



**MAESTRÍA EN DESARROLLO REGIONAL SUSTENTABLE**

**MODELO DESCRIPTIVO-PREDICTIVO DE ZONAS  
SUSCEPTIBLES DE DESLIZAMIENTO EN LADERAS EN  
LA CUENCA DEL RÍO NAUTLA**

**Andrés de la Rosa Portilla**

**Directora: Dra. Laura C. Ruelas Monjardín**

**Codirectora: Dra. Ofelia Andrea Valdés Rodríguez**

Xalapa, Veracruz, México

2017.

---

---

“...No puedes conectar los puntos mirando hacia adelante, solo puedes hacerlo mirando hacia atrás. Así que tienes que confiar en que los puntos se conectarán de alguna forma en el futuro. Tienes que confiar en algo, tu instinto, el destino, la vida, tu religión, el karma, lo que sea. Porque creer que los puntos se conectarán en algún momento de tu vida, te dará la confianza de seguir a tu corazón, incluso cuando a veces te conduzca fuera del camino trillado y eso hará toda la diferencia...”

Steve Jobs (Stanford,2005)

# ÍNDICE

<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>8</b>
<b>1.1 Justificación .....</b>	<b>8</b>
<b>1.2 Pregunta de investigación.....</b>	<b>13</b>
<b>1.3 Objetivos.....</b>	<b>13</b>
1.3.1 General.....	13
1.3.2 Específicos .....	14
<b>1.4 Hipótesis .....</b>	<b>14</b>
<b>CAPÍTULO II. GESTIÓN DEL RIESGO POR DESASTRES .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 Introducción .....</b>	<b>15</b>
2.1.1 Paradigma de la Gestión del Riesgo .....	17
2.1.2 Factores del riesgo .....	21
2.1.3 Gestión del riesgo por cuenca .....	24
2.1.4 Los deslizamientos en ladera como factor de riesgo .....	28
<b>2.2 Factores que contribuyen a los deslizamientos en laderas .....</b>	<b>36</b>
2.2.1 Geología: fallas y fracturas .....	36
2.2.2 Geomorfología: disección vertical, disección horizontal, pendiente ..... y su orientación.....	37
2.2.3 Uso del suelo .....	40
2.2.4 Precipitación .....	43
<b>2.3 Impacto de los deslizamientos en laderas.....</b>	<b>44</b>
<b>2.4 Modelos de deslizamientos en laderas .....</b>	<b>51</b>
2.4.1 Modelos reactivos.....	51
2.4.2 Modelos proactivos.....	53
<b>CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....</b>	<b>57</b>
<b>3.1 Descripción de la Zona de estudio .....</b>	<b>57</b>
3.1.1 Localización .....	57
3.1.2 Zona de influencia .....	59
3.1.3 Aspectos históricos.....	60
3.1.4 Uso del suelo .....	63
3.1.5 Clima .....	66
3.1.6 Hidrología .....	67
3.1.7 Edafología (Textura).....	69

3.1.8	Geomorfología .....	70
3.1.9	Vulnerabilidad y exposición .....	71
<b>3.2</b>	<b>Modelo descriptivo-predictivo de deslizamientos en laderas con sistemas de información geográfica .....</b>	<b>75</b>
3.2.1	Modelo Conceptual.....	76
3.2.2	Modelo Estadístico .....	79
3.2.3	Modelo Geográfico .....	80
3.2.4	Aplicabilidad y validación en otras cuencas.....	82
<b>3.3</b>	<b>Obtención de capas base .....</b>	<b>82</b>
3.3.1	Georeferenciación de deslizamientos en ladera .....	82
3.3.2	Uso del suelo .....	82
3.3.3	Fallas y fracturas .....	83
3.3.4	Porcentaje de dosel .....	83
3.3.5	Pérdida forestal 2001-2014 .....	83
3.3.6	Precipitación media anual 1902-2011.....	83
3.3.7	Vías de comunicación 2015.....	83
3.3.8	Ángulo de inclinación de las pendientes.....	84
3.3.9	Corrientes superficiales (perennes e intermitentes).....	84
3.3.10	Cuencas y subcuencas del río Nautla .....	84
3.3.11	Cuenca del río Nautla (Conagua).....	84
3.3.12	Microcuencas .....	84
3.3.13	Índice de marginación por localidad 2010 .....	84
3.3.14	Marco geográfico de estudio .....	85
<b>3.4</b>	<b>Modelo Estadístico.....</b>	<b>85</b>
3.4.1	Análisis estadístico de correlación bivariada .....	85
3.4.2	Diagramas de dispersión .....	86
<b>3.5</b>	<b>Modelo Geográfico.....</b>	<b>87</b>
3.5.1	Análisis geoespacial .....	87
<b>3.6</b>	<b>Validación del modelo .....</b>	<b>89</b>
3.6.1	Zonas susceptibles .....	89
3.6.2	Validación .....	91
3.6.3	Análisis de población.....	91
<b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS .....</b>		<b>93</b>

<b>4.1</b>	<b>Modelo Conceptual .....</b>	<b>93</b>
<b>4.2</b>	<b>Modelo Estadístico.....</b>	<b>96</b>
<b>4.3</b>	<b>Modelo Geográfico.....</b>	<b>102</b>
4.3.1	Pendiente .....	102
4.3.2	Uso del suelo.....	103
4.3.3	Porcentaje de dosel.....	104
4.3.4	Densidad de vías de comunicación .....	106
4.3.5	Densidad de corrientes superficiales.....	107
4.3.6	Densidad de fallas y fracturas.....	108
<b>4.4</b>	<b>Zonas susceptibles a deslizamientos en ladera.....</b>	<b>110</b>
4.4.1	Interpretación de los resultados de los modelos conceptual, estadístico y geográfico utilizados para la superposición ponderada.....	110
4.4.2	Mapa predictivo de deslizamientos en ladera.....	111
<b>4.5</b>	<b>Validación.....</b>	<b>112</b>
<b>4.6</b>	<b>Zonas susceptibles a deslizamientos en laderas.....</b>	<b>112</b>
<b>4.7</b>	<b>Análisis de Población .....</b>	<b>114</b>
<b>CAPÍTULO V. DISCUSIÓN.....</b>		<b>117</b>
<b>CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES.....</b>		<b>120</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>		<b>125</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>146</b>
<b>Anexo I Procesamiento cartográfico.....</b>		<b>146</b>
	Análisis previo a las capas de las variables .....	146
	Unión de las capas.....	146
	Recorte de las capas.....	147
	Proyección de las capas .....	147
<b>Anexo II Elaboración de la cartografía para análisis estadístico.....</b>		<b>149</b>
	Deslizamientos en ladera .....	149
	Uso del suelo .....	150
	Densidad de fallas y fracturas .....	152
	Porcentaje de dosel .....	153
	Pérdida forestal .....	153
	Precipitación media anual .....	154
	Densidad de vías de comunicación.....	154

Ángulo de inclinación de las pendientes .....	155
Densidad de corrientes superficiales .....	155
Exportación a Excel y unión de base de datos.....	156

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Registros de desastres en 84 países 1970-2013. ....	<b>16</b>
<b>Figura 2.</b> Decesos y viviendas afectadas por desastres, en Chile e Indonesia 1970-2013. ....	<b>22</b>
<b>Figura 3.</b> Registros de deslizamientos en laderas en 84 países 1970-2013. ....	<b>29</b>
<b>Figura 4.</b> Decesos por deslizamientos en laderas en 84 países 1970-2013. ....	<b>29</b>
<b>Figura 5.</b> Personas afectadas por deslizamientos en laderas en 84 países 1970-2013. ....	<b>30</b>
<b>Figura 6.</b> Viviendas afectadas por deslizamientos en laderas en 84 países 1970-2013. ....	<b>30</b>
<b>Figura 7.</b> Causas de deslizamientos más dañinas en el mundo. ....	<b>32</b>
<b>Figura 8.</b> Deslizamientos en ladera en Veracruz 2005-2013. ....	<b>34</b>
<b>Figura 9.</b> Dinámica de cambio en la vegetación en el estado de Veracruz. ....	<b>35</b>
<b>Figura 10.</b> Desastres por continente de 1900-2015. ....	<b>45</b>
<b>Figura 11.</b> Impacto económico (daños y pérdidas) de origen geológico en 2013 por Estado. ....	<b>46</b>
<b>Figura 12.</b> Estados con más muertes y desapariciones de 1970-2013 por deslizamientos. ....	<b>46</b>
<b>Figura 13.</b> Frecuencia de deslizamiento por cuenca. ....	<b>47</b>
<b>Figura 14.</b> Porcentaje de dosel del arbolado en Veracruz y deslizamientos de ladera en 2013. ....	<b>49</b>
<b>Figura 15.</b> Recursos autorizados del FONDEN por declaratoria de desastre 1999-2015. ....	<b>52</b>
<b>Figura 16.</b> Las características del problema de la planeación. ....	<b>53</b>
<b>Figura 17.</b> Recursos autorizados del FOPREDEN 2004-2015. ....	<b>55</b>
<b>Figura 18.</b> Localización de la cuenca del río Nautla en las Regiones Hidrológicas. ....	<b>57</b>
<b>Figura 19.</b> Localización y colindancias de la Cuenca del Río Nautla. ....	<b>58</b>
<b>Figura 20.</b> Zonas urbanas en la cuenca del río Nautla. ....	<b>60</b>
<b>Figura 21.</b> Porcentaje de dosel del arbolado en la cuenca del río Nautla. ....	<b>64</b>
<b>Figura 22.</b> Cambio de uso del suelo en la cuenca del río Nautla (Deforestación 2000-2012). ....	<b>66</b>
<b>Figura 23.</b> Corrientes superficiales en la cuenca del río Nautla. ....	<b>68</b>
<b>Figura 24.</b> Clase textural del suelo en la cuenca del río Nautla. ....	<b>69</b>
<b>Figura 25.</b> Geomorfología de la cuenca del río Nautla. ....	<b>70</b>
<b>Figura 26.</b> Grado de marginación por municipio en la cuenca del río Nautla. ....	<b>71</b>
<b>Figura 27.</b> Declaratorias anuales para los municipios en la cuenca del río Nautla, de septiembre de 2000 a junio de 2014. ....	<b>75</b>
<b>Figura 28.</b> Desarrollo del medio ambiente y sus interacciones. ....	<b>77</b>
<b>Figura 29.</b> Características de los procesos de transformación de la tierra. ....	<b>78</b>

<b>Figura 30.</b> Herramienta de Superposición Ponderada en ArcMap 10.4. ....	<b>90</b>
<b>Figura 31.</b> Número de correlaciones indirectas entre las variables de estudio.....	<b>96</b>
<b>Figura 32.</b> Gráfico de dispersión de la regresión de la pendiente con los deslizamientos.....	<b>97</b>
<b>Figura 33.</b> Gráfico de dispersión de la regresión del uso de suelo forestal, con los deslizamientos.....	<b>98</b>
<b>Figura 34.</b> Gráfico de dispersión de la regresión de las vías de comunicación, con el uso de suelo agrícola. ....	<b>99</b>
<b>Figura 35.</b> Gráfico de dispersión de la regresión de las corrientes superficiales y las vías de comunicación.....	<b>100</b>
<b>Figura 36.</b> Gráfico de dispersión de la regresión de las fallas y fracturas con la pendiente.....	<b>101</b>
<b>Figura 37.</b> Mapa de pendientes en la cuenca del río Nautla y las seis cuencas de validación. ....	<b>102</b>
<b>Figura 38.</b> Mapa uso del suelo en la cuenca del río Nautla y las 6 cuencas de validación. ....	<b>103</b>
<b>Figura 39.</b> Mapa de porcentaje de dosel con deslizamientos en laderas, en la cuenca del río Nautla y las seis cuencas de validación.....	<b>105</b>
<b>Figura 40.</b> Mapa de densidad de vías de comunicación en la cuenca del río Nautla y las seis cuencas de validación. ....	<b>106</b>
<b>Figura 41.</b> Mapa de densidad de corrientes superficiales, en la cuenca del río Nautla y las seis cuencas de validación. ....	<b>108</b>
<b>Figura 42.</b> Mapa de densidad de fallas y fracturas, de cuenca del río Nautla y seis cuencas de validación. ....	<b>109</b>
<b>Figura 43.</b> Mapa predictivo de deslizamientos, en la cuenca del río Nautla y las seis cuencas de validación. ....	<b>111</b>
<b>Figura 44.</b> Mapa de zonas susceptibles a deslizamientos en ladera, en la cuenca del río Nautla y las seis cuencas de validación. ....	<b>113</b>
<b>Figura 45.</b> Herramienta Merge (Unir) de ArcMap 10.4.....	<b>146</b>
<b>Figura 46.</b> Herramienta Clip (Recortar) de ArcMap 10.4.....	<b>147</b>
<b>Figura 47.</b> Herramienta Project (Proyectar) de ArcMap 10.4.....	<b>148</b>
<b>Figura 48.</b> Herramienta Intersect (Intersectar) de ArcMap 10.4.....	<b>150</b>
<b>Figura 49.</b> Herramienta Dissolve (Disolver) de ArcMap 10.4.....	<b>152</b>
<b>Figura 50.</b> Herramienta Table to Excel de ArcMap 10.4.....	<b>156</b>



## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Principios de la Estrategia de Yokohama y prioridades de acción del Marco de Hyogo .....	<b>18</b>
<b>Tabla 2.</b> Clasificación de la base de datos de desastres .....	<b>31</b>
<b>Tabla 3.</b> Municipios en la zona de Influencia de la cuenca del río Nautla.....	<b>59</b>
<b>Tabla 4.</b> Resumen del uso del suelo y vegetación en la cuenca del río Nautla. ...	<b>63</b>
<b>Tabla 5.</b> Resumen del porcentaje de dosel en la cuenca del río Nautla. ....	<b>65</b>
<b>Tabla 6.</b> Tipos de clima y su superficie en la cuenca del río Nautla.....	<b>67</b>
<b>Tabla 7.</b> Grado de marginación por localidad en la cuenca del río Nautla.....	<b>72</b>
<b>Tabla 8.</b> Grado de marginación por habitantes en la cuenca del río Nautla. ....	<b>73</b>
<b>Tabla 9.</b> Declaratorias emitidas en los municipios de influencia de la cuenca del río Nautla.....	<b>74</b>
<b>Tabla 10.</b> Interpretación de la fuerza de correlación estadística. ....	<b>79</b>
<b>Tabla 11.</b> Correlaciones derivadas de las relaciones estadísticas de las variables de estudio.....	<b>95</b>
<b>Tabla 12.</b> Clasificación de las pendientes.....	<b>103</b>
<b>Tabla 13.</b> Cuantificación del uso del suelo.....	<b>104</b>
<b>Tabla 14.</b> Cuantificación del porcentaje de dosel.....	<b>104</b>
<b>Tabla 15.</b> Cuantificación de densidad de vías de comunicación.....	<b>107</b>
<b>Tabla 16.</b> Cuantificación de densidad de corrientes superficiales.....	<b>107</b>
<b>Tabla 17.</b> Cuantificación de la densidad de fallas y fracturas. ....	<b>110</b>
<b>Tabla 18.</b> Correlación promedio, tipo e influencia de las variables utilizadas en la superposición Ponderada.....	<b>110</b>
<b>Tabla 19.</b> Resultados de la validación del mapa predictivo y los PRM 2013-2014. ....	<b>112</b>
<b>Tabla 20.</b> Resultados y cuantificación de las zonas susceptibles a deslizamientos en las cuencas y subcuencas de la zona de estudio y validación. ....	<b>114</b>
<b>Tabla 21.</b> Análisis de población en zonas susceptibles muy alta, alta y media a deslizamientos en laderas.....	<b>115</b>
<b>Tabla 22.</b> Análisis de población con marginación muy alta en zonas susceptibles a deslizamientos en ladera.....	<b>115</b>
<b>Tabla 23.</b> Análisis de población con marginación alta en zonas susceptibles deslizamientos en ladera.....	<b>116</b>
<b>Tabla 24.</b> Resumen del Inventario Estatal Forestal y de Suelos en la cuenca del río Nautla.....	<b>151</b>

## **CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Justificación**

Aproximadamente el 75% de la población mundial vive en zonas que han sido impactadas al menos una vez, por un fenómeno que ha concluido en algún desastre. Recientemente se ha empezado a reconocer la importancia de las consecuencias que tiene para el desarrollo humano una exposición tan alta a las amenazas naturales. Los desastres naturales están íntimamente relacionados con los procesos de desarrollo humano. Por una parte, los desastres ponen en peligro el desarrollo y por otra, las decisiones en materia de desarrollo tomadas por los diversos actores, pueden generar nuevos riesgos de desastre para la población (Maskrey, 2004).

Los países de América Latina y el Caribe no son la excepción. En términos de la cantidad total de desastres intensivos<sup>1</sup> para el periodo de 1990-2011, en un extremo están México y Perú, con 161 y 130, respectivamente y en el otro están Costa Rica con 4, Uruguay con 1 y Guyana con ninguno. De este total de desastres, el 62% de los registros intensivos estuvieron asociados con fenómenos hidrometeorológicos y climáticos, donde se incluyen los deslizamientos y el 38% restante, con eventos geológicos (sismo, tsunami y erupción volcánica). Más aún, entre 1990 y 2011, la mayoría de las personas fallecidas y afectadas, están asociadas con deslizamientos (26%), huracanes (21%) y sismos (19%) respectivamente. En el mismo periodo, se registraron más de 16 mil personas fallecidas por manifestaciones intensivas de riesgo asociadas con eventos hidrometeorológicos y climáticos. De éstas 12,770 (79%), ocurrieron en 4 países: México, Nicaragua, Honduras y Venezuela (UNISDR y OSSO, 2013).

---

<sup>1</sup> El documento "Impacto de los desastres en América Latina y el Caribe, 1990-2011. UNISDR y Corporación OSSO, 2013, clasifica los registros como intensivos cuando en una unidad político administrativa local hubo 25 o más vidas humanas perdidas y/o 300 o más viviendas destruidas.