

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS



MODELO DE RIESGO POR INUNDACIÓN EN LA MANCHA
URBANA DE ENSENADA B. C. (NW DE MÉXICO)

TESIS



QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
OCEANOLÓGO
PRESENTA
Bruno Matteotti Sánchez

ENSENADA, B. C., DICIEMBRE 2006

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

MODELO DE RIESGO POR INUNDACIÓN EN LA MANCHA URBANA DE
ENSENADA B. C. (NW DE MÉXICO)

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE OCEANOLÓGO

Presenta

Bruno Matteotti Sánchez

Aprobada por:



Dr. Alejandro García Gastelum

DIRECTOR



M. en C. Luís A. Galindo Bect
SINODAL



Dr. Guillermo E. Ávila Serrano
SINODAL

Ensenada, Baja California, Mexico
Diciembre del 2006

AGRADECIMIENTOS

A LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA Y FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS, DONDE REALICE MIS ESTUDIOS DE LICENCIATURA

A LA **SECRETARIA DE MARINA, ARMADA DE MÉXICO**, POR OTORGARME LA BECA PARA LA REALIZACIÓN DE MIS ESTUDIOS DE LICENCIATURA

SE AGRADECE A MI DIRECTOR DE TESIS **DR. ALEJANDRO GARCÍA GASTELUM** POR SU AMISTAD CONSEJOS Y ENSEÑANZAS. A MIS SINODALES **DR. GUILLERMO E. ÁVILA SERRANO** Y **MC. LUÍS A. GALINDO BECT** POR SU CONFIANZA Y ACERTADOS COMENTARIOS.

AL DEPARTAMENTO DE MANEJO DE ZONA COSTERA DE LA UABC, SIEMPRE DISPUESTOS A DAR EL MEJOR CONSEJO POSIBLE. (ALEX, RAFA, PADRINO, CONCHITA, JORGE, JL.)

A LA DOCTORA MARTHA ILEANA ESPEJEL CARVAJAL POR LA CONFIANZA, APOYO Y FACILIDADES OTORGADAS AL PERMITIRME PARTICIPAR EN EL PROYECTO NUMERO SEMARNAT – 2002 – C01 – 1313, "MODELO DE PREDICCIÓN PROBABILÍSTICA DEL CAMBIO DE USO DE SUELO PARA UNA REGION COSTERA DEL NOROESTE DE MÉXICO, COMO HERRAMIENTA PARA EL ORDENAMIENTO ECOLÓGICO DEL TERRITORIO"

DE MANERA ESPECIAL A LA TTE.. ELIZABETH HERRERA, TTE. RENE NAVARRO, TTE. NIDIA ANGULO, DRA. ILEANA ESPEJEL, TANIA Y LORENA QUE EN SU MOMENTO TODOS SUPIERON AYUDARME DE UNA MANERA ESPECIAL.

DEDICATORIA

BRUNO Y PATY, MIS PADRES RESPONSABLES DIRECTOS DE ESTE TAN ESPECIAL LOGRO, SE LOS DEDICO DE TODO CORAZÓN PORQUE ME SIENTO ORGULLOSO DE SER SU HIJO Y LOS QUIERO MUCHÍSIMO.

A MI HERMANA DANIELA, MI COMPAÑERA DE CASA, MI PSICÓLOGA, MI AMIGA, TE DOY LAS GRACIAS POR CUIDARME Y AYUDARME EN ESTA DURA VIDA FUERA DE NUESTRA CASA. SABES QUE SIEMPRE CUENTAS CONMIGO, TQM.

A LA MAS PEQUEÑA DE MIS HERMANAS JADE, POR SER TAN LINDA AL ESTAR PENDIENTE DE MIS ACTOS Y TOMARLOS COMO UN EJEMPLO A SEGUIR, NUNCA DEJES DE LUCHAR. SABES QUE ERES LA MEJOR.

A TODA MI NUMEROSA FAMILIA QUE AUNQUE NO ESTOY MUCHO CON USTEDES SE QUE SIEMPRE ME TIENEN PRESENTE ASÍ COMO YO A USTEDES. AMÉRICA, BEBO, LOPE R. UN SALUDO MUY ESPECIAL.

A MIS AMIGOS DE LA PAZ SIEMPRE QUERIDOS Y NUNCA OLVIDADOS (LIZ, ISELA, ERAIDA, GIOVANITA, MERE, VICENTE, TINAJERO, KAZAFLOVA, MALU, TT, EVA Y LOS DEMÁS QUE JAMÁS ME HAN DEJADO ABAJO), ESPERO ALGÚN DÍA REGRESAR Y REVIVIR VIEJOS MOMENTOS

A MI SEGUNDA FAMILIA **"LOS SALVAVIDAS"** ROGER, DANIEL, VÍCTOR, ROSARIO, PACO, AACINI, LUPITA, RICARDO, MARU, MAURICIO, FER, JULIO, AMAURI, BASTIAN, FELIPE, SAM, JESS, KARLA, MAGDA, ALAN, ESTEBAN, HEBER ES UN HONOR ESTAR EN EL CAMPO DE BATALLA CON USTEDES, LOS ESTIMO MUCHO. Y YA SABEN "NO IMPORTA COMO ESTÉN SINO COMO SE VEAN" FAROL (2006)

A LOS QUE NO PERMITIERON QUE ME ESTRESARA, DESHIDRATARA, Y JAMÁS ME DEJARON HACER EL RIDÍCULO EN EVENTOS SOCIALES, MIS COMPAÑEROS DE FIESTA, ROGER, DANY, ADRIÁN, LEI, LORENZO, LOLA, ALBA, MAGUI, JESS Y A TODOS AQUELLOS QUE ALGUNA VEZ BRINDARON CONMIGO Y LES DIJE "COMPA ES QUE YO TE QUIERO MUCHO".

MUY ESPECIALMENTE A LA FAMILIA NAIME POR SU APOYO Y CARIÑO EN EL TIEMPO QUE TENGO DE CONOCERLOS ANUAR, GABY, IVONNE, TAREK, FANY Y LAILA

A MIS AMIGOS DE LA EIOE (LORENZO, IVÁN, RAÚL, PACO, CONCHA, CORIA, ÁNGELES, NIDIA, JINETE) COMPAÑEROS, COLEGAS, NOS VEREMOS MUY PRONTO.

A LOS AMIGOS DE LA FACULTAD QUE AUN ANDAMOS POR AQUÍ: MAGUI, MONI, DIS, MAURICIO, PAMI, PABLO, CUAPANTECA, IVONNE, ESTHER Y A LOS QUE SE ME OLVIDEN.

A MIS COMPAÑEROS DEPORTISTAS EXTREMOS: JULIO, ADAN, OMAR

“Modelo de riesgo por inundación en la mancha urbana de Ensenada B.C. (NW de México)”

RESUMEN

Este proyecto tiene como objetivo principal la elaboración y evaluación de un modelo de riesgo por inundación pluvial de la zona urbana del puerto de Ensenada, B. C., México, con base en el modelo metodológico de Peligrosidad, Vulnerabilidad y Riesgo (PVR), el cual será evaluado a partir de indicadores ambientales. El modelo toma como la peligrosidad la sumatoria de bases de datos como geomorfología, escurrimientos y topografía, éste se suma a la vulnerabilidad o los distintos tipos de infraestructura (comercial, habitacional, agropecuario, turístico y de servicios.), localizada en la zona de afectación de estos eventos obteniendo de esta manera el riesgo ($R=P+V$), para la zona urbana. Aplicando el modelo propuesto se obtuvieron resultados de vulnerabilidad peligrosidad y riesgo expresados en porcentaje de cobertura de hectáreas, se encontro que aproximadamente 21.1% se encuentran con valores de alto a muy alto vulnerabilidad, 41.4% tienen valores de alto a muy alto peligrosidad y que 21.8% se encuentra con un riesgo de alto a muy alto, esto en un total de 25,600 hectáreas analizadas equivalentes al 100% del área de estudio. Basado en los resultados obtenidos, a partir de esta evaluación se pone en uso un Sistema de Información Geográfica, que determina zonas de riesgo alto, medio y bajo. Con esto tenemos que en base a la definición de Nijkamp et al. (1990) es factible afirmar que los resultados del diagnóstico del Modelo de riesgo de inundación, tienen una relevancia directa para la instancia de toma de decisiones, tanto de planeación en desarrollo urbano como en la identificación de un escenario propicio de o para riesgo.

1. INTRODUCCIÓN	5
2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN.....	8
3. CONCEPTOS Y DEFINICIONES.....	12
3.1. Riesgo.....	12
3.2. Peligrosidad	13
3.3. Vulnerabilidad	13
3.4. Inundación	14
3.5. Indicadores ambientales	14
3.6. Geoindicadores.....	15
3.7. Geomorfología	16
4. OBJETIVOS Y METAS	17
4.1. Objetivo general.....	17
4.2. Objetivos particulares	17
4.3. Hipótesis	17
5. IMPORTANCIA DEL ESTUDIO	18
6. DESCRIPCIÓN Y LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	19
6.1. Límites del área de estudio.....	20
7. METODOLOGÍA Y RESULTADOS.....	22
7.1. Descripción general de la metodología.....	22
7.2. Modelo de Riesgo de Inundación.....	23
7.3. Bases de Datos.....	24
7.4. Procedimiento para la elaboración de los diferentes índices	25
7.4.1. Índice de Pendiente	25
7.4.2. Índice de Escurrimientos.....	29
7.4.3. Índice de Geomorfología.....	31
7.4.4. Índice de Vulnerabilidad.....	32
7.4.5. Índice de Peligrosidad.....	35
7.5. Resultados de la evaluación del modelo.....	36
7.5.1. Índice de Vulnerabilidad.....	39

7.5.2.	Índice de Peligrosidad.....	42
7.5.3.	Índice de Escurrimientos.....	45
7.5.4.	Índice de Geomorfología.....	47
7.5.5.	Índice de Pendientes	49
8.	DISCUSIONES	51
8.1.	Modelo de Riesgo	51
8.2.	Índice de Vulnerabilidad.....	54
8.3.	Índice de Peligrosidad.....	55
8.4.	Índice de Riesgo	56
8.4.1.	Análisis de los resultados por zonas y colonias.....	56
9.	CONCLUSIONES	64
9.1.	Modelo de Riesgo	64
9.2.	Vulnerabilidad	64
9.3.	Peligrosidad	65
9.4.	Riesgo.....	65
10.	LITERATURA CITADA	66

LISTA DE FIGURAS

FIG. 1.- Delimitación del Área de Estudio.....	21
FIG. 2.- Modelo de Riesgo de Inundación Pluvial (RI).....	23
FIG. 3.- Metodología de la evaluación del Índice de pendientes.....	26
FIG. 4.- Curvas de nivel.....	27
FIG. 5.- Modelo Digital de Elevación (DEM).....	28
FIG. 6.- Metodología para la determinación del Índice de escurrimientos.....	30
FIG. 7.- Metodología para la evaluación del Índice de Geomorfología.....	31
FIG. 8.- Metodología para la evaluación del Índice de Vulnerabilidad.....	33
FIG. 9.- Metodología para la evaluación del Índice de Peligrosidad.....	35
FIG. 10.- Grafica del área de estudio que presenta un riesgo a inundación.....	37
FIG. 11.- Resultados del Modelo de Riesgo a inundación.....	38
FIG. 12.- Porcentaje del área de estudio que tiene cada distinto uso de suelo...	40
FIG. 13.- Resultados del índice de Vulnerabilidad de la ciudad de Ensenada....	41
FIG. 14.- Porcentaje del área de estudio que presenta una Peligrosidad.....	43
FIG. 15.- Resultados del Índice de Peligrosidad de la ciudad de Ensenada.....	44
FIG. 16.- Resultados de Escurrimientos.....	45
FIG. 17.- Mapa de Escurrimientos de la ciudad de Ensenada.....	46
FIG. 18.- Porcentaje de cobertura de cada tipo de Geomorfología.....	47
FIG. 19.- Mapa de Geomorfología de la ciudad de Ensenada.....	48
FIG. 20.- Resultados de la topografía en porcentajes de inclinación.....	49
FIG. 21.- Mapa de Pendientes de la ciudad de Ensenada.....	50
FIG. 22.- División zonal de la mancha urbana de la ciudad de Ensenada.....	61
FIG. 23.- División zonal y Riesgo de Inundación de Ensenada.....	62

LISTA DE TABLAS

TABLA I .- Distribución del uso de suelo de las actividades económicas.....	19
TABLA II .- Bases de datos utilizadas como indicadores.....	24
TABLA III .- Valores tomados para la determinación de la pendiente.....	26
TABLA IV .- Valores tomados para la determinación de Escurrimientos.....	30
TABLA V.- Valores tomados para la determinación de Geomorfología.....	32
TABLA VI .- Aspectos tomados para determinación de Vulnerabilidad.....	34
TABLA VII .- Resultados del Modelo de Riesgo de Inundación.....	37
TABLA VIII .- Resultados del índice de Vulnerabilidad.....	40
TABLA IX .- Resultados del Índice de Peligrosidad.....	42
TABLA X .- Resultados del índice de Escurrimientos.....	45
TABLA XI.- Resultados del índice de Geomorfología.....	47
TABLA XII.- Resultados del índice de Pendientes.....	49
TABLA XIII.- Listado de colonias en riesgo de inundación.....	63

1. INTRODUCCIÓN

Los fenómenos naturales de origen geológico, hidrológico y atmosférico tales como terremotos, erupciones volcánicas, movimientos en masa, maremotos, inundaciones y huracanes, representan un peligro latente que bien puede considerarse como una amenaza para el desarrollo social y económico de una región o un país (Maskrey, 1989). Estos fenómenos irrumpen la vida de la población afectando a miles de habitantes alrededor del mundo. Recientemente (diciembre 2004 – enero 2005), la ciudad de Tijuana, B. C. se vio afectada con deslaves e inundaciones, que provocaron pérdidas de millones de pesos en daños materiales (Periódico El Vigía, Ensenada, B. C., 18 de enero de 2005) a partir de estos acontecimientos surge la idea de elaborar un mapa de zonas de riesgos por inundación de la ciudad de Ensenada B. C., por precipitación extrema o incluso por el desbordamiento de la presa Ing. Emilio López Zamora, con fines de cartografiar las zonas bajo riesgo de inundación a partir de un modelo de indicadores ambientales.

En América latina se implementan de acuerdo a Maskrey (1998), dos tipos de estrategias orientadas a la gestión de riesgos: Defensivas y de Contra ataque.

Las estrategias defensivas son la gran mayoría y tienen el objetivo de mitigar pérdidas y daños, son esencialmente reactivas, a menudo individualistas y corto-placistas. Las estrategias de contra ataque, por otro lado, provienen de las primeras cuando se plantea la reducción de riesgos, y surgen mediante una toma de conciencia acerca del escenario de riesgo.

Diferentes metodologías de estrategias defensivas han sido ensayadas por grupos de investigación académica y Organizaciones no Gubernamentales (ONG'S). Dichas estrategias incluyen entre otras: El análisis de riesgos para generar conciencia acerca de los escenarios de riesgo; Apoyo a la organización social, capacitación y asesoría técnica para lograr la implementación de diversas medidas de mitigación de amenaza y reducción de vulnerabilidades.

En los resultados de las estrategias de contra ataque de gestión de riesgos es recomendable incluir un mapa de riesgos; este se puede definir como un gráfico, croquis, o una maqueta, en donde se identifican y localizan las zonas de la comunidad, las áreas habitacionales o las principales obras de infraestructura que podrían verse afectadas durante la ocurrencia de un evento adverso (Martorell et al., 2005).

El riesgo puede reducirse si se entiende como el resultado de relacionar la amenaza, o probabilidad de ocurrencia de un evento, y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, o factor interno de selectividad de la severidad de los efectos sobre dichos elementos. Medidas estructurales, como el desarrollo de obras de protección y la intervención de la vulnerabilidad de los elementos bajo riesgo, y medidas no estructurales, como la regulación de usos del suelo, la incorporación de aspectos preventivos en los presupuestos de inversión y la realización de preparativos como la elaboración de planes de riesgo, pueden reducir las consecuencias de un evento sobre una región o una población (Maskrey, 1989).

Los daños y pérdidas asociados con los desastres son un problema creciente a nivel global. De acuerdo a la Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina, en una muestra de 8 países: México, El Salvador, Guatemala, Costa Rica, Colombia, Ecuador, Perú y Argentina, el número de desastres anuales se duplicaron entre 1990 y 1994,

desde 1,000 desastres al año a más de 2,000. En estos mismos países el número de personas afectadas anualmente por los desastres aumentó de 180,000 en 1990 a más de 300,000 en 1994. Aproximadamente, la tercera parte de la mortalidad asociada a desastres ocurre en desastres pequeños, donde pierden la vida menos de 10 personas, mientras que otro tercio ocurre en desastres de escala mediana, donde pierden la vida entre 10 y 99 personas. El problema de los desastres en la región, entonces, no se restringe a las catástrofes de gran escala. La evidencia apunta hacia escenarios de riesgo con una alta escala fractal, con grandes números de pequeños desastres, manifestando riesgos de patrones especiales y temporales complejos e irregulares (Maskrey, 1989).

A nivel local de junio de 1997 a diciembre de 1998, se realizaron variadas experiencias de participación social a través del comité municipal de protección civil de Ensenada, en el cual se coordina los aportes de los tres niveles de gobierno, los sectores productivos, las ONG'S, la academia y las comunidades. en este corto período fue posible canalizar en oportunidad los pronósticos del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) y de diversos organismos nacionales e internacionales, sobre la proximidad y probable magnitud de la lluvia (2 veces la media anual) por efecto del evento de "el niño" 1997-1998. Esto permitió formular, a través de la Facultad de Ciencias (Zúñiga, 1997) y del Instituto de Investigaciones Oceanológicas de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), las medidas a tomar para la prevención de riesgos y contingencias; en estas reuniones se avanzó mucho, sin embargo quedó pendiente el tema de la localización espacial de la zonas riesgo (Zúñiga, 1997).

2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

El incremento de la población mundial con la consiguiente utilización de mayores porciones de la superficie terrestre para desarrollar distintas actividades humanas, ha dado lugar a una progresiva ocupación de áreas con condiciones marginales, sujetas a la influencia de procesos naturales potencialmente peligrosos; lo que incrementa las situaciones de riesgo (Cendrero, 1997a).

En la actualidad se sostiene que cerca de dos tercios de la población mundial vive a no más de 100 kilómetros de la línea de costa, siendo en muchos casos la densidad poblacional marcadamente mayor que en otros tipos de ambientes del planeta; y con una marcada tendencia al aumento en los próximos 30 años (OCDE, 1995; Cendrero y Fischer, 1997).

El incremento poblacional en la zona costera ha generado un incremento por la demanda de espacios donde desarrollar distinto tipo de actividades y usos muy diversificados (OCDE, 1995), que en muchos casos son competitivos y frecuentemente incompatibles (Cendrero y Charlier, 1990). Es decir, que la franja costera quizás como ningún otro ambiente natural, está sometida a un uso intensivo de sus recursos (Cendrero y Fischer, 1997). Por ejemplo, en los países de la Organización para la Cooperación y desarrollo Económico, (OCDE), los usos más difundidos son para vivienda, turismo, tiempo libre, actividades industriales y explotación de hidrocarburos; ya que las costas presentan varias posibilidades de terrenos aprovechables, comunicaciones fáciles, mano de obra y mercados (OCDE, 1995).

Es común identificar situaciones en las cuales el efecto de los procesos naturales son complicados por las acciones humanas sobre el ambiente, lo que genera la ocurrencia de peligros naturales e inducidos por el hombre (Cendrero

y Charlier, 1990). Al respecto Sorensen et al. (1992) mencionan que la erosión costera, la inundación fluvial y la migración de dunas son fenómenos comúnmente naturales, exacerbados por efectos adicionales de los usos antrópicos sobre el ambiente. La falta de información científica sobre el funcionamiento de los procesos naturales y sus consecuencias, o el desconocimiento por parte de los tomadores de decisiones sobre la existencia de la misma, constituyen aspectos adicionales que complican aún más la problemática costera.

Las características atmosféricas sobre el Océano Pacífico han sido descritas por Quiroz (1984); Pique (1972); Namias (1983); y sobre el Noroeste de México por Reyes y Mejia (1991); García y Mosiño (1967). Durante los meses de invierno el jet stream (corriente de chorro) se desplaza hacia el sur, permitiendo que las masas de aire de origen polar y de latitudes medias, penetren a latitudes subtropicales. Estas masas de aire polar interaccionan con masas de aire de origen tropical, presentándose diferentes procesos de transferencia de energía, de calor y masa que dan lugar a formación de frentes, asociados a una formación atmosférica baja y a fuertes gradientes de temperatura, con vientos intensos y una gran precipitación. Estos fenómenos frontales, son controlados por la circulación general del sistema océano-atmósfera y transportados hacia las costas americanas, principalmente Alaska, Canadá, Estados Unidos y México, en Baja California (García y Reyes 1993).

La península de Baja California se encuentra en una zona de transición que la hace particularmente vulnerable a distintos fenómenos meteorológicos y climatológicos, estas características generan condiciones que pueden causar desastres naturales extremos como sequías e inundaciones. Por ejemplo; el estado de Baja California, México, sufrió durante el invierno de 1992-1993, uno de los mas severos eventos hidrometeorológicos de su historia moderna,

llevando a que algunos municipios del estado fueran declarados zona de desastre por el gobierno federal (El Vigía, 18 de enero de 2005).

Los registros de precipitación y escurrimiento durante el periodo de lluvia del invierno de 1993 en la región, fueron muy por arriba del normal. El impacto de las lluvias e inundaciones en las zonas urbanas causaron grandes daños y perjuicios a la sociedad; estos daños se presentaron principalmente en las áreas cercanas a los cauces naturales de los escurrimientos, y es ahí donde se ocasionaron los mayores desastres (García y Reyes 1993).

Una de las ciudades que resultaron afectadas por estas condiciones hidrometeorológicas fue la ciudad de Ensenada, B. C., en la cual se presentaron inundaciones en diversas colonias, calles, carreteras, campos y partes bajas de la ciudad, ocasionando pérdidas económicas y de vidas de personas que fueron arrastradas por las fuertes corrientes de los arroyos; perdiéndose también propiedades en las zonas urbana y rural (García y Reyes 1993).

Otro peligro de consideración provocados por eventos extremos de precipitación fluvial para la ciudad, es el colapso o desbordamiento de la presa Ing. Emilio López Zamora, la cual fue construida en 1976 con el propósito de controlar avenidas, con una capacidad útil de 2,800,000 m³ y una capacidad de azolve de 200,000 m³. Esta no ha sido desazolvada desde su construcción en 1976, y de acuerdo a datos de precipitación del CICESE y la Comisión Nacional del agua (CNA) de 1976 al 2003, a habido un total de precipitación de 8,078.2 mm. Es recomendable hacer un estudio detallado para revisar si la presa no ha superado su capacidad de azolve y prevenir un colapso de la misma. Dentro del mismo orden de ideas, las tormentas son pruebas de la debilidad y vulnerabilidad de las playas; estos fenómenos, combinados con las elevaciones

locales en el nivel del mar, obliga a muchas playas a retroceder, acelerando los daños a las costas durante los huracanes y tormentas (Aubrey, 1981).

La sumatoria de todos estos eventos algunos de ellos de alta peligrosidad, aunado al uso antropogénico de la zona costera a nivel global y particularmente para la zona urbana de la Bahía de Todos Santos, producen un riesgo potencial de causar efectos dañinos hacia la infraestructura, incluso la vida de los habitantes de éste puerto.

La elaboración de un modelo de evaluación del riesgo por zonas de inundación de la mancha urbana de Ensenada, B. C., soportado en un sistema de información geográfica, que muestre las afectaciones probables del riesgo localizado geográficamente sobre los distintos usos de la macha urbana de Ensenada, constituye una valiosa herramienta en la gestión de riesgos y permitiría en sus habitantes, crear una mayor conciencia ante la posibilidad de ocurrencia de dichos eventos.

3. CONCEPTOS Y DEFINICIONES

La definición de los conceptos de riesgo, vulnerabilidad y peligrosidad, no es un tema trivial, como sucede con las ciencias ambientales, varia de autor en autor. Si bien se han realizado esfuerzos como el de la UNESCO, quien realizó un reunión de expertos en 1979, (Coburn et-al, 1991), con el objetivo de facilitar la descripción y publicación de estudios relacionados con eventos como los que se abordan en este trabajo, que se presentan a continuación en conjunto con la definición por otros autores.

3.1. Riesgo

Cardona (1993) establece una expresión mediante la cual la estimación del riesgo, en sentido amplio, es función de la peligrosidad y la vulnerabilidad. Por ende, si se aplica dicha expresión a una problemática ambiental específica como puede ser la inundación pluvial y costera, es factible ver que una modificación en la magnitud de uno o de ambos factores de la ecuación repercutirá en un cambio en la estimación del riesgo de inundación resultante. Vale decir que el riesgo es un concepto dinámico, y que cualquier cambio dará lugar a una situación de riesgo distinta a la anterior, pero igualmente condicionada a los estados de peligrosidad y vulnerabilidad.

El término de riesgo se refiere a las pérdidas esperadas a causa de una amenaza determinada en un elemento de riesgo, durante un periodo específico de tiempo. Según la manera en que se defina este elemento, el riesgo puede medirse según la pérdida económica esperada, o según el número de vidas perdidas o la extensión del daño físico a la propiedad (Coburn et-al, 1991).

3.2. Peligrosidad

La peligrosidad es un concepto cuya definición es dependiente del tipo, magnitud y frecuencia del proceso e independiente de que existan o no elementos antropogénicos expuestos al peligro. Sin embargo, gran parte de las costas o en áreas cercanas a centros urbanos, soportan una notoria presión por desarrollos con la consecuente instalación de distinto tipo de elementos de origen antrópico sobre las mismas. Por ende, resulta claro visualizar que las estructuras establecidas en zonas con peligros de inundación tienen asociada una susceptibilidad a sufrir daño, la cual esta relacionada con el grado de exposición y la debilidad de los elementos expuestos a la acción de los fenómenos (Monti, 2000).

Peligro: como el grado de pérdidas esperadas debido a la ocurrencia de un evento particular y como una función de la amenaza y la vulnerabilidad (Cardona, 1993).

3.3. Vulnerabilidad

Según el Plan de Contingencias de Inundaciones 2002 del municipio de Ensenada, la Vulnerabilidad se define como: facilidad con la que un sistema puede cambiar su estado normal a uno de desastre, por los impactos de una calamidad.

Wilches-Chaux (1993), relaciona el grado de susceptibilidad de los elementos a sufrir daño con el concepto de vulnerabilidad física, el cual se refiere a la localización de los asentamientos humanos en zonas de riesgos y las deficiencias de sus estructuras físicas para absorber los efectos de esos riesgos (Monti 2000).

Vulnerabilidad: como el grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos bajo riesgo resultado de la probable ocurrencia de un evento desastroso, expresada en una escala desde 0 o sin daño a 1 o pérdida total (Cardona o., 1993).

3.4. Inundación

Inundación: Efecto generado por el flujo de una corriente, cuando sobrepasa las condiciones que le son normales y alcanza niveles extraordinarios que no pueden ser controlados en los vasos naturales o artificiales que la contienen, lo cual deriva, ordinariamente, en daños que el agua desbordada ocasiona en zonas urbanas, tierras productivas y, en general en valles y sitios bajos. Atendiendo a los lugares donde se producen, las inundaciones pueden ser: costeras, fluviales, lacustres y pluviales, según se registren en las costas marítimas, en las zonas aledañas a los márgenes de los ríos y lagos, y en terrenos de topografía plana, a causa de la lluvia excesiva y a la inexistencia o defecto del sistema de drenaje, respectivamente (Municipio de Ensenada 2002).

Inundación Pluvial: aquella que se produce por la acumulación de agua de lluvia, nieve o granizo en áreas de topografía plana, que normalmente se encuentran secas, pero que han llegado a su máximo grado de sobresaturación del suelo y que poseen insuficientes sistemas de drenaje natural o artificial (Municipio de Ensenada, 2002).

3.5. Indicadores ambientales

Neimanis y Kerr (1996) sostienen que un indicador ambiental es una estadística o parámetro que proporciona información y/o tendencias de las condiciones de los procesos ambientales. Los autores destacan que su significado va más allá de la estadística misma, ya que pretende proveer información que permita tener una medida de la efectividad de las políticas

ambientales. En relación con esto último, se destaca que los indicadores ambientales constituyen un instrumento útil para organizar, sistematizar, cuantificar, simplificar y comunicar información relativa a distintos aspectos del medio ambiente, lo cual resulta básico para la toma de decisiones en relación con las políticas ambientales (Cendrero, 1997).

Por ende, de las razones expuestas anteriormente se desprende que un indicador ambiental debe tener al menos dos objetivos principales, por una parte debe poder sintetizar información en una expresión relativamente sencilla pero que sin embargo, debe ser capaz de brindar un conocimiento sobre el conjunto de variables involucradas en la problemática abordada y por otra parte, debe responder a cuestiones ambientales que interesan en la toma de decisiones.

3.6. Geoindicadores

Gallopín (1997) destaca que distintos autores han definido de manera diversa lo que es un indicador, por lo cual es necesario lograr claridad y consenso en cuanto a su definición. Al respecto, el autor revisa una serie de definiciones, algunas de las cuales han considerado a un indicador como una variable, un parámetro, una medida, una medida estadística, un índice, un subíndice, un valor, una pieza de información ó un modelo empírico de la realidad, entre otras posibles acepciones (Monti, 2000).

Un caso particular de indicadores ambientales los constituyen los geoindicadores. La definición más aceptada señala que los indicadores geológicos o geoindicadores son medidas de magnitudes, frecuencias, tasas y tendencias de fenómenos y procesos geológicos que ocurren sobre o cerca de la superficie terrestre y cuyas variaciones son significativas para el

entendimiento de los cambios ambientales que ocurren en periodos de 100 años o menos (Berger, 1996).

3.7. Geomorfología

La geomorfología es la ciencia que tiene por objeto la descripción y la explicación del relieve terrestre, continental y submarino. Sin embargo para este trabajo solo es necesario limitarnos a la descripción de los relieves (Coque, 1984).

Los términos geomorfológicos utilizados en este trabajo se derivan de la clasificación geomorfológica de INEGI a escala 1:1000,000 (INEGI, 2000).

Montaña: Elevación natural de la superficie terrestre con respecto a las porciones contiguas

Vaso lacustre: Depósito que contiene agua

Cañón: Valle cortado con paredes casi verticales con un río que fluye en el fondo.

Campo de dunas: Terreno con montículos de arena acumulada por el viento.

Llanura costera: Área sin elevaciones o depresiones prominentes que termina en el mar.

Lomerío: Conjunto de lomas o elevaciones no mayores a 200 mts. sobre el nivel base de referencia.

4. OBJETIVOS Y METAS

4.1. Objetivo general

Generar un modelo para la evaluación de riesgos por inundación fluvial, a partir de indicadores ambientales para la ciudad de Ensenada B. C.

4.2. Objetivos particulares

Desarrollar un modelo de riesgo por inundación para la zona urbana de Ensenada, B. C., a través de un modelo de riesgo con base en indicadores ambientales.

Elaborar un sistema de información de zonas de riesgo de inundaciones de origen fluvial.

Evaluar el riesgo para los habitantes en la zona urbana

Generar un mapa de Riesgos

4.3. Hipótesis

La ciudad de Ensenada es Vulnerable a efectos de inundación por eventos meteorológicos extremos.

5. IMPORTANCIA DEL ESTUDIO

El interés creciente en los temas de riesgos naturales es debido a la cantidad de problemas de seguridad y económicos de la población, como resultado de inundaciones y deslizamientos causados por las lluvias torrenciales, como las sucedidas en el pasado Diciembre del 2004 y Enero del 2005, que afectaron a los habitantes de las ciudades de San Diego E. U. A., Tijuana y Ensenada, B. C. México.

En el tema de análisis de riesgos, se puede hablar de un mercado creciente de información, con una demanda creciente, y una oferta limitada de información para analizar el impacto y los efectos de los desastres naturales, sin embargo, no siempre los datos disponibles se transforman en información útil para la formulación de estrategias de gestión de riesgos, la toma de decisiones y la planificación (www.ciat.cgiar.org).

Las zona costera de la bahía de todos santos es un área de creciente interés para el desarrollo urbano, industrial, comercial, turístico, y recreativo de la ciudad y puerto de Ensenada B. C., cada una de estas actividades ocupa un determinado espacio dentro de ella (Tabla I), de aquí que sea de gran importancia hacer un estudio de las zonas que corren riesgo potencial a desastres naturales como las inundaciones por eventos meteorológicos extremos, tales como las lluvias extremas.

El presente trabajo es una contribución académica a los sectores público, privado, comunitario, académico científico y sociedad en general. La cual ofrecerá una herramienta de aproximación y susceptible de ser mejorada para posteriormente resulten en elementos de ayuda en la toma de decisiones ante eventos de esta naturaleza, posibilitando a las autoridades y organizaciones

correspondientes un panorama mas amplio en la toma de decisiones, ante la presencia de eventos extremos de inundación.

Tabla I.- Distribución del uso de suelo para las principales actividades económicas en la ciudad de Ensenada B. C.

Uso del suelo	Hectáreas	Porcentaje (%)
Habitacional	2,422-17-30	41.92
Infraestructura (agua potable y drenaje)	1,134-23-79	19.63
Comercio y Servicios	240-36-83	4.16
Industria	223-70-00	3.87
Turismo	235-16-80	4.07
Equipamiento	736-70-57	12.75
Baldíos	617-09-94	10.68
Otros	168-72-00	2.92

Fuente: www.e-local.gob.mx

6. DESCRIPCIÓN Y LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área donde se encuentra ubicada la mancha urbana de la ciudad de Ensenada B. C., (Figura 1). Esta entre los 31°42' y 31° 50' latitud norte y los 116° 36' y 116° 45' longitud oeste, en la costa Pacífico Noroccidental de la Republica Mexicana, a 100 km. de la frontera con E.U.A (Guerrero 2001).

De acuerdo a datos del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, la ciudad de Ensenada cuenta con una población de 246,475 habitantes en la zona urbana, con una tasa anual de crecimiento de 2%. (INEGI, 2000).

6.1. Límites del área de estudio

El polígono del área de estudio (Figura 1), fue delimitado al Oeste por la línea de costa o curva de nivel cero; al Este hasta la curva de nivel de los 200 mts, haciendo algunas modificaciones para cubrir algunas zonas urbanizadas. Tanto al norte como al sur se unieron ambas cotas en los sitios más próximos para formar un polígono, quedando como limite Norte la caseta de peaje de San Miguel y al Sur la península de Punta Banda, abarcando así toda la mancha urbana desde San Miguel hasta Mandadero, lo que representa un área total de 25,631.19 Has.

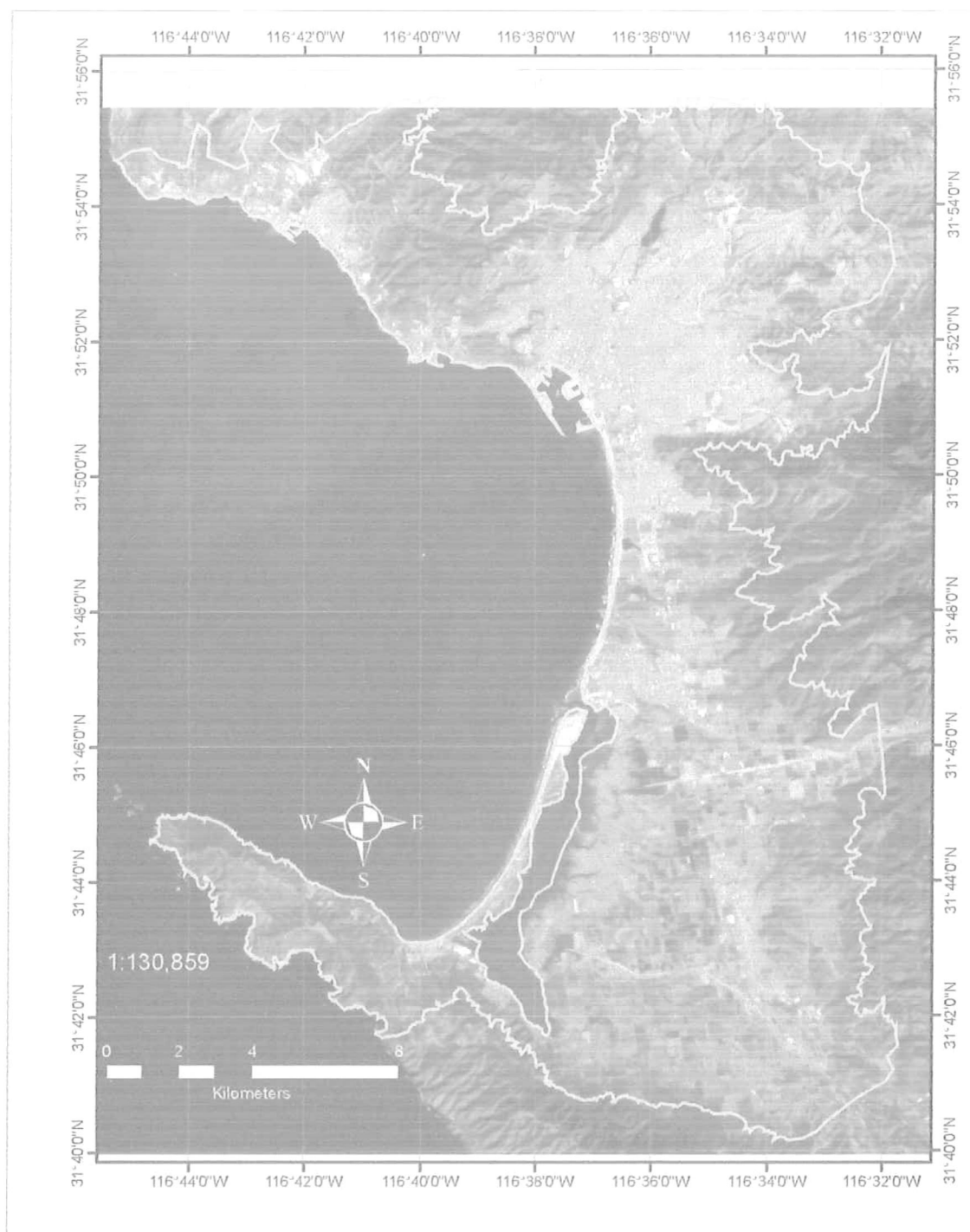


Figura 1.- Delimitación del Área de Estudio. La línea amarilla muestra la zona de estudio

7. METODOLOGÍA Y RESULTADOS

7.1. Descripción general de la metodología

El modelo metodológico de evaluación de riesgo de inundación, se encuentra sustentado en el marco teórico de peligrosidad, vulnerabilidad y riesgo. Tiene por objetivo desarrollar un esquema sistemático y repetible que permita integrar y sintetizar las distintas variables naturales y antropogénicas que condicionan el riesgo de inundación.

En este trabajo se propone una secuencia metodológica que culmine en una cuantificación de la situación actual, con base en el cálculo de un índice agregado de riesgo de inundación. La metodología del presente modelo, se ha ajustado a la estructura general de evaluación de riesgos propuesta por Monti (2000), según el cual la evaluación completa debe incluir dos etapas principales:

1. Valoración de la peligrosidad (o amenaza), basado en el análisis de la vulnerabilidad de los elementos expuestos y de la estimación del riesgo.
2. Integración de resultados en un Sistema de Información Geográfico (SIG).

A partir de la evaluación preliminar propuesta en este trabajo se obtiene un primer diagnóstico sobre la problemática vinculada con la peligrosidad y/o el riesgo de inundación costera. La evaluación del modelo de riesgo, se realizó con el apoyo de un Sistema de Información Geográfico desarrollado con la paquetería de ArcGIS 9.0 ©™ y Arcad.

7.2. Modelo de Riesgo de Inundación

La generación del modelo (figura 2), modificado de Monti (2000), de acuerdo con la siguiente formula:

$$RI = IP + IV;$$

$$IP = IPen + IE(0.5) + IG;$$

$$IV = IUS$$

Donde:

RI : Riesgo de Inundación,

IP : Índice de peligrosidad ,

IV : Índice de vulnerabilidad,

IPen : Índice de pendiente,

IE : Índice de Escurrimientos,

IG : Índice de Geomorfología,

IUS : Índice de uso de suelo

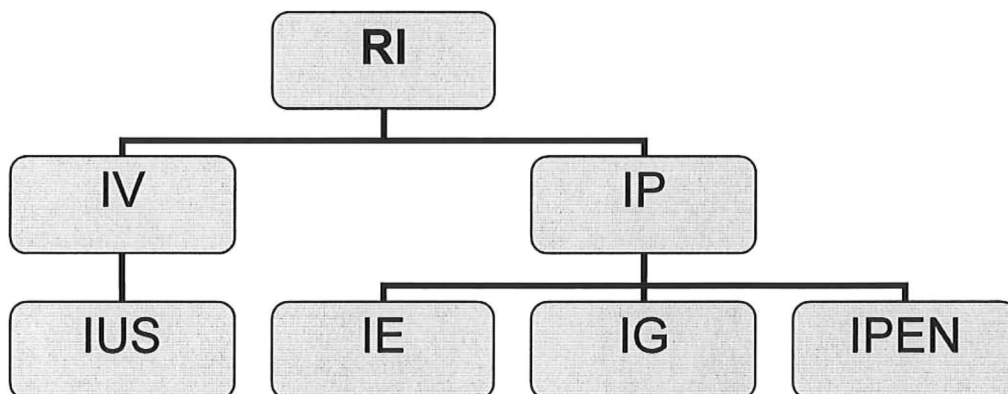


Figura 2.- Modelo de Riesgo de Inundación Pluvial (RI).

La calificación de la peligrosidad, vulnerabilidad y riesgo en función del valor obtenido para cada índice agregado, a partir de la categorización aritmética de cuatro clases delimitadas por los cuartiles 0.25, 0.50, y 0.75; las cuales se ordenan de la siguiente manera (Monti, 2000):

BAJO	MEDIO	ALTO	MUY ALTO	
0	0.25	0.50	0.75	1

Donde:

0 es la mejor condición de los índices agregados

1 es la peor condición de los índices agregados

7.3. Bases de Datos

Para la realización de los diferentes índices se utilizaron diferentes bases de datos citadas en la tabla II.

Tabla II. Bases de datos utilizadas como indicadores para los diferentes índices utilizados

Índice de Pendientes (IPen)	Índice de Ecurrimientos (IE)	Índice de Uso de Suelo (IUS)	Índice de Geomorfología (IG)
cartas topográficas escala 1:50,000: H11B11, H11B12 y H11B22 Restitución Fotogramétrica de 1999 (Datos del Gobierno Municipal)	del plan de emergencias de CNA Diciembre 2000 escala 1:25000	fotointerpretación de fotografía aérea e imágenes de satélite de alta resolución, 2002 (IKONOS) banda pancromáticas y (spot) composición de bandas 1, 2 y 3, 2006	Cartas Geológicas escala 1:50000: H11B12 H11B22 Restitución Fotogramétrica de 1999 Datos del Gobierno Municipal Modelo Digital de Elevación.

Para poner en uso el modelo (Figura 2), se requirió de la evaluación de cada uno de los índices descritos posteriormente.

7.4. Procedimiento para la elaboración de los diferentes índices

7.4.1. Índice de Pendiente

La evaluación del *lpen* (figura 3), se basó en la edición de las curvas de nivel del archivo de base de datos municipales “restitución fotogramétrica, 1999”, con una resolución de curvas de nivel a cada 5 metros (figura 4), datos del Gobierno Municipal de Ensenada, B. C. en formato dwg (AutoCad®™); posteriormente fueron exportados a ArcView-Gis 3.3®™, donde se transformó a formato de shapefile, con el fin de editarla con la paquetería ArcGis 9.0 ®™. Esta información fue completada con las cartas topográficas INEGI escala 1:50,000: H11B11, H11B12 y H11B22 en formato digital, con el objeto de cubrir el área de estudio; para esto se transformó la información de líneas a puntos para poder hacer una correcta unión de las curvas de nivel, una vez unidas y editadas todas las bases de datos, se derivaron las pendientes con la herramienta *slope* de ArcGIS 9.0®™

La base de datos de la restitución fotogramétrica editadas, se utilizó para generar el Modelo Digital de Elevación (**MDE**) de la Figura 5, Reasignándole los valores establecidos en la tabla III.

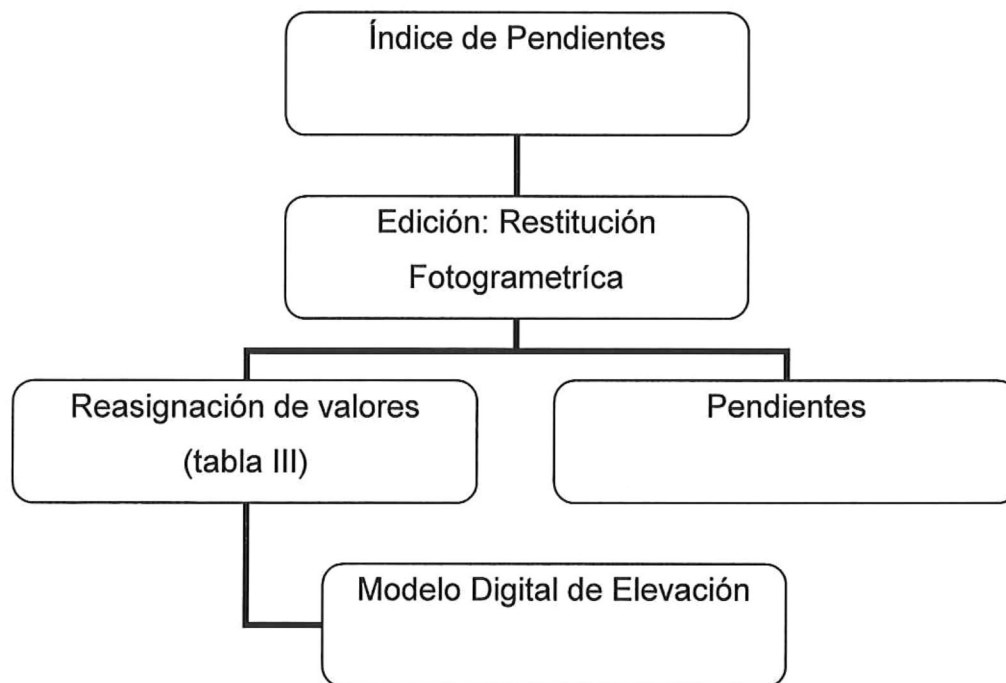


Figura 3.- Síntesis de los pasos metodológicos de la evaluación del Índice de pendientes.

Tabla III. Valores de % de pendiente, Riesgo a inundación y Escala relativa que se tomaron en cuenta para la determinación del Índice de pendiente

PENDIENTE %	RIESGO A INUNDACIÓN	ESCALA RELATIVA
0 - 2	Muy Alto	1
2 - 4	Alto	0.8
4 - 6	Medio	0.6
6 - 10	Bajo	0.4
>10	Muy Bajo	0.2

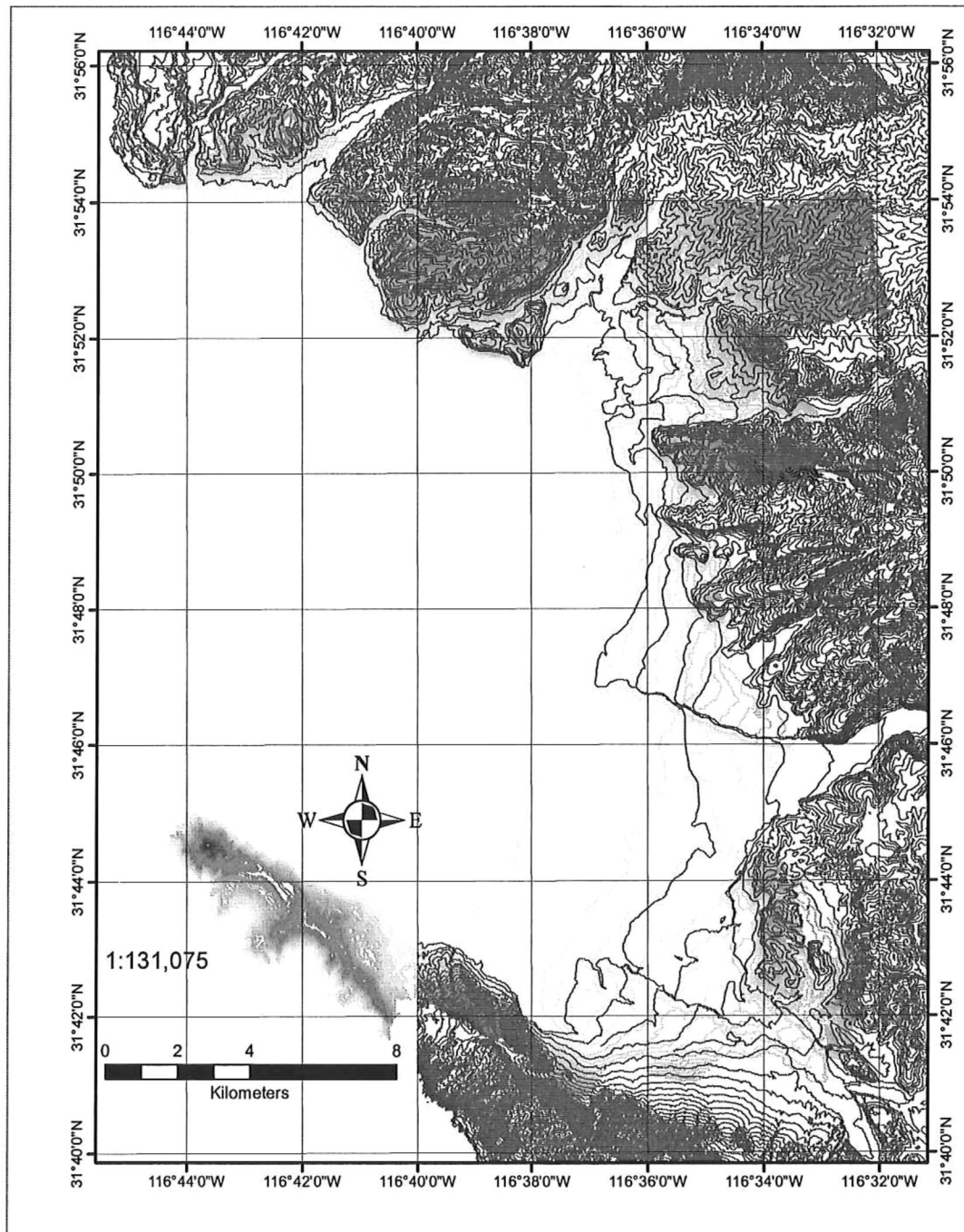


Figura 4.- Curvas de nivel utilizadas para la realización del Modelo Digital de Elevación

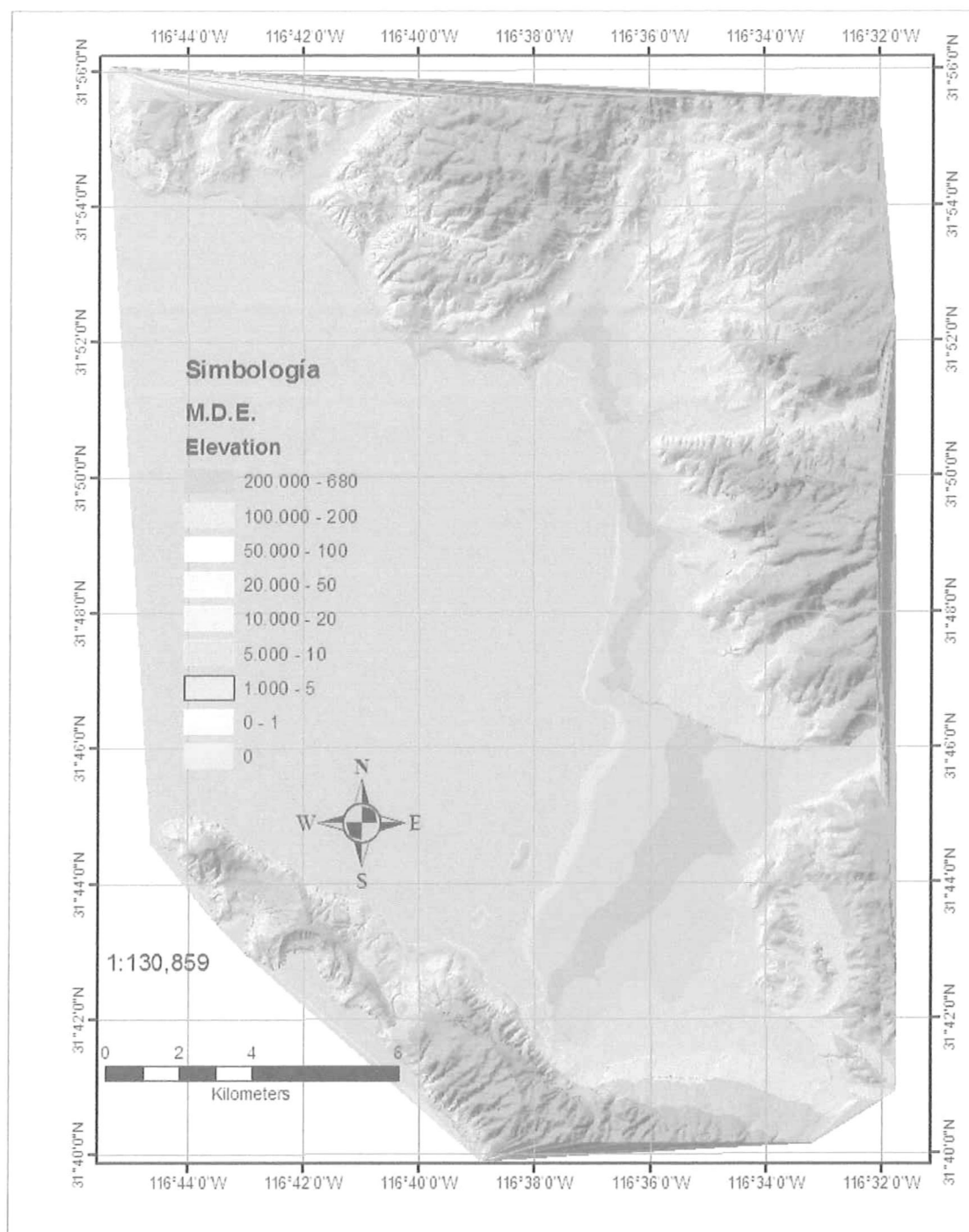


Figura 5.- Modelo Digital de Elevación (DEM).

Los lugares con poca inclinación o poco porcentaje de pendiente son muy planos y con mucha probabilidad de que se inunden por lo que el concepto de riesgo a inundación es muy alto y la escala relativa de valor alto (1); Por el contrario, en lugares con mucha inclinación o mucho porcentaje de pendiente el agua de la precipitación no es probable que se acumule por efecto de gravedad, por lo que su riesgo a ser inundadas disminuye a muy bajo y el valor en la escala relativa es de 0.2 (Tabla III).

7.4.2. *Índice de Escurrimientos*

La evaluación del **IE** (figura 6), consistió en la colección y edición de los escurrimientos superficiales del área de estudio tomando como base de datos, el archivo del “Plan de Emergencias de Comisión Nacional del Agua (CNA) Diciembre 2000”, escala 1:25,000, en formato dwg (AutoCad®™); posteriormente fueron exportados a ArcView-Gis 3.3®™., formato shapefile, finalmente se editó en la paquetería ArcGis 9.0 ®™. Una vez exportada a esta nueva paquetería se convirtió la información de vector (dibujo) a raster (píxeles), en el cual se le reasignaron los nuevos valores correspondientes a los índices de la tabla IV. La finalidad de utilizar el formato raster, se debió a su capacidad de realizar operaciones matemáticas con los valores de los píxeles y de esta forma permitió evaluar el modelo de **RI**.

Este índice se multiplico por 0.5, para que el peso no incline en el resultado final ya que es de mayor importancia el valor de los otros índices.

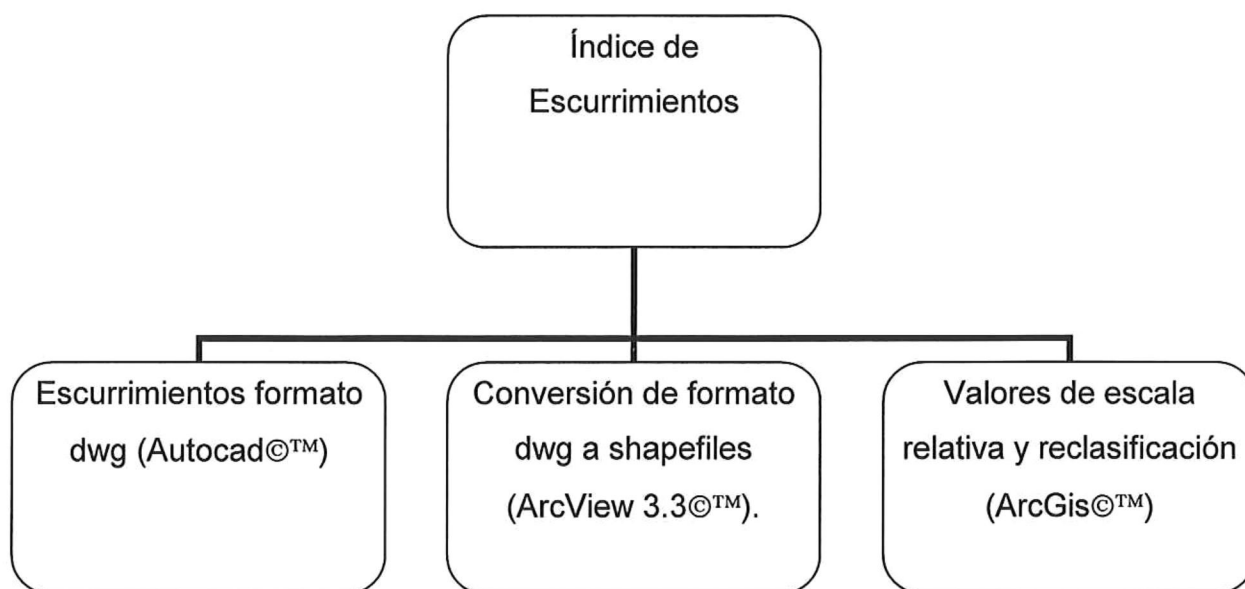


Figura 6.- Síntesis de los pasos metodológicos para la determinación del Índice de escurrimientos.

Para la asignación de valores de escala relativa o peligrosidad en el índice de escurrimientos únicamente fue necesario hacer notar la presencia o ausencia de arroyos o escurrimientos dándole así el valor mas alto (1) a los lugares con la presencia de escurrimientos y el valor mas bajo (0) a los lugares donde no hay arroyos o escurrimientos (Tabla IV).

Tabla IV. Valores de peligrosidad y escala relativa que se tomaron en cuenta para la determinación del índice de escurrimientos

ARROYOS	PELIGROSIDAD	ESCALA RELATIVA
Presencia	Alta	1
Ausencia	Baja	0

7.4.3. Índice de Geomorfología

Para la determinación del IG (Figura 7), con la ayuda de las bases de datos de: Cartas geológicas digitales escala 1:50,000: H11B12 y H11B22; Modelo Digital de Elevación derivado de las curvas de nivel de la "Restitución fotogramétrica, 1999" Gobierno Municipal de Ensenada, B.C.; e imagen de satélite spot, abril 2006. Se realizó la digitalización de las diferentes rasgos geomorfológicos de acuerdo a las definiciones del diccionario de datos fisiográficos INEGI, 2000, con la ayuda del software ArcGis®TM.

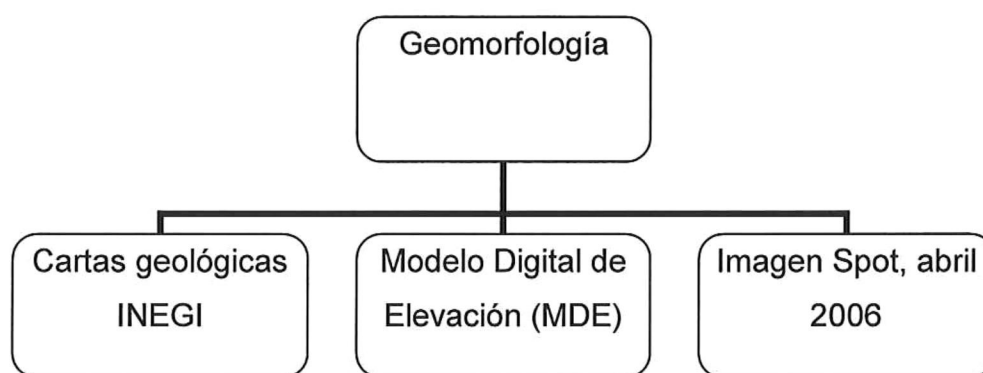


Figura 7.- Síntesis de los pasos metodológicos para la evaluación del Índice de Geomorfología.

El Índice de Geomorfología se utilizó con el objetivo de identificar y evaluar los sitios planos o con poca pendiente, pero ubicados en zona elevadas; con baja probabilidad inundación y de lugares planos o con poca pendiente localizados en partes bajas como el valle de mandadero, zonas con altas probabilidades de inundación. Se utilizaron siete diferentes conceptos de geomorfología, definidos previamente en el diccionario de datos fisiográficos INEGI, 2000. Se le asignaron los valores altos (probabilidad de inundación mayor) de la escala relativa de riesgo a lugares bajos y planos como valles, cañones y llanuras costeras; y valores bajos a lugares como montañas y lomeríos (probabilidad de inundación menor), de acuerdo a la tabla V.

Tabla V. Tipo de Geomorfología y Valores de Peligrosidad en escala relativa que se tomaron en cuenta para la determinación del Índice de Geomorfología

TIPO DE GEOMORFOLOGIA	PELIGROSIDAD	ESCALA RELATIVA
Llanura Costera/vaso Lacustre	Muy Alto	1.0
Valle/Cañón	Alto	0.9
Campo De Dunas	Medio	0.25
Lomerío	Bajo	0.1
Montaña	Muy Bajo	0.0

7.4.4. Índice de Vulnerabilidad

La base del IV (Figura 8), es el uso de suelo, para la extracción de este se utilizó un mosaico de imágenes de satélite de alta resolución espacial (1 m por pixel), 2002 (IKONOS) banda pancromática, estas fueron georeferenciadas utilizando la paquetería de ERMapper 6©™. Estas imágenes fueron utilizadas como herramienta principal para la digitalización de la zona urbana por su alta resolución espacial. Adicionalmente se utilizó una escena del satélite SPOT, abril 2006, (bandas multiespectral, 5 m de resolución espacial), para la actualización de la mancha urbana en sus nuevas colonias, y nos da una apreciación mas actual del crecimiento demográfico en cuanto a uso de suelo se refiere desde el 2002. Estas imágenes se digitalizaron de tal forma que cada polígono fuera una manzana del área de estudio. Posteriormente se realizó una clasificación del uso de suelo, utilizando el método de fotointerpretación. Paso seguido, fue exportado al ArcView-Gis 3.3©™, en el cual se le asignó el formato de shapefile para poder editarlo con la paquetería ArcGis 9.0. Una vez que el mapa de uso de suelo fue exportado a esta nueva paquetería se convirtió a información raster y se le reasignaron los valores de la tabla VI.

Las clasificación de uso de suelo fueron tomados del plan de Desarrollo Urbano de Ensenada (1995) y los valores de vulnerabilidad relativa (Tabla VI), fueron determinados y validados en una reunión (Abril, 2006) con los responsables de la oficina de protección civil del XVIII Ayuntamiento de Ensenada, B. C. y sugeridos por ellos mismos. El C. Técnico en Urgencias Medicas Julio Obregón Angulo, Subdirector de Protección Civil, Lic. José Luís Serrano Alfaro encargado de planeación y el Ing. Luís Antonio Gutiérrez Berriel, encargado de operaciones en la misma institución. Las densidades de población para decidir la alta media o baja densidad se tomo de Lizarraga, (2006).

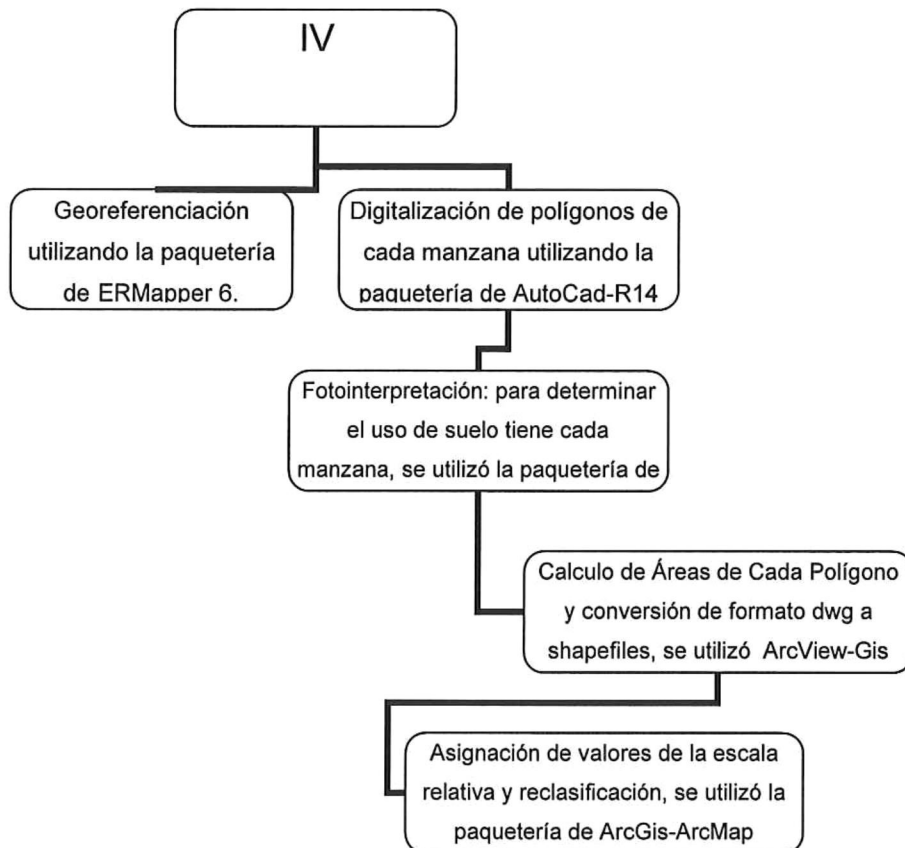


Figura 8.- Síntesis de los pasos metodológicos para la evaluación del Índice de Vulnerabilidad.

Tabla VI. Aspectos que se tomaron en cuenta para la determinación del Índice de Vulnerabilidad

USO DE SUELO	DESCRIPCIÓN	VULNERABILIDAD RELATIVA	
		Población en Riesgo	Infraestructura en Riesgo
Habitacional media y alta densidad	105-160 habs./Ha 165-250 habs./Ha	1	0.75
Habitacional baja densidad	55-100 habs/Ha	0.75	0.75
Servicios Clase 1	Policía, Bomberos, cruz Roja, rescate, Hospitales, Gobierno, Gasolina, CFE, CESPE	1	1
Servicios Clase 2	Centros Educativos, Iglesias, Teatros Comercial	0.75	1
Servicios Turísticos	Hoteles	0.5	0.75
Industrial	Maquiladoras y Empresas de Producción en masa	0.75	0.75
Áreas de recreación	Parques, playas, Centros deportivos	0.5	0.25
Agropecuario	Granjas, Agricultura, Ganadería	0.25	0.5
Sin Uso Aparente	Baldíos	0.1	0.25

Trabajo de Campo.

Para verificar los resultados del IUS, se realizó una verificación visual en campo de las zonas que presentaban incertidumbre en el trabajo de escritorio de la fotointerpretación, esta se realizó a bordo de un vehículo particular todo terreno para facilitar el acceso a zonas con pendientes abruptas o con calles no pavimentadas.

7.4.5. Índice de Peligrosidad

El Índice de Peligrosidad (Figura 9) es el resultado de la operación algebraica de los índices de escurrimientos (Figura 6), El Índice de geomorfología (Figura 7) e Índice de pendientes (Figura 3). Esto se puede lograr gracias a la herramienta de ArcGis 9.0 "Calculadora de raster" en una operación matemática sencilla de suma de los valores de cada píxel para cada polígono, en cada uno de los diferentes mapas y de esta manera obtener el índice compuesto, dando como resultado un nuevo mapa índice de peligrosidad (Figura 15).

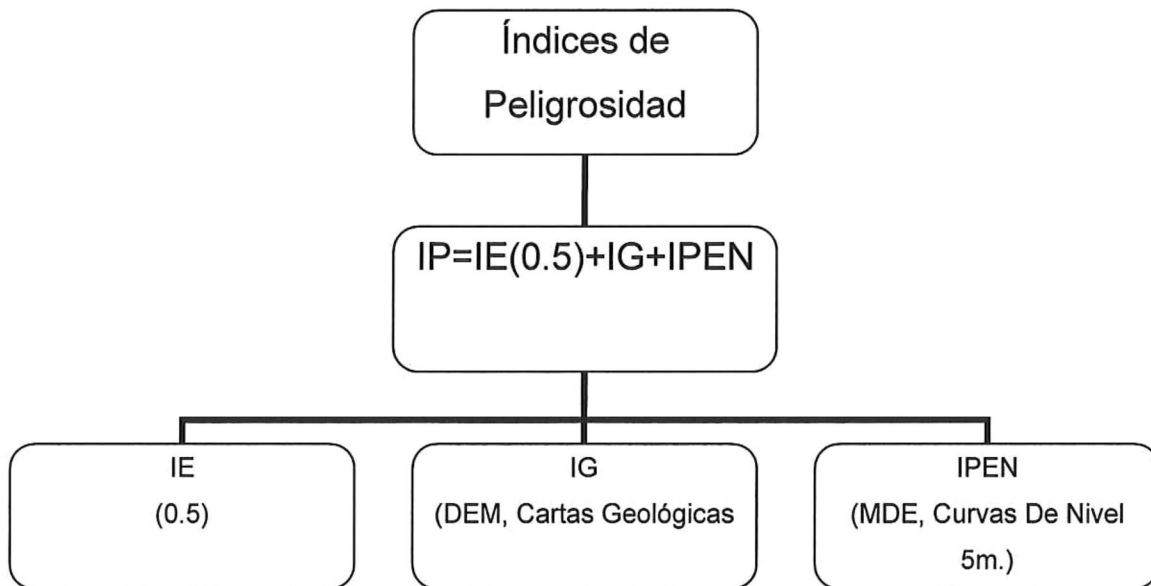


Figura 9.- Síntesis de los pasos metodológicos para la evaluación del Índice de Peligrosidad.

7.5. Resultados de la evaluación del modelo

El Riesgo de Inundación (**RI**), está expresado como la suma de los Índices de Vulnerabilidad (**IV**) y Peligrosidad (**IP**).

$$RI = IP + IV$$

A partir de los resultados del **RI** (Figura 11), es posible valorar el riesgo de inundación que representa la relación entre la peligrosidad (tomando en cuenta solo indicadores naturales como lo son la geomorfología, las curvas de nivel, y la presencia de escurrimientos); y la población tomando en cuenta los diferentes usos de suelo como (Habitacional, Industrial, Turístico, Agropecuario y de Servicios).

En términos generales los resultados del modelo muestran que cerca del 80% del área de estudio tiene bajo y medio riesgo de inundación (46.68% y 29.5% respectivamente).

Esto lleva a que el **21.8%** del área de estudio presente un Índice de Riesgo de Inundación alto y muy alto que en términos de superficie, corresponde con **5,580 Has** (22% del área total). Sin embargo de este 22%, solo el 7.9% del área total de estudio se encuentra con un Riesgo de Inundación Muy Alto con aproximadamente **2,039.5 Has.** (Figuras 10, 11 y Tabla VII).

Tabla VII. Resultados de la cantidad de Has. afectadas por los valores de Muy Bajos a Muy altos, del Modelo de Riesgo de Inundación de la Ciudad de Ensenada.

RIESGO	Área (mts. 2)	Área (Has.)	% Área en Riesgo
Bajo	124,579,650	12,457.9650	48.68
Medio	75,509,300	7,550.9300	29.50
Alto	35,404,500	3,540.4500	13.83
Muy Alto	20,395,325	2,039.5325	7.97

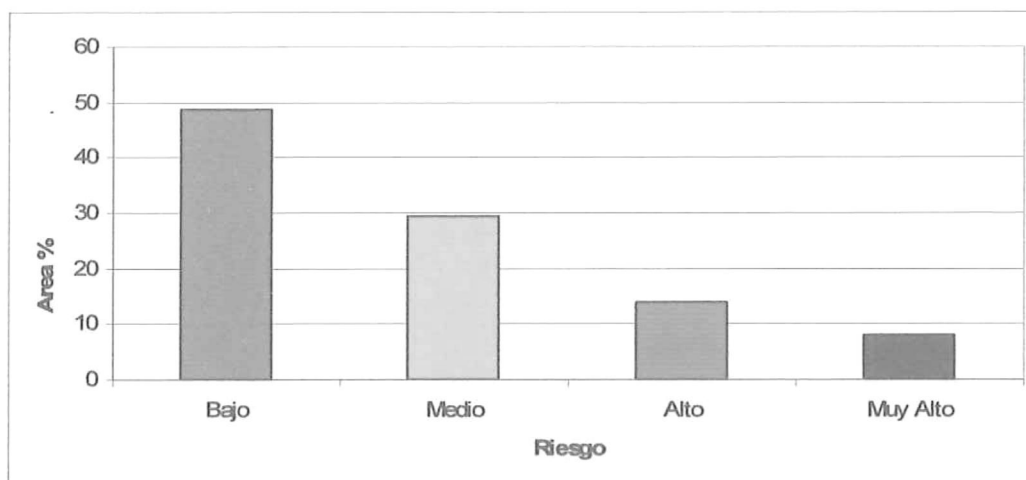


Figura 10.- Porcentaje del área de estudio que presenta un riesgo a inundación

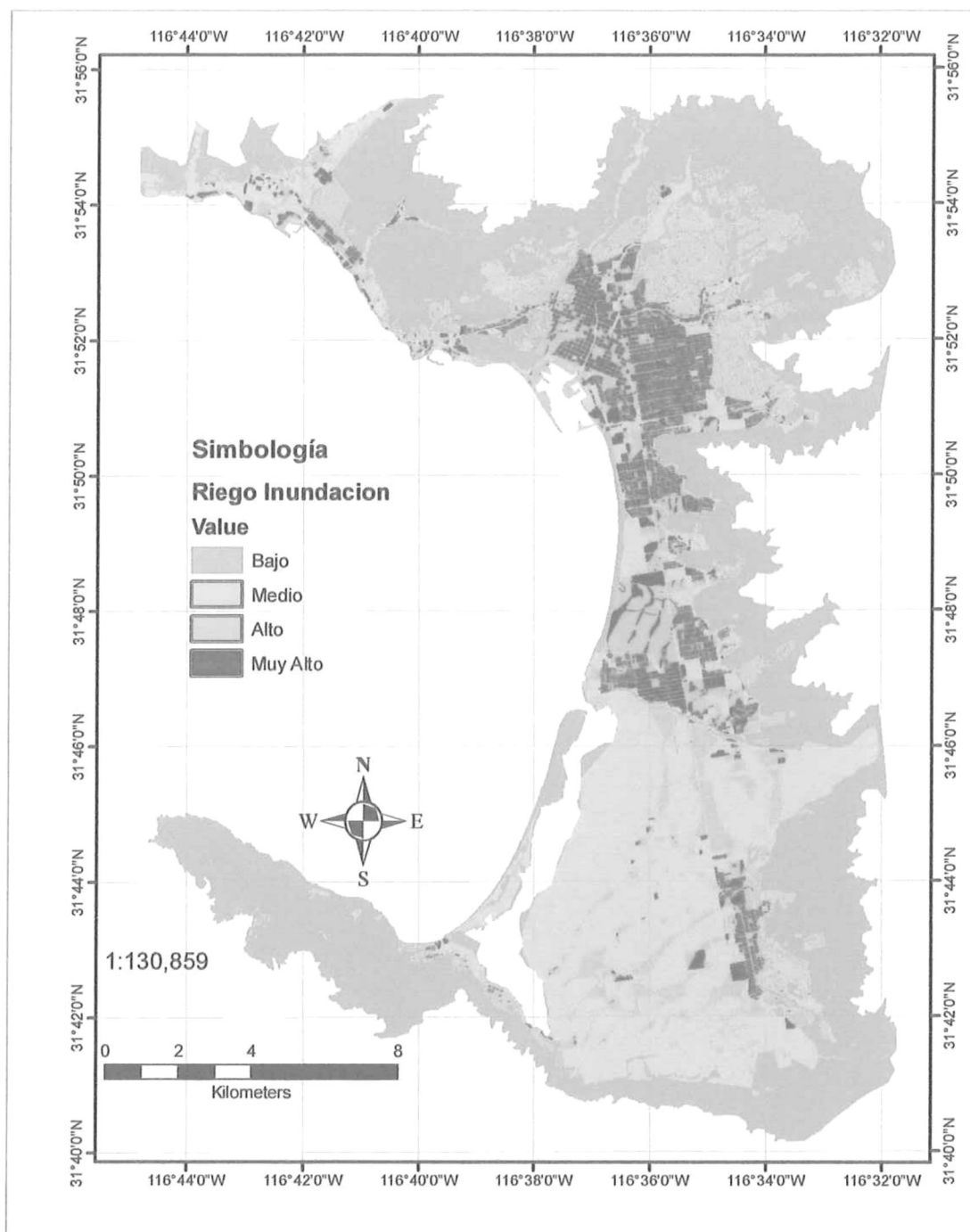


Figura 11.- Resultados del Modelo de Riesgo a inundación de la Ciudad de Ensenada, las zonas de color rojo son las que más riesgo presentan y las zonas verdes son las que menos riesgo presentan.

7.5.1. *Índice de Vulnerabilidad*

El Índice de Vulnerabilidad deriva directamente del índice del uso de suelo, por lo que el **IV** (Figura 13), expresa la vulnerabilidad de los elementos antropogénicos, en función del uso de suelo presente, es decir la susceptibilidad de los asentamientos humanos a sufrir daño, dependiendo de la densidad de personas que habiten determinado lugar.

Los elementos antropogénicas clasificados con vulnerabilidad alta son habitacional de baja densidad la cual tiene de 55 a 100 hab. Por Ha. y Servicios clase 2 que son las zonas comerciales, centros educativos, iglesias y teatros. Por otra parte esta la clasificación con vulnerabilidad muy alta en la cual están los elementos antropogénicas de media y alta densidad de 105 a 250 hab. Por Ha. Y servicios clase 1 en el cual se incluyen hospitales bomberos, Cruz Roja, Estaciones y Subestaciones Eléctricas y de Agua Potable,

Los resultados del modelo para el índice de vulnerabilidad muestran que el **21.1%** del área de estudio presento un Índice de Vulnerabilidad alto y muy alto que en términos de superficie son aproximadamente **5,402.4 Has.** (Tabla VIII, Figura 12), localizado, principalmente sobre la mancha urbana del centro de población de Ensenada, B. C. (figura 13).

Tabla VIII. Resultados de la cantidad de Has. Vulnerables por valores desde Muy Bajos hasta Muy altos, del Índice de Vulnerabilidad de la Ciudad de Ensenada

Vulnerabilidad	Uso de Suelo	Área m ²	Área Has	% de Área con Vulnerabilidad
Muy Bajo	Sin Uso Aparente	166934575	16693.4575	65.20
Bajo	Agropecuario	33823100	3382.31	13.21
Medio	Turístico / parques	1249650	124.965	00.48
Alto	hab. baja/Serv. 2	22033725	2203.3725	08.60
Muy Alto	hab. alta/Serv. 1	31990275	3199.0275	12.49

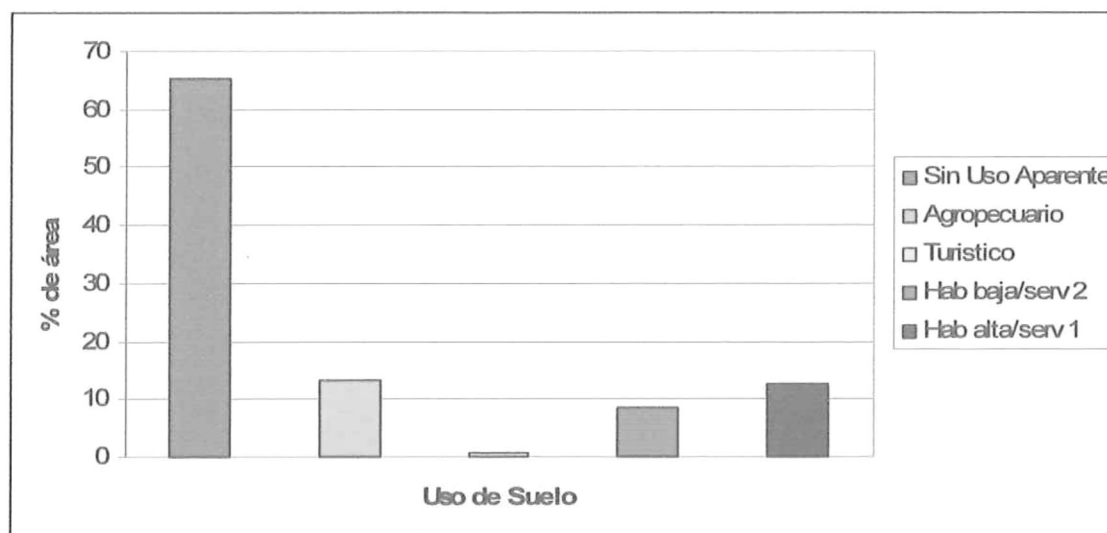


Figura 12.- Porcentaje del área de estudio que tiene cada distinto uso de suelo

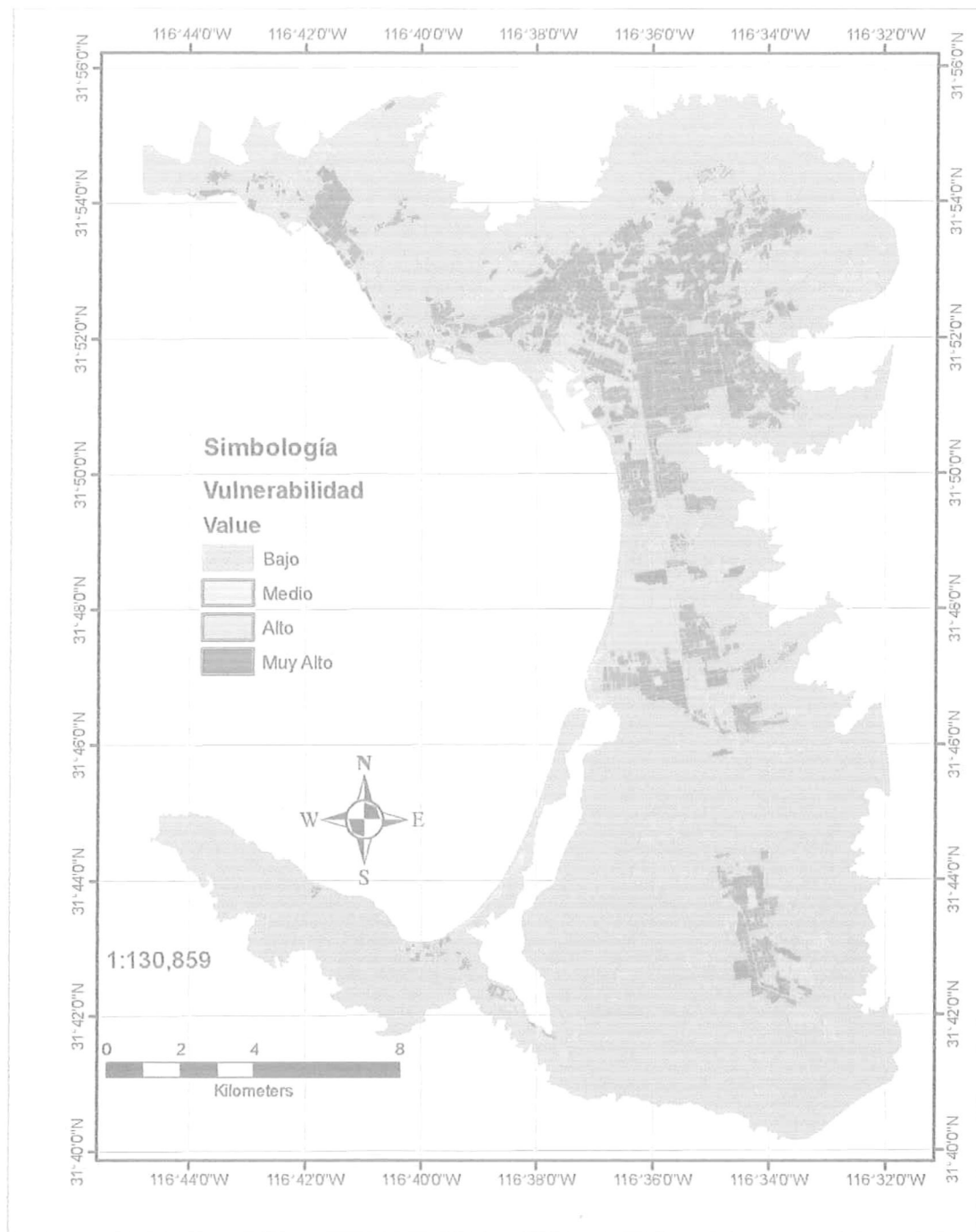


Figura 13.- Resultados del índice de Vulnerabilidad de la ciudad de Ensenada donde las zonas de color rojo son las más vulnerables y las zonas verdes son las menos vulnerables

7.5.2. Índice de Peligrosidad

El **IP** (Figura 15), evalúa la peligrosidad que el medio ambiente natural representa para la población, y está dado por la geomorfología, la presencia de escurrimientos o arroyos y la pendiente baja. Está conformado por la sumatoria lineal simple de tres Índices: Índice de Escurrimientos (**IE**), Índice de Pendientes (**IPen**) y el Índice de Geomorfología (**IG**). La integración de estos tres indicadores evalúa la peligrosidad de inundación.

Tabla IX. Resultados de la cantidad de Has. peligrosas, afectadas por valores desde Muy Bajos hasta Muy altos, del Índice de Peligrosidad de la Ciudad de Ensenada

Peligrosidad	Área mts2	Área Hectáreas	% de Área con Peligrosidad
Baja	105,903,250	10,590.3250	41.31
Media	44,215,025	4,421.5025	17.25
Alta	81,339,250	8,133.9250	31.73
Muy Alta	24,854,375	2,485.4375	9.69

Los resultados muestran que cerca de dos quintas partes del área de estudio **10,619.3 Has.** (41.43 %) presentan alta y muy alta peligrosidad (Figuras 14, 15 y Tabla IX). Expresando esto en términos de porcentaje, tenemos que el 41% del área de estudio se encuentra en un área de peligrosa a muy peligrosa, en términos de inundación; sin embargo de este total de 41%, solo el 9% se considera en escala de muy peligrosa (Figura 15).

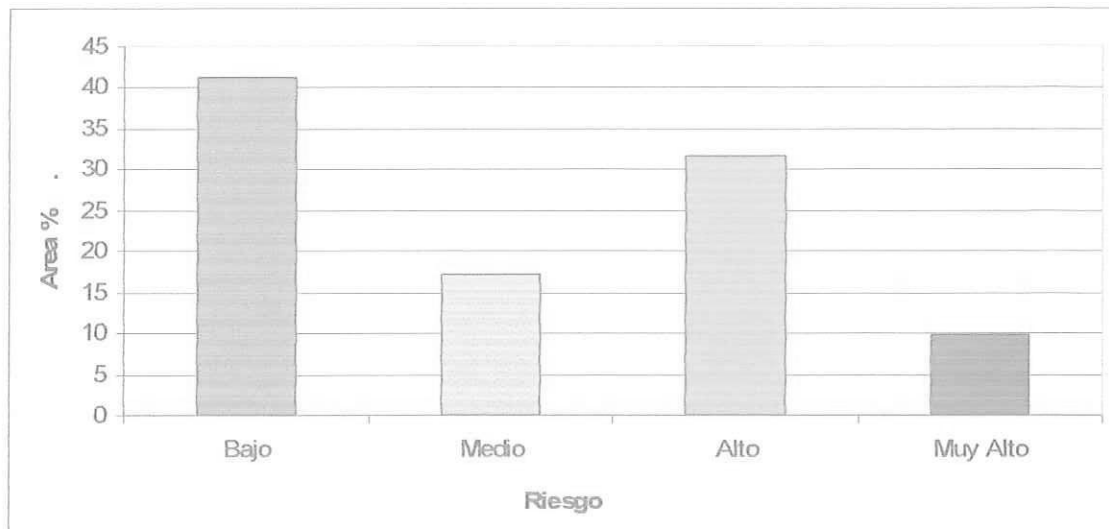


Figura 14.- Porcentaje del área de estudio que presenta una Peligrosidad

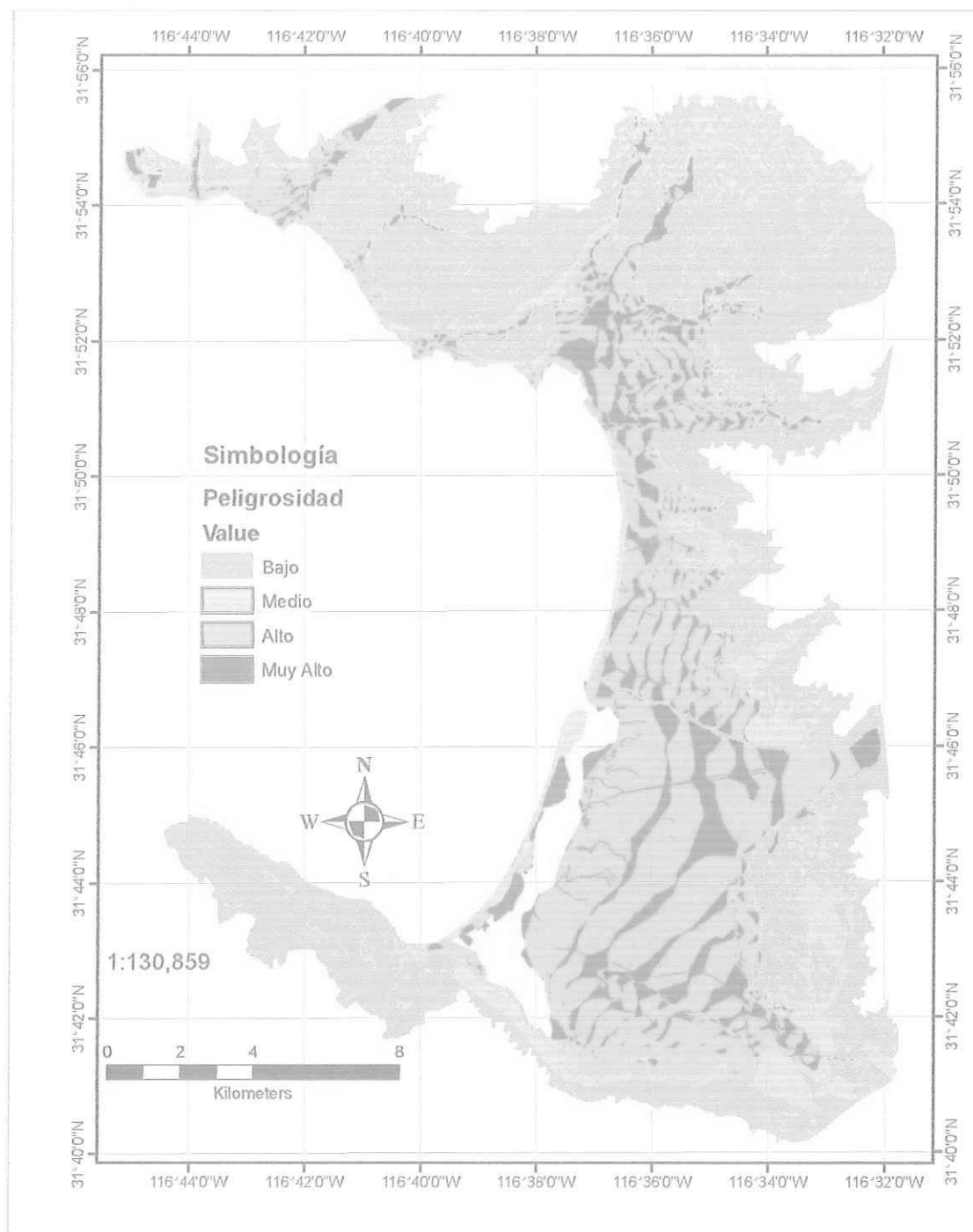


Figura 15.- Resultados del Índice de Peligrosidad de la ciudad de Ensenada; las zonas de color rojo son las más Peligrosas y las zonas verdes son las menos peligrosas.

7.5.3. Índice de Esguerrimientos

El Índice de Esguerrimientos (*IE*) indica la presencia o la ausencia de arroyos y esguerrimientos presentes en el área de estudio (Figura 17), sabiendo esto, en la figura 16 y tabla X, podemos observar que la influencia de los esguerrimientos no es muy alta en nuestra área de estudio, solo un 1.22% del área total equivalente a 314 Has. es influenciada por esguerrimientos.

Tabla X. Resultados de la cantidad de Has. que presentan esguerrimientos en la zona de estudio

Esguerrimientos	Área en Hectáreas	% de Cobertura
Ausencia	25317.5325	98.7745707
Presencia	314.0975	1.22542928

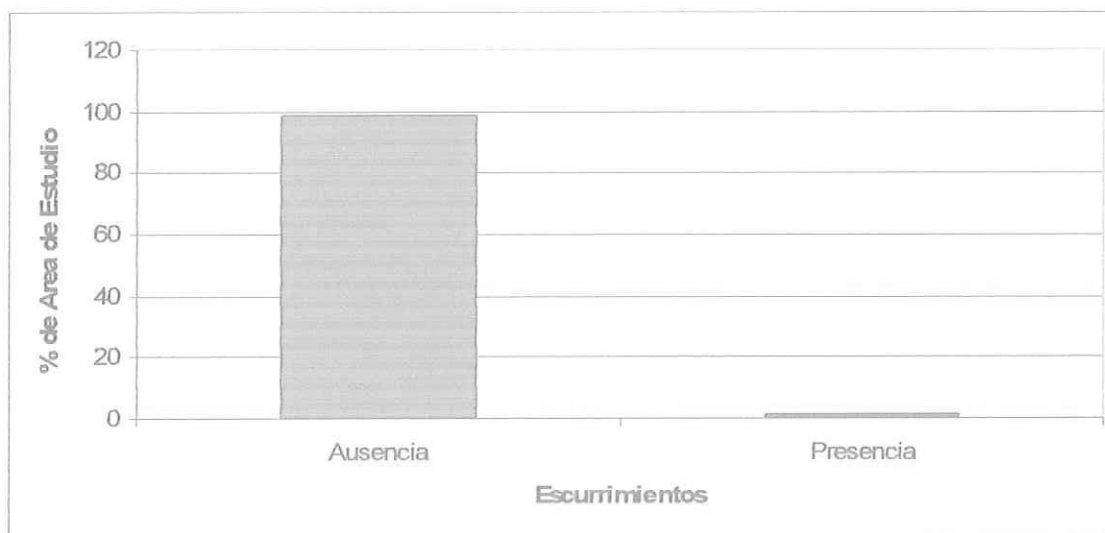


Figura 16.- Porcentaje del área de estudio con presencia o ausencia de esguerrimientos

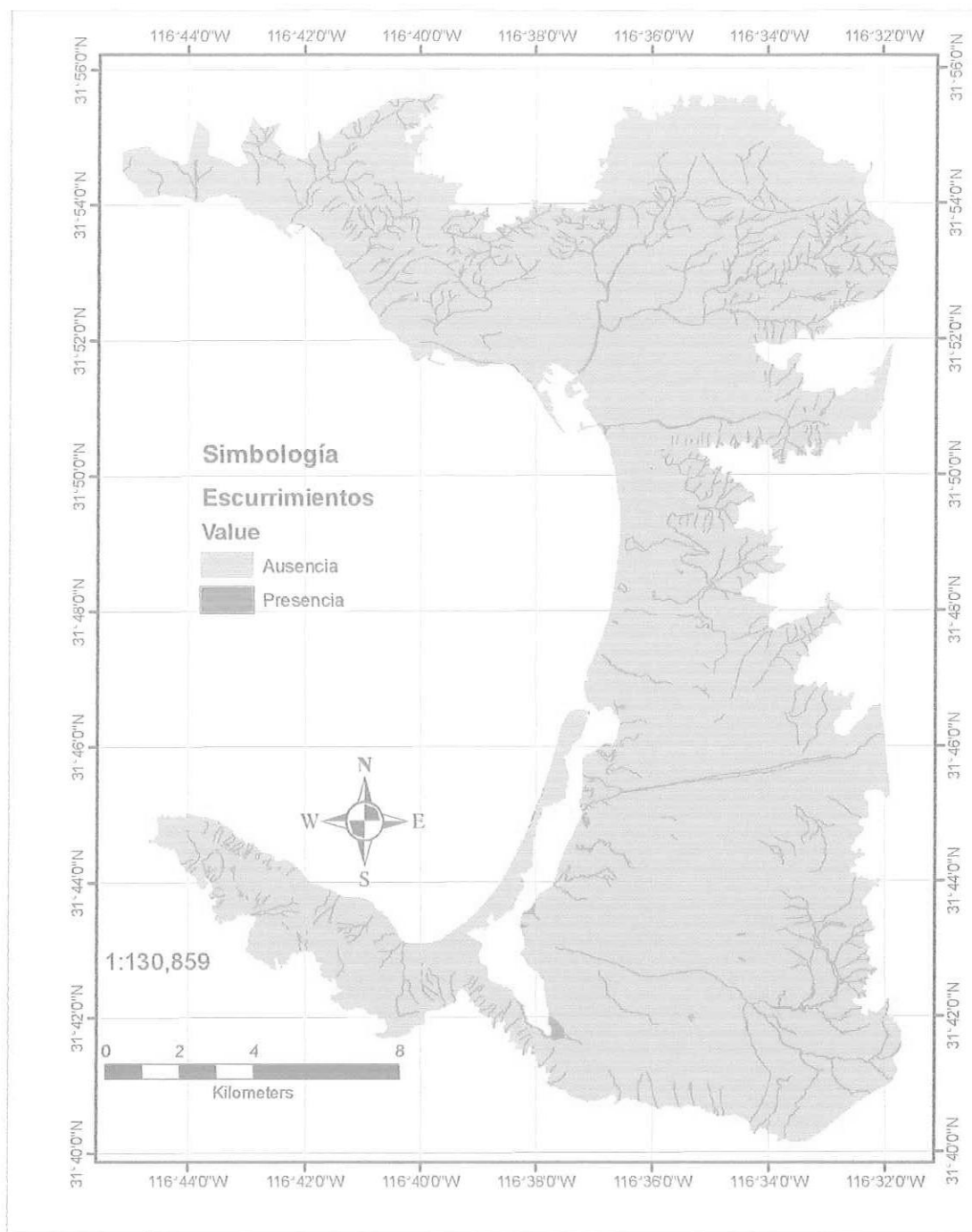


Figura 17.- Mapa de Escurreimientos de la ciudad de Ensenada donde las zonas de color rojo indican la presencia de algún arroyo o escurreimiento y las zonas verdes la ausencia de los mismos

7.5.4. Índice de Geomorfología

De acuerdo con la definición de Coque (1984), el Índice de Geomorfología nos da un panorama amplio del relieve terrestre del área de estudio, el cual utilizamos para que el modelo pudiera discriminar lugares planos o con poca pendiente, ubicados en elevaciones; de lugares planos o con poca pendiente ubicados en partes bajas (Figura 19). Dándonos como resultados (tabla XI y Figura 18), que 11,189 Has. están en partes bajas y planas o bien llanuras costera, esto equivale a un 43.9 % del área total.

Tabla XI. Resultados de la cantidad de Has. de cobertura que presenta cada tipo de geomorfología.

TIPO DE GEOMORFOLOGIA	Geomorfología Peligrosa	Área en Hectáreas	% de Cobertura
Montaña	Muy Alto	3,744.8225	14.72
Lomerío	Alto	9,732.7425	38.27
Campo De Dunas	Medio	270.035	1.06
Valle/Cañón	Bajo	497.0825	1.95
Llanura Costera/vaso Lacustre	Muy Bajo	11,189.408	43.99

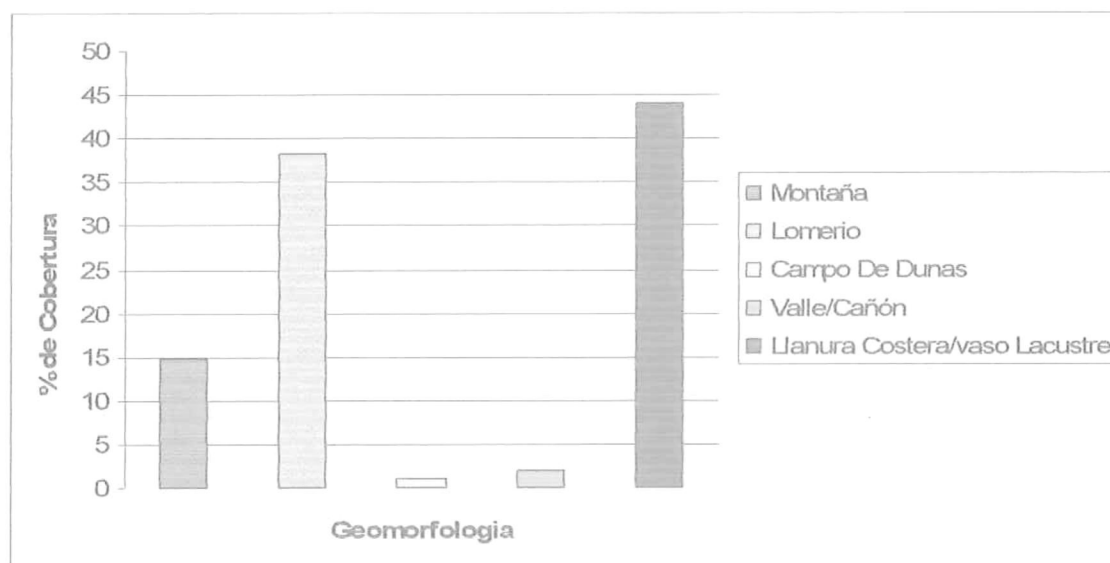


Figura 18.- Porcentaje de cobertura de cada tipo de Geomorfología

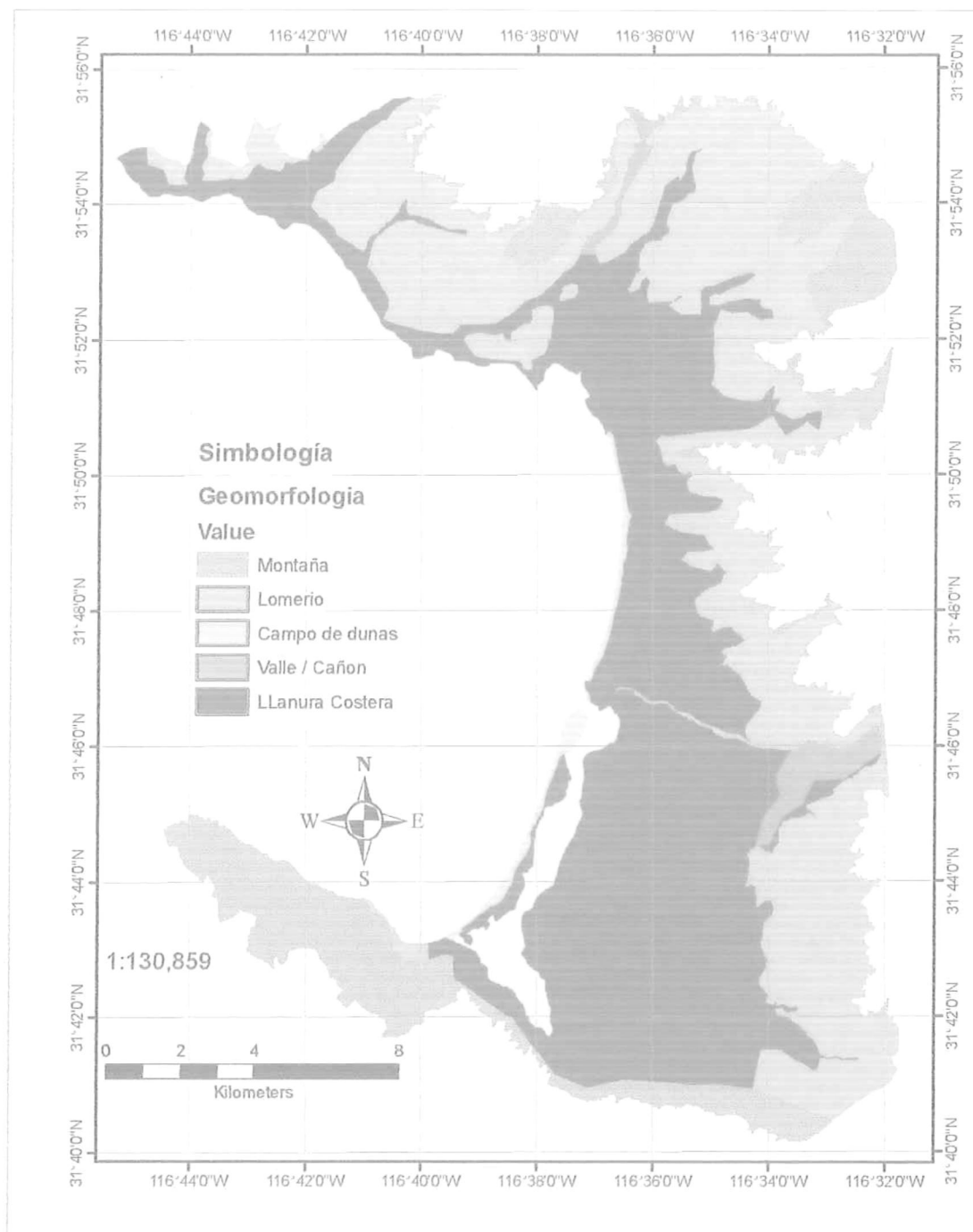


Figura 19.- Mapa de Geomorfología de la ciudad de Ensenada que va desde donde la llanura costera (color rojo), lomeríos y montañas (color verde), campo de dunas (color amarillo) y Valle o cañón (color naranja).

7.5.5. Índice de Pendientes

El Índice de Pendientes (IP), muestra los diferentes porcentajes de inclinación o pendiente que hay en las distintas zonas de la ciudad de Ensenada y alrededores, (Figura 21). Este análisis dio los siguientes resultados, el 30% del area de estudio tiene pendientes mayores al 10% de inclinación, el 19% del area de estudio tiene pendientes de 0 a 2% y el 26% tiene inclinaciones de 2 a 4% (figura 20 y tabla XII).

Tabla XII. Resultados de la cantidad de Hectáreas que se ven afectadas por los distintos tipos de pendientes.

PENDIENTE %	Peligrosidad de Pendientes	Área en Hectáreas.	% de Área de Estudio
>10 %	Muy Bajo	7691.5325	30.00
6 - 10 %	Bajo	2813.5	10.97
4 - 6 %	Medio	3342.5475	13.04
2 - 4 %	Alto	6897.1075	26.90
0 - 2 %	Muy Alto	4890.605	19.08

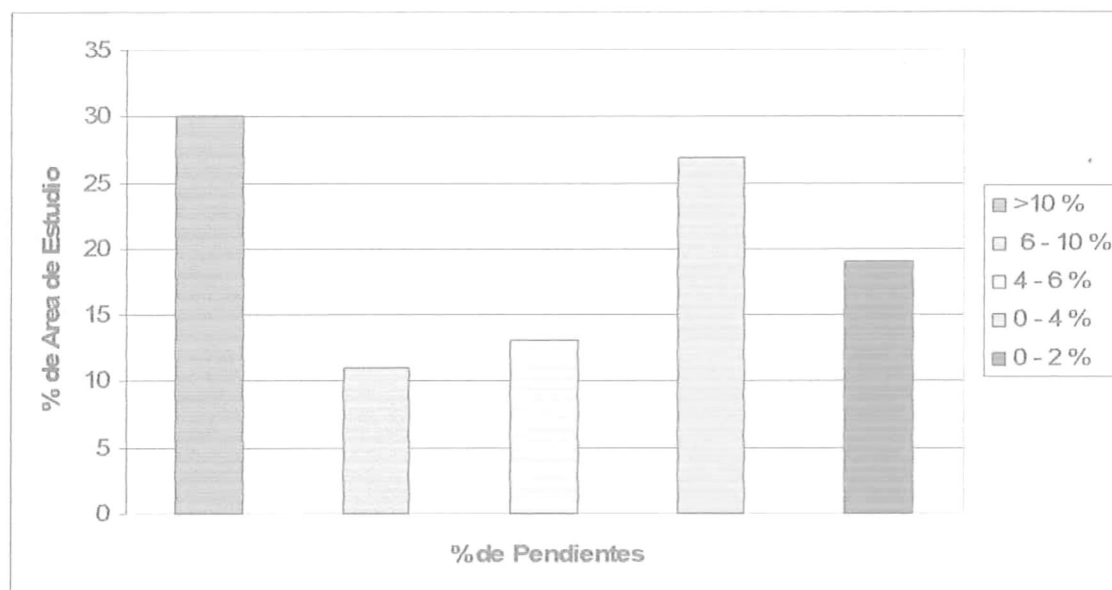


Figura 20.- Porcentaje del área de estudio con presencia las diferentes porcentajes de inclinación, de acuerdo a las curvas de nivel de la figura 4

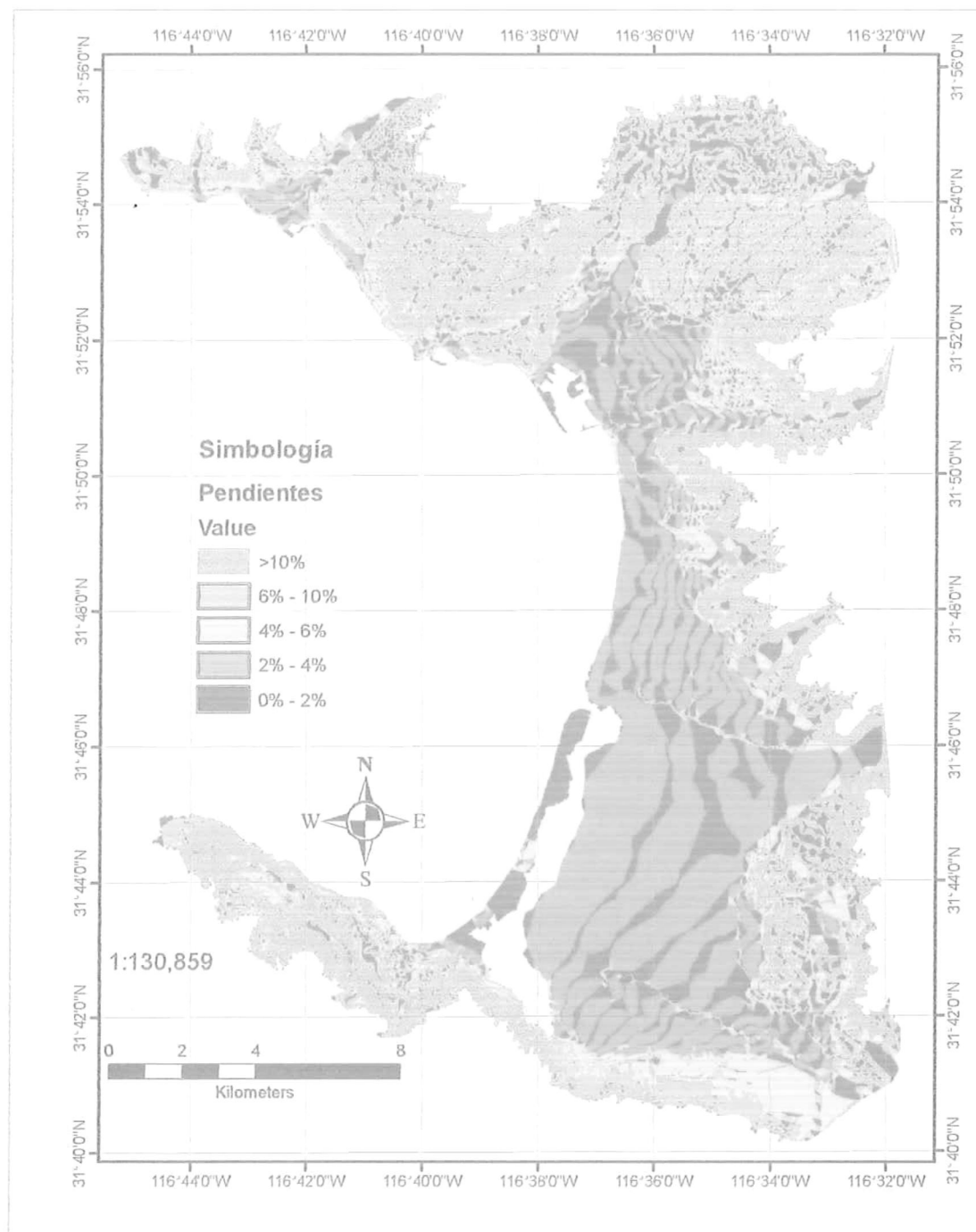


Figura 21.- Mapa de Pendientes de la ciudad de Ensenada donde la zona roja es el área con un menor porcentaje de pendiente o de inclinación y el área verde con inclinación mayor al 10%

8. DISCUSIONES

8.1. Modelo de Riesgo

Los modelos son abstracciones útiles para sustituir la realidad; nos facilitan una mejor comprensión de la complejidad del mundo real, por lo que el proceso de modelaje es vital para el analista, debido a que simplifica los problemas y colaboran en la realización de conjeturas explícitas. Por ello es reconocida la universalidad del modelaje como un filtro que clasifica información relevante a la problemática Fischer (1990).

De acuerdo a Monti (2001), debido a la tendencia natural de las amenazas a ser incontrolables, gran parte del trabajo de mitigación se centra en la reducción de la vulnerabilidad, para esto sin duda es importante tener ciertos medios para decidir cual es el nivel de protección correcto y para escoger entre medios alternativos que permitan orientar el gasto de los recursos limitados con el objeto de mejorar la capacidad protectora.

De acuerdo a lo anterior, los resultados del ejercicio académico perfectible presentado en este trabajo, y mejorados con una base de datos de mejor calidad, pueden llegar a ser una importante herramienta para la toma de decisiones sobre la construcción de nuevas áreas urbanas, considerando el riesgo de inundación pluvial y las estrategias de mitigación sobre urbanizaciones construidas en zonas identificadas como de alta peligrosidad de inundación.

El presente modelo no trata de predecir el futuro, en vez de esto, presenta un escenario probable, teniendo en cuenta algunos aspectos como cambios en el uso de suelo y factores ambientales, en otras palabras, el modelo

evalúa, identifica y localiza aquellas zonas que cumplen con una serie de condiciones, como que sea una zona con poca o nula pendiente, con una geomorfología plana, con una cercanía a escurrimientos y que tienen una alta densidad de población.

Este modelo tiene la posibilidad de crecer desde tres aspectos diferentes, con la perspectiva de continuar con investigaciones futuras en este campo para la Ciudad de Ensenada, B. C. y otras zonas costeras del México

1.- Tomando en cuenta que el índice de peligrosidad de otros factores de riesgo, ya que los valores del índice de Peligrosidad pueden ser dados por otros factores como Tsunamis, Sismos, desbordamiento de la presa Emilio López Zamora, e Incendios y dar resultados de riesgo distintos para cada uno de esos factores de peligro:

$$R = IP + IV$$

Donde el Riesgo (R) esta dado por el índice de peligrosidad (IP) de Tsunamis, Sismos, desbordamiento de la presa Emilio Zamora e Incendios.

2.- Tomando en cuenta que el Índice de Vulnerabilidad no fuera en base a vidas en riesgo (densidad de población), como el presente trabajo, sino a infraestructura en riesgo (valor monetario de la infraestructura), que de acuerdo con Coburn (1991), ésta puede ser estimada tanto con el punto de vista de pérdidas humanas como destrucción o pérdida de edificios o en términos financieros.

3.- Aplicando a estos mismos resultados de inundación diferentes ejercicios con datos precisos de distintos escenarios de precipitación pluvial, como por ejemplo qué zonas del área de estudio se encuentran en riesgo si la cantidad de lluvia esperada en un día es de 100, 300 o 500 mm de lluvia.

Es importante apuntar que este modelo tiene como principal limitación que es un ejercicio académico, si bien cuenta con un sólido respaldo teórico, carece de bases de datos de mayor precisión. Un ejemplo de esto es la modificación de topografía original, debido a la urbanización de nuevas colonias, esta modificación cambia de forma considerable los resultados del modelo. Adicionalmente, el modelo no considera el sistema de drenaje fluvial urbano, por lo que también puede llegar a generar un margen de error.

Sin embargo sobre la base de la definición de Nijkamp et al., (1990), es factible afirmar que los resultados del diagnóstico del Modelo de Riesgo de inundación pluvial, son de utilidad como primera aproximación en las dependencias de toma de decisiones, tanto de planeación en desarrollo urbano como en la identificación de un escenario de riesgo potencial de inundación pluvial.

Finalmente, los resultados son útiles para diversas instituciones de respuesta a emergencia (protección civil) y de planeación municipal, así como de la actualización de los planes de desarrollo como el "Plan de desarrollo urbano del centro para la ciudad de Ensenada 1985-1990", que a pesar de estar vigente, menciona que según el artículo 18 de la ley de Desarrollo Urbano del Estado, éste debe de sujetarse a un proceso constante de revisión y actualización de acuerdo a las necesidades que surjan con el crecimiento físico de la ciudad.

8.2. Índice de Vulnerabilidad

El índice de vulnerabilidad depende directamente del Índice de Uso de Suelo, y en base a la definición de vulnerabilidad de Wilches-Chaux (1993), que relaciona el grado de susceptibilidad de los elementos a sufrir daño con el concepto de vulnerabilidad física, el cual se refiere a la localización de los asentamientos humanos en zonas de riesgos, podemos afirmar que las zonas que presentan vulnerabilidades altas y muy altas son terrenos que tengan usos de suelo habitacionales, y de servicios

Según Coburn (1991), la evaluación de la vulnerabilidad implica primero la identificación de los elementos que podrían estar en riesgo de una amenaza en particular. Esto se llevó a cabo con la identificación de Uso de Suelo, la cual dio lugar al mapa de Índice de Vulnerabilidad (figura 13), el cual se vera afectado con el incremento demográfico de la ciudad, de tal forma que es recomendable realizar una constante actualización de tal índice, con imágenes de satélite de alta resolución espacial y de forma anual.

El Índice de Vulnerabilidad esta basado en las definiciones de uso de suelo del programa de desarrollo urbano de la Ciudad de Ensenada, pero utilizando como prioridad el factor de vidas humanas. Estos valores de vulnerabilidad relativa (tabla VI, columna 3), fueron el resultado de una reunión con el comité de protección civil. Sin embargo, también se acordaron una serie de valores para el Índice de Vulnerabilidad (IV) relativa para la Infraestructura (tabla VI, columna 4); cabe mencionar que estos valores toman en cuenta la afectación a edificios que a ellos como institución les conviene proteger o evacuar. El punto es que este modelo también es posible aplicarlo en la obtención de un nuevo Índice de Riesgo (IR) en función a pérdidas y daños

económicos a la infraestructura de la ciudad, tomando en cuenta la opinión de la iniciativa privada e inversionistas.

8.3. Índice de Peligrosidad

La peligrosidad de inundación pluvial, es debida principalmente a la proximidad de escurrimientos y la ubicación en zonas bajas como valles y llanuras; así como a las pendientes bajas, que coinciden con las zonas en la que está asentada la ciudad, por lo que en temporadas de lluvia el agua se acumula debido a lo plano del terreno. Estas condiciones dificultan que fluya hacia el océano, produciendo con esto inundaciones en éstas zonas;

A diferencia del Índice de Vulnerabilidad y el Índice de Riesgo, el Índice de Peligrosidad se puede considerar mas constante ya que es independiente del crecimiento demográfico, es decir, es controlado por factores naturales de la zona como los escurrimientos, la geomorfología y la topografía, si bien esta última puede tener modificaciones antropogénicas a nivel general, son poco significativas. Por esta razón no es necesaria una actualización anual, para su utilización, a menos que la topografía de la zona sea modificada antropológicamente como parte de la construcción de sistemas de drenaje, instalación de sistema eléctrico subterráneo o simplemente relleno de zonas bajas para hacer una plataforma plana para construcción de vivienda.

Pero si se toma en cuenta ésta última observación a favor de este modelo, se pueden llegar a hacer sugerencias acerca del terreno. Por ejemplo, si aislamos los lugares de posible expansión urbana que tienen una alta peligrosidad derivada por la topografía del lugar y no por la cercanía a escurrimientos. En base a estos resultados, se podría llegar a sugerir que estos

son lugares viables para urbanización siempre y cuando sean modificados los factores de topografía en la medida que se requiera.

8.4. Índice de Riesgo

Una forma clara de observar el riesgo es valorando las pérdidas esperadas, algunas de las definiciones de riesgo utilizadas por UNDRO (1979) y Cardona (1993), establecen una valoración del riesgo en función del grado de pérdidas esperadas ante la ocurrencia de un evento particular. El grado de pérdida se mide como el número de pérdidas humanas, heridos, daños a la propiedad y/o efectos sobre la actividad económica; este trabajo solamente aborda la problemática de riesgo a inundación pluvial desde la perspectiva de pérdidas humanas, así que los resultados del mapa en la figura 11 se refiere únicamente a población en riesgo.

8.4.1. Análisis de los resultados por zonas y colonias

Para poder discutir y analizar de una manera mas concreta las zonas de riesgo, se utilizó la división que se maneja en el programa de desarrollo urbano de 1993 de la Ciudad de Ensenada. Este divide el área de estudio en 8 zonas (Figura 22), con la modificación para este trabajo del anexo de las colonias de nueva construcción. Las zonas desglosadas a continuación:

Zona A.- Está localizada al Norte del área de estudio y corresponde al cerro de Chapultepec y áreas aledañas donde predomina la vivienda residencial y áreas con baja intensidad de uso. El área esta conformada por las colonias: VI Ayuntamiento, Loma Linda, Emiliano Zapata, Bella Vista, Las Palmas II Sección, Las Palmas III Sección, Lomas de la Moderna, Carlos Salinas de

Gortari, Las Peñitas, Pedregal Playitas, Ignacio Altamirano, 20 de Noviembre, Territorio Sur y Azteca; con excepción de la colonia Azteca y Territorio Sur que tienen algunas manzanas con riesgo de inundación muy alto (Figura 23, zona A, partes bajas de las colonias Azteca y Territorio Sur); en esta zona el modelo identifica áreas con un índice de riesgo a inundación bajo, debido a que tiene densidades de población predominantemente media, valores de geomorfología bajos, y con pendientes mas pronunciadas ya que la mayoría de estas colonias se encuentran en partes altas.

Zona B.- Localizada hacia el Este de la mancha urbana sobre terrenos con pendientes mayores a 30% clasificándose la vivienda de tipo popular, del cual se pueden destacar las siguientes colonias: Ex Ejido Adolfo Ruiz Cortines, Colinas de la Presa, Colinas de la Presa 2da Sección, Magisterial, Lomitas, Popular 89, Gómez Morín, Ampliación Gómes Morín, 17 de Abril, Mar, Emiliano Zapata, Balcones de la Presa, Rogelio Appel, Ejido Ruiz Cortines, Popular Valle Verde, Piedras Negras, Lomas de Valle Verde, Los Olivares, Granjas Chapingo, Lázaro Cárdenas, 2 de Septiembre, Libertad, Aguajito, Ampliación Aguajito, Marques de León, Ampliación Hidalgo, El Gallo, José Maria Morelos y Pavón, Francisco Villa. Al igual que en la zona A, en esta sección predomina las zonas con riesgo de Bajo a medio (Figura 23, Zona B), con excepción de algunas colonias como Libertad, Lomas de Valle Verde, Popular Valle Verde, Piedras Negras, en las cuales algunas de sus manzanas están con un riesgo muy alto a inundación, o como la nueva construcción en el Cañón de Dona Petra, a un costado de la Presa Emilio López Zamora en la que el modelo identifica riesgos alto y muy alto.

Zona C.- Ubicada al Sur de la Ciudad a partir de la Ave. Delante hasta el el graven que causa un desnivel de pendiente fuerte de el Ejido de Chapultepec, con colonias como: Costa Azul, Cuahutemoc, California, El Paríán, Costa Bella, Carlos Pacheco, Jalisco, Industrial, Villa Bonita, Costa Bella, Josefa Ortiz de Domínguez, Valle Dorado Zona Ríos, Rancho Bonito, Acapulco, Loma Linda, Playa Hermosa, Punta Banda Infonavit, Loma Dorada, Loma del Mar, Valle Dorado Sección 7, Adolfo Ruiz Cortines, Rey del Mar, Ejido Chapultepec, Escritores, Aeropuerto, Villa del Real, Villa del Real II, Villa del Real III, Villa del Mar, Ex Ejido Chapultepec, Ex Ejido Chapultepec I, Ex Ejido Chapultepec II, Ex Ejido Chapultepec III, Pórticos del Mar, Artesanal, Villa Residencial del Rey, Villa Residencial del Real I, Villa Residencial del Real II, Villa Residencial del Real III, Zona Naval, Unidad Habitacional 23 de Noviembre. A esta zona predomina, de acuerdo a los resultados del modelo, por manzanas con riesgo alto y muy alto propiciado principalmente por la alta densidad de población, porque a pesar que en esta zona se encuentra la parte industrial de la ciudad, predomina el uso de suelo habitacional de alta densidad. Las colonias de mayor riesgo de esta zona aparecen citadas en la Tabla X.

Zona D.- Ubicada hacia el Norte de la mancha urbana, correspondiente al área del Sauzal donde predomina la vivienda popular; en lo que corresponde al análisis de riesgo esta zona la podemos dividir en tres sub-zonas: 1.- D-Norte: figuran la colonia de San Miguel que en su mayoría es identificada por el modelo como área de riesgo alto (figura 23, zona D), debido a su cercanía al arroyo San Miguel aunado a pendiente baja. Por el contrario, la zona residencial de Cíbola del Mar, que a pesar de tener una alta densidad de población y encontrarse cercana al arroyo de San Miguel; debido las pendientes pronunciadas y la geomorfología presente hacen que el modelo identifique un riesgo a inundación bajo. 2.- La sub-zona D-Centro, comprende el área industrial presente entre las dos colonias antes mencionadas y el poblado del

Sauzal de Rodríguez, en esta zona el modelo identifica riesgo tipo bajo y medio, causado principalmente a que el factor de población es muy bajo y no hay una cercanía notable a escurrimientos. 3.- Finalmente la sub-zona D-Sur la cual comprende el poblado de Sauzal, identificado por el modelo como riesgo muy alto en las manzanas cercanas a la carretera de Tijuana a Ensenada (Figura 23, zona D), debido al estancamiento que se presenta por los escurrimientos de los lomeríos cercanos y al cambio de la pendiente que existe en esa zona.

Zona E.- localizada el Noreste de la mancha urbana y en el primer cuadro de la ciudad donde se localizan las colonias: Benito Juárez, Chapingo, Popular Valle Verde, Villa Fontana, Mediterráneo, Los Laureles, Las Fincas, Arboledas, Empleados, Ignacio Allende, Estado de México, La Joyita, Las Flores, Foviste II Foviste III, Foviste IV, Roberto Salazar, Miguel Alemán, Moderna, Ampliación Moderna, Moderna Oeste, San Marino y U. A. B. C. La mayoría de estas colonias (Figura 23, zona E), son identificadas por el modelo con riesgo alto y muy alto; Por ejemplo se pueden mencionar la colonias de Villa Fontana, Foviste II, Benito Juárez, San Marino, que son identificada con riesgo muy alto o como las colonias: Popular Valle Verde, Los Laureles, Arboledas, Las Fincas, La Moderna, Miguel Alemán, Foviste III y IV, La joyita, Allende, Estado de México, las cuales son identificadas con riesgos de inundación de alto y muy alto. Finalmente el resto de las colonias de esta zona fueron identificadas con índices de riesgo medio y alto.

Zona F.- Está ubicada en el poblado de Maneadero al Sureste del área de estudio, en esta zona están ubicadas las colonias: Costa Azul, Hogares del Puerto, Los Pinos, El Único y Ejido Nacionalista. En esta zona el modelo identifica las colonias El Único, el poblado de Maneadero y Hogares del puerto con riesgo de inundación alto a muy alto (figura 23 zona F), causado

principalmente por ser zonas con alta densidad de población, la geomorfología del lugar, y la topografía del mismo.

Zona G.- Comprende la parte central del centro urbano, donde se encuentran las colonias: Sección Primera, 3er Ayuntamiento, México, Misión, La Joya de Hussongs, Carlos Pacheco, Bronce, 28 de Agosto, Ampliación Revolución, Jesús Munguía, Panteón, Delgado, Careaga, Bonifaz, Popoff, Maestros, Hidalgo, Vivienda Popular, Independencia, Aviación, Bustamante, Ampliación Reforma, Ulbrich, Granados, Bahía, Buena Ventura, Nueva Ensenada, Playa Ensenada, Bahía Ensenada, Las Rodas, Abelardo Rodríguez, Ampliación Hidalgo. El modelo identifica a las colonias con índice muy alto (figura 23, Zona G): Sección Primera 3er ayuntamiento, México, Misión, Hidalgo, Vivienda Popular, Independencia, Aviación, Bustamante, Ampliación Reforma, Ulbrich, Granados, Bahía, Buena Ventura, Nueva Ensenada, Playa Ensenada, Bahía Ensenada, Abelardo Rodríguez, Jesús Munguía, Delgado, Careaga, y Popoff. Al igual que la zona F, el riesgo es propiciado por la geomorfología, la topografía y la alta densidad de población, ya que esta zona incluye al cuadro principal de la ciudad, de la misma manera esta zona también se ve influenciada por el arroyo el Gallo y el arroyo Ensenada, lo que hace que aumente de forma considerable el riesgo de inundación,

Zona H.- Finalmente, para esta zona se localizan los poblados de Esteban Cantú y Sánchez Taboada. En esta zona son pocos los lugares identificados con índices de riesgo de inundación alto, se podría decir que predomina un riesgo bajo, esto es debido a que el uso de suelo principal de esta zona es agrícola y la densidad de población es muy baja. Solo hay algunas manzanas muy cerca de la costa en la base de la barra del estero que tienen un riesgo alto, propiciado por la topografía.

En el plan de contingencias de la ciudad de Ensenada se mencionan varias colonias de riesgo y riesgo alto a ser afectadas por inundación pluvial, estas colonias fueron detectadas e identificadas por el modelo que aquí se presenta.

Los lugares que el modelo detecto con probabilidades de riesgo de inundación utilizando las bases de datos de Escurrimientos, Geomorfología, Usos de Suelo y Topografía de la ciudad de Ensenada, están citados en la tabla XIII, especificando la colonia, el riesgo al cual esta sujeta y la zona en la que se encuentra.

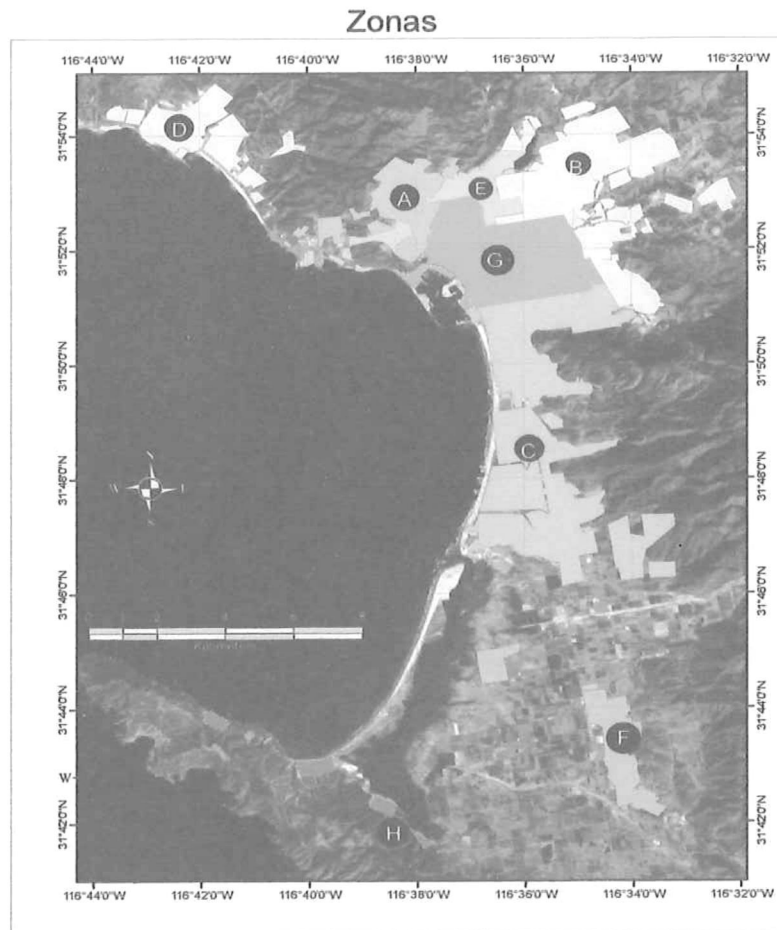


Figura 22.- División de la mancha urbana de la ciudad de Ensenada en 8 zonas según el programa de desarrollo urbano de 1993 de la ciudad de Ensenada

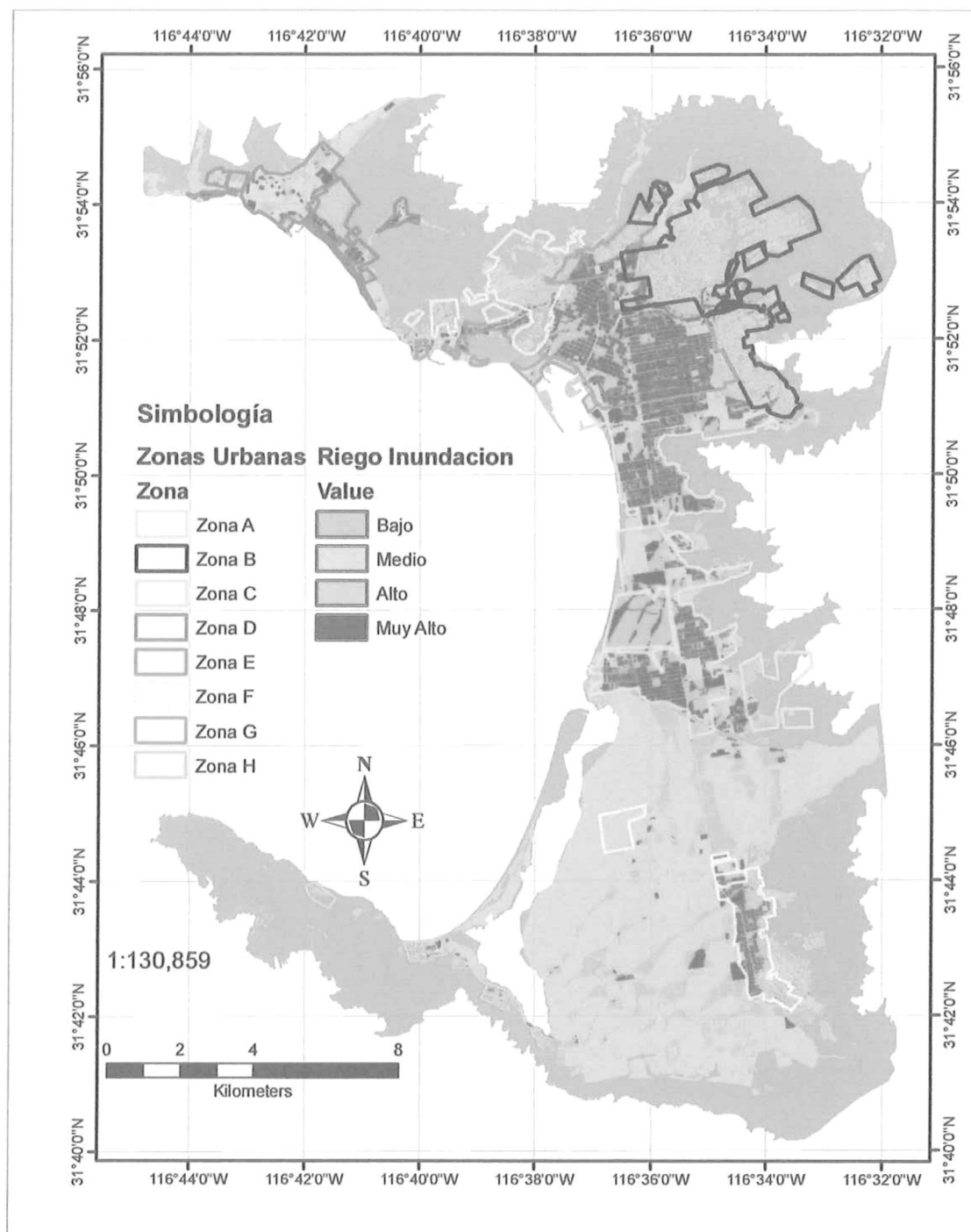


Figura 23.- División zonal sobre el mapa de Riesgo de Inundación, según el programa de desarrollo urbano de 1993 de la ciudad de Ensenada

Tabla XIII.- colonias con mayor riesgo de inundación según el modelo de Riesgo donde A=Riesgo Alto, MA= Riesgo Muy Alto, M= Riesgo Medio y B= Riesgo Bajo.

COLONIA	RIESGO	ZONA	COLONIA	RIESGO	ZONA
Popular Valle verde	A, MA	B	Joyita	A, M	E
Libertad	A, MA	B	Bronce	MA	G
Popular 89	A	B	Ampliación Revolución	A, MA	G
Lomas de Valle Verde	A, MA	B	Revolución	A, MA	G
Escritores	A, MA	C	3 de Octubre	MA	G
Morelos	M, A, MA	B	México	MA	G
Ex Ejido Chapultepec I, II	MA	C	Lazaro Cardenas I, II	MA, A	B
Villa Residencial del Real I, II, III	M, A, MA	C	Hogares del Puerto	MA	F
Margaritas			Pórticos del Mar	MA	C
San Miguel	MA	D	Terraza el Gallo	A, MA	B
Sauzal primera sec.	MA	D	San Marino	MA	E
Villa Fontana,	MA	E	Hunidad Habitacional 23 Nov.	M, MA	C
2 de Septiembre	MA	B	Pro-Hogar	MA	G
Benito Juárez,	MA	E	Bahía	MA	G
Flores	MA	E	Las Rosas	MA	G
Mediterraneo	MA	E	Buena Ventura	MA	G
Empleados	A, MA	E	Nueva Ensenada	MA	G
Moderna, Amp., Oeste	A, MA	E	Playa Ensenada	MA	G
Chapingo	M, A	E	Adolfo Ruiz Cortinez	M, A, MA	C
Único	A	F	Cumbres de la Presa	M, A, MA	B
Maneadero	A, MA	F	Colinas de la Presa I, y II	A, B	B
3er ayuntamiento	MA	G	Zona Naval	MA	C
Magisterial	A		Foviste II,	MA	E
Misión	MA	G	Piedras Negras,	A, MA	B
28 de agosto	MA	G	Las Fincas	A, MA	E
Cereaga	MA	G	Independencia	MA	G
Popoff	MA		Reforma	MA	G
Aviación	MA	G	Ulbrich	MA	G

9. CONCLUSIONES

9.1. Modelo de Riesgo

El modelo de riesgo de inundación que en este proyecto se maneja, proporciona un mapa de riesgos con la información necesaria para localizar las zonas de importancia para la sociedad y comunidad Ensenadense. Podrían ser afectadas por dichos fenómeno y así se podrían mitigar pérdidas económicas o incluso la pérdida de vidas humanas.

Los resultados del este modelo como los de cada uno de sus índices son aplicables para el área de estudio especificada en la Figura 1, y es posible con algunos ajustes aplicar el modelo en otras ciudades costeras del país. Resalta la importancia que el valor de los indicadores varía en cada ciudad y por lo tanto influyen de forma distinta el índice de riesgo por inundación.

Si fuera requerido aplicar este modelo en otro lugar se hace necesario realizar un análisis particular de la zona en la que se desea aplicar el modelo para determinar desde los índices que se utilizaran y los valores de las escalas relativas.

9.2. Vulnerabilidad

El **21.1%** del área de estudio presentó un Índice de Vulnerabilidad (IV) alto y muy alto que en términos de superficie son aproximadamente **5,402.4 Has.** (Figuras 12, 13 y Tabla VIII).

9.3. Peligrosidad

El **41.4%** del área de estudio presentó un Índice de Peligrosidad alto y muy alto que en términos de superficie son aproximadamente **10,619.3 Has.** (Figuras 14, 15 y Tabla IX)

9.4. Riesgo

El modelo de Riesgo de Inundación (RI) se aplicó en la ciudad de Ensenada B.C. aproximadamente en un área de **25,600 Has.** (Figura 1)

El **21.8%** del área de estudio presentó un Índice de Riesgo de Inundación alto y muy alto, en términos de superficie son aproximadamente **5,580 Has.** Sin embargo, de este 22% solo el 7.9% del área total de estudio se encuentra con un Riesgo de Inundación Muy Alto que son aproximadamente **2,039.5 Has.** (Figuras 10, 11 y Tabla VII).

El Índice de Riesgo (IR) puede llegar a aumentar si el Índice de Vulnerabilidad (IV) aumenta de una manera errónea en lugares de Índice de Peligrosidad (IP) alto

Adicionalmente podría ser muy útil como una herramienta para el proceso de planificación del territorio, tales como construcción de carreteras, tendidos de cables o tuberías, reforestaciones, protección civil, y como un instrumento para tomar medidas correctoras para mejorar la situación actual de la ciudad, relacionando nivel de riesgo que las autoridades y la sociedad consideran como "aceptable" para definir medidas de mitigación, eficiencia y su orden de prioridades.

10. LITERATURA CITADA

- Cardona O., 1993, Evaluación de la Amenaza, la Vulnerabilidad y el Riesgo
"Elementos para el Ordenamiento y la Planeación del Desarrollo"
<http://www.desenredando.org/public/libros/1993/ldnsn/html/cap3.htm>
- Cendrero. A. J. 1997. Metodología de elaboración de mapas de riesgos a
escala 1:5.000. III R. Nac. G. Amb. y Ord. Territorio, Vol.
Com., Valencia:843-870. Cendrero U. A.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical, coordinadores del proyecto y
personal especializado en desarrollo) y el Banco Mundial, 2005
ciat.cgiar.org/indicators/pdf/desarrollo7.pdf
- Clemente Luís 1991, establecimiento de un sistema de alarmas contra tsunamis
para la península de Baja California.
- CNA, 2000, Plan de emergencias de Diciembre 2000, escala 1:25000
- Coburn A. W., Spence R. J. y Pomonis A. et-al, 1991, Programa de
Entrenamiento para el Manejo de Desastres "Vulnerabilidad y evaluacion
de Riesgo, 1ra Edicion"
- Coque R., 1984, Geomorfología, Ed. Alianza Editorial, S.A. Madrid
- Fischer W., 1990, Técnicas Para la Formulación de Políticas en Zonas
Costeras, Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali B.C. México
- García y Reyes, 1993 Programa de Manejo Integrado de la Reserva de la
Biosfera del Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado. Tesis de
Maestría. UABC. Facultad de Ciencias Marinas, Ensenada B. C.

Guerrero 2001, Evaluación del daño genotóxico por el insecticida Bacterial *Bacillus Thuringiensis*, en *Tilapia Oreochromis Aureus*, de un cultivo comercial de la presa Ing. Emilio López Zamora.

INEGI, Cartas Geológicas, 1976, escala 1:50000: H11B12 H11B22

INEGI, Cartas topográficas escala 1:50,000: H11B11, H11B12 y H11B22

INEGI, 2000. Diccionario de datos Fisiográficos Esc. 1:1000 000.

INEGI, 2000. SINCE. "Sistema para la consulta de información censal 2000"

Lizarraga Arciniega y C. Appendini, 2006 "Planificación para el manejo de la erosión en playas de Rosarito B.C.
www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/gacetas/155/planifica.html

Martorell Rene y Sáenz Rocio, 2005, Programa de Preparativos para Situaciones de Emergencia y Coordinación de Casos de Desastres de la OPS/OMS "Guía de trabajo para la elaboración de los mapas de riesgos comunales"
http://www.crid.or.cr/crid/cd_eird_informa/esp/revista/no3_2001/pagina15.htm

Maskrey A. "La aplicación de los sistemas de información geográfica al análisis de riesgo en América latina" (red de estudios sociales en prevención de desastres en América Latina) <http://www.desenredando.org>

Monti A. J.A. (2000) Evaluación de la peligrosidad y el riesgo de erosión costera basada en indicadores ambientales.

Montoya y Gómez I. (1991). Tesina de Especialidad. Especialidad en Administración de Recursos Marinos. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California. Definición de zonas de riesgo por erosión e inundación en la Bahía de Todos Santos, Baja California, México.

Municipio de Ensenada 2002, Plan de Contingencias de Inundaciones, Coordinación de Análisis de Riesgos de la Dirección de Bomberos y Protección Civil del XVII Ayuntamiento Constitucional de Ensenada.

Municipio de Ensenada 1999, Restitución Fotogramétrica de 1999

Municipio de Ensenada 1993, Programa de desarrollo urbano Ensenada

Municipio de Ensenada Información local
<http://www.elocal.gob.mx/work/templates/enciclo/bajacalifornia/municipios/02001a.htm>

Nijkamp P, Rietveld P (1990) Multicriteria evaluation in Physical Planning. Elsevier Science Publications, Amsterdam, The Netherlands. 219 p

Periódico El Vigía, Ensenada, B. C. 18 de enero de 2005, "Acumulan 300 mdp los daños", <http://www.elvigia.net>

Reyes S, y Troncoso, 1998, "el niño oscilación del sur" y los fenómenos hidrometeoro lógicos en baja cal.: el evento de 1997/98, <http://inp.semarnat.gob.mx/publicaciones/ciencia%20pesquera/ciencia15/reyes%20coca.pdf>

Secretaria de Marina, 2006, "Modelo de Identificación de Áreas Costeras con probabilidad de ser Inundadas a causa de Maremoto (MIACIM)" Imágen de satélite (spot) composición de bandas 1, 2 y 3, 2006

Sorensen j.c., 1992, Institutional Arrangements for Managing coastal Resources and Environments, Coastal Resources Center, University of Rhode Island.

Wilches-Chaux-G., 1993, La Gestión Local del Riesgo”,
<http://www..crid.or/digitalización/pdf/spa/doc15783/doc15783-bibliografia.pdf>

Zúñiga C.,1997, <http://elnino.cicese.mx/concecuencias/sociedad.htm>