	PROF	mb	Ms	Mw	Mt o M _v	MI		HORA	LATITUD	LONGITUD	PROF			Mw	Beach
1997	7	10	13:6:23	-29.79	-72.61	47.0					4.7		GUC						
1997	7	10	13:6:26	-30.02	-72.57	51.8					4.7		GUC						
1997	7	10	14:55:47.84	-22.97	-71.11	15.0	5	5.3	5.9				Engdahl	14:55:52.6	-22.95	-71.25	15	5.8	
1997	7	11	2:32:43.26	-18.83	-69.35	101.4	5.1		5.4				Engdahl	2:32:47.8	-18.93	-69.71	131.3	5.4	
1997	7	12	16:24:11.74	-21.25	-68.14	124.5	5.1		5.3				Engdahl	16:24:14.5	-21.5	-68.39	141	5.2	
1997	7	13	18:10:19.5	-24.03	-71.48	313.2					4.6		GUC						
1997	7	13	18:10:21.16	-23.59	-68.07	122.5	5.2		5.3				Engdahl	18:10:25.5	-23.34	-68.53	140.5	5.3	
1997	7	13	20:28:17.2	-30.94	-72.02	9.0					4.6		GUC						
1997	7	13	20:28:19.7	-30.90	-72.02	51.9					4.6		GUC						
1997	7	19	12:22:58.69	-29.28	-71.68	26.0	5.8	5.5	5.9				Engdahl	12:23:3.6	-29.54	-72.05	32.9	5.9	
1997	7	21	17:54:16.14	-29.97	-71.95	15.0	4.8	4.8	5.5				Engdahl	17:54:21.5	-29.86	-72.52	15	5.4	
1997	7	21	23:19:38.35	-30.26	-71.95	11.7	5	5.5	5.9				Engdahl	23:19:49.8	-30.72	-71.79	15	5.9	

Figura 3.8: Muestra del Catálogo de Hipocentros

En la tabla 3.2 se hace una descripción del formato y contenido del catálogo que se entrega

Tabla 3.2: Detalle de la información entregada en el catálogo de hipocentros.

Columna	Encabezamiento	Sub-encabezamiento	Sub-encabezamiento	Descripción
1-12	Hipocentro			Se entregan todos los parámetros focales del sismo.
1-3		<i>Fecha</i>		Fecha en que ocurrió el sismo.
1			Año	
2			Mes	
3			Día	
4		<i>Hora</i>	UTC	Hora en que comenzó el sismo, el momento en que se inicia la ruptura en el foco. Esta referida a la hora universal (UTC)
5-7		<i>Coordenadas</i>		Coordenadas del hipocentro.
5			Latitud	Latitud del hipocentro en grados. El signo – indica latitud sur.
6			Longitud	Longitud del hipocentro en grados. El signo – indica longitud oeste.
7			Prof	Se entrega la profundidad del hipocentro en kilómetros.
8-11		<i>Magnitud</i>		Se entrega la magnitud del sismo.
8			mb	Es la magnitud de la onda interna
9			Ms	Es la magnitud de la onda de superficie
10			Mw	Es la magnitud de Momento Sísmico.
11			Mc	Es la magnitud dada por el Servicio Sismológico, en función de la duración del registro de los sismogramas.

12			M _L	Magnitud Local entregada por el Servicio Sismológico de acuerdo a lo propuesto por Richter.
13		<i>Fuente de información</i>		Se indica la fuente de la información de donde se obtuvo los datos entregados para el sismo.
14-18	Centroide			Se entregan los parámetros del centroide entregados por el catálogo de Harvard.
14-16		<i>Coordenadas</i>		Coordenadas del centroide
14			Latitud	Se entrega la latitud del centroide en grados. El signo – indica latitud sur.
15			Longitud	Se entrega la longitud del centroide en grados. El signo – indica longitud oeste.
16			Prof	Se entrega la profundidad del centroide en kilómetros.
17		<i>Magnitud</i>	M _w	Se entrega la magnitud de Momento Sísmico dada por el catálogo de Harvard.
18	Mecanismo de Falla		Beach Ball	Pelota de playa que indica el mecanismo de falla del sismo.

3.4 Análisis preliminar de la información del catálogo de hipocentros.

Con los datos del catálogo de hipocentros se pueden hacer diferentes análisis relacionados con la sismicidad nacional en el periodo comprendido entre 1982 y el 2005. Con este propósito los sismos se agrupan según la segmentación de la placa de Nazca (Segmentos 1, 2 y 3) y el tipo de fuente sismogénica (sismos de Tipo A, B, C y D).

En particular en esta memoria se hacen los análisis siguientes:

- Forma en que se distribuyen los datos para cada tipo de terremoto (*A, B, C y D*) en cada segmento en que se divide la placa de Nazca (*1, 2 y 3*), considerando 4 rangos de magnitud ($4.5 \leq M < 5.5$, $5.5 \leq M < 6.5$, $6.5 \leq M < 7.5$ y $M \geq 7.5$) y cuatro intervalos de tiempo (1982÷1990, 1991 ÷ 1995, 1996 ÷ 2000, 2001 ÷ 2005).
- Forma en que se distribuyen los datos en cada segmento en que se divide la placa de Nazca para cada tipo de terremoto (*A, B, C y D*) considerando cada segmento dividido en sectores de 2 grados de latitud, con este propósito se consideran cuatro rangos de magnitud ($4.5 \leq M < 5.5$, $5.5 \leq M < 6.5$, $6.5 \leq M < 7.5$ y $M \geq 7.5$) y cuatro intervalos de tiempo (1982÷1990, 1991 ÷ 1995, 1996 ÷ 2002, 2001 ÷ 2005).
- Frecuencia con la que ocurren anualmente los sismos de un determinado tipo cuando la magnitud es mayor o igual a 5.5, 6.0, 6.5, 7.0, 7.5 y 8.0 en cada segmento en que se ha dividido la placa de Nazca.
- Relación entre los distintos valores de magnitud (m_b , M_s , M_w , M_c , M_L).

Para realizar estos análisis, se determinó la magnitud de cada evento de la forma siguiente:

1. La magnitud considerada es la magnitud M_s . Los sismos que no tengan M_s reportada, esta se obtuvo convirtiendo m_b a M_s , los que no tengan M_s ni m_b se convierte M_L a m_b y este m_b a M_s , y los que no tengan las magnitudes anteriores se convierte M_c a m_b y luego a M_s .

2. La magnitud considerada es la magnitud m_b . Los que tengan M_s se convierte a m_b y los que no tengan M_s ni m_b se convierte M_L o M_c (en ese orden) a m_b .

Teniendo en cuenta las magnitudes con las que se trabaja, se puede esperar que al trabajar con M_s se privilegia a los sismos más grandes, de mayor magnitud, considerando que para estos sismos el valor de m_b se satura, quedando mejor representados por la magnitud M_s . En cambio, la segunda forma de establecer la magnitud, estaría representando a los sismos pequeños.

Para poder realizar estos dos procedimientos para establecer la magnitud con la cual se hace el análisis de la información, es necesario contar con relaciones entre las distintas magnitudes. Estas relaciones se obtienen a continuación.

3.4.1 Relaciones entre las magnitudes

Las relaciones que se obtienen son las siguientes:

- M_s y m_b
- m_b y M_L
- m_b y M_c

Con este propósito se asignó un “peso” a cada sismo proporcional a su magnitud, es decir, los sismos con mayor magnitud tienen más “peso” que los sismos con magnitudes menores. Esto se hizo considerando que las magnitudes mayores son calculadas de manera más confiable debido a que corresponden a eventos registrados por más sismógrafos y por lo mismo se cuenta con más información para su cálculo.

3.4.1.1 Relación M_s - m_b

Para obtener esta relación, se consideraron todos los sismos del Catálogo de Hipocentros para los cuales se cuenta con información de los valores de ambas magnitudes. Con los 380 par de valores que se disponen y asignándoles un “peso” proporcional a su magnitud, la relación lineal que resulta de un análisis de regresión es la que se muestra en la figura 3.9.

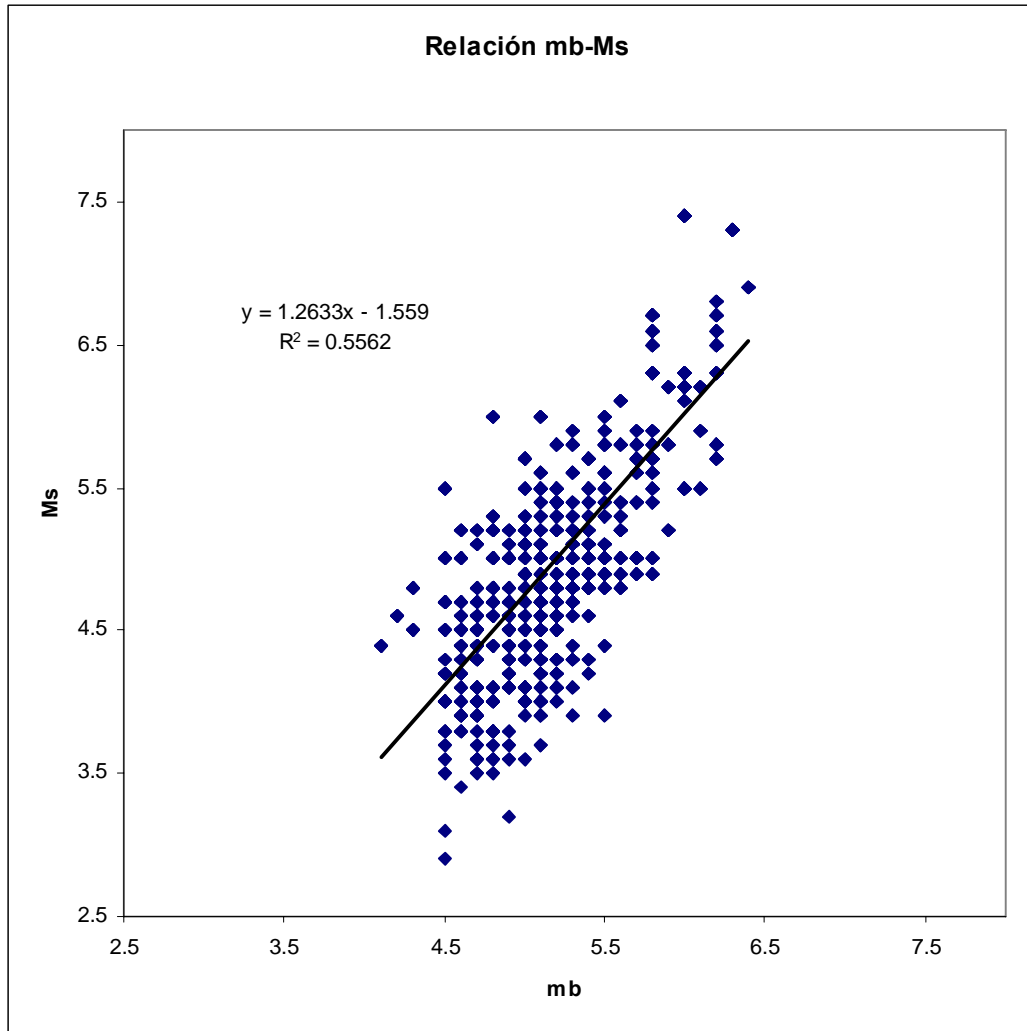


Figura 3.9: Relación lineal entre magnitudes mb y Ms

La ecuación que resulta es:

$$\mathbf{Ms = 1.26 mb - 1.56}$$

3.4.1.2 Relación M_L - mb

En el Catálogo de Hipocentros no hay ningún sismo que tenga estas dos magnitudes. Por lo tanto, fue necesario recurrir al catálogo conjunto y de éste obtener para un determinado sismo la magnitud M_L entregada por el Servicio Sismológico y la magnitud mb entregada por otra fuente. De esta forma se logró reunir 163 sismos con los que se obtuvo la relación lineal que se muestra en la figura 3.10.

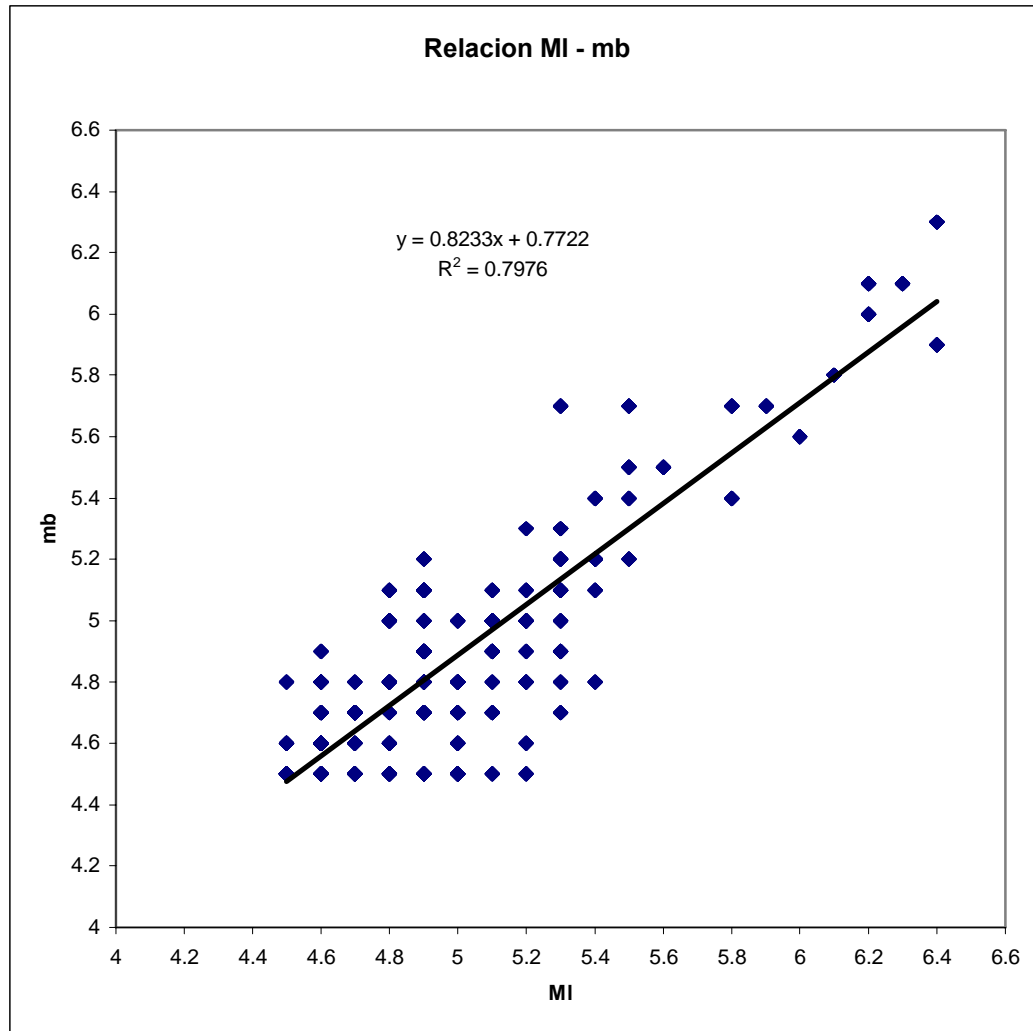


Figura 3.10: Relación entre M_L y mb

La relación queda expresada por la ecuación:

$$\mathbf{mb = 0.82 M_L + 0.77}$$

3.4.1.3 Relación M_c - mb

Para obtener esta relación ocurre lo mismo que para la relación anterior. En este caso se logró reunir valores de 138 sismos para obtener la relación lineal mostrada en la figura 3.11.

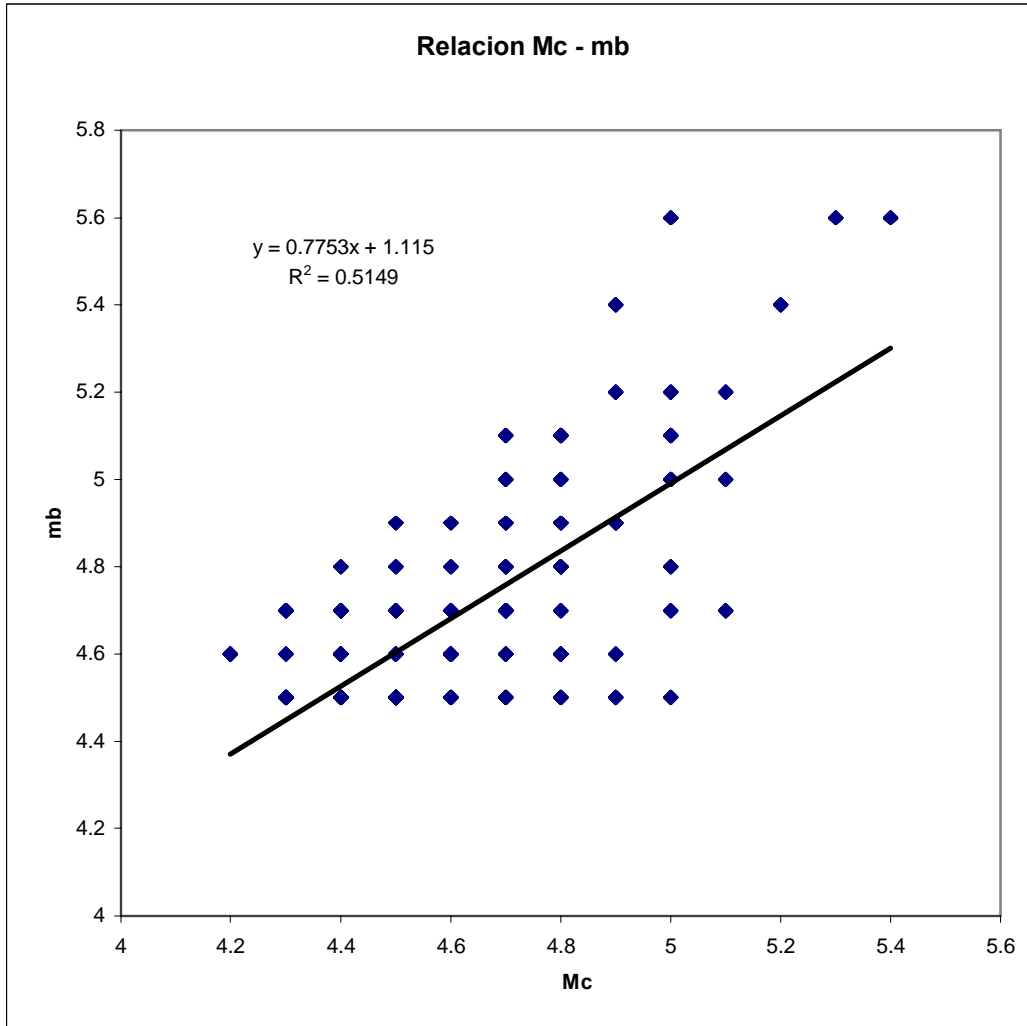


Figura 3.11: Relación entre Mc y mb

La relación lineal queda expresada por la ecuación:

$$\mathbf{mb = 0.78 Mc + 1.12}$$

Con las relaciones anteriores, se obtiene una magnitud única M para los sismos, sea esta M_s o m_b siguiendo el procedimiento mencionado anteriormente, para luego hacer una clasificación de acuerdo con la magnitud para los efectos de este análisis preliminar.

3.4.2 Clasificación de los Sismos por Tipo

La primera clasificación que se realiza es según el segmento de la placa de Nazca a la cual pertenece cada uno de los sismos. Esta segmentación de la placa de Nazca se hace de acuerdo con lo indicado en el capítulo 2, considerando la segmentación de la placa de Nazca de la Tabla 3.3.

Tabla 3.3: Segmentación de la placa de Nazca

	Intervalo Latitud
Segmento 1	[17.5° - 26°]
Segmento 2	*]26° - 34°]
Segmento 3	*]34° - 46°]

*] : indica que los sismos con epicentro en 26,00° y 34,00° no pertenecen al segmento 2 y 3 respectivamente.

El límite entre el segmento 1 y segmento 2 (paralelo 34) se establece de manera que el sismo del 3 de marzo de 1985 (el más importante del período estudiado en este trabajo) y todas sus réplicas estén contenidas en el mismo segmento, en este caso el segmento 2.

Más al sur del paralelo 46 se encuentra la placa Antártica, es por esto que el límite sur del segmento 3 de la placa de Nazca sea el indicado en la tabla 3.3.

Con la segmentación de la placa de Nazca indicada en la tabla 3.3, la cantidad de sismos por segmento que resulta es la que se indicada en la tabla 3.4.

Tabla 3.4: Cantidad de sismos por segmento

	Número de eventos
Segmento 1	1320
Segmento 2	2169
Segmento 3	528

▪ *Segmento 1 de la Placa de Nazca*

Al agrupar los sismos según su tipo, sea este Tipo A, B, C o D, se obtuvo la cantidad de sismos por tipo indicada en la tabla 3.5.

Tabla 3.5: Cantidad de sismos por tipo del segmento 1

	Tipo A	Tipo B	Tipo C	Tipo D
Número de eventos	20	425	850	25

Para obtener las cantidades de la tabla 3.5, se consideraron como sismos del Tipo A todos aquellos eventos que se ubican al Oeste del eje de la fosa o muy próxima de ella hacia el Este, aproximadamente 20 km. En la Figura 3.12 se muestran estos sismos en el Segmento 1.

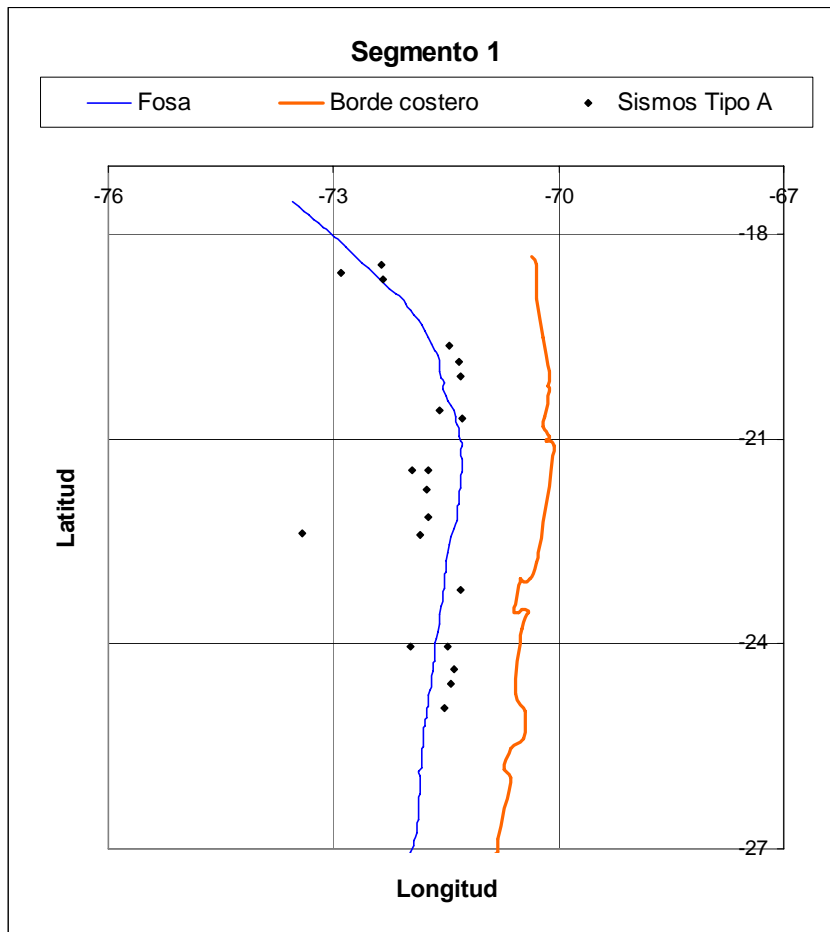


Figura 3.12: Sismos del Tipo A en el Segmento1.

En la figura 3.13 se muestran todos los sismos del segmento 1, distinguiéndose los que tienen su hipocentro bajo 50 km de profundidad y los que tienen su hipocentro sobre 50 km de profundidad. Con la ayuda de esta figura y la figura 3.14, la cual muestra un perfil transversal con los sismos del segmento 1, se determinaron los sismos del Tipo B, C y D del Segmento 1.

Los sismos del Tipo B son aquellos que se ubican en el contacto entre las placas a una profundidad máxima aproximada a los 50 km y al oeste del meridiano 70° Oeste. Por el contrario, los sismos Tipo C son aquellos al este del meridiano 70° Oeste a más de 50 km de profundidad, y los sismos Tipo D son los eventos superficiales ubicados a los pies de la Cordillera de los Andes.

Aplicando este criterio, se obtiene finalmente el resultado de las figuras 3.15 y 3.16.

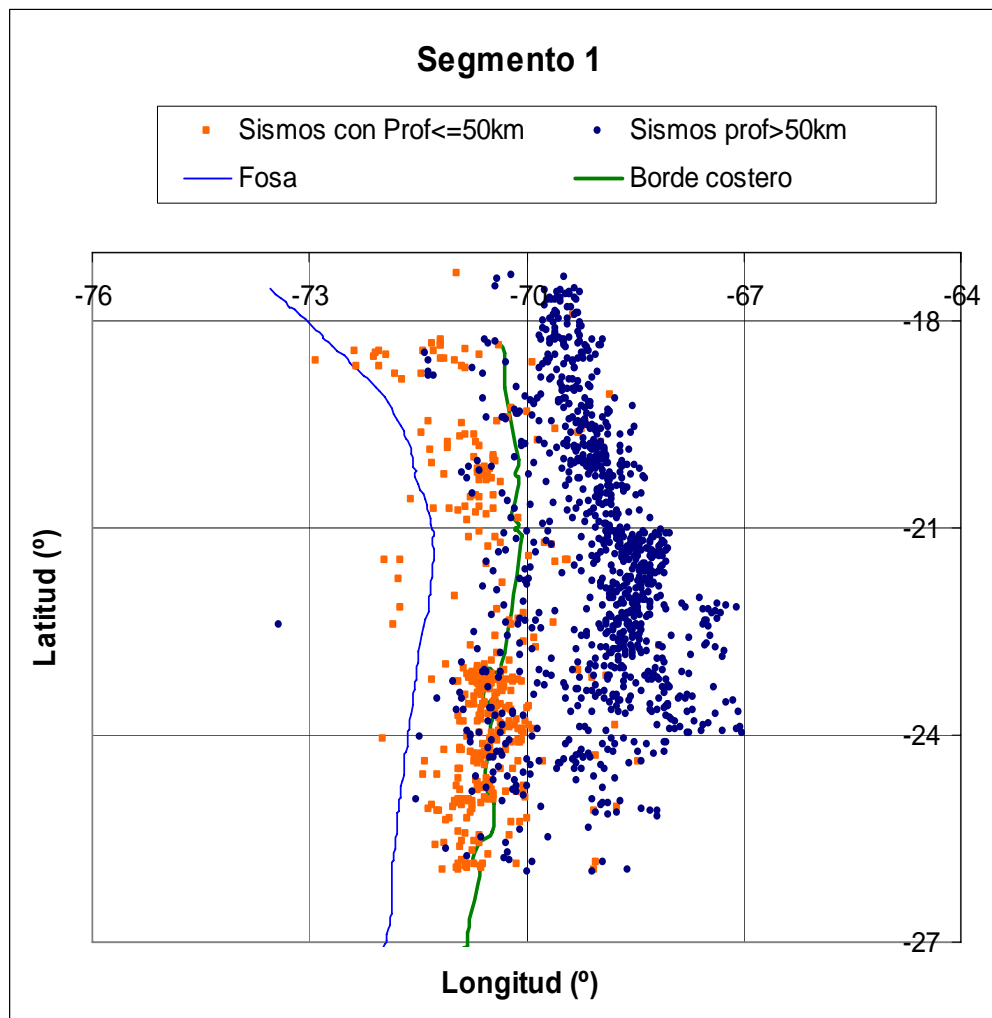


Figura 3.13: Sismos cuyo hipocentro está bajo o sobre los 50 km de profundidad.

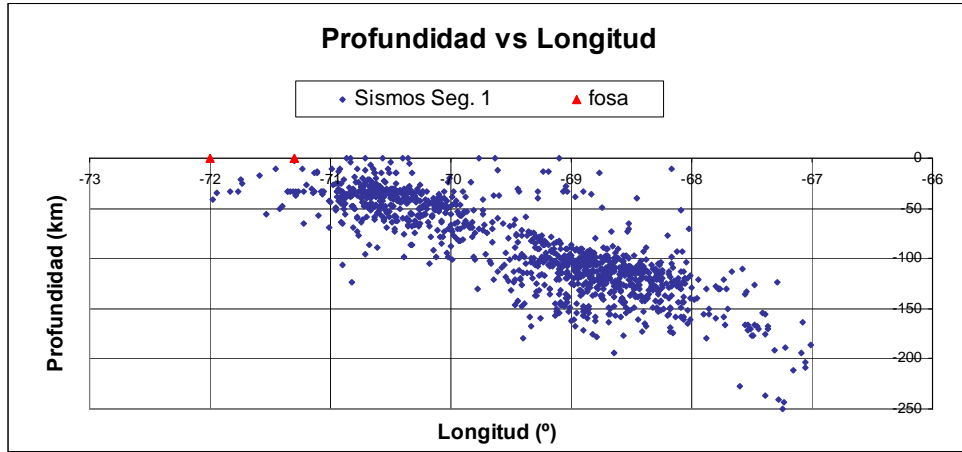


Figura 3.14: Perfil transversal con los sismos del segmento 1. Debido a que el eje de la fosa se desvía aproximadamente a partir de los -19° de latitud hacia el norte, no se graficaron los sismos correspondientes a esa zona. Además, se indica (triángulos azules) la longitud donde esta comprendida la fosa para la zona entre los -19° y -26° de latitud.

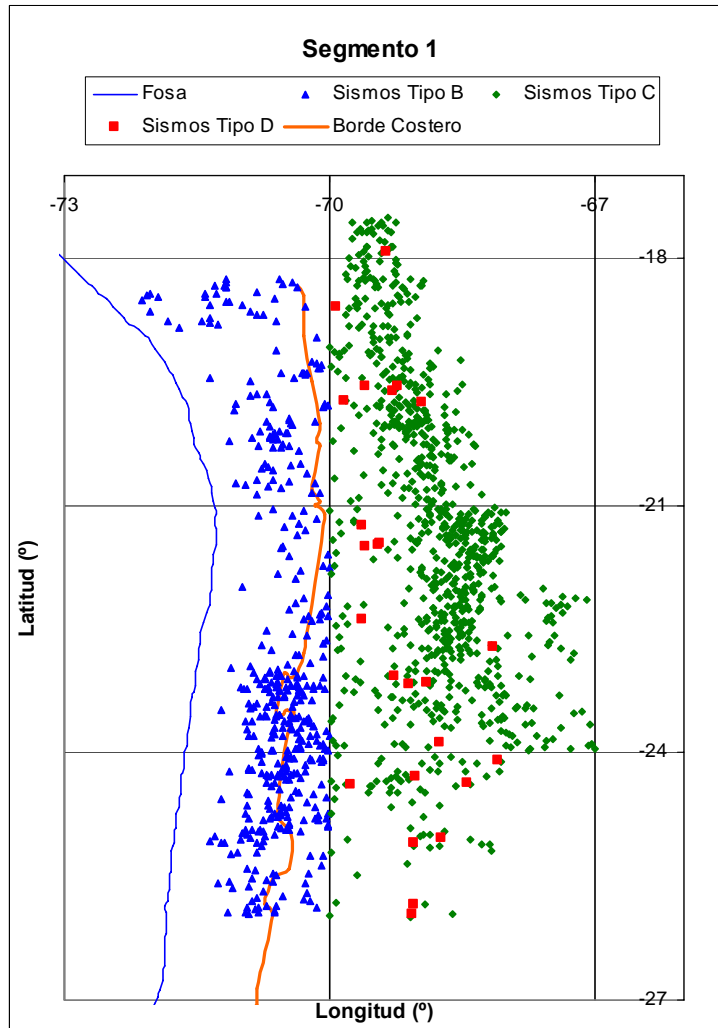


Figura 3.15: Sismos del Tipo B, C y D en el Segmento 1.

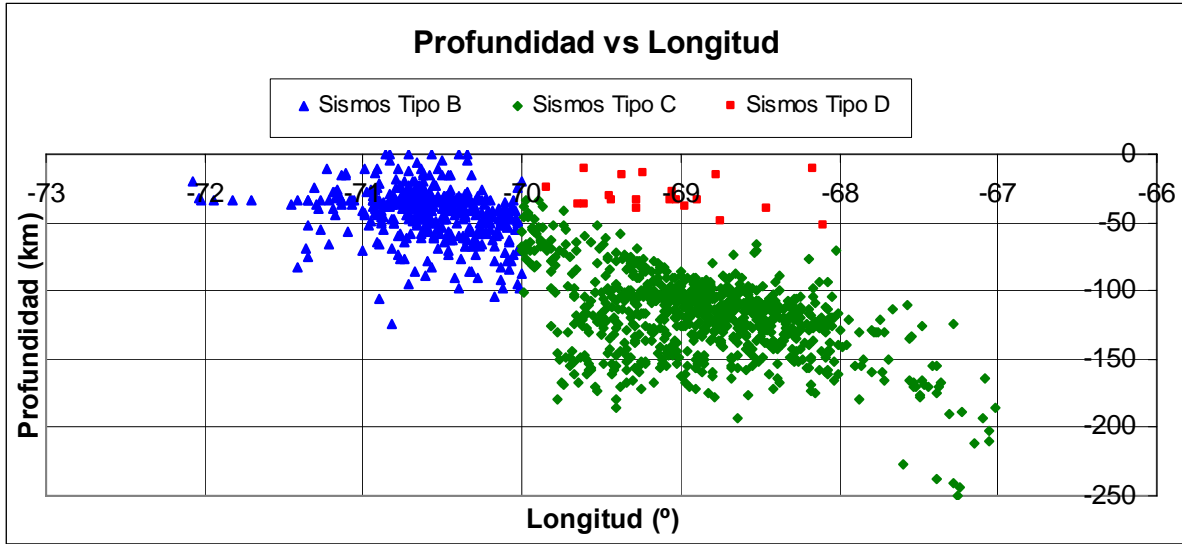


Figura 3.16: Sismos del Tipo B, C y D del Segmento 1.

Si se agrupan los sismos de cada uno de los cuatro tipos en distintos intervalos de tiempo y rangos de magnitud, para los sismos del Tipo A se obtienen los resultados de la tabla 3.6 los que se grafican en la figura 3.17.

Es conveniente destacar que en este segmento, se obtienen los mismos resultados al usar la magnitud m_b o M_s para los sismos del Tipo A y del Tipo D, no así para los sismos del Tipo B y C.

Tabla 3.6: Cantidad de sismos del Tipo A del segmento 1 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud Ms o mb.

Tipo A	1982 - 1990	1991 - 1995	1996 - 2000	2001 - 2005
M<5,5	10	3	5	2
5,5 ≤ M < 6,5	0	0	0	0
6,5 ≤ M < 7,5	0	0	0	0
7,5 ≤ M	0	0	0	0

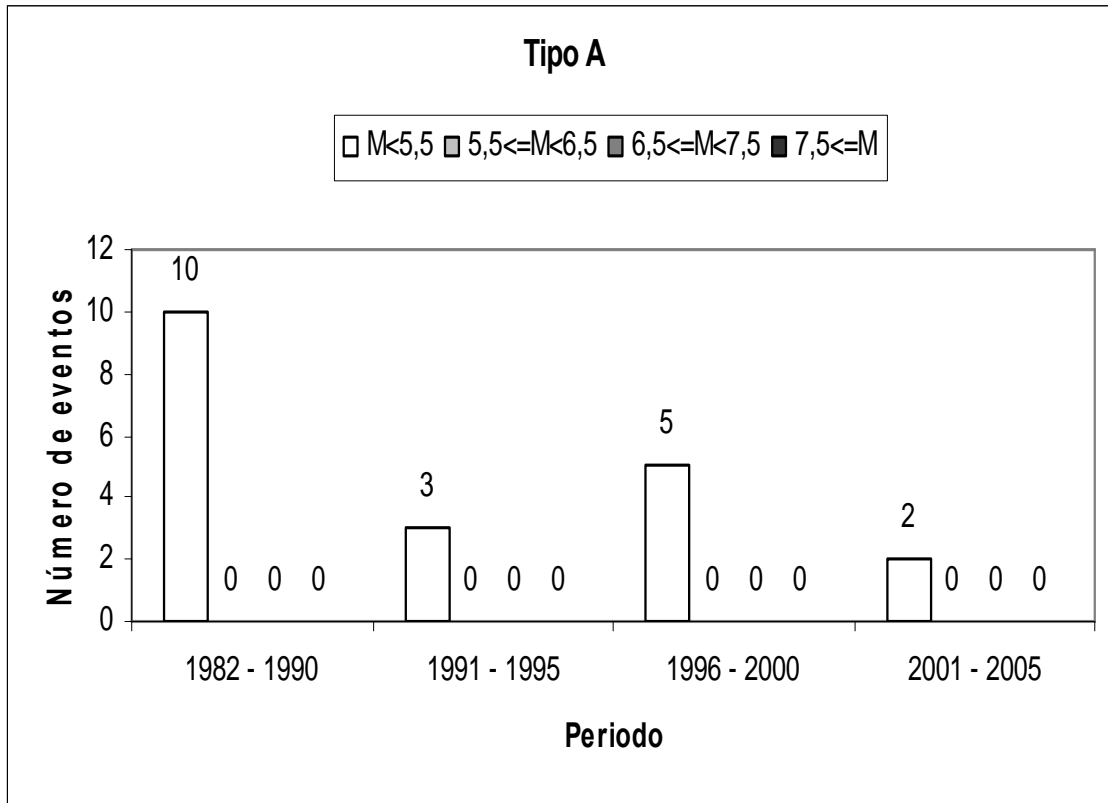


Figura 3.17: Cantidad de sismos del Tipo A del segmento 1 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud Ms o mb.

Para los sismos del Tipo B los resultados son los indicados en la tabla 3.7 y 3.8 para las dos magnitudes M_s y m_b respectivamente, resultados que se grafican en las figuras 3.18 y 3.19.

Tabla 3.7: Cantidad de sismos del Tipo B del segmento 1 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud M_s .

Tipo B	1982 - 1990	1991 - 1995	1996 - 2000	2001 - 2005
$M < 5,5$	126	155	51	60
$5,5 \leq M < 6,5$	12	9	2	1
$6,5 \leq M < 7,5$	3	4	1	0
$7,5 \leq M$	0	1	0	0

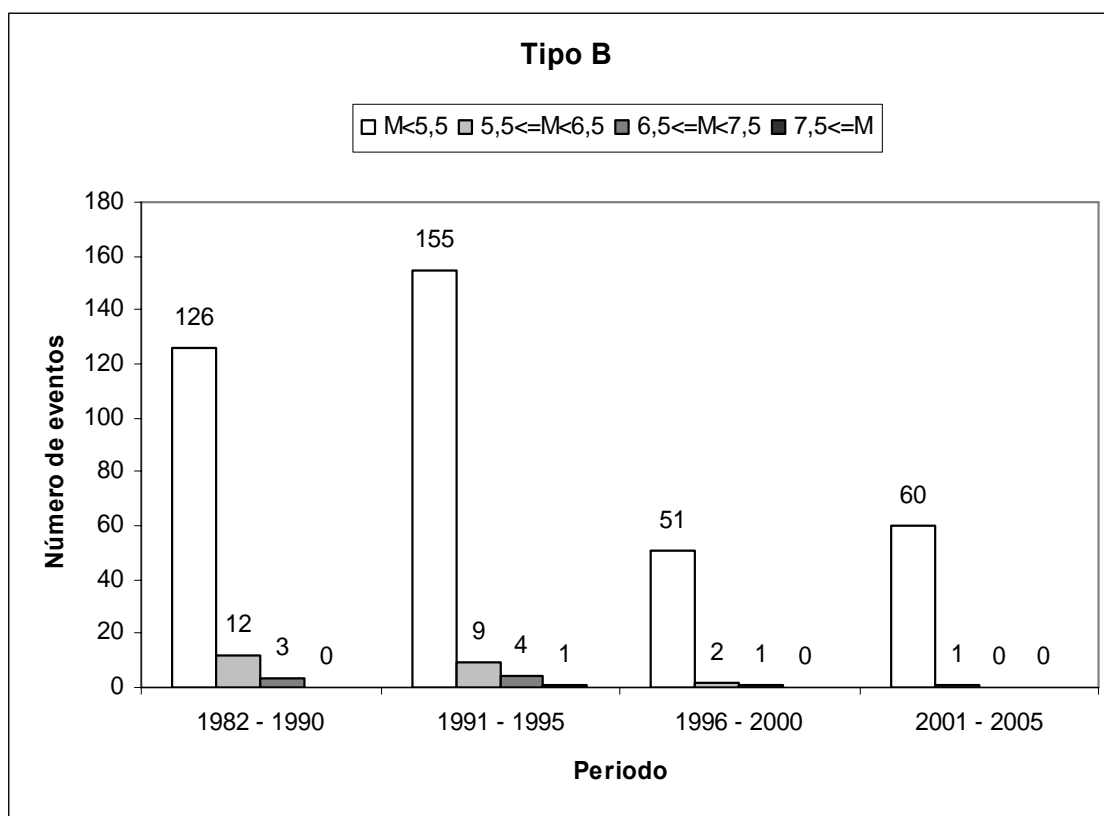


Figura 3.18: Cantidad de sismos del Tipo B del segmento 1 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud M_s .

Tabla 3.8: Cantidad de sismos del Tipo B del segmento 1 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud mb.

Tipo B	1982 - 1990	1991 - 1995	1996 - 2000	2001 - 2005
M<5,5	124	153	51	60
5,5 ≤ M < 6,5	14	11	3	1
6,5 ≤ M < 7,5	3	5	0	0
7,5 ≤ M	0	0	0	0

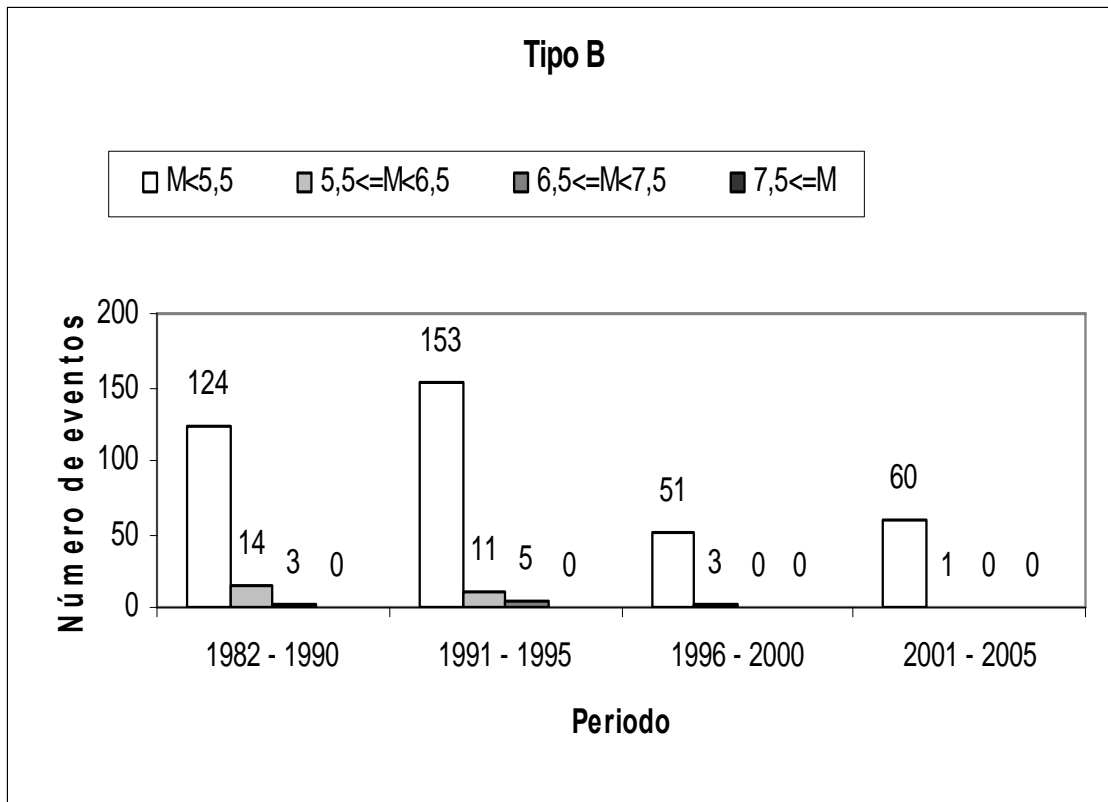


Figura 3.19: Cantidad de sismos del Tipo B del segmento 1 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud mb.

Para los sismos del Tipo C del segmento 1 se hace lo mismo que para los sismos del tipo B, obteniéndose los resultados de las tablas 3.9 y 3.10, los que se grafican en las figuras 3.20 y 3.21.

Tabla 3.9: Cantidad de sismos del Tipo C del segmento 1 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud Ms.

Tipo C	1982 - 1990	1991 - 1995	1996 - 2000	2001 - 2005
M<5,5	342	171	100	205
5,5 ≤ M < 6,5	12	4	8	6
6,5 ≤ M < 7,5	1	0	0	0
7,5 ≤ M	0	0	0	1

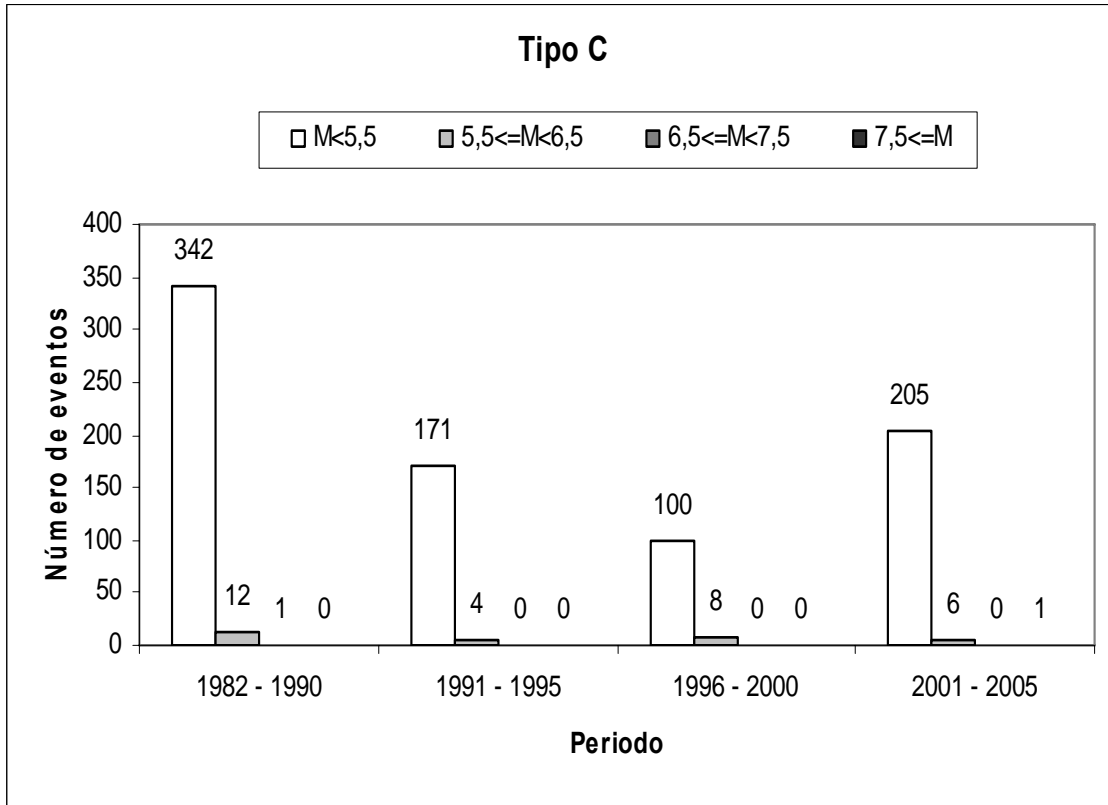


Figura 3.20: Cantidad de sismos del Tipo C del segmento 1 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud Ms.

Tabla 3.10: Cantidad de sismos del Tipo C del segmento 1 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud mb.

Tipo C	1982 - 1990	1991 - 1995	1996 - 2000	2001 - 2005
M<5,5	334	168	100	201
5,5 ≤ M < 6,5	20	7	8	10
6,5 ≤ M < 7,5	1	0	0	1
7,5 ≤ M	0	0	0	0

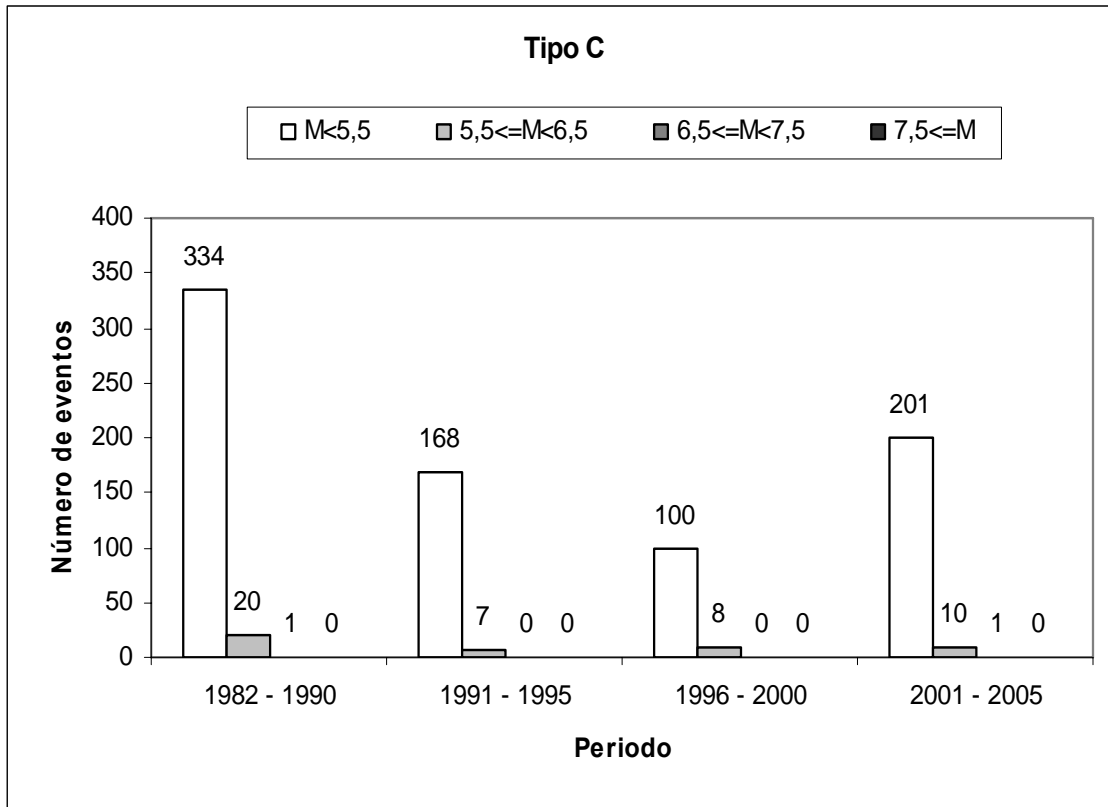


Figura 3.21: Cantidad de sismos del Tipo C del segmento 1 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud utilizando la magnitud mb.

Para los sismos del Tipo D los resultados corresponden a los detallados en la tabla 3.11 y graficados en la figura 3.22.

Tabla 3.11: Cantidad de sismos del Tipo D del segmento 1 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud Ms o mb.

Tipo D	1982 - 1990	1991 - 1995	1996 - 2000	2001 - 2005
M<5,5	4	7	5	8
5,5 ≤ M < 6,5	0	0	0	1
6,5 ≤ M < 7,5	0	0	0	0
7,5 ≤ M	0	0	0	0

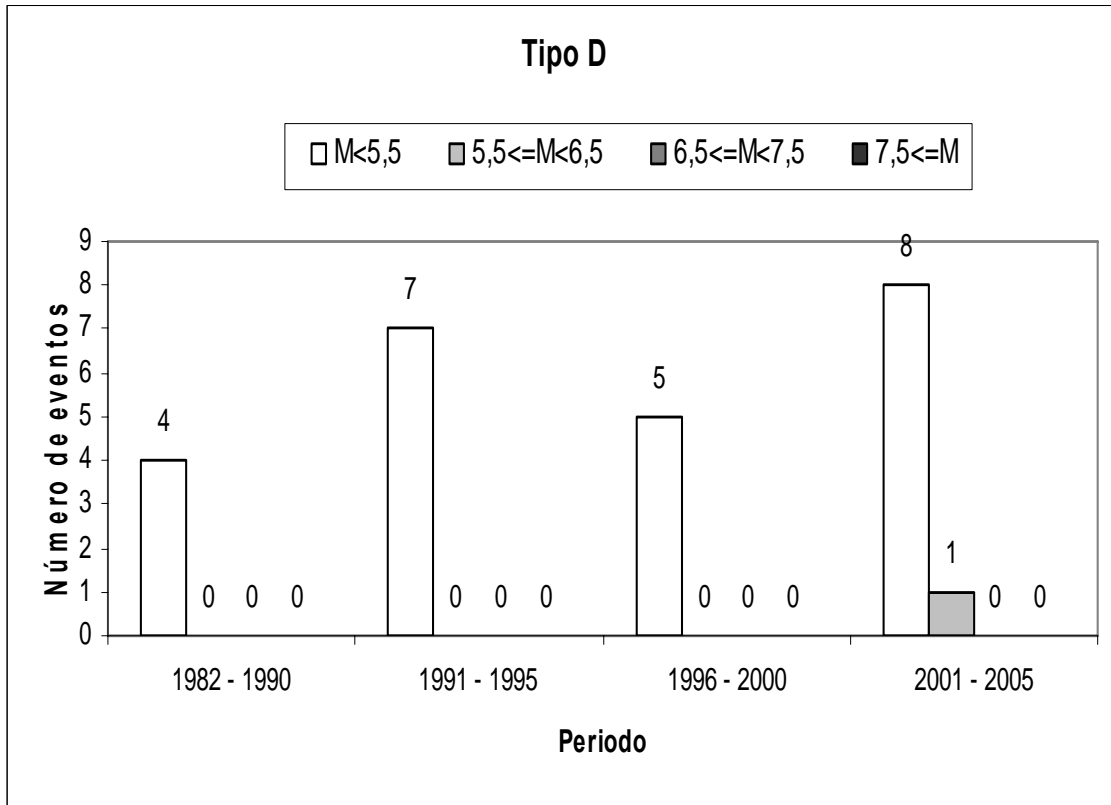


Figura 3.22: Cantidad de sismos del Tipo D del segmento 1 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud Ms o mb.

Al dividir el segmento 1 de la placa de Nazca en sectores de 2 grados de latitud y se hace el análisis anterior, se obtiene los gráficos de las figuras 3.23 a 3.28.

▪ Sismos del Tipo A del Segmento 1

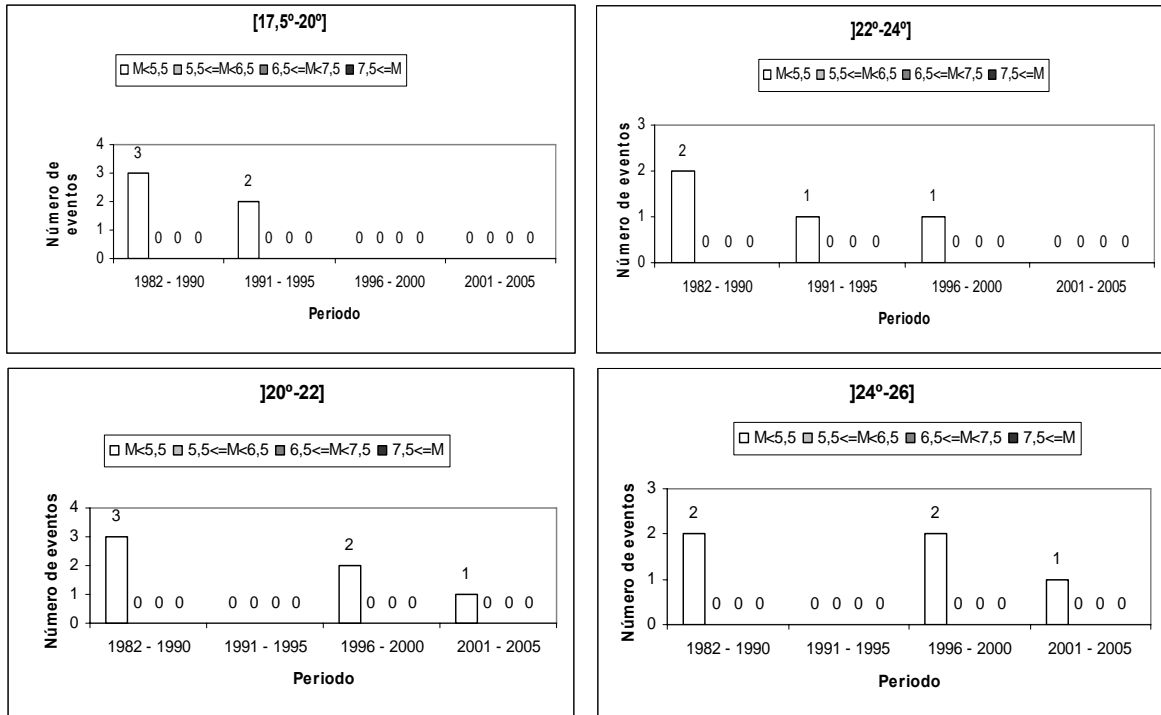


Figura 3.23: Sismos del Tipo A del segmento 1 divididos en 4 sectores, para 4 intervalos de tiempo y 4 rangos de magnitudes Ms o mb.

▪ Sismos del Tipo B del Segmento 1

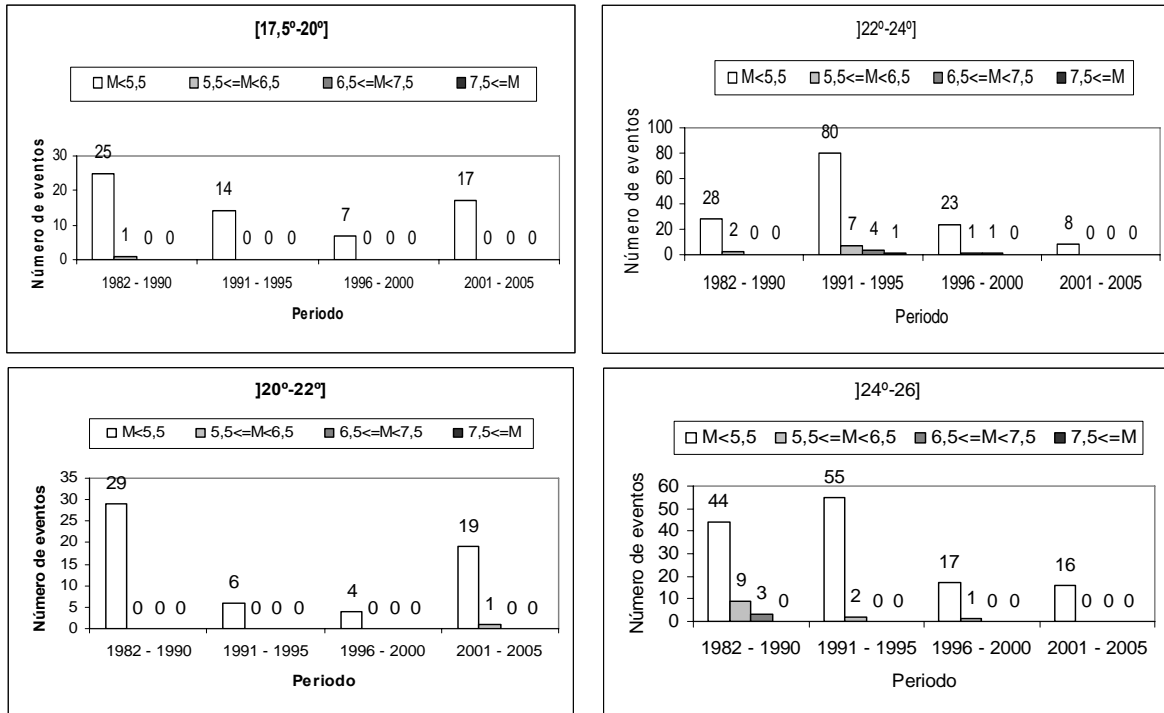


Figura 3.24: Sismos del Tipo B del segmento 1 divididos en 4 sectores, para 4 intervalos de tiempo y 4 rangos de magnitudes Ms.

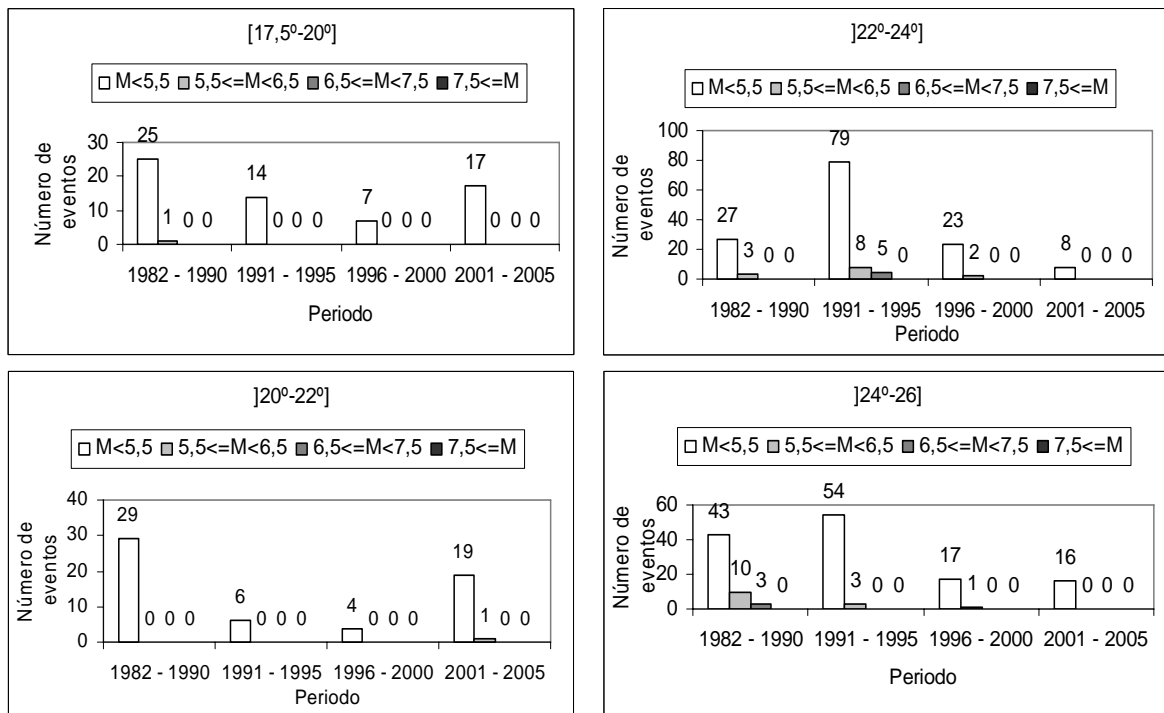


Figura 3.25: Sismos del Tipo B del segmento 1 divididos en 4 sectores, para 4 intervalos de tiempo y 4 rangos de magnitudes mb.

▪ Sismos del Tipo C del Segmento 1

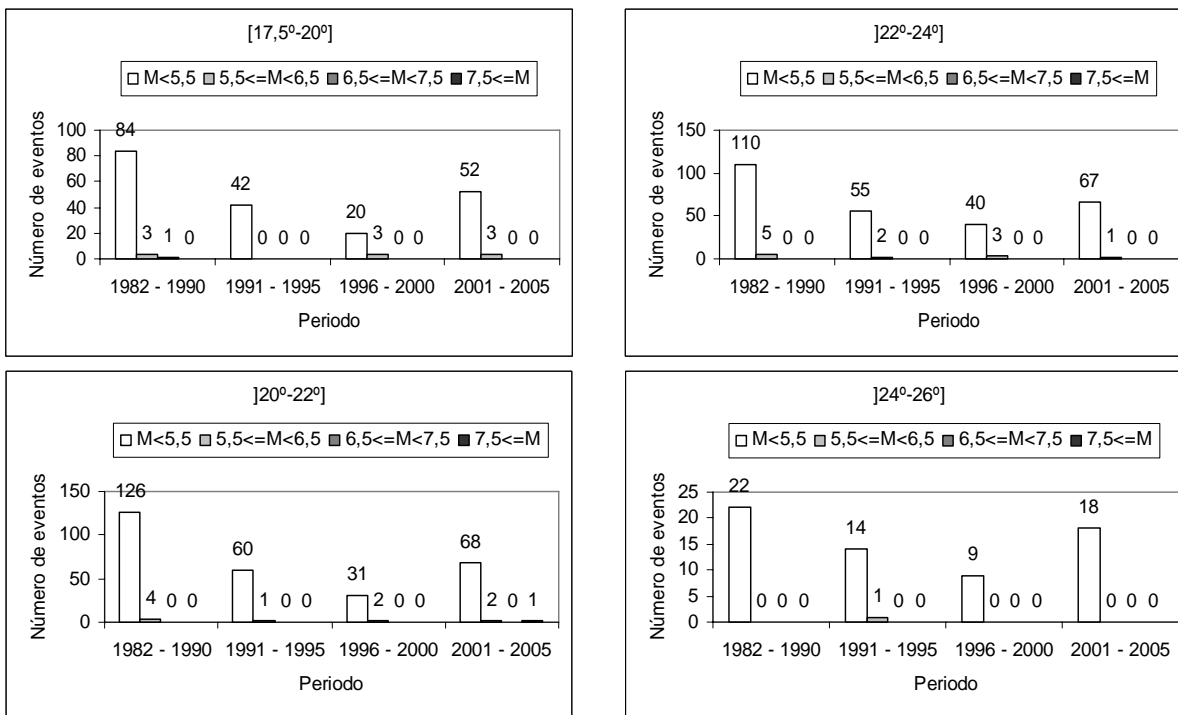


Figura 3.26: Sismos del Tipo C del segmento 1 divididos en 4 sectores, para 4 intervalos de tiempo y 4 rangos de magnitudes Ms.

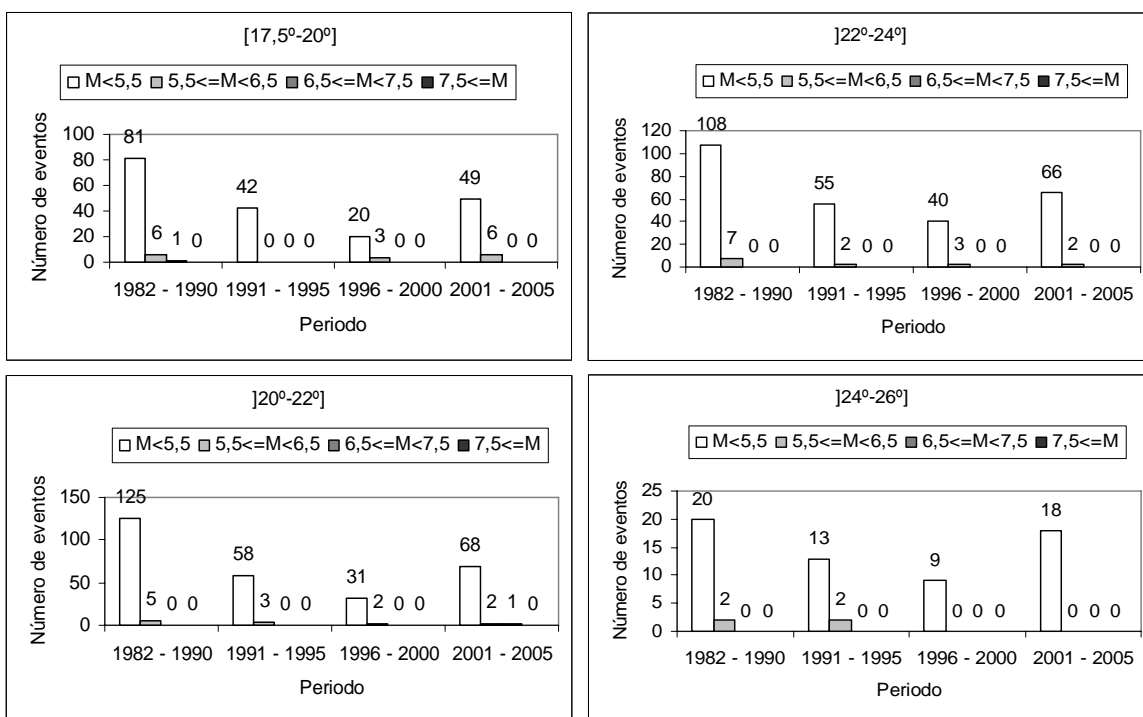


Figura 3.27: Sismos del Tipo C del segmento 1 divididos en 4 sectores, para 4 intervalos de tiempo y 4 rangos de magnitudes mb.

- Sismos del Tipo D del Segmento 1

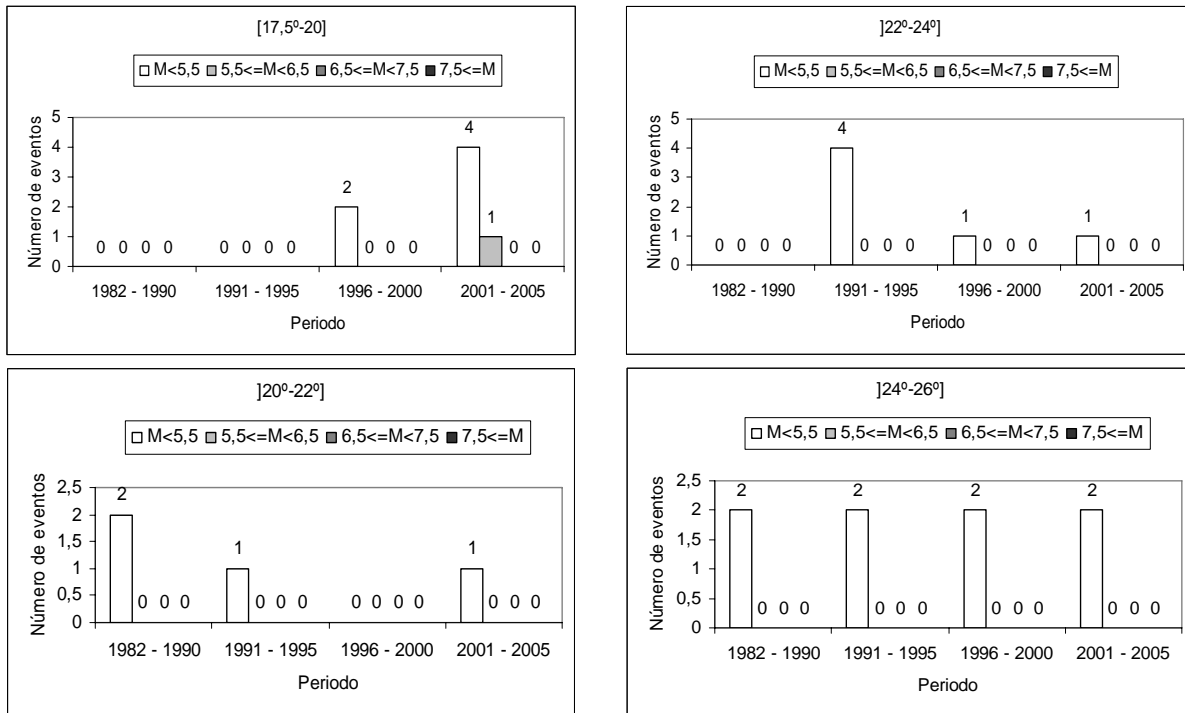


Figura 3.28: Sismos del Tipo D del segmento 1 divididos en 4 sectores, para 4 intervalos de tiempo y 4 rangos de magnitudes Ms o mb.

- *Segmento 2 de la Placa de Nazca*

Al agrupar los sismos según su tipo, Tipo A, B, C o D, se obtiene la cantidad de sismos indicada en la tabla 3.12.

Tabla 3.12: Cantidad de sismos por tipo en el Segmento 2.

	Tipo A	Tipo B	Tipo C	Tipo D
Número de eventos	113	1377	628	51

Para obtener estas cantidades, se consideraron como sismos Tipo A todos aquellos eventos que se ubican al Oeste del eje de la fosa o al este de ella no más allá de 20 km. En la figura 3.29 se muestran los sismos de este tipo.

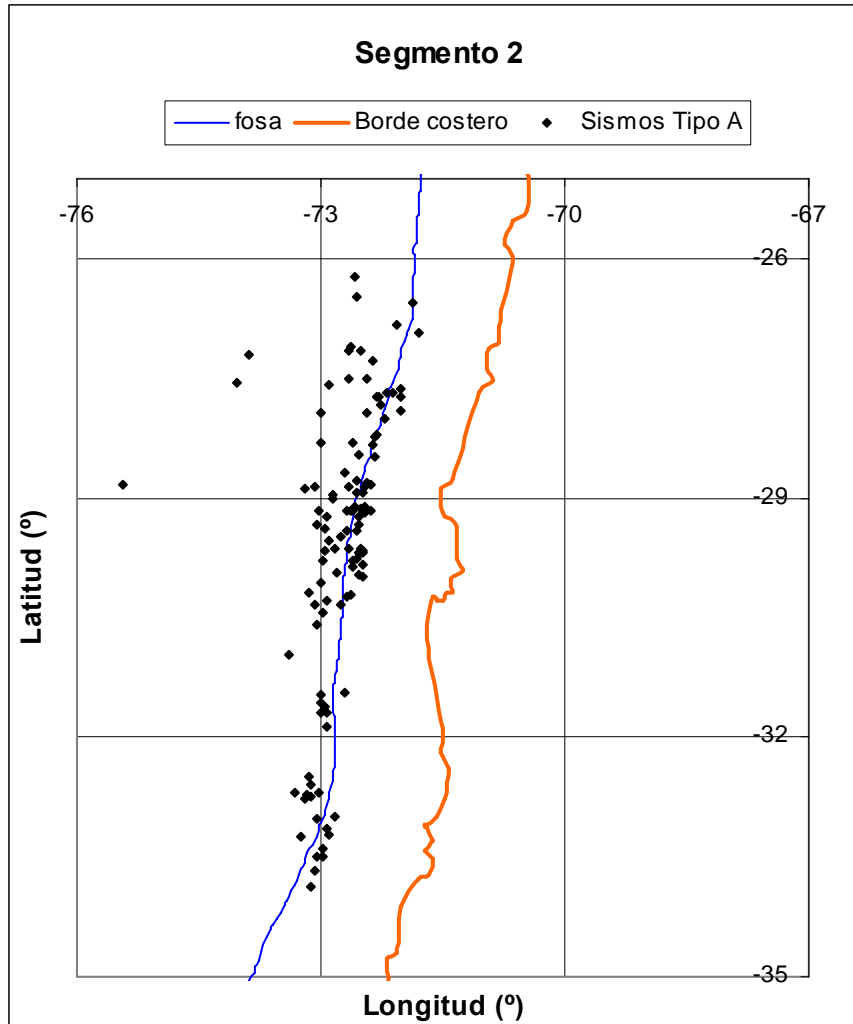


Figura 3.29: Sismos del Tipo A del Segmento 2.

Los sismos como Tipo B y Tipo C se escogen entre los sismos ubicados al este de la fosa cuyo hipocentro está bajo los 50 km de profundidad y los sismos cuyo hipocentro está por sobre los 50 km de profundidad, sismos que se muestran en las figura 3.30 y figura 3.31.

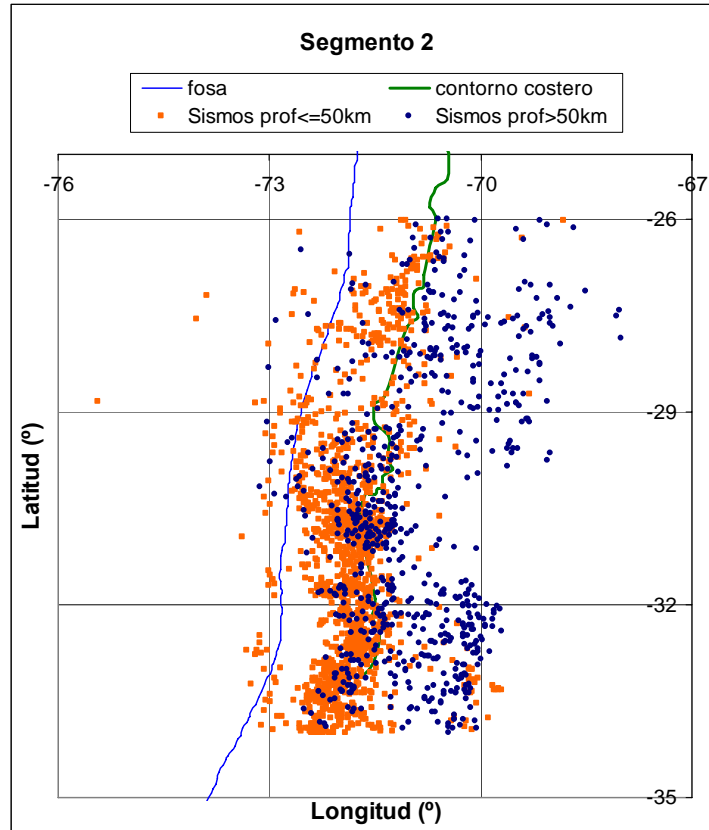


Figura 3.30: Sismos cuyo hipocentro está bajo o sobre los 50 km de profundidad.

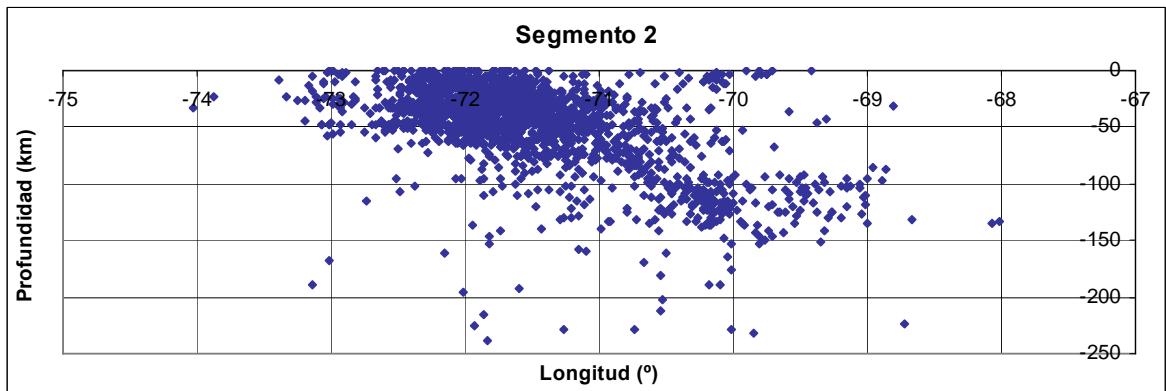


Figura 3.31: Perfil transversal de los sismos del segmento 2.

De la figura 3.30 no se puede determinar claramente un meridiano que divida a los sismos Tipo B y Tipo C, por lo que se considera que los sismos con hipocentro a más de 50 km de profundidad son del Tipo C y los sismos con hipocentro a menos de 50 km de

profundidad son del Tipo B o D. Para diferenciar estos últimos se utiliza la longitud. Aplicando este criterio se obtienen las figuras 3.32 y 3.33.

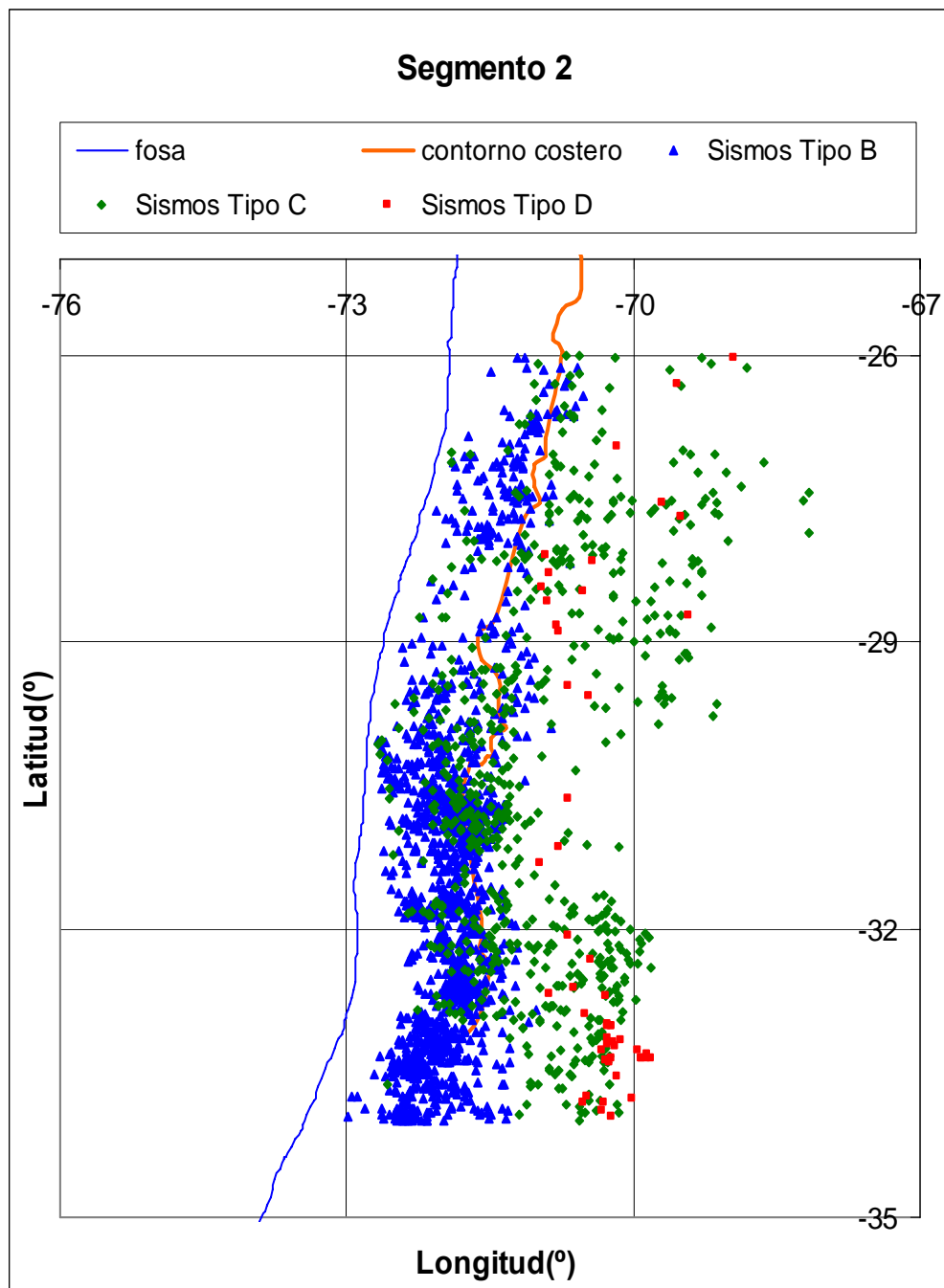


Figura 3.32: Sismos del Tipo B, C y D del Segmento 2.

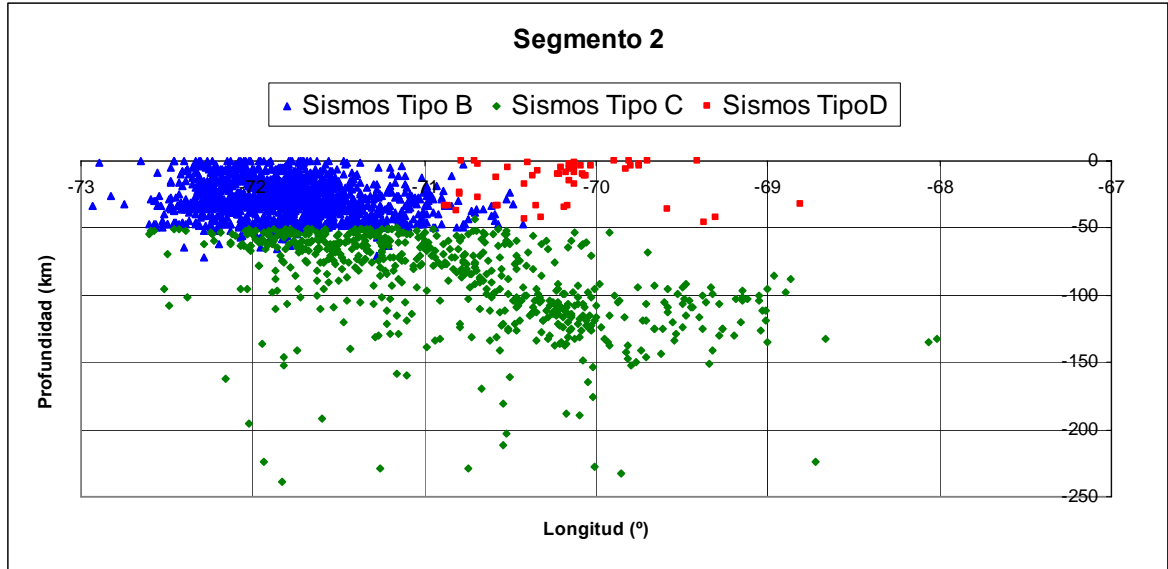


Figura 3.33: Sismos del Tipo B, C y D del segmento 2.

Al igual que en el segmento 1, al agrupar los sismos según la magnitud M_s o m_b , se obtienen las mismas cantidades de sismos del Tipo A y del Tipo D, no así para los sismos del Tipo B y C.

Al agrupar los sismos del Tipo A en 4 periodos de tiempo y en 4 rangos de magnitud, se obtienen los resultados de la tabla 3.13 y de la figura 3.34.

Tabla 3.13: Cantidad de sismos del Tipo A del segmento 2 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud Ms o mb.

Tipo A	1982 - 1990	1991 - 1995	1996 - 2000	2001 - 2005
M<5,5	15	23	60	13
5,5 ≤ M < 6,5	0	1	0	1
6,5 ≤ M < 7,5	0	0	0	0
7,5 ≤ M	0	0	0	0

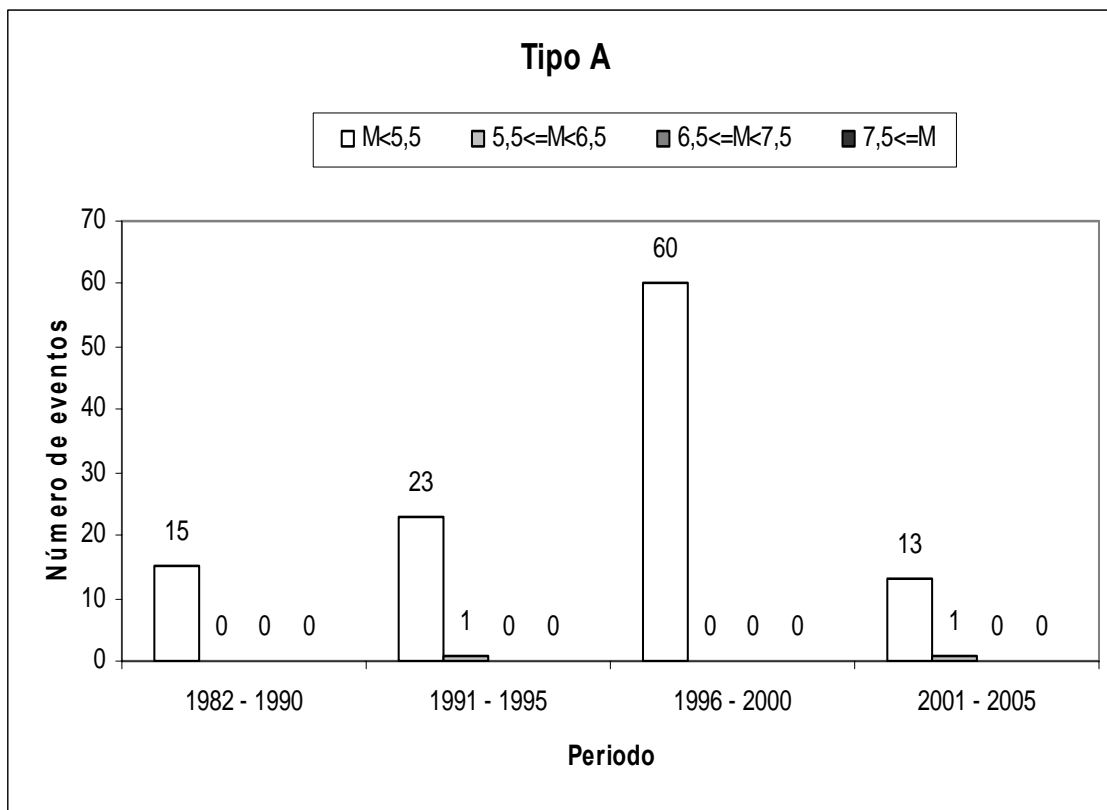


Figura 3.34: Cantidad de sismos del Tipo A del segmento 2 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud Ms o mb.

Para los sismos del Tipo B la cantidad de sismos que resultan se presentan en las tablas 3.14 y 3.15 y en las figuras 3.35 y 3.36.

Tabla 3.14: Cantidad de sismos del Tipo B del segmento 2 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud Ms.

Tipo B	1982 - 1990	1991 - 1995	1996 - 2000	2001 - 2005
M<5,5	348	248	480	260
5,5 ≤ M < 6,5	16	5	11	3
6,5 ≤ M < 7,5	3	0	2	0
7,5 ≤ M	1	0	0	0

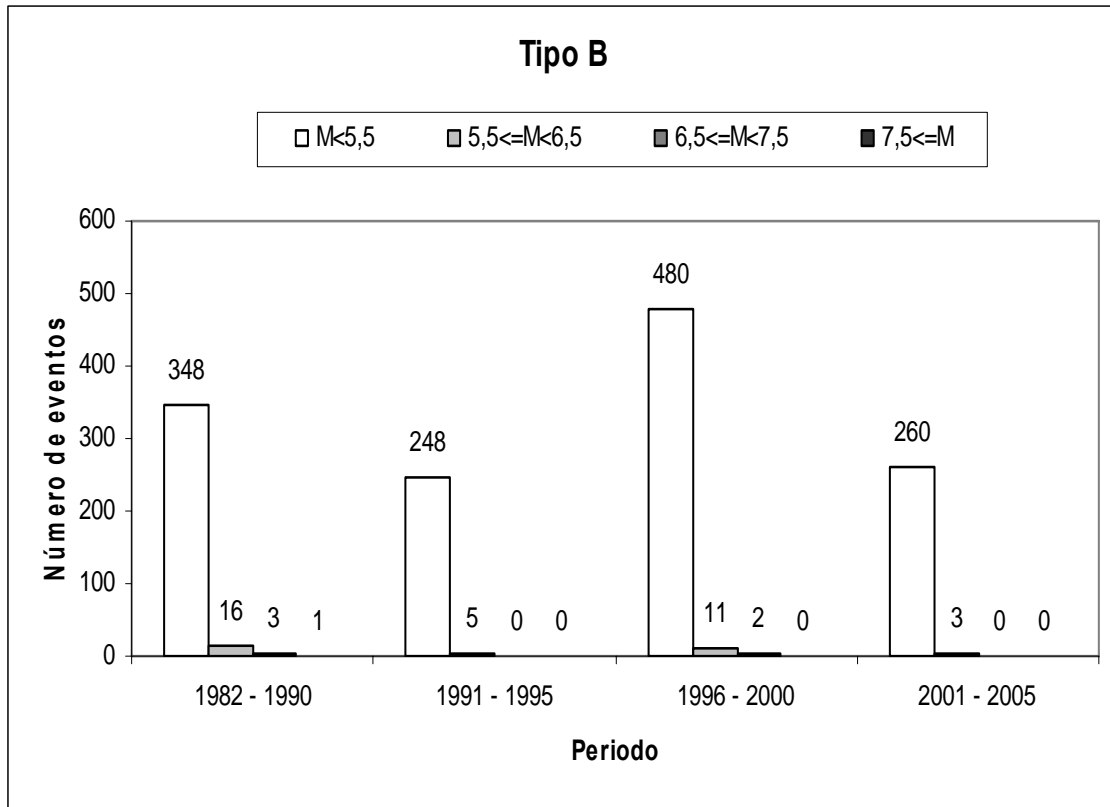


Figura 3.35: Cantidad de sismos del Tipo B del segmento 2 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud Ms.

Tabla 3.15: Cantidad de sismos del Tipo B del segmento 2 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud mb.

Tipo B	1982 - 1990	1991 - 1995	1996 - 2000	2001 - 2005
M<5,5	341	247	476	259
5,5 ≤ M < 6,5	25	5	17	4
6,5 ≤ M < 7,5	3	0	0	0
7,5 ≤ M	0	0	0	0

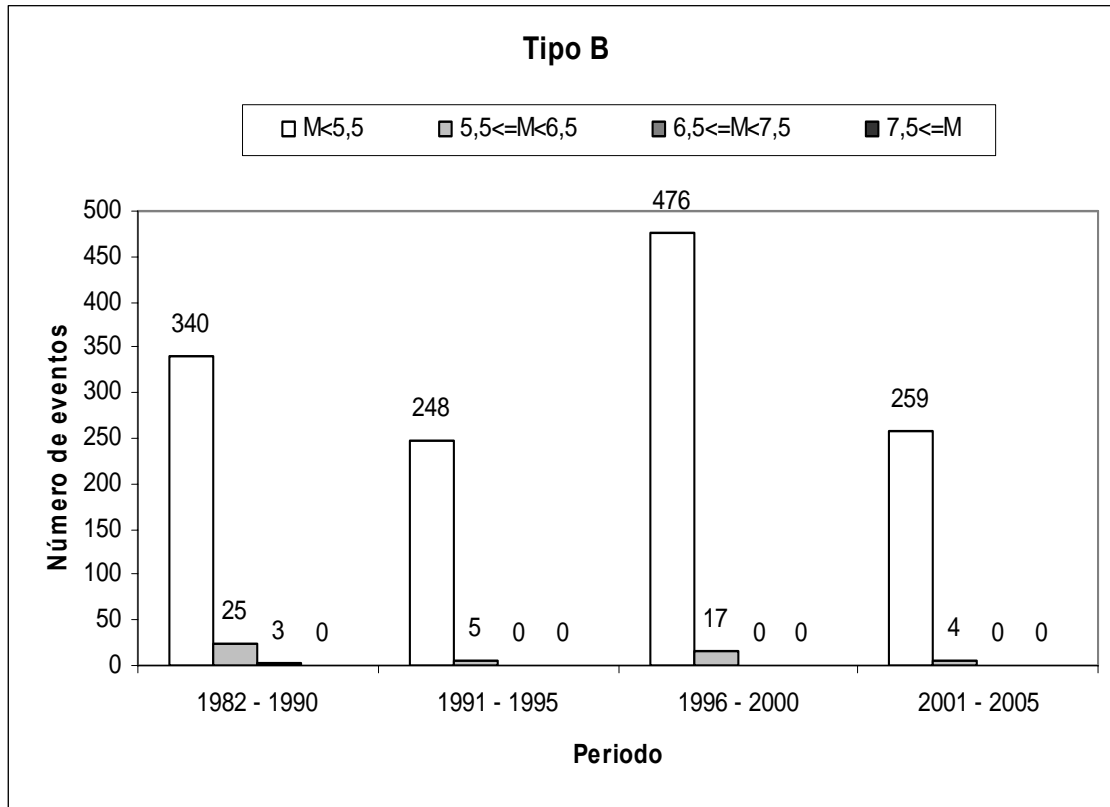


Figura 3.36: Cantidad de sismos del Tipo B del segmento 2 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud mb.

Para los sismos del Tipo C los resultados que se obtienen se indican en las tablas 3.16 y 3.17, los que se muestran en las figuras 3.37 y 3.38.

Tabla 3.16: Cantidad de sismos del Tipo C del segmento 2 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud Ms.

Tipo C	1982 - 1990	1991 - 1995	1996 - 2000	2001 - 2005
M<5,5	186	78	191	153
5,5 ≤ M < 6,5	8	2	2	6
6,5 ≤ M < 7,5	0	0	1	0
7,5 ≤ M	0	0	0	0

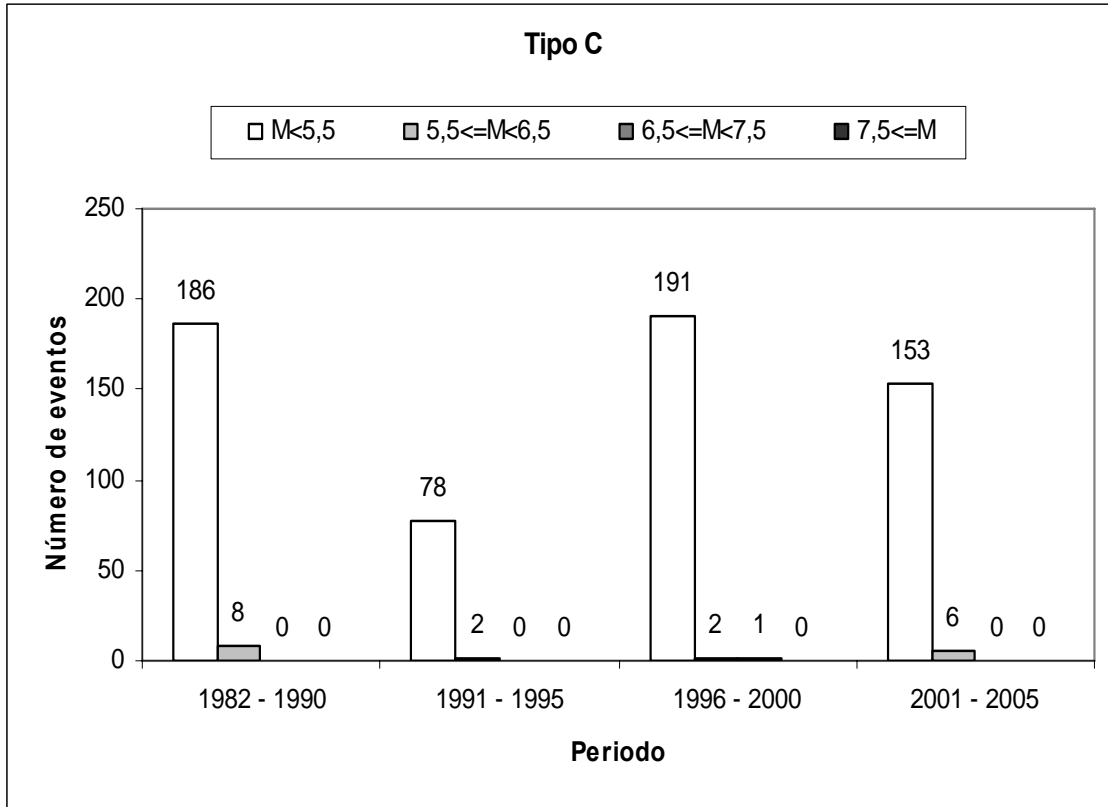


Figura 3.37: Cantidad de sismos del Tipo C del segmento 2 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud Ms.

Tabla 3.17: Cantidad de sismos del Tipo C del segmento 2 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud utilizando mb.

Tipo C	1982 - 1990	1991 - 1995	1996 - 2000	2001 - 2005
M<5,5	185	77	190	151
5,5 ≤ M < 6,5	9	3	4	8
6,5 ≤ M < 7,5	0	0	0	0
7,5 ≤ M	0	0	0	0

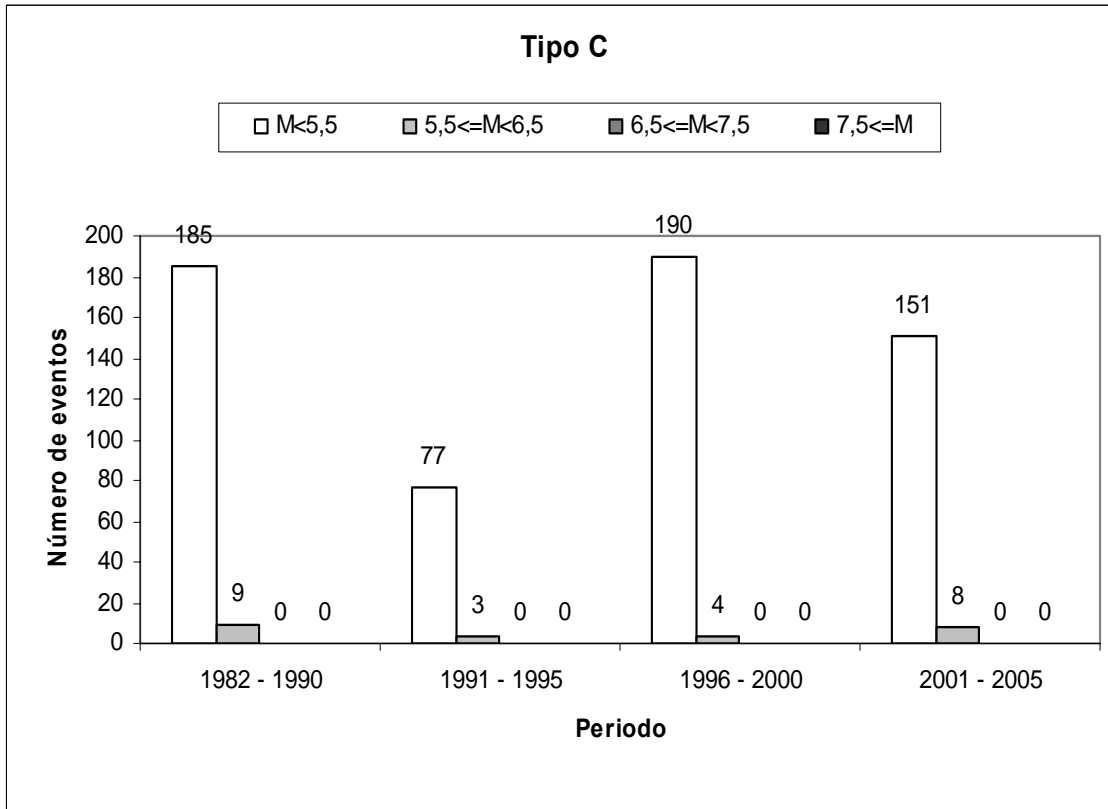


Figura 3.38: Cantidad de sismos del Tipo C del segmento 2 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud mb.

Para los sismos del Tipo D se obtienen la misma cantidad de sismos si se considera la magnitud Ms o mb, cantidades que se detallan en la tabla 3.18 y que se muestran en la figura 3.39.

Tabla 3.18: Cantidad de sismos del Tipo D del segmento 2 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud Ms o mb.

Tipo D	1982 - 1990	1991 - 1995	1996 - 2000	2001 - 2005
M<5,5	16	10	11	13
5,5 ≤ M < 6,5	1	0	0	0
6,5 ≤ M < 7,5	0	0	0	0
7,5 ≤ M	0	0	0	0

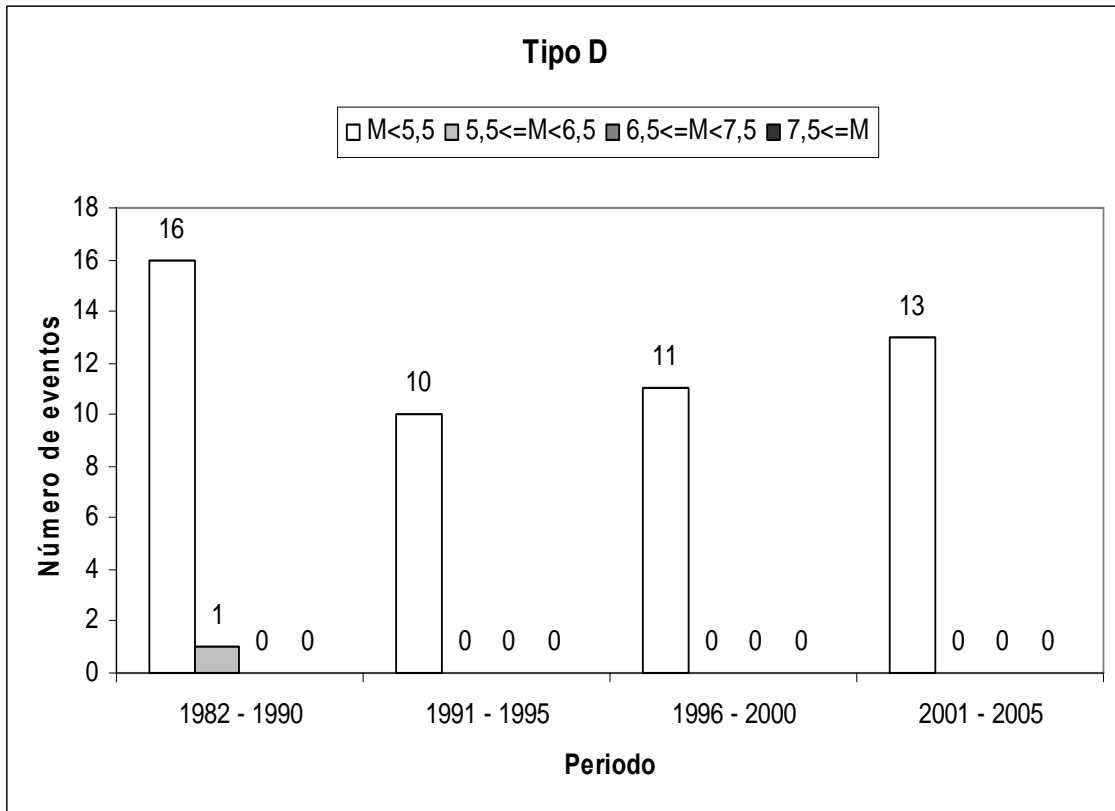


Figura 3.39: Cantidad de sismos del Tipo D del segmento 2 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud Ms o mb.

Si se divide el segmento 2 de la placa de Nazca en sectores de 2 grados de latitud y se hace el mismo análisis para determinar la cantidad de sismos de cada tipo, se obtienen los resultados de las figuras 3.40 a 3.45.

▪ Sismos del Tipo A del Segmento 2

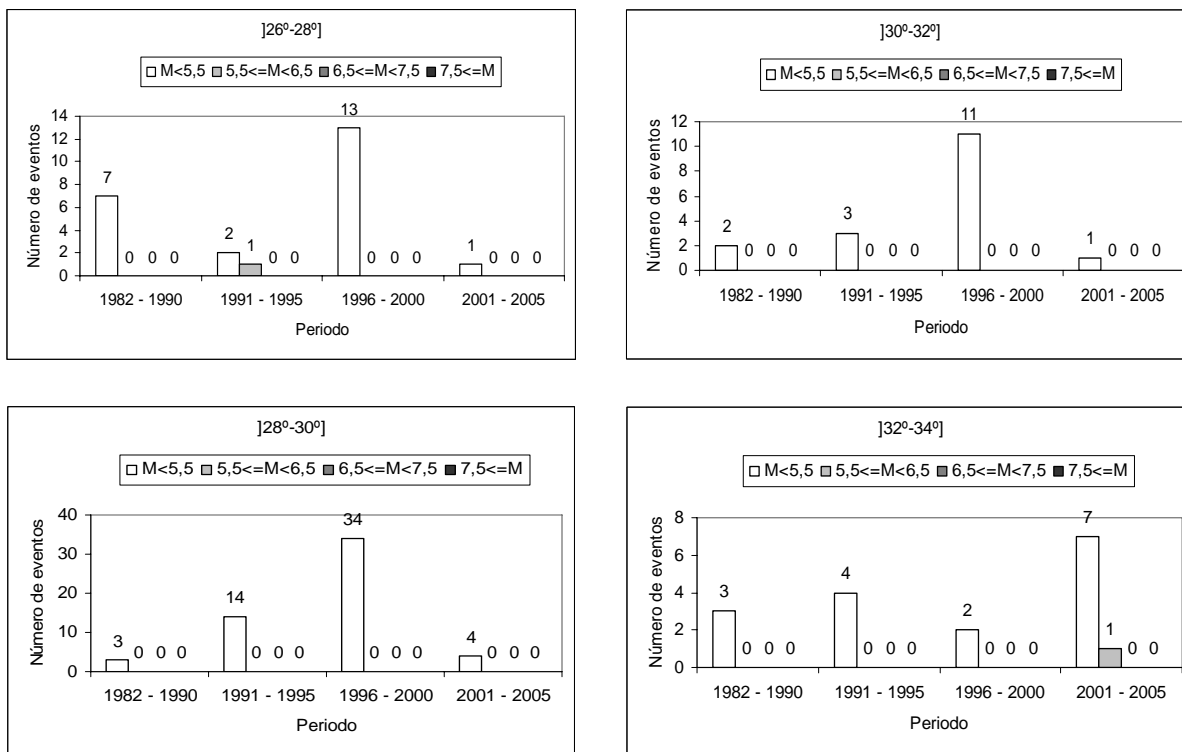


Figura 3.40: Sismos del Tipo A del segmento 2 divididos en 4 sectores, para 4 intervalos de tiempo y 4 rangos de magnitudes M_s o m_b .

▪ Sismos del Tipo B del Segmento 2

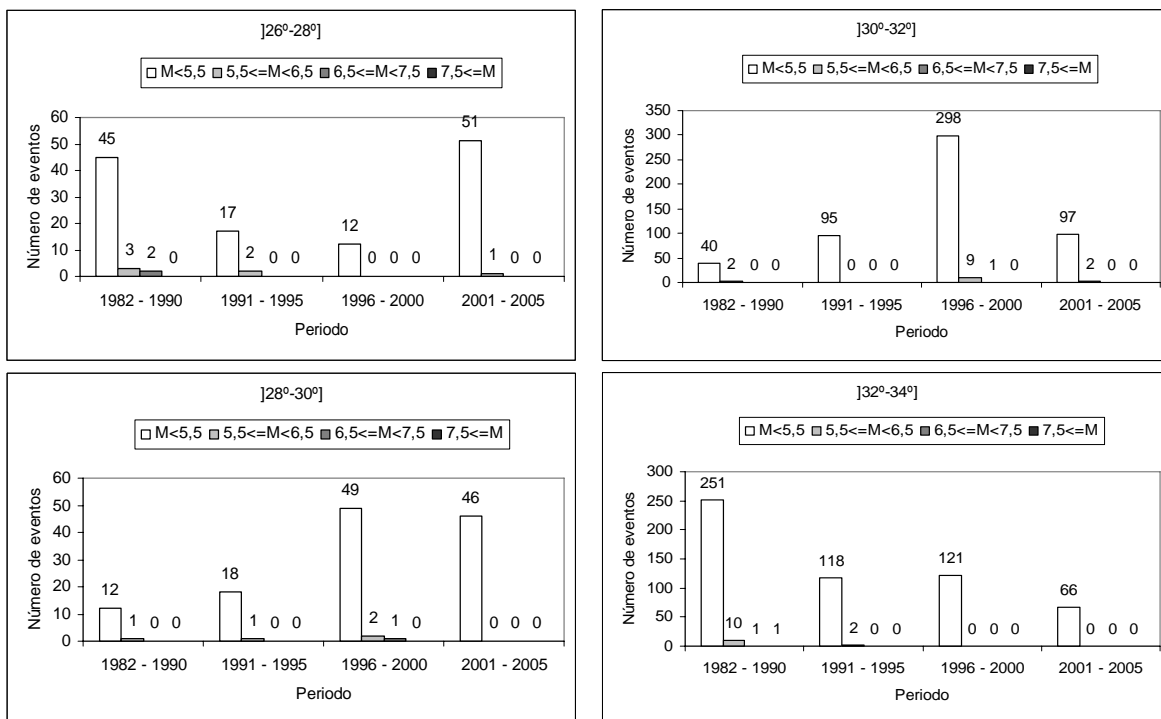


Figura 3.41: Sismos del Tipo B del segmento 2 divididos en 4 sectores, para 4 intervalos de tiempo y 4 rangos de magnitudes Ms.

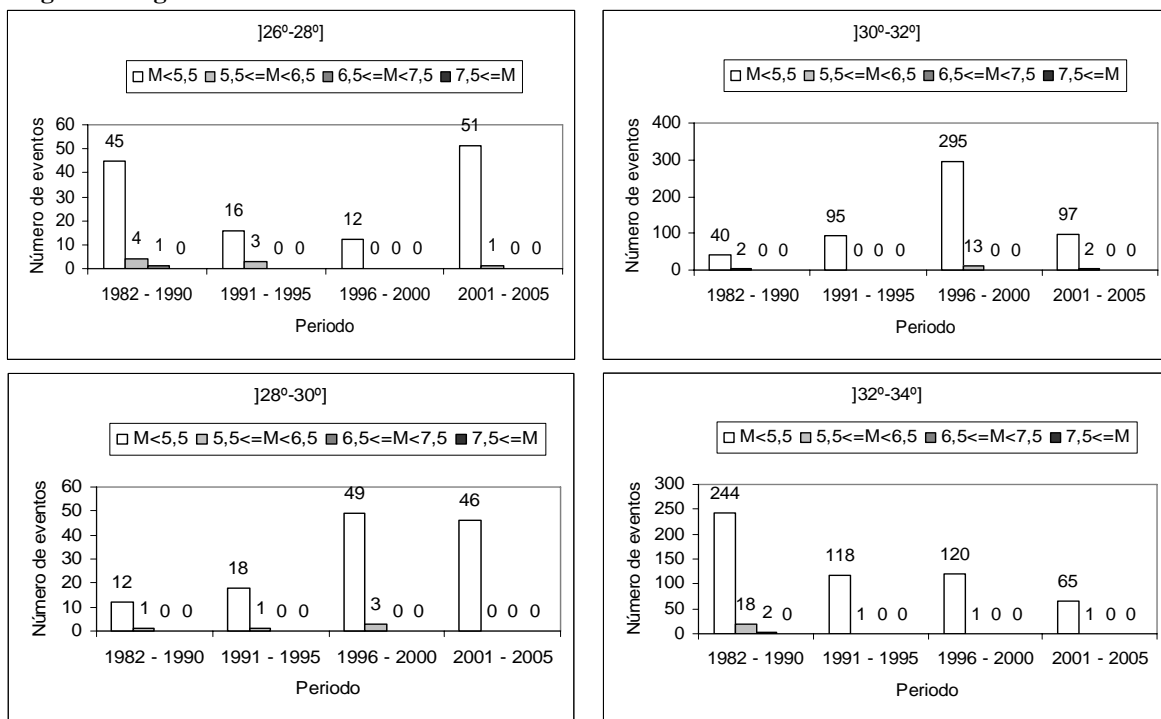


Figura 3.42: Sismos del Tipo B del segmento 2 divididos en 4 sectores, para 4 intervalos de tiempo y 4 rangos de magnitudes mb.

■ Sismos del Tipo C del Segmento 2

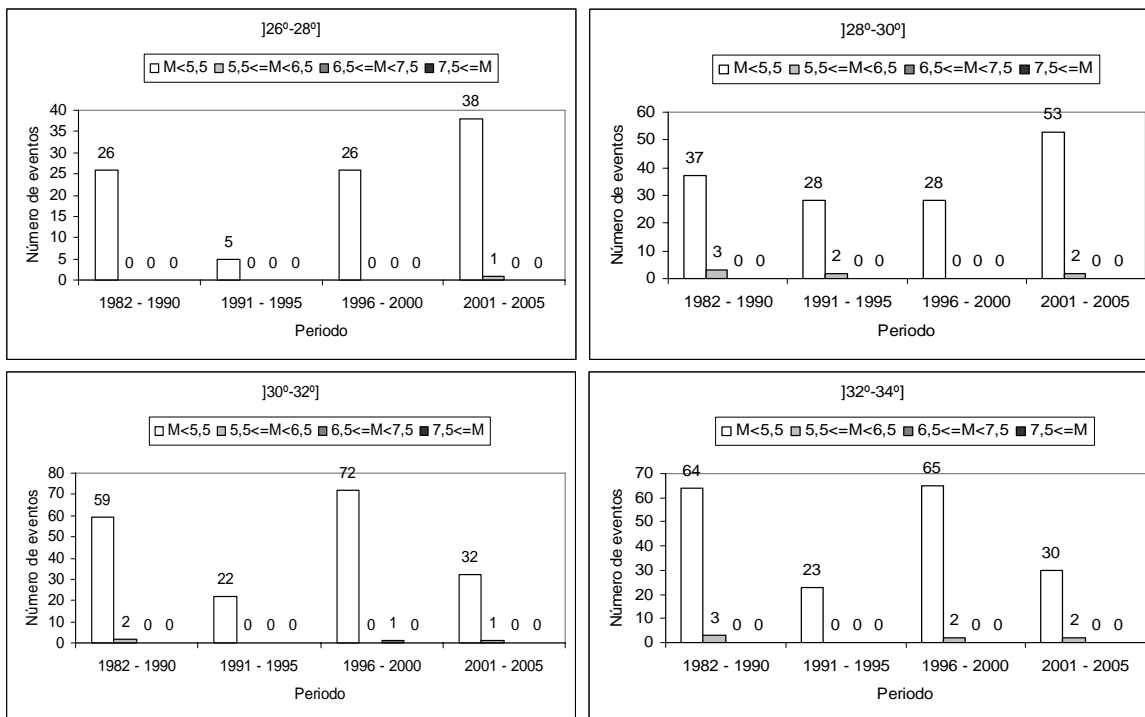


Figura 3.43: Sismos del Tipo C del segmento 2 divididos en 4 sectores, para 4 intervalos de tiempo y 4 rangos de magnitudes Ms.

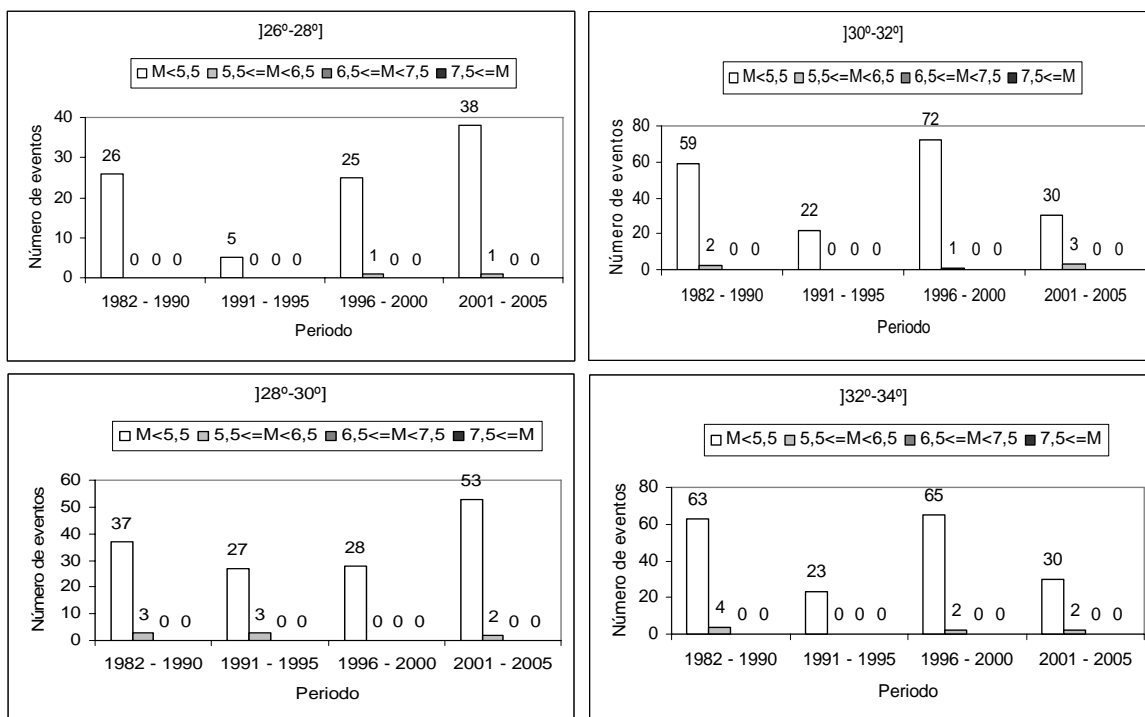


Figura 3.44: Sismos del Tipo C del segmento 2 divididos en 4 sectores, para 4 intervalos de tiempo y 4 rangos de magnitudes mb.

▪ Sismos del Tipo D del Segmento 2

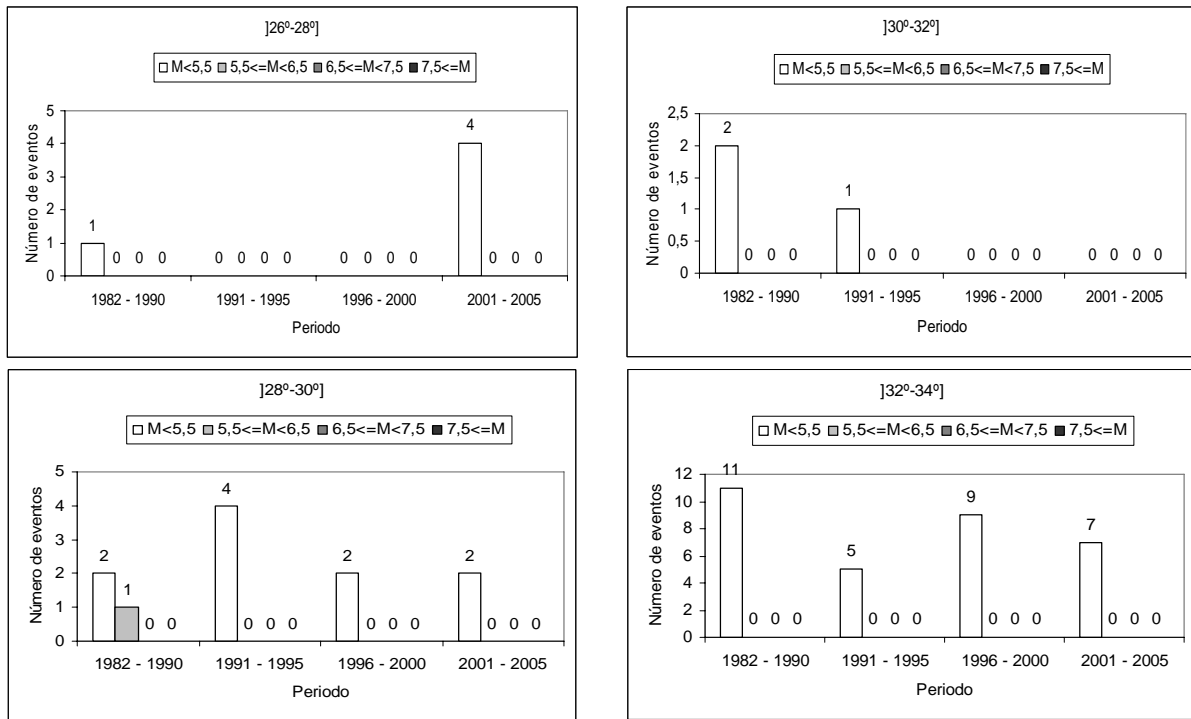


Figura 3.45: Sismos del Tipo D del segmento 2 divididos en 4 sectores, para 4 intervalos de tiempo y 4 rangos de magnitudes Ms o mb.

• *Segmento 3 de la Placa de Nazca*

Al agrupar los sismos según su tipo, Tipo A, B, C o D, se obtiene la cantidad de sismos por tipo detallada en la tabla 3.19.

Tabla 3.19: Cantidad de sismos por tipo del segmento 3

	Tipo A	Tipo B	Tipo C	Tipo D
Número de eventos	48	271	124	85

Para obtener estas cantidades, se consideraron como sismos del Tipo A todos los sismos que se ubican al Oeste del eje de la fosa o al este de la fosa no más allá de 20 km. En la figura 3.46 se muestran estos sismos.

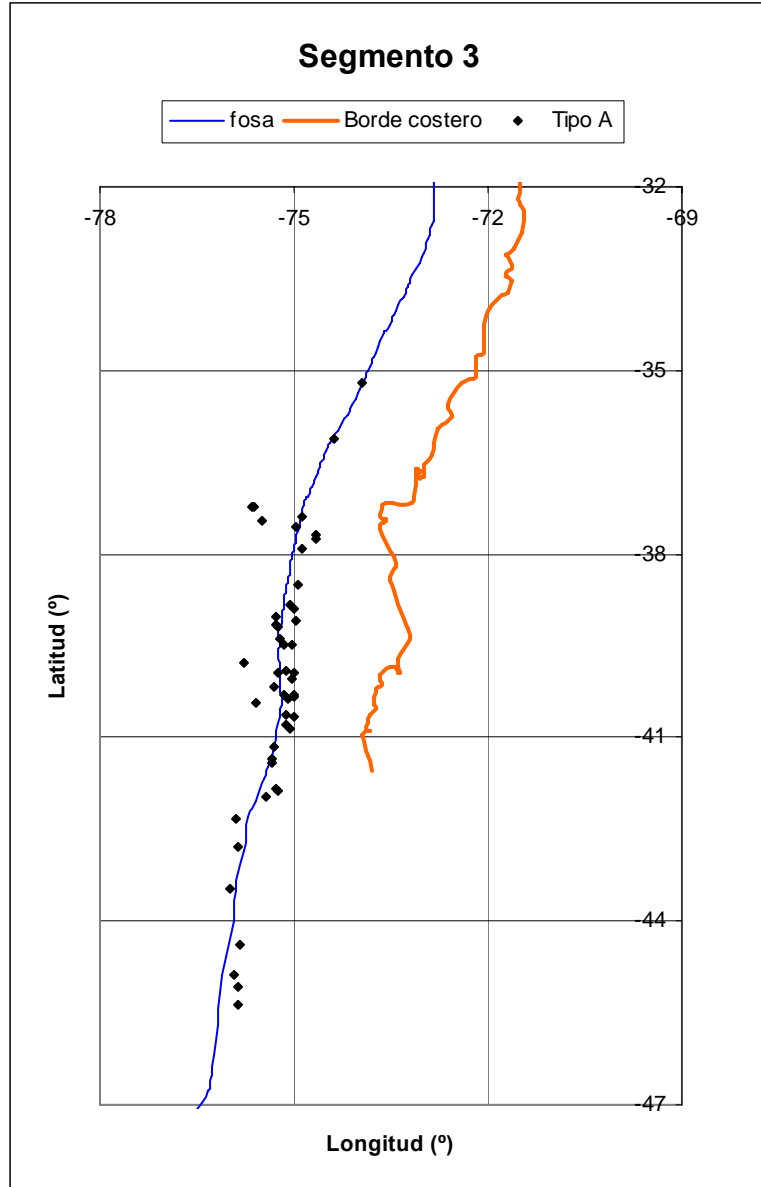


Figura 3.46: Sismos Tipo A del segmento 3.

Al igual que en los otros dos segmentos, al graficar en planta los sismos con hipocentro a una profundidad menor que 50 km y sismos con hipocentros a una profundidad mayor que 50 km se obtiene la figura 3.47 y un perfil transversal como el de la figura 3.48.

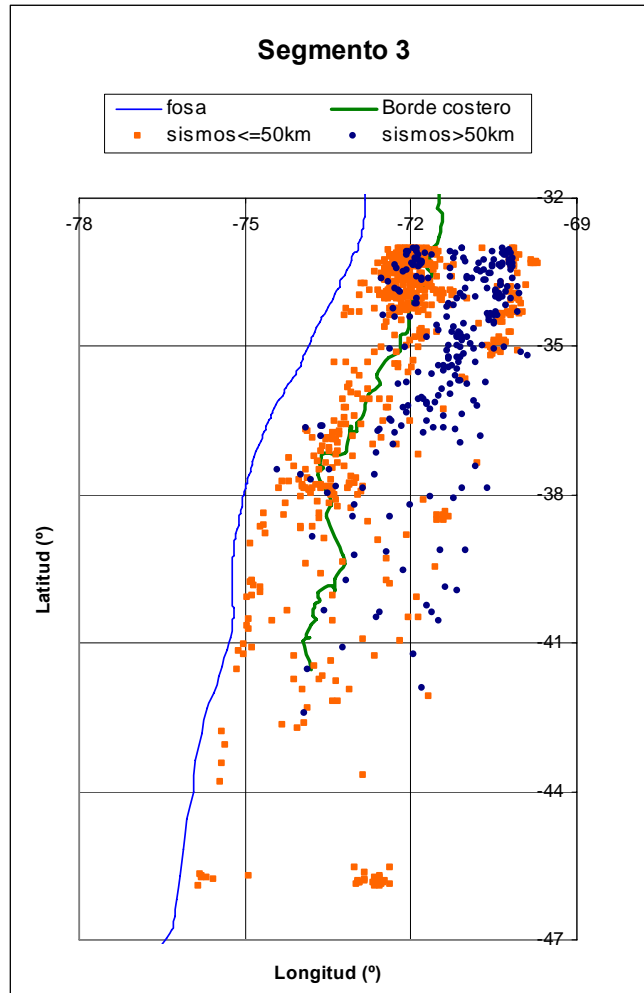


Figura 3.47: Sismos cuyo hipocentro está bajo o sobre los 50 km de profundidad en el segmento 3.

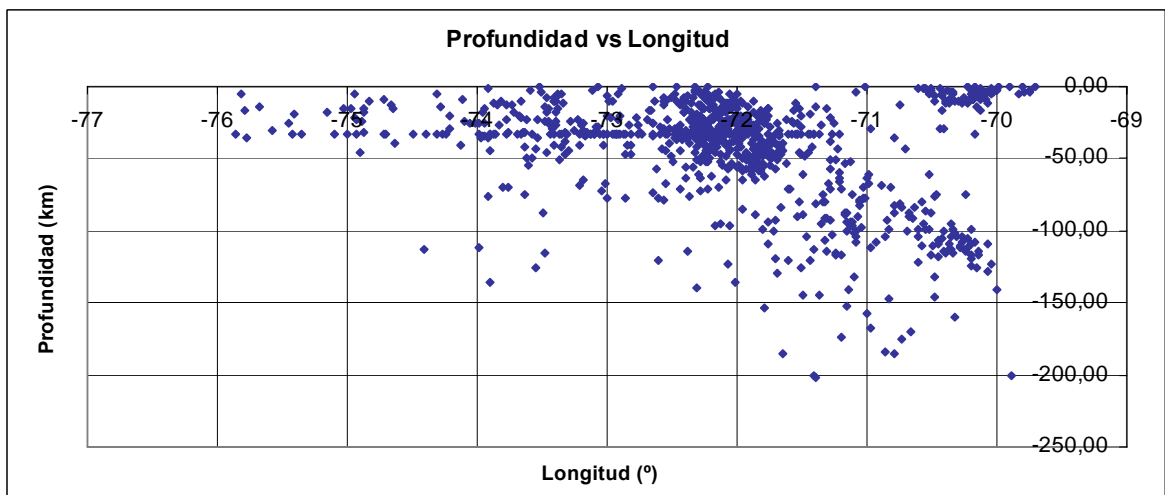


Figura 3.48: Perfil transversal donde se observan los sismos del segmento 3.

En la figura 3.47 se muestran los sismos con hipocentro a más de 50 km de profundidad y los sismos con hipocentro a menos de 50 km de profundidad. Estos sismos se distinguen claramente pero no se pueden separar por un meridiano específico debido a la desviación que sufre el continente a medida que se avanza hacia el sur. Por lo anterior, fue necesario tomar sectores de 1 grado de latitud para separar los Sismos del Tipo B, C y D, resultando finalmente las cantidades que se muestran en las figuras 3.49 y 3.50.

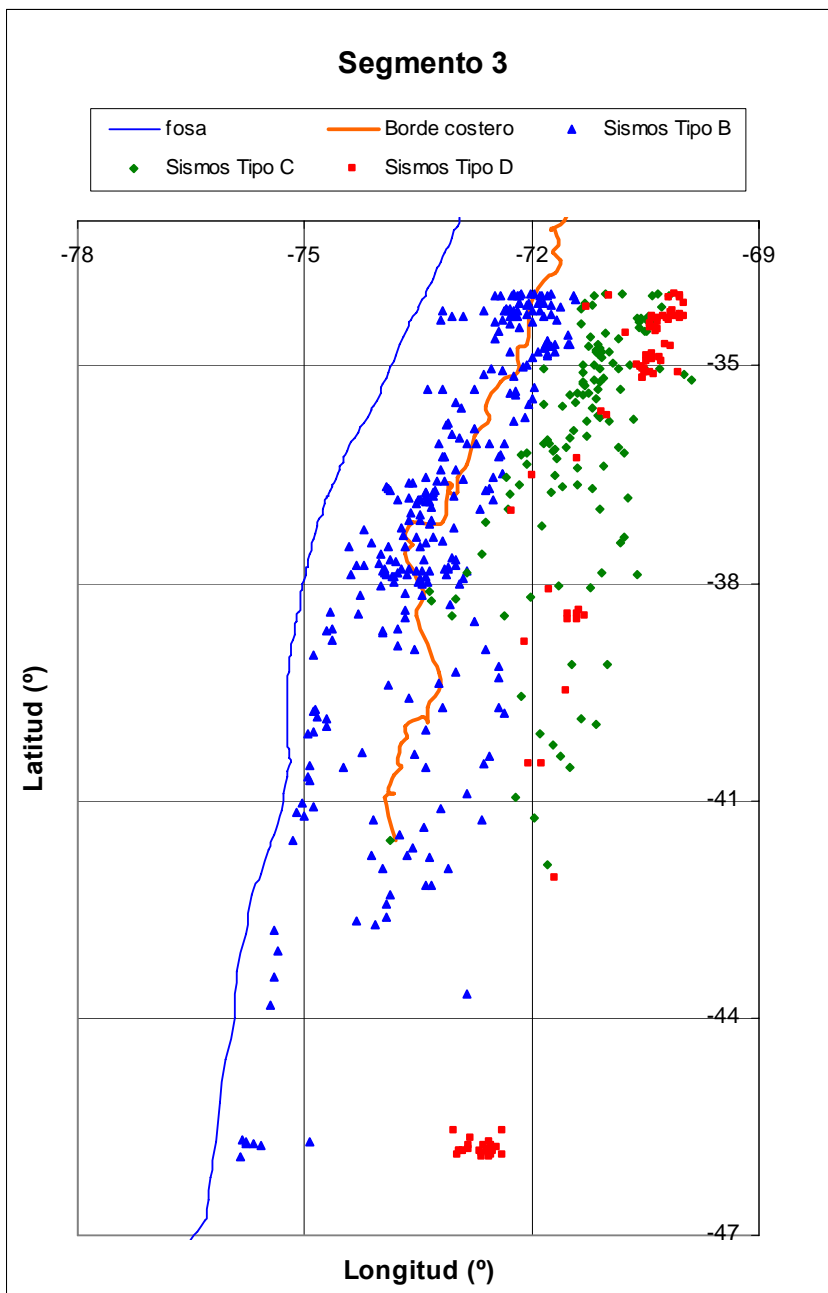


Figura 3.49: Sismos del Tipo B, C y D del segmento 3.

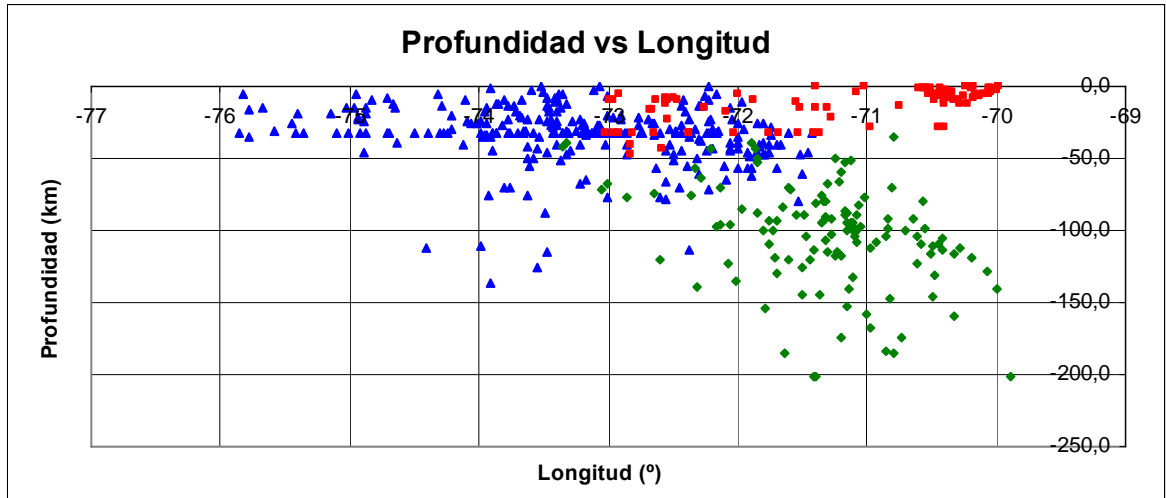


Figura 3.50: Sismos del Tipo B, C y D del segmento 3.

A diferencia de los otros dos segmentos, en este segmento se obtienen cantidades diferentes si se considera la magnitud M_s y m_b . Al agrupar los sismos de cada tipo en 4 periodos de tiempo y en 4 rangos de magnitud, se obtienen los resultados que se presentan en las tablas 3.20 a 3.27 y en las figuras 3.51 y 3.58.

Tabla 3.20: Cantidad de sismos del Tipo A del segmento 3 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud Ms.

Tipo A	1982 - 1990	1991 - 1995	1996 - 2000	2001 - 2005
M<5,5	18	6	7	10
5,5 ≤ M < 6,5	1	1	5	0
6,5 ≤ M < 7,5	0	0	0	0
7,5 ≤ M	0	0	0	0

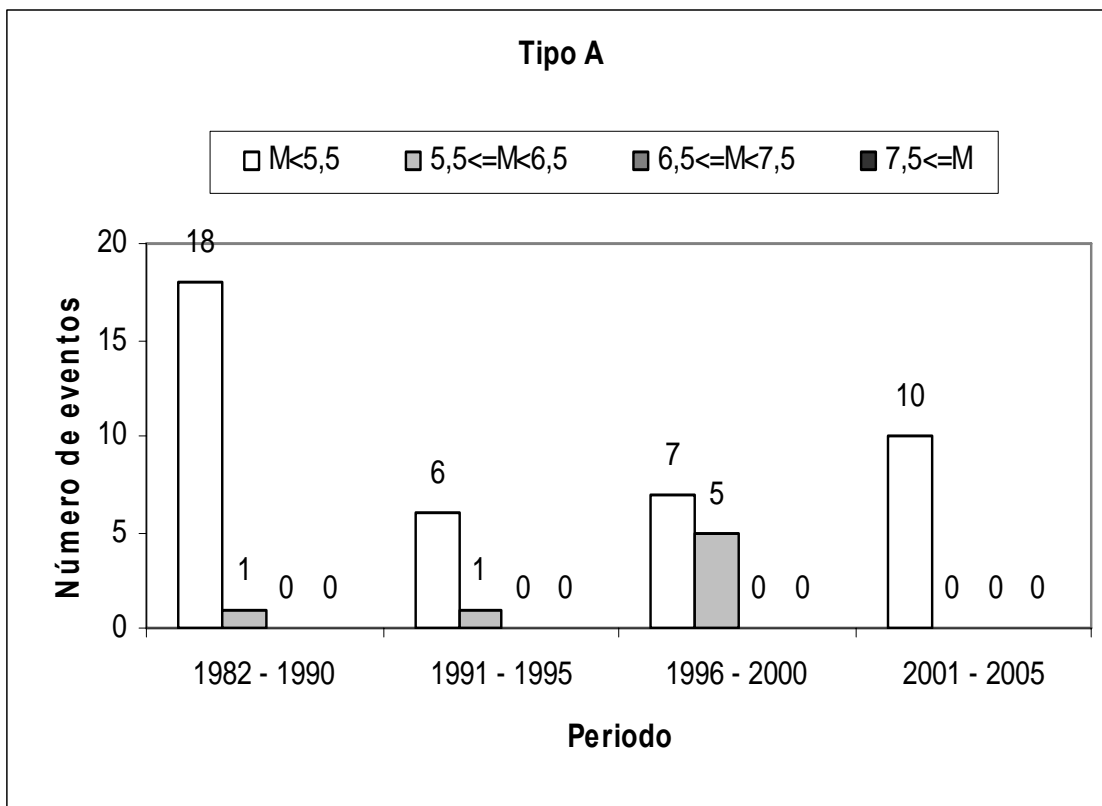


Figura 3.51: Cantidad de sismos del Tipo A del segmento 3 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud Ms.

Tabla 3.21: Cantidad de sismos del Tipo A del segmento 3 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud mb.

Tipo A	1982 - 1990	1991 - 1995	1996 - 2000	2001 - 2005
M<5,5	16	6	7	10
5,5 ≤ M < 6,5	3	1	5	0
6,5 ≤ M < 7,5	0	0	0	0
7,5 ≤ M	0	0	0	0

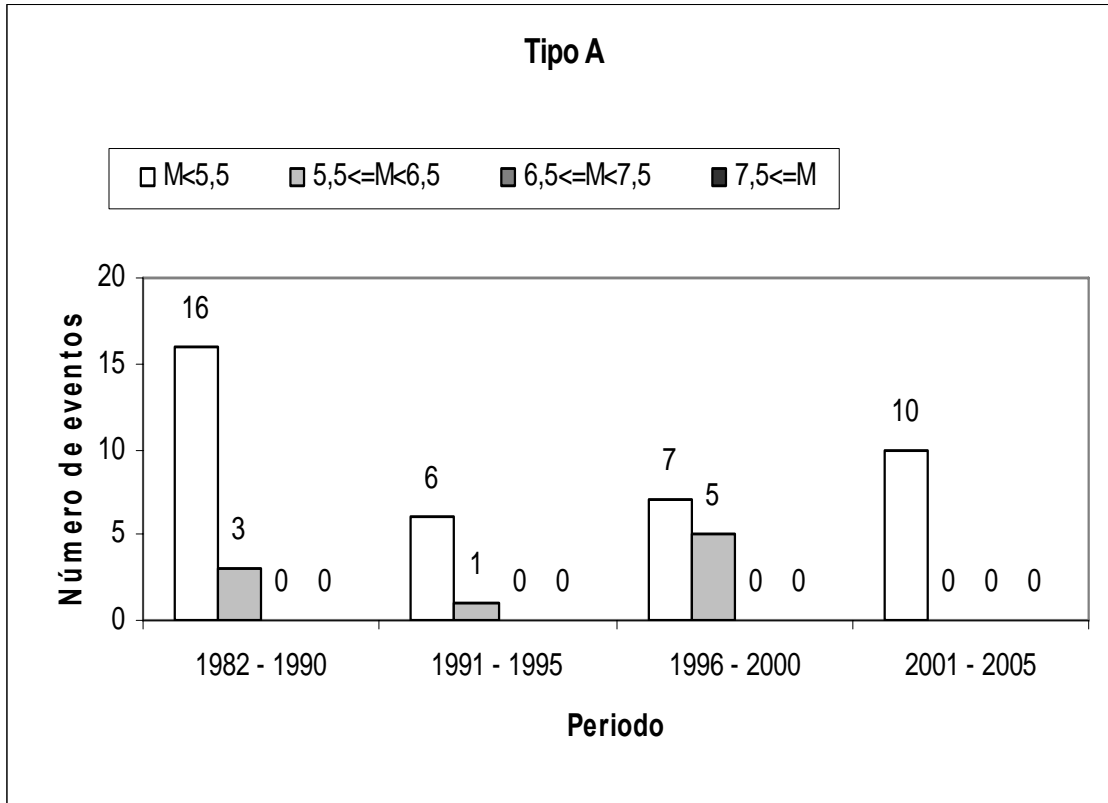


Figura 3.52: Cantidad de sismos del Tipo A del segmento 3 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud mb.

Tabla 3.22: Cantidad de sismos del Tipo B del segmento 3 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitudes Ms.

Tipo B	1982 - 1990	1991 - 1995	1996 - 2000	2001 - 2005
M<5,5	94	36	62	66
5,5 ≤ M < 6,5	9	0	1	2
6,5 ≤ M < 7,5	0	0	0	0
7,5 ≤ M	1	0	0	0

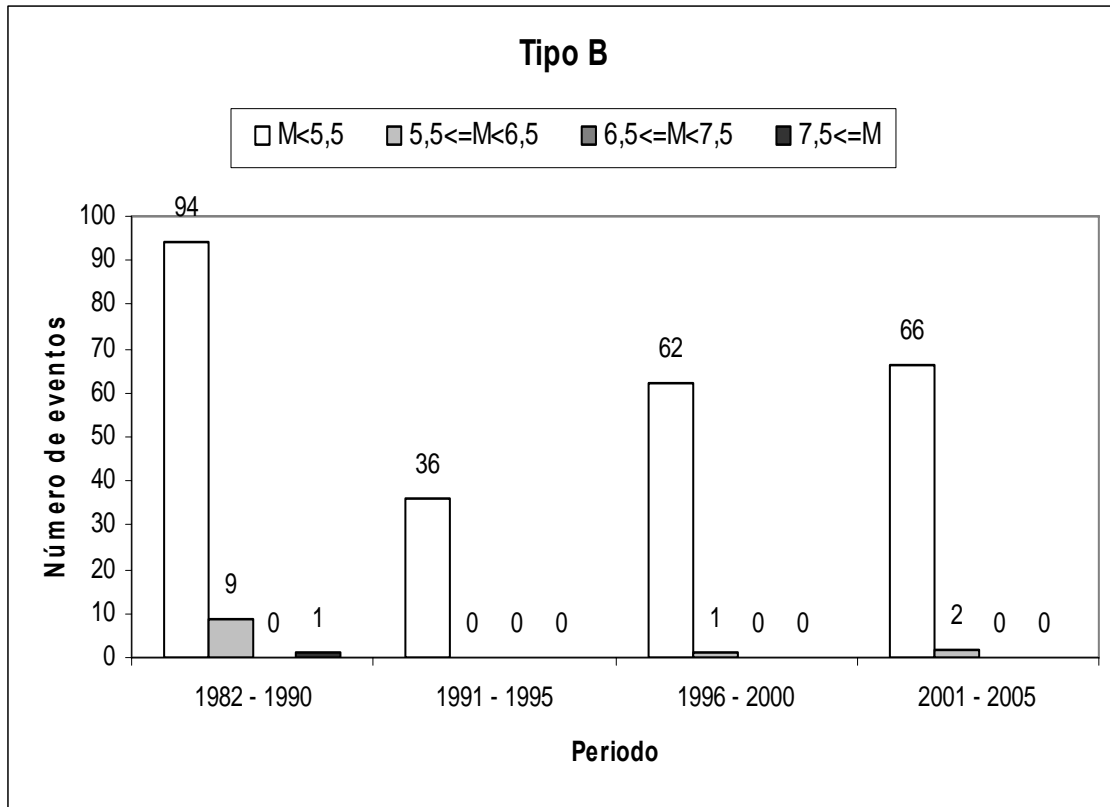


Figura 3.53: Cantidad de sismos del Tipo B del segmento 3 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud Ms.

Tabla 3.23: Cantidad de sismos del Tipo B del segmento 3 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud mb.

Tipo B	1982 - 1990	1991 - 1995	1996 - 2000	2001 - 2005
M<5,5	91	36	62	66
5,5 ≤ M < 6,5	12	0	1	2
6,5 ≤ M < 7,5	1	0	0	0
7,5 ≤ M	0	0	0	0

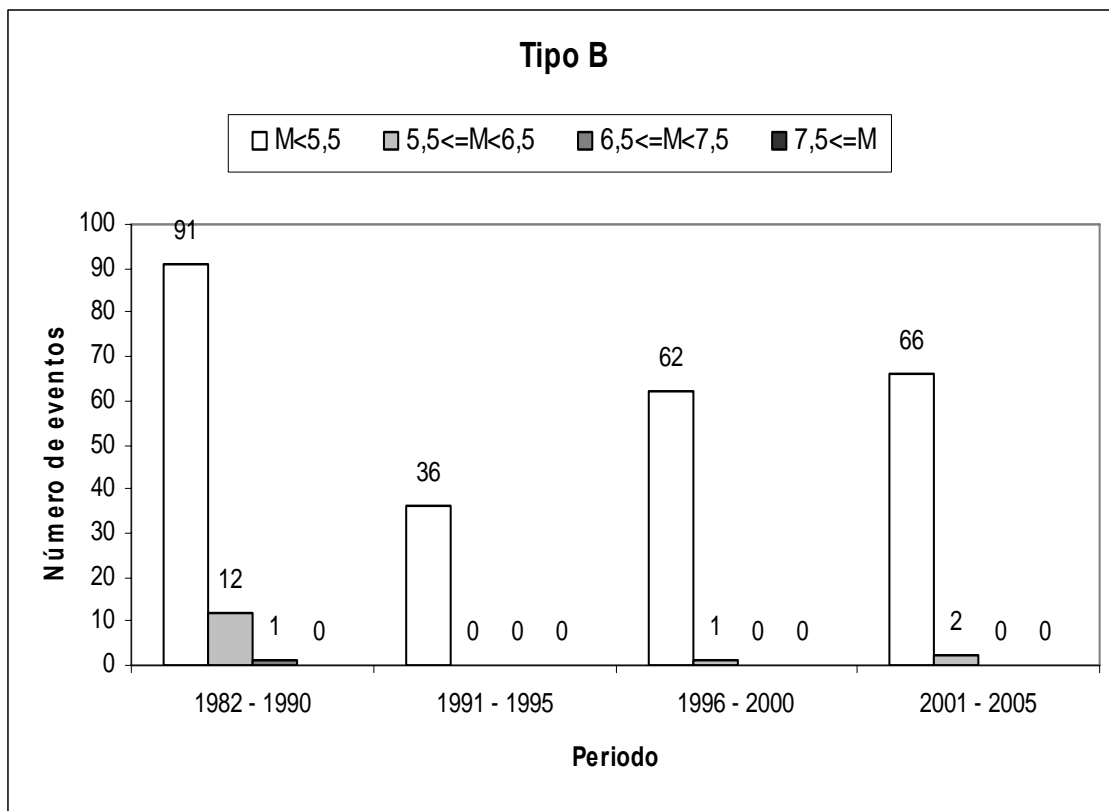


Figura 3.54: Cantidad de sismos del Tipo B del segmento 3 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud mb.

Tabla 3.24: Cantidad de sismos del Tipo C del segmento 3 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud Ms.

Tipo C	1982 - 1990	1991 - 1995	1996 - 2000	2001 - 2005
M<5,5	33	19	33	38
5,5 ≤ M < 6,5	1	0	0	0
6,5 ≤ M < 7,5	0	0	0	0
7,5 ≤ M	0	0	0	0

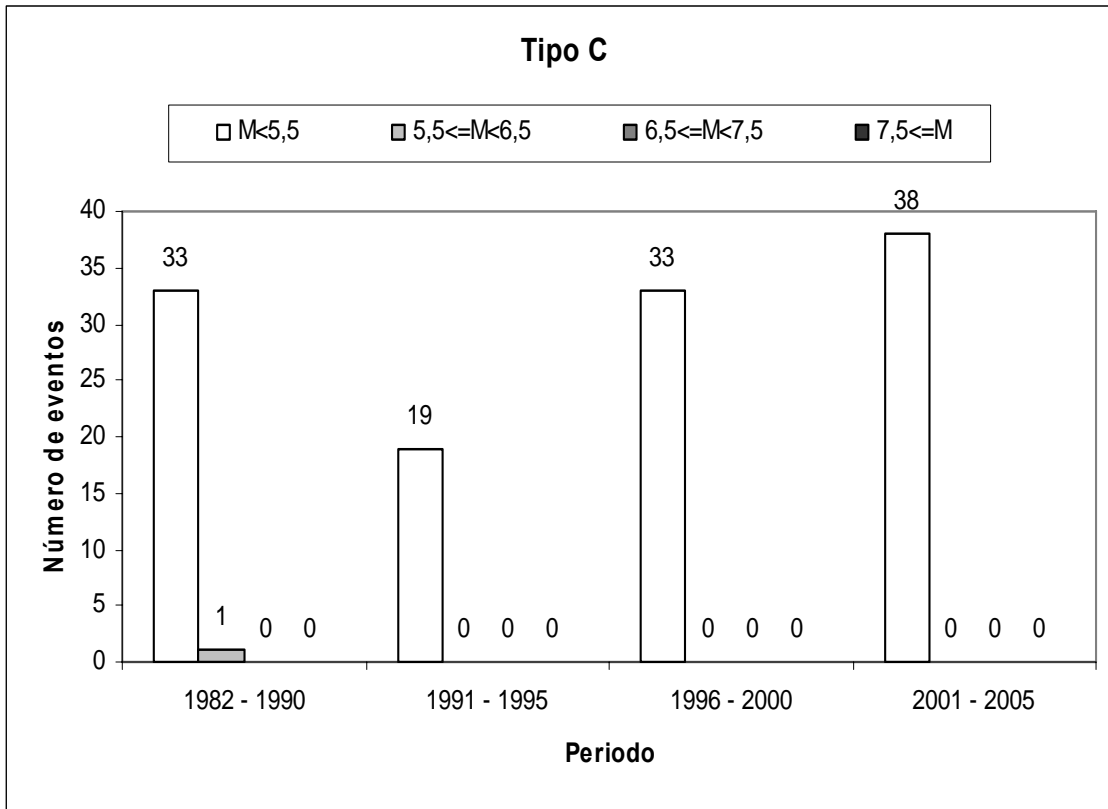


Figura 3.55: Cantidad de sismos del Tipo C del segmento 3 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud Ms.

Tabla 3.25: Cantidad de sismos del Tipo C del segmento 3 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud mb.

Tipo C	1982 - 1990	1991 - 1995	1996 - 2000	2001 - 2005
M<5,5	32	19	33	38
5,5 ≤ M < 6,5	2	0	0	0
6,5 ≤ M < 7,5	0	0	0	0
7,5 ≤ M	0	0	0	0

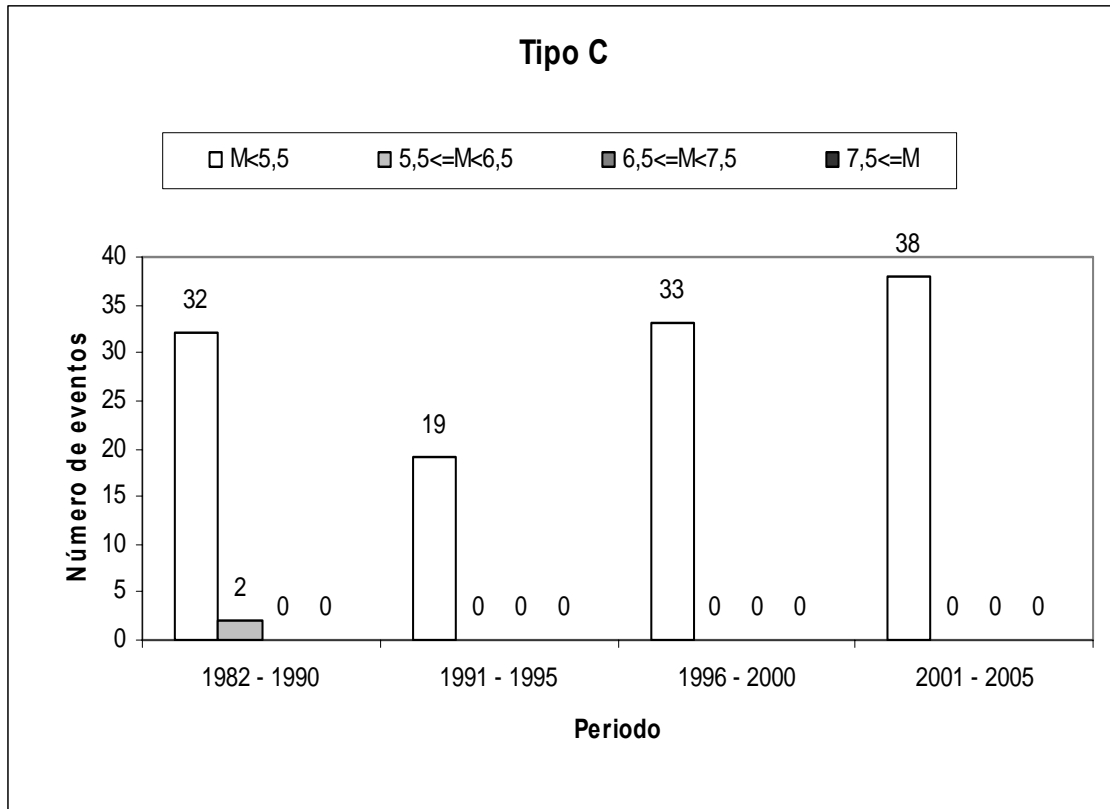


Figura 3.56: Cantidad de sismos del Tipo C del segmento 3 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud mb.

Tabla 3.26: Cantidad de sismos del Tipo D del segmento 3 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud Ms.

Tipo D	1982 - 1990	1991 - 1995	1996 - 2000	2001 - 2005
M<5,5	24	22	19	18
5,5 ≤ M < 6,5	0	1	0	1
6,5 ≤ M < 7,5	0	0	0	0
7,5 ≤ M	0	0	0	0

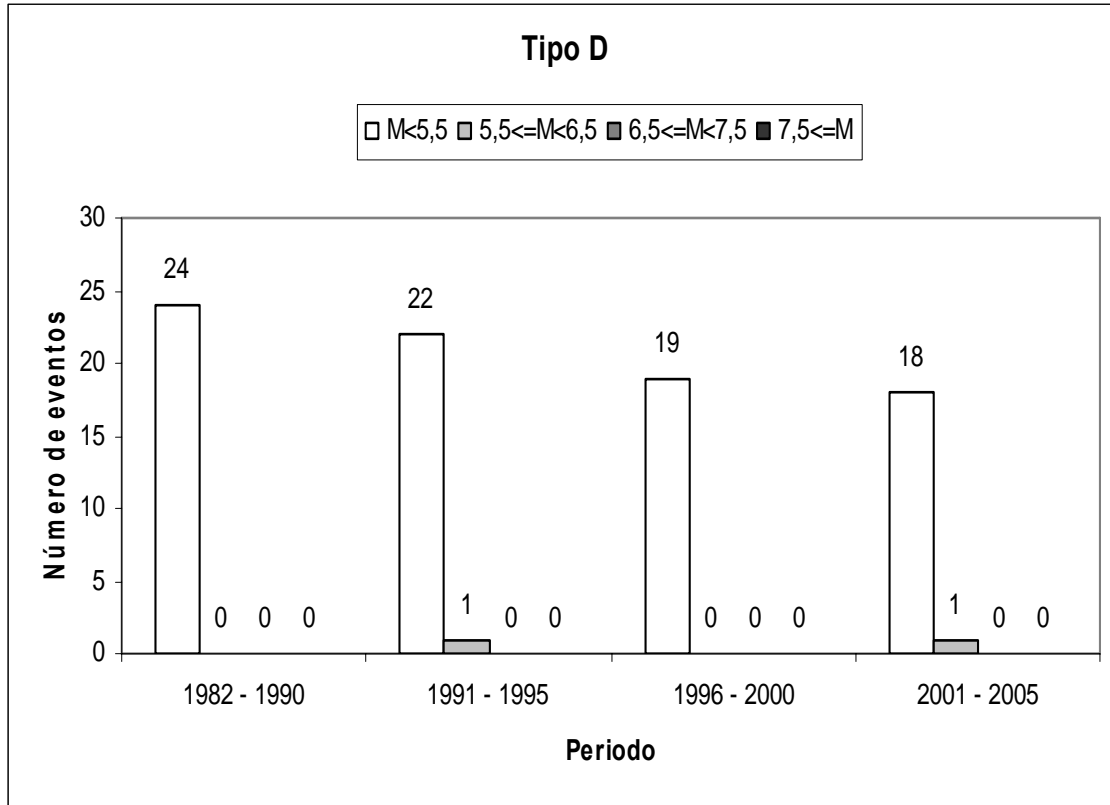


Figura 3.57: Cantidad de sismos del Tipo D del segmento 3 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud Ms.

Tabla 3.27: Cantidad de sismos del Tipo D del segmento 3 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud mb.

Tipo D	1982 - 1990	1991 - 1995	1996 - 2000	2001 - 2005
M<5,5	23	21	19	18
5,5 ≤ M < 6,5	1	2	0	1
6,5 ≤ M < 7,5	0	0	0	0
7,5 ≤ M	0	0	0	0

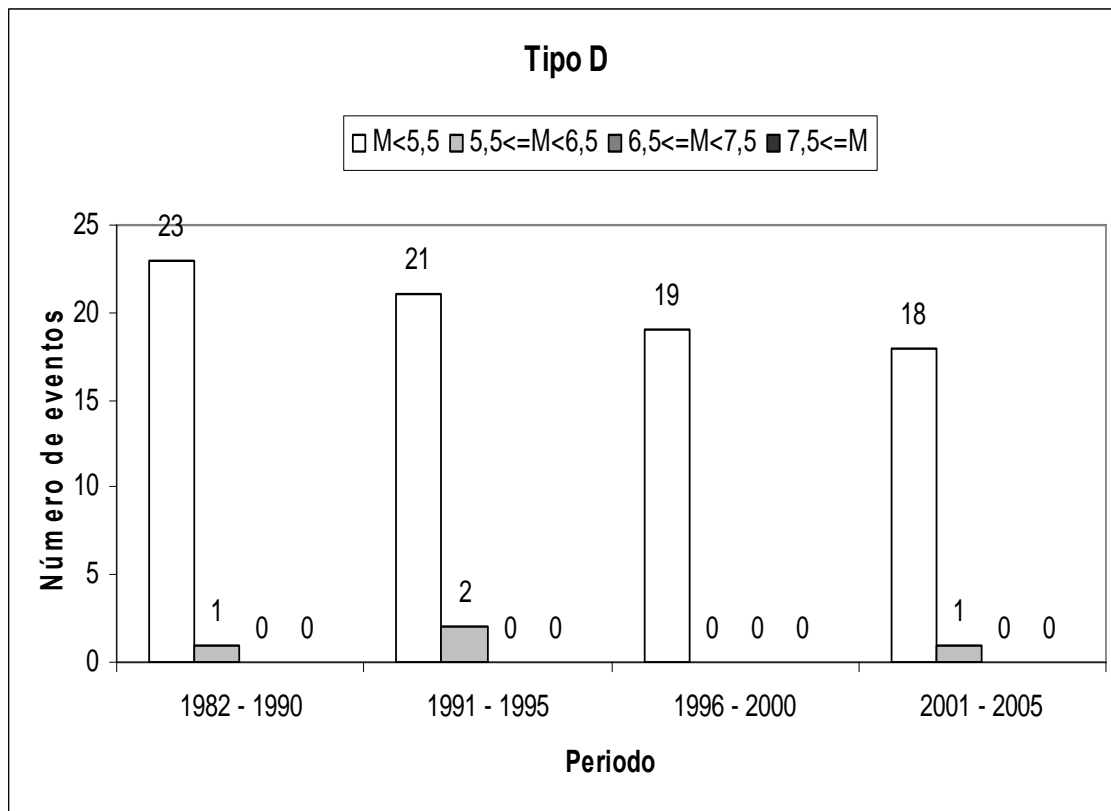
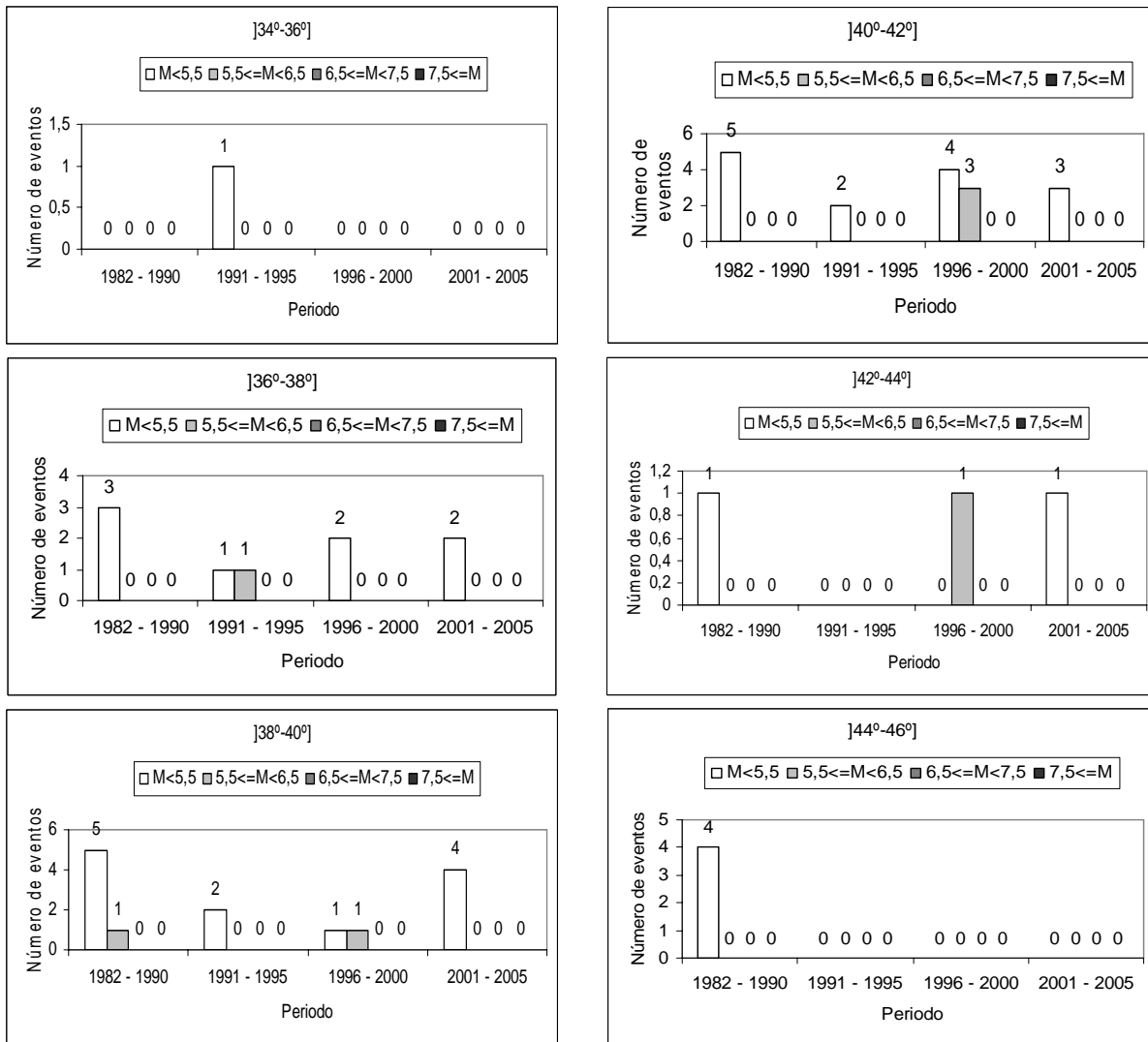


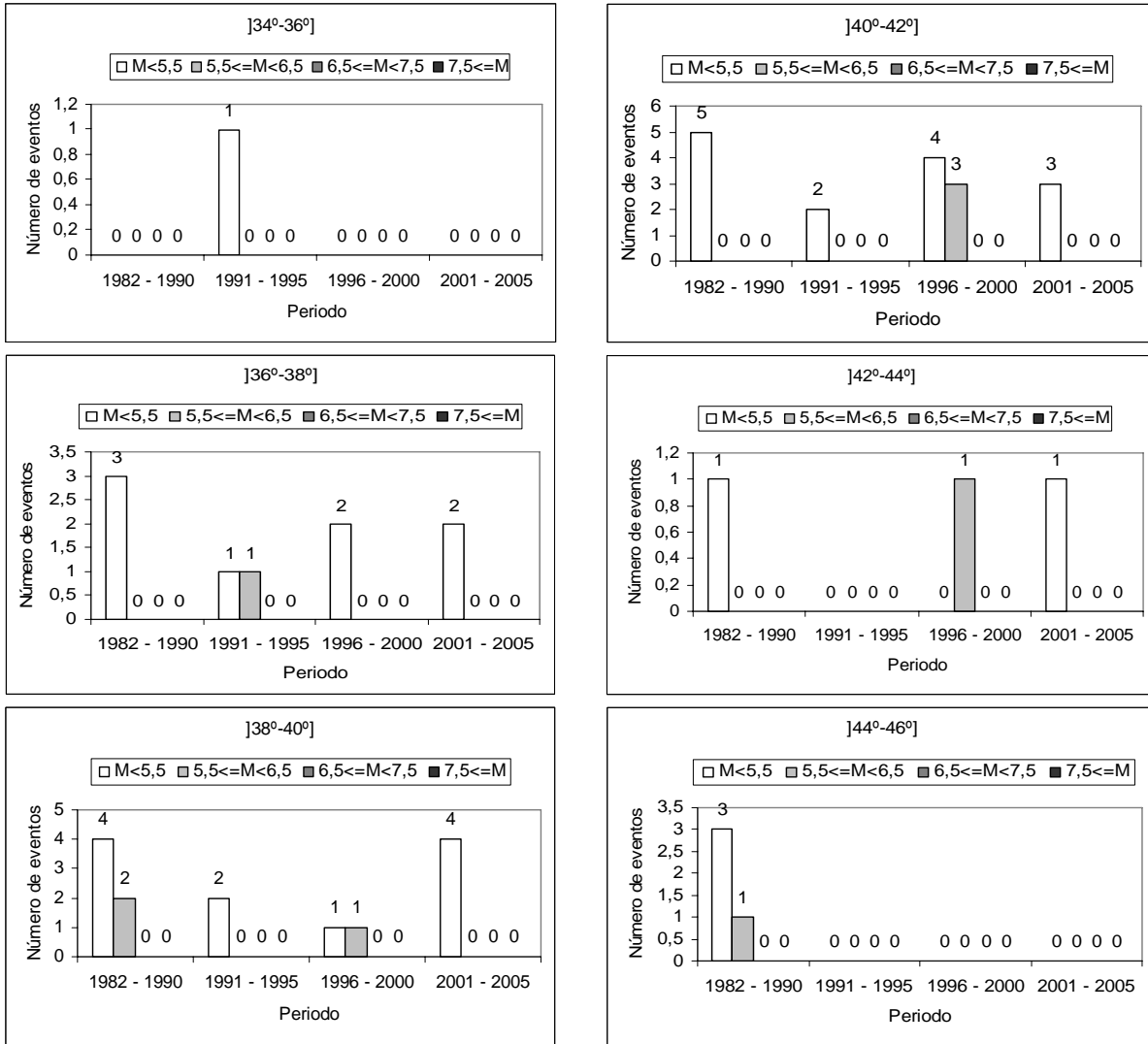
Figura 3.58: Cantidad de sismos del Tipo D del segmento 3 para cuatro períodos de tiempo y cuatro rangos de magnitud mb.

Si se divide el segmento 3 de la placa de Nazca en sectores de 2 grados de latitud y se hace el mismo análisis, se obtienen los resultados de las figuras 3.59 a 3.66.

- Sismos Tipo A del segmento 3

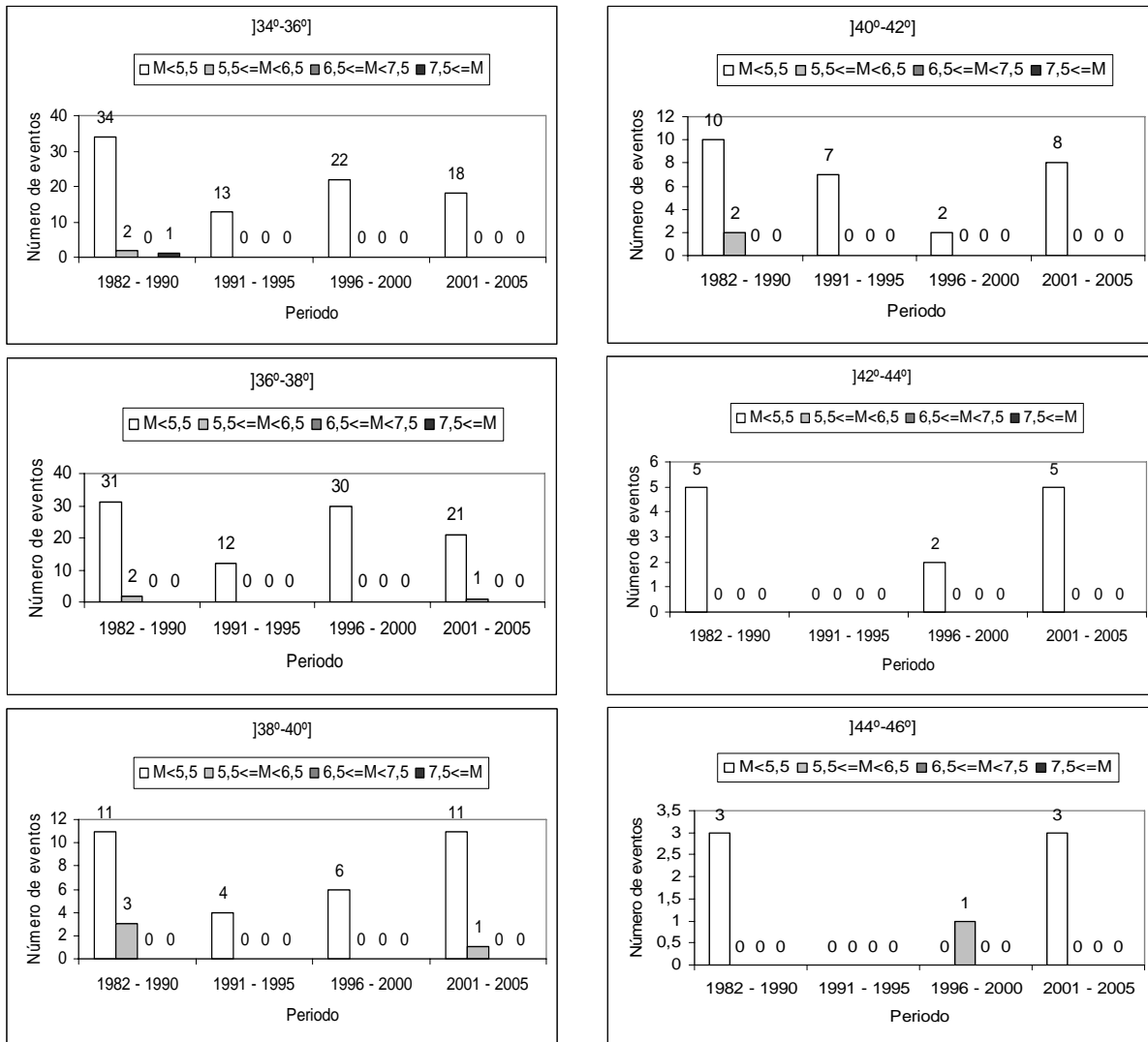


Figuras 3.59 Sismos del Tipo A del segmento 3 divididos en 6 sectores, para 4 intervalos de tiempo y 4 rangos de magnitudes Ms.

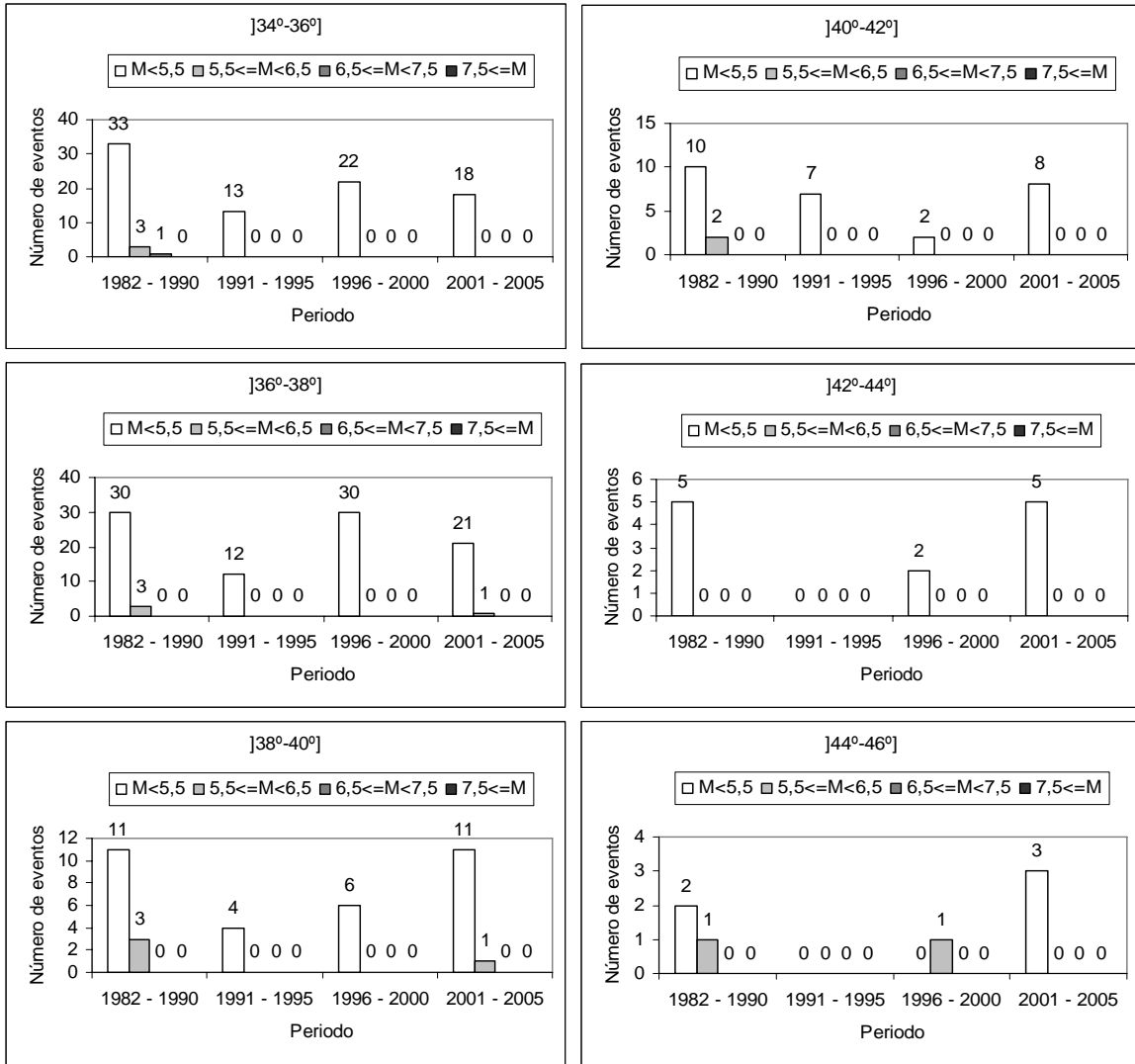


Figuras 3.60: Sismos del Tipo A del segmento 3 divididos en 6 sectores, para 4 intervalos de tiempo y 4 rangos de magnitudes mb.

- Sismos Tipo B del segmento 3

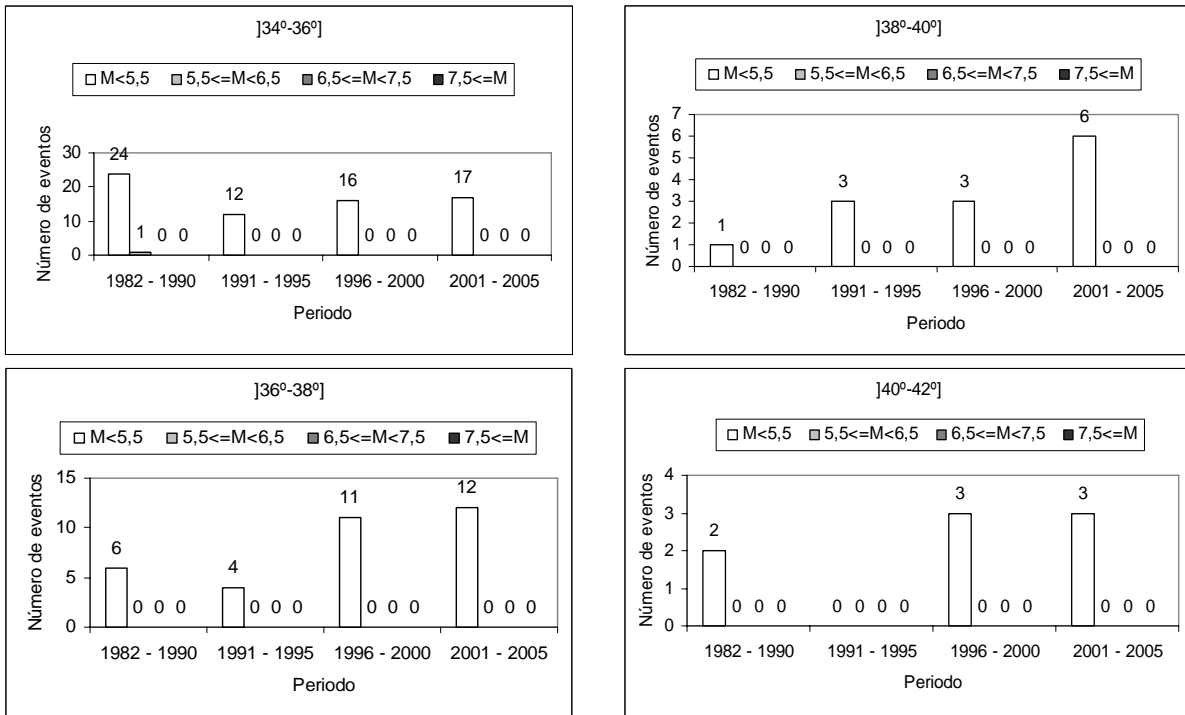


Figuras 3.61: Sismos del Tipo B del segmento 3 divididos en 6 sectores, para 4 intervalos de tiempo y 4 rangos de magnitudes Ms.



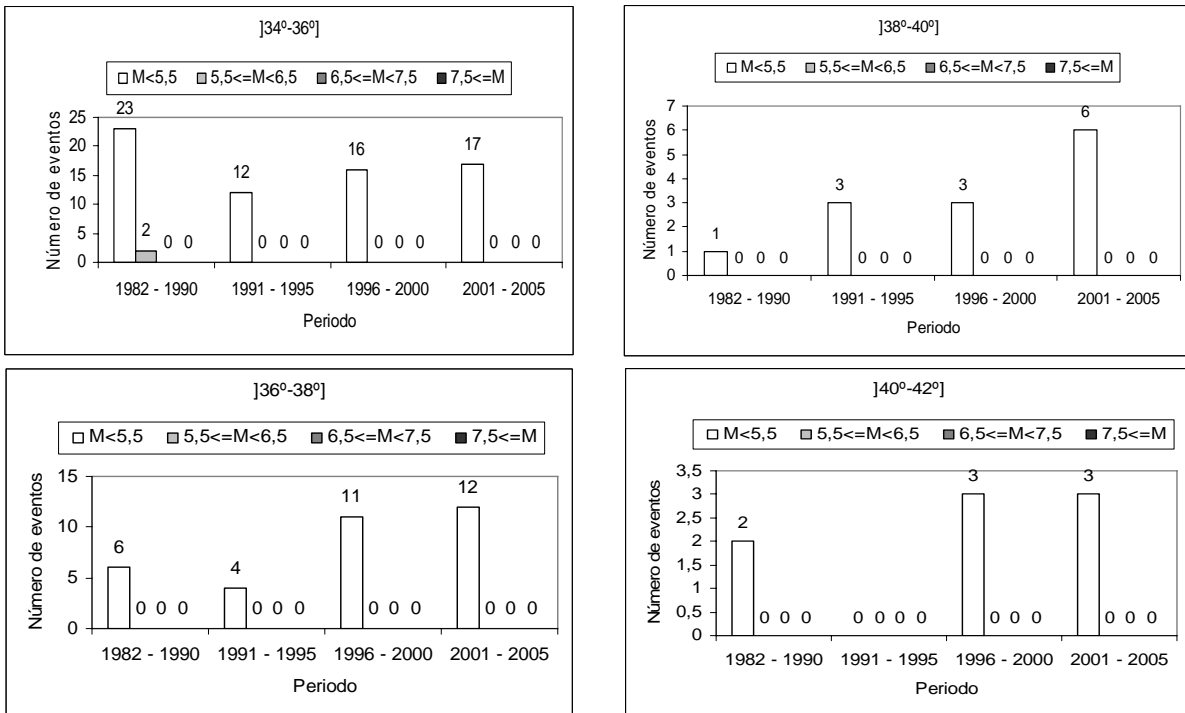
Figuras 3.62: Sismos del Tipo B del segmento 3 divididos en 6 sectores, para 4 intervalos de tiempo y 4 rangos de magnitudes mb.

- Sismos Tipo C del segmento 3



Figuras 3.63: Sismos del Tipo C del segmento 3 divididos en 6 sectores, para 4 intervalos de tiempo y 4 rangos de magnitudes Ms.

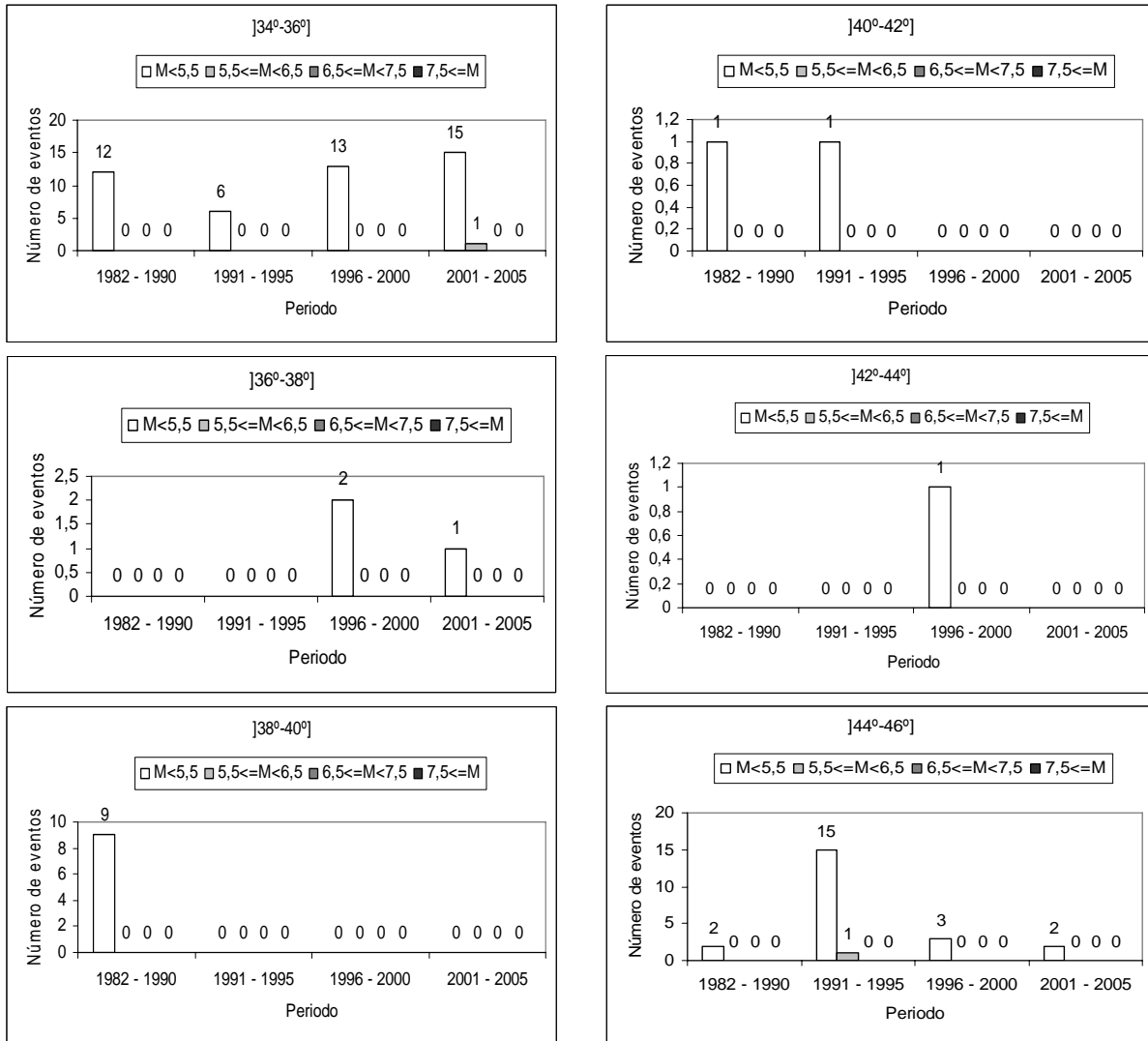
Nota: Los sectores que no aparecen se debe a que en ellos no hay sismos reportados.



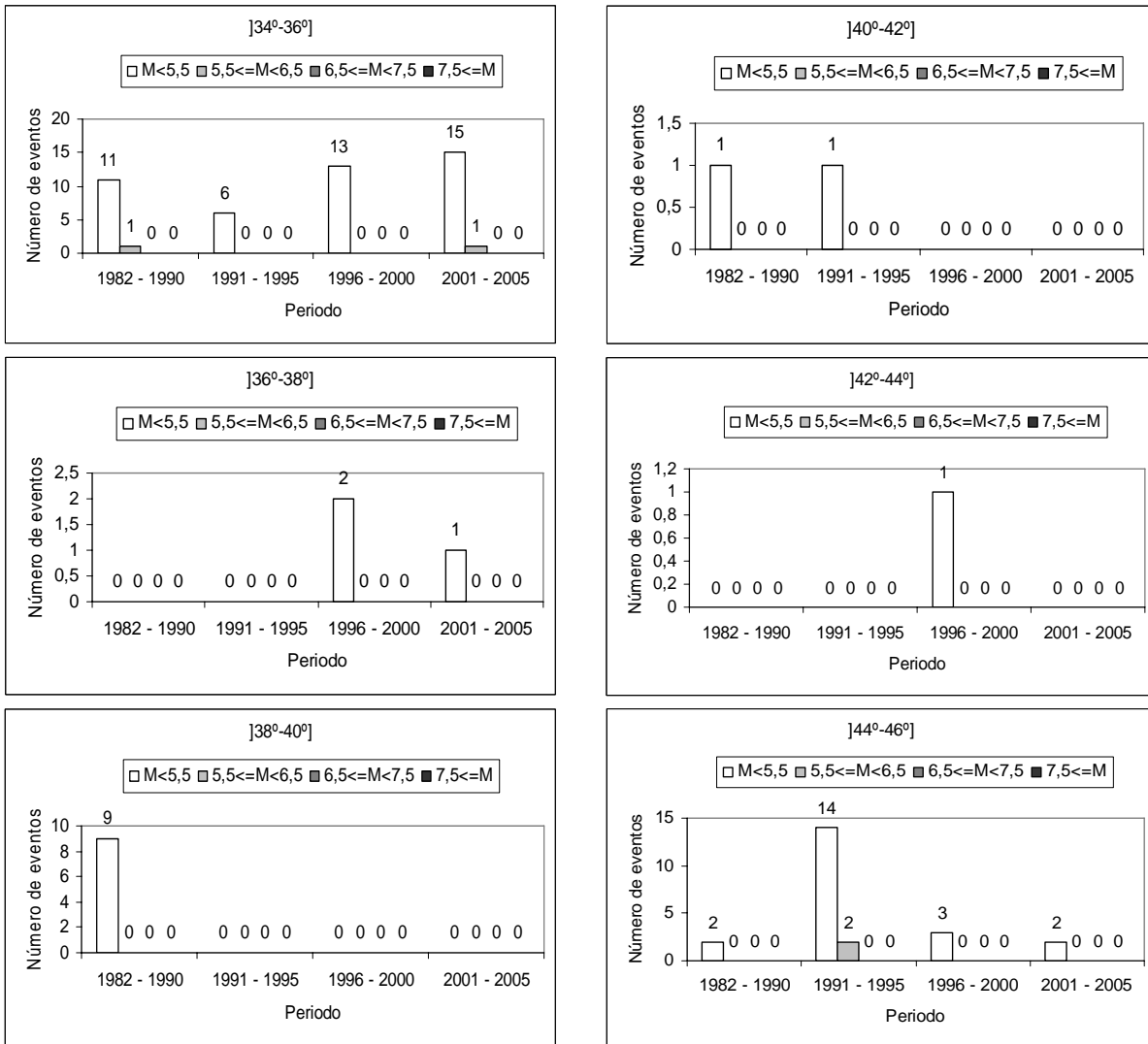
Figuras 3.64: Sismos del Tipo C del segmento 3 divididos en 6 sectores, para 4 intervalos de tiempo y 4 rangos de magnitudes mb.

Nota: Los sectores que no aparecen se debe a que en ellos no hay sismos reportados.

- Sismos Tipo D del segmento 3



Figuras 3.65: Sismos del Tipo D del segmento 3 divididos en 6 sectores, para 4 intervalos de tiempo y 4 rangos de magnitudes Ms.



Figuras 3.66: Sismos del Tipo D del segmento 3 divididos en 6 sectores, para 4 intervalos de tiempo y 4 rangos de magnitudes mb.

3.4.3 Frecuencia anual de ocurrencia de sismos para cada segmento

Entre los aspectos importantes de estudio de la sismicidad se encuentra la relación entre el tamaño y la frecuencia de ocurrencia de los sismos. Con este propósito, Gutenberg y Richter propusieron determinar que la frecuencia de los sismos para un determinado período de tiempo en una determinada región, puede ser expresada por la relación empírica de la forma siguiente:

$$\text{Log}_{10}(N) = a - b M \quad (\text{Relación de G-R})$$

Donde:

- N: es el número de eventos con magnitudes igual o mayor que un valor M.
- a: es el número de sismos con magnitudes mayores que cero durante el tiempo t, en este caso desde 1982 hasta el 2005.
- b: indica la cantidad de sismos pequeños con respecto a la cantidad de sismos grandes. Varía generalmente entre 0.7 y 1.5, mientras mayor es el valor de b, mayor es la cantidad de sismos pequeños respecto de los grandes.

Considerando tanto la magnitud M_s como m_b , a continuación se determina la frecuencia anual de ocurrencia de sismos para cada segmento en que se ha dividido la zona de contacto de la placa de Nazca considerando los cuatro tipos de sismos destacados en esta memoria.

- **Segmento 1 de la Placa de Nazca**

La frecuencia con que ocurren anualmente los sismos del segmento 1 de magnitud M_s mayor o igual a 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0 y 7.5 se indica en la tabla 3.28.

Tabla 3.28: Cantidad de sismos del segmento 1 para el periodo 1982-2005 cuya magnitud M_s es superior o igual a 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0 y 7.5.

Magnitud	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5
Cantidad de sismos	715	232	66	22	11	5	2
Sismos por año, N	29.79	9.67	2.75	0.92	0.46	0.21	0.08
$\text{Log}_{10}(N)$	1.47	0.99	0.44	-0.04	-0.34	-0.68	-1.08

Con los datos de la tabla 3.28 se obtiene que:

$$\text{Log}_{10}(N) = 5,15 - 0,84 * M_s$$

Curva que se muestra en la figura 3.67.

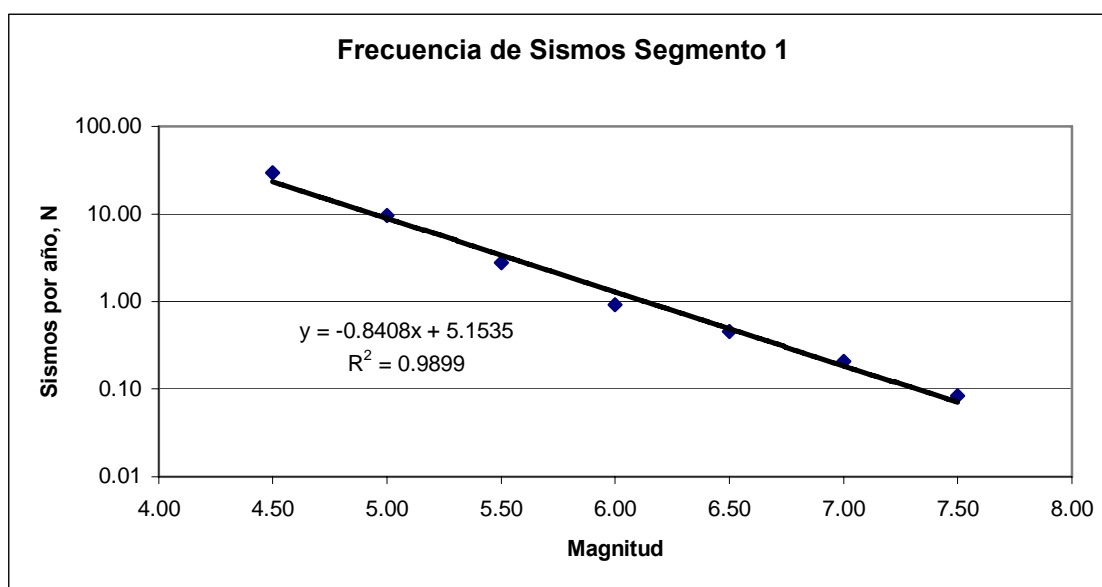


Figura 3.67: Frecuencia anual de los sismos del segmento 1 en función de la magnitud (Ms).

Del mismo modo, la frecuencia con que ocurren anualmente los sismos del segmento 1 de magnitud mb mayor o igual 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0 y 7.5 se indica en la tabla 3.29.

Tabla 3.29: Cantidad de sismos del segmento 1 para el periodo 1982-2005 cuya magnitud mb es superior o igual a 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0 y 7.5:

Magnitud	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5
Cantidad de sismos	1280	402	85	21	10	4	0
Sismos por año, N	53.33	16.75	3.54	0.88	0.42	0.17	0.00
Log ₁₀ (N)	1.73	1.22	0.55	-0.06	-0.38	-0.78	----

Con los datos de la tabla 3.29 se obtiene:

$$\text{Log}_{10}(N) = 6.28 - 1.03 * m_b$$

Curva que se muestra en la figura 3.68.

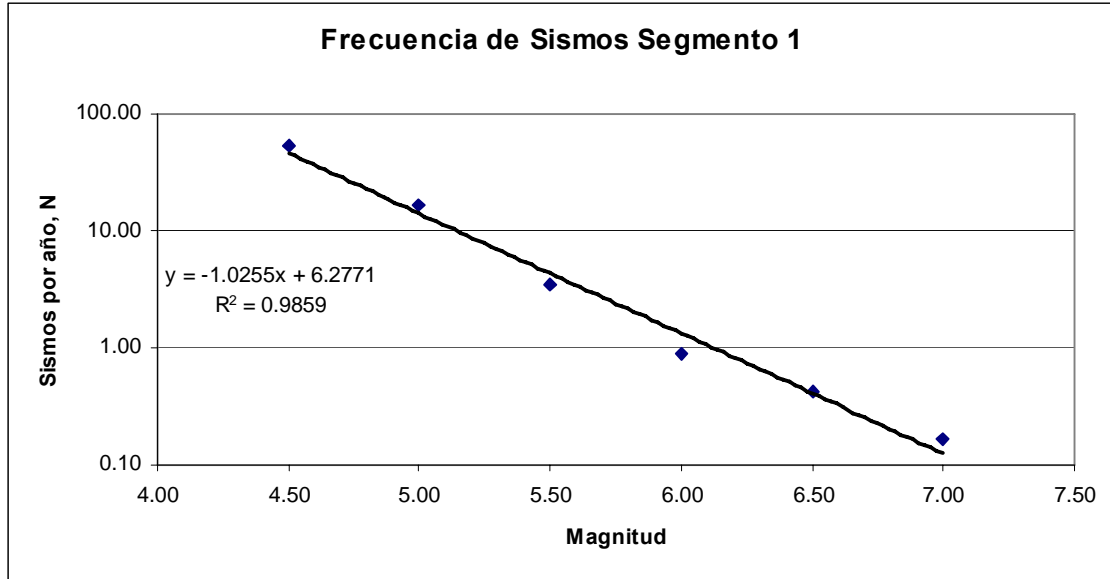


Figura 3.68: Frecuencia anual de los sismos del segmento 1 en función de la magnitud mb.

Si se hace el análisis considerando por separado los eventos de diferente tipo, es posible obtener la *relación de G-R* para los sismos del Tipo B y C. Para los sismos Tipo A y D no es posible la determinación por el pequeño número de eventos reportados.

- Sismos del Tipo B del segmento 1

Tabla 3.30: Sismos del Tipo B del segmento 1 para el periodo 1982-2005 cuya magnitud M_s es superior o igual a 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0 y 7.5.

Magnitud	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5
Cantidad de sismos	220	89	33	13	9	4	1
Sismos por año, N	9.17	3.71	1.38	0.54	0.38	0.17	0.04
$\text{Log}_{10}(N)$	0.96	0.57	0.14	-0.27	-0.43	-0.78	-1.38

Con los datos de la tabla 3.30 se obtiene:

$$\text{Log}_{10}(N) = 4.24 - 0.73 * M_s$$

Curva que se muestra en la figura 3.69.

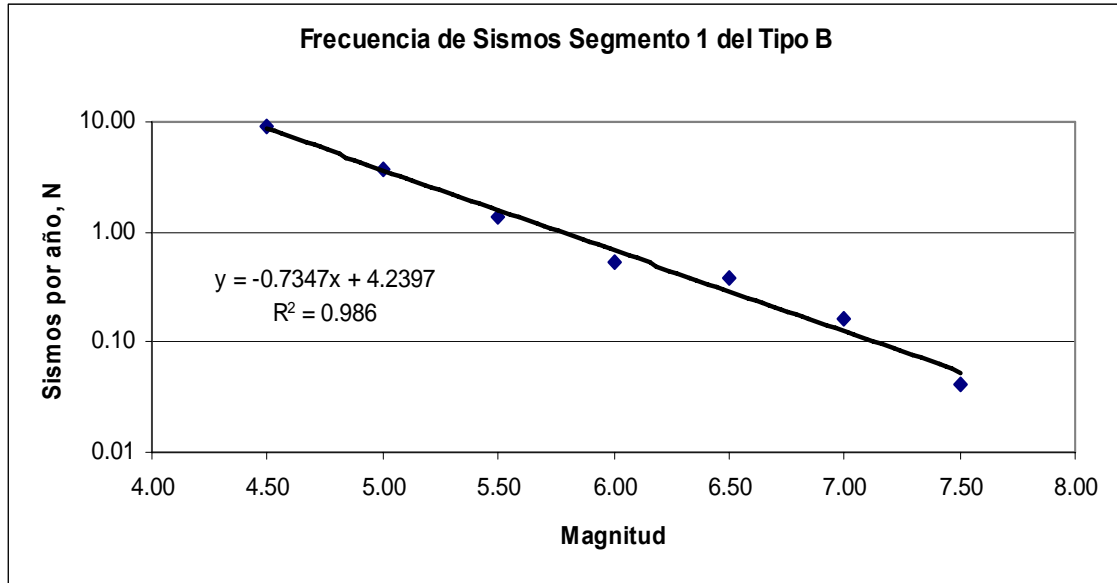


Figura 3.69: Frecuencia anual de los sismos Tipo B del segmento 1 en función de la magnitud M_s .

Del mismo modo, la frecuencia con que ocurren anualmente los sismos del segmento 1 de magnitud m_b mayor o igual a 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0 y 7.5 se indica en la tabla 3.31.

Tabla 3.31: Sismos del Tipo B del segmento 1 para el periodo 1982-2005 cuya magnitud m_b es superior o igual a 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0 y 7.5.

Magnitud	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5
Cantidad de sismos	406	134	37	12	8	3	0
Sismos por año, N	16.92	5.58	1.54	0.50	0.33	0.13	0.00
$\text{Log}_{10}(N)$	1.23	0.75	0.19	-0.30	-0.48	-0.90	---

Con los datos de la tabla 3.31 se obtiene:

$$\text{Log}_{10}(N) = 4.95 - 0.85 * m_b$$

Curva que se muestra en la figura 3.70.

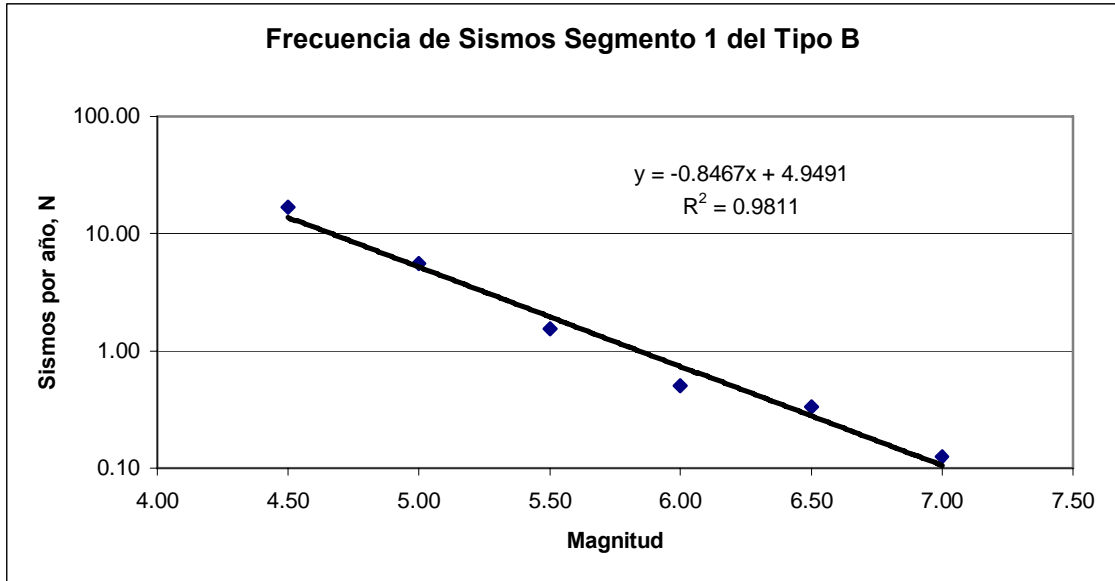


Figura 3.70: Frecuencia anual de los sismos Tipo B del segmento 1 en función de la magnitud mb.

- Sismos del Tipo C del segmento 1

Tabla 3.32: Sismos del Tipo C del segmento 1 para el periodo 1982-2005 cuya magnitud M_s es superior o igual a 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0 y 7.5.

Magnitud	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5
Cantidad de sismos	480	142	32	9	2	1	1
Sismos por año, N	20.00	5.92	1.33	0.38	0.08	0.04	0.04
$\text{Log}_{10}(N)$	1.30	0.77	0.12	-0.43	-1.08	-1.38	-1.38

Con los datos de la tabla 3.32 se obtiene:

$$\text{Log}_{10}(N) = 6.30 - 1.11 * M_s$$

Curva que se muestra en la figura 3.71.

Tanto para determinar la relación G-R como para trazar la curva de la figura 3.71 no se ha considerado el punto correspondiente a $M_s \geq 7.5$ debido a que eventos de esta magnitud no están cubiertos en el periodo de tiempo analizado.

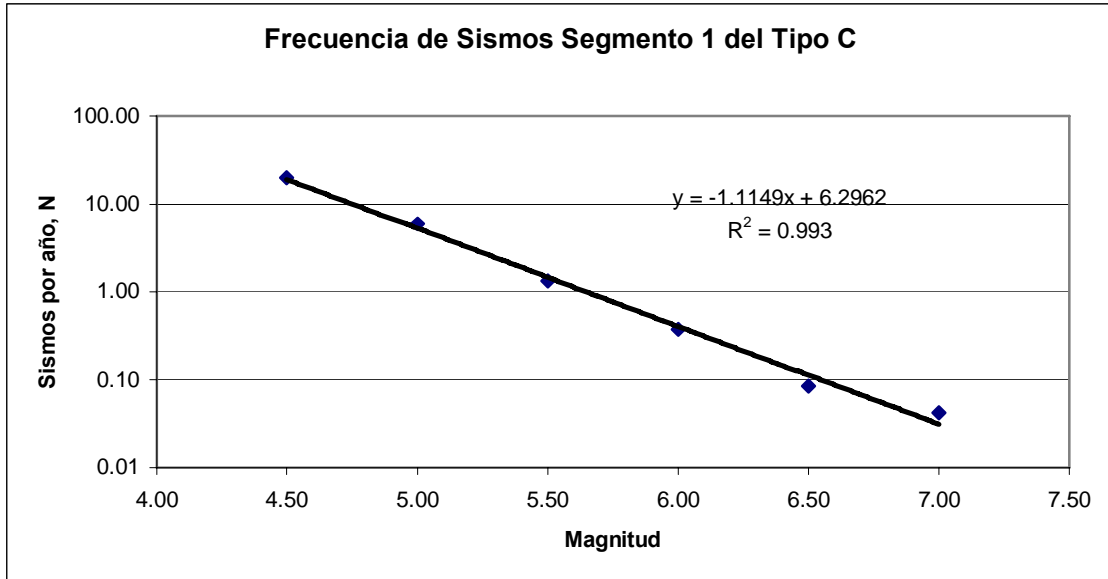


Figura 3.71: Frecuencia anual de los sismos Tipo C del segmento 1 en función de la magnitud Ms.

Del mismo modo, la frecuencia con que ocurren anualmente los sismos del segmento 1 de magnitud mb mayor o igual 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0 y 7.5 se indica en la tabla 3.33.

Tabla 3.33: Sismos del Tipo C del segmento 1 para el periodo 1982-2005 cuya magnitud mb es superior o igual a 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0 y 7.5.

Magnitud	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5
Cantidad de sismos	834	261	47	9	2	1	0
Sismos por año, N	34.75	10.88	1.96	0.38	0.08	0.04	0.00
Log ₁₀ (N)	1.54	1.04	0.29	-0.43	-1.08	-1.38	---

Con los datos de la tabla 3.33 se obtiene:

$$\text{Log}(N) = 7.12 - 1.24 * mb$$

Curva que se muestra en la figura 3.72

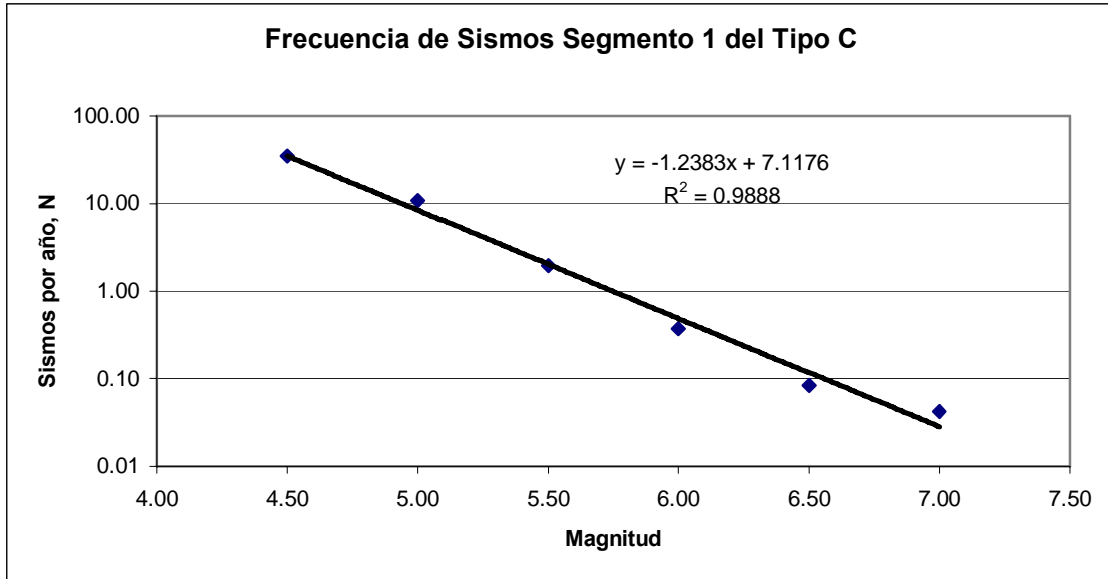


Figura 3.72: Frecuencia anual de los sismos Tipo C del segmento 1 en función de la magnitud mb.

▪ *Segmento 2 de la Placa de Nazca*

La frecuencia con que ocurren anualmente los sismos ubicados en el segmento 2 de la placa de Nazca de magnitud M_s mayor o igual a 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0 y 7.5 se indica en la tabla 3.34.

Tabla 3.34: Cantidad de sismos del segmento 2 para el periodo 1982-2005 cuya magnitud M_s es superior o igual a 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0 y 7.5

Magnitud	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5
Cantidad de sismos	847	189	63	17	7	2	1
Sismos por año, N	35.29	7.88	2.63	0.71	0.29	0.08	0.04
$\text{Log}_{10}(N)$	1.548	0.896	0.419	-0.150	-0.535	-1.079	-1.380

Con los datos de la tabla 3.34 se obtiene:

$$\text{Log}_{10}(N) = 5,83 - 0,98 * M_s$$

Curva que se muestra en la figura 3.73.

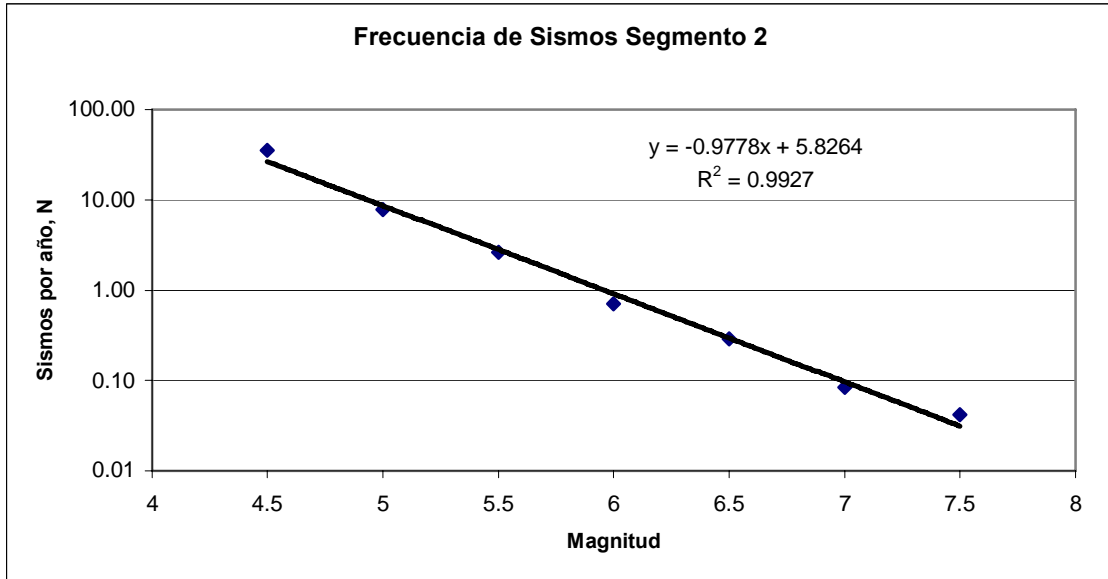


Figura 3.73: Frecuencia anual de los sismos del segmento 2 en función de la magnitud Ms

Del mismo modo, la frecuencia con que ocurren anualmente los sismos del segmento 1 de magnitud mb mayor o igual a 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0 y 7.5 se indica en la tabla 3.35.

Tabla 3.35: Cantidad de sismos del segmento 2 para el periodo 1982-2005 cuya magnitud mb es superior o igual a 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0 y 7.5.

Magnitud	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5
Cantidad de sismos	2078	349	81	15	3	2	0
Sismos por año, N	86.58	14.54	3.38	0.63	0.13	0.08	0.00
Log ₁₀ (N)	1.937	1.163	0.528	-0.204	-0.903	-1.079	---

Con los datos de la tabla 3.35 se obtiene:

$$\mathbf{Log_{10}(N) = 7.47 - 1.26*mb}$$

Curva que se muestra en la figura 3.74.

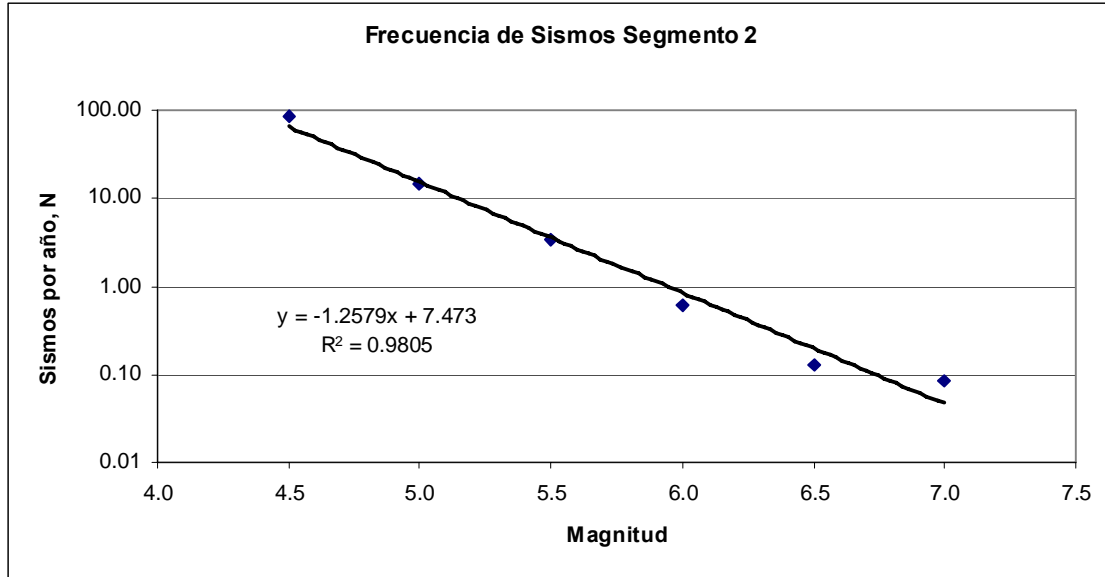


Figura 3.74: Frecuencia anual de los sismos del segmento 2 en función de la magnitud mb.

Si se hace el análisis considerando por separado los eventos de diferente tipo, es posible obtener la *relación de G-R* para los sismos del Tipo B y C. Para los sismos Tipo A y D no es posible la determinación por el pequeño número de reportados.

- Sismos del Tipo B del segmento 2

Tabla 3.36: Sismos del Tipo B del segmento 2 para el periodo 1982-2005 cuya magnitud M_s es superior o igual a 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0 y 7.5.

Magnitud	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5
Cantidad de sismos	550	127	41	12	6	2	1
Sismos por año, N	22.92	5.29	1.71	0.50	0.25	0.08	0.04
$\text{Log}_{10}(N)$	1.360	0.724	0.233	-0.301	-0.602	-1.079	-1.380

Con los datos de la tabla 3.36 se obtiene:

$$\text{Log}_{10}(N) = 5.28 - 0.90 * M_s$$

Curva que se muestra en la figura 3.75.

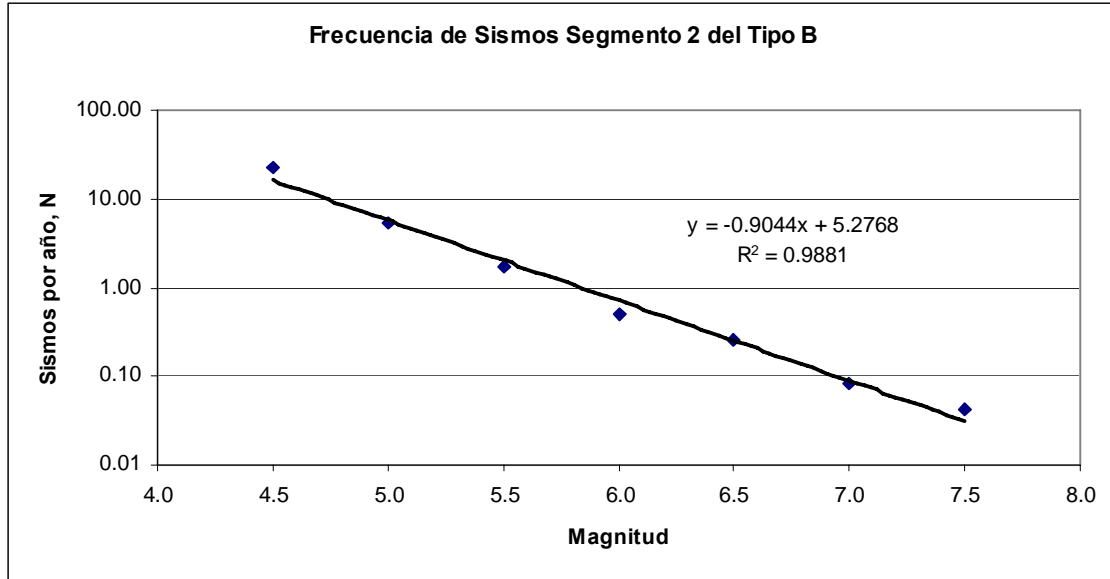


Figura 3.75: Frecuencia anual de los sismos Tipo B del segmento 2 en función de la magnitud Ms.

Del mismo modo, la frecuencia con que ocurren anualmente los sismos del segmento 1 de magnitud mb mayor o igual 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0 y 7.5 se indica en la tabla 3.37.

Tabla 3.37: Sismos del Tipo B del segmento 2 para el periodo 1982-2005 cuya magnitud mb es superior o igual a 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0 y 7.5.

Magnitud	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5
Cantidad de sismos	1320	236	54	10	3	2	0
Sismos por año, N	55.00	9.83	2.25	0.42	0.13	0.08	0.00
Log ₁₀ (N)	1.740	0.993	0.352	-0.380	-0.903	-1.079	---

Con los datos de la tabla 3.37 se obtiene:

$$\text{Log}_{10}(N) = 6.86 - 1.17 * mb$$

Curva que se muestra en la figura 3.76.

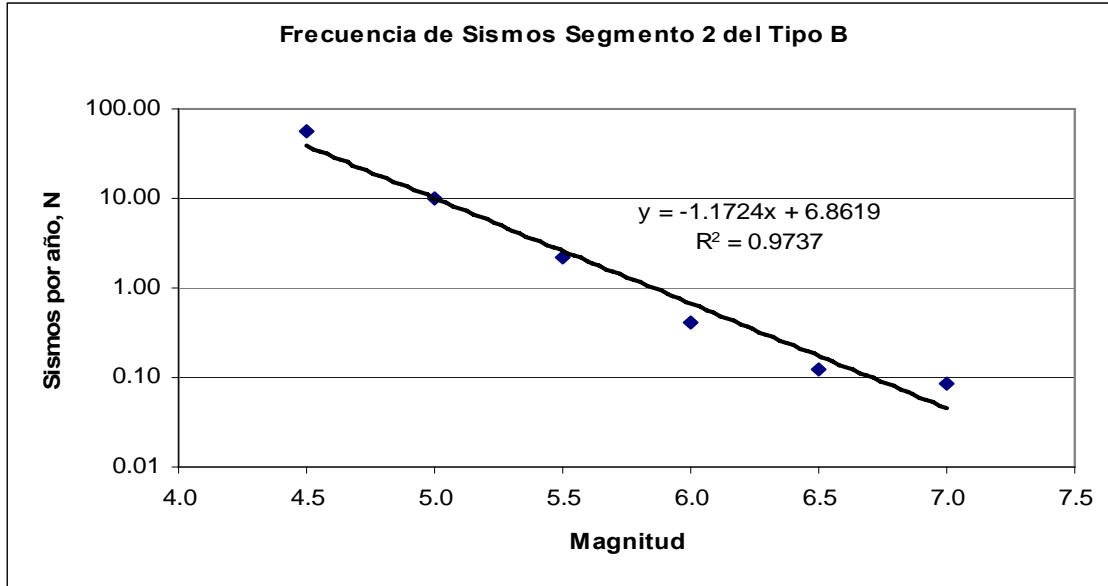


Figura 3.76: Frecuencia anual de los sismos Tipo B del segmento 2 en función de la magnitud mb.

- Sismos del Tipo C del segmento 2

Tabla 3.38: Sismos del Tipo C del segmento 2 para el periodo 1982-2005 cuya magnitud M_s es superior o igual a 4.5, 5.0, 5.5, 6.0 y 6.5.

Magnitud	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5
Cantidad de sismos	252	56	19	3	1	0	0
Sismos por año, N	10.50	2.33	0.79	0.13	0.04	0.00	0.00
$\text{Log}_{10}(N)$	1.021	0.368	-0.101	-0.903	-1.380	---	---

Con los datos de la tabla 3.38 se obtiene:

$$\text{Log}_{10}(N) = 6.48 - 1.21 * M_s$$

Curva que se muestra en la figura 3.77.

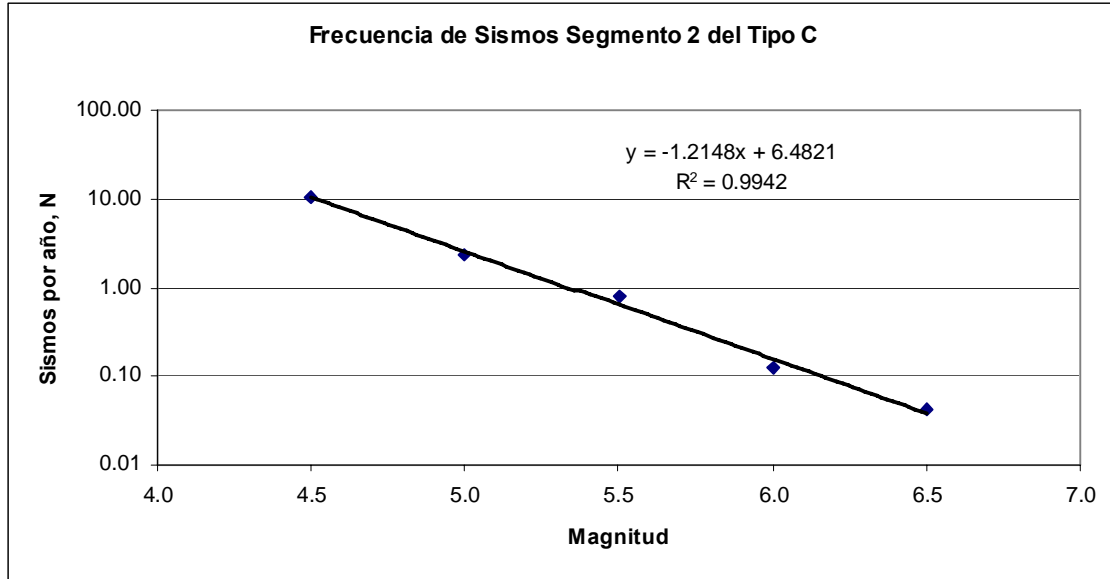


Figura 3.77: Frecuencia anual de los sismos Tipo C del segmento 2 en función de la magnitud Ms.

Tabla 3.39: Sismos del Tipo C del segmento 2 para el periodo 1982-2005 cuya magnitud Ms es superior o igual a 4.5, 5.0, 5.5, 6.0 y 6.5.

Magnitud	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5
Cantidad de sismos	602	96	24	3	0	0	0
Sismos por año, N	25.08	4.00	1.00	0.13	0.00	0.00	0.00
Log(N)	1.399	0.602	0.000	-0.903	---	---	---

Con los datos de la tabla 3.39 se obtiene:

$$\text{Log}_{10}(N) = 8.16 - 1.50 \cdot mb$$

Curva que se muestra en la figura 3.78.

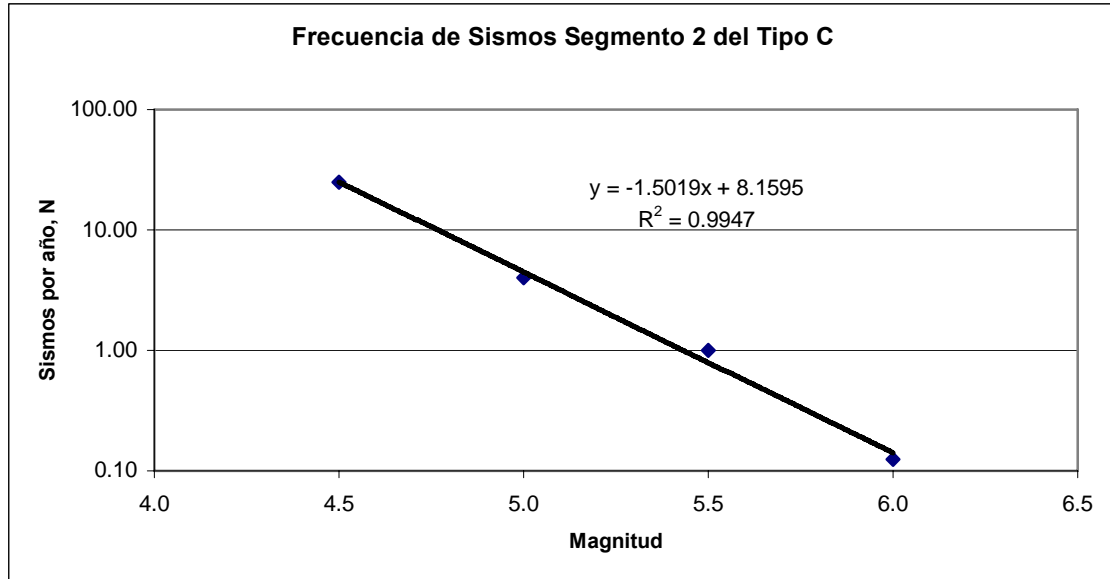


Figura 3.78: Frecuencia anual de los sismos Tipo C del segmento 2 en función de la magnitud mb.

▪ *Segmento 3 de la Placa de Nazca*

La frecuencia con que ocurren anualmente los sismos del segmento 3 de magnitud Ms mayor o igual a 4.5, 5, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0 y 7.5 se indica en la tabla 3.40.

Tabla 3.40: Cantidad de sismos del segmento 3 para el periodo 1982-2005 cuya magnitud Ms es superior o igual a 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0 y 7.5.

Magnitud	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5
Cantidad de sismos	214	72	23	8	1	1	1
Sismos por año, N	8,92	3,00	0,96	0,33	0,04	0,04	0,04
Log ₁₀ (N)	0,950	0,477	-0,018	-0,477	-1,380	-1,380	-1,380

Con los datos de la tabla 3.40 se obtiene la relación:

$$\text{Log}_{10}(N) = 5.25 - 0.96 * M_s$$

Curva que se muestra en la figura 3.79.

Tanto para determinar la relación G-R como para trazar la curva de la figura 3.79 no se ha considerado el punto correspondiente a Ms ≥ 6.5 debido a que eventos de esta magnitud no están cubiertos en el periodo de tiempo analizado.

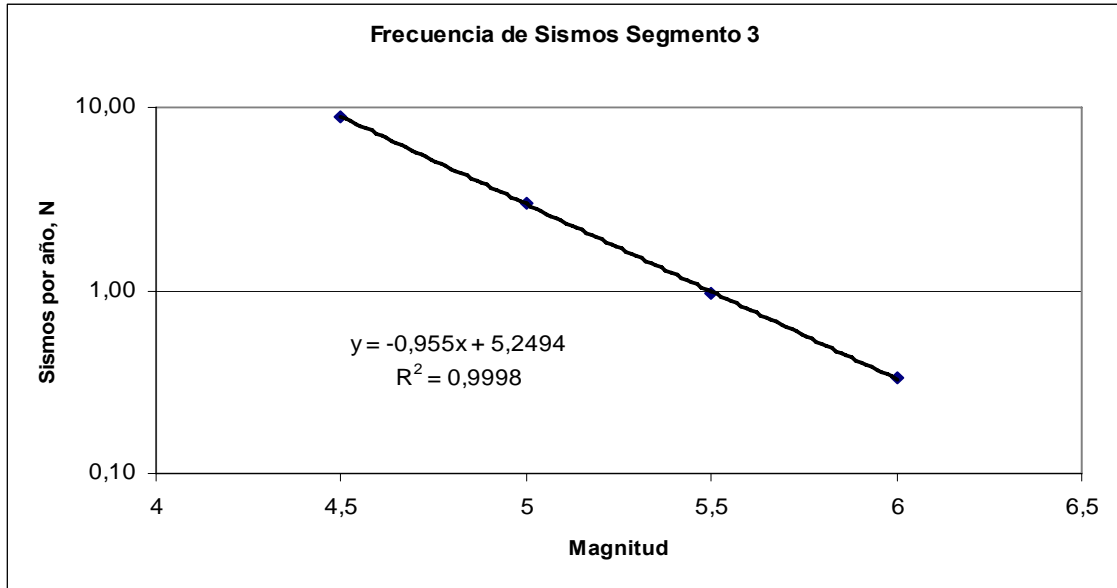


Figura 3.79: Frecuencia anual de los sismos del segmento 3 en función de la magnitud Ms.

Del mismo modo, la frecuencia con que ocurren anualmente los sismos del segmento 1 de magnitud mb mayor o igual 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0 y 7.5 se indica en la tabla 3.41.

Tabla 3.41: Cantidad de sismos del segmento 3 para el periodo 1982-2005 cuya magnitud mb es superior o igual a 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0 y 7.5.

Magnitud	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5
Cantidad de sismos	475	109	32	7	1	1	0
Sismos por año, N	19,79	4,54	1,33	0,29	0,04	0,04	0,00
Log ₁₀ (N)	1,296	0,657	0,125	-0,535	-1,380	-1,380	---

Al igual que para el caso anterior, en la determinación de la relación G-R no se consideran los últimos tres puntos.

Con los datos de la tabla 3.40 se obtiene la relación:

$$\text{Log}_{10}(N) = 6.71 - 1.20 * mb$$

Curva que se muestra en la figura 3.80.

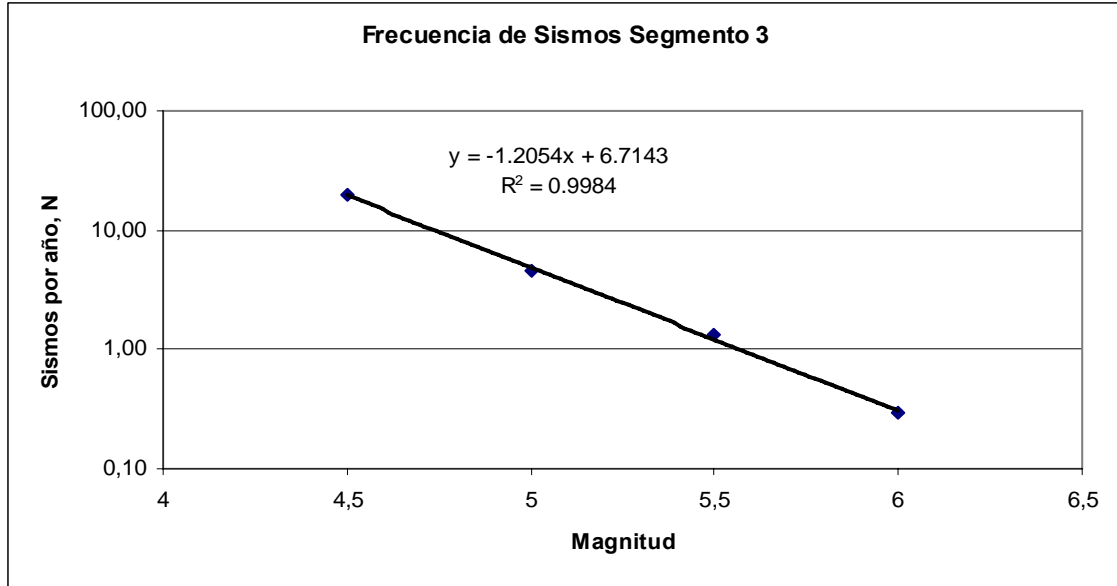


Figura 3.80: Frecuencia anual de los sismos del segmento 3 en función de la magnitud mb.

Con el propósito de comparar las relaciones G-R que se obtienen en los tres segmentos en que se ha dividido la placa de Nazca, en la figura 3.81 se muestran las curvas de las figuras 3.67, 3.73 y 3.79 (magnitud $M = M_s$) y en la figura 3.82 se muestran las curvas de las figuras 3.68, 3.74 y 3.80 (magnitud $M = m_b$).

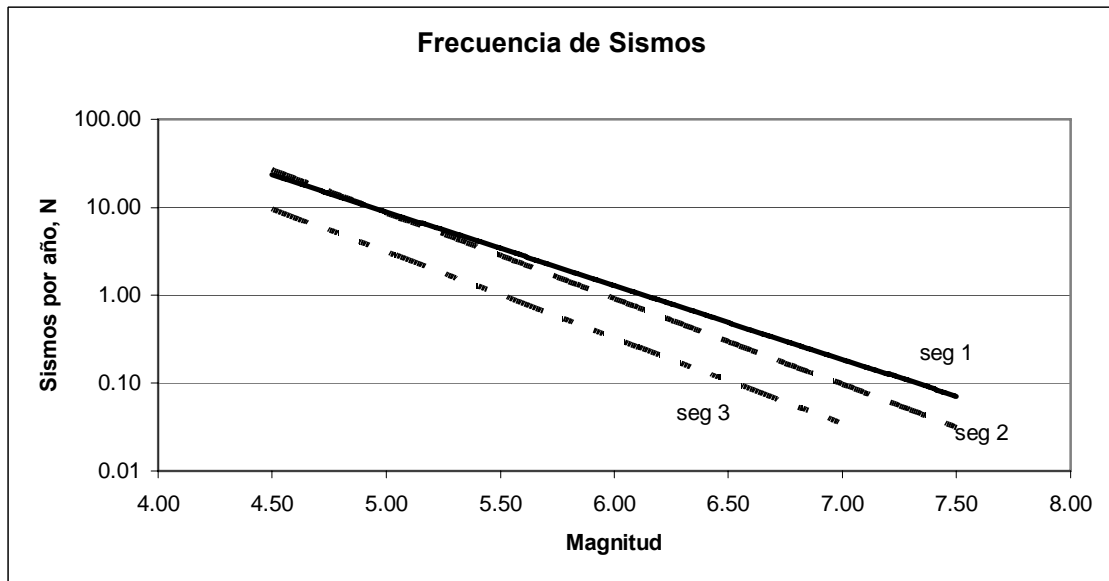


Figura 3.81: Frecuencia anual de los sismos del segmento 1 (línea continua), del segmento 2 (línea segmentada) y segmento 3 (línea segmentada y punteada) utilizando la magnitud M_s .

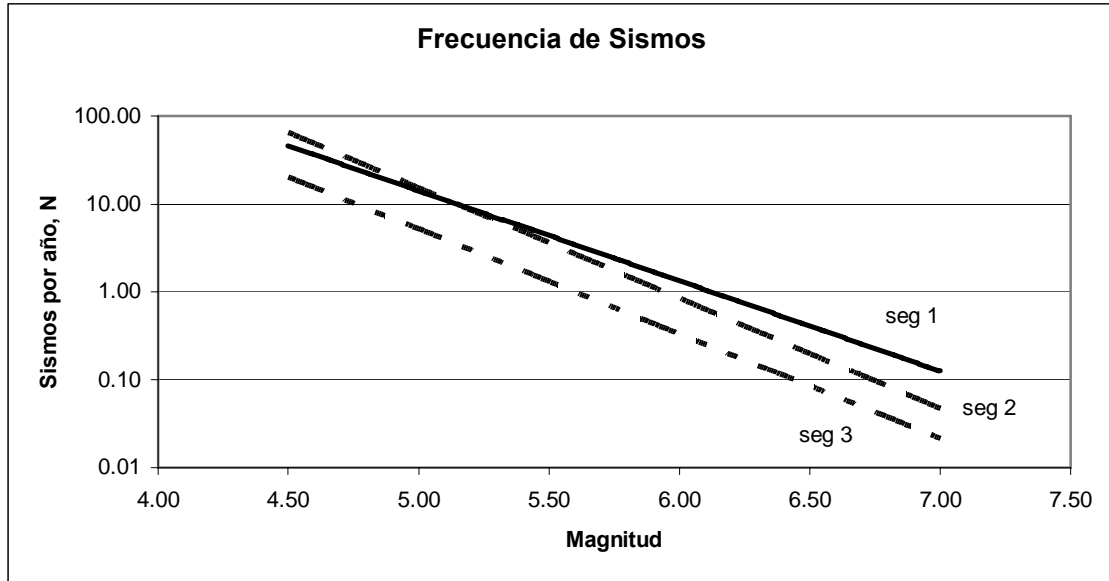


Figura 3.82: Frecuencia anual de los sismos del segmento 1 (línea continua), del segmento 2 (línea segmentada) y segmento 3 (línea segmentada y punteada) utilizando la magnitud mb.

Si se realiza el mismo análisis sin diferenciar ni por segmento ni por tipo, se obtienen los resultados de las tablas 3.42 y 3.43.

Tabla 3.42: Cantidad de sismos en todo el país para el periodo 1982-2005 cuya magnitud M_s es superior o igual a 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0 y 7.5.

Magnitud	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5
Cantidad de sismos	1791	498	152	47	19	8	4
Sismos por año, N	74.63	20.75	6.33	1.96	0.79	0.33	0.17
$\text{Log}_{10}(N)$	1.873	1.317	0.802	0.292	-0.101	-0.477	-0.778

Con los datos de la tabla 3.42, se obtiene la relación

$$\text{Log}_{10}(N) = 5.75 - 0.89 * M_s$$

Curva que se muestra en la figura 3.83.

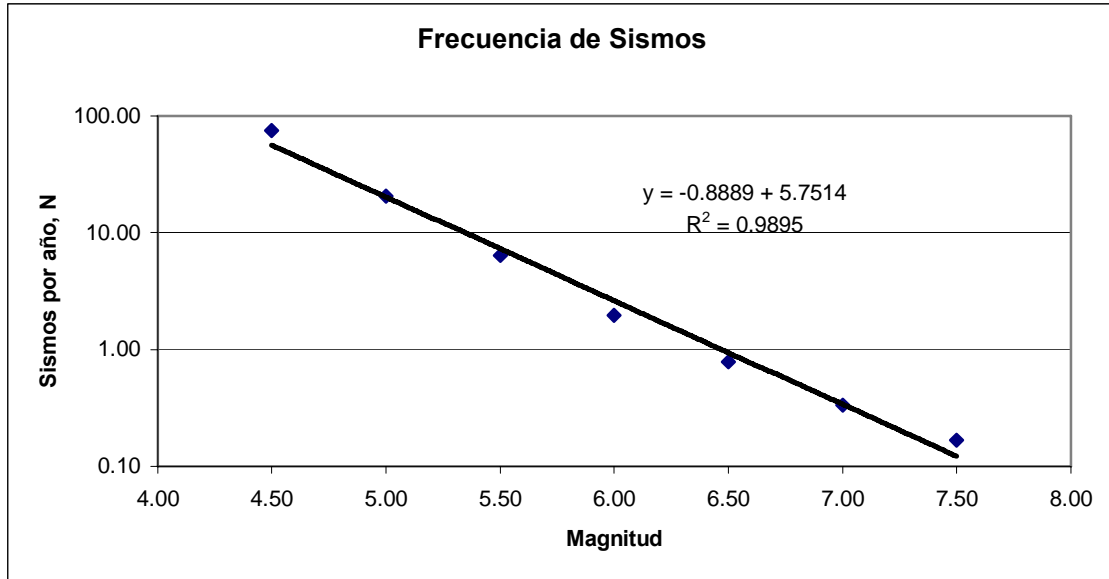


Figura 3.83: Frecuencia anual de los sismos de todo el país en función de la magnitud Ms.

Del mismo modo, la frecuencia con que ocurren anualmente los sismos de magnitud mb mayor o igual 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0 y 7.5 se indica en la tabla 3.43.

Tabla 3.43: Cantidad de sismos de todo el país para el periodo 1982-2005 cuya magnitud mb es superior o igual a 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0 y 7.5.

Magnitud	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5
Cantidad de sismos	3858	869	198	44	14	7	0
Sismos por año, N	160.75	36.21	8.25	1.83	0.58	0.29	0.00
Log ₁₀ (N)	2.206	1.559	0.916	0.263	-0.234	-0.535	---

Con los datos de la tabla 3.42, se obtiene la relación:

$$\text{Log}(N) = 7.18 - 1.13 * mb$$

Curva que se muestra en la figura 3.84.

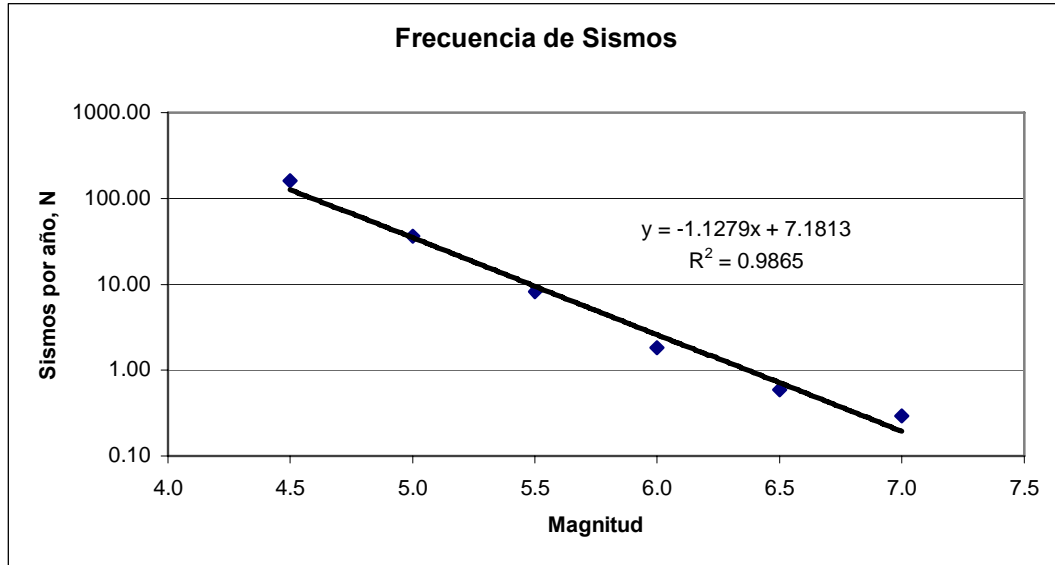


Figura 3.84: Frecuencia anual de los sismos de todo el país en función de la magnitud mb.

Para poder realizar una mejor comparación entre las relaciones obtenidas para cada uno de los segmentos de la placa de Nazca, es conveniente obtener las relaciones por unidad de área.

De acuerdo a la tabla 3.1 se obtuvo la superficie de cada uno de los tres segmentos de la placa de Nazca. Los resultados se muestran en las tablas 3.44 y 3.45.

Tabla 3.44: Área de cada uno de los segmentos de la placa de Nazca, expresada en km².

	Área (km ²)
Segmento 1	783.996
Segmento 2	674.910
Segmento 3	781.215

Tabla 3.45: Área de cada uno de los segmentos de la placa de Nazca, expresada en grados², es decir, cuadrantes de 1° x 1°.

	Área (grados ²)
Segmento 1	63,43
Segmento 2	54,60
Segmento 3	63,20

De la relación G-R se tiene:

$$\text{Log}_{10}(N) = a - b * M$$

$$\leftrightarrow N = 10^{a-b*M} \quad / \quad 1/\text{Área}$$

$$\leftrightarrow \frac{N}{\text{Area}} = \frac{10^{a-b*M}}{\text{Area}} \quad / \quad \text{Log}_{10}$$

$$\leftrightarrow \text{Log}_{10}(N_{\text{Area}}) = \text{Log}_{10}\left(\frac{10^{a-b*M}}{\text{Area}}\right)$$

$$\leftrightarrow \text{Log}_{10}(N_{\text{Area}}) = a - b * M - \text{Log}_{10}(\text{Area})$$

Por lo tanto, al utilizar la expresión anterior y las relaciones de G-R que se tienen para cada segmento, las cuales están por unidad de tiempo, se obtienen las siguientes relaciones por unidad de tiempo y unidad de área para cada segmento, utilizando tanto Ms y mb:

- Segmento 1: **$\text{Log}_{10}(N_{\text{Area}}) = 3,35 - 0,84*Ms$**

$\text{Log}_{10}(N_{\text{Area}}) = 4,48 - 1,03*mb$

- Segmento 2: **$\text{Log}_{10}(N_{\text{Area}}) = 4,09 - 0,98*Ms$**

$\text{Log}_{10}(N_{\text{Area}}) = 5,73 - 1,26*mb$

- Segmento 3: **$\text{Log}_{10}(N_{\text{Area}}) = 3,44 - 0,96*Ms$**

$\text{Log}_{10}(N_{\text{Area}}) = 4,91 - 1,20*mb$

3.5 Comentarios y Conclusiones

Generales

- La calidad de la información entregada en este Catálogo de Hipocentros está directamente relacionada con la calidad de los datos de la fuente de donde se obtuvo finalmente la información y del procedimiento que se utilizó para seleccionar la fuente de donde se obtuvieron los datos. Independiente de la fuente que se escoja, debe reconocerse que la información tiene errores que son propios de la determinación del hipocentro de un sismo o de la determinación de la magnitud. Por lo tanto, al momento de hacer un análisis y obtener conclusión de él se debe tener presente esto.

Relaciones entre magnitudes

- Las relaciones obtenidas entre las magnitudes es conveniente no extrapolarlas más allá del rango definido por los valores extremos de los valores de las magnitudes extremas del banco de datos. Para el intervalo de tiempo considerado, estos valores son 4 grados y 7 grados.
- Si se revisa la relación obtenida entre las magnitudes M_s y m_b , se puede ver que para magnitudes $m_b > 6.1$ grados, se obtienen valores de M_s mayores que m_b , lo que era esperable si se considera que el valor de m_b se satura para sismos grandes. Esta relación se obtuvo para valores de m_b entre 4.5 y 6.2 grados.
- Si se compara la relación entre m_b y M_s obtenida con la muestra de dato de este estudio, $M_s = 1.26 m_b - 1.56$, con la relación $m_b = 2.37 + 0.56 M_s$ entregada en volumen 1 del informe SISRA (Ceresis, 1985), se comprueba que la diferencia entre m_b y M_s obtenida con la relación del informe SISRA es mayor a 1 grado para las magnitudes mayores que $m_b > 6.5$ grados. En cambio con la relación obtenida en este trabajo, las diferencias en los valores obtenidos con ambas relaciones no es mayor que 0.5 grados, en el rango definido por las magnitudes extremas de los datos de la muestra usada en este trabajo, lo que se puede apreciar en la figura 3.85.

Además a partir de un valor de $m_b > 5.4$ grados se obtienen M_s mayores que m_b . Por lo tanto, se puede concluir que ambas relaciones no son muy similares.

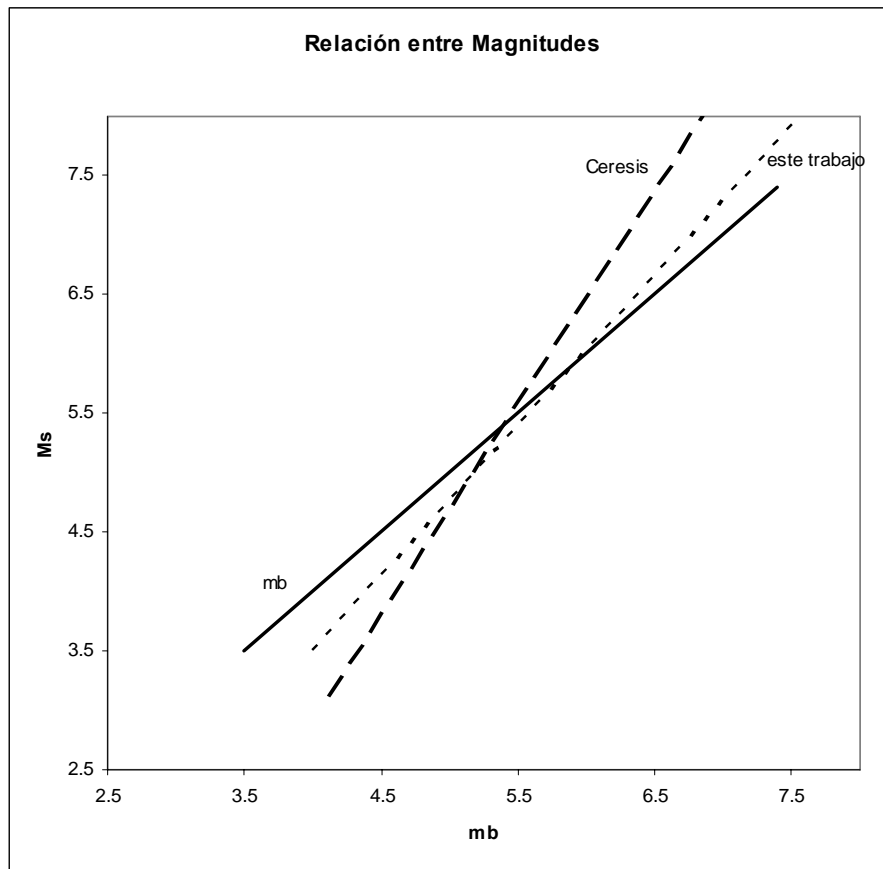


Figura 3.85: Relación entre M_s y m_b

- De la relación entre los valores de las magnitudes M_L y m_b se puede comprobar que el valor de la magnitud m_b es menor que M_L y la diferencia entre ambas va aumentando a medida que aumenta la magnitud. La diferencia entre ambas es de 0 grados cuando el valor de la magnitud es del orden de 4.5 y de 0.5 grados cuando M_L es igual a 7 grados ($m_b=6.5$ grados), como se aprecia en la figura 3.86. Sin embargo, esta relación se obtuvo para valores de M_L entre 4.3 y 6.4 grados, por lo que se recomienda usarla para magnitudes dentro de este rango.
- La relación entre M_c y m_b se obtuvo para un rango de magnitud menor que las anteriores, entre $M_c=4.2$ y $M_c=5.4$ grados. De los valores de la muestra se puede destacar que para magnitudes pequeñas m_b es mayor que M_c , esto ocurre hasta los

4.9 grados, y a partir de $M_c=5.4$ grados m_b es menor que M_c ; sin embargo, M_c y m_b son muy similares de acuerdo a esta relación, como se aprecia en la figura 3.86.

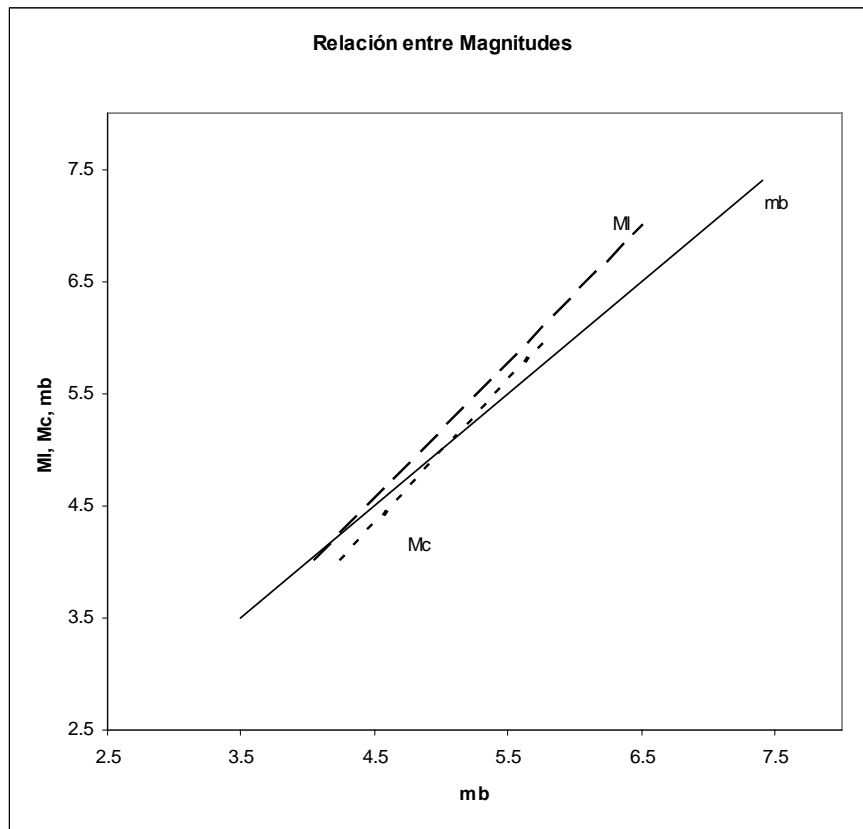


Figura 3.86: Relación entre m_b y M_L y entre m_b y M_c

Clasificación de los sismos

- Con respecto a la clasificación de los sismos, a pesar de los errores que hay en la determinación de la profundidad del hipocentro se aprecia, al observar las figuras 3.14, 3.31 y 3.48, que la zona en que se ubican los hipocentros de los sismos en el segmento 2 es de menor profundidad e inclinación que la de los otros dos segmentos.
- De acuerdo con los datos de la tabla 3.4, se observa que la sismicidad en el segmento 3 es menor que la sismicidad en los otros dos segmentos, siendo mayor la sismicidad en el segmento 2 con predominio de los sismos del Tipo B. En cambio,

en el segmento 1 predominan los sismos del Tipo C, como se puede ver en la tabla 3.12 y 3.5 respectivamente.

Clasificación de los sismos según Magnitud

- Los resultados que se obtienen al usar los valores de M_s o m_b determinados siguiendo el criterio detallado en este capítulo, son bastante similares. En todo caso debe considerarse que los sismos de mayor magnitud quedan bien representados por M_s . Por el contrario, para los sismos de menor magnitud, las magnitudes M_s que resultan son menores que las magnitudes m_b reportadas. Por lo tanto, para efectos prácticos se recomienda usar las relaciones expresada en función de M_s , pues con ella los sismos de mayor magnitud quedan mejor representados.
- En los segmentos 1 y 2 en que se divide la placa de Nazca no hay sismos del Tipo A (tablas 3.6 y 3.13), con magnitudes mayores que 5.5, salvo un sismo en el segmento 2 en el periodo 2001-2005 que tiene magnitud mayor a 5.5 y menor a 6.5. En el segmento 3 hay algunos sismos con magnitud mayor que 5.5 (tabla 3.20) pero ninguno tiene magnitud mayor a 6.5 grados.
- Para los sismos del Tipo D ocurre algo similar a lo anterior, es decir, unos pocos sismos tienen magnitud mayor a 5.5 y menor a 6.5 grados. Entre ellos se encuentran los sismos ocurridos el 24 de julio del 2001 en Chusmiza y el 28 de agosto del 2004 en Curicó.
- En el segmento 1 hay dos sismos de gran magnitud, uno del tipo B (tabla 3.7) que corresponde al sismo del 30 de julio de 1995, y otro del Tipo C (tabla 3.9) que corresponde al sismo del 13 de junio del 2005, también en este tipo de sismos se encuentra el sismo del 8 de agosto de 1987, el cual tiene una magnitud menor que 7.5 grados.
- En el segmento 2 está el sismo más importante ocurrido en el periodo de tiempo estudiado, el sismo del Tipo B del 3 de marzo de 1985 con magnitud mayor que 7.5 (tabla 3.14). Del tipo C está el sismo del 15 de octubre de 1997 que tuvo una magnitud menor que 7.5 grados (tabla 3.16).

- En el segmento 3 la sismicidad es bastante menor y no hay sismos de gran magnitud en el periodo 1982-2005, salvo el ocurrido el 9 de abril de 1985 cuya magnitud es de 7.5 grados. Sin embargo, este sismo es una de las réplicas del sismo principal ocurrido el 3 de marzo de 1985 y su hipocentro esta cerca de los 34° de latitud Sur por lo que podría considerarse del segmento 2.

Relaciones de Gutenberg y Richter

- Es importante mencionar que hay otras formas de obtener la relación *Gutenberg* y *Richter*, por ejemplo, utilizando el método de Máxima Verosimilitud (Aki, 1965). En este trabajo no se consideró necesario utilizar este u otro método y solo se utilizó el de Mínimos Cuadrados.
- Considerando la magnitud M_s , las relaciones obtenidas para la frecuencia anual de los sismos en función de la magnitud para cada uno de los segmentos en que se ha dividido la placa de Nazca se muestran en la tabla 3.46.

Tabla 3.46: Relación de G-R para cada uno de los segmentos de la placa de Nazca, por unidad de área y unidad de tiempo, utilizando la magnitud M_s .

	Relación G-R por unidad de tiempo (1 año)	Relación G-R por unidad de tiempo (1 año) y unidad de área (1° x 1°)
Segmento 1	$\text{Log}_{10}(N) = 5,15 - 0,84 * M_s$	$\text{Log}_{10}(N_{\text{Area}}) = 3,35 - 0,84 * M_s$
Segmento 2	$\text{Log}_{10}(N) = 5,83 - 0,98 * M_s$	$\text{Log}_{10}(N_{\text{Area}}) = 4,09 - 0,98 * M_s$
Segmento 3	$\text{Log}_{10}(N) = 5,25 - 0,96 * M_s$	$\text{Log}_{10}(N_{\text{Area}}) = 3,44 - 0,96 * M_s$

- Todas las relaciones son muy similares, en todas el valor b es menor que 1, valor característico para sismos tectónicos. De acuerdo con el valor de a , se observa mayor sismicidad en el segmento 2. El segmento 3 presenta mayor sismicidad que el segmento 1, algo que no se esperaba porque como se sabe la sismicidad del segmento 3 es menor que la de los otros dos segmentos, sin embargo, hay que tener en cuenta que esta relación para el segmento 3 se obtuvo para sismos con magnitud menor o igual a 6 grados, ya que no se registran sismos con magnitud mayor para el periodo 1982 – 2005. Por lo anterior, pareciera que no es conveniente compararla

con las relaciones obtenidas para los otros dos segmentos, las que se obtuvieron para sismos de hasta 7.5 grados.

- Si se observan las figuras 3.67, 3.73 y 3.79 se aprecia que en todos los segmentos los sismos de magnitud del orden de 4.5 grados están bien cubiertos, es decir, los registros de los eventos con esta magnitud están completos, ya que, no se advierte que la cantidad de sismos por año con magnitud mayor o igual a 4.5 esté por debajo de la recta que representa las relaciones obtenidas. Además, para obtener estas relaciones no se consideraron sismos de magnitud mayor que 8 porque estos sismos no están cubiertos en un periodo de tiempo de 24 años (Kausel, 2006), como lo es en este caso.
- Se han elaborado métodos para determinar la “Complejitud” de un catálogo, es decir, para que magnitudes el catálogo esta completo. Algunos de estos métodos son los siguientes (Woessner and Wiemer, 2005):
 - Entire-magnitude-range (EMR)
 - Maximum curvature (MAXC)
 - Goodness-of-fit test (GFT)
 - Mc by *b*-value stability (MBS)
- Sin embargo, en este trabajo no se hace un estudio de la “Complejitud” del catálogo, ya que, no está dentro de los objetivos de este trabajo.
- Las relaciones obtenidas para los sismos del Tipo B y C de los segmentos 1 y 2 son los que se muestran en la tabla 3.47.

Tabla 3.47: Relación de G-R para sismos del Tipo B y C de los segmentos 1 y 2 de la placa de Nazca, por unidad de área y unidad de superficie, utilizando la magnitud Ms.

	Segmento 1	Segmento 2
Tipo B	$\text{Log}(N) = 4.24 - 0.73 * M$	$\text{Log}(N) = 5.28 - 0.90 * M$
Tipo C	$\text{Log}(N) = 6.30 - 1.11 * M$	$\text{Log}(N) = 6.48 - 1.21 * M$

- Si se comparan estas relaciones G-R, se aprecia que ocurren una mayor cantidad de sismos del Tipo B en el segmento 2 que en el segmento 1, si se tiene en cuenta el valor de a . Las relaciones para los sismos del Tipo C se obtuvieron para magnitudes máximas distintas, ya que, para el segmento 1 se consideró una magnitud menor o igual a 7.0 grados y para el segmento 2 menor o igual a 6.5 grados, lo que debe tenerse en cuenta al compararlas.

Comparación de las relaciones G-R con las propuestas por otros autores

- Para los sismos del Tipo D se tiene la relación propuesta por Barrientos (2004), considerando los sismos superficiales ubicados en la zona comprendida entre los 33° y 35° de latitud con magnitudes que no superan los 5.0 grados para el periodo de enero de 1986 a diciembre del 2001. Según Barrientos, la relación G-R es la siguiente:

$$\text{Log}_{10}(N) = 6.5 - 1.4 * M$$

- Para realizar algún tipo de comparación, se obtuvo la relación G-R del banco de datos de este trabajo de los sismos del Tipo D del segmento 3 con una magnitud menor o igual que 5.0 grados, obteniéndose la relación siguiente:

$$\text{Log}_{10}(N) = 4.0 - 0.86 * M$$

- Como se aprecia en la figura 3.87, las relaciones son distintas. Esto se puede deber a que las zonas consideradas son distintas en longitud y a que Barrientos incluye los sismos con hipocentro en Argentina, los cuales no están incluidos en el catálogo. Además, Barrientos incluyó sismos con magnitudes menores que 4.0 grados, los que no están incluidos en el catálogo preparado, ya que, éste incluye sismos de magnitud igual o superior que 4.5 grados.

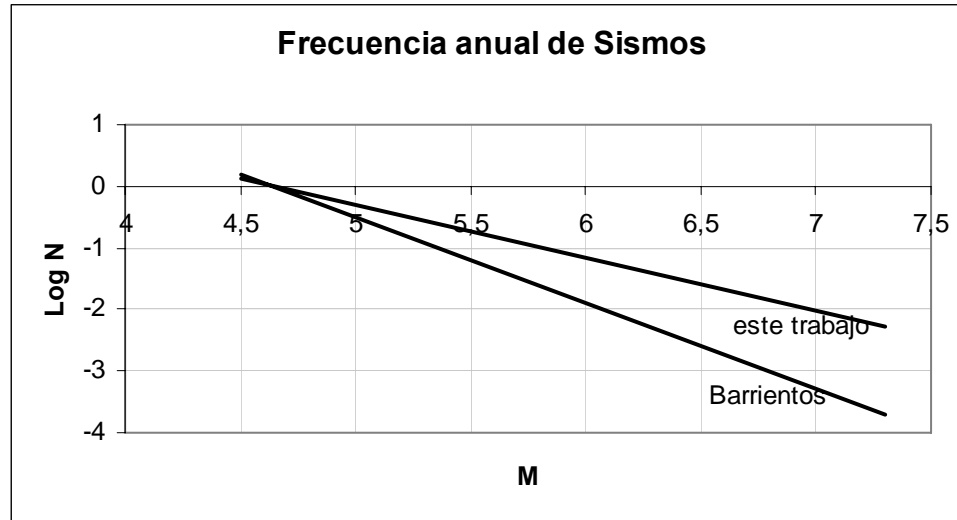


Figura 3.87: Relaciones G-R obtenidas por Barrientos (2004) y en este trabajo.

- Otro trabajo que entrega relaciones G-R a nivel local es el realizado por Labbe (1976). El periodo de tiempo considerado por Labbe comprende entre 1906 – 1970 e incluye sismos con magnitud mayor o igual a 5.5 grados debido a la falta de información de sismos de baja magnitud.

Las relaciones obtenidas por Labbe son las siguientes:

- Zona 1: $\text{Log}(N) = 7.63 - 1.14 M$ $18^\circ \leq \text{Latitud sur} < 26^\circ$
- Zona 2: $\text{Log}(N) = 6.41 - 0.99 M$ $26^\circ \leq \text{Latitud sur} < 36^\circ$
- Zona 3: $\text{Log}(N) = 6.68 - 1.03 M$ $36^\circ \leq \text{Latitud sur} < 45^\circ$
- Zona 4: $\text{Log}(N) = 4.46 - 0.81 M$ $45^\circ \leq \text{Latitud sur} < 56^\circ$

- Considerando que la zona 1 corresponde al segmento 1, en la figura 3.88 se aprecia que las relaciones no son similares. En cambio, si se comparan las relaciones de la zona 2 y el segmento 2 (ver Figura 3.89), éstas son similares, ya que tienen prácticamente el mismo valor de b y difieren en poco en el valor de a . La zona 3 de Labbe es comparable con el segmento 3, la comparación entre ambas relaciones se muestra en la figura 3.90, observándose las consecuencias de que el valor de b sea similar, no así el valor de a . Se puede apreciar que en todas las relaciones

propuestas por Labbe, tanto el valor de a como el valor de b son mayores a los propuestos en este trabajo, lo que se traduce en una mayor sismicidad y en un mayor predominio de los sismos pequeños sobre los sismos de mayor magnitud, especialmente en el segmento 1.

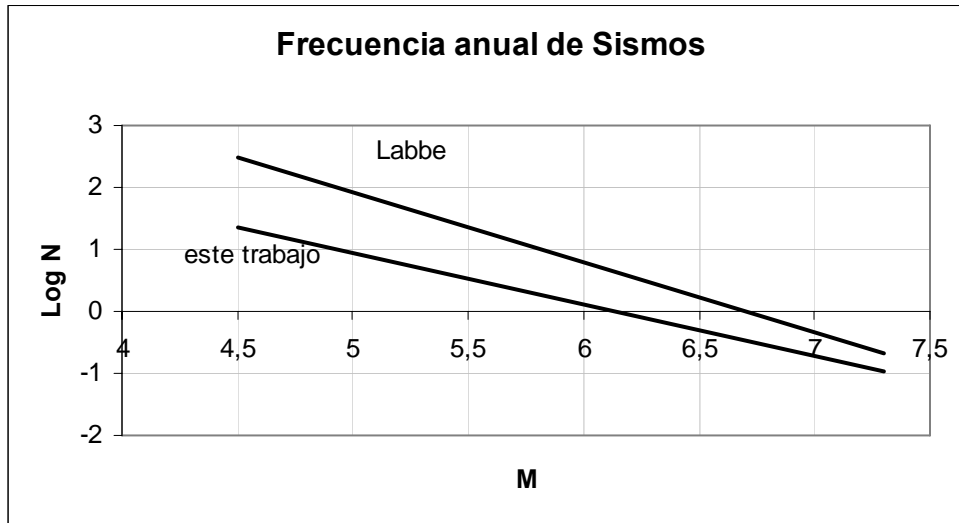


Figura 3.88: Relaciones G-R obtenidas por Labbe (1976) para la zona 1 y en este trabajo para el segmento 1.

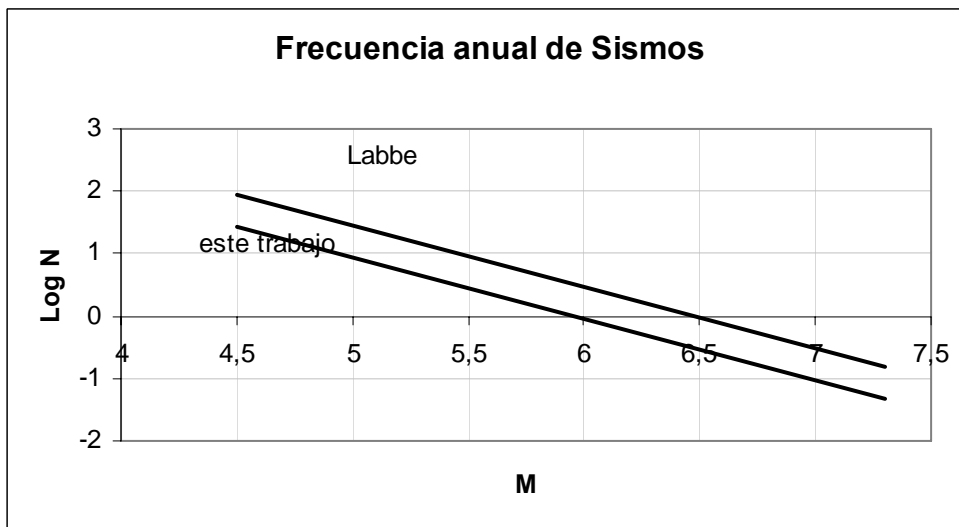


Figura 3.89: Relaciones G-R obtenidas por Labbe (1976) para la zona 2 y en este trabajo para el segmento 2.

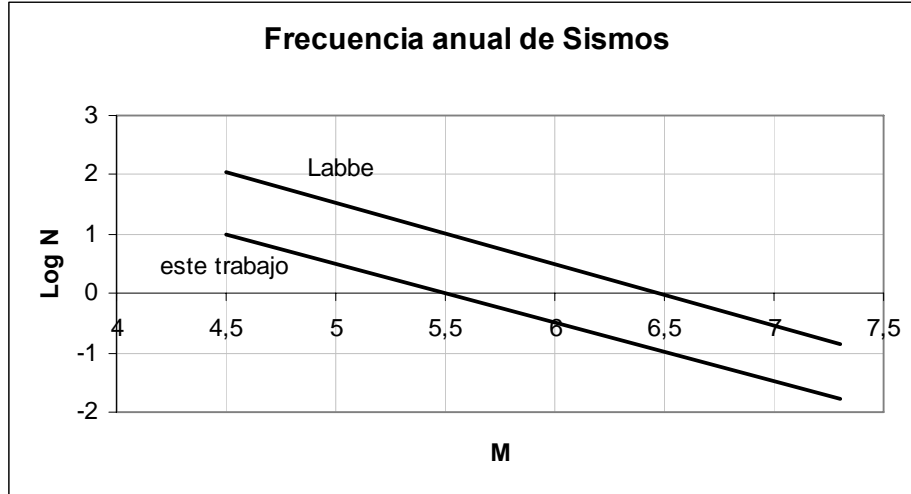


Figura 3.90: Relaciones G-R obtenidas por Labbe (1976) para la zona 3 y en este trabajo para el segmento 3.

Las relaciones G-R obtenidas en este trabajo y en el trabajo de Labbe para todo el país, son las siguientes:

Este trabajo: $\text{Log}_{10}(N) = 5.75 - 0.89 * M$

Labbe: $\text{Log}_{10}(N) = 7.52 - 1.07 * M$

- Como se aprecia en la figura 3.91, las relaciones son distintas tanto en el valor de *a* como en el valor de *b*, siendo mayores los propuestos por Labbe, lo cual indica una mayor sismicidad y un mayor predominio de los sismos de baja magnitud sobre los sismos de mayor magnitud, tal como ocurre en cada uno de los segmentos.

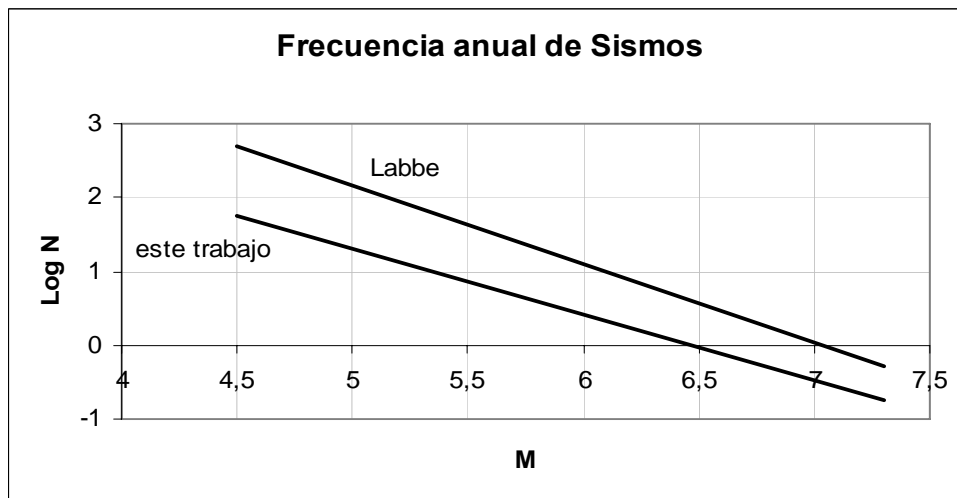


Figura 3.91: Relaciones G-R obtenidas por Labbe (1976) y en este trabajo para todo el país.

Capítulo 4 CATÁLOGO DE INTENSIDADES

4.1 Introducción

Por falta de datos instrumentales, la principal medida de severidad de los sismos que han ocurrido en Chile desde la llegada de los colonizadores españoles hasta nuestros días es la *Intensidad*. Esta medida de severidad se apoya principalmente en los efectos que produce el sismo en las personas, en los edificios y en el entorno natural, efectos con los cuales se determinan los diferentes grados de intensidad de acuerdo con la descripción que hacen las escalas de intensidades utilizadas para este efecto.

La falta de datos instrumentales (Registros de aceleraciones) se debe a la falta de una red de alta densidad en el territorio nacional. En relación con esta información, se puede comprobar que la disponibilidad de registros de aceleraciones es aún escasa (Ruiz, 2002), disponiéndose de no más de 20 eventos con magnitud mayor o igual a 5.5, ocurridos en los últimos 62 años, de los cuales se cuenta con datos de aceleraciones.

Por lo anterior, la intensidad sigue siendo la medida de severidad usada en los estudios relacionados con la evaluación del peligro o amenaza sísmica (Romanoff, 1999) y por lo tanto contar con datos de intensidad sigue siendo de mucha utilidad.

De esta forma, en esta memoria se entrega la información de intensidades existente para los sismos que han ocurrido desde el 1 de enero de 1982 hasta el último día del año 2005, en un documento anexo junto con el catálogo de hipocentros. Con este propósito se han seleccionado los eventos en los que la intensidad es mayor o igual a V, en una escala de doce grados como es la escala de Mercalli Modificada o la escala MSK.

El catálogo de datos de intensidad entregado, debe ser mejorado incorporándole los resultados de las nuevas investigaciones que puedan desarrollarse sobre terremotos históricos, especialmente de aquellos ocurridos entre los siglos XVI y XIX. El catálogo entregado es particularmente útil para estudiar la atenuación de los efectos de los terremotos con la distancia y la variación de estos efectos por las condiciones locales (topografía, tipo de suelo, geología, nivel freático), datos importantes para la estimación de

las pérdidas materiales y económicas (Riesgo sísmico) que se producen debido a los terremotos chilenos considerando las características de la zona de subducción de Chile.

4.2 Escala de Intensidades

En Chile, las intensidades se han reportado desde comienzo del siglo XX, usando para ello diferentes escalas. El uso de diferentes escalas obliga a tener una tabla de equivalencia, entre ellas se pueden destacar las entregadas por Barrientos (1980) y por Levret y Mohammadioun (1984).

A continuación se destacan las escalas que se utilizan en este catálogo y las que se han utilizado en Chile durante el siglo XX. La descripción detallada de cada una de ellas se encuentra en el Anexo B.

- ***Escala de Rossi y Forel:*** Rossi y Forel en 1883, propusieron la primera escala para estimar intensidades, dividida en diez grados y que fue modificada por Mercalli en 1902.
- ***Escala Chilena (Inditecnor, 1948):*** El 9 de abril de 1948 se declara norma oficial del país. La Escala Chilena (Sandoval, 2004) determina el grado de intensidad según la descripción de los efectos del sismo en las personas y en las edificaciones, utilizando para ello seis grados.
- ***Escala Modificada de Mercalli:*** La escala de Mercalli fue propuesta en 1902 por el geólogo y sacerdote italiano Giuseppe Mercalli. En 1931 fue modificada por Wood y Neumann, y es por esta razón que en la actualidad se le conoce como la Escala Modificada de Mercalli.

La Escala Modificada de Mercalli se emplea en Chile de acuerdo con una ley promulgada el 9 de Julio de 1961. Es una escala de 12 grados, usando para su designación los números romanos del I al XII.

- **Escala M.S.K:** En la mayoría de los países de Europa, la escala sísmica utilizada es la escala de doce grados propuesta en 1964 por S. V. Medvedev, W. Sponheuer y V. Karnik (Sandoval, 2004).

Si se analizan estas escalas se puede comprobar que las diferencias entre ellas se producen en el tipo de construcción considerado en la descripción de los efectos y en las características de la sismicidad de la región para la cual se aplica la escala. En relación con las características de la sismicidad, Steffen (1907) destaca que la escala de Rossi y Forel “*se adapta especialmente a la graduación de intensidad en temblores suaves y medianos, mientras que tiene valor escaso en aplicación a temblores de gran fuerza que aceptan el carácter de terremotos, recomendando para esto último usar la escala usada en esa época en Italia que se conoce con el nombre Mercalli-1902*”.

Por otra parte, Kuroiwa (2002) destaca que las dos escalas más conocidas, “*Mercalli Modificada y MSK, corresponden a escalas usadas en las Américas y en Europa, respectivamente. Sin embargo, ninguna de estas escalas es adecuada para la costa occidental de América del Sur, debido a que las construcciones a que se refieren corresponden a edificaciones construidas en California a fines de los años 50 y en la Europa de los 60, época en que entraron en vigencia dichas escalas*”.

A pesar del comentario de Kuroiwa (2002), es importante destacar que las escalas MSK y de Mercalli Modificada se consideran en la literatura especializada como equivalentes (Barrientos, 1980, Levret y Mohammadioun , 1984). La principal diferencia entre ellas es la forma en que se establece los grados de intensidad a partir del grado V, comprobándose que la escala MSK es más “*objetiva*” al considerar la forma en que estadísticamente se distribuye el daño para las distintas clases de vulnerabilidad en que se agrupan las construcciones (Monge y Astroza, 1989).

Por esto último, en los estudios de los efectos de los terremotos históricos se ha usado la Escala Europea de intensidades (MSK) adaptada a las características de las construcciones chilenas para los efectos de estimar los grados mayores o iguales a un grado VI. Para intensidades menores que el grado VI, los efectos se concentran en la forma en

que las personas perciben el sismo y en los efectos en los contenidos de las viviendas, no presentándose diferencia entre las escalas en estos aspectos.

4.3 Base de Datos

Los datos detallados de intensidades están reportados para algunos de los eventos incluidos en el catálogo de hipocentros. Como se ha destacado anteriormente éstos son los sismos que han ocurrido desde el 1 de enero de 1982 hasta el último día del año 2005 cuya intensidad máxima es mayor o igual a V en la escala de Mercalli Modificada. La selección de este valor de corte se hizo considerando que para grados menores que V la estimación de la intensidad es muy subjetiva al considerar sólo la percepción de las personas, además, como para estos grados no se observan daños en las construcciones, su efecto en los estudios de riesgo sísmico es de poco interés.

El Catálogo de Intensidades que se presenta en un documento anexo, proporciona información sobre la fecha y hora en que ocurrió el sismo, las coordenadas del hipocentro y las magnitudes registradas. Toda esta información para los sismos ocurridos entre 1982 y 2005 es la misma que aparece en el Catálogo de Hipocentros. Además, se indica la intensidad máxima registrada, el número de localidades de las que se tiene información de intensidades, las coordenadas de cada localidad junto con su distancia al epicentro e hipocentro y su altitud con respecto al nivel del mar. Finalmente se entrega la escala de intensidades utilizada y la fuente de donde se obtuvo el dato de la intensidad para cada localidad.

4.4 Criterio utilizado para confeccionar el catálogo de intensidades

Para los sismos ocurridos entre los años 1982 y 2005, las intensidades que se entregan se obtuvieron del Servicio Sismológico, salvo los casos de los sismos destructivos como son los terremotos de los años 1985, 1987, 1997 y 2005. En estos últimos eventos, las intensidades que se entregan corresponden a las intensidades estimadas en el último trabajo publicado sobre los efectos de cada uno de estos terremotos.

A continuación se detalla la lista de antecedentes que se revisaron para los sismos más importantes ocurridos en el periodo de tiempo estudiado en este trabajo:

- **Sismo 1985:** Para este sismo se ha considerado la información entregada en los trabajos de: Menendez, 1990, Kausel, 1985 y el Servicio Sismológico. En este caso se entregan los registros de intensidades estimadas por Menendez, y además se entregan las intensidades reportadas por el Servicio Sismológico en aquellas localidades en que Menendez no proporciona información.

Para este terremoto en particular, la información entregada en el Catálogo de Intensidades es distinta, ya que, para algunas localidades se entregan las intensidades mínimas y máximas de acuerdo al tipo de suelo existente, usando para ello la clasificación de la Norma NCh 433 (Of. 96) o NCh 2369 (Of. 2003).

Este evento es del Tipo B y pertenece al segmento 2 de la placa de Nazca.

- **Sismo 1987:** Para este sismo se ha considerado la información entregada por González (1998) y por el Servicio Sismológico en aquellos lugares que González no entrega información.

Este evento es del Tipo C y pertenece al segmento 1 de la placa de Nazca.

- **Sismo 1995:** Para este sismo se ha considerado la información entregada por el Servicio Sismológico.

Este evento es del Tipo B y pertenece al segmento 1 de la placa de Nazca.

- **Sismo 1997:** Para este sismo se ha considerado la información entregada por Díaz (2001) y por el Servicio Sismológico en aquellos lugares que Díaz no entrega información.

En el trabajo de Díaz se indica que algunas intensidades tienen algún grado de incertidumbre y otras intensidades sólo sirven de respaldo, por lo tanto, en el Catálogo de Intensidades no se entregan estos datos.

Este evento es del Tipo C y pertenece al segmento 2 de la placa de Nazca.

- **Sismo 2001:** Para este sismo se ha considerado la información entregada por el Servicio Sismológico.

Este evento es del Tipo D y pertenece al segmento 1 de la placa de Nazca.

- **Sismo 2004:** Para este sismo se ha considerado la información entregada por el Servicio Sismológico.

Este evento es del Tipo D y pertenece al segmento 3 de la placa de Nazca.

- **Sismo 2005:** Para este sismo se han considerado las intensidades estimadas por el grupo del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile que visitó la zona afectada, intensidades que están incluidas en un informe de los efectos del terremoto publicado por el EERI (Astroza et al, 2005). Además, se incluyen intensidades estimadas por el Servicio Sismológico en aquellas localidades ubicadas fuera de la zona visitada por el grupo del Departamento de Ingeniería Civil.

Este evento es del Tipo C y pertenece al segmento 1 de la placa de Nazca.

4.5 Formato del Catálogo de Intensidades

El formato del Catálogo de Intensidades se puede dividir en dos secciones, la primera entrega información relacionada con los parámetros focales del sismo, y la segunda entrega las intensidades para las distintas localidades para las que se dispone de información.

En las Tabla 4.1 y 4.2 se describe el contenido de este Catálogo de Intensidades.

Tabla 4.1 Formato de la sección donde se entregan los parámetros focales

Columna	Encabezamiento	Sub-encabezamiento	Descripción
1-3	<i>Fecha</i>		Fecha en que ocurrió el sismo.
1		Año	
2		Mes	
3		Día	

4	<i>Hora</i>	UTC	Hora en que comenzó el sismo, el momento en que se inicia la ruptura en el foco. Esta referida a la hora universal (UTC)
5-6	<i>Epicentro</i>		Coordenadas del epicentro.
5		Latitud	Latitud del epicentro en grados. El signo – indica latitud sur.
6		Longitud	Longitud del epicentro en grados. El signo – indica longitud oeste.
7	<i>Prof.</i>	km	Se entrega la profundidad del hipocentro en kilómetros.
8-11	<i>Magnitud</i>		Se entrega la magnitud del sismo.
8		mb	Es la magnitud de la onda interna
9		Ms	Es la magnitud de la onda de superficie
10		Mw	Es la magnitud de Momento Sísmico.
11		Mc	Es la magnitud dada por el Servicio Sismológico, en función de la duración del registro del sismograma.
12		M _L	Magnitud local, dada por el Servicio Sismológico de acuerdo a la fórmula de Richter (1935)
13	<i>Max. Int.</i>		Se indica la máxima intensidad estimada.
14	<i>Num. Obs.</i>		Se indica el número de localidades para las cuales se entregan intensidades.

Tabla 4.2 Formato del catálogo donde se entregan las intensidades

Columna	Encabezamiento	Sub-encabezamiento	Descripción
1-6	<i>Localidad</i>		Se indica el nombre de la localidad de la cual se entrega un valor de intensidad.
7-8	<i>Coordenadas</i>		Coordenadas de la localidad
7		Lat.	Latitud de la localidad en grados. El signo – indica latitud sur.
8		Long.	Longitud de la localidad en grados. El signo – indica longitud oeste.
9	<i>Elev.</i>	m.s.n.m	Metros sobre el nivel del mar en que se encuentra la localidad.
10	<i>Dist. Epi.</i>	km	Distancia en kilómetros que hay desde la localidad al epicentro del sismo, sin considerar los m.s.n.m.
11	<i>Dist. Hipo.</i>	km	Distancia en kilómetros que hay desde la localidad al hipocentro del sismo, sin considerar los m.s.n.m.
12-13	<i>Intensidad</i>		Intensidad estimada para la localidad.
12		Valor	Valor de la intensidad estimada para la localidad.
13		Escala	Escala utilizada para estimar el valor de la intensidad.
14	<i>Referencias</i>		Se indica la referencia de la cual se obtuvo la estimación del valor de la intensidad para la localidad.

Para el sismo ocurrido el 3 de marzo de 1985, el formato en que se entregan las intensidades sufre una pequeña variación, entregándose un valor máximo y un valor mínimo de la intensidad de acuerdo al tipo de suelo. El formato utilizado en este caso corresponde al indicado en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3 Formato de l catálogo que entrega las intensidades del sismo de 3/3/1985

Columna	Encabezamiento	Sub-encabezamiento	Descripción
1-4	<i>Localidad</i>		Se indica el nombre de la localidad de la cual se entrega un valor de intensidad.
5-6	<i>Coordenadas</i>		Coordenadas de la localidad
5		Lat.	Latitud de la localidad en grados. El signo – indica latitud sur.
6		Long.	Longitud de la localidad en grados. El signo – indica longitud oeste.
7	<i>Elev.</i>	m.s.n.m	Metros sobre el nivel del mar en que se encuentra la localidad.
8	<i>Dist. Epi.</i>	km	Distancia en kilómetros que hay desde la localidad al epicentro del sismo, sin considerar los m.s.n.m.
9	<i>Dist. Hipo.</i>	km	Distancia en kilómetros que hay desde la localidad al hipocentro del sismo, sin considerar los m.s.n.m.
10-12	<i>Intensidad</i>		Intensidad estimada para la localidad.
10		Min.	Valor mínimo de la intensidad estimada para la localidad.
11		Max	Valor máximo de la intensidad estimada para la localidad.

12		Escala	Escala utilizada para estimar el valor de la intensidad.
13	<i>Tipo de Suelo según Norma</i>		Se indica el tipo de suelo, según la norma, de la localidad.
14	<i>Referencias</i>		Se indica la referencia de la cual se obtuvo la estimación del valor de la intensidad para la localidad.

Con la información entregada en este catálogo de intensidad se facilita el análisis de la atenuación de intensidad con la distancia, sea ella epicentral o hipocentral. Las fórmulas utilizadas para calcular las distancias epicentrales e hipocentrales se pueden ver en el Anexo D.

4.6 Análisis preliminar del catálogo de intensidades de los eventos ocurridos entre 1982 y 2005

El catálogo de datos de intensidad entregado en esta memoria debe ser mejorado con los resultados de una investigación adicional sobre los terremotos históricos ocurridos con anterioridad a 1982 y con algunos terremotos históricos de los cuales no se ha hecho un nuevo estudio de sus efectos, entre estos últimos se puede destacar especialmente los terremotos ocurridos en el sur de Chile en 1960.

Independientemente de lo anterior, con la información reunida se hace un análisis preliminar de ella en los siguientes términos para cada uno de los segmentos en que se divide la placa de Nazca:

- a. Distribución de datos de intensidad.
- b. Distribución de datos de intensidad de acuerdo con cada tipo de terremoto.
- c. Distribución de datos de intensidad de acuerdo con la distancia epicentral.

Para hacer el análisis fue necesario, al igual que en el Capítulo 3, contar con una única magnitud M . Con este propósito se utilizó la magnitud M_s , obtenida de acuerdo al mismo procedimiento del Capítulo 3.

Se consideró M_s debido a la diferencia que hay en los resultados obtenidos utilizando la magnitud M_s y la magnitud m_b para los sismos de gran magnitud, ya que, con m_b se obtienen magnitudes mas bajas para estos sismos que con M_s . Por ejemplo, para el sismo del 2005 se tiene $M_s=7.8$ $m_b=7.4$, lo mismo sucede con el sismo de 1985, para el cual se tienen las mismas magnitudes.

Lo anterior se reafirma con los resultados obtenidos para el segmento 3 de la placa de Nazca, donde al no existir sismos de gran magnitud, salvo el del 9 de abril de 1985 para el cual se tiene $M_s=7.5$ y $m_b=7.2$, los resultados que se obtienen utilizando ambos procedimientos son los mismos.

Para otros sismos importantes se tiene: sismo de 1987 $M_s=6.9$ y $m_b=6.7$; sismo de 1995 $M_s=7.3$ y $m_b=7.0$; sismo de 1997 $M_s=6.8$ y $m_b=6.6$; sismo de 2001(Chusmiza)

Ms=6.1 y mb=6.1; sismo de 2004 (Curicó) Ms=5.9 y mb=5.9. A pesar de las diferencias existentes entre Ms y mb para cada uno de estos sismos, para efectos del análisis estas diferencias son intrascendentes, ya que, independiente de cual de las dos magnitudes se considere esta se encuentra en un mismo rango de magnitud de los establecidos para el análisis.

Además, se clasificó a los sismos de la misma manera que se hizo en el Capítulo 3, es decir, de acuerdo a la segmentación de la placa de Nazca y según su origen sismogénico, ya sea, del Tipo A, B, C o D.

Con la información disponible se obtuvo información de intensidad para la cantidad de eventos por segmento indicada en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4: Cantidad de eventos por segmento

	Número de eventos
Segmento 1	121
Segmento 2	211
Segmento 3	66

4.6.1 Segmento 1 de la Placa de Nazca

4.6.1.1 Análisis de la información según la cantidad de datos de intensidades

Al revisar los datos de intensidades que se tienen para los sismos de este segmento, se obtienen los resultados que se indican en la tabla 4.5 y 4.6 respectivamente.

Tabla 4.5: Distribución de los valores de intensidades del Segmento 1. Cantidad de localidades para las cuales se ha estimado un valor de intensidad. Sin diferenciar por el valor de la magnitud.

Intensidad	Cantidad de localidades
II	71
II-III	97
III	119
III-IV	164
IV	116
IV-V	168
V	93
V-VI	32
VI	16
VI-VII	25
VII	15
VII-VIII	11
VIII	3
VIII-IX	2
IX	2
IX-X	2
X	0

Al hacer esto mismo pero diferenciando por el valor de la magnitud, es decir, considerando los sismos del Segmento 1 con una magnitud menor o igual a 5.5, 6.5 y 7.5, se tienen los datos de la Tabla 4.6.

Tabla 4.6: Distribución de los valores de intensidades del Segmento 1. Cantidad de localidades para las cuales se ha estimado un valor de intensidad. Diferenciando por el valor de la magnitud Ms

Intensidad	Cantidad de localidades		
	M ≤ 5.5	M ≤ 6.5	M ≤ 7.5
II	44	64	71
II-III	66	93	97
III	68	109	119
III-IV	108	158	163
IV	57	104	114
IV-V	88	147	166
V	46	78	92
V-VI	9	22	31
VI	3	12	14
VI-VII	0	4	22
VII	0	2	10
VII-VIII	0	0	3
VIII	0	0	0
VIII-IX	0	0	2
IX	0	0	0
IX-X	0	0	0
X	0	0	0

Si se grafica la información de las tablas 4.5 y 4.6 se obtiene la Figura 4.1.

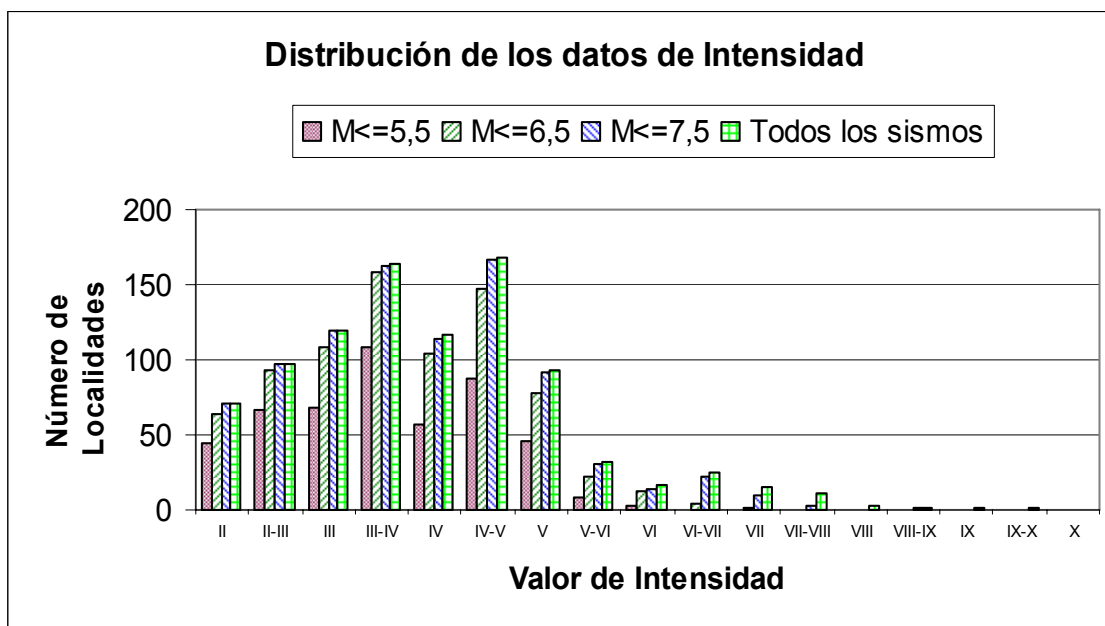


Figura 4.1: Distribución de datos de intensidad para el Segmento 1 utilizando la magnitud Ms.

Al agrupar los sismos del Segmento 1 de la placa de Nazca según su origen sismogénico, se obtiene la cantidad de sismos destacada en la Tabla 4.7.

Tabla 4.7: Cantidad de sismos por tipo del segmento 1

	Tipo A	Tipo B	Tipo C	Tipo D
Número de Eventos	0	51	68	2

Si se realiza el análisis realizado anteriormente para cada tipo de sismo del Segmento 1 de la placa de Nazca, exceptuando los sismos del Tipo A de los que no hay información, se obtienen los resultados siguientes:

- **Sismos del Tipo B del Segmento 1**

La distribución de los datos de intensidades para los sismos del Tipo B del Segmento 1 de la placa de Nazca, se detalla en las tablas 4.8 y 4.9.

Tabla 4.8: Distribución de los valores de intensidades del Segmento 1 para sismos del Tipo B. Cantidad de localidades para las cuales se ha estimado un valor de intensidad. Sin diferenciar por el valor de la magnitud.

Intensidad	Cantidad de localidades
II	34
II-III	34
III	44
III-IV	60
IV	44
IV-V	58
V	35
V-VI	8
VI	3
VI-VII	13
VII	2
VII-VIII	0
VIII	0
VIII-IX	0
IX	0
IX-X	0
X	0

Tabla 4.9: Distribución de los valores de intensidades del Segmento 1 para sismos del Tipo B. Cantidad de localidades para las cuales se ha estimado un valor de intensidad. Diferenciando por el valor de la magnitud Ms.

Intensidad	Cantidad de localidades		
	M ≤ 5.5	M ≤ 6.5	M ≤ 7.5
II	20	28	34
II-III	25	33	34
III	25	35	44
III-IV	40	58	60
IV	22	35	44
IV-V	32	49	58
V	17	28	35
V-VI	2	3	8
VI	0	2	3
VI-VII	0	3	13
VII	0	1	2
VII-VIII	0	0	0
VIII	0	0	0
VIII-IX	0	0	0
IX	0	0	0
IX-X	0	0	0
X	0	0	0

Al graficar los datos de las tablas 4.8 y 4.9, se obtiene lo que se muestra en la Figura 4.2.

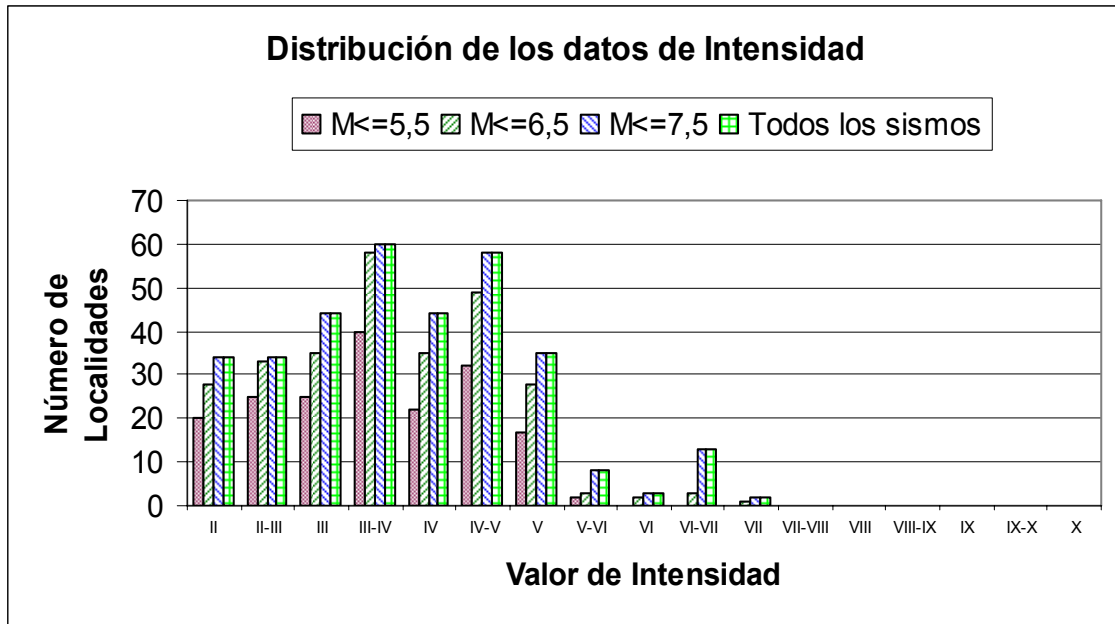


Figura 4.2: Distribución de datos de intensidad para sismos del Tipo B del Segmento 1 utilizando la magnitud M_s .

- *Sismos del Tipo C del Segmento 1*

La distribución de los datos de intensidades para los sismos del Tipo C del Segmento 1 de la placa de Nazca, se detalla en las tablas 4.10 y 4.11.

Tabla 4.10: Distribución de los valores de intensidades del Segmento 1 para sismos del Tipo C. Cantidad de localidades para las cuales se ha estimado un valor de intensidad. Sin diferenciar por el valor de la magnitud.

Intensidad	Cantidad de localidades
II	37
II-III	57
III	73
III-IV	100
IV	70
IV-V	105
V	57
V-VI	21
VI	13
VI-VII	11
VII	12
VII-VIII	11
VIII	3
VIII-IX	2
IX	2
IX-X	2
X	0

Tabla 4.11: Distribución de los valores de intensidades del Segmento 1 para sismos del Tipo C. Cantidad de localidades para las cuales se ha estimado un valor de intensidad. Diferenciando por el valor de la magnitud Ms

Intensidad	Cantidad de localidades		
	M ≤ 5.5	M ≤ 6.5	M ≤ 7.5
II	24	36	37
II-III	38	54	57
III	41	72	73
III-IV	66	96	99
IV	33	67	68
IV-V	55	93	103
V	29	49	56
V-VI	7	16	20
VI	3	10	11
VI-VII	0	0	8
VII	0	0	7
VII-VIII	0	0	3
VIII	0	0	0
VIII-IX	0	0	2
IX	0	0	0
IX-X	0	0	0
X	0	0	0

Al graficar los datos de las tablas 4.10 y 4.11, se obtiene lo que se muestra en la Figura 4.3.

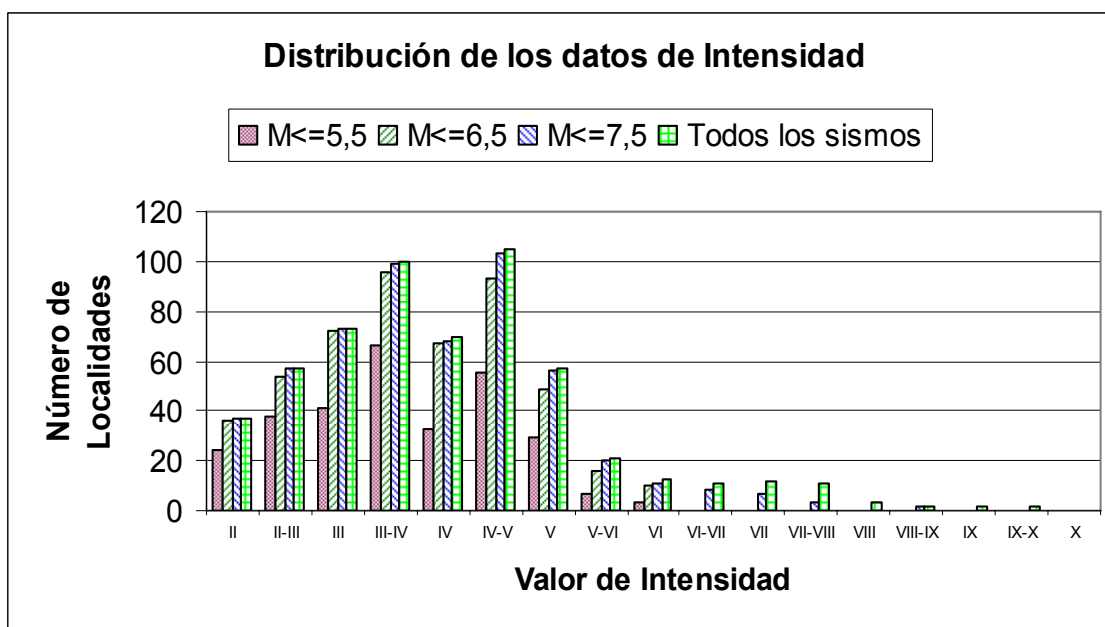


Figura 4.3: Distribución de datos de intensidad para sismos del Tipo C del segmento 1 utilizando la magnitud M_s .

- *Sismos del Tipo D del Segmento 1*

La distribución de los datos de intensidades para los sismos del Tipo D del Segmento 1 de la placa de Nazca, se detalla en las tablas 4.12 y 4.13.

Tabla 4.12: Distribución de los valores de intensidades del Segmento 1 para sismos del Tipo D. Cantidad de localidades para las cuales se ha estimado un valor de intensidad. Sin diferenciar por el valor de la magnitud.

Intensidad	Cantidad de localidades
II	0
II-III	6
III	2
III-IV	4
IV	2
IV-V	5
V	1
V-VI	3
VI	0
VI-VII	1
VII	1
VII-VIII	0
VIII	0
VIII-IX	0
IX	0
IX-X	0
X	0

Tabla 4.13: Distribución de los valores de intensidades del Segmento 1 para sismos del Tipo D. Cantidad de localidades para las cuales se ha estimado un valor de intensidad. Diferenciando por el valor de la magnitud Ms.

Intensidad	Cantidad de localidades		
	M ≤ 5.5	M ≤ 6.5	M ≤ 7.5
II	0	0	0
II-III	3	6	6
III	2	2	2
III-IV	2	4	4
IV	2	2	2
IV-V	1	5	5
V	0	1	1
V-VI	0	3	3
VI	0	0	0
VI-VII	0	1	1
VII	0	1	1
VII-VIII	0	0	0
VIII	0	0	0
VIII-IX	0	0	0
IX	0	0	0
IX-X	0	0	0
X	0	0	0

Al graficar los datos de las tablas 4.12 y 4.13, se obtiene lo que se muestra en la Figura 4.4.

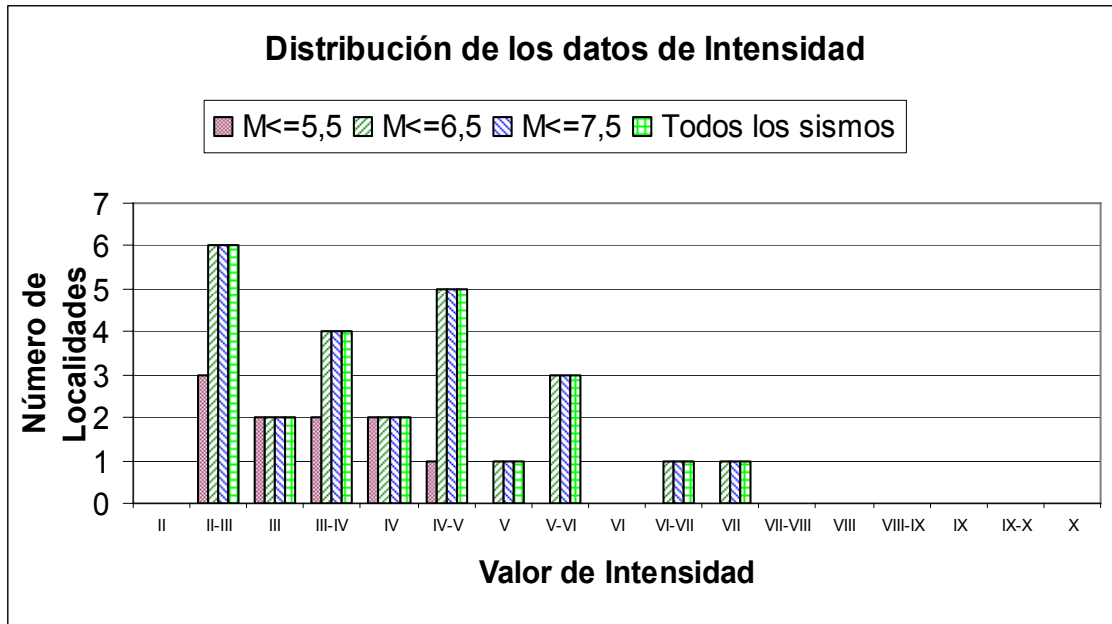


Figura 4.4: Distribución de datos de intensidad para sismos del Tipo D del segmento 1 utilizando la magnitud M_s .

4.6.1.2 Análisis de la información de intensidades según la distancia epicentral

Al hacer el análisis de la distribución de los datos de intensidades de acuerdo con la distancia epicentral, se obtienen las tablas 4.14, 4.15, 4.16 y 4.17 para el Segmento 1 de la placa de Nazca. Para obtener la distribución detallada en estas tablas, se consideraron cinco rangos de valores de la distancia epicentral: distancias menores o iguales a **50 km**, **entre 50 y 100 km.**, **entre 100 y 150 km.**, **entre 150 km y 250 km.** y **mayores que 250 km.**, para tres rangos de magnitud, menor o igual a 5.5, 6.5 y 7.5 grados.

Tabla 4.14: Distribución de los datos de intensidades para el Segmento 1 según la distancia epicentral. Sin diferenciar por el valor de la magnitud.

Intensidades	Todas las Magnitudes				
	Depi ≤ 50 km	50 < Depi ≤ 100 km	100 < Depi ≤ 150km	150 < Depi ≤ 250km	Depi > 250 km
II	0	5	2	31	33
II-III	0	12	10	37	38
III	3	19	20	36	41
III-IV	9	29	45	53	28
IV	19	32	18	24	23
IV-V	27	46	31	29	35
V	19	26	17	16	15
V-VI	2	8	9	5	8
VI	3	7	2	3	1
VI-VII	5	6	5	3	6
VII	6	6	0	1	2
VII-VIII	5	5	0	0	0
VIII	2	0	0	0	1
VIII-IX	2	0	0	0	0
IX	2	0	0	0	0
IX-X	2	0	0	0	0
X	0	0	0	0	0

Tabla 4.15: Distribución de los datos de intensidades para el Segmento 1 según la distancia epicentral. Para sismos con magnitud menor o igual a 5.5 grados, utilizando la magnitud Ms.

Intensidades	M ≤ 5.5				
	Depi ≤ 50 km	50 < Depi ≤ 100 km	100 < Depi ≤ 150km	150 < Depi ≤ 250km	Depi > 250 km
II	0	4	2	25	13
II-III	0	11	9	33	13
III	3	12	16	22	15
III-IV	8	24	35	29	12
IV	15	23	6	8	5
IV-V	20	31	17	12	8
V	19	11	7	4	5
V-VI	1	3	2	1	2
VI	0	3	0	0	0
VI-VII	0	0	0	0	0
VII	0	0	0	0	0
VII-VIII	0	0	0	0	0
VIII	0	0	0	0	0
VIII-IX	0	0	0	0	0
IX	0	0	0	0	0
IX-X	0	0	0	0	0
X	0	0	0	0	0

Tabla 4.16: Distribución de los datos de intensidades para el Segmento 1 según la distancia epicentral: Para sismos con magnitud menor o igual a 6.5 grados, utilizando la magnitud Ms.

Intensidades	M ≤ 6.5				
	Depi ≤ 50 km	50 < Depi ≤ 100 km	100 < Depi ≤ 150km	150 < Depi ≤ 250km	Depi > 250 km
II	0	5	2	31	26
II-III	0	12	10	37	34
III	3	19	20	35	32
III-IV	9	29	45	52	23
IV	18	32	18	22	14
IV-V	27	45	27	24	24
V	19	26	13	9	11
V-VI	2	6	6	3	5
VI	3	5	1	2	1
VI-VII	3	0	0	1	0
VII	1	0	0	0	1
VII-VIII	0	0	0	0	0
VIII	0	0	0	0	0
VIII-IX	0	0	0	0	0
IX	0	0	0	0	0
IX-X	0	0	0	0	0
X	0	0	0	0	0

Tabla 4.17: Distribución de los datos de intensidades para el Segmento 1 según la distancia epicentral. Para sismos con magnitud menor o igual a 7.5 grados, utilizando la magnitud Ms.

Intensidades	M ≤ 7.5				
	Depi ≤ 50 km	50 < Depi ≤ 100 km	100 < Depi ≤ 150km	150 < Depi ≤ 250km	Depi > 250 km
II	0	5	2	31	33
II-III	0	12	10	37	38
III	3	19	20	36	41
III-IV	9	29	45	53	27
IV	19	32	18	24	21
IV-V	27	46	31	29	33
V	19	26	17	15	15
V-VI	2	8	9	5	7
VI	3	6	2	2	1
VI-VII	4	4	5	3	6
VII	3	4	0	1	2
VII-VIII	0	3	0	0	0
VIII	0	0	0	0	0
VIII-IX	2	0	0	0	0
IX	0	0	0	0	0
IX-X	0	0	0	0	0
X	0	0	0	0	0

Al graficar los datos de estas tablas, se obtienen los gráficos que se muestran en las figuras 4.5 a 4.8.

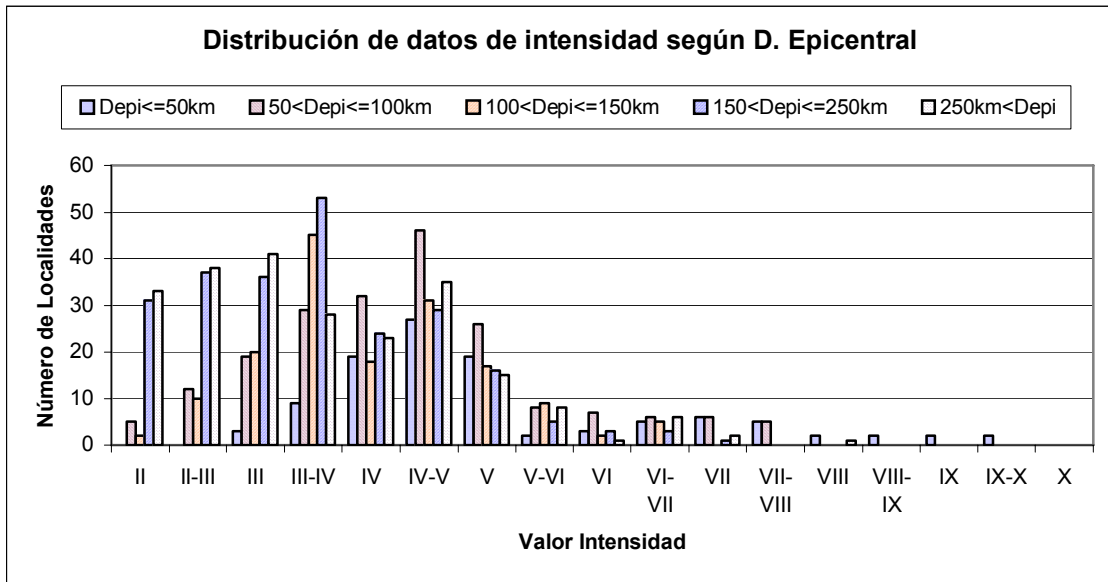


Figura 4.5: Distribución de los datos de intensidades según la distancia epicentral para los sismos del Segmento 1. Sin diferenciar por el valor de la magnitud (Tabla 4.14).

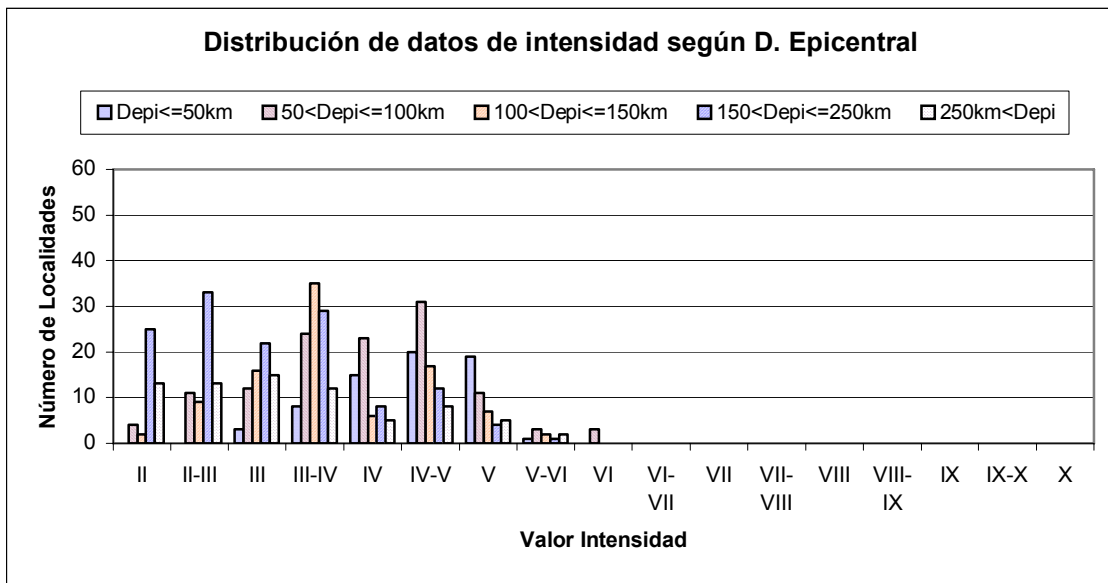


Figura 4.6: Distribución de los datos de intensidades según la distancia epicentral para los sismos del Segmento 1. Para magnitud menor o igual a 5.5 grados utilizando la magnitud Ms (Tabla 4.15).

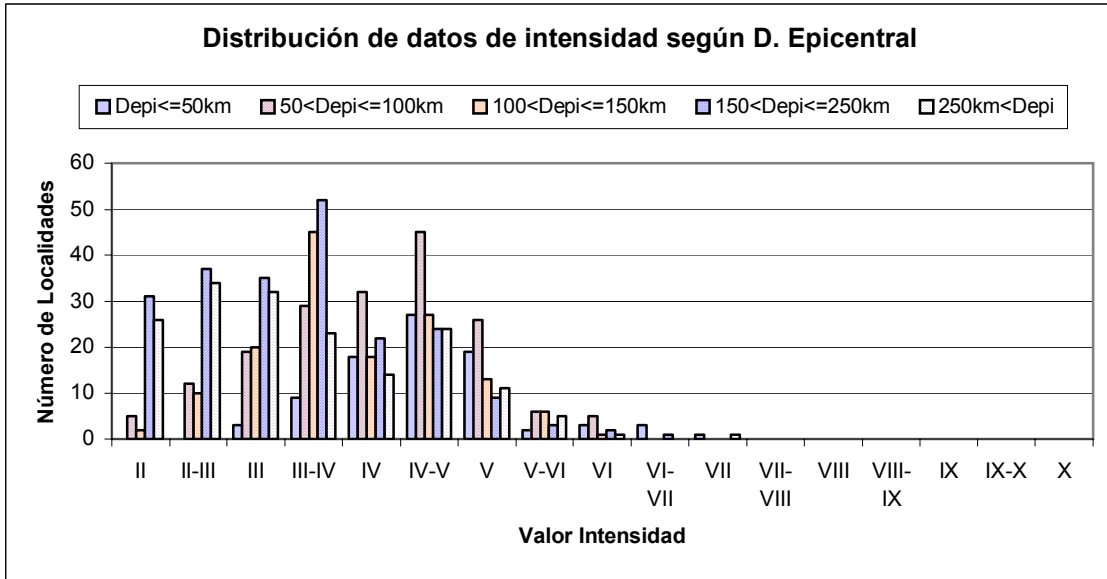


Figura 4.7: Distribución de los datos de intensidades según la distancia epicentral para los sismos del Segmento 1. Para magnitud menor o igual a 6.5 grados utilizando la magnitud M_s (Tabla 4.16).

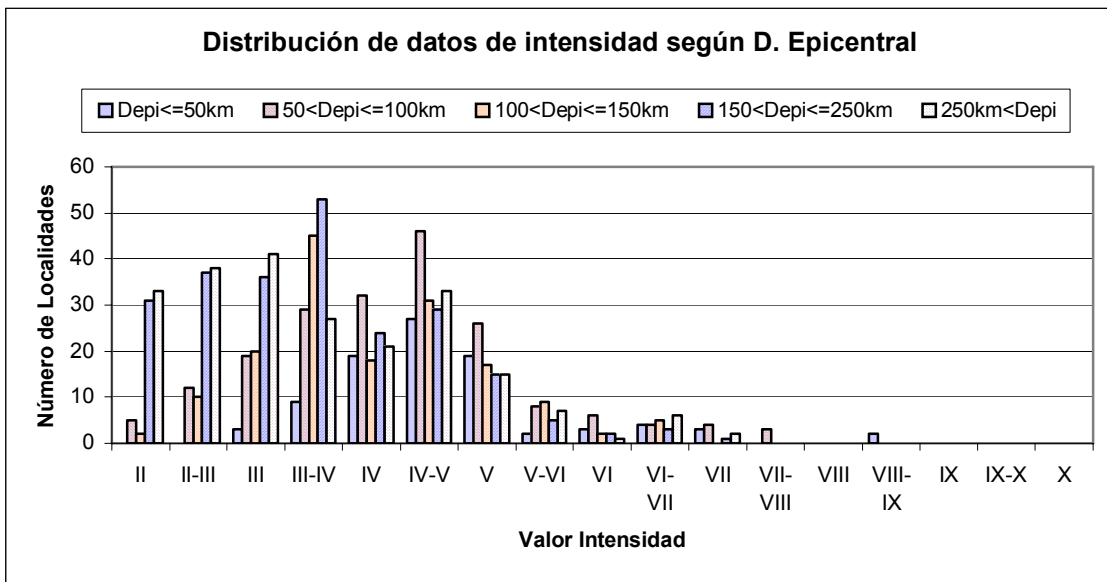


Figura 4.8: Distribución de los datos de intensidades según la distancia epicentral para los sismos del Segmento 1. Para magnitud menor o igual a 7.5 grados utilizando la magnitud M_s (Tabla 4.17).

4.6.2 Segmento2 de la Placa de Nazca

4.6.2.1 Análisis de la información según la cantidad de datos de intensidades

Al revisar los datos de intensidades que se tienen para los sismos de este segmento, se obtienen los resultados que se indican en la tabla 4.18.

Tabla 4.18: Distribución de los valores de intensidades del Segmento 2. Cantidad de localidades para las cuales se ha estimado un valor de intensidad. Sin diferenciar por el valor de la magnitud.

Intensidad	Cantidad de localidades
II	271
II-III	220
III	290
III-IV	400
IV	286
IV-V	356
V	228
V-VI	109
VI	112
VI-VII	134
VII	198
VII-VIII	117
VIII	64
VIII-IX	50
IX	13
IX-X	13
X	5
X-XI	1

Al hacer esto mismo pero diferenciando por magnitud, es decir, considerando los sismos del Segmento 2 con magnitud menor o igual a 5.5, 6.5 y 7.5 se tienen los datos de las tabla 4.19.

Tabla 4.19: Distribución de los valores de intensidades del Segmento 2. Cantidad de localidades para las cuales se ha estimado un valor de intensidad. Diferenciando por el valor de la magnitud Ms.

Intensidad	Cantidad de localidades		
	M ≤ 5.5	M ≤ 6.5	M ≤ 7.5
II	211	265	271
II-III	178	213	220
III	238	279	290
III-IV	332	395	400
IV	229	274	285
IV-V	301	346	356
V	139	201	211
V-VI	23	75	103
VI	13	35	105
VI-VII	1	17	89
VII	0	4	53
VII-VIII	0	0	9
VIII	0	1	7
VIII-IX	0	0	2
IX	0	0	3
IX-X	0	0	3
X	0	0	3
X-XI	0	0	0

Si se grafica la información de las tablas 4.18 y 4.19, se obtiene la Figura 4.9.

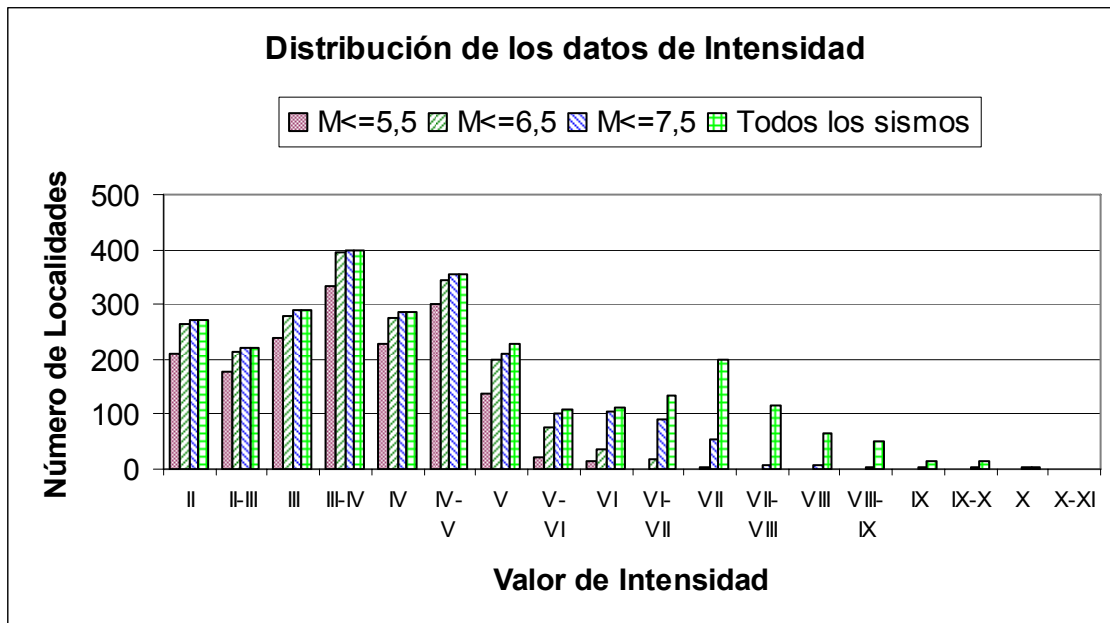


Figura 4.9: Distribución de datos de la intensidad para el Segmento 2 utilizando la magnitud Ms.

Al agrupar los sismos del Segmento 2 de la placa de Nazca según su origen sismogénico, se obtiene la cantidad de sismos destacada en la Tabla 4.20.:

Tabla 4.20: Cantidad de sismos por tipo del Segmento 2

	Tipo A	Tipo B	Tipo C	Tipo D
Número de Eventos	1	127	76	7

Si se realiza el análisis realizado anteriormente para cada tipo de sismo del segmento 2, se obtienen los resultados siguientes:

- ***Sismos Tipo A del Segmento 2***

La distribución de los datos de intensidades para los sismos del Tipo A del Segmento 2 de la placa de Nazca, se detalla en las tablas 4.21 y 4.22.

Tabla 4.21: Distribución de los valores de intensidades del Segmento 2 para sismos del Tipo A. Cantidad de localidades para las cuales se ha estimado un valor de intensidad. Sin diferenciar por el valor de la magnitud.

Intensidad	Cantidad de localidades
II	1
II-III	0
III	0
III-IV	2
IV	0
IV-V	3
V	0
V-VI	0
VI	0
VI-VII	0
VII	0
VII-VIII	0
VIII	0
VIII-IX	0
IX	0
IX-X	0
X	0

Tabla 4.22: Distribución de los valores de intensidades del Segmento 2 para sismos del Tipo A. Cantidad de localidades para las cuales se ha estimado un valor de intensidad. Diferenciando por el valor de la magnitud Ms.

Intensidad	Cantidad de localidades		
	$M \leq 5.5$	$M \leq 6.5$	$M \leq 7.5$
II	1	1	1
II-III	0	0	0
III	0	0	0
III-IV	2	2	2
IV	0	0	0
IV-V	3	3	3
V	0	0	0
V-VI	0	0	0
VI	0	0	0
VI-VII	0	0	0
VII	0	0	0
VII-VIII	0	0	0
VIII	0	0	0
VIII-IX	0	0	0
IX	0	0	0
IX-X	0	0	0
X	0	0	0

Al graficar los datos de las tablas 4.21 y 4.22, se obtiene lo que se muestra en la Figura 4.10.

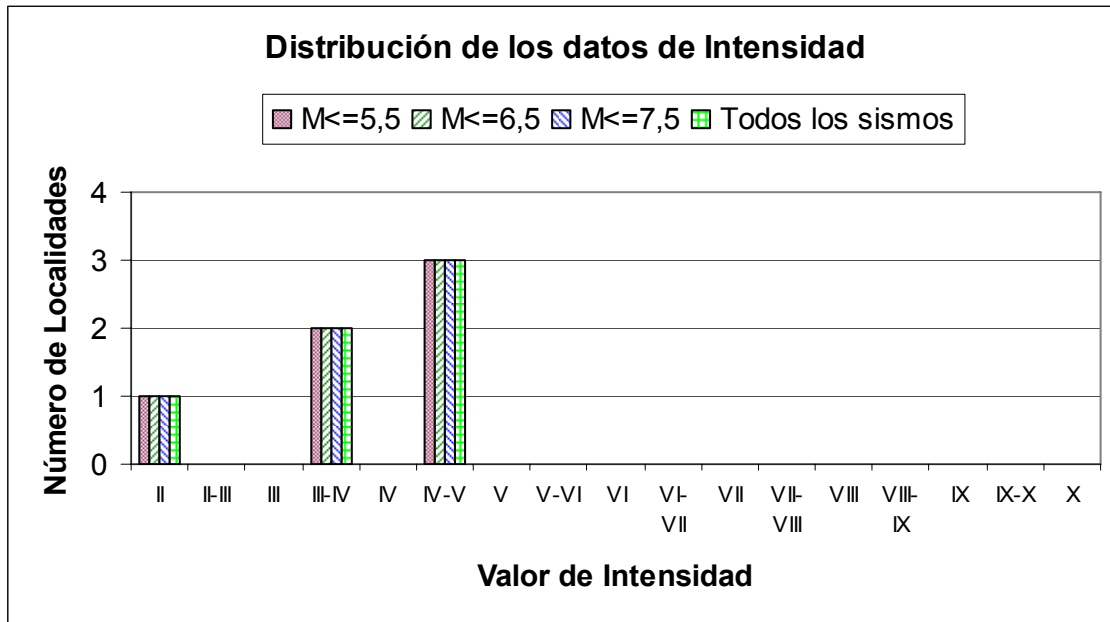


Figura 4.10: Distribución de datos de intensidad para sismos del Tipo A del Segmento 2 utilizando la magnitud Ms.

- *Sismos Tipo B del Segmento 2*

La distribución de los datos de intensidades para los sismos del Tipo B del Segmento 2 de la placa de Nazca, se detalla en las tablas 4.23 y 4.24.

Tabla 4.23: Distribución de los valores de intensidades del Segmento 2 para sismos del Tipo B. Cantidad de localidades para las cuales se ha estimado un valor de intensidad. Sin diferenciar por el valor de la magnitud.

Intensidad	Cantidad de localidades
II	174
II-III	140
III	188
III-IV	258
IV	185
IV-V	233
V	135
V-VI	59
VI	24
VI-VII	49
VII	147
VII-VIII	109
VIII	57
VIII-IX	48
IX	10
IX-X	10
X	2
X-XI	1

Tabla 4.24: Distribución de los valores de intensidades del Segmento 2 para sismos del Tipo B. Cantidad de localidades para las cuales se ha estimado un valor de intensidad. Diferenciando por el valor de la magnitud Ms.

Intensidad	Cantidad de localidades		
	M ≤ 5.5	M ≤ 6.5	M ≤ 7.5
II	133	168	174
II-III	119	136	140
III	155	179	188
III-IV	217	253	258
IV	149	173	184
IV-V	204	224	233
V	91	111	118
V-VI	10	40	53
VI	9	12	17
VI-VII	0	1	4
VII	0	1	2
VII-VIII	0	0	1
VIII	0	0	0
VIII-IX	0	0	0
IX	0	0	0
IX-X	0	0	0
X	0	0	0
X-XI	0	0	0

Al graficar los datos de las tablas 4.23 y 4.24, se obtiene lo que se muestra en la Figura 4.11.

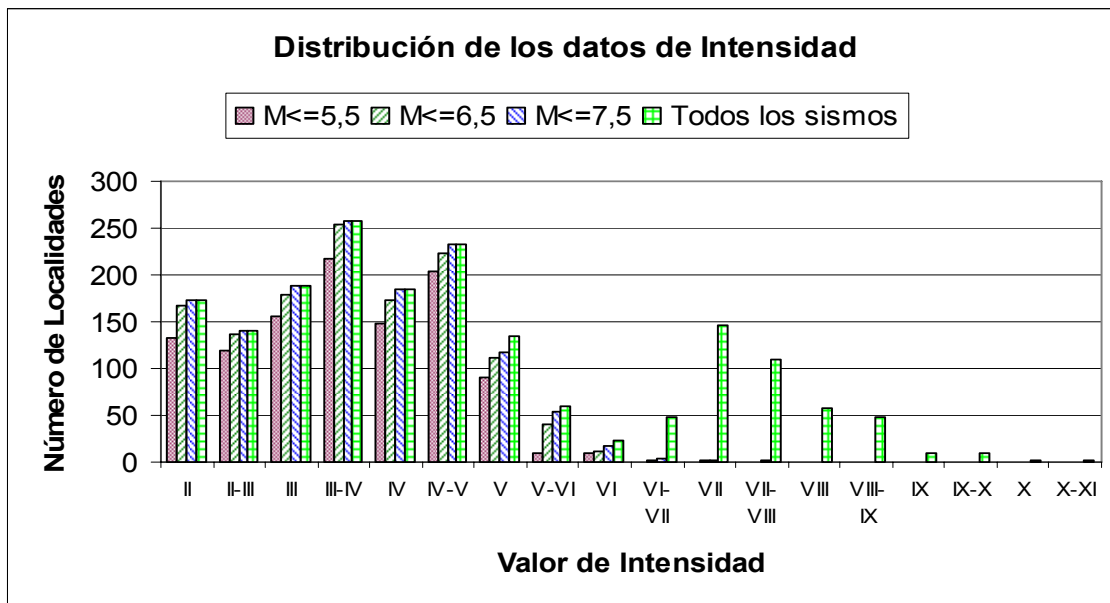


Figura 4.11: Distribución de datos de intensidad para sismos del Tipo B del Segmento 2 utilizando la magnitud Ms.

- *Sismos del Tipo C del Segmento 2*

La distribución de los datos de intensidades para los sismos del Tipo C del Segmento 2 de la placa de Nazca, se detalla en las tablas 4.25 y 4.26.

Tabla 4.25: Distribución de los valores de intensidades del Segmento 2 para sismos del Tipo C. Cantidad de localidades para las cuales se ha estimado un valor de intensidad. Sin diferenciar por el valor de la magnitud.

Intensidad	Cantidad de localidades
II	90
II-III	79
III	95
III-IV	135
IV	99
IV-V	110
V	88
V-VI	50
VI	86
VI-VII	85
VII	51
VII-VIII	8
VIII	7
VIII-IX	2
IX	3
IX-X	3
X	3

Tabla 4.26: Distribución de los valores de intensidades del Segmento 2 para sismos del Tipo C. Cantidad de localidades para las cuales se ha estimado un valor de intensidad. Diferenciando por el valor de la magnitud Ms.

Intensidad	Cantidad de localidades		
	M ≤ 5.5	M ≤ 6.5	M ≤ 7.5
II	72	90	90
II-III	58	76	79
III	77	93	95
III-IV	110	135	135
IV	78	99	99
IV-V	86	109	110
V	47	85	88
V-VI	13	35	50
VI	4	21	86
VI-VII	1	16	85
VII	0	3	51
VII-VIII	0	0	8
VIII	0	1	7
VIII-IX	0	0	2
IX	0	0	3
IX-X	0	0	3
X	0	0	3

Al graficar los datos de las tablas 4.25 y 4.26, se obtiene lo que se muestra en la Figura 4.12.

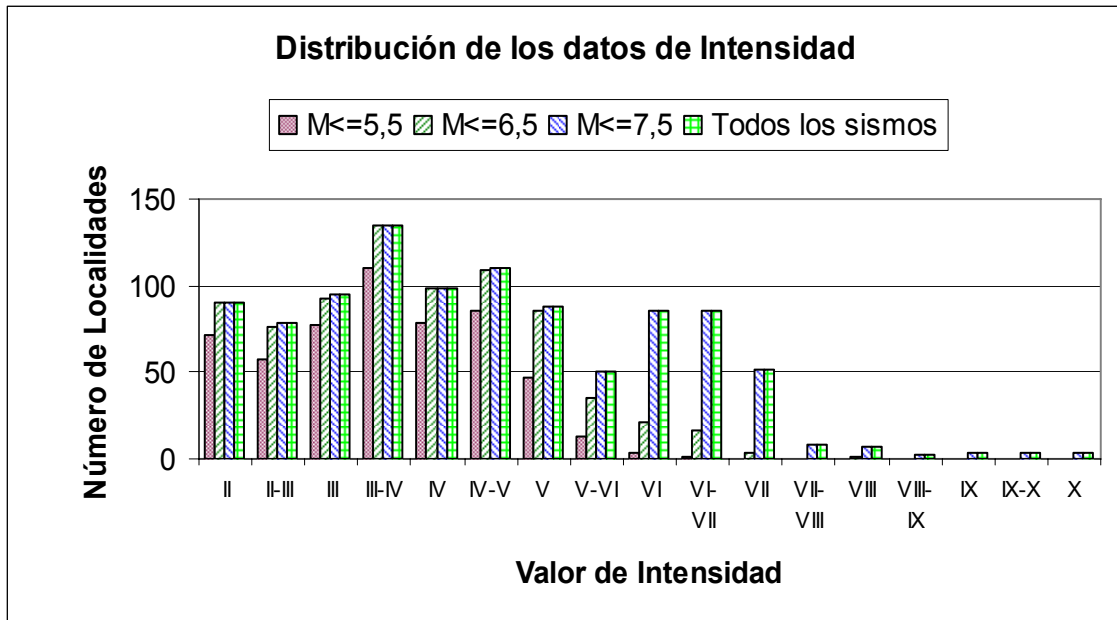


Figura 4.12: Distribución de datos de intensidad para sismos del Tipo C del Segmento 2 utilizando la magnitud Ms.

- *Sismos del Tipo D del Segmento 2*

La distribución de los datos de intensidades para los sismos del Tipo D del Segmento 2 de la placa de Nazca, se detalla en las tablas 4.27 y 4.28.

Tabla 4.27: Distribución de los valores de intensidades del Segmento 2 para sismos del Tipo D. Cantidad de localidades para las cuales se ha estimado un valor de intensidad. Sin diferenciar por el valor de la magnitud.

Intensidad	Cantidad de localidades
II	6
II-III	1
III	7
III-IV	5
IV	2
IV-V	10
V	5
V-VI	0
VI	2
VI-VII	0
VII	0
VII-VIII	0
VIII	0
VIII-IX	0
IX	0
IX-X	0
X	0

Tabla 4.28: Distribución de los valores de intensidades del Segmento 2 para sismos del Tipo D. Cantidad de localidades para las cuales se ha estimado un valor de intensidad. Diferenciando por el valor de la magnitud Ms.

Intensidad	Cantidad de localidades		
	M ≤ 5.5	M ≤ 6.5	M ≤ 7.5
II	5	6	6
II-III	1	1	1
III	6	7	7
III-IV	3	5	5
IV	2	2	2
IV-V	8	10	10
V	1	5	5
V-VI	0	0	0
VI	0	2	2
VI-VII	0	0	0
VII	0	0	0
VII-VIII	0	0	0
VIII	0	0	0
VIII-IX	0	0	0
IX	0	0	0
IX-X	0	0	0
X	0	0	0

Al graficar los datos de las tablas 4.27 y 4.28, se obtiene lo que se muestra en la Figura 4.13.

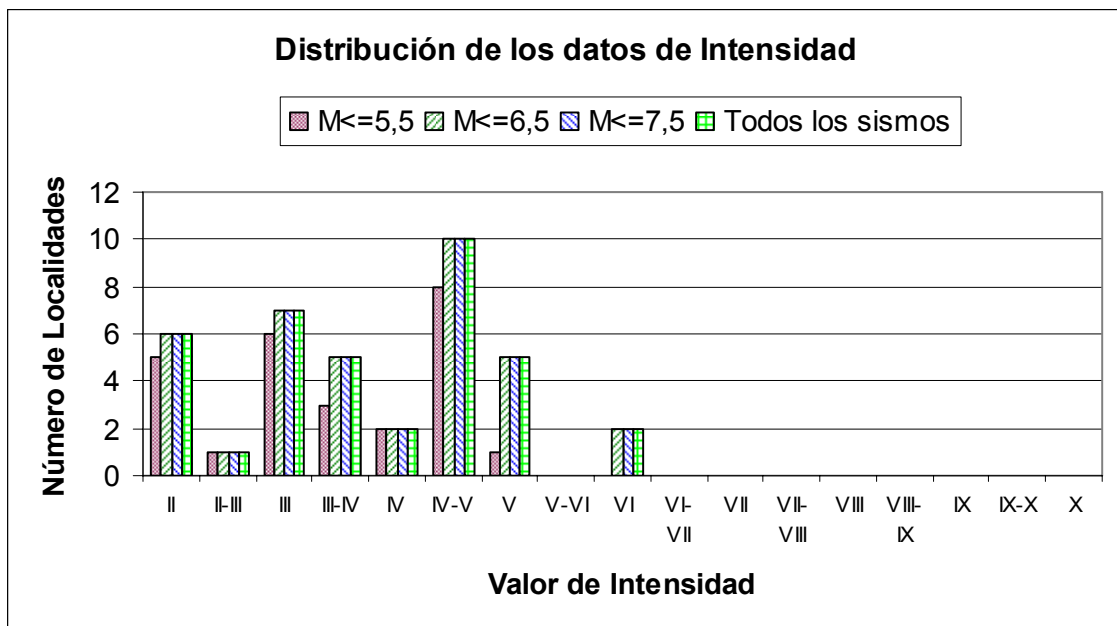


Figura 4.13: Distribución de datos de intensidad para sismos del Tipo D del Segmento 2 utilizando la magnitud Ms.

4.6.2.2 Análisis de la información de intensidades según la distancia epicentral

Al hacer el análisis de la distribución de los datos de intensidades de acuerdo con la distancia epicentral, se obtienen las tablas 4.29, 4.30, 4.31, y 4.32 para el Segmento 2 de la placa de Nazca. Para obtener la distribución detallada en estas tablas, se consideraron cinco valores de la distancia epicentral, distancias menores o iguales a 50 km, entre 50 km y 100 km., entre 100 km y 150, entre 150 km y 250 km. y mayores que 250 km., para tres rangos de magnitud, menor o igual a 5.5, 6.5 y 7.5 grados.

Tabla 4.29: Distribución de los datos de intensidades para el Segmento 2 según la distancia epicentral, Sin diferenciar por el valor de la magnitud.

Intensidades	Todas las Magnitudes				
	Depi ≤ 50 km	50 < Depi ≤ 100 km	100 < Depi ≤ 150km	150 < Depi ≤ 250km	Depi > 250 km
II	4	30	41	83	113
II-III	4	60	49	54	53
III	13	72	76	73	56
III-IV	49	108	105	85	53
IV	43	105	68	42	28
IV-V	103	138	58	33	24
V	56	94	40	14	24
V-VI	25	42	24	13	5
VI	27	44	30	7	4
VI-VII	45	30	32	16	11
VII	49	27	64	51	7
VII-VIII	21	18	38	37	3
VIII	13	16	23	12	0
VIII-IX	8	20	10	12	0
IX	5	6	0	2	0
IX-X	3	6	2	2	0
X	5	0	0	0	0
X-XI	1	0	0	0	0

Tabla 4.30: Distribución de los datos de intensidades para el Segmento 2 según la distancia epicentral. Sismos con magnitud menor o igual a 5.5 grados, utilizando la magnitud Ms.

Intensidades	M ≤ 5.5				
	Depi ≤ 50 km	50 < Depi ≤ 100 km	100 < Depi ≤ 150km	150 < Depi ≤ 250km	Depi > 250 km
II	4	30	40	78	59
II-III	4	60	49	47	18
III	12	72	74	60	20
III-IV	48	103	92	65	24
IV	42	94	52	31	10
IV-V	99	127	45	21	9
V	52	73	9	2	3
V-VI	9	13	1	0	0
VI	6	7	0	0	0
VI-VII	1	0	0	0	0
VII	0	0	0	0	0
VII-VIII	0	0	0	0	0
VIII	0	0	0	0	0
VIII-IX	0	0	0	0	0
IX	0	0	0	0	0
IX-X	0	0	0	0	0
X	0	0	0	0	0

Tabla 4.31: Distribución de los datos de intensidades para el Segmento 2 según la distancia epicentral. Para sismos con magnitud menor o igual a 6.5 grados, utilizando la magnitud Ms.

Intensidades	M ≤ 6.5				
	Depi ≤ 50 km	50 < Depi ≤ 100 km	100 < Depi ≤ 150km	150 < Depi ≤ 250km	Depi > 250 km
II	4	30	41	83	107
II-III	4	60	49	54	46
III	13	72	75	73	46
III-IV	49	108	105	84	49
IV	43	104	65	40	22
IV-V	103	138	57	31	17
V	55	94	33	10	9
V-VI	22	33	15	5	0
VI	8	21	3	2	1
VI-VII	4	10	3	0	0
VII	2	2	0	0	0
VII-VIII	0	0	0	0	0
VIII	1	0	0	0	0
VIII-IX	0	0	0	0	0
IX	0	0	0	0	0
IX-X	0	0	0	0	0
X	0	0	0	0	0

Tabla 4.32: Distribución de los datos de intensidades para el Segmento 2 según la distancia epicentral. Para sismos con magnitud menor o igual a 7.5 grados, utilizando la magnitud Ms.

Intensidades	M ≤ 7.5				
	Depi ≤ 50 km	50 < Depi ≤ 100 km	100 < Depi ≤ 150 km	150 < Depi ≤ 250 km	Depi > 250 km
II	4	30	41	83	113
II-III	4	60	49	54	53
III	13	72	76	73	56
III-IV	49	108	105	85	53
IV	43	105	68	42	27
IV-V	103	138	58	33	24
V	56	94	39	10	12
V-VI	25	42	24	11	1
VI	27	43	28	6	1
VI-VII	45	29	14	1	0
VII	43	4	5	1	0
VII-VIII	9	0	0	0	0
VIII	7	0	0	0	0
VIII-IX	2	0	0	0	0
IX	3	0	0	0	0
IX-X	3	0	0	0	0
X	3	0	0	0	0
X-XI	0	0	0	0	0

Al graficar los datos de estas tablas, se obtienen los gráficos que se muestran en las figuras 4.14 a 4.17.

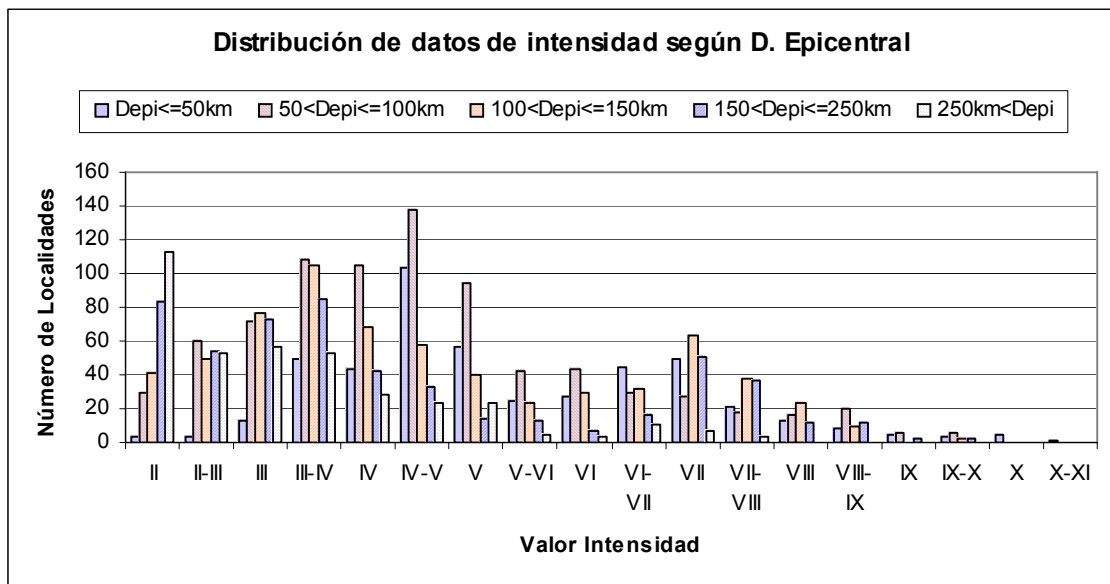


Figura 4.14: Distribución de los datos de intensidades según la distancia epicentral para los sismos del Segmento 2. Sin diferenciar por magnitud (Tabla 4.29).

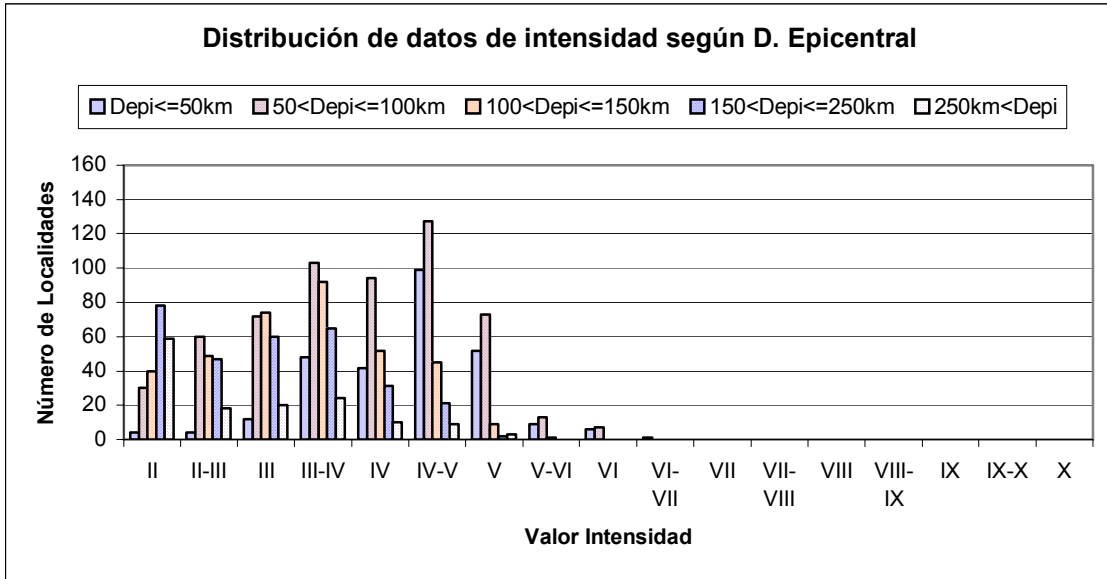


Figura 4.15: Distribución de los datos de intensidades según la distancia epicentral para los sismos del Segmento 2. Para magnitud menor o igual a 5.5 grados utilizando la magnitud Ms (Tabla 4.30).

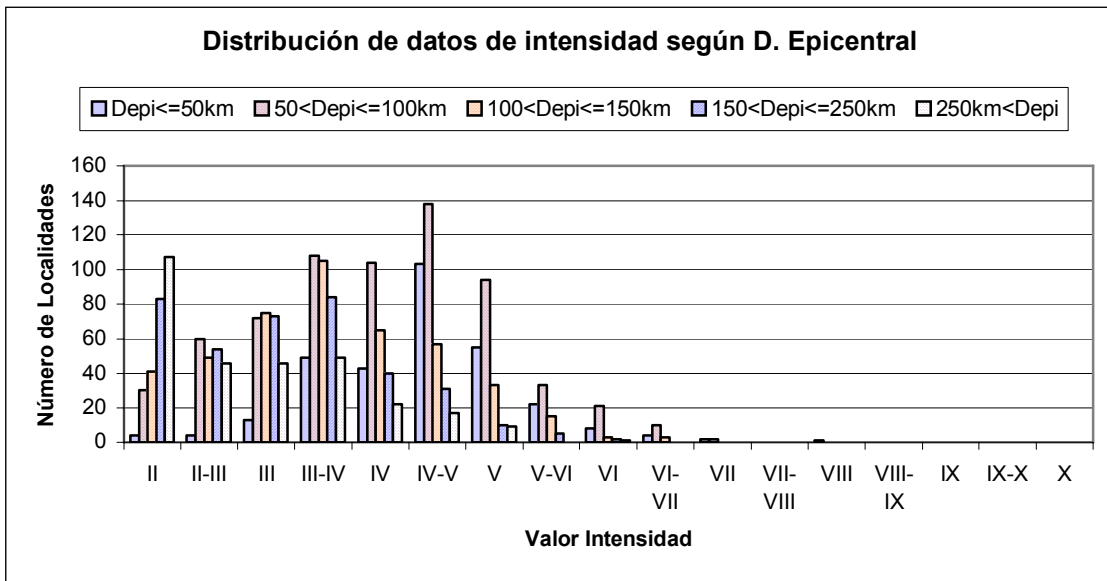


Figura 4.16: Distribución de los datos de intensidades según la distancia epicentral para los sismos del Segmento 2. Para magnitud menor o igual a 6.5 grados utilizando la magnitud Ms (Tabla 4.31).

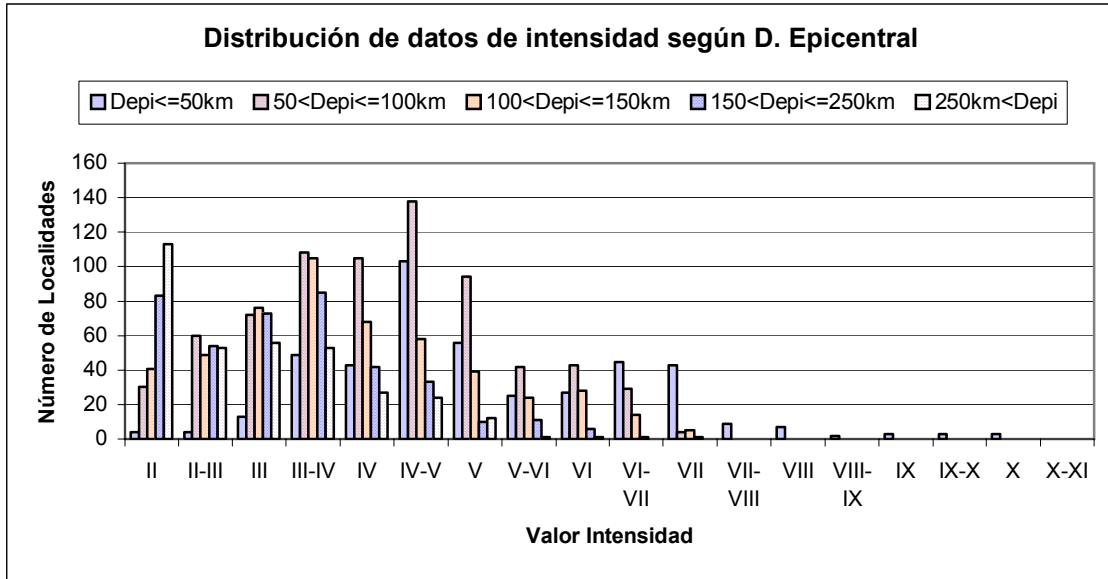


Figura 4.17: Distribución de los datos de intensidades según la distancia epicentral para los sismos del Segmento 2. Para magnitud menor o igual a 7.5 grados utilizando la magnitud Ms (Tabla 4.32).

4.6.3 *Segmento 3 de la Placa de Nazca*

4.6.3.1 *Análisis de la información según la cantidad de datos de intensidad*

Al revisar los datos de intensidades que se tienen para los sismos de este segmento, se obtienen los resultados que se indican en la tabla 4.33 y 4.34.

Tabla 4.33: Distribución de los valores de intensidades del Segmento 3. Cantidad de localidades para las cuales se ha estimado un valor de intensidad. Sin diferenciar por el valor de la magnitud.

Intensidad	Cantidad de localidades
II	67
II-III	54
III	74
III-IV	79
IV	84
IV-V	111
V	57
V-VI	23
VI	20
VI-VII	0
VII	0
VII-VIII	0
VIII	0
VIII-IX	0
IX	0
IX-X	0
X	0

Al hacer esto mismo pero diferenciando por magnitud, es decir, considerando los sismos del Segmento 3 con magnitud menor o igual a 5.5, 6.5 y 7.5, se tienen los datos de la Tabla 4.34.

Tabla 4.34: Distribución de los valores de intensidades del Segmento 3. Cantidad de localidades para las cuales se ha estimado un valor de intensidad. Diferenciando por el valor de la magnitud Ms.

Intensidad	Cantidad de localidades		
	M ≤ 5.5	M ≤ 6.5	M ≤ 7.5
II	53	66	67
II-III	50	54	54
III	57	73	74
III-IV	66	77	79
IV	58	79	84
IV-V	84	107	111
V	38	49	57
V-VI	3	12	23
VI	8	11	20
VI-VII	0	0	0
VII	0	0	0
VII-VIII	0	0	0
VIII	0	0	0
VIII-IX	0	0	0
IX	0	0	0
IX-X	0	0	0
X	0	0	0

Si se grafica la información de las tablas 4.33 y 4.34, se obtiene la Figura 4.18.

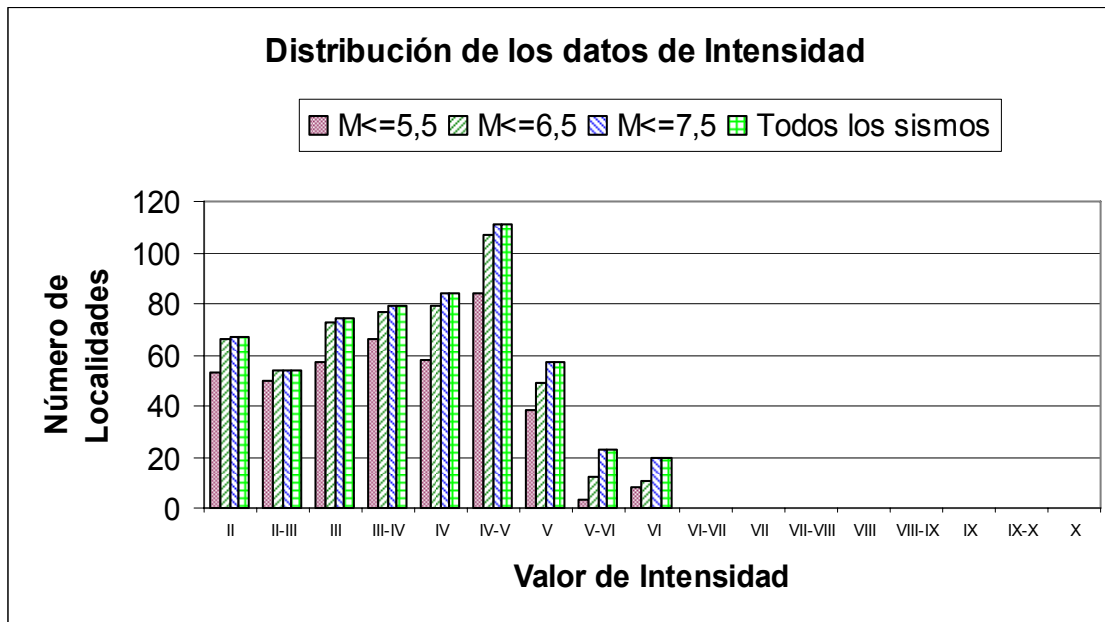


Figura 4.18: Distribución de datos de intensidad para el Segmento 3.

Al agrupar los sismos del Segmento 3 de la placa de Nazca según su origen sismogénico, se obtiene la cantidad de sismos destacada en la Tabla 4.35.

Tabla 4.35: Cantidad de sismos por tipo del Segmento 3

	Tipo A	Tipo B	Tipo C	Tipo D
Número de Eventos	2	37	22	5

Si se realiza el análisis realizado anteriormente para cada tipo de sismo del Segmento 3 de la placa de Nazca, se obtienen los resultados siguientes:

- **Sismos del Tipo A del segmento 3**

La distribución de los datos de intensidades para los sismos del Tipo A del Segmento 3 de la placa de Nazca, se detalla en las tablas 4.36 y 4.37.

Tabla 4.36: Distribución de los valores de intensidades del Segmento 3 para sismos del Tipo A. Cantidad de localidades para las cuales se ha estimado un valor de intensidad. Sin diferenciar por el valor de la magnitud.

Intensidad	Cantidad de localidades
II	1
II-III	1
III	3
III-IV	4
IV	6
IV-V	3
V	1
V-VI	0
VI	0
VI-VII	0
VII	0
VII-VIII	0
VIII	0
VIII-IX	0
IX	0
IX-X	0
X	0

Tabla 4.37: Distribución de los valores de intensidades del Segmento 3 para sismos del Tipo A. Cantidad de localidades para las cuales se ha estimado un valor de intensidad. Diferenciando por el valor de la magnitud Ms.

Intensidad	Cantidad de localidades		
	M ≤ 5.5	M ≤ 6.5	M ≤ 7.5
II	0	1	1
II-III	0	1	1
III	0	3	3
III-IV	0	4	4
IV	0	6	6
IV-V	0	3	3
V	0	1	1
V-VI	0	0	0
VI	0	0	0
VI-VII	0	0	0
VII	0	0	0
VII-VIII	0	0	0
VIII	0	0	0
VIII-IX	0	0	0
IX	0	0	0
IX-X	0	0	0
X	0	0	0

Al graficar los datos de las tablas 4.36 y 4.37, se obtiene lo que se muestra en la Figura 4.19.

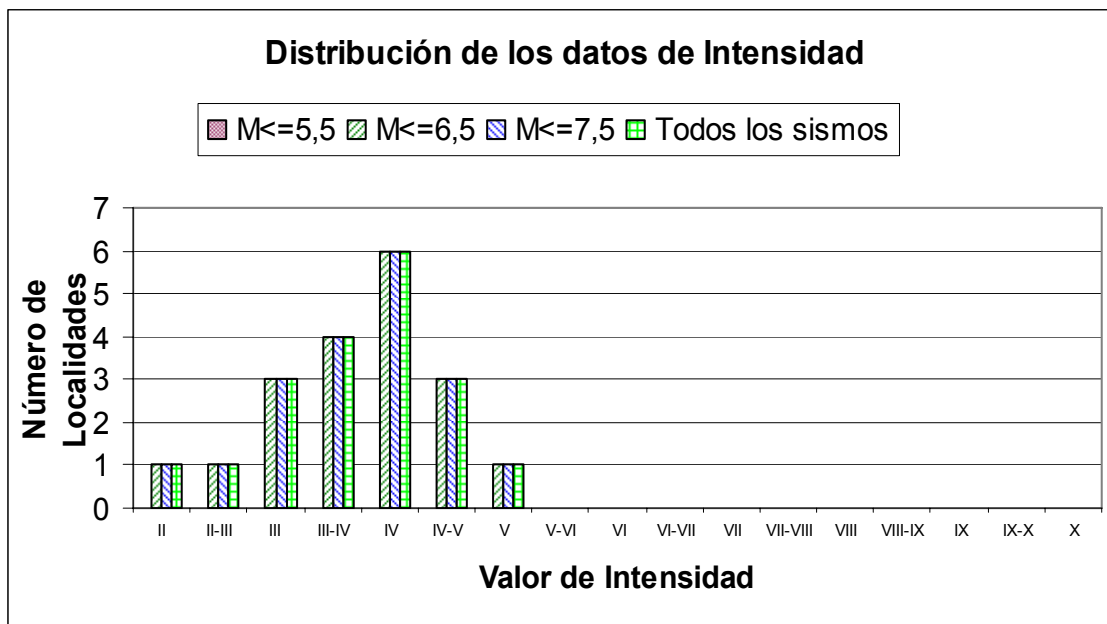


Figura 4.19: Distribución de datos de intensidad para sismos del Tipo A del Segmento 3.

- *Sismos del Tipo B del Segmento 3*

La distribución de los datos de intensidades para los sismos del Tipo B del Segmento 3 de la placa de Nazca, se detalla en las tablas 4.38 y 4.39.

Tabla 4.38: Distribución de los valores de intensidades del Segmento 3 para sismos del Tipo B. Cantidad de localidades para las cuales se ha estimado un valor de intensidad. Sin diferenciar por el valor de la magnitud.

Intensidad	Cantidad de localidades
II	33
II-III	17
III	36
III-IV	36
IV	48
IV-V	64
V	34
V-VI	19
VI	10
VI-VII	0
VII	0
VII-VIII	0
VIII	0
VIII-IX	0
IX	0
IX-X	0
X	0

Tabla 4.39: Distribución de los valores de intensidades del Segmento 3 para sismos del Tipo B. Cantidad de localidades para las cuales se ha estimado un valor de intensidad. Diferenciando por el valor de la magnitud Ms.

Intensidad	Cantidad de localidades		
	M ≤ 5.5	M ≤ 6.5	M ≤ 7.5
II	26	32	33
II-III	15	17	17
III	29	35	36
III-IV	30	34	36
IV	34	43	48
IV-V	47	60	64
V	17	26	34
V-VI	1	8	19
VI	0	1	10
VI-VII	0	0	0
VII	0	0	0
VII-VIII	0	0	0
VIII	0	0	0
VIII-IX	0	0	0
IX	0	0	0
IX-X	0	0	0
X	0	0	0

Al graficar los datos de las tablas 4.38 y 4.39, se obtiene lo que se muestra en la Figura 4.20.

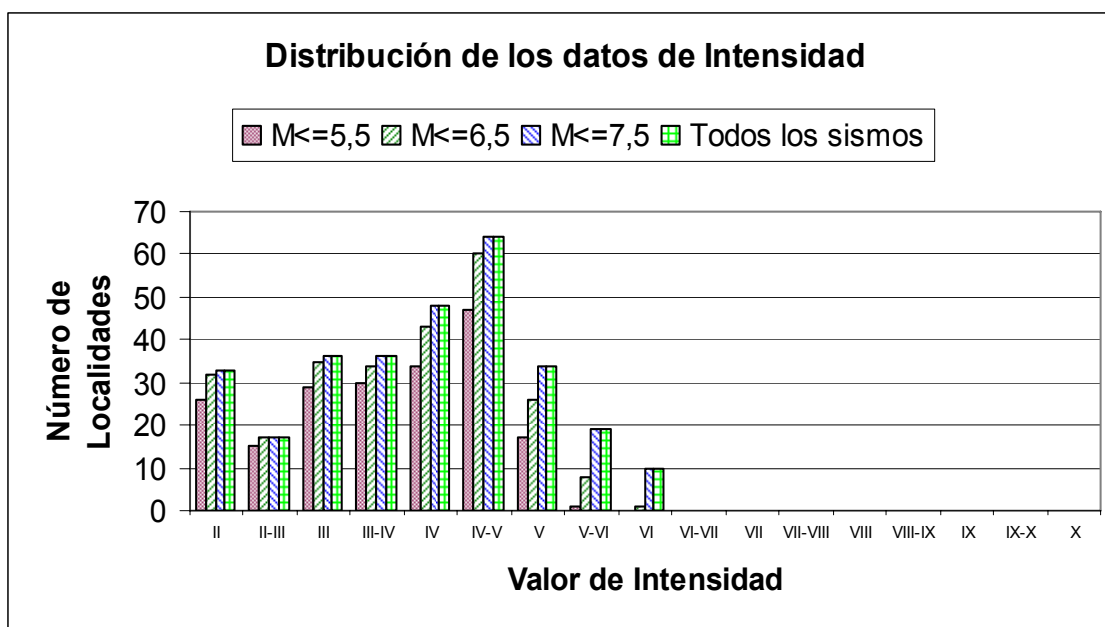


Figura 4.20: Distribución de datos de intensidad para sismos del Tipo B del Segmento 3.

- *Sismos del Tipo C del Segmento 3*

La distribución de los datos de intensidades para los sismos del Tipo C del Segmento 3 de la placa de Nazca, se muestran en las tablas 4.40 y 4.41.

Tabla 4.40: Distribución de los valores de intensidades del Segmento 3 para sismos del Tipo C. Cantidad de localidades para las cuales se ha estimado un valor de intensidad. Sin diferenciar por el valor de la magnitud.

Intensidad	Cantidad de localidades
II	30
II-III	26
III	34
III-IV	33
IV	25
IV-V	29
V	18
V-VI	1
VI	8
VI-VII	0
VII	0
VII-VIII	0
VIII	0
VIII-IX	0
IX	0
IX-X	0
X	0

Tabla 4.41: Distribución de los valores de intensidades del Segmento 3 para sismos del Tipo C. Cantidad de localidades para las cuales se ha estimado un valor de intensidad. Diferenciando por el valor de la magnitud Ms.

Intensidad	Cantidad de localidades		
	M ≤ 5.5	M ≤ 6.5	M ≤ 7.5
II	25	30	30
II-III	25	26	26
III	28	34	34
III-IV	31	33	33
IV	23	25	25
IV-V	28	29	29
V	18	18	18
V-VI	1	1	1
VI	8	8	8
VI-VII	0	0	0
VII	0	0	0
VII-VIII	0	0	0
VIII	0	0	0
VIII-IX	0	0	0
IX	0	0	0
IX-X	0	0	0
X	0	0	0

Al graficar los datos de las tablas 4.40 y 4.41 se obtiene lo que se muestra en la Figura 4.21.

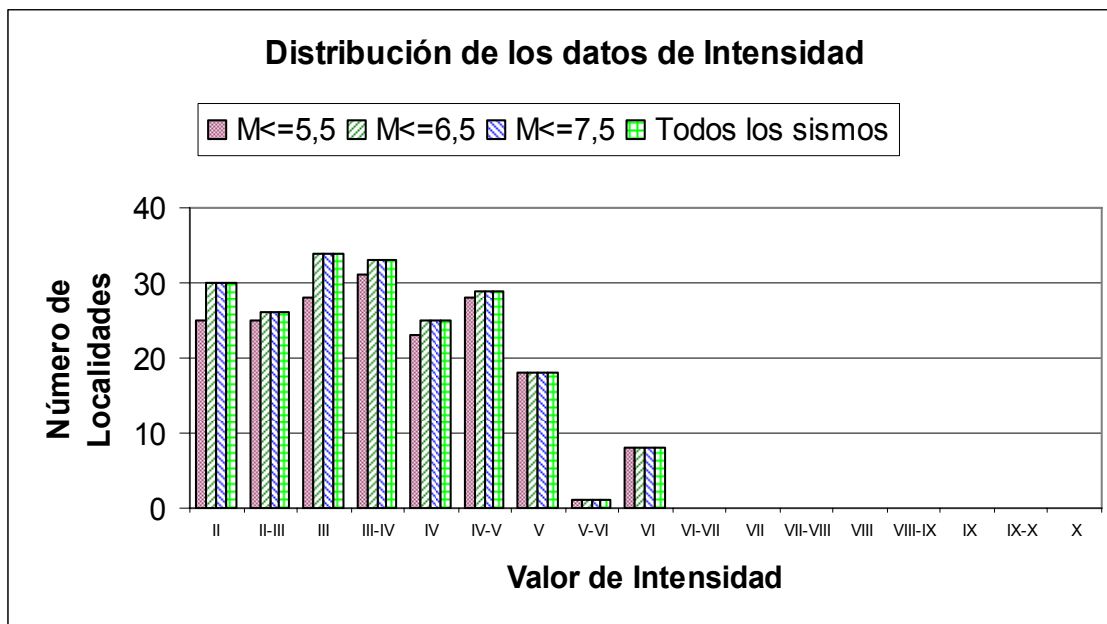


Figura 4.21: Distribución de datos de intensidad para sismos del Tipo C del Segmento 3.

- *Sismos del Tipo D del Segmento 3*

La distribución de los datos de intensidades para los sismos del Tipo D del Segmento 3 de la placa de Nazca, se muestran en las tablas 4.42 y 4.43.

Tabla 4.42: Distribución de los valores de intensidades del Segmento 3 para sismos del Tipo D. Cantidad de localidades para las cuales se ha estimado un valor de intensidad. Sin diferenciar por el valor de la magnitud.

Intensidad	Cantidad de localidades
II	3
II-III	10
III	1
III-IV	6
IV	5
IV-V	15
V	4
V-VI	3
VI	2
VI-VII	0
VII	0
VII-VIII	0
VIII	0
VIII-IX	0
IX	0
IX-X	0
X	0

Tabla 4.43: Distribución de los valores de intensidades del Segmento 3 para sismos del Tipo D. Cantidad de localidades para las cuales se ha estimado un valor de intensidad. Diferenciando por el valor de la magnitud Ms.

Intensidad	Cantidad de localidades		
	M ≤ 5.5	M ≤ 6.5	M ≤ 7.5
II	2	3	3
II-III	10	10	10
III	0	1	1
III-IV	5	6	6
IV	1	5	5
IV-V	9	15	15
V	3	4	4
V-VI	1	3	3
VI	0	2	2
VI-VII	0	0	0
VII	0	0	0
VII-VIII	0	0	0
VIII	0	0	0
VIII-IX	0	0	0
IX	0	0	0
IX-X	0	0	0
X	0	0	0

Al graficar los datos de las tablas 4.42 y 4.43, se obtiene lo que se muestra en la Figura 4.22.

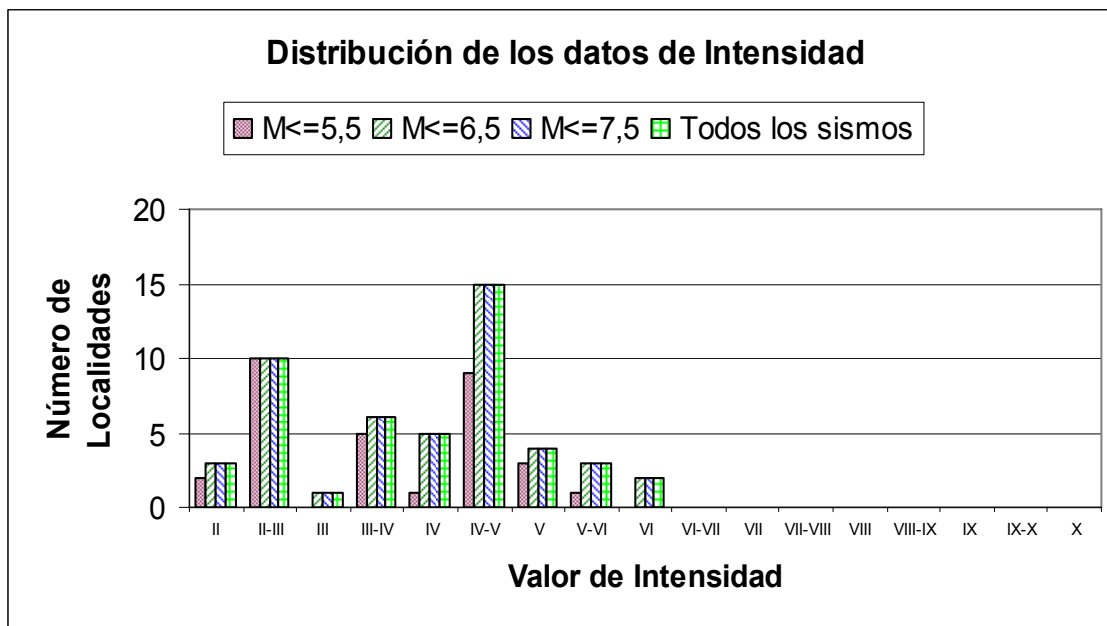


Figura 4.22: Distribución de datos de intensidad para sismos del Tipo D del segmento 3.

4.6.3.2 Análisis de la información de intensidades según la distancia epicentral

Al hacer el análisis de la distribución de los datos de intensidades de acuerdo con la distancia epicentral, se obtienen tablas 4.44, 4.45, 4.46 y 4.47 para el Segmento 3 de la placa de Nazca. Para obtener la distribución detallada en estas tablas, se consideraron cinco rangos de valores de la distancia epicentral, distancias menores o iguales a 50 km, entre 50 km y 100 km., entre 100 km y 150 km, entre 150 km y 200 km., y mayores que 250 km., para tres rangos de magnitud, menor o igual a 5.5, 6.5 y 7.5 grados.

Tabla 4.44: Distribución de los datos de intensidades para el Segmento 3 según la distancia epicentral. Sin diferenciar por el valor de la magnitud.

Intensidades	Todas las Magnitudes				
	Depi ≤ 50 km	50 < Depi ≤ 100 km	100 < Depi ≤ 150km	150 < Depi ≤ 250km	Depi > 250 km
II	2	6	16	27	16
II-III	6	13	17	12	6
III	3	21	19	23	8
III-IV	4	25	25	16	9
IV	19	20	16	11	18
IV-V	32	37	20	18	4
V	14	20	12	7	4
V-VI	2	4	12	4	1
VI	4	7	8	1	0
VI-VII	0	0	0	0	0
VII	0	0	0	0	0
VII-VIII	0	0	0	0	0
VIII	0	0	0	0	0
VIII-IX	0	0	0	0	0
IX	0	0	0	0	0
IX-X	0	0	0	0	0
X	0	0	0	0	0

Tabla 4.45: Distribución de los datos de intensidades para el Segmento 3 según la distancia epicentral. Para sismos con magnitud menor o igual a 5.5 grados, utilizando la magnitud Ms.

Intensidades	M ≤ 5.5				
	Depi ≤ 50 km	50 < Depi ≤ 100 km	100 < Depi ≤ 150km	150 < Depi ≤ 250km	Depi > 250 km
II	2	6	15	21	9
II-III	6	13	17	11	3
III	1	18	18	18	2
III-IV	4	25	22	13	2
IV	18	17	12	9	2
IV-V	31	33	17	3	0
V	12	16	6	4	0
V-VI	2	0	1	0	0
VI	2	3	3	0	0
VI-VII	0	0	0	0	0
VII	0	0	0	0	0
VII-VIII	0	0	0	0	0
VIII	0	0	0	0	0
VIII-IX	0	0	0	0	0
IX	0	0	0	0	0
IX-X	0	0	0	0	0
X	0	0	0	0	0

Tabla 4.46: Distribución de los datos de intensidades para el Segmento 3 según la distancia epicentral. Para sismos con magnitud menor o igual a 6.5 grados, utilizando la magnitud Ms.

Intensidades	M ≤ 6.5				
	Depi ≤ 50 km	50 < Depi ≤ 100 km	100 < Depi ≤ 150km	150 < Depi ≤ 250km	Depi > 250 km
II	2	6	16	27	15
II-III	6	13	17	12	6
III	3	21	19	22	8
III-IV	4	25	25	16	7
IV	19	19	15	10	16
IV-V	32	36	20	16	3
V	13	18	9	6	3
V-VI	2	2	7	1	0
VI	3	4	4	0	0
VI-VII	0	0	0	0	0
VII	0	0	0	0	0
VII-VIII	0	0	0	0	0
VIII	0	0	0	0	0
VIII-IX	0	0	0	0	0
IX	0	0	0	0	0
IX-X	0	0	0	0	0
X	0	0	0	0	0

Tabla 4.47: Distribución de los datos de intensidades para el Segmento 3 según la distancia epicentral. Para sismos con magnitud menor o igual a 7.5 grados, utilizando la magnitud Ms.

Intensidades	M ≤ 7.5				
	Depi ≤ 50 km	50 < Depi ≤ 100 km	100 < Depi ≤ 150km	150 < Depi ≤ 250km	Depi > 250 km
II	2	6	16	27	16
II-III	6	13	17	12	6
III	3	21	19	23	8
III-IV	4	25	25	16	9
IV	19	20	16	11	18
IV-V	32	37	20	18	4
V	14	20	12	7	4
V-VI	2	4	12	4	1
VI	4	7	8	1	0
VI-VII	0	0	0	0	0
VII	0	0	0	0	0
VII-VIII	0	0	0	0	0
VIII	0	0	0	0	0
VIII-IX	0	0	0	0	0
IX	0	0	0	0	0
IX-X	0	0	0	0	0
X	0	0	0	0	0

Al graficar los datos de estas tablas, se obtienen los gráficos que se muestran en las figuras 4.23 a 4.26.

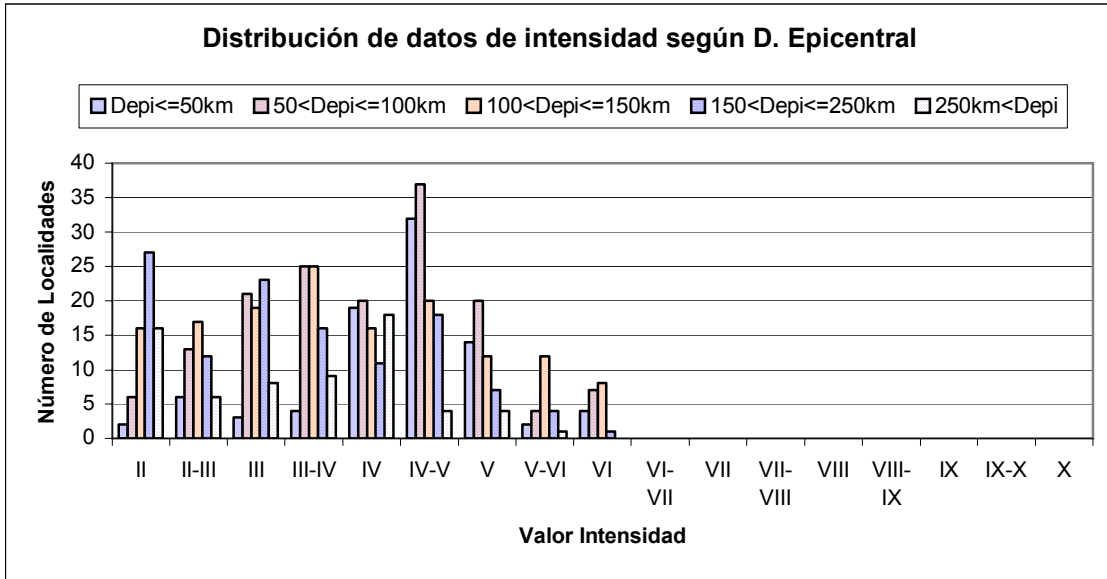


Figura 4.23: Distribución de los datos de intensidades según la distancia epicentral para los sismos del Segmento 3. Sin diferenciar por magnitud (Tabla 4.44).

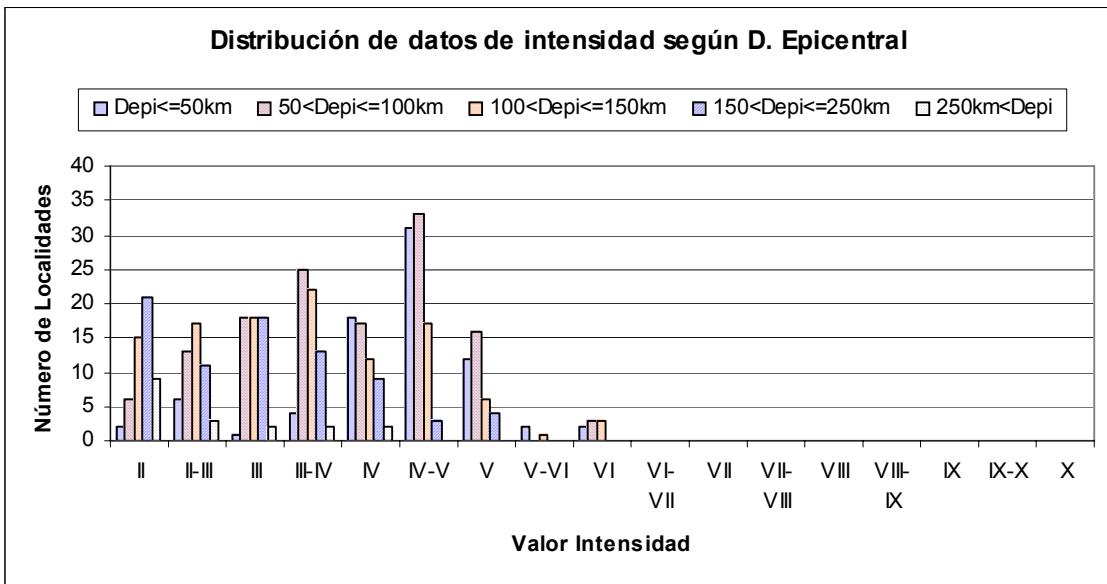


Figura 4.24: Distribución de los datos de intensidades según la distancia epicentral para los sismos del Segmento 3. Para magnitud menor o igual a 5.5 grados utilizando la magnitud Ms (Tabla 4.45).

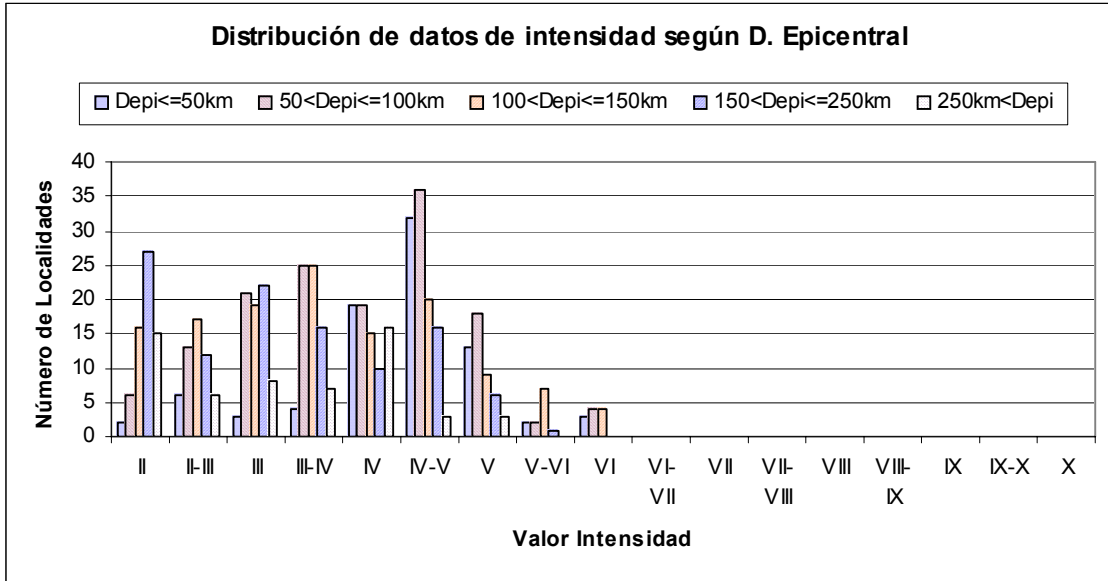


Figura 4.25: Distribución de los datos de intensidades según la distancia epicentral para los sismos del Segmento 3. Para magnitud menor o igual a 6.5 grados utilizando la magnitud Ms (Tabla 4.46).

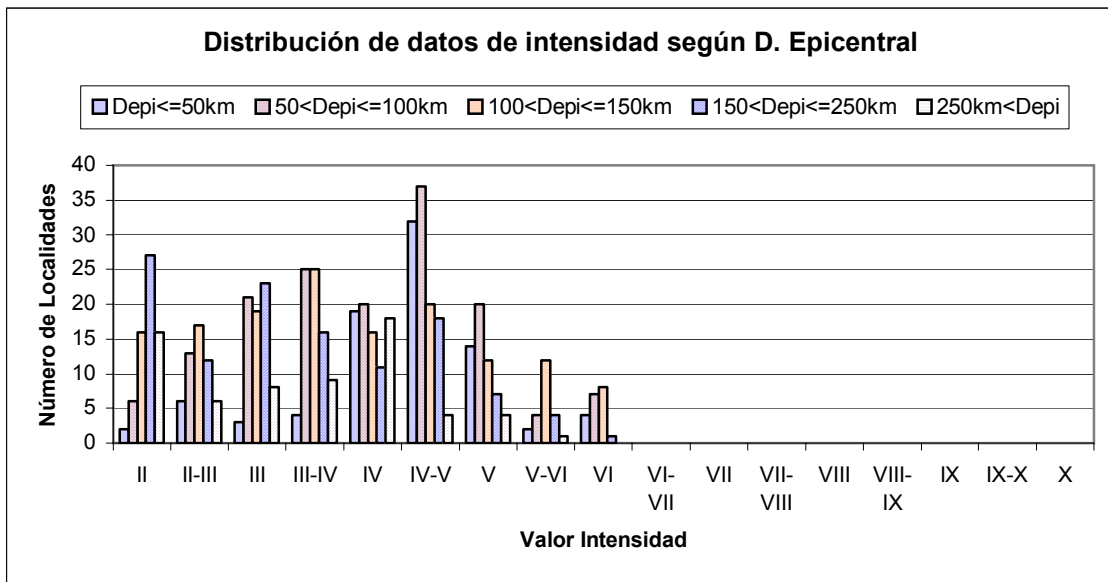


Figura 4.26: Distribución de los datos de intensidades según la distancia epicentral para los sismos del Segmento 3. Para magnitud menor o igual a 7.5 grados utilizando la magnitud Ms (Tabla 4.47).

4.7 Comentarios y Conclusiones

- Es importante destacar que en este capítulo se consideraron totalmente equivalente las escalas de intensidades de Mercalli Modificada y M.S.K.
- Al observar las figuras de este capítulo, se aprecia claramente que en el banco de datos los valores de intensidades que más abundan son menores que V.

Análisis de distribución de datos de intensidad según Magnitud

- Al analizar cada uno de los tres segmentos en que se ha dividido la placa de Nazca por separado, se aprecia que en el Segmento 1 no hay eventos del Tipo A con datos de intensidades. Además hay sólo dos eventos del Tipo C con intensidades mayores que VIII, uno de ellos es el sismo del 13 de junio del 2005, el de mayor magnitud en este segmento de la placa de Nazca, para el cual se estimaron intensidades de IX-X. El otro, es el sismo del 8 de agosto de 1987 para el cual se estimaron intensidades de hasta VIII-IX. En relación con los sismos del Tipo B, en este segmento sólo el sismo del 30 de julio de 1995, el de mayor magnitud de este tipo en este segmento, produjo intensidades de VII grados, menores que las intensidades del sismo 1987, a pesar de tener mayor magnitud, lo que destaca el mayor poder destructivo de los sismos del Tipo C de este segmento.
- El Segmento 2 es el segmento que tiene más eventos con información de intensidades, mayoritariamente sismos del Tipo B, entre ellos destaca el sismo del 3 de marzo de 1985, para el cual hay un gran número de localidades con un valor de intensidad. En este segmento hay sólo un sismo del Tipo A con información de intensidad, lo que indica que este tipo de sismo no son percibidos por las personas y no producen grandes intensidades. Tanto en la figura 4.9 como en la 4.11, se aprecian los efectos del sismo de marzo de 1985 (del Tipo B), el cual provocó intensidades entre VII y VIII en un gran número de localidades e intensidades máximas cercanas los X grados. El sismo de 1997 (del Tipo C) también provocó intensidades máximas cercanas a X grados, a pesar de que tiene una magnitud

menor a 7.5 grados (ver figura 4.12), ratificando el mayor poder destructivo de este tipo de sismos.

- El Segmento 3 es el que presenta menor cantidad de sismos y de magnitudes no muy altas, excepto el sismo del 9 de abril de 1985, el cual es una replica del sismo principal del 3 de marzo del mismo año, y que de acuerdo a las coordenadas del epicentro y tomando en cuenta los errores que hay al determinar estas coordenadas, se puede considerar del Segmento 2 de la placa de Nazca. De todas maneras este evento no provocó grandes intensidades, como se puede comprobar en la figura 4.18.
- Al revisar la información, tanto de las figuras como de las tablas, se puede apreciar que para el intervalo de tiempo analizado, las intensidades son siempre menores que VII cuando la magnitud de los sismos es menor que o igual a 6.5 grados cuando se trata de eventos del tipo B y C. Además se aprecia que para los eventos del tipo D, las magnitudes no han superado el grado 6.5, si se considera las intensidades para magnitudes como la destacada se comprueba que este tipo de evento produce intensidades mayores que los eventos del tipo B y C.

Análisis de distribución de datos de intensidad según Distancia Epicentral

- En el segmento 1, las figuras que muestran la distribución de los datos de intensidades según la distancia epicentral (figuras 4.5 a 4.8), confirman que las intensidades más altas aparecen con los sismos con magnitudes mayores a 6.5 grados. Además, al observar la figura 4.5, se aprecia que las intensidades más bajas están mayoritariamente a más de 150 km del epicentro; por lo contrario, las intensidades más altas se presentan mayoritariamente en localidades que están a 50 km o menos del epicentro. Además, las intensidades entre IV y VI se encuentran en su mayoría a una distancia del epicentro entre los 50 y 100 km. Para sismos con magnitud menor a 5.5 grados (figura 4.6), la intensidad V se presenta a menos de 50 km del epicentro, lo que demuestra que ésta es generalmente la intensidad máxima para los sismos de esta magnitud.

- En el Segmento 2 hay un gran número de localidades a más de 100 km del epicentro (ver figura 4.14) para las que se tiene una intensidad alta (VII a VIII), lo cual se debe al sismo de 1985, evento que provocó daños en localidades relativamente lejanas al epicentro.
- La distribución de los datos de intensidades según las distancias epicentrales del Segmento 3, presenta las mismas características que los segmentos anteriores, es decir, los valores de intensidades más altos se producen en localidades cercanas al epicentro (a menos de 100 km del epicentro) y las intensidades menores se producen en su mayoría a distancias epicentrales mayores que 150 km para sismos con magnitud $M_s \leq 6.5$. El sismo del 9 de abril de 1985, el cual se consideró del segmento 3, provocó intensidades entre V y VI grados a distancias epicentrales mayores a 100 km, lo que se puede apreciar en las figuras 4.23 y 4.26.
- Considerando los comentarios anteriores, es conveniente tener en cuenta que desde el punto de vista de los intereses de la Ingeniería Sísmica el banco de datos de intensidades que se analiza presenta un déficit importante de información para determinar una ley de atenuación de la intensidad confiable para un estudio de Riesgo Sísmico por la falta de valores de intensidades que estén asociado con daños en la estructura resistente de las construcciones actualmente en uso en Chile. Además queda claro nuevamente que la determinación de este tipo de leyes debe hacerse según el tipo de evento, aún cuando se trate de establecer leyes de atenuación para estimar intensidades menores que un grado V, debido a, por ejemplo, el mayor poder destructivo de los sismos del Tipo C.
- La figura siguiente muestra lo antes mencionado, es decir, la falta de valores de intensidades que estén asociados con daños en la estructura resistente de las construcciones, lo que se detalla para cada uno de los segmentos.

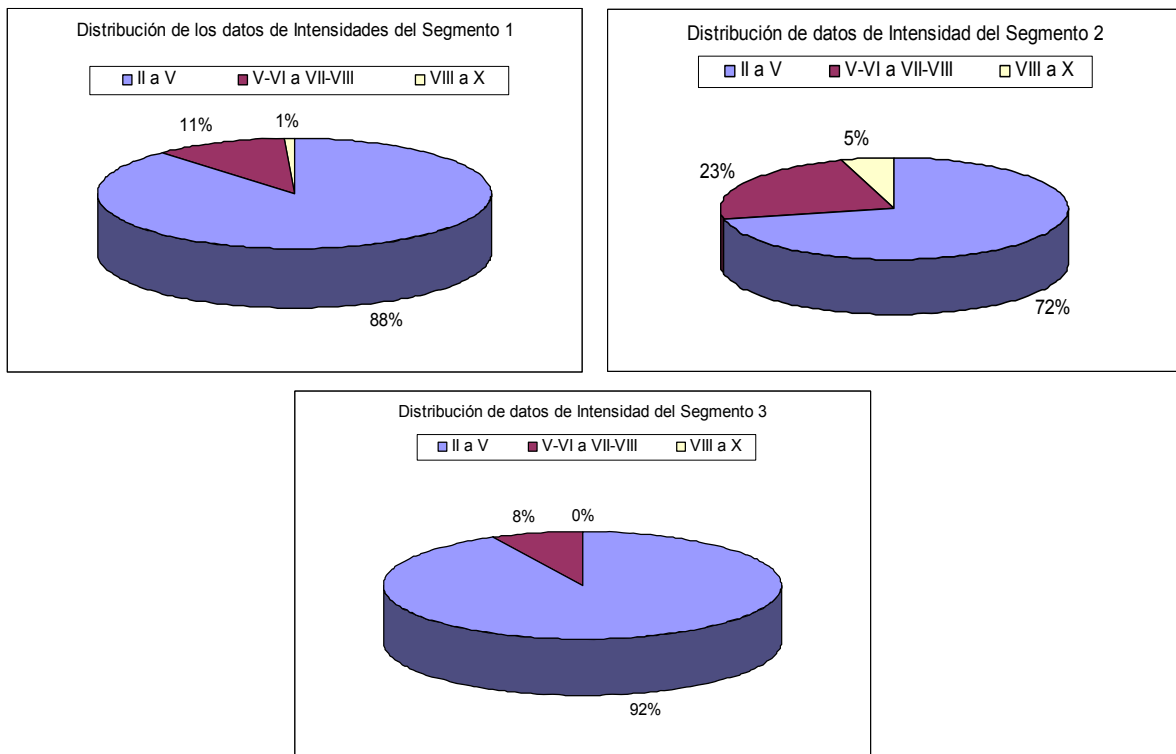


Figura 4.27: Porcentajes de distribución de los datos de intensidades para cada uno de los segmentos.

- Es conveniente destacar que ya se comprobado localmente que la forma en que se atenúa la intensidad con la distancia al hipocentro o al epicentro, depende de la fuente sismogénica (Kausel, 1992, Astroza et al., 2001, Astroza et al., 2005) y de la zona o segmento de la placa de Nazca donde se produce el sismo (Norambuena, 2006). Por lo anterior, la fórmula propuesta por Barrientos (1980), obtenida de la recopilación de intensidades de 73 sismos con sus respectivos parámetros focales, sin hacer diferencia de la fuente que produce el sismo y de la zona donde este se produce, sólo se recomienda utilizarla para los sismos del tipo interplaca (Tipo B) (Diaz, 2001, Astroza et al., 2001, Astroza et al., 2005, Norambuena, 2006).

Capítulo 5 COMENTARIOS Y CONCLUSIONES GENERALES

- Para los efectos del análisis preliminar de la información reunida y contenida en el catálogo preparado en esta memoria, se dividió la placa de Nazca en tres segmentos, considerando la inclinación del plano de Benioff, y se clasificaron los sismos en cuatro tipos de acuerdo donde se ubica su hipocentro. Considerando la cantidad de eventos de diferente tipo se pudo analizar su efecto en los aspectos analizados.
- Para el periodo de tiempo estudiado en este trabajo, se pudo obtener un Catálogo de Hipocentros bastante completo y confiable, considerando que los sismos de magnitud mayor a igual a la magnitud de corte ($M \geq 4.5$) están bien informados gracias a la existencia de redes locales y de una red mundial de banda ancha.
- Del análisis de la información reunida, se puede destacar lo siguiente:

Distribución de los eventos sísmicos

- Con la información reunida, no cabe duda que Chile es uno de los países más sísmicos del mundo, es así como en el periodo de tiempo de 24 años estudiado hubo más de 4000 sismos de magnitud mayor o igual a 4.5 grados. La gran mayoría de estos sismos son del tipo interplaca (Tipo B) e intraplaca oceánica de profundidad intermedia (Tipo C), constituyendo los primeros más del 50% del total de los sismos del periodo, y ambos representan más del 90% de los sismos ocurridos en el país entre 1981 y el 2005 (ver figura 5.1).
- De acuerdo con la figura 5.1, los sismos intraplaca continental, también llamados sismos corticales (Tipo D) y los sismos intraplaca localizados ante de la fosa (Tipo A), son menos frecuentes, representando el 8% de los eventos de magnitud mayor que 4.5 en el período estudiado.

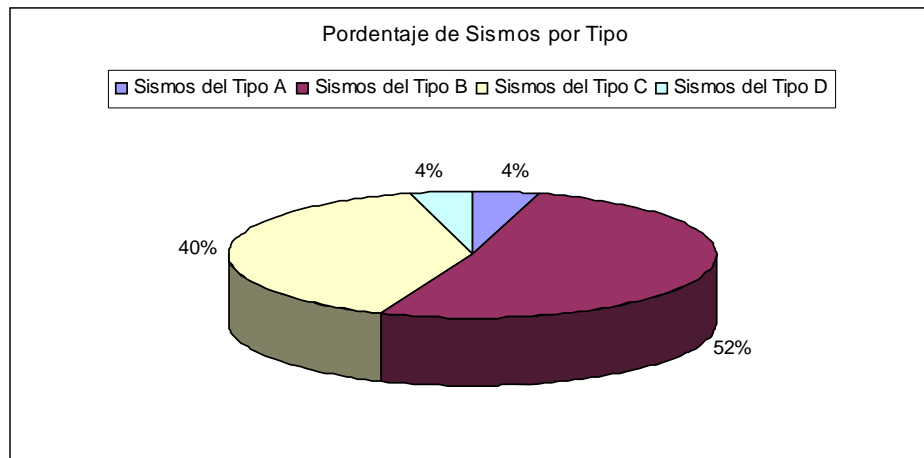


Figura 5.1: Porcentaje de Sismos por Tipo.

Severidad de los eventos sísmicos de la zona de subducción chilena

- Según los antecedentes históricos, los sismos interplaca (Tipo B) son los eventos que alcanzan las mayores magnitudes, alcanzado en ocasiones los 9.5 grados (Terremoto del Sur de Chile de 1960). En el periodo de tiempo estudiado en este trabajo, el terremoto del 3 de marzo de 1985 es el evento de este tipo de mayor magnitud (M=7.8).
- Por otra parte, los sismos intraplaca oceánica de profundidad intermedia (Tipo C) alcanzan magnitudes máximas de 8 grados (Terremoto de Chillán de 1939). Sin embargo, han mostrado ser muy destructores, especialmente cuando se trata de estructuras rígidas como son las construcciones de uso habitacional del tipo unifamiliar construidas tanto en los sectores rurales como urbanos del país. En el periodo estudiado, los eventos que pertenecen al Tipo C de mayor magnitud son el sismo de Tarapacá del 13 de junio del 2005 (M=7.8) y el sismo del 15 de octubre de 1997 (M=6.8).

Impacto en el riesgo sísmico

- Desde el punto de vista del riesgo sísmico, los sismos del tipo interplaca (Tipo B) son muy peligrosos para los lugares ubicados en la costa por la menor distancia

epicentral y porque pueden generar tsunamis devastadores, cuando se ubica el epicentro del evento en el océano. En el periodo estudiado, el evento de mayor magnitud que ocurrió (Sismo del 3/03/1985) no produjo un tsunamis de alto grado aún cuando su magnitud fue $M=7.8$.

- En cambio, los sismos intraplaca oceánica de profundidad intermedia (Tipo C) e intraplaca continental o cortical (Tipo D) controlan el riesgo sísmico en los lugares ubicados al interior del continente (Depresión intermedia y precordillera) y en la cordillera respectivamente. Esto se comprueba en el periodo estudiado si se consideran los lugares donde se producen las intensidades máximas en los sismos de mayor magnitud de ambos tipos, como son los sismos del Tipo C ocurridos el 15/10/1997 y 13/6/2005 y del Tipo D ocurridos el 24/7/2001 y 28/8/2004.
- Los sismos que se producen antes de la fosa (Tipo A), no han representado un verdadero riesgo en el periodo estudiado, ya que no alcanzaron grandes magnitudes y su epicentro está a distancias relativamente grandes de las zonas pobladas de la costa de Chile. En el Catálogo de Intensidades de este trabajo sólo hay 3 sismos del Tipo A, y las intensidades máximas no superaron el grado V.

Distribución espacial de la sismicidad

- Al revisar la información del Capítulo 3, se aprecia que hay zonas con sismicidad más abundante que otras. Esto se debe, entre otras cosas, a las réplicas de los grandes sismos, como los terremotos ocurridos en 1985, 1995, 1997 y 2005, observándose una mayor concentración de temblores en las zonas donde están los epicentros de estos sismos.
- El contacto entre la placa de Nazca y la placa de Sudamérica se presenta hasta los 46° de latitud Sur aproximadamente, límite del segmento 3, más al sur la sismicidad es prácticamente, registrándose un número muy reducido de sismos, los cuales no superan los 5.5 grados de magnitud.

Frecuencia anual de ocurrencia de sismos

- Para analizar la frecuencia anual con que ocurren los sismos con una magnitud mayor o igual a un valor determinado en cada segmento en que se ha dividido la placa de Nazca, con la información reunida se determinó la ley de Gutenberg y Richter.
- Para el periodo estudiado, se obtienen las expresiones de la ley de G-R que se muestran en la siguiente tabla, cuando se analizan todos los terremotos sin hacer una distinción por Tipo:

Tabla 5.1: Relación de G-R para cada uno de los segmentos de la placa de Nazca, por unidad de área y unidad de tiempo, utilizando la magnitud Ms.

	Relación G-R por unidad de tiempo (1 año)	Relación G-R por unidad de tiempo (1 año) y unidad de área (1° x 1°)
Segmento 1	$\text{Log}_{10}(\text{N}) = 5,15 - 0,84 * \text{Ms}$	$\text{Log}_{10}(\text{N}_{\text{Area}}) = 3,35 - 0,84 * \text{Ms}$
Segmento 2	$\text{Log}_{10}(\text{N}) = 5,83 - 0,98 * \text{Ms}$	$\text{Log}_{10}(\text{N}_{\text{Area}}) = 4,09 - 0,98 * \text{Ms}$
Segmento 3	$\text{Log}_{10}(\text{N}) = 5,25 - 0,96 * \text{Ms}$	$\text{Log}_{10}(\text{N}_{\text{Area}}) = 3,44 - 0,96 * \text{Ms}$

Donde:

- *Segmento 1*: desde 17.5° a 26° latitud sur
- *Segmento 2*: desde 26° a 34° latitud sur
- *Segmento 3*: desde 34° a 46° latitud sur

- De acuerdo al valor de a , el segmento 2 es el más sísmico y el segmento 3 muestra mayor sismicidad que el segmento 1. Esto último no se esperaba, pero hay que tener en cuenta que esta relación para el segmento 3 se obtuvo para sismos con magnitud menor o igual a 6 grados, no así para los otros dos segmentos, para los cuales las relaciones se obtuvieron para sismos con magnitud menor o igual a 7.5 grados. En todas las relaciones el valor b es menor que 1, valor característico para sismos tectónicos.
- Si se comparan estas relaciones con las propuestas por Labbe (1976), se observa que solo la relación del segmento 2 propuesta en este trabajo es similar a la relación de la zona 2 propuesta por Labbe. Las relaciones propuestas por Labbe son las siguientes:

- Zona 1: $\text{Log}(N) = 7.63 - 1.14 M$ $18^\circ \leq \text{Latitud sur} < 26^\circ$
- Zona 2: $\text{Log}(N) = 6.41 - 0.99 M$ $26^\circ \leq \text{Latitud sur} < 36^\circ$
- Zona 3: $\text{Log}(N) = 6.68 - 1.03 M$ $36^\circ \leq \text{Latitud sur} < 45^\circ$
- Zona 4: $\text{Log}(N) = 4.46 - 0.81 M$ $45^\circ \leq \text{Latitud sur} < 56^\circ$

- De acuerdo al valor de a y al valor de b , las relaciones propuestas por Labbe indican una mayor sismicidad y un mayor predominio de los sismos pequeños sobre los sismos de mayor magnitud, especialmente en el segmento 1, debido a que ambos valores son mayores a los propuestos en este trabajo.
- Al hacer una distinción considerando el Tipo de sismo, la información disponible entre los años 1981 y 2005, permitió establecer las leyes de G-R para los casos destacados en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2: Ley de Gutenberg y Richter para sismos del Tipo B y C de los segmentos 1 y 2 de la placa de Nazca.

	Segmento 1	Segmento 2
Tipo B	$\text{Log}(N) = 4.24 - 0.73 * M$	$\text{Log}(N) = 5.28 - 0.90 * M$
Tipo C	$\text{Log}(N) = 6.30 - 1,11 * M$	$\text{Log}(N) = 6.48 - 1,21 * M$

El hecho de obtener relaciones para estos dos tipos de sismos se debe principalmente a que según los resultados presentados en el Capítulo 3, en el segmento 1 predominan los sismos del Tipo C y en el segmento 2 los sismos del Tipo B.

Relaciones entre las diferentes magnitudes

- Considerando que los bancos de datos no entregan la misma magnitud, es conveniente obtener ecuaciones que relacionen las distintas magnitudes utilizadas. Aceptando una relación lineal entre las magnitudes, relación comúnmente usada, con los datos disponibles se obtienen las relaciones siguientes:

- $M_s = 1.26 m_b - 1.56$

- $m_b = 0.82 M_L + 0.77$

- $m_b = 0.78 M_c + 1.12$

- Donde m_b es la magnitud de ondas de cuerpo, M_s es la magnitud de ondas superficiales, M_L es la magnitud local y M_c es la magnitud de coda (ver definiciones en el Anexo A).
- Del Catálogo de Hipocentros se obtuvieron 380 sismos que informaban el valor de M_s y m_b . Con estos 380 sismos se obtuvo la relación entre M_s y m_b , la cual se recomienda usar para valores de m_b entre 4.5 y 6.2 grados.
- En el Catálogo de Hipocentros no hay sismos que tengan las magnitudes M_L y m_b , por lo que fue necesario obtener del catálogo conjunto la magnitud M_L entregada por el Servicio Sismológico y la magnitud m_b entregada por otra fuente para un determinado sismo. De esta forma, se utilizaron 163 sismos para obtener la relación entre M_L y m_b , la que se recomienda usar para valores de M_L entre 4.3 y 6.4 grados.
- Lo mismo que se hizo para obtener la relación $M_L - m_b$ se hizo para obtener la relación $M_c - m_b$. En este caso se utilizaron 138 sismos, y se recomienda usar esta relación para valores de M_c entre 4.2 y 5.4 grados.
- Al comparar la relación $M_s - m_b$ obtenida en este trabajo y la entregada por el SISRA (Ceresis, 1985) $m_b = 2.37 + 0.56 M_s$, se observa que no son muy similares.

Intensidades de los eventos ocurridos entre 1982 y el 2005

Si se grafican los porcentajes de datos de intensidades entre II y V grados, V-VI y VII-VIII grados y entre VIII y X grados, se obtienen los resultados que se muestran en la figura 5.2.

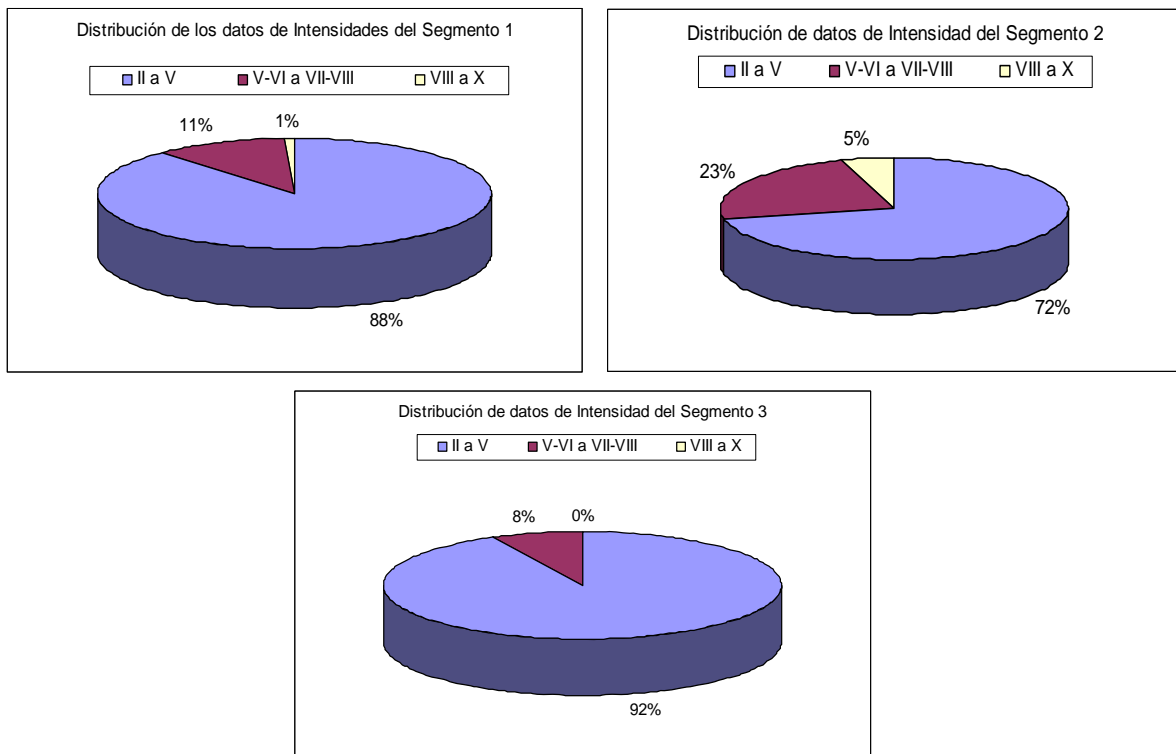


Figura 5.2: Porcentajes de distribución de los datos de intensidades para cada uno de los segmentos.

- En la figura 5.2 se observa claramente la falta de altas intensidades, es decir, valores de intensidades que estén asociados con daños en las estructuras. Solo 3 sismos del Catálogo de Intensidades provocaron intensidades mayores que VIII grados, estos son: sismo del 3/3/1985, sismo del 15/10/1997 y sismo del 13/6/2005.
- Los sismos del Tipo C tienen mayor poder destructivo que los sismos del Tipo B. Los primeros son más abundantes en el segmento 1 de la placa de Nazca, zona muy despoblada, salvo algunas ciudades costeras que no se encuentran sobre los epicentros de estos sismos más destructivos, lo cual disminuye el Riesgo Sísmico de la zona.
- Del análisis anterior se comprueba que resulta complicado establecer una ley de atenuación de la intensidad confiable con los antecedentes que se disponen en el periodo 1982-2005, por la falta de valores de intensidades que representen con daños en las construcciones actualmente en uso en Chile. Lo que sí queda claro, es que al momento de determinar una ley de atenuación de la intensidad, esta debe

hacerse teniendo presente el tipo de sismo, es decir, su fuente sismogénica y la zona o segmento de la placa de Nazca donde se produce el sismo.

REFERENCIAS

Astroza M., 2006, Comunicación Personal.

Barazangi, M. and B.L. Isacks, 1976, "Spatial distribution of earthquake and subduction of Nazca plate beneath South America", *Geology*, 4, pp 686-692.

Barrientos S., 1980, "Regionalización sísmica de Chile", Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias con mención en Geofísica, Departamento de Geofísica, Facultad de Ciencias Física y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Barrientos, S., Vera, E., Alvarado, P., Monfret, T., 2004, Crystal seismicity in central Chile, *Journal of South American Earth Sciences* 16 (2004) 759-768.

Cahill, T. and B.L. Isacks, 1992, "Seismicity and shape of the subducted Nazca plate", *Journal of Geophysical Research*, 97, pp 17503-17529.

Catálogo ISC (<http://www.isc.ac.uk/>)

Catálogo Harvard. (www.seismologyharvard.edu/CMTsearch.html)

Catálogo NEIC (U.S.G.S). (neic.usgs.gov/neis/epic/epic.html)

Comte, d., A. Eisenberg, E. Lorca, M. Pardo, L. Ponce, R. Saragoni, S.K. Singh and G. Suarez, 1986, "The central Chile earthquake of 3 March 1985: a repeat of previous great earthquakes in the region?" *Science*, 233, pp 449-453.

Díaz, O., 2001, "Estudio de los efectos de las condiciones locales en el terremoto de Punitaqui de 1997", Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

E.R. Engdahl, Van der Hilst, R.D., and Buland, R.P., 1998, Global teleseismic earthquake relocation with improved travel times and procedures for depth determination, *Bull. Seism. Soc. Amer.*, v. 88, pp. 722-743.

González E., 1998, "Estudio del sismo de Arica del 8 de Agosto de 1987", Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

Kausel, E., 2006, Comunicación personal.

Labbe J.C. y R. Saragoni, 1976, "Sismicidad de Chile", Publicación SES I 7/76 (124), Sección Estructuras, Departamento de Obras Civiles, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Levret A. and B. Mohammadioun, 1984, "Determination of seismic referente motion for nuclear sites in France", Enginnering Geology an International Journal, Special Issue, Vol. 20, n°1/2, march, pp25-38.

Lomnitz, C., 1971,"Grandes terremotos y tsunamis en Chile durante el período 1535-1955, Geofísica Panamericana, 1, pp 151-178.

Madariaga, R., 1998,"Sismicidad de chile", Física de la Tierra, N°19: 221-258.

Menéndez, P, 1999, Atenuación de las intensidades del sismo del 3 de marzo de 1985 en función de la distancia a la zona de ruptura y del tipo de suelo", Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

Monge, J. Y M. Astroza, 1989, "Metodología para determinar el grado de intensidad a partir de los daños", 5as Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Santiago, Chile.

Monteses de Ballore, 1912, "Historia Sísmica de los Andes meridionales", Segunda Parte: Chile Septentrional, Perú Meridional y Bolivia, Imprenta Cervantes, Santiago, Chile.

Moya, A., 2002. "Estudio de los daños del terremoto de Chillan de 1939", Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

Norambuena, A., 2006. "Estudio de los efectos del terremoto de la Ligua del 28 de marzo de 1965", Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

Norambuena, C., 1969. "Microrregionalización sísmica de la ciudad de Valdivia", Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

Oficina Nacional de Emergencia, ONEMI

Pardo, M, “Seminario: Sismología para ingenieros Achisina, Conceptos Básicos de Sismología.

Pinares P, 2006. “Estudio de la distribución espacial y temporal de la sismicidad en el norte de Chile”, Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

Proyecto SISRA, 1985,”Catálogo de terremotos para América del Sur: Chile”, Volumen 5, Programa de Mitigación de los Efectos de los Terremotos en la Región Andina, Centro Regional de Sismología para América del Sur (CERESIS),Lima, Perú.

Red Nacional de Acelerógrafos – RENADIC, <http://www.renadic.cl/>

Reyes, M., 2003, “El Terremoto de Chillán de 1939 y el Terremoto de Talca de 1928”, Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

Romanoff F., 1999, “Estudio del peligro sísmico en la Región Metropolitana”, Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Ruiz, S., 2002, Fórmulas de atenuación para la subducción de Chile considerando los dos mecanismos principales de sismogénesis y los efectos del suelo y las asperezas”, Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Sandoval, M., 2004. “Estudio de los efectos del sismo fuerte de Santiago del 13 de septiembre de 1945”, Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

Sanhueza , S., 2002, “Estudio de los daños del terremoto de Talca de 1928”, Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

Saragoni, R., A. Holmberg y A. Saez, 1989, “Potencial destructivo y destructividad del terremoto de Chile de 1985”, 5as Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Santiago, Chile.

Servicio Sismológico, Universidad de Chile.

Steffen H., 1907, "Contribuciones para un estudio científico del terremoto del 16 de agosto de 1906", Imprenta Cervantes, Santiago, Chile.

Woessmer, J. and S. Wiemer, 2005, Assessing the quality of earthquake catalogues: Estimating the magnitude of completeness and its uncertainty, BSSA, Vol. 95, N°2, April, pp 684-698.

ANEXO A

MAGNITUD

La manera más conocida y más ampliamente utilizada para la identificación del tamaño de un sismo es la magnitud, existiendo diferentes ecuaciones para determinarla. Entre estas se pueden encontrar en los catálogos revisados las siguientes:

A.1. Magnitud de ondas de cuerpo, m_b

La magnitud de onda interna o de cuerpo, m_b , se calcula de acuerdo a la siguiente fórmula desarrollada por Gutenberg:

$$m_b = \log (A/T) + B + C$$

Donde A es la amplitud de la onda de cuerpo elegida para la determinación, T el periodo de la onda, y B y C constantes dependientes de las características del sismo y la estación sismológica.

Esta escala fue diseñada principalmente para ser aplicada a sismos profundos, usando la amplitud de las ondas internas.

A.2. Magnitud de ondas superficiales, M_s

La magnitud de ondas superficiales, M_s , se calcula de acuerdo a la fórmula establecida por Richter y Gutenberg en 1936:

$$M_s = \log (A) - \log (B) + C + D$$

Donde A es la amplitud total, es decir en las dos dimensiones del plano, de la onda superficial con periodo aproximado de 20 seg (medida en micrones), B es el valor de la amplitud horizontal calculada para un evento de magnitud cero (en micrones) a la misma distancia focal, y C y D son constantes dependientes de cada estación y dependen del tipo de terreno en que se encuentra una estación, el instrumento, la profundidad focal, atenuación, etc.

Esta escala esta diseñada para ser usada en sismos lejanos.

A.3. Magnitud de momento, M_w

La magnitud de momento, M_w , se calcula según la fórmula de Kanamori (1977):

$$M_w = (2/3) \log M_o - 10.7$$

Donde M_o es el momento escalar de la mejor doble cupla en dynas-cm.. M_o es calculado a partir de las bajas frecuencias de los sismos y la medición del área de ruptura de estos.

A.4. Magnitud de coda, M_c

La magnitud coda, M_c , se calcula en función de la duración del sismo y de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$M_c = a \log(T_c) + b D + c$$

Donde T_c es la duración del sismo en un registro y D es la distancia foco-estación. Las constantes a , b y c se obtienen por regresión lineal de T_c v/s magnitud.

A.5. Magnitud local, M_L

La magnitud local, M_L , propuesta por Richter en 1935 se calcula con la fórmula siguiente:

$$M_L = \log(A) - \log A_o$$

Donde A es la máxima amplitud en el sismograma de un sismómetro de torsión, y A_o es la máxima amplitud del temblor considerado como patrón.

Estas fórmulas dan valores algo diferentes para un mismo temblor producto que han sido desarrolladas para extender el concepto de magnitud a sismos de varios tipos. Con el propósito de comparación y conversión, se han encontrado fórmulas para convertir de una escala a otra.

ANEXO B

ESCALAS DE INTENSIDADES

B.1 Escala Chilena (*Sandoval, 2004*)

Grado 0

No sensible al hombre; pero registrado por los instrumentos.

Grado I

Sensible sólo para las personas en reposo o en estado perceptivo.

Grado II

Sensible para la generalidad de las personas; ruido en ventanas y puertas.

Grado III

Provoca alarma en la población; se estremecen las casas; los péndulos se detienen y las lámparas oscilan apreciablemente.

Grado IV

Provoca pánico general; suenan las campanas; caen algunos objetos y muros mal contruidos. Se producen grietas en algunos edificios.

Grado V

Se destruyen algunas chimeneas, murallas y otras partes de edificios; caen algunas casas.

Grado VI

Desastre general; cae un gran número de casas; y se producen grietas en el terreno.

B.2 Escala Modificada de Mercalli (*Servicio Sismológico*)

Grado I

No se advierte sino por unas pocas personas y en condiciones de perceptibilidad especialmente favorables.

Grado II

Se percibe sólo por algunas personas en reposo, particularmente las ubicadas en los pisos superiores de los edificios.

Grado III

Se percibe en los interiores de los edificios y casas. Sin embargo, muchas personas no distinguen claramente que la naturaleza del fenómeno es sísmica, por su semejanza con la vibración producida por el paso de un vehículo liviano. Es posible estimar la duración del sismo.

Grado IV

Los objetos colgantes oscilan visiblemente. Muchas personas lo notan en el interior de los edificios aún durante el día. En el exterior, la percepción no es tan general. Se dejan oír las vibraciones de la vajilla, puertas y ventanas. Se sienten crujir algunos tabiques de madera. La sensación percibida es semejante a la que produciría el paso de un vehículo pesado. Los automóviles detenidos se mecen.

Grado V

La mayoría de las personas lo perciben aún en el exterior. En los interiores, durante la noche, muchas personas despiertan. Los líquidos oscilan dentro de sus recipientes y aún pueden derramarse. Los objetos inestables se mueven o se vuelcan. Los péndulos de los relojes alteran su ritmo o se detienen. Es posible estimar la dirección principal del movimiento sísmico.

Grado VI

Lo perciben todas las personas. Se atemorizan y huyen hacia el exterior. Se siente inseguridad para caminar. Se quiebran los vidrios de las ventanas, la vajilla y los objetos frágiles. Los juguetes, libros y otros objetos caen de los armarios. Los cuadros suspendidos de las murallas caen. Los muebles se desplazan o se vuelcan. Se producen grietas en algunos estucos. Se hace visible el movimiento de los árboles y arbustos, o bien, se les oye crujir. Se siente el tañido de las campanas pequeñas de iglesias y escuelas.

Grado VII

Los objetos colgantes se estremecen. Se experimenta dificultad para mantenerse en pie. El fenómeno es percibido por los conductores de automóviles en marcha. Se producen daños de consideración en estructuras de albañilería mal construidas o mal proyectadas. Sufren daños menores (grietas) las estructuras corrientes de albañilería bien construidas. Se dañan los muebles. Caen trozos de estuco, ladrillos, parapetos, cornisas y diversos elementos arquitectónicos. Las chimeneas débiles se quiebran al nivel de la techumbre. Se producen ondas en los lagos; el agua se enturbia. Los terraplenes y taludes de arena o grava experimentan pequeños deslizamientos o hundimientos. Se dañan los canales de hormigón para regadío. Tañen todas las campanas.

Grado VIII

Se hace difícil e inseguro el manejo de vehículos. Se producen daños de consideración y aún el derrumbe parcial en estructuras de albañilería bien construidas. En estructuras de albañilería especialmente bien proyectadas y construidas sólo se producen daños leves. Caen murallas de albañilería. Caen chimeneas en casas e industrias; caen igualmente monumentos, columnas, torres y estanques elevados. Las casas de madera se desplazan y aún se salen totalmente de sus bases. Los tabiques se desprenden. Se quiebran las ramas de los árboles. Se producen cambios en las corrientes de agua y en la temperatura de vertientes y pozos. Aparecen grietas en el suelo húmedo, especialmente en la superficie de las pendientes escarpadas.

Grado IX

Se produce pánico general. Las estructuras de albañilería mal proyectadas o mal construidas se destruyen. Las estructuras corrientes de albañilería bien construidas se dañan y a veces se derrumban totalmente. Las estructuras de albañilería bien proyectadas y bien construidas se dañan seriamente. Los cimientos se dañan. Las estructuras de madera son removidas de sus cimientos. Sufren daños considerables los depósitos de agua, gas, etc. Se quiebran las tuberías (cañerías) subterráneas. Aparecen grietas aún en suelos secos. En las regiones aluviales, pequeñas cantidades de lodo y arena son expelidas del suelo.

Grado X

Se destruye gran parte de las estructuras de albañilería de toda especie. Se destruyen los cimientos de las estructuras de madera. Algunas estructuras de madera bien construidas, incluso puentes, se destruyen. Se producen grandes daños en represas, diques y malecones. Se producen grandes desplazamientos del terreno en los taludes. El agua de canales, ríos, lagos, etc. sale proyectada a las riberas. Cantidades apreciables de lodo y arena se desplazan horizontalmente sobre las playas y terrenos planos. Los rieles de las vías férreas quedan ligeramente deformados.

Grado XI

Muy pocas estructuras de albañilería quedan en pie. Los rieles de las vías férreas quedan fuertemente deformados. Las tuberías (cañerías subterráneas) quedan totalmente fuera de servicio.

Grado XII

El daño es casi total. Se desplazan grandes masas.

B.3 Escala M.S.K (Sandoval, 2004)

Efectos que definen los grados de intensidad MSK

- Los efectos sentidos por las personas y percibidos en su medio ambiente.
- Los daños producidos en las construcciones según sus diversos tipos.
- Los cambios advertidos en la naturaleza. Efectos sobre el terreno.

Tipos de construcciones

- *Tipo A:* Con muros de mampostería en seco o con barro, de adobes, o de tapial.
- *Tipo B:* Con muros de fábrica de ladrillo, de bloques de mortero, de mampostería con mortero, de sillarejo, entramados de madera.
- *Tipo C:* Con estructura metálica o de hormigón armado.

Términos de cantidad.

Los términos de cantidad utilizados en la definición de los grados de intensidad corresponden aproximadamente a los siguientes porcentajes:

- Algunos5%
- Muchos.....50%
- La mayoría.....75%

Clasificación de los daños en las construcciones

- *Clase 1* Daños ligeros: Fisuras en los revestimientos, caída de pequeños trozos de revestimiento.
- *Clase 2* Daños moderados: Fisuras en los muros, caída de grandes trozos de revestimiento, caída de tejas, caída de pretiles, grietas en las chimeneas e incluso derrumbamientos parciales en las mismas.
- *Clase 3* Daños graves: Grietas en los muros, caída de chimeneas de fábrica o de otros elementos exteriores.

- *Clase 4* Destrucción: Brechas en los muros resistentes, derrumbamiento parcial, pérdida de enlace entre distintas partes de la construcción, destrucción de tabiques y muros de cerramiento.
- *Clase 5* Colapso: Ruina completa de la construcción.

Grado I

- La sacudida no es percibida por los sentidos humanos, siendo detectada y registrada solamente por los sismógrafos.

Grado II

- La sacudida es perceptible solamente por algunas personas en reposo, en particular en los pisos superiores de los edificios.

Grado III

- La sacudida es percibida por algunas personas en el interior de los edificios y solo en circunstancias muy favorables en el exterior de los mismos.
- La vibración percibida es semejante a la causada por el paso de un camión ligero.
- Observadores muy atentos pueden notar ligeros balanceos de objetos colgados, más acentuados e los pisos altos de los edificios.

Grado IV

- El sismo es percibido por personas en el interior de los edificios y por algunas en el exterior.
- Algunas personas se despiertan, pero nadie se atemoriza.
- La vibración es comparables a la producida por el paso de un camión pesado con carga.
- Las ventanas, puertas y vajillas vibran.
- Los pisos y muros producen chasquidos.

- El mobiliario comienza a moverse.
- Los líquidos contenidos en recipientes abiertos se agitan ligeramente.

Grado V

A.

- El sismo es percibido en el interior de los edificios por la mayoría de las personas y por muchas en el exterior.
- Muchas personas que duermen se despiertan y algunas huyen.
- Los animales se ponen nerviosos.
- Las construcciones se agitan con una vibración general.
- Los objetos colgados se balancean ampliamente.
- Los cuadros golpean sobre los muros o son lanzados fuera de su emplazamiento.
- En algunos casos los relojes de péndulo se paran.
- Los objetos ligeros se desplazan o vuelcan.
- Las puertas o ventanas abiertas baten con violencia.
- Se vierten en pequeña cantidad los líquidos contenidos en recipientes abiertos y llenos.
- La vibración se siente en la construcción como la producida por un objeto pesado arrastrándose.

B.

- En las construcciones de tipo A son posibles ligeros daños (clase 1).

C.

- En ciertos casos modifica el caudal de los manantiales.

Grado VI

A.

- Lo siente la mayoría de las personas, tanto dentro como fuera de los edificios.

- Muchas personas salen a la calle atemorizadas.
- Algunas personas llegan a perder el equilibrio.
- Los animales domésticos huyen de los establos.
- En algunas ocasiones, la vajilla y la cristalería se rompen, los libros caen de sus estantes, los cuadros se mueven y los objetos inestables vuelcan.
- Los muebles pesados pueden llegar a moverse.
- Las campanas pequeñas de torres y campanarios pueden sonar.

B.

- Se producen daños moderados (clase 2) en algunas construcciones del tipo A.
- Se producen daños ligeros (clase 1) en algunas construcciones de tipo B y en muchas del tipo A.

Grado VII

A.

- La mayoría de las personas se aterroriza y corre a la calle.
- Muchas tienen dificultad para mantenerse en pie.
- Las vibraciones son sentidas por personas que conducen automóviles.
- Suenan las campanas grandes.

B.

- Muchas construcciones del tipo A sufren daños graves (clase 3) y algunas incluso destrucción (clase 4).
- Muchas construcciones del tipo B sufren daños moderados (clase 2).
- Algunas construcciones del tipo C experimentan daños ligeros (clase 1).

C.

- En algunos casos, se producen deslizamientos en las carreteras que transcurren sobre laderas con pendientes acusadas; se producen daños en las juntas de las canalizaciones y aparecen fisuras en muros de piedra.
- Se aprecia oleaje en las lagunas y el agua se enturbia por remoción del fango.
- Cambia el nivel de agua de los pozos y el caudal de los manantiales. En algunos casos, vuelven a manar manantiales que estaban secos y se secan otros que manaban.
- En ciertos casos se producen derrames en taludes de arena o de grava.

Grado VIII

A.

- Miedo y pánico general, incluso en las personas que conducen automóviles.
- En algunos casos se desgajan las ramas de los árboles.
- Los muebles, incluso los pesados, se desplazan o vuelcan.
- Las lámparas colgadas sufren daños parciales.

B.

- Muchas construcciones de tipo A sufren destrucción (clase 4) y algunos colapso (clase 5).
- Muchas construcciones de tipo B sufren daños graves (clase 3) y algunas destrucción (clase 4).
- Muchas construcciones de tipo C sufren daños moderados (clase 2) y algunas graves (clase 3).
- En ocasiones, se produce la rotura de algunas juntas de canalizaciones. Las estatuas y monumentos se mueven y giran.
- Se derrumban muros de piedra.

C.

- Pequeños deslizamientos en las laderas de los barrancos y en las trincheras y terraplenes con pendientes pronunciadas.
- Grietas en el suelo de varios centímetros de ancho.
- Se enturbia el agua de los lagos.
- Aparecen nuevos manantiales.
- Vuelven a tener agua pozos secos y se secan pozos existentes.
- En muchos casos cambia el caudal y el nivel de agua de los manantiales y pozos.

Grado IX

A.

- Pánico general.
- Daños considerables en el mobiliario.
- Los animales corren confusamente y emiten sus sonidos peculiares.

B.

- Muchas construcciones del tipo A sufren colapso (clase 5).
- Muchas construcciones de tipo B sufren destrucción (clase 4) y algunas colapso (clase 5).
- Muchas construcciones del tipo C sufren daños graves (clase 3) y algunas destrucción (clase 4).
- Caen monumentos y columnas.
- Daños considerables en depósitos de líquidos.
- Se rompen parcialmente las canalizaciones subterráneas.
- En algunos casos, los carriles del ferrocarril se curvan y las carreteras quedan fuera de servicio.

C.

- Se observa con frecuencia que se producen extrusiones de agua, arena y fango en los terrenos saturados.
- Se abren grietas en el terreno de hasta 10 centímetros de ancho y de más de 10 centímetros en las laderas y en las márgenes de los ríos.
- Aparecen además, numerosas grietas pequeñas en el suelo.
- desprendimientos de rocas y aludes.
- Muchos deslizamientos de tierras.
- Grandes olas en lagos y embalses.
- Se renuevan pozos secos y se secan otros existentes.

Grado X

A.

- La mayoría de las construcciones del tipo A sufren colapso (clase 5). muchas construcciones de tipo B sufren colapso (clase 5).
- Muchas construcciones de tipo C sufren destrucción (clase 4) y algunos colapso (clase 5).
- Daños peligrosos en presas; daños serios en puentes.
- Los carriles de las vías férreas se desvían y a veces se ondulan.
- Las canalizaciones subterráneas son retorcidas o rotas.
- El pavimento de las calles y el asfalto forman grandes ondulaciones.

B.

- Grietas en el suelo de algunos decímetros de ancho que pueden llegar a un metro.
- Se producen anchas grietas paralelamente a los cursos de los ríos.
- Deslizamientos de tierras sueltas en las laderas con fuertes pendientes.

- En los ribazos de los ríos y en las laderas escarpadas se producen considerables deslizamientos.
- Desplazamientos de arenas y fangos en las zonas litorales.
- Cambio del nivel de agua en los pozos.
- El agua de canales y ríos es lanzado fuera de su cauce normal.
- Se forman nuevos lagos.

Grado XI

A.

- Daños importantes en construcciones, incluso en las bien realizadas, en puentes, presas y líneas de ferrocarril.
- Las carreteras importantes quedan fuera de servicio.
- Las canalizaciones subterráneas quedan destruidas.

B.

- El terreno queda considerablemente deformado tanto por desplazamientos de terrenos y caídas de rocas.
- Para determinar la intensidad de las sacudidas sísmicas se precisan investigaciones especiales.

Grado XII

A.

- Prácticamente se destruyen o quedan gravemente dañadas todas las estructuras, incluso las subterráneas.

B.

- La topografía cambia.
- Grandes grietas en el terreno con importantes desplazamientos horizontales y verticales.

- Caída de rocas y hundimientos en los escarpes de los valles, producidas en vastas extensiones.
- Se cierran valles y se transforman en lagos.
- Aparecen cascadas y se desvían los ríos

B.4 Escala de Rossi-Forel (1883)

La escala de Rossi-Forel es una de las primeras escalas de *intensidad* diseñadas para *describir los efectos de un terremoto*, en un lugar dado, sobre características naturales, sobre instalaciones industriales y sobre seres humanos. Hoy esta escala de intensidad está en desuso y ha sido substituida por otras.

Grado I.- Micro-sismo: Registrado por un sismógrafo o sismógrafos del mismo tipo, pero no por varios sismógrafos de diferentes tipos. El sismo es sentido por un observador experimentado.

Grado II.- Sismo extremadamente débil: Registrado por sismógrafos de diferentes tipos. Sentido por un grupo pequeño de personas en reposo.

Grado III.- Muy débil: Sentido por varias personas en reposo. Suficientemente fuerte para apreciar su duración y dirección.

Grado IV.- Débil: Sentido por varias personas en movimiento. Perturbación de objetos que pueden moverse, como puertas, ventanas, grietas en plafones. Ruidos en los pisos, muros y losa.

Grado V.- Intensidad moderada: Sentido generalmente por todos. Perturbación de muebles, camas. Sonar de campanas y objetos sueltos.

Grado VI.- Medio fuerte: Despertar general de los que duermen. Sonar de campanas de las iglesias. Oscilación de candelabros. Se paran los relojes de péndulo. Perturbación visible de arboles y arbustos. Algunas personas asustadas dejan sus moradas.

Grado VII.- Fuerte: Desplazamiento de objetos movibles. Caída de recubrimientos. Sonar de las campanas de las iglesias. Pánico general sin daños serios a los edificios.

Grado VIII.- Muy Fuerte: Caída de chimeneas. Grietas en los muros de los edificios.

Grado IX.- Extremadamente fuerte: Destrucción parcial o total de algunos edificios.

Grado X.- Intensidad extrema: Gran desastre. Ruinas. Perturbación de los estratos del subsuelo. Grietas en la corteza terrestre. Deslizamiento de rocas de las montañas. Deslizamiento de puentes.

ANEXO C

EQUIVALENCIA ENTRE LA ESCALA MODIFICADA DE MERCALLI Y LA ESCALA CHILENA

La siguiente relación fue propuesta por Kausel y utilizada por Sandoval para convertir las intensidades de la escala Chilena a la escala de Mercalli Modificada.

$$\text{IMM} = \text{Intensidad}_{\text{Inditecnor 1948}} * 2 - 1$$

Otra equivalencia entre estas dos escalas es la propuesta por F. Greve, la cual se detalla en la Tabla C.1 (Sandoval, 2004):

Tabla C.1: Equivalencia entre la Escala Modificada de Mercalli y la Escala Chilena

Intensidad INDITECNOR	IMM	Aceleración Máxima [g]
I	I-II	0.0005 – 0.002
II	III-IV	0.002 – 0.008
III	V-VI	0.008 – 0.032
IV	VII-VIII	0.032 – 0.128
V	IX-X	0.128 – 0.512
VI	XI-XII	0.512 – o más

ANEXO D

FÓRMULA PARA CALCULAR LA DISTANCIA EPICENTRAL E HIPOCENTRAL

- La distancia epicentral se calculó con la siguiente fórmula:

$$Depi = \sqrt{((Lat_{epi} - Lat_{loc}) * 111.18)^2 + ((Long_{epi} - Long_{loc}) * 111.18 * \cos(Lat_{epi}))^2}$$

Donde: Lat_{epi} = Latitud del epicentro

Lat_{loc} = Latitud de la localidad

$Long_{epi}$ = Longitud del epicentro

$Long_{loc}$ = Longitud de la localidad

- La distancia hipocentral se calculó de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$Depi = \sqrt{((Lat_{epi} - Lat_{loc}) * 111.18)^2 + ((Long_{epi} - Long_{loc}) * 111.18 * \cos(Lat_{epi}))^2 + Prof^2}$$

Donde: Lat_{epi} = Latitud del epicentro

Lat_{loc} = Latitud de la localidad

$Long_{epi}$ = Longitud del epicentro

$Long_{loc}$ = Longitud de la localidad

Prof = Profundidad del Hipocentro