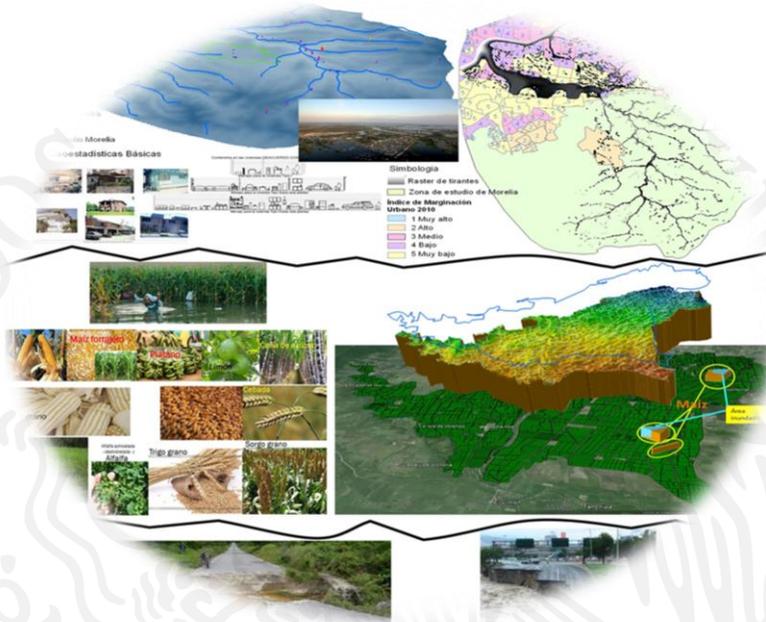


Coordinación de Hidrología

Subcoordinación de Hidrología Superficial

Proyecto TH1402.1



“Construcción de curvas de costos por daños por inundación a las zonas agrícolas e infraestructura urbana y red carretera del país”

Informe Final

Autor:

M.C. Yolanda Solís Alvarado

Participantes:

M.I. Jaqueline Lafragua Contreras
I.S. Javier García Hernández
L.I. René Mendoza Betanzos
L.I. Isabel García Cabrera

Jefe de proyecto:

M.C. Yolanda Solís Alvarado

Diciembre, 2014



Inundación en México, D.F. 1950. Calle 16 de septiembre e Isabel la Católica. Imagen captada por el fotógrafo Aurelio Escobar desde la ventana de su estudio

Contenido

1. Introducción	1
2. Objetivo	1
3. Resumen de curvas de vulnerabilidad para estimación de daños económicos por evento inundación.	2
3.1 Curvas de vulnerabilidad para estimación de daños en zonas urbanas	2
3.2 Curvas de vulnerabilidad para estimación de daños en cultivos de maíz	4
3.3 Dos Curvas de vulnerabilidad elementales para estimación de daños agrícolas (varios cultivos)	5
3.4 Curvas de vulnerabilidad para estimación de daños carreteros	7
3.5 Sobre curvas de vulnerabilidad para estimación de daños en hospitales y escuelas	9
3.6 Otras metodologías sobre daños urbanos a explorar.	10
4. Justificaciones de la disminución del rendimiento de una planta a consecuencia de inundación	14
5. Pruebas hechas para la curva de maíz	19
6. Pruebas hechas para dos curvas agrícolas básicas elementales	24
6.1 Curva de vulnerabilidad elemental básica para estimación de daños agrícolas: Arbolado.	25
6.2 Curva de vulnerabilidad elemental básica para estimación de daños agrícolas: Cultivos herbáceos y hortalizas (No arbolado).	34
7. Investigación sobre curvas de vulnerabilidad en carreteras, hospitales y escuelas	40
7.1 Curvas carreteras, opción uno: Catálogo de costos directos	40
7.2 Curvas carreteras, opción dos: Investigación de curva de vulnerabilidad	42
7.2.1 Universo de insumos base identificados	42
7.2.2 Curva Checoslovaca	5
7.2.3 Curvas Españolas	13
7.3 Curvas hospitales y escuelas	17
8. Resultados.	18
9. Conclusiones.	19
10. Bibliografía.	19

Anexo A: Resultados de la curva del maíz.

Anexo B: Propuesta metodológica para estimar de manera preliminar daños agrícolas a nivel nacional.

Anexo C: Base de datos cultivos representativos en México (base Estadísticas Agrícolas de Conagua)

Anexo D: Metodología manual par cálculo de daños con base en curva agrícola C1 y C2, y resultados de cálculo con ANRI_Batch-PC para curva C1 y C2.

Anexo E: Información de y para curva de vulnerabilidad para infraestructura carretera.

Anexo F: Cartas de INEGI para zona piloto propuesta e información base para generación de curvas de vulnerabilidad para el sector salud (hospitales) y educación (escuelas).

Anexo G: Diagrama de Flujo de ANRO-Batch-PC y método de cálculo de ráster de tirantes por método de promedios móviles.



1. Introducción

En mayo de 2013 la Comisión Nacional del Agua (Conagua) y el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) celebran el Convenio de colaboración con el objeto de realizar el estudio denominado “Programa Nacional Contra Contingencias Hidráulicas (PRONACCH) para los trece organismos de cuenca de la Conagua”. Uno de los alcances del estudio fue evaluar los daños en zonas potencialmente inundables a nivel nacional, considerando áreas urbanas y agrícolas a través del módulo Atlas Nacional de Riesgo contra Inundación (ANRI) derivado del Sistema de Análisis y Visualización de Escenarios de Riesgo (SAVER) del CENAPRED.

El sistema ANRI, tal como está implementado en el servidor del CENAPRED (al menos hasta principios de 2014), requiere como entrada curvas de daños (altura de agua-daños económicos) y dispone de curvas para áreas urbanas y para el cultivo del maíz. Sin embargo, en el territorio mexicano las áreas agrícolas afectadas periódicamente por inundaciones incluyen otros tipos de cultivo y afectaciones a diversos sectores como son sector educación, salud, etc.

Lo anterior, establece un marco de referencia para en principio identificar las principales variables que intervienen en la evaluación de daños económicos en diversos sectores ante fenómeno de inundación. Para que, una vez identificados se consideren en las curvas de vulnerabilidad a estudiar y/o generar.

En el presente informe se resumen los resultados obtenidos primero, en las pruebas más precisas que se realizaron a la curva de maíz que considera permanencia y tirante con datos reales de dos Distritos de Riego, así como de una metodología española de uso general cuyo insumo es sólo el tirante dentro de la zona de inundación; y, segundo, de los avances en la investigación/obtención de curvas carreteras, hospitales y escuelas.

El documento está organizado de la siguiente manera: en primer lugar se establece el objetivo del proyecto, seguido de una sección resumen, capítulo tres, de las curvas de vulnerabilidad para estimación económica de daños abordadas en el presente estudio; en el capítulo cuatro, se presentan las justificaciones de la disminución del rendimiento de una planta a consecuencia de una inundación; en el capítulo cinco, se describe a detalle las pruebas hechas para curva de maíz; en el capítulo seis, se describen las pruebas hechas para las curvas agrícolas elementales básicas, en el capítulo siete, se presenta lo identificado respecto a curvas de vulnerabilidad en carreteras, hospitales y escuelas. Y finalmente, se presentan las conclusiones, bibliografía consultada y anexos.

2. Objetivo

Estimar de manera más completa el daño anual esperado en el país por concepto de inundaciones.

3. Resumen de curvas de vulnerabilidad para estimación de daños económicos por evento inundación.

El presente capítulo contiene a nivel de resumen un concentrado de las curvas de vulnerabilidad para estimación de daños económicos en afectaciones a diversos sectores cuando se presenta un fenómeno hidrometeorológico que provocan inundaciones.

3.1 Curvas de vulnerabilidad para estimación de daños en zonas urbanas

A pesar de no ser parte de los resultados del presente estudio, se integran estas curvas a la lista de curvas de vulnerabilidad del presente resumen debido a que generalmente, la primer evaluación de daños se estima en viviendas y población afectada.

Emitidas por el Dr. José Emilio Baró, 2007 y 2011 (Baró-Suárez et al), donde relaciona, en cinco curvas tipo, un tirante de inundación con un número de salarios mínimos de acuerdo a un índice de marginación en la zona de estudio. Obtuvo el valor del daño es pesos, de evaluar el costo de cada bien para cada altura de lámina de agua alcanzada de acuerdo al índice de marginación registrado en las Áreas Geoestadísticas Básica (AGEB) presentes en la zona de inundación. Estos daños totales se convirtieron en número de salarios mínimos. El monto obtenido lo dividió por el número de viviendas habitadas en cada una de las AGEB, y así obtuvo el valor de los daños para una vivienda.

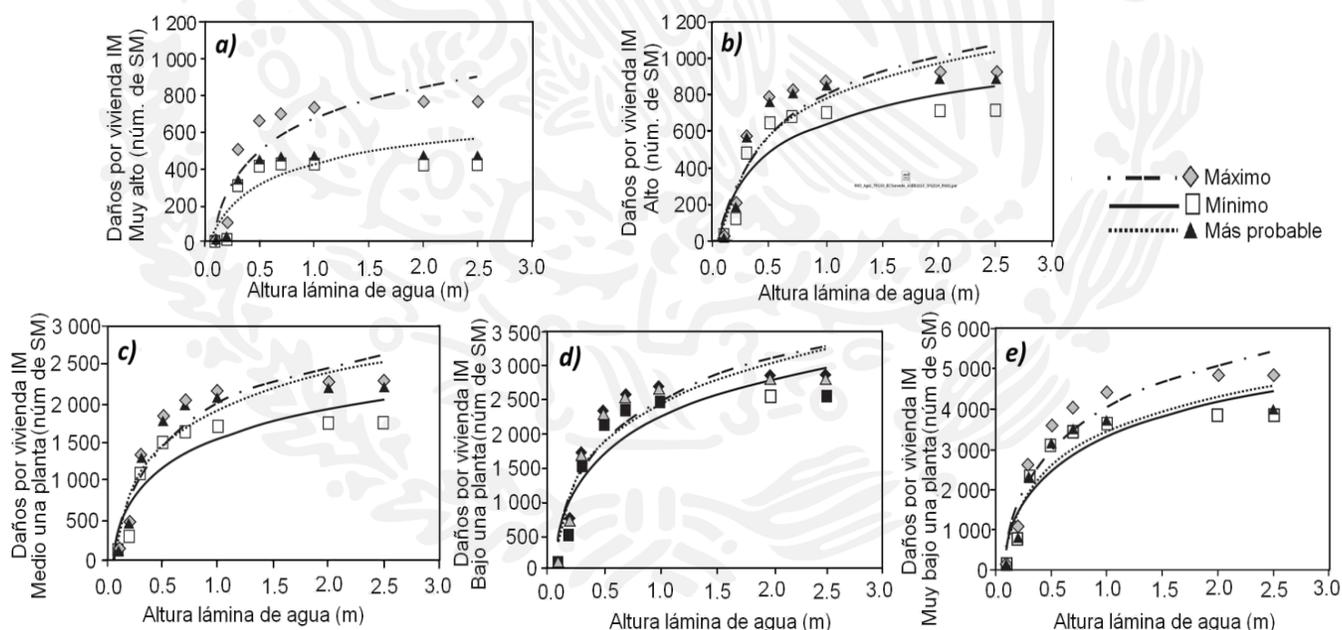


Figura 3.1: Curvas de costos para estimación de daños potenciales directos en zonas habitacionales para costo máximo, mínimo y más probable. Fuente: José Emilio Baró-Suárez, et al. 2011.

Baró-Suárez et al. generó una serie de gráficas, donde el eje horizontal corresponde a valores de altura de lámina de agua en metros y el eje vertical a los daños económicos en unidades de número de salarios mínimos. Con base en esta información construyó un modelo matemático de tipo regresivo que correspondió a un ajuste logarítmico, cuya ecuación le permitió calcular los daños potenciales directos, en número de salarios mínimos, para una altura de lámina dada.

Al utilizar los salarios mínimos como unidades de medida, los resultados no pierden validez en el mediano plazo, basta con actualizar los Salarios Mínimos Generales (SMG) para que se actualicen los daños estimados. En México el Consejo Nacional de Salarios Mínimos es el encargado de publicar los SMG.

El ANRI-Batch maneja cinco de las ocho curvas publicadas por Baró y corresponden a IMU: Muy alto, Alto, Medio, Bajo y Muy bajo. En la Figura 3.1 se observan las curvas de daños (máximo, mínimo, más probable) por inundación para una vivienda y en la Figura 3.2 se presentan las ecuaciones de dichas curvas.

Para cada Índice de Marginación se tienen tres curvas de daños potenciales directos en zonas habitacionales para calcular el costo mínimo, máximo y más probable; dichas curvas son del tipo:

$$a * \ln(h) + b,$$

Donde :

h es el valor de la lámina de agua

a y ***b*** dependen del Índice de Marginación (para costo mínimo, máximo o más probable).

Estos daños urbanos totales se convierten en número de salarios mínimos. El monto obtenido se divide por el número de viviendas habitadas en cada una de las AGEB, y así se obtiene el valor de los daños para una vivienda. Se consideran tres tipos de menaje, que corresponden a los contenidos en las viviendas de acuerdo a la tipificación del menaje para viviendas Tipo I, Tipo II y Tipo III.

<i>Índice de marginación</i>	<i>Ecuación</i>
Muy Alto	DDHmáx=247.63 Ln(h) + 668.44 DDHMín=141.36 Ln(h) + 382.45 DDHmp=156.92 Ln(h) + 424.33
Alto	DDHmáx=289.63 Ln(h) + 801.56 DDHMín=228.58 Ln(h) + 637.93 DDHmp=280.51 Ln(h) + 777.60
Medio	DDHmáx=709.63 Ln(h) + 1976.04 DDHMín=544.93 Ln(h) + 1546.60 DDHmp=685.51 Ln(h) + 1913.15
Bajo	DDHmáx=877.28 Ln(h) + 2479.23 DDHMín=797.24 Ln(h) + 2233.19 DDHmp=865.56 Ln(h) + 2443.20

Índice de marginación	Ecuación
Muy Bajo	$DDH_{máx} = 1521.80 \ln(h) + 4051.63$ $DDH_{Mín} = 1210.14 \ln(h) + 3321.20$ $DDH_{mp} = 1255.78 \ln(h) + 3428.17$

Figura 3.2: Ecuaciones obtenidas de las curvas de daños potenciales directos en zonas habitacionales. Fuente: Baró-Suárez, et al. 2011.

3.2 Curvas de vulnerabilidad para estimación de daños en cultivos de maíz

Publicada también por el Dr. José Emilio Baró (2007), consiste en estimar daños económicos considerando la duración de la inundación. En la Fig. 3.3 se presenta la curva de daños potenciales por inundación para el caso de un cultivo de maíz de grano tanto bajo riego como de temporal. El eje horizontal representa la duración de la inundación (t) y el eje vertical los daños económicos agrícolas (DDA), las curvas de ajuste son de tipo logarítmico.

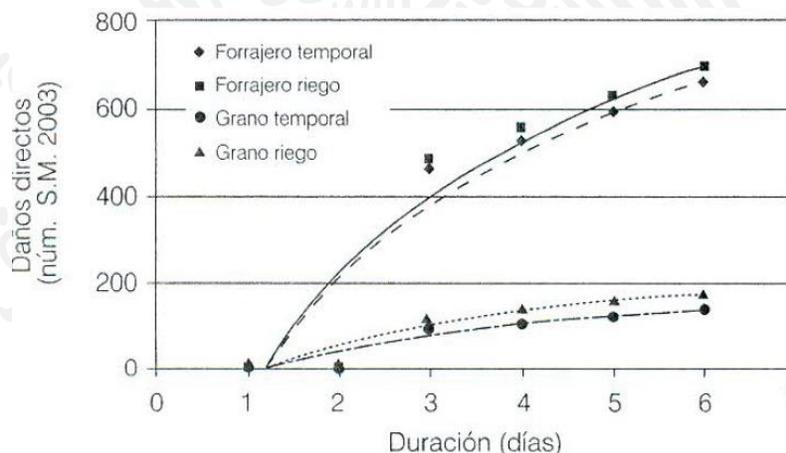


Figura 3.3: Curvas de daños potenciales por inundación en cultivos de maíz temporal (altura de la planta mayor a 0.30 cm). Fuente: José Emilio Baró-Suárez, et al. 2011.

Estas ecuaciones sólo serán aplicables para cuando la planta tuviese una altura superior a los 30 cm, de forma que si fuese menor a esta altura no se aplicarían y se supondría pérdida total, es decir, que se produce una afectación del 100% en los cultivos, en la Figura 3.4 se presentan las ecuaciones.. La curva aquí presentada es del tipo:

$$a \cdot \ln(t) - b$$

Donde:

t es el valor de la duración de la crecida en días
 a y b coeficientes tomados de la curva de costos.

Con estos daños por inundación del cultivo de maíz se obtiene el daño proporcional al área de inundación que tiene maíz. Es decir, si dentro de un Distrito de Riego hay 150 ha de varios cultivos y sólo 50 ha son de maíz, el daño se reportará únicamente para las 50 ha cultivadas con maíz. El ANRI-Batch tiene en su base de datos únicamente los coeficientes para el cultivo *Maíz grano bajo riego*.

Uso del suelo	Ecuación
Maíz grano temporal	$DDA_{mgt} = 86.742 \ln(t) - 17.483$
Maíz grano bajo riego	$DDA_{mgr} = 110.17 \ln(t) - 22.204$
Maíz forrajero temporal	$DDA_{mft} = 416.61 \ln(t) - 83.969$
Maíz forrajero bajo riego	$DDA_{mfr} = 438.77 \ln(t) - 88.969$

Figura 3.4: Ecuaciones obtenidas de las curvas de daños potenciales directos en zonas agrícolas (h, altura de lámina de agua, t duración de la inundación, DDA daños directos agrícolas). Fuente: José Emilio Baró-Suárez, et al. 2007.

3.3 Dos Curvas de vulnerabilidad elementales para estimación de daños agrícolas (varios cultivos)

Publicadas por el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino a través del Plan director de defensa contra las avenidas en la comarca Marina Baja (Alicante), en su Apéndice 8 denominado Estudio de daños y vulnerabilidad en el año 2011. Las dos curvas de vulnerabilidad elementales son, una para arbolado (ya sea para estiaje o lluvias) y otra para el resto de cultivos herbáceos, hortalizas, viñedos, etc., es decir, todo aquello que no puede ser considerado como árbol.

La sección 6.2.10 denominado Usos agrícolas, del citado documento, manifiesta la existencia de una gran variabilidad de daños en función del tipo de cultivo, el estado vegetativo o las características de la parcela. Sin embargo la complejidad que representa la división del territorio y la asignación de un cultivo a cada punto del espacio lo hace poco recomendable. A esto debemos añadir que el tipo de cultivo puede variar en una misma parcela con el tiempo (según las preferencias del agricultor que lo explota).

La curva de vulnerabilidad elemental adaptada para el arbolado implementada en ANRI-Batch-PC, presenta claramente una doble pendiente, ya que para tirantes inferiores a 1 m, se considera que los daños a la cosecha serán más o menos importantes, pero los daños a la propia planta son nulos. A partir de esta resolución, los daños al arbolado aumentan progresivamente por lo que no sólo se perderá la cosecha, sino que en el peor de los casos, toda la plantación deberá ser repuesta con lo que esto conlleva. En la Figura 3.5 se presenta esta curva.

Consiste básicamente en obtener el porcentaje de superficie sembrada ($SuperficieSembrada(\%)$), el rendimiento en unidades de toneladas por hectárea ($Rendimiento(Ton/ha)$), y el precio por tonelada ($PrecioTonelada(\$/Ton)$), mismas que para la implementación de la metodología en ANRI_Batch-PC se obtuvieron del análisis de 10 años de datos de las Estadísticas agrícolas que publica la Conagua. Al-

gunos de los cultivos pertenecientes a esta curva son: Aguacate, Chayote, Chabacano, Granado, Guanávana, Guayaba, etc. De este análisis se encontraron 82 cultivos clasificados como tipo de curva C1.

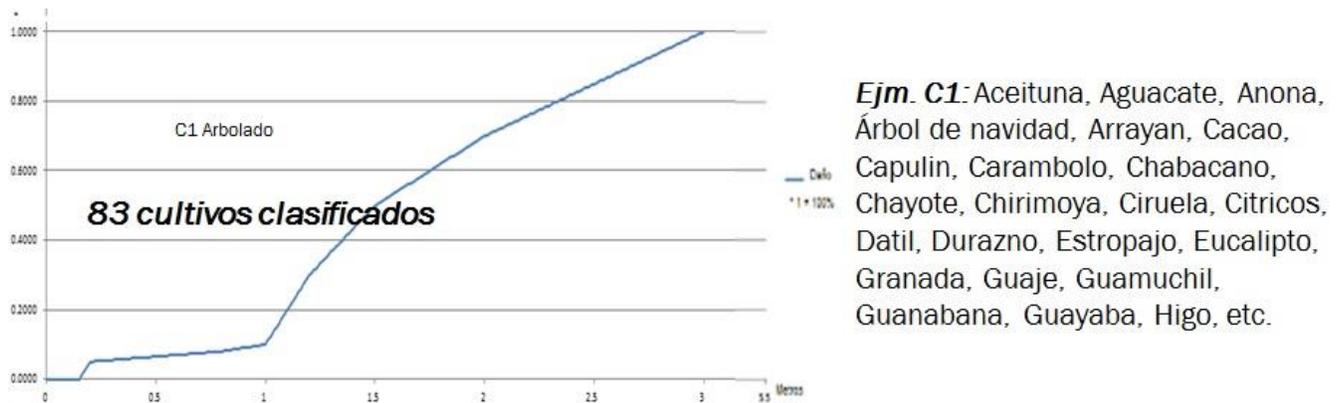


Figura 3.5: Curva de vulnerabilidad elemental agrícola para cultivos arbolados.

Para el resto de cultivos, la denominada *curva de vulnerabilidad elemental para cultivos no arbolado* (herbáceos y hortalizas) presenta una pendiente muy fuerte, con tirantes muy bajos, ya que la pérdida de la cosecha será muy habitual incluso con tirantes inferiores a 50 cm. Del mismo análisis mencionado para la curva C1, resultaron 243 cultivos clasificados de las estadísticas agrícolas en México con tipo de curva C2, entre los cuales encontramos Acelga, Brócoli, Caña, Fresa, Tomate, etc., tal como se observa en la Figura 3.6.

Ejm. C2: Acelga, Agave, Ajo, Ajonjolí, Albahaca, Alpiste, Amaranto, Anis, Brocoli, Calabaza, Camote, **Caña**, Cebolla, Chícharo, Ejote, Espinaca, Fresa, Flores, **Girasol**, Nopalitos, **Papa**, **Pastos**, Piña, Soya, Tomate, Quelite, etc.

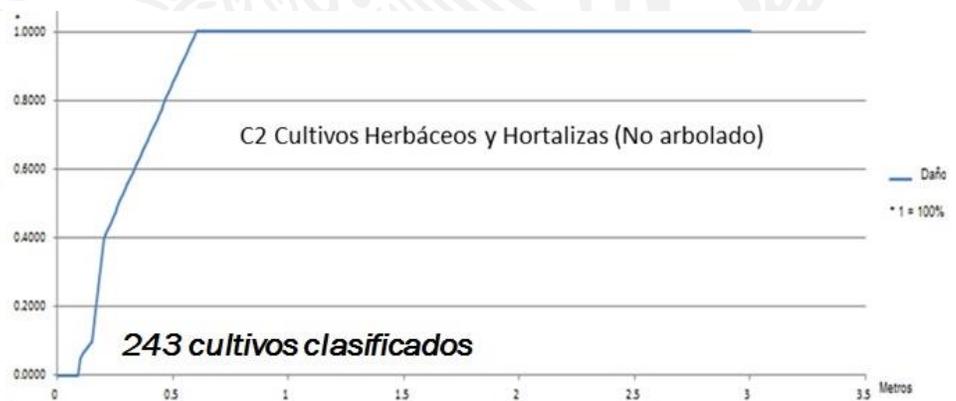


Figura 3.6: Curva de vulnerabilidad elemental agrícola para cultivos No arbolados.

3.4 Curvas de vulnerabilidad para estimación de daños carreteros

Para determinar el valor de carreteras y vías férreas frecuentemente son aplicados los costos de construcción por metro lineal o metro cúbico. Los costos pueden ser derivados de estadísticas oficiales [Messner F. et al]. La Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT) maneja el denominado Tabulador de precios unitarios para obras viales, dividiendo al país en zonas de costos, tal como se observa en la Figura 3.7.



Figura 3.7: Zonificación de SCT para el Tabulador de precios unitarios para obras viales (2005).

Una función de vulnerabilidad que quedó a medio proceso de evaluación es la publicada por ZAJICEK, 2009, donde se establece que la evaluación del riesgo tiene que estar basada en los principios de la combinación de la probabilidad y consecuencias. En dicha función, no se hizo la medición de la mayor cantidad de factores recomendados por las normas checas.

Se usaron escalas para normalizar los factores a considerar y se ajustó a un rango de valores. Por ejemplo los rangos de tiempo pueden ser de 1 hora, 10 horas, 100 horas, etc. Cada escala propuesta tiene 5 puntos. Para el análisis y la evaluación del daño no es necesario tener los mismos niveles de escala, pero es cómodo desde el punto de vista del evaluador hacer comparables y medibles las mediciones. La intensidad de los eventos se mide con:

- Factor (F_1),
- Cantidad del nivel 5,
- Punto de evaluación (x_1),
- Valor alternativo (y_1),
- Función de aproximación (f_1),
- Unidad ($[h^{-1}]$)

La República Checa considera las carreteras y las vías férreas como infraestructura crítica. Los objetos a evaluar en estas carreteras son: puentes, túneles, uniones, tramos de carreteras y cruce ferroviario,

mismos que son representados en un mapa de ArcGIS con símbolos de puntos y líneas (éstas representan longitud). Los incidentes a ser evaluados en los objetos pueden ser: desgaste normal de la carretera, defectos en la construcción, fenómenos naturales, accidentes de tráfico, etc., los cuales pueden causar un cierre parcial o total. Por facilidad de comparación de resultados, Zajicek, 2014 asumió 5 puntos: razón de ocurrencia, costos de reconstrucción, efectos sobre la salud y la seguridad, ruta de desvío, densidad del tráfico y tiempo de reconstrucción. De este modo, las funciones para evaluar riesgo le quedan de la siguiente manera:

Factor 1: Tasa/Razón de ocurrencia $f_1 = 10^{F_1-7}$

Factor 2: Costos de reconstrucción de carreteras, puentes, etc. $f_2 = 10^{F_2+2}$

Factor 3: Efectos sobre la seguridad y la salud $f_3 = 8 \cdot 10^{F_3+2}$

Factor 4: Longitud de una ruta de desvío $f_4 = 3 \cdot 2^{F_4}$

Factor 5: Densidad del tráfico $f_5 = 500 \cdot 2,5^{F_5-1}$

Factor 6: Tiempo de reconstrucción $f_6 = 6^{F_6}$

Cada valor de esta escala le llama Zajicek, 2009, *Número final de riesgo (NR o RN)*. Es posible calcular el riesgo final gracias a la medición de las escalas con valores alternativos y funciones de aproximación. El riesgo es un producto de la intensidad del evento y el financiamiento final después de los daños (after-effects). El producto de los factores alternos F_4 , F_5 y F_6 muestran una distancia acumulada de la ruta de desvío de todas las unidades de transporte en tiempo de reconstrucción.

La tarifa para 1 km de transporte de camiones es un valor promedio de valores que obtuvieron de internet, los cuales incluyen salarios y otros costos de conexión. El transporte de personal incluye sólo costos para autos y cuestiones de promedio de consumo de combustible y amortización por kilómetro.

La fórmula final para el riesgo queda:

$$R \cong y_1 * (y_2 + y_3 + k * y_4 * y_5 * y_6)$$

Los valores de y_1 a y_6 son puntos de estimación de valores alternos. La medición del riesgo puede ser calculado por aproximación de funciones de f_1 a f_6 , entonces:

$$R \cong f_1 * (f_2 + f_3 + k * f_4 * f_5 * f_6)$$

Si hay más eventos, el riesgo final es la suma de todos los riesgos parciales de los eventos.

$$R = \sum R_i$$

3.5 Sobre curvas de vulnerabilidad para estimación de daños en hospitales y escuelas

Se estableció como zona piloto la RHA Lerma Santiago Pacífico debido a su compleja problemática: Tiene problemas de afectaciones carreteras, agrícolas, infraestructura de salud y escuelas. Sin embargo, no se consiguió información medida necesaria para llevar a cabo las correlaciones necesarias para proponer una curva tipo para estos dos tipos de curvas de vulnerabilidad.

Se obtuvo la capa de Centros médicos, de la carta topográfica para la ubicación de hospitales de la RHA LSP.

Se estableció contacto con personal del sector Salud en Morelos para trabajar en la construcción de bases de datos y variables medidas de afectaciones en hospitales con base en el estudio Cobertura geográfica del sistema mexicano de salud y análisis espacial de la utilización de hospitales generales de la Secretaría de Salud en 1998 → desarrollo del sistema de información geográfica con información sociodemográfica por localidad y ubicación espacial de unidades de atención de todo el sector salud, así como el registro de egresos por hospital de la SSA.

Se construyó la capa de escuelas públicas para la RHA12 LSP con base en el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) con clasificación de seis tipos de afectaciones en escuelas desde educación pre-escolar, pasando por educación media técnica terminal, hasta el nivel superior, en todos los casos se consideró únicamente al sector público. Quedaron nueve categorías de acuerdo a la siguiente tabla de categorías de escuelas públicas.

No.	Clave del nivel escolar	Nombre del nivel escolar	Total de escuelas por nivel
1	611112	Escuelas de educación preescolar del sector público	8315
2	611122	Escuelas de educación primaria del sector público	11870
3	611132	Escuelas de educación secundaria general del sector público	3249
4	611142	Escuelas de educación secundaria técnica del sector público	962
5	611152	Escuelas de educación media técnica terminal del sector público	541
6	611162	Escuelas de educación media superior del sector público	926
7	611172	Escuelas del sector público que combinan diversos niveles de educación	350
8	611182	Escuelas del sector público de educación para necesidades especiales	522
9	611312	Escuelas de educación superior del sector público	548

Quedó en proceso la atención que la Secretaría de Educación Pública (SEP) está dando al IMTA respecto de los materiales de construcción para cada tipo de escuela.

3.6 Otras metodologías sobre daños urbanos a explorar.

Modelo CAPRA

Auspiciado por el Banco Mundial, el modelo CAPRA se desarrolló como una iniciativa para determinar modelos de riesgo para diferentes tipos de riesgo, llegando a ser una herramienta computacional que integra funciones probabilísticas para estimar el riesgo. Actualmente, se ha convertido en un grupo de profesionales dedicados al manejo de riesgos que aportan ideas para apoyar a la orientación del manejo de política pública. Mayor detalle se encuentra en http://www.bancomundial.org/es/news/video/2013/10/08/inter_view-francias-ghesquiere-capra y <http://www.eird.org/esp/cdcapra/>. La iniciativa CAPRA busca fortalecer la capacidad institucional en evaluación del riesgo de desastres con el fin último de integrar información de riesgo en políticas y programas de desarrollo

CAPRA se inició en enero de 2008, como una asociación entre el Centro de Coordinación para la Prevención de Desastres Naturales en Centroamérica (CEPREDENAC), la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (ISDR) de la ONU, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y el Grupo de Gestión del Riesgo de Desastres del Banco Mundial para América Latina y el Caribe. El Fondo Global para la Reducción y la Recuperación de Desastres (GFDRR), el Fondo Español para América Latina y el Caribe (SFLAC), el BID y el Banco Mundial le brindaron apoyo financiero a la Iniciativa. El consorcio de consultoría en ingeniería denominado Evaluación de Riesgos Naturales-América Latina (ERN-AL) desarrolló la plataforma de software CAPRA e impartió la capacitación correspondiente.

En la primera etapa de la iniciativa CAPRA se implementó un proyecto piloto en Costa Rica y Nicaragua. El Banco Interamericano de Desarrollo (BID) financió actividades paralelas en Belice, El Salvador, Guatemala y Honduras. La Iniciativa incluyó el diseño de la plataforma del software, el desarrollo de las evaluaciones probabilistas de riesgos y la realización de talleres y otras actividades de entrenamiento.



Modelo Probabilista de Riesgo y CAPRA

En la segunda etapa, los Proyectos de Asistencia Técnica (TAP por sus siglas en inglés) de CAPRA apoyan la formación de las capacidades de los gobiernos nacionales y regionales, la recopilación de datos, el desarrollo de estrategias de gestión del riesgo de desastres y la creación de una comunidad de usuarios. Sin embargo, lo más importante es que generan información para quienes toman las decisiones sobre las políticas relacionadas con la gestión del riesgo de desastres. Estas actividades requieren

de alianzas con instituciones públicas, redes educativas, universidades y asociaciones científicas. La segunda etapa está extendiendo la iniciativa CAPRA a Colombia, Chile, Ecuador, Panamá y Perú y a varios países del Sur de Asia.

Estudio metodológico sobre la estimación del valor de las pérdidas originadas por eventos hidrometeorológicos: Marea de tormenta.

El Instituto de Ingeniería de la UNAM, a través de un grupo de investigadores del CICESE, ensenada; ERN; y del mismo Instituto, publicaron en 2006 una presentación denominada Estudio metodológico sobre la estimación del valor de las pérdidas originadas por eventos hidrometeorológicos, entre las cuales destacan avances en pérdidas originadas por huracán, viento, marea de tormenta, maremoto, inundación y granizo.

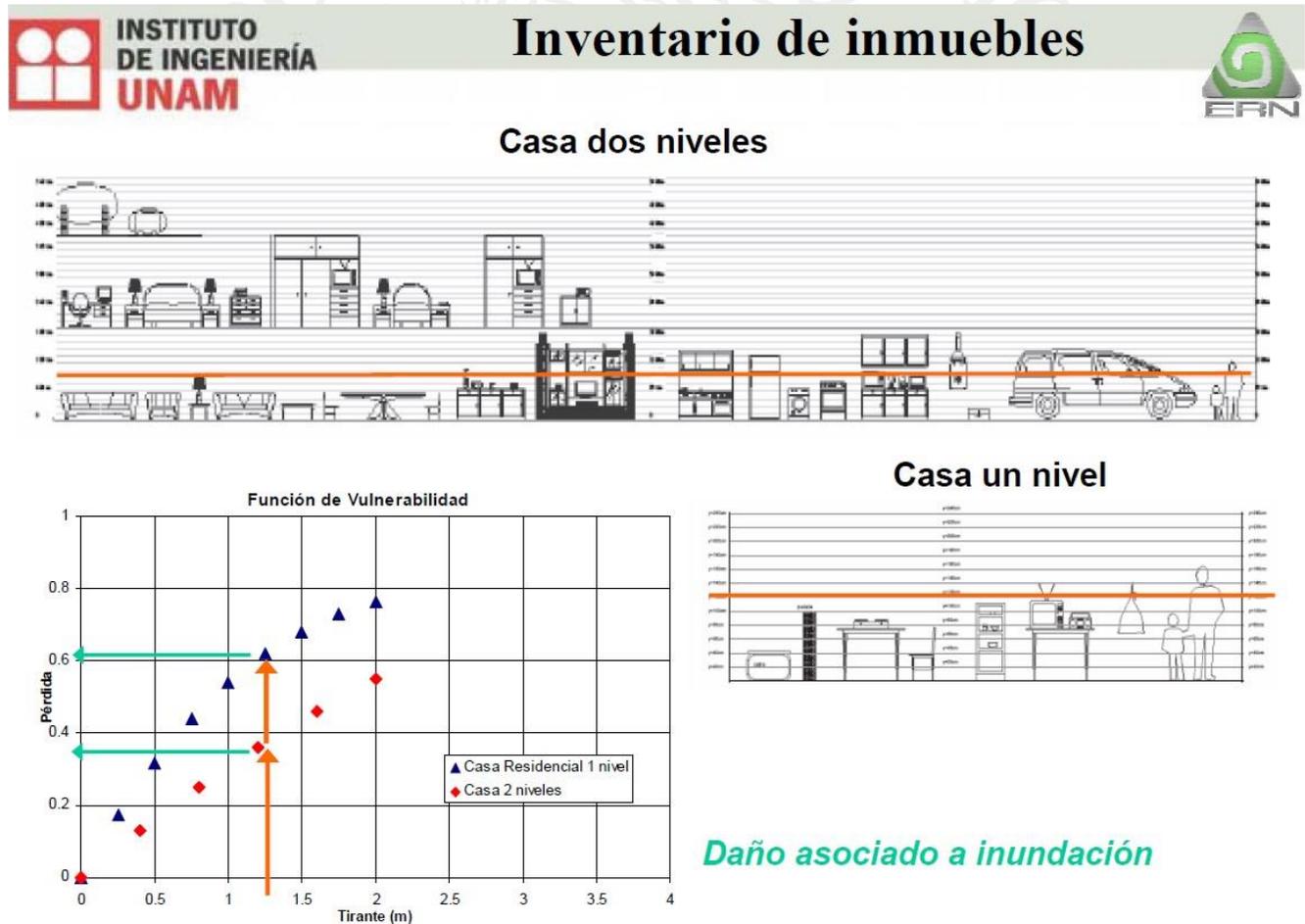
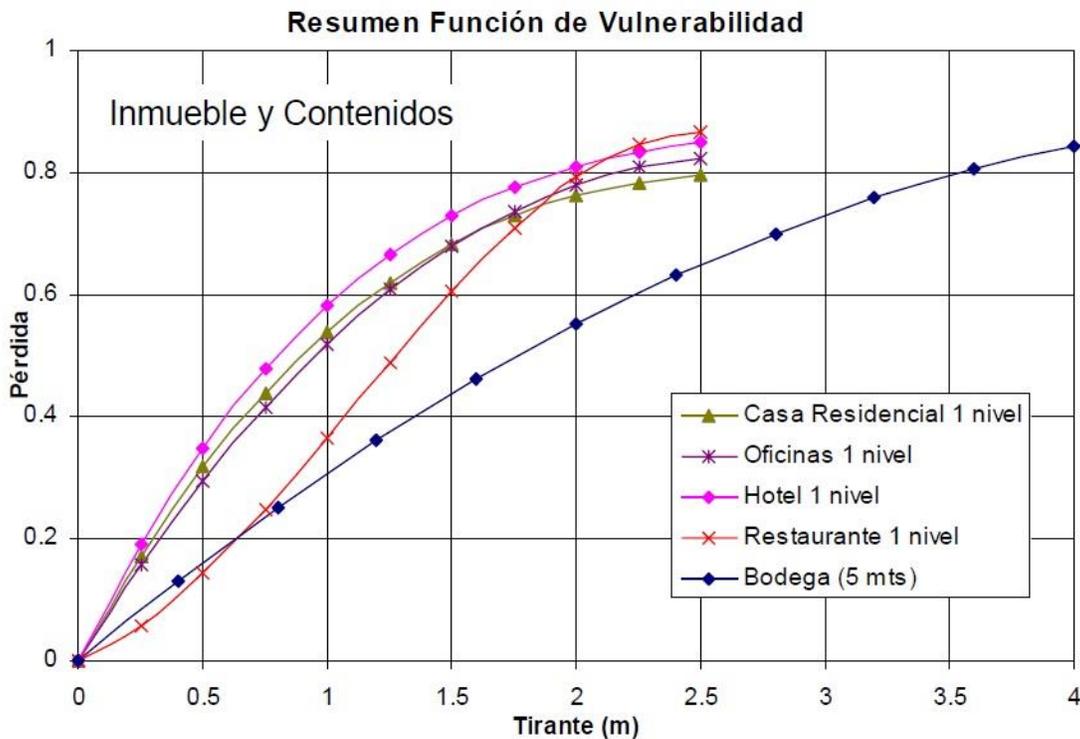


Figura 3.8: Inventario de bienes inmuebles considerados para estimar el daño asociada a inundación. Fuente; UNAM, 2006.

En el caso de inundación, no propone curvas de vulnerabilidad, sin embargo, para el caso de marea de tormenta propone elaborar un inventario de inmuebles de la zona afectada (ver Figura 3.8) para aplicar la función de vulnerabilidad mostrada en la Figura 3.9. Esta función, a la fecha de publicación, no había sido calibrada. Al momento de elaborar el presente informe, no se encontró la calibración de la misma.

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM **Funciones de Vulnerabilidad** ERN

Ejemplos para algunos tipos de Usos



Pendiente calibración

Figura 3.9: Curva de vulnerabilidad para estimar el valor de las pérdidas originadas por eventos hidrometeorológicos tipo marea de tormenta. Fuente; UNAM, 2006.

Funciones de daños por inundación para edificaciones residenciales.

Perozo, 2001, colocó en un mapa la distribución espacial del valor de los bienes muebles e inmuebles de los urbanismos (zonas urbanas) de la planicie del Río Coro del Estado de Falcón en Venezuela, así como las características de cada casa (usaron el método Ross-Heideck), como son: Número de habitan-

tes, tipo de vivienda (urbana/rural), Tipo de paredes, Tipo de piso, Valor del inmueble y Valor del muebles. El autor usó la función de daños propuesta por Moreno, 2008; misma que se observa en la Figura 3.10, para estimar daños.

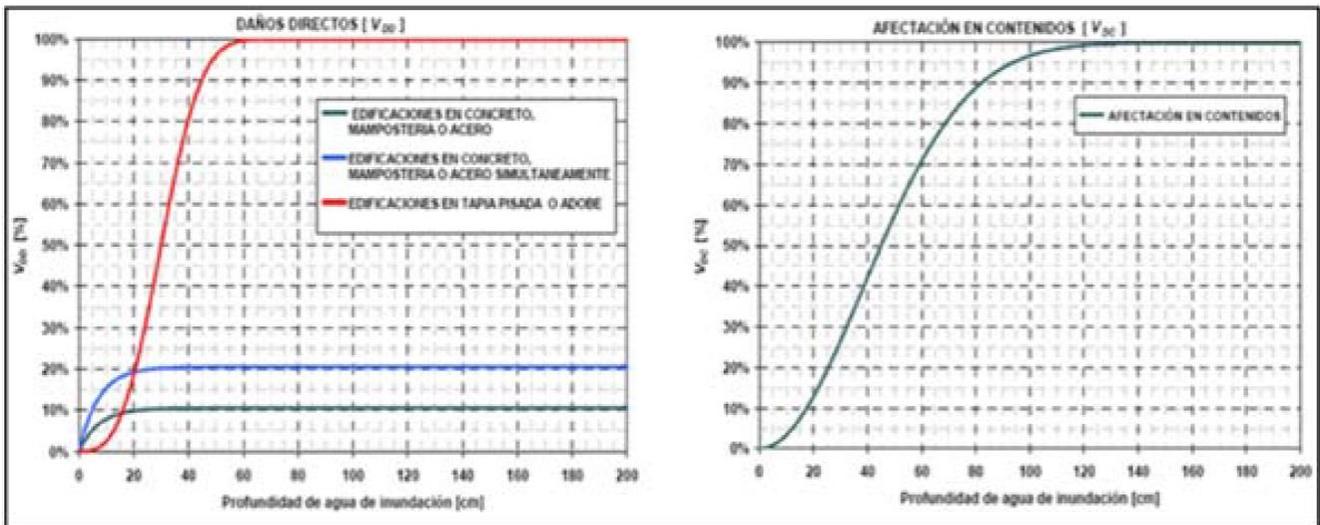


Figura 3.10: Funciones de daños (curva de vulnerabilidad típica) para estimar los daños directos (izquierda) y afectación de contenidos (derecha). Fuente; Perozo, 2011.

A nivel de calibración de resultados de la metodología implementada por ANRI_Batch-PC estas alternativas pueden ser probadas y comparar resultados.

4. Justificaciones de la disminución del rendimiento de una planta a consecuencia de inundación

La inundación tiene un efecto negativo sobre la mayoría de plantas terrestres debido a que reduce su crecimiento e induce la senescencia¹. La deficiencia de oxígeno, efecto principal de la inundación, cambia el metabolismo de la planta induciendo la vía anaeróbica o fermentativa como mecanismo alternativo, aunque poco eficiente para la producción de energía. Igualmente el déficit de oxígeno aumenta la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS), tanto en la mitocondria como en el cloroplasto.

De la Cruz et al. 2012, establece la falta de oxigenación y por lo tanto baja de rendimiento en la producción de una planta e inclusive la muerte de la misma como una consecuencia de la inundación de zonas agrícolas de la siguiente manera:

“Ciertos fenómenos meteorológicos extremos, asociados al cambio climático, permiten predecir niveles elevados de vulnerabilidad de países tanto desarrollados como subdesarrollados ante sequías, ondas de calor e inundaciones (IPCC, 2007). El *estrés hídrico por inundación es un factor limitante en la producción de algunos cultivos* como maíz (*Zea mays* L.) (Zaidi et al., 2002; Bin et al., 2010; Yong-Zhong et al., 2010), brócoli (*Brassica oleracea*), nabo (*Brassica rapa*) (Issarakraisila et al., 2006), canola (*Brassica napus*) (Gutierrez et al., 1996; Yong et al., 2010; Leul y Zhou, 1998; Zhou y Lin, 1995), cítricos (*Citrus* sp.) (Hossain et al., 2009), fríjol mungo (*Vigna radiata*) (Sairam et al., 2008; Ahmed et al., 2006), crisantemo (*Chrysanthemum* sp.) (Yin et al., 2009), trigo (*Triticum aestivum* L.) (Dickin y Wright, 2007; Zheng et al., 2009), algodón (*Gossypium hirsutum* L.) (Milroy et al., 2009; Bange et al., 2003), girasol (*Helianthus annuus* L.) (Grassini et al., 2006), garbanzo (*Cicer arietinum* L.) (Palta et al., 2010), cebolla larga (*Allium fistulosum* L.) (Yin et al., 2009), manzana (*Malus* sp.) (Bai et al., 2010) y uchuva (*Physalis peruviana* L.) (García y Aldana, 2011).

En América Latina alrededor de 11,3% de las tierras cultivables presentan drenajes pobres principalmente porque la fisiografía promueve inundación, niveles freáticos altos o aguas superficiales estancadas (Wood et al., 2000).

En suelos inundados, el potencial redox² se disminuye (Balakhina et al., 2010 Ryser et al., 2011; Abbaspour, 2012) lo cual es un indicador del bajo nivel de oxígeno presente (Unger et al., 2009a), además se afecta la disponibilidad de nutrientes para las plantas (Unger et al., 2009b). La inundación inhibe la actividad de enzimas como la β -D-glucosidasa y la fosfatasa, involucradas en los ciclos del carbono, nitrógeno, fósforo y azufre (Xiao-Chang y Qin, 2006) y se aumenta la concentración de etileno (Malik et al., 2003). Estas condiciones cambiantes en el suelo generan efectos negativos en el crecimiento y desarrollo de las plantas.

¹ Que empieza a envejecer.

² El potencial redox es una medida de la actividad de los electrones. Está relacionado con el pH y con el contenido de oxígeno. Es análogo al pH ya que el pH mide la actividad de protones y el potencial redox mide la de los electrones.

Cuando el oxígeno es deficiente en el suelo se generan formas reducidas de nitrógeno, fósforo, manganeso, hierro o azufre que pueden modificar la solubilidad del elemento (Unger et al., 2009b) afectando su disponibilidad (Taiz y Zeiger, 2010). *La difusión de oxígeno en suelos inundados es muy baja, aproximadamente 10.000 veces más baja que en el aire* (Koppitz, 2004), y el intercambio de gases entre la raíz sumergida y el ambiente es muy limitado. *Bajo inundación, el aire en los poros del suelo es reemplazado por el agua y el oxígeno es consumido rápidamente por la respiración de las raíces y la actividad microbial* (Koppitz, 2004).

El oxígeno es el *aceptor*³ de los electrones en la cadena transportadora de electrones en la mitocondria y su ausencia causa saturación de esta, por lo que se acumula NADH⁴ disminuyéndose la producción de ATP⁵ (Lin et al., 2008). En ausencia del aceptor de electrones, la oxidación de NADH se bloquea y no se genera el NAD⁺ necesario para glicolisis⁶, esto disminuye la producción de la energía necesaria para soportar los procesos metabólicos de la planta (Taiz y Zeiger, 2010).

Como respuesta al estrés por inundación en la planta se inducen vías de señales de transducción que llevan al desarrollo de la vía metabólica de la fermentación y posteriormente, de acuerdo con la especie, a la generación de cambios morfológicos y formación de *raíces adventicias*⁷ (Yin et al., 2010).

Los cambios bioquímicos en las plantas son usualmente inducidos por un periodo corto de inundación mientras que los cambios anatómicos y morfológicos están involucrados con aclimatación a largos periodos de inundación (Chen et al., 2002).”

El encharcamiento del suelo no origina cambios en el potencial hídrico de las plantas y, en consecuencia, no produce un estrés primario de potencial hídrico y sólo afecta a la planta a través de un *estrés secundario*, inducido por el *exceso de agua*. El primer efecto secundario de la anegación es la pérdida de nutrientes minerales y metabolitos intermedios por lavado de las raíces. Un segundo estrés es la falta de oxígeno, exceso de CO₂ y sobreproducción de etileno. La deficiencia de oxígeno origina una disminución del potencial de oxido-reducción en las células, disminuye la tasa de respiración aeróbica y afecta al potencial de membrana. El daño más evidente se ejerce sobre la respiración, condiciones de hipoxia dificultan la absorción activa de nutrientes minerales por las raíces.

³ Quím. Átomo que interviene en una reacción aceptando electrones.

⁴ Es una coenzima encontrada en células vivas, su función principal es el intercambio de electrones e hidrogeniones en la producción de energía de todas las células. NAD⁺ es su forma oxidada y NADH es su forma reducida.

⁵ Fuente energética.

⁶ Es la vía metabólica encargada de oxidar la glucosa con la finalidad de obtener energía para la célula.

⁷ En Botánica, las raíces adventicias son aquellas que no provienen de la radícula del embrión, sino que se originan en cualquier otro lugar de la planta, como por ejemplo en alguna porción del vástago, en tallos subterráneos y en raíces viejas. Pueden tener o no ramificaciones, pero tienen una forma y un tamaño relativamente homogéneo, formando sistemas radiculares fibrosos

El primer síntoma de daños por anegación es un cierre estomático. Con el cierre de los estomas, la absorción pasiva de agua por la planta disminuye. El descenso de la transpiración conlleva un marchitamiento de las hojas y una senescencia precoz que acaba en su caída (Kozlowski, 1984).

Los efectos sobre las plantas del exceso de agua en el suelo varían en función de la especie (las Angiospermas son más tolerantes que las Gimnospermas), la edad (los árboles maduros son más tolerantes que las plantas jóvenes), la duración de la acción (el encharcamiento prolongado durante un periodo vegetativo suele ser letal), la periodicidad de la acción, y la época del año, siendo mayor la sensibilidad de las plantas durante el periodo vegetativo (Kozlowski y Pallardy, 1997). En cualquier caso, ninguna planta superior puede sobrevivir más de unas horas, días o semanas sin acceso a oxígeno molecular o adquirir la condición durmiente.

La reducción de la tasa metabólica y el uso de carbohidratos de reserva (almidón y sacarosa) en periodos de latencia, con escaso almacenamiento de proteínas y lípidos, son estrategias para conseguir sobrevivir en suelos inundados. Algunas especies resistentes, pueden usar NO₃ como substrato respiratorio bajo condiciones de anaerobiosis (Levitt, 1980). Las especies tolerantes están protegidas mediante la acumulación de antioxidantes, p.e. ácido ascórbico, glutatión, compuestos fenólicos reducidos (Armstrong et al., 1994).

Resistencia de cultivos a inundación

El daño por anegamiento depende de factores como etapa del ciclo vegetativo al momento de la inundación, la duración de ésta, y las temperaturas del aire y el suelo (Dupont Pioneer, 2012). La principal causa de afectación a una planta por inundación es, entonces, la concentración de etileno en sus tejidos (Kawase, 1972), y los síntomas básicamente son: pérdida de nutrientes minerales y metabolitos intermedios por lavado de las raíces, producción de sustancias tóxicas como etanol, acetaldehído y compuestos cianógenos, síntomas de hipertrofia del tallo, formación de aerénquima y raíces adventicias, epinastia⁸, reducción en el número y tamaño de las hojas, y reducción del peso seco de sus órganos, mayormente en los tallos. J.A. Pardos, 2004.

Maíz

Los períodos secos que anualmente ocurren, a menudo duran menos de tres semanas, si ocurren durante los períodos críticos del cultivo -tales como la floración o el llenado del grano- ocasiona pérdidas importantes en los rendimientos de los cultivos (Agua y cultivos, FAO). En contraste, el maíz en germinación o apenas emergiendo, puede sobrevivir de 2 a 4 días de anegamiento sin una pérdida de stand de plantas apreciable. Cuanto más grande sea la planta, mejor tolera esta situación. Una vez que el ápice de crecimiento se encuentra por encima de la superficie del agua, la probabilidad de sobrevivir aumenta en gran medida. Las temperaturas más cálidas son más contraproducentes para la supervivencia del maíz cuando se encuentra en condiciones de inundación, probablemente debido a que el metabolismo

⁸ Se denomina epinastia a la curvatura hacia abajo y el enrollamiento que se produce en algunas hojas cuando el lado adaxial (haz) crece más que el lado abaxial (envés).

de la semilla se acelera, con baja disponibilidad de oxígeno. Un buen manejo de nitrógeno, una vez superado el anegamiento, puede ser el elemento más importante para obtener altos rendimientos (Dupont Pioneer, 2012).

La concentración de oxígeno puede acercarse a 0 dentro de las 24 horas del anegamiento. El maíz está considerado como un cultivo relativamente tolerante a inundación. Esta tolerancia ha sido atribuida a su habilidad para producir raíces adventicias tempranas y a otras adaptaciones morfológicas, como un aumento del espacio de aire en los tejidos. El maíz apenas germinando o emergiendo (VE) sólo podrá sobrevivir unos pocos días inundados sin sufrir una pérdida de plantas significativas. Cuanto más alto el maíz, mayor es la probabilidad de supervivencia radicales durante los períodos de anegamiento.

Tabla 4-1 Efecto del anegamiento en maíz de 15 cm. Fuente: Dupont Pioneer, 2012.

Horas de anegamiento	24	48	72
Disminución del rendimiento	18%	22%	32%

En el caso de la metodología presentada por Baró et al. 2007, expone que en el 80% del país el principal cultivo del área de estudio es el maíz, tanto de grano como forrajero, cuyo ciclo agrícola comprende desde mayo hasta noviembre. Su comportamiento en los terrenos inundados varía de acuerdo con la fase de desarrollo de la planta, la cual se puede expresar como la altura de la planta; si la planta tiene una altura inferior a los 30 cm es más susceptible a los efectos de la humedad; y si la zona permanece inundada más de tres días, los efectos negativos son considerables, mismos que están en función de los sedimentos que arrastre el río, ya que si son lodos industriales y/o urbanos, entonces se acelera el deterioro de la planta.

Cuando la planta tiene una altura superior a 30 cm, altura que se alcanza por lo general durante los meses de julio, agosto y septiembre (periodo de posibles inundaciones), la planta puede resistir más de seis días bajo los efectos de la humedad y sólo se verá afectada por la corriente de agua, ya ue puede provocar la caída de la planta y por lo tanto pérdidas considerables en la cosecha.

Caña

Cruz Ricardo, 2011, analizó experiencias vividas durante eventos ocurridos entre los meses de noviembre y diciembre de 2010 prolongados hasta el primer semestre de 2011 en Colombia y obtuvo así una propuesta de la capacidad de resistencia de la caña a la inundación. Ocupó para ello entrevistas con encargados de los campos, técnicos de los ingenios, tiempo y niveles de inundación, edades de la caña y número de días que resistió el cultivo, así como muestreos de caña para determinar calidad de los jugos y peso de la caña en edad de cosecha. Los resultados se presentan en la tabla 4-2.

Tabla 4-2 Resistencia de cultivos a inundación, de acuerdo a los meses de desarrollo de la planta. Fuente: Cruz Ricardo, 2011.

Cultivo	edad del cultivo	medida del cultivo	cantidad de inundación en mm	Número de días que resiste la inundación
caña de azúcar	1-2 meses	0.2 m	0.2 m	resiste 1-2 días de inundación
	1-2 meses	0.2 m	0.1 m	resiste 2-3 días de inundación
	2-4 meses	0.4 m	1.2 m	resiste 2-5 días de inundación
	2-4 meses	0.4 m	0.2 m	resiste 5-8 días de inundación
	5-8 meses	1.8 m	2 m	resiste 5-9 días de inundación
	5-8 meses	1.8 m	1.2 m	resiste 15-20 días de inundación
	10-12 meses	2.8 m	3 m	puede resistir más de 30 días de inundación
	10-12 meses	2.8 m	1.8 m	puede resistir más de 30 días de inundación

Por lo hasta aquí comentado se entiende que existe una reducción de la productividad de la planta, pues tiene ahogamiento y falta de energía, en diferentes porcentajes. Estas variaciones dependen del número de días de inundación y del tipo de planta que se trate. En la Tabla 4-3 se presenta los daños producidos sobre el rendimiento en siete cultivos sometidos a inundación.

Tabla 4-3 Resistencia de cultivos a inundación. Fuente: Udelar, 2014 y Agustín A. Millar, 1993.

Cultivo	Número de días de inundación			
	3	7	11	15
Pasturas	0.0%	14.0%	26.0%	42.0%
Girasol	10.0%	28.0%	50.0%	72.0%
Cáñamo	15.0%	40.0%	61.0%	88.0%
Cereales	14.0%	36.0%	60.0%	90.0%
Maíz	13.0%	57.0%	85.0%	100.0%
Remolacha azucarada	10.0%	44.0%	91.0%	100.0%
Papa	42.0%	84.0%	100.0%	100.0%

5. Pruebas hechas para la curva de maíz

En la presente sección se describen las pruebas realizadas para estimación de daños económicos en zonas agrícolas empleando la curva del maíz. Tal como se señala en la sección 3.2 del presente informe se ocupa una ecuación del tipo:

$$a \cdot \ln(t) - b$$

Donde:

t es el valor de la duración de la crecida en días

a y b coeficientes tomados de la curva de costos.

Que corresponde a una curva de daños potenciales por inundación para el caso de un cultivo de maíz de grano tanto bajo riego como de temporal. Las ecuaciones sólo serán aplicables para cuando la planta tuviese una altura superior a los 30 cm, de forma que si fuese menor a esta altura no se aplicarían y se supondría pérdida total, es decir, que se produce una afectación del 100% en los cultivos.

En la Figura 5.1 se presenta la curva y ecuaciones obtenidas de la curva de daños potenciales por inundación en cultivos de maíz, en la cual el eje horizontal representa la duración de la inundación o tiempo (t) y el eje vertical los daños económicos agrícolas (DDA), las curvas de ajuste son de tipo logarítmico.

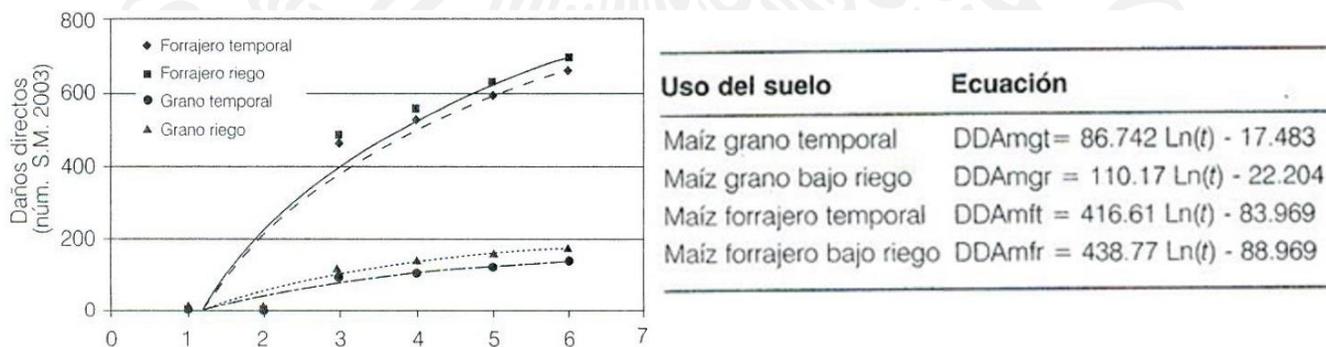


Figura 5.1: Curvas de daños potenciales por inundación en cultivos de maíz temporal (altura de la planta mayor a 0.30 cm), Baró-Suárez, et al. 2011; y, Ecuaciones obtenidas de las curvas de daños potenciales directos en zonas agrícolas (h , altura de lámina de agua, t duración de la inundación, DDA daños directos agrícolas), Baró-Suárez, et al. 2007.

La curva aquí presentada es del tipo:

$$a \cdot \ln(t) - b$$

Donde:

t es el valor de la duración de la crecida en días

a y b coeficientes tomados de la curva de costos.

Consideraciones: Baró et al., 2011, estimó los daños en un cultivo de maíz con base en el valor de la producción, en su variedad de maíz (de grano o forrajero), considerando si el cultivo era de riego o de

temporal ya que este hecho afecta la producción (tonelada de grano por hectárea) y por lo tanto el valor de la cosecha.

Con estos daños por inundación del cultivo de maíz se obtiene el daño proporcional al área de inundación que tiene maíz. Es decir, si dentro de un Distrito de Riego hay 150 ha de varios cultivos y sólo 50 ha son de maíz, el daño se reportará únicamente para las 50 ha cultivadas con maíz. El ANRI-Batch tiene en su base de datos únicamente los coeficientes para el cultivo *Maíz grano bajo riego*.

Aplicación manual de la curva de vulnerabilidad para maíz

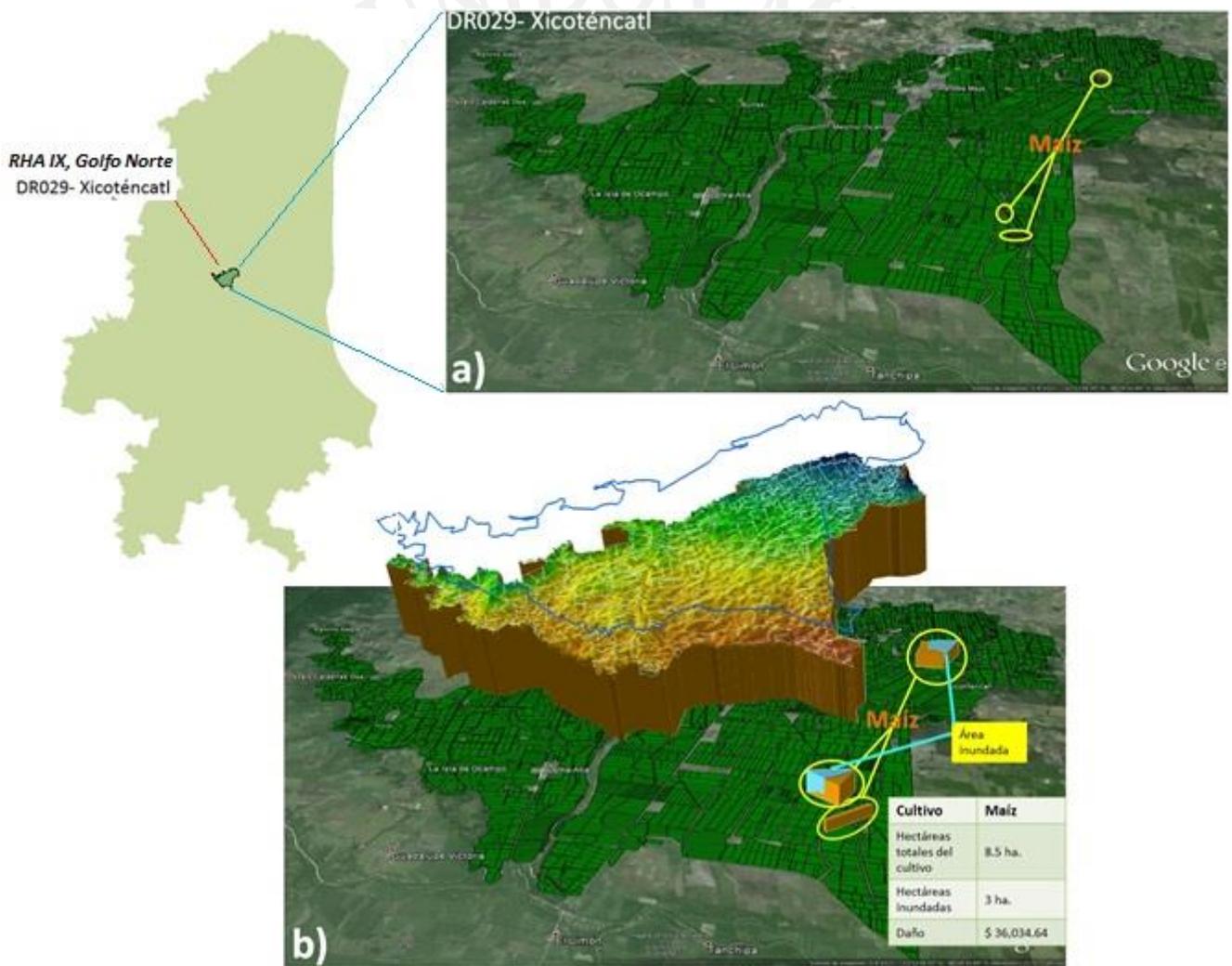


Figura 5.2: a) Ubicación del DR029 Xicotécatl en la RH26 - Pánuco; b) Identificación de parcelas cultivadas con maíz y su respectivo daño estimado por ANRI_Batch-PC.

Se aplicó la metodología a través del ANRI-Batch-PC, para lo cual se consideraron los siguientes insumos y procedimiento.

Insumos:

Zona de estudio: Tomada de la capa (shape) de distritos de riego del SINA. Sistema que publica la Conagua.

Capa de cultivos: Tomados de la capa de cultivos del Distrito de Riego 029 Xicoténcatl, enviada por el jefe del Distrito de Riego 029, vía correo electrónico. Misma que se encuentra en la Región Hidrológica (RH) 26 – Pánuco, dentro de la Región Hidrológico Administrativa (RHA) IX - Golfo Norte, en el estado de Tamaulipas.

Polígonos de inundación: Tomados de las capas de polígonos de inundación proporcionados por GASIR en el proyecto PRONACCH 2013 y corresponden a la metodología de índice de inundación por lo que están asociados a la ***acumulación del flujo de agua.***

Tirantes: Promedio móvil o tirantes por modelación.

Procesamiento:

Se analizaron las parcelas de los cultivos del Distrito de Riego 029 Xicoténcatl, respecto a su superposición con las capas de polígonos de inundación asociados a la acumulación del flujo de agua (índice de inundación), para con este cruce determinar las zonas inundadas dentro del Distrito de Riego.

Cabe aclarar que la capa (shape) de las parcelas (polígonos) del Distrito de Riego 029 estaban en grados y Datum “D WGS 1984”, por lo que fue necesario cambiar la proyección a Lambert Conformal Conic (CCL) tanto del DR029 como del DR002.

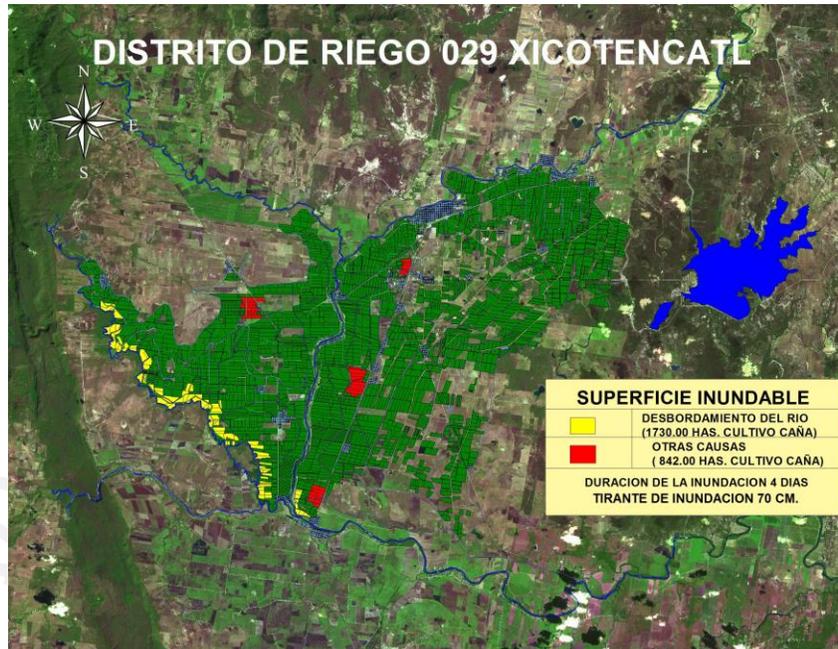


Figura 5.3: Datos de inundación en el DR029 Xicoténcatl. Fuente: Jefe de DR029.

Posteriormente, se identificó cuáles de las parcelas estaban sembradas de maíz y además habían sufrido afectación por fenómeno de inundación

Clave	id_rha	nom_oficia	area_ha	id_dto	Shape_area	Shape_len	X	Y
2	9	Mante	18094	2	245836843	94093.3632	-98.962444	22.762111
29	9	Xicoténcatl	24021	29	321793090	127419.624	-98.972276	22.928996

Cada una de estas capas correspondió a uno de cinco periodos de retorno (Tr) entregados por la Conagua, para los cuales se tenían tirantes resultantes de la aplicación de la metodología de índice de inundación

Aplicación sistemática de la curva de vulnerabilidad para maíz (Tirantes estimados por método de promedios móviles)

Se usó *ANRI_Batch-PC* para estimación de curva del maíz, el cual considera tirantes existentes de la inundación. En el Anexo A, en la carpeta |Anexo A|**Resultados con curva de maíz**, se presentan los archivos de insumos y resultados:

- Shape con campos de tipo de cultivos presentes
- Shape de zona a evaluar (zona de inundación)
- Archivo csv de detalle de resultados de daños estimados, para una duración de 4 días (*RH26_TR100_D4_Xicotencatl_CUL_CDET.csv*)

- Archivo csv de detalle de resultados de daños estimados, para una duración de 3 días (RH26_TR100_D4_Xicotencatl_CUL_CDET.csv)

Los resultados quedaron como sigue:

Área de la RH: 2.490,000 ha

Área del Distrito de Riego (DR): 25,431ha

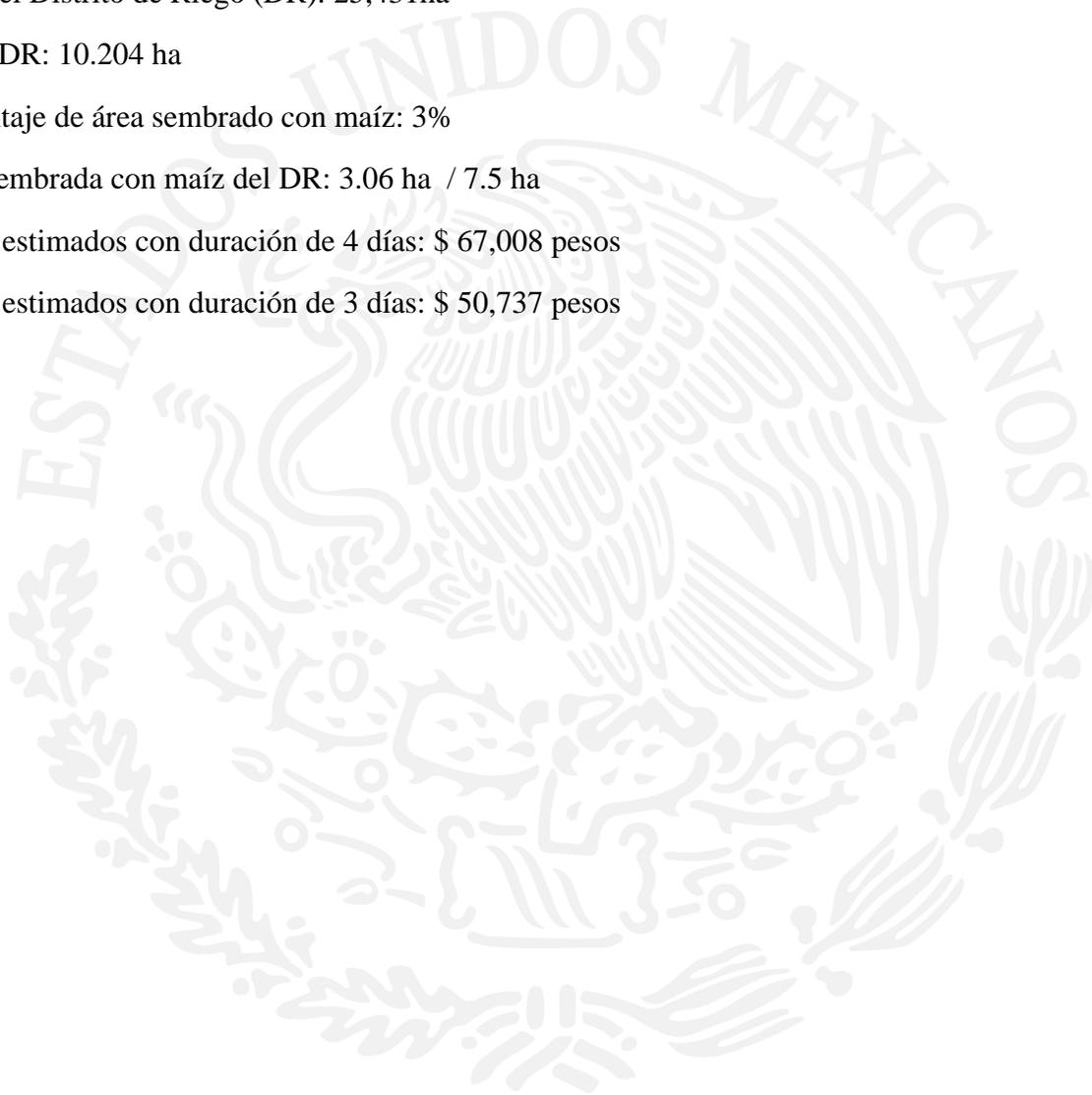
ZI del DR: 10.204 ha

Porcentaje de área sembrado con maíz: 3%

Área sembrada con maíz del DR: 3.06 ha / 7.5 ha

Daños estimados con duración de 4 días: \$ 67,008 pesos

Daños estimados con duración de 3 días: \$ 50,737 pesos



6. Pruebas hechas para dos curvas agrícolas básicas elementales

Tal como se estableció en la sección cuatro del presente documento, el daño por anegamiento depende de factores como etapa del ciclo vegetativo al momento de la inundación, la duración de ésta, y las temperaturas del aire y el suelo, así como existe una gran variabilidad de daños en función del tipo de cultivo, el estado vegetativo o las características de la parcela. Ambas curvas fueron publicadas por el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino a través del Plan director de defensa contra las avenidas en la comarca Marina Baja (Alicante). La sección 6.2.10 denominado Usos agrícolas, del citado documento manifiesta que sería deseable en este sentido la elaboración de distintas curvas de vulnerabilidad para cada uno de los cultivos presentes en la zona afectada por inundación. Sin embargo, la complejidad que representa la división del territorio y la asignación de un cultivo a cada punto del espacio lo hace poco recomendable. A esto debemos añadir que el tipo de cultivo puede variar en una misma parcela con el tiempo (según las preferencias del agricultor que lo explota).

La descripción formal de la metodología para implementar estas dos curvas, se encuentra en el Anexo B, denominada Propuesta metodológica para estimar de manera preliminar daños agrícolas a nivel nacional (Lafragua, 2013), bajo el documento “Daños agrícolas_Metodología 04-07-13.pdf”, en donde se observa la adaptación de las dos curvas de vulnerabilidad elementales publicadas por el Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, aplicadas a los datos existente en México, la cual básicamente se trata de obtener el porcentaje de superficie sembrada (SuperficieSembrada(%)), el rendimiento en unidades de toneladas por hectárea (Rendimiento(Ton/ha)), y el precio por tonelada (PrecioTonelada(\$/Ton)), mismas que para la implementación de la metodología en ANRI_Batch-PC se obtuvieron del análisis de 10 años de datos de las Estadísticas agrícolas que publica la Conagua.

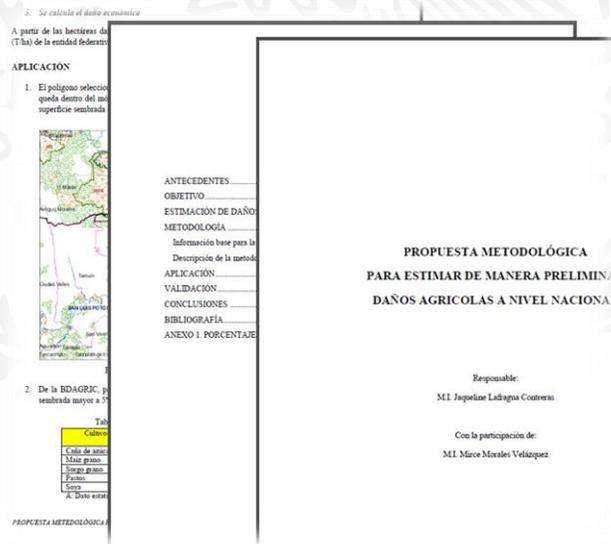
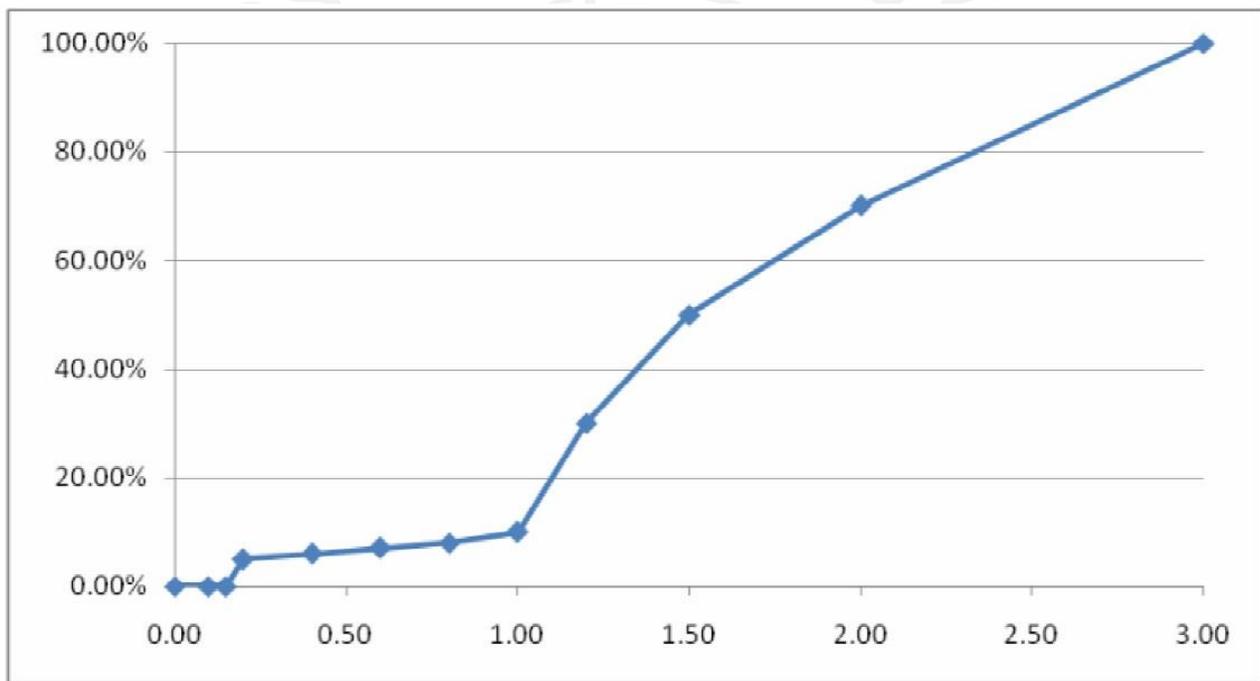


Figura 6.1: Propuesta metodológica para estimar de manera preliminar daños agrícolas a nivel nacional. Adaptada del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2011.

6.1 Curva de vulnerabilidad elemental básica para estimación de daños agrícolas: Arbolado.

Se implementó la estimación de daño agrícola para la denominada Curva de vulnerabilidad elemental básica para daños en zonas arboladas: C1 arbolado (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2011), la cual presenta claramente una doble pendiente, ya que para tirantes inferiores a 1 m, se considera que los daños a la cosecha serán más o menos importantes, pero los daños a la propia planta son nulos, tal como se observa en la Figura 6.2. A partir de esta lámina, los daños al arbolado aumentan progresivamente por lo que no sólo se perderá la cosecha, sino que en el peor de los casos, toda la plantación deberá ser repuesta con lo que esto conlleva.



Uso	0.00	0.10	0.15	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	1.20	1.50	2.00	3.00
Arbolado	0.00%	0.00%	0.00%	5.00%	6.00%	7.00%	8.00%	10.00%	30.00%	50.00%	70.00%	100.00%

Figura 6.2: Curva de vulnerabilidad elemental agrícola para cultivos arbolados. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2011.

Se analizaron diez años de estadísticas agrícolas publicadas por la Conagua, para determinar los cultivos representativos en México (Lafragua, 2013). El universo de cultivos para C1 arbolado quedó con 83 cultivos y corresponden a: Aceituna, Aguacate, Almacigo (Planta), Almendra, Anona, Árbol de navidad (planta), Arrayan, Cacao, Café cereza, Caimito, Capulin, Carambolo, Chabacano, Chayote, Chirimoya, Cineraria (Planta), Ciruela, Cítricos, Cítricos asociados, Coco fruta, Dátil, Durazno, Estropajo, Eucalipto, Frutales varios, Granada, Guaje,

Guaje (verdura), Guamúchil, Guanábana, Guayaba, Henequén, Henequén verde, Higo, Hule Hevea, Jaca (Jackfruit), Kenaf, Leucaena, Lima, Limón, Limón real, Litchi, Macadamia, Mamey, Mandarina, Mango, Manzana, Maracuyá, Marañon, Melón, Membrillo, Nanche, Naranja, Neem, Níspero, Noni, Nuez, Palma africana o de aceite, Palma de ornato camedor (gruesa), Palma de ornato (planta), Papaya, Pera, Persimonia, Pimienta, Pistache, Plátano, Rambután, Tamarindo, Tangelo, Tangerina, Te limón, Tejocote, Toronja (pomelo), Uva, Vainilla, Zapote, Zapupe, Toronja, Nogal (Nuez), Vid (Industrial), Vid (mesa) y Otros frutales. En el *Anexo C*, se encuentra la base de datos construida para obtener estas estadísticas llamado BD_Agric.xls.

A pesar de que en sus orígenes, la propuesta metodológica para estimar daños de manera preliminar daños agrícolas a nivel nacional, fue adaptada a México con el fin de estimar daños a nivel nacional, la implantación en la herramienta informática ANRI_BATCH-PC permite la evaluación de cualquier zona de interés por pequeña que sea, siempre y cuando existan tirantes de la mancha de inundación. Derivado de la base de datos de cultivos generada a partir de las estadísticas agrícola en México (BD_Agric.xls), se obtuvieron los cultivos representativos por Región Hidrológica Administrativa (RHA) (Lafragua, 2013), mismos que se muestran en la Tabla 6.1 y son un insumo indispensable para el ANRI_Batch-PC para evaluar los daños urbanos económicos de manera sistemática.

Tabla 6.1 Cultivos representativos por Región Hidrológica Administrativa asociados a curva elemental C1 (arbolada) o C2 (No arbolada)

<i>Datos de cultivos para RHA I</i>					<i>Datos de cultivos para RHA II</i>				
Nombre-Cultivo	Superficie-Sembrada(%)	Rendimiento(Ton/ha)	PrecioTonelada(\$/Ton)	CurvaVulnerabilidad	Nombre-Cultivo	Superficie-Sembrada(%)	Rendimiento(Ton/ha)	PrecioTonelada(\$/Ton)	CurvaVulnerabilidad
ALFALFA	14.82	81.54	897.1	C2	ALFALFA ACHICALADA	2.36	14.56	1426.44	C2
ALGODON	9.24	3.73	3500.8	C2	ALGODON	1.56	3.47	4405.50	C2
CEBOLLA	2.8	23.20	6637.1	C2	CARTAMO	6.39	2.05	2766.80	C2
ESPARRAGO	1.5	3.43	31562.38	C2	ESPARRAGO	1.55	4.55	24073.20	C2
GARBANZO	1.92	1.61	7156.125	C2	GARBANZO	4.6	1.76	7372.00	C2
MAIZ GRANO	2.58	4.76	1731.9	C2	MAIZ GRANO	5.96	4.83	1638.44	C2
RYE GRASS	2.27	38.74	327.7	C2	NARANJA	1.69	18.34	1232.25	C1
SORGO FORRAJERO	3.79	40.60	747.8	C2	PAPA	2.23	28.94	5058.30	C2
SORGO GRANO	3.15	4.22	1684.5	C2	TRIGO GRANO	56.44	5.81	1997.90	C2
TRIGO GRANO	43.15	6.09	1872.6	C2	VID (INDUSTRIAL)	2.68	12.17	4985.22	C1
					VID (MESA)	2.46	12.17	15631.50	C1
<i>Datos de cultivos para RHA III</i>					<i>Datos de cultivos para RHA IV</i>				
NombreCultivo	Superficie-Sembrada(%)	Rendimiento(Ton/ha)	PrecioTonelada(\$/Ton)	CurvaVulnerabilidad	Nombre-Cultivo	Superficie-Sembrada(%)	Rendimiento(Ton/ha)	PrecioTonelada(\$/Ton)	CurvaVulnerabilidad
CAÑA DE AZUCAR	3.92	85.39	308.00	C2	ALFALFA	4.9	63.58	239.00	C2
CARTAMO	2.69	0.89	2255.00	C2	ARROZ	2.85	7.11	2273.50	C2
CHILE VERDE	1.58	16.43	3395.67	C2	CAÑA DE AZUCAR	11.82	96.72	415.20	C2

FRIJOL	12.09	0.99	7691.50	C2
GARBANZO	7.52	1.64	6567.40	C2
JITOMATE	2.97	31.36	2979.57	C2
MAIZ GRANO	51.53	4.03	1837.44	C2
PAPA	1.82	24.34	3996.38	C2
SORGO GRANO	7.04	3.59	1451.78	C2
TOMATE DE CAS-CARA	2.44	13.59	1997.80	C2
TRIGO GRANO	5.79	3.97	2066.00	C2

Datos de cultivos para RHA V

Nom-

breCulti-vo	Superficie-Sembrada(%)	Rendimien-to(Ton/ha)	PrecioTone-lada(\$/Ton)	CurvaVulne-rabilidad
ESTRELLA (ZACATE) VERDE	5.12	12.85	784.67	C2
LIMON	2.36	11.16	1449.63	C1
MAIZ GRANO	31.31	2.00	2628.90	C2
MANGO	2.48	12.48	1900.80	C1
OTROS PASTOS	47.48	22.12	304.00	C2
SORGO GRANO	5.13	3.03	1906.50	C2

Datos de cultivos para RHA VII

Nom-

breCulti-vo	Superficie-Sembrada(%)	Rendimien-to(Ton/ha)	PrecioTone-lada(\$/Ton)	CurvaVulne-rabilidad
ALFALFA	12.23	77.45	772.50	C2
ALGODON	26.09	4.04	5971.80	C2
MAIZ FORRAJE-RO	7.72	24.04	351.70	C2
MAIZ GRANO	27.34	1.62	1591.20	C2
NOGAL (NUEZ)	9.47	1.74	31153.00	C1
SORGO FORRAJE-RO	17.08	20.55	315.00	C2

FRIJOL	2.14	0.91	7000.63	C2
LIMON	16.83	10.83	1649.70	C1
MAIZ GRANO	25.23	2.97	2000.10	C2
MANGO	12.59	10.23	2449.20	C1
OTRAS HORTALI-ZAS	1.63	14.33	2413.43	C2
OTROS PASTOS	6.19	25.70	338.88	C2
PEPINO	2.21	16.04	1787.10	C2
SORGO FORRAJERO	1.13	31.37	720.83	C2
SORGO GRANO	3.09	4.39	1432.40	C2
TORONJA	2.09	13.85	1323.14	C1

Datos de cultivos para RHA VI

Nombre-Cultivo	Superficie-Sembrada(%)	Rendimien-to(Ton/ha)	PrecioTone-lada(\$/Ton)	CurvaVulne-rabilidad
ALFALFA ACHICALA-DA	6.08	15.96	1127.20	C2
ALGODON	2.33	3.86	5233.22	C2
CHILE VERDE	2.26	22.75	2360.30	C2
MAIZ FORRAJERO	1.65	31.62	613.25	C2
MAIZ GRANO	13.93	2.23	1715.50	C2
NOGAL (NUEZ)	1.3	1.14	26925.86	C1
OTROS PASTOS	1.32	9.59	646.20	C2
SORGO GRANO	61.16	3.13	1424.00	C2

Datos de cultivos para RHA VIII

Nombre-Cultivo	Superficie-Sembrada(%)	Rendimien-to(Ton/ha)	PrecioTone-lada(\$/Ton)	CurvaVulne-rabilidad
ALFALFA	5	70.35	836.90	C2
ALFALFA ACHICALA-DA	2.27	28.26	1485.10	C2
CAÑA DE AZUCAR	5.79	83.13	406.00	C2
CEBADA	11.03	3.31	2276.10	C2
ESTRELLA (ZACATE)	1.12	32.16	450.25	C2
LIMON	1.73	12.19	1682.40	C1
MAIZ	1.25	36.61	416.80	C2

FORRAJE- RA				
CALABA- CITA	2.86	11.24	1959.67	C2
CALABAZA	1.59	18.00	2943.33	C2
CHILE VERDE	2.37	8.00	5172.33	C2
FRIJOL	5.11	0.86	6370.29	C2
MAIZ FORRAJE- RO	2.38	39.54	98.25	C2
MAIZ GRANO	31.85	2.41	1720.10	C2
OTROS CULTIVOS	4.38	18.78	2641.80	C2

Aplicación manual de la curva de vulnerabilidad elemental básica para estimación de daños agrícolas: Arbolado (C1).

No se tiene una RHA que únicamente tenga cultivos representativos correspondientes a la curva C1, es por ello que en el ejemplo se usará el DR 084, Guaymas, que tiene tanto C1 como C2. Para el ejercicio se usará el cultivo representativo de Naranja que corresponde a la curva 1 (C1).

Datos fuente:

+ Ráster de tirantes para el periodo de retorno (Tr) de 100 años (Tr100), proveniente de modelación hidráulica, generado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM,

+ Zona de estudio tomada de la Zona Piloto propuesta por la GASIR denominada Mátape-Empalme. En la Figura 6.3 está la ubicación de esta zona piloto, está en la RHA II Noroeste. Tiene un área de drenaje estimada en la zona de estudio de 5,500 km².

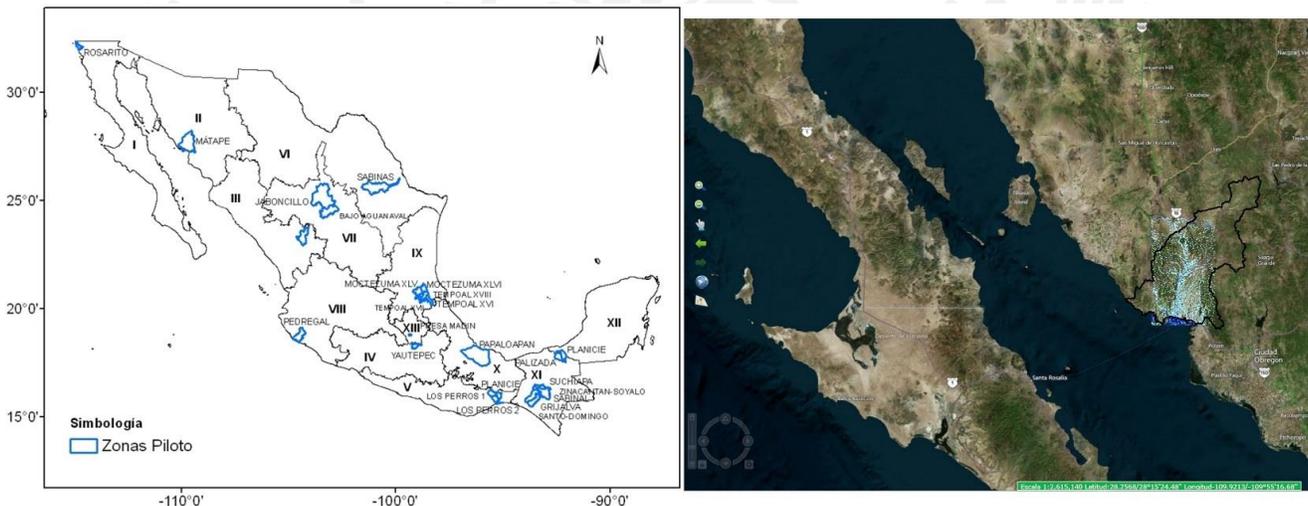


Figura 6.3: Zonas piloto de PRONACCH 2013, para estimación de daños urbanos.

+ Distrito de Riego 084 de Nombre oficial Guaymas, proveniente de la capa de Distritos de Riego publicados por el Sistema de Información Nacional del Agua (SINA). Tiene un área de 16,667 ha.

+ Identificación de los cultivos representativos de la RHA II Noroeste, donde se encuentra el DR 084 Guaymas, tal como se observa en la Tabla 6.1, y corresponden a la Curva C1: Alfalfa achicalada, Algodón, Cártamo, Espárrago, Garbanzo, Maíz grano, Naranja, Papa, Trigo grano, Vid (industrial) y Vid (mesa). En la Tabla 6.1, en la sección de la RHA II se encuentra el porcentaje de superficie sembrada, rendimiento en toneladas por hectárea, el precio por tonelada y la asociación a la curva de vulnerabilidad elemental a la que corresponde el cultivo. De esta lista se observa que tanto para la Naranja como para la Vid industrial y de mesa, cultivos asociados a la curva C1, corresponden a los siguientes valores:

Nombre Cultivo	Superficie Sembrada(%)	Rendimiento (Ton/ha)	Precio x Tonelada (\$/Ton)	Curva Vulnerabilidad
NARANJA	1.69	18.34	1232.25	C1
VID (INDUSTRIAL)	2.68	12.17	4985.22	C1
VID (MESA)	2.46	12.17	15631.50	C1

Procedimiento:

En el Anexo D, está el archivo Metodologia_Calculo_Danios_NARANJA.xls que contiene los cálculos manuales (macros) del cultivo de la naranja así como el resto de archivos, uno por cultivo representativo de la RHA II Noroeste, para el periodo de retorno de 100 años, ver Figura 6.4.

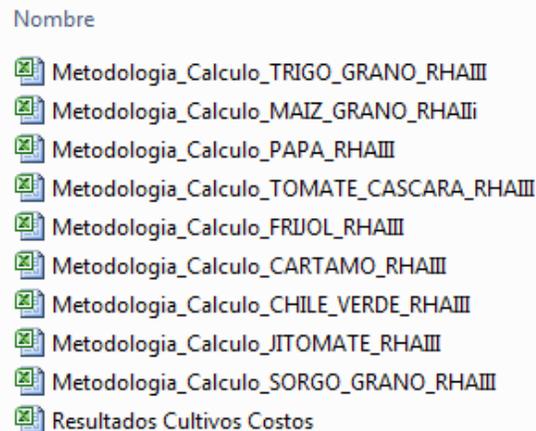


Figura 6.4: Archivos ejemplo de aplicación de la metodología de estimación de daños agrícolas con base en curvas elementales C1 y C2.

El archivo de estimación de daños agrícolas manuales con base en curvas C1 y C2 contiene siete pestañas (hojas), que se describen a continuación:

Tablas_Datos: Contiene los valores de las curvas C1 y C2 desagregando los tirantes de inundación a cada centímetro así como su porcentaje dañado, esta información se observa en la Figura 6.5 para la curva C1 Arbolado.

	A	B	Tirantes	% Dañado														
1	Tabla C1 Arboles		0.28	0.0540	0.59	0.0695	0.9	0.0900	1.21	0.3067	1.52	0.5080	1.83	0.6320	2.14	0.7420	2.45	0.8350
		Porcentaje	0.29	0.0545	0.6	0.0700	0.91	0.0910	1.22	0.3133	1.53	0.5120	1.84	0.6360	2.15	0.7450	2.46	0.8380
2		Tirantes Dañado	0.3	0.0550	0.61	0.0705	0.92	0.0920	1.23	0.3200	1.54	0.5160	1.85	0.6400	2.16	0.7480	2.47	0.8410
3	0	0.0000	0.31	0.0555	0.62	0.0710	0.93	0.0930	1.24	0.3267	1.55	0.5200	1.86	0.6440	2.17	0.7510	2.48	0.8440
4	0.01	0.0000	0.32	0.0560	0.63	0.0715	0.94	0.0940	1.25	0.3333	1.56	0.5240	1.87	0.6480	2.18	0.7540	2.49	0.8470
5	0.02	0.0000	0.33	0.0565	0.64	0.0720	0.95	0.0950	1.26	0.3400	1.57	0.5280	1.88	0.6520	2.19	0.7570	2.5	0.8500
6	0.03	0.0000	0.34	0.0570	0.65	0.0725	0.96	0.0960	1.27	0.3467	1.58	0.5320	1.89	0.6560	2.2	0.7600	2.51	0.8530
7	0.04	0.0000	0.35	0.0575	0.66	0.0730	0.97	0.0970	1.28	0.3533	1.59	0.5360	1.9	0.6600	2.21	0.7630	2.52	0.8560
8	0.05	0.0000	0.36	0.0580	0.67	0.0735	0.98	0.0980	1.29	0.3600	1.6	0.5400	1.91	0.6640	2.22	0.7660	2.53	0.8590
9	0.06	0.0000	0.37	0.0585	0.68	0.0740	0.99	0.0990	1.3	0.3667	1.61	0.5440	1.92	0.6680	2.23	0.7690	2.54	0.8620
10	0.07	0.0000	0.38	0.0590	0.69	0.0745	1	0.1000	1.31	0.3733	1.62	0.5480	1.93	0.6720	2.24	0.7720	2.55	0.8650
11	0.08	0.0000	0.39	0.0595	0.7	0.0750	1.01	0.1100	1.32	0.3800	1.63	0.5520	1.94	0.6760	2.25	0.7750	2.56	0.8680
12	0.09	0.0000	0.4	0.0600	0.71	0.0755	1.02	0.1200	1.33	0.3867	1.64	0.5560	1.95	0.6800	2.26	0.7780	2.57	0.8710
13	0.1	0.0000	0.41	0.0605	0.72	0.0760	1.03	0.1300	1.34	0.3933	1.65	0.5600	1.96	0.6840	2.27	0.7810	2.58	0.8740
14	0.11	0.0000	0.42	0.0610	0.73	0.0765	1.04	0.1400	1.35	0.4000	1.66	0.5640	1.97	0.6880	2.28	0.7840	2.59	0.8770
15	0.12	0.0000	0.43	0.0615	0.74	0.0770	1.05	0.1500	1.36	0.4067	1.67	0.5680	1.98	0.6920	2.29	0.7870	2.6	0.8800
16	0.13	0.0000	0.44	0.0620	0.75	0.0775	1.06	0.1600	1.37	0.4133	1.68	0.5720	1.99	0.6960	2.3	0.7900	2.61	0.8830
17	0.14	0.0000	0.45	0.0625	0.76	0.0780	1.07	0.1700	1.38	0.4200	1.69	0.5760	2	0.7000	2.31	0.7930	2.62	0.8860
18	0.15	0.0000	0.46	0.0630	0.77	0.0785	1.08	0.1800	1.39	0.4267	1.7	0.5800	2.01	0.7030	2.32	0.7960	2.63	0.8890
19	0.16	0.0100	0.47	0.0635	0.78	0.0790	1.09	0.1900	1.4	0.4333	1.71	0.5840	2.02	0.7060	2.33	0.7990	2.64	0.8920
20	0.17	0.0200	0.48	0.0640	0.79	0.0795	1.1	0.2000	1.41	0.4400	1.72	0.5880	2.03	0.7090	2.34	0.8020	2.65	0.8950
21	0.18	0.0300	0.49	0.0645	0.8	0.0800	1.11	0.2100	1.42	0.4467	1.73	0.5920	2.04	0.7120	2.35	0.8050	2.66	0.8980
22	0.19	0.0400	0.5	0.0650	0.81	0.0810	1.12	0.2200	1.43	0.4533	1.74	0.5960	2.05	0.7150	2.36	0.8080	2.67	0.9010
23	0.2	0.0500	0.51	0.0655	0.82	0.0820	1.13	0.2300	1.44	0.4600	1.75	0.6000	2.06	0.7180	2.37	0.8110	2.68	0.9040
24	0.21	0.0505	0.52	0.0660	0.83	0.0830	1.14	0.2400	1.45	0.4667	1.76	0.6040	2.07	0.7210	2.38	0.8140	2.69	0.9070
25	0.22	0.0510	0.53	0.0665	0.84	0.0840	1.15	0.2500	1.46	0.4733	1.77	0.6080	2.08	0.7240	2.39	0.8170	2.7	0.9100
26	0.23	0.0515	0.54	0.0670	0.85	0.0850	1.16	0.2600	1.47	0.4800	1.78	0.6120	2.09	0.7270	2.4	0.8200	2.71	0.9130
27	0.24	0.0520	0.55	0.0675	0.86	0.0860	1.17	0.2700	1.48	0.4867	1.79	0.6160	2.1	0.7300	2.41	0.8230	2.72	0.9160
28	0.25	0.0525	0.56	0.0680	0.87	0.0870	1.18	0.2800	1.49	0.4933	1.8	0.6200	2.11	0.7330	2.42	0.8260	2.73	0.9190
29	0.26	0.0530	0.57	0.0685	0.88	0.0880	1.19	0.2900	1.5	0.5000	1.81	0.6240	2.12	0.7360	2.43	0.8290	2.74	0.9220
30	0.27	0.0535	0.58	0.0690	0.89	0.0890	1.2	0.3000	1.51	0.5040	1.82	0.6280	2.13	0.7390	2.44	0.8320	2.75	0.9250

Figura 6.5: Relación considerada por la curva C1 del porcentaje dañado respecto de la altura de la inundación.

Temp	Carpeta de archivos	
Tr100_Agric_XicotencatlDR029_AGEB10_SMI14_GCS84_CUL_CDET	Archivo de valores sepa...	163 KB
Tr100_Agric_XicotencatlDR029_AGEB10_SMI14_GCS84_CUL_CPROB_CAI2½A_DE_AZUCAR	Archivo TIFF	117 KB
Tr100_Agric_XicotencatlDR029_AGEB10_SMI14_GCS84_CUL_CPROB_CARRETERO_(ZACATE)_VERDE	Archivo TIFF	117 KB
Tr100_Agric_XicotencatlDR029_AGEB10_SMI14_GCS84_CUL_CPROB_ESTRELLA_(ZACATE)_VERDE	Archivo TIFF	117 KB
Tr100_Agric_XicotencatlDR029_AGEB10_SMI14_GCS84_CUL_CPROB_MAIZ_GRANO	Archivo TIFF	117 KB
Tr100_Agric_XicotencatlDR029_AGEB10_SMI14_GCS84_CUL_CPROB_PASTOS	Archivo TIFF	117 KB
Tr100_Agric_XicotencatlDR029_AGEB10_SMI14_GCS84_CUL_CPROB_SORGO_GRANO	Archivo TIFF	117 KB
Tr100_Agric_XicotencatlDR029_AGEB10_SMI14_GCS84_CUL_CPROB_SOYA	Archivo TIFF	117 KB
Tr100_Agric_XicotencatlDR029_AGEB10_SMI14_GCS84_RR	Archivo de valores sepa...	1 KB
Tr100_Agric_XicotencatlDR029_AGEB10_SMI14_GCS84_TIR	Archivo TIFF	117 KB

Figura 6.7: Ejemplo de conjunto de archivos de salida para estimación de daños en zonas agrícolas con base en curvas españolas.

Los pasos anteriores establecen el camino de la metodología, sin embargo, una vez sistematizado el ANRI_Batch-PC genera un archivo tipo raster georeferenciado, con extensión .tiff, para cada uno de los cultivos representativos en la RHA y dos archivos tipo Excel, uno de resumen (*Tr100_Agric_XicotencatlDR029_AGEB10_SMI14_GCS84_RR.csv*) y el otro de detalle (*Tr100_Agric_XicotencatlDR029_AGEB10_SMI14_GCS84_CUL_CDET.csv*), tal como se observa en la Figura 6.7.

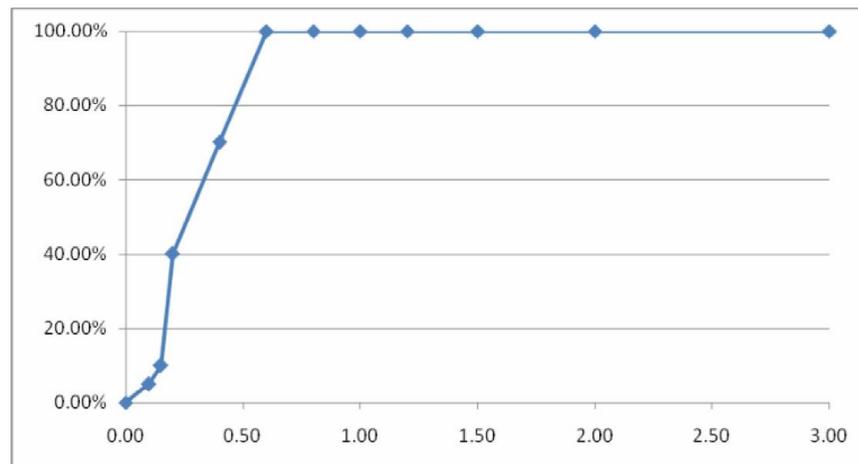
El archivo tiff almacena en cada celda el valor del daño estimado, el cual corresponde a un renglón del archivo Excel de detalle, como el ejemplo de la Figura 6.8. El archivo de detalle termina en una suma de todos los daños estimados para un mismo cultivo de manera que el último renglón del mismo, permite saber los daños por cultivo para el grupo de cultivos representativos en la zona de inundación, en este caso, para el periodo de retorno deseado. En el ejemplo se hicieron los cálculos para cinco periodos de retorno, cuyos resultados completos se presentan en el *Anexo A*.

Longitud	Latitud	Area	Elevación	Tirante	Costo Probable CAI2½A DE AZUCAR	Hectareas Siniestradas CAI2½A DE AZUCAR	Costo Probable CARRETERO (ZACATE) VERDE	Hectareas Siniestradas CARRETERO (ZACATE) VERDE	Costo Probable ESTRELLA (ZACATE) VERDE	Hectareas Siniestradas ESTRELLA (ZACATE) VERDE	Costo Probable MAIZ GRANO	Hectareas Siniestradas MAIZ GRANO	Costo Probable PASTOS	Hectareas Siniestradas PASTOS	Costo Probable SORGO GRANO	Hectareas Siniestradas SORGO GRANO	Costo Probable SOYA	Hectareas Siniestradas SOYA	Costo Probables Total	Hectareas Siniestradas Total	
-98 g 57 m 23.66	22 g 58	0.89	85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-98 g 57 m 27.00	22 g 58	0.89	86	0.26	2363.936	0.092868	88.32342	0.02339048	90.4258	0.01176	393.32	0.08358	2062.7	0.1298	451.74	0.0654	98.5	0.03	5548.97	0.43	
-98 g 57 m 23.59	22 g 58	0.89	86	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-98 g 57 m 26.93	22 g 58	0.89	86	0.05	133.4788	0.005244	4.987148	0.00132073	5.10586	0.000664	22.209	0.00472	116.47	0.0073	25.507	0.0037	5.562	0	313.32	0.02	
-98 g 57 m 23.45	22 g 58	0.89	85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-98 g 57 m 26.79	22 g 58	0.89	84	1.63	4871.315	0.19137	182.0063	0.04820029	186.339	0.024234	810.52	0.17223	4250.6	0.2675	930.88	0.1347	203	0.06	11434.6	0.89	
-98 g 57 m 29.86	22 g 58	0.89	84	1.83	4871.315	0.19137	182.0063	0.04820029	186.339	0.024234	810.52	0.17223	4250.6	0.2675	930.88	0.1347	203	0.06	11434.6	0.89	
-98 g 57 m 26.53	22 g 58	0.89	85	0.94	4871.315	0.19137	182.0063	0.04820029	186.339	0.024234	810.52	0.17223	4250.6	0.2675	930.88	0.1347	203	0.06	11434.6	0.89	
-98 g 57 m 23.19	22 g 58	0.89	85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-98 g 57 m 20.04	22 g 58	0.89	84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-98 g 57 m 23.38	22 g 58	0.89	84	1.37	4871.315	0.19137	182.0063	0.04820029	186.339	0.024234	810.52	0.17223	4250.6	0.2675	930.88	0.1347	203	0.06	11434.6	0.89	
-98 g 57 m 26.72	22 g 58	0.89	83	2.53	4871.315	0.19137	182.0063	0.04820029	186.339	0.024234	810.52	0.17223	4250.6	0.2675	930.88	0.1347	203	0.06	11434.6	0.89	
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
-99 g 0 m 22.271	22 g 50	0.89	72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	614				852470.3	33.48942	31850.73	8.43495252	32608.9	4.24095	141838	30.1405	743846	46.807	162902	23.568	35522	9.73	2001039	156	

Figura 6.8: Ejemplo de conjunto de archivos de salida para estimación de daños en zonas agrícolas con base en curvas españolas.

6.2 Curva de vulnerabilidad elemental básica para estimación de daños agrícolas: Cultivos herbáceos y hortalizas (No arbolado).

Se implementó la estimación de daño agrícola para la denominada Curva de vulnerabilidad elemental básica para daños en cultivos herbáceos y hortalizas (No arbolado): C2 No arbolado (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2011), la cual presenta una pendiente muy fuerte, con tirantes muy bajos, ya que la pérdida de la cosecha será muy habitual incluso con tirantes inferiores a 50 cm.



Uso	0.00	0.10	0.15	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	1.20	1.50	2.00	3.00
Cultivos	0.00%	5.00%	10.00%	40.00%	70.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

Figura 6.9: Curva de vulnerabilidad elemental agrícola para cultivos no arbolados. Curva C2 No arbolados. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2011.

Es de destacar un factor como es el tiempo de permanencia, es decir, el tiempo que está retenida el agua sobre los cultivos va a ser un factor importante a la hora de evaluar la posible pérdida de la cosecha. Sin embargo, al no manejar este tipo de información, se va a considerar únicamente el tirante como parámetro.

Del mismo análisis mencionado para la curva C1, resultaron 243 cultivos clasificados de las estadísticas agrícolas en México con tipo de curva C2 (Lafragua, 2013), mismos que corresponden a: Acelga, Agapando (gruesa), Agave, Ajo, Ajonjolí, Albahaca, Albricia, Alcachofa, Alcatraz (gruesa), Alfalfa, Alfalfa achicalada, Alfalfa verde, Algodón, Algodón hueso, Alheli, Alheli (gruesa), Alheli (manejo), Alpiste, Alpiste ornamental, Alstroemeria (gruesa), Amaranto, Anís, Anturios (gruesa), Apio, Apio semilla, Aretillo (planta), Arroz, Arroz palay, Arvejo, Aster (manejo), Ave del paraíso (gruesa), Avena forrajera, Avena grano, Avena grano semilla, Azucena (gruesa), Begonia (planta), Belén (planta), Berenjena, Berenjena semilla, Betabel, Blueberry, Brócoli, Brócoli semilla, Cacahuete, Calabacita, Calabacita semilla, Calabaza, Calabaza (semilla) o chihua, Calancoe (planta), Camote, Canola, Caña de azúcar, Caña de azúcar otro uso, Caña de azúcar semilla, Cártamo, Carretero (zacate) verde, Cebada, Cebada forrajera en verde, Cebada grano, Cebolla, Centeno forrajero en verde, Centeno grano, Cereza, Chía, Chicharo, Chicharo semilla, Chilacayote, Chile verde, Chile verde semilla, Cilantro, Cilantro semilla, Clavel (gruesa), Clavel (planta), Clyptoria, Col (repollo), Col de Bruselas, Coliflor, Coliflor semilla, Collard, Colza, Comino, Copra, Crisantemo, Crisantemo (gruesa), Crisantemo (planta), Cyclamen (planta), Dolar (manejo), Ebo (janamargo o veza), Ebo (janamargo o veza) grano, Ecualeista, Ejote, Epazote, Espárrago, Especies y medicina-

les, Espinaca, Estrella (zacate), Estrella (zacate) verde, Flor cera, Flor kale, Flores, Flores (gruesa), Flores (manejo), Flores (planta), Flores semilla, Frambuesa, Fresa, Fresa (planta), Frijol, Frijol x pelón, Garbanzo, Garbanzo forrajero, Garbanzo grano, Geranio (planta), Gerbera (gruesa), Girasol, Girasol flor (gruesa), Gladiola, Gladiola (gruesa), Gypsophilia (manejo), Haba grano, Haba verde, Helecho, Helecho (planta), Hierbabuena, Higuerrilla, Hortalizas, Hortensia (planta), Huauzontle, Inmortal (manejo), Jamaica, Jícama, Jícama semilla, Jitomate, Kale, Lechuga, Lenteja, Liliium (gruesa), Liliium (planta), Limonium (manejo), Linaza ornamental (manejo), Maguey pulquero (miles de lts.), Malanga, Mano de león, Manzanilla, Margarita, Margarita (manejo), Mejorana, Melón semilla, Menta, Mijo, Mijo forrajero, Mostaza, Nabo, Nabo (verdura), Nabo forrajero, Nardo, Nardo (gruesa), Noche buena (planta), Nopal forrajero, Nopalitos, Nube, Nube (manejo), Okra (angu o gombo), Olleto, Orégano, Orquídea, Otras hortalizas, Otros cultivos, Otros pastos, Papa, Papa (semilla), Pápalo, Pasto (tapete) m2, Pastos, Pensamiento (planta), Pepino, Pepino semilla, Perejil, Perón, Petunia (planta), Piña, Piñón, Pipicha, Pitahaya, Pitaya, plantas de ornato (planta), Plantero de tabaco (planta), Polar (gruesa), Pon-pon (gruesa), Poro, Quelite, Rábano, Remolacha forrajera, Romerito, Romero, Rosa, Rosa (gruesa), Rosa (planta), Rosa de invernadero (gruesa), Rosa de invernadero (planta), Rye grass, Rye grass en verde, Sábila, Sandía, Sandía semilla, Shop suey, Solidago (manejo), Sorgo, Sorgo escobero, Sorgo forrajero, Sorgo forrajero verde, Sorgo grano, Soya, Soya semilla, Statice, Statice (manejo), Tabaco, Terciopelo, Terciopelo (manejo), Tomate de cascara, Tomate rojo (jitomate semilla), Tomate rojo (jitomate), Tomate verde, Tomillo, Trébol, Trigo, Trigo forrajero verde, Trigo grano, Trigo grano semilla, Trigo ornamental, Triticale forrajero en verde, Triticale grano, tuna, varios, Verdolaga, Yuca alimenticia, Zacate semilla, Zanahoria, Zarzamora, Zempoalxochitl, Zempoalxochitl (manejo), Zempoalxochitl (planta),

Análogamente a la curva C1, para la curva C2, el ANRI_Batch-PC permite la evaluación de cualquier zona de interés por pequeña que sea, siempre y cuando existan tirantes de la mancha de inundación., así mismo, ocupa la base de datos de cultivos representativos por Región Hidrológica Administrativa (RHA) (Lafragua, 2013) que se muestran en la Tabla 6.1.

Aplicación manual de la curva de vulnerabilidad elemental básica para estimación de daños agrícolas: No Arbolado (C2).

Datos fuente:

- + Ráster de tirantes para el periodo de retorno (Tr) de 100 años (Tr100), proveniente de modelación hidráulica, generado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM,
- + Distrito de Riego 52 de Nombre oficial Estado de Durango, proveniente de la capa de Distritos de Riego publicados por el Sistema de Información Nacional del Agua (SINA).
- + Identificación de los cultivos representativos de la RHA III, tal como se observa en la Tabla 6.1, y corresponden para la Curva C1: Caña de azúcar.

III

NombreCultivo	SuperficieSembrada(%)	Rendimiento(Ton/ha)	PrecioTonelada(\$/Ton)	CurvaVulnerabilidad
CAÑA DE AZUCAR	3.92	85.39	308.00	C2
CARTAMO	2.69	0.89	2255.00	C2
CHILE VERDE	1.58	16.43	3395.67	C2

FRIJOL	12.09	0.99	7691.50	C2
GARBANZO	7.52	1.64	6567.40	C2
JITOMATE	2.97	31.36	2979.57	C2
MAIZ GRANO	51.53	4.03	1837.44	C2
PAPA	1.82	24.34	3996.38	C2
SORGO GRANO	7.04	3.59	1451.78	C2
TOMATE DE CASCARA	2.44	13.59	1997.80	C2
TRIGO GRANO	5.79	3.97	2066.00	C2

Aplicación manual de la curva de vulnerabilidad elemental básica no arbolada, aplicación frijol

Se aplicó la metodología para estimar daños agrícolas a través del ANRI-Batch-PC, para lo cual se consideraron los siguientes insumos y procedimiento para obtener resultados.

Insumos:

Zona de estudio: Tomada de la capa (shape) de distritos de riego del SINA. Sistema que publica la Conagua.

Polígono de zona de cultivo (distrito de riego), área del polígono y área sembrada. La zona de estudio se encuentra en el estado de Durango en la RHA III Pacífico Norte. El distrito de riego es el 052 que se encuentra en la zona piloto “zona conurbana de Durango”.

Polígonos de inundación: Tomados de las capas de polígonos de inundación proporcionados por GASIR en el proyecto PRONACCH 2013 y corresponden a la metodología de índice de inundación por lo que están asociados a la **acumulación del flujo de agua**.

Raster de profundidades (tirantes). El ráster de tirantes contiene las profundidades de inundación en la zona, un tirante por celda. Para el caso tenemos un ráster de 100 x 100 m., es decir, 1 ha por celda. De esta área se considera el área Sembrada respecto al área del polígono, para el caso es de 57.9 % sembrado, por lo tanto es 0.579 has sembradas por cada celda. Tomado de la modelación del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

Curvas de daños para cultivos. Implementada en el ANRI-Batch-PC y corresponde a la mostrada en la figura 6.9.

Lista de porcentaje sembrado de cada cultivo: Tipo de curva de daño, rendimiento por hectárea y precio por tonelada para la zona a procesar.

Procesamiento:

El proceso de cálculo sólo se realiza para los tirantes o celdas que cruzan espacialmente por el distrito de riego (Figura 6.10). Cada celda del ráster de tirantes contiene un valor de tirante, el cual nos propor-

ción de la curva de daño, un porcentaje dañado de la superficie sembrada. La curva de daño está relacionada al tipo de cultivo.

En el ejemplo, el tamaño de la celda es de 1 Ha, de la cual se tiene sembrado de todos los cultivos representativos únicamente 0.579 Ha. El área sembrada del Distrito de Riego es de 57.9 %, es decir 1.0579 por celda. Los cultivos tratados se relacionan a dos tipos de curva de daño, arbolados y no arbolados, con las curvas de daño C1 y C2 respectivamente, la curva de daño nos indica para cada profundidad de inundación, un porcentaje de daño de la superficie sembrada.

En la Figura 6.10 se muestra la ubicación de un DR en Durango, así como los tirantes calculados por el algoritmo de promedio móvil en todo el DR, y en la Figura 6.11 se presenta un ejemplo descriptivo para la estimación del daño del frijol, cultivado en el estado de Durango que corresponde a la RHA 3.

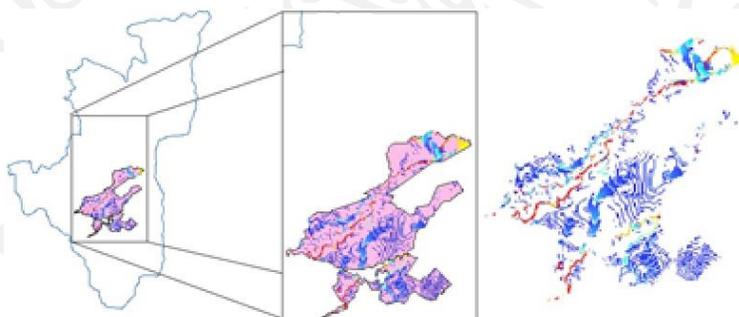


Figura 6.10: Ejemplo de estimación de daños agrícolas para el maíz..

Para el ejercicio tenemos el cultivo de “frijol”, con los siguientes datos:

RHA	Estado	Cultivo	Porcentaje sembrado	Rendimiento x Estado	Precio x Tonelada en RHA
3	Durango	Frijol	12.09	0.68	7691.50

Estos datos entran en la ecuación cuando se tiene el porcentaje de daño en la celda en particular.

Ejemplo para frijol: Se tiene la celda de 1 ha de la cual se tiene 0.579 ha sembrada (todos los cultivos).

De la superficie sembrada al frijol le corresponde 12.09 %, por lo tanto:

$$\begin{array}{c} \text{Ha sembrada} \\ 0.579 \text{ ha} \end{array} * \begin{array}{c} \% \text{ de} \\ \text{frijol} \\ 0.1209 \end{array} = \begin{array}{c} \text{Ha sembrado} \\ \text{frijol} \\ \mathbf{0.07 \text{ ha}} \end{array}$$

El tirante es de 0.35 m, tipo de curva es C2. Por lo tanto, el porcentaje siniestrado es de 62.5 %. De modo que multiplicando la superficie sembrada de frijol (0.07 hectáreas) por el daño (62.5 %), se obtiene la superficie siniestrada (0.044 hectáreas).

$$0.35 \text{ m (tirante)} \rightarrow \mathbf{0.625 (62.5\%)} \text{ de daño}$$

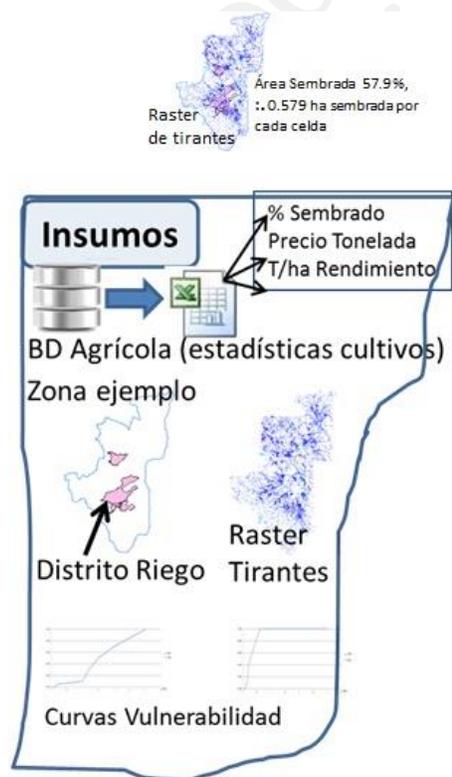
$$\begin{array}{c} \text{superficie} \\ \text{Sembrada} \\ \text{frijol} \\ 0.07 \text{ Ha} \end{array} * \begin{array}{c} \text{Daño} \\ 0.625 \end{array} = \begin{array}{c} \text{Superficie} \\ \text{siniestrada} \\ \mathbf{0.04375 \text{ Ha}} \end{array}$$

Entonces, para cada celda evaluada del ráster se multiplica la Superficie siniestrada (0.044 hectáreas) por el rendimiento (0.68 Toneladas por hectárea) y por el precio de la tonelada (7,691.5 pesos por tonelada), se obtiene el costo del cultivo afectado.

$$\begin{matrix} \text{Superficie} \\ \text{siniestrada} \end{matrix} * \begin{matrix} \text{Rendimiento} \end{matrix} * \begin{matrix} \text{Precio de} \\ \text{tonelada} \end{matrix} = \begin{matrix} \text{Costo de} \\ \text{cultivo} \end{matrix}$$

$$0.04375 \text{ ha} * 0.68 \text{ T/ha} * 7691.50 \text{ \$/T} = \text{\$ 228.82}$$

El ejercicio se realiza para todas las celdas de tirantes que se encuentran en la zona de cultivo (Distrito de Riego) y para cada cultivo con su respectivo porcentaje sembrado, rendimiento y precio de tonelada. El costo de cada cultivo se obtiene sumando el costo de cada celda evaluada. En la Figura 6.11 se observa el resumen del ejemplo aquí descrito.



Ejemplo frijol

RHA	Estado	Cultivo	Porcentaje sembrado	Rendimiento x Estado	Precio x Tonelada en RHA
3	Durango	Frijol	12.09	0.68	7691.50

Se tiene la celda de 1 Ha de la cual se tiene 0.579 ha sembrada (todos lo cultivos).

De la superficie sembrada al frijol le corresponde 12.09 %, por lo tanto:

$$\text{Ha sembrada} * \% \text{ de frijol} = \text{Ha sembrado frijol}$$

$$0.579 \text{ ha} * 0.1209 = 0.07 \text{ ha}$$

El tirante es de 0.35 m, el tipo de curva es C2.
0.35 m (tirante) 0.625 (62.5%) de daño.

$$\begin{matrix} \text{superficie} \\ \text{Sembrada} \\ \text{frijol} \end{matrix} * \begin{matrix} \text{Daño} \end{matrix} = \begin{matrix} \text{Superficie} \\ \text{siniestrada} \end{matrix}$$

$$0.07 \text{ Ha} * 0.625 = 0.04375 \text{ Ha siniestrada.}$$

$$\begin{matrix} \text{Superficie} \\ \text{siniestrada} \end{matrix} * \begin{matrix} \text{Rendimien} \\ \text{to} \end{matrix} * \begin{matrix} \text{Precio de} \\ \text{tonelada} \end{matrix} = \begin{matrix} \text{Costo de} \\ \text{cultivo} \end{matrix}$$

$$0.04375 \text{ ha} * 0.68 \text{ T/ha} * 7691.50 \text{ \$/T} = \text{\$ 228.82 para la celda evaluada}$$

Figura 6.11: Ejemplo de estimación de daños agrícolas para curva C2 No arbolado, caso Frijol.

Aplicación sistemática de la curva de vulnerabilidad para maíz (Tirantes estimados por modelación hidráulica)

Se usó *ANRI_Batch-PC* para estimación de curva del maíz, el cual considera tirantes existentes de la inundación. En el archivo de parámetros se indicará además de los datos establecidos de manera predefinida:

1. El archivo shape con los contornos de las zonas agrícolas que se evaluarán
2. El archivo con los datos necesarios por cultivo para aplicar la metodología de cálculo. Este archivo de texto con el siguiente formato:
 - a. Una línea de texto abierto para identificar la zona y la información del archivo
 - b. Una línea con los campos considerados
 - c. Una línea por cultivo con los datos siguientes, separados mediante una coma:
 - i. Nombre del cultivo,
 - ii. % superficie sembrada
 - iii. Rendimiento
 - iv. Costo por tonelada
 - v. Curva de vulnerabilidad

Si la suma de los porcentajes de la superficie sembrada excede de 100 se enviará un mensaje que se registrará en la bitácora y no se procesará.

Las curvas de vulnerabilidad se establecerán mediante archivos de texto con un formato similar:

- a. Una línea de texto abierto para identificar la curva de vulnerabilidad
- b. Una línea con los campos considerados
- c. Una línea para cada pareja de datos tirante - % afectación, separados mediante una coma.

Nombre	Tipo	Tamaño	Fecha
Temp	Carpeta de archivos		30/03/2015 04:00 p.m.
Tr100_Agric_XicotencatlDR029_AGEB10_SM14_GCS84_CUL_CDET	Archivo de valores sepa...	163 KB	01/09/2014 10:28 a.m.
Tr100_Agric_XicotencatlDR029_AGEB10_SM14_GCS84_CUL_CPROB_CAI2½A_DE_AZUCAR	Archivo TIFF	117 KB	01/09/2014 10:28 a.m.
Tr100_Agric_XicotencatlDR029_AGEB10_SM14_GCS84_CUL_CPROB_CARRTERO_(ZACATE)_VERDE	Archivo TIFF	117 KB	01/09/2014 10:28 a.m.
Tr100_Agric_XicotencatlDR029_AGEB10_SM14_GCS84_CUL_CPROB_ESTRELLA_(ZACATE)_VERDE	Archivo TIFF	117 KB	01/09/2014 10:28 a.m.
Tr100_Agric_XicotencatlDR029_AGEB10_SM14_GCS84_CUL_CPROB_MAIZ_GRANO	Archivo TIFF	117 KB	01/09/2014 10:28 a.m.
Tr100_Agric_XicotencatlDR029_AGEB10_SM14_GCS84_CUL_CPROB_PASTOS	Archivo TIFF	117 KB	01/09/2014 10:28 a.m.
Tr100_Agric_XicotencatlDR029_AGEB10_SM14_GCS84_CUL_CPROB_SORGO_GRANO	Archivo TIFF	117 KB	01/09/2014 10:28 a.m.
Tr100_Agric_XicotencatlDR029_AGEB10_SM14_GCS84_CUL_CPROB_SOYA	Archivo TIFF	117 KB	01/09/2014 10:28 a.m.
Tr100_Agric_XicotencatlDR029_AGEB10_SM14_GCS84_RR	Archivo de valores sepa...	1 KB	01/09/2014 10:28 a.m.
Tr100_Agric_XicotencatlDR029_AGEB10_SM14_GCS84_TIR	Archivo TIFF	117 KB	01/09/2014 10:28 a.m.

Figura 6.12: Datos de inundación en el DR029 Xicoténcatl. Fuente: Jefe de DR029.

En el Anexo B, se encuentran los resultados generados por *ANRI_Batch-PC* en el cálculo de daños en zonas agrícolas con base en curvas españolas para el DR 029 Xicoténcatl, cultivadas entre otros cultivos con maíz.

7. Investigación sobre curvas de vulnerabilidad en carreteras, hospitales y escuelas

En el presente trabajo se recopiló información base para establecer correlaciones con el fin de determinar curvas de vulnerabilidad, sin embargo, la información de campo para establecer un espectro de variables medidas no fue suficiente, es por eso que en esta sección se describen los avances en cada uno de los temas para su posterior integración, análisis y correlación.

7.1 Curvas carreteras, opción uno: Catálogo de costos directos

Se obtuvo el “Catálogo de costos Directos de Carreteras por metro lineal de reconstrucción de carretera (Se tiene el catálogo de Costos Directos de Carreteras 2006)” que emite la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción, para establecer costo lineal por elemento de construcción. Esta opción aplicaría únicamente bajo el esquema de que NO hay curva de vulnerabilidad, por lo que sólo se obtendría estimación de daños directos. Lo anterior implica dejar fuera servicios que se detienen por falta de carretera.

Como complemento a lo anterior se obtuvo el “Inventario de bancos de materiales 2013”, emitidos por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, mismo que fortalece el cálculo de los daños directos a infraestructura carretera.

Se analizaron varias zonas del país en cuanto a daños en diversos sectores, incluidas afectaciones en vivienda, agrícola, carreteras, hospitales, escuelas, y se encontró que en la Región Hidrológico Adminis-

trativa Lerma-Santiago-Pacífico existen noticias en periódico que reportan daños en todas estas variantes de sector.es. Es por ello, que se determinó usar esta RHA como zona piloto de estudio.

Por lo anterior se generó un shape donde se identificaron las zonas de mayores afectaciones históricas de daños en carreteras en Jalisco. Así mismo se obtuvo la Metodología del Atlas de Caminos y Carreteras del Estado de Jalisco. En la Figura 7.1 se presenta un ejemplo de la base de datos que incluye el shape aquí señalado. En este punto, únicamente se analizaron linealmente los kilómetros que involucraría la afectación de carreteras, sin llegar a calcular los daños directos.

Para conocer más la zona de estudio se obtuvo de la página de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes los “Criterios de Sustentabilidad para carreteras en México”, así como el “Inventario Nacional de Infraestructura para el Transporte (Estado de Morelos)”.

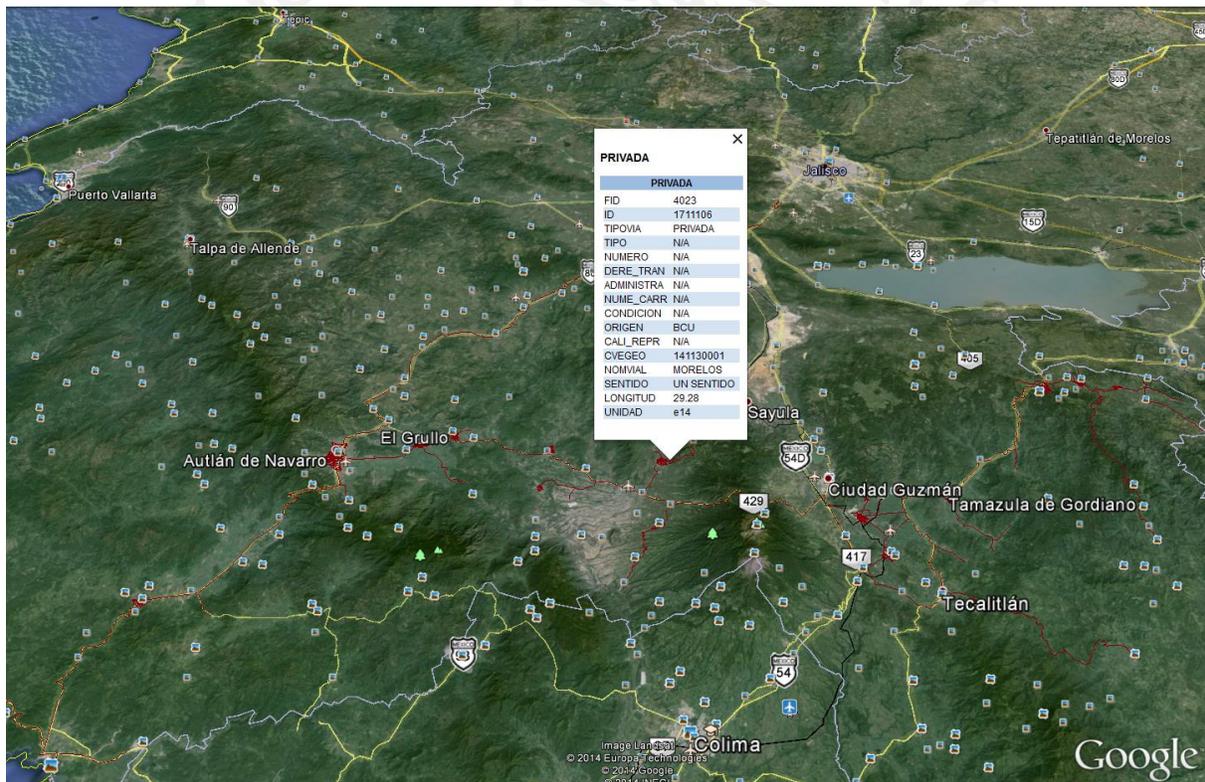


Figura 7.1: Ejemplo de la base de datos del shape de carreteras con mayores afectaciones históricas en Jalisco. Fuente: Creación propia, co base en notas periodísticas.

Las personas contacto en la Secretaría de Comunicaciones y transportes que colaboran en esta actividad son: Ing. Nector Oregon Romero (Residente General de Carreteras Alimentadoras). Tel. 777 176 35 39; 777 176 35 40 y correo electrónico noregonr@sct.gob.mx e ing. Erasto Jarillo Avilés.

Ing. Rubén Frías Aldarack, Subdirector de Estudios y Proyectos de la Dirección Técnica de SCT. Tel. 5723 9300 ext. 15013.

7.2 Curvas carreteras, opción dos: Investigación de curva de vulnerabilidad

7.2.1 Universo de insumos base identificados

A nivel del insumo ya sea para la generación de curva de vulnerabilidad o bien para probar una curva publicada, se consiguió una capa (shape) de carreteras, caminos y calles del estado de Jalisco, obtenido de internet, del cual se revisaron y seleccionaron algunas de ellas, para ubicar ciertos daños históricos, a través de sus coordenadas de latitud y longitud, provocados por fenómenos de inundación. Estos daños históricos fueron resultado de consultas en internet de daños causados a carreteras, caminos y calles en dicho estado.

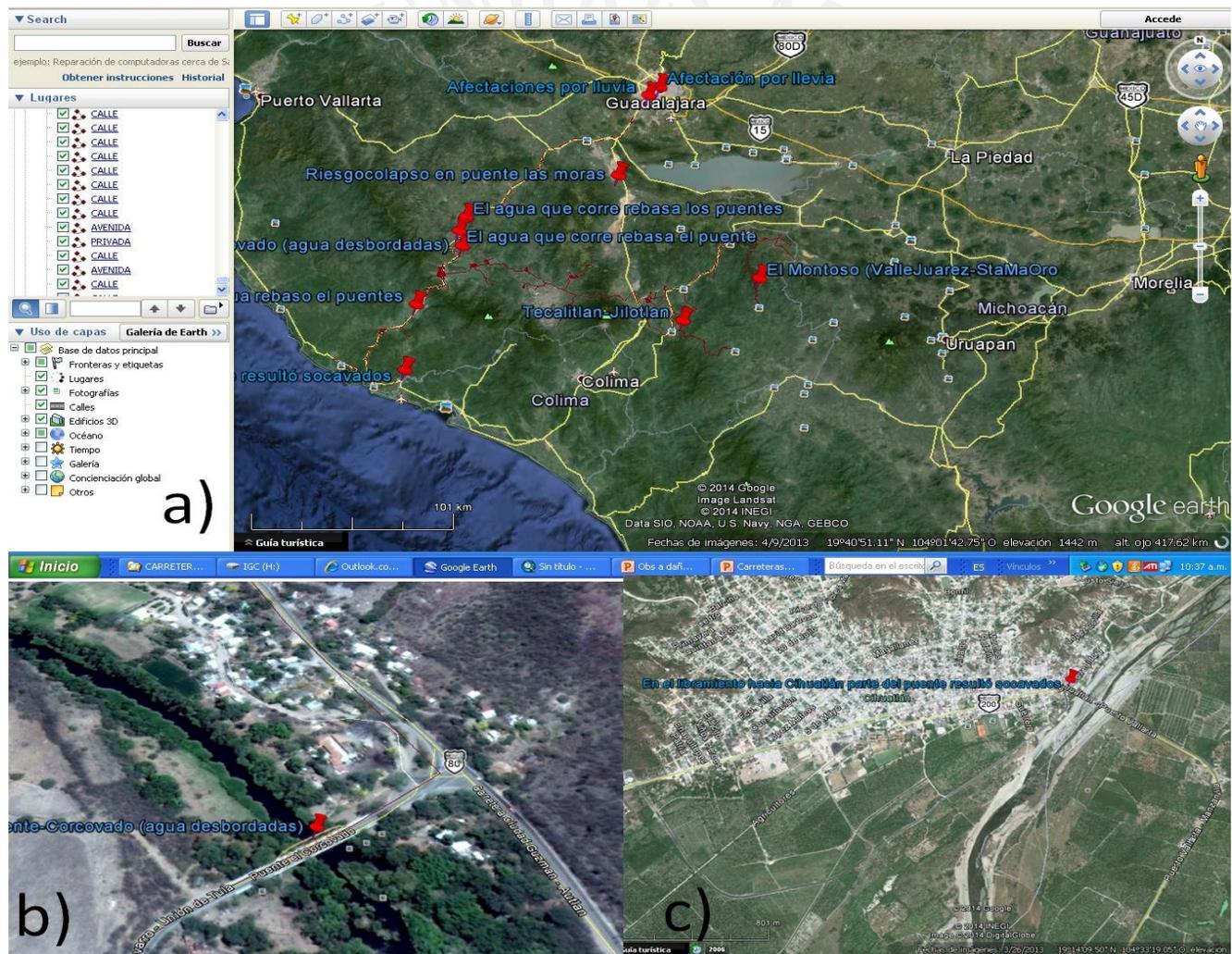


Figura 7.2: Identificación de daños en carreteras afectadas por inundación en Jalisco.
Fuente: Consultas varias en internet.

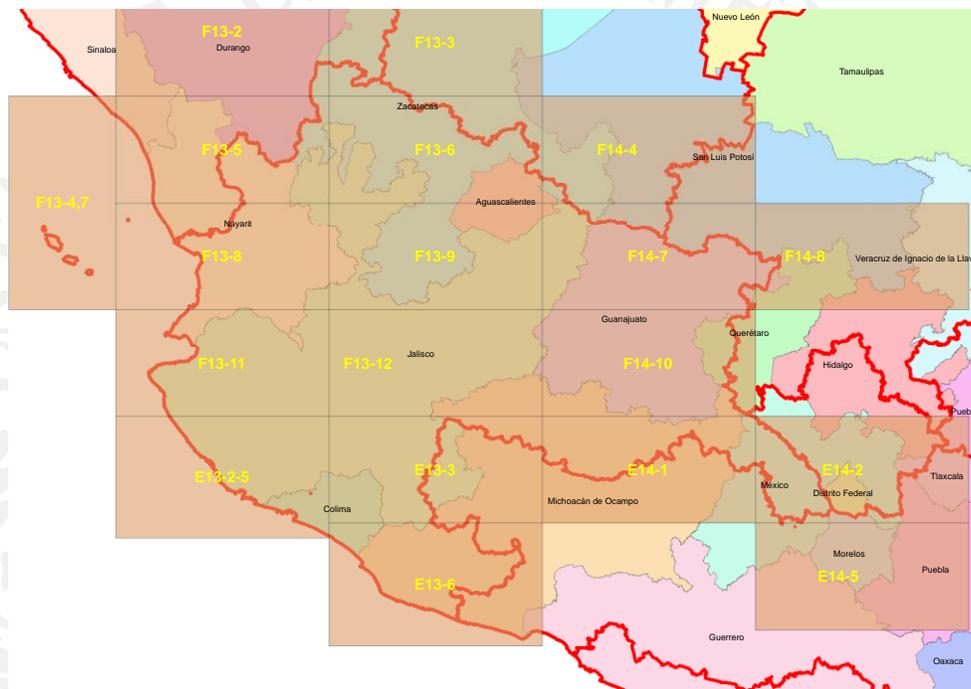
En la Figura 7.2 se presenta el archivo tipo shape generado durante 2014 donde se identifican y señalan con puntos rojos los daños en carreteras afectadas por inundaciones en Jalisco, en el inciso a) se señalan tipos de afec-

taiones, como pueden ser: Afectaciones por lluvia, Riesgo de colapso de un puente, el agua que corre rebas los puentes, etc.; en el inciso b) es un zoom a un ejemplo de un punto de afectación por agua desbordada; y, el inciso c) presenta un acercamiento al libramiento hacia Cihuatlán, donde parte del puente resultó socavado.

Finalmente, se obtuvo de INEGI una colección de cartas de INEGI que cubren la zona considerada piloto. Los temas solicitados en su última edición/versión cubran la RHA Lerma-Santiago-Pacífico son:

- Uso de suelo
- Carta topográfica, con énfasis en centros médicos y escuelas
- Carta hidrológica, con énfasis en Distritos de Riego abastecidos por abastecimientos subterráneos.

A continuación se listan las claves de las 18 cartas solicitadas en escala 1:250,000.



CLAVE	NOMBRE_HOJA	ESTADO
F13-2	El Salto	Durango
F13-3	Fresnillo	Zacatecas
F13-5	Escuinapa	Nayarit
F13-6	Zacatecas	Zacatecas
F14-4	San Luis Potosí	San Luís Potosí
F13-8	Tepec	Nayarit

CLAVE	NOMBRE_HOJA	ESTADO
F13-9	Aguascalientes	Aguascalientes
F14-7	Guanajuato	Guanajuato
F14-8	Ciudad Valle	SLP-Qro-Hgo-Ver
F13-11	Puerto Vallarta	Jalisco
F13-12	Guadalajara	Jalisco
F14-10	Querétaro	Guanajuato

CLAVE	NOMBRE_HOJA	ESTADO
E13-2-5	Manzanillo	Jalisco-Colima
E13-3	Colima	Jal-Col-Mich
E14-1	Morelia	Michoacán
E14-2	Cd. de Mexico	EdoMEx-DF-Pue-

CLAVE	NOMBRE_HOJA	ESTADO
		Hgo-Tlax-Mor
E13-6	Lazaro Cardenas	Mich-Gro
E14-5	Cuernavaca	Mor-Pue-Gro-EdoMex

A continuación se listan las claves de las cartas solicitadas en escala 1:50,000, que se vuelven 365 (si es que existen todas) con un buffer que cubren toda la RHA Lerma-Santiago-Pacífico.



Cve	Cve		Cve	Cve		Cve	Cve		Cve	Cve	
Carta	Edo	Estado	Carta	Edo	Estado	Carta	Edo	Estado	Carta	Edo	Estado
E11B77	6	Colima	E13B24	6	Colima	F14C74	11	Guanajuato	F14C33	11	Guanajuato
E13B64	6	Colima	E14B41	9	DF	F14C73	11	Guanajuato	F14C27	11	Guanajuato
E12B61	6	Colima	E14A49	9	DF	F14C65	11	Guanajuato	F14C26	11	Guanajuato
E12A69	6	Colima	E14A48	9	DF	F14C64	11	Guanajuato	F14C25	11	Guanajuato
E13B55	6	Colima	E14B31	9	DF	F14C63	11	Guanajuato	F14C24	11	Guanajuato
E13B54	6	Colima	E14A39	9	DF	F14C62	11	Guanajuato	F14C23	11	Guanajuato
E13B53	6	Colima	E14A38	9	DF	F14C56	11	Guanajuato	F14C14	11	Guanajuato
E12B51	6	Colima	E14A29	9	DF	F14C55	11	Guanajuato	E13D19	12	Guerrero
E12A59	6	Colima	F13B71	10	Durango	F14C54	11	Guanajuato	E14A81	12	Guerrero
E12A56	6	Colima	F13B62	10	Durango	F14C53	11	Guanajuato	E13B89	12	Guerrero
E13B45	6	Colima	F13B61	10	Durango	F14C52	11	Guanajuato	E14A71	12	Guerrero
E13B44	6	Colima	F13A69	10	Durango	F14C47	11	Guanajuato	E14A68	12	Guerrero
E13B43	6	Colima	F13B52	10	Durango	F14C46	11	Guanajuato	E14A67	12	Guerrero
E13B42	6	Colima	F13B51	10	Durango	F14C45	11	Guanajuato	E14A66	12	Guerrero
E13B41	6	Colima	F13A59	10	Durango	F14C44	11	Guanajuato	E14A61	12	Guerrero
E13B35	6	Colima	F13B42	10	Durango	F14C43	11	Guanajuato	E14A58	12	Guerrero
E13B34	6	Colima	F13B41	10	Durango	F14C42	11	Guanajuato	E14A57	12	Guerrero
E13B33	6	Colima	F13A49	10	Durango	F14C37	11	Guanajuato	F14C78	13	Hidalgo
E13B32	6	Colima	F13B32	10	Durango	F14C36	11	Guanajuato	E13B36	14	Jalisco
E12B31	6	Colima	F13B22	10	Durango	F14C35	11	Guanajuato	E13B31	14	Jalisco
E13B25	6	Colima	F13B13	10	Durango	F14C34	11	Guanajuato	E13A39	14	Jalisco

Cve	Cve	
Carta	Edo	Estado
E13B26	14	Jalisco
E13B23	14	Jalisco
E13B22	14	Jalisco
E13B21	14	Jalisco
E13A29	14	Jalisco
E13B15	14	Jalisco
E13B14	14	Jalisco
E13B13	14	Jalisco
E13B12	14	Jalisco
E13B11	14	Jalisco
E13A19	14	Jalisco
E13A18	14	Jalisco
F13D85	14	Jalisco
F13D84	14	Jalisco
F13D83	14	Jalisco
F13D82	14	Jalisco
F13D81	14	Jalisco
F13C89	14	Jalisco
F13C88	14	Jalisco
F13D77	14	Jalisco
F13D76	14	Jalisco
F13D75	14	Jalisco

Cve	Cve	
Carta	Edo	Estado
F13D74	14	Jalisco
F13D73	14	Jalisco
F13D72	14	Jalisco
F13D71	14	Jalisco
F13C79	14	Jalisco
F13C78	14	Jalisco
F13C77	14	Jalisco
F14C61	14	Jalisco
F13D69	14	Jalisco
F13D68	14	Jalisco
F13D67	14	Jalisco
F13D66	14	Jalisco
F13D65	14	Jalisco
F13D64	14	Jalisco
F13D61	14	Jalisco
F14C51	14	Jalisco
F13D59	14	Jalisco
F13D58	14	Jalisco
F13D57	14	Jalisco
F13D56	14	Jalisco
F13D55	14	Jalisco
F13D54	14	Jalisco

Cve	Cve	
Carta	Edo	Estado
F14C41	14	Jalisco
F13D49	14	Jalisco
F13D48	14	Jalisco
F14C32	14	Jalisco
F14C31	14	Jalisco
F13D39	14	Jalisco
F14C22	14	Jalisco
F14C21	14	Jalisco
F13D29	14	Jalisco
F13D19	14	Jalisco
F13D18	14	Jalisco
E14B51	15	México
E14A59	15	México
E14A56	15	México
E14A47	15	México
E14A46	15	México
E14A45	15	México
E14A37	15	México
E14A36	15	México
E14B21	15	México
E14A28	15	México
E14A27	15	México

Cve	Cve	
Carta	Edo	Estado
E14A26	15	México
E14A19	15	México
E14A18	15	México
E14A17	15	México
E14A16	15	México
F14C89	15	México
F14C88	15	México
F14C87	15	México
F14C86	15	México
F14C77	15	México
E13D18	16	Michoacán
E13B88	16	Michoacán
E13B87	16	Michoacán
E13B86	16	Michoacán
E13B79	16	Michoacán
E13B78	16	Michoacán
E13B77	16	Michoacán
E13B76	16	Michoacán
E13B75	16	Michoacán
E13B69	16	Michoacán
E13B68	16	Michoacán
E13B67	16	Michoacán

Cve	Cve	
Carta	Edo	Estado
E13B66	16	Michoacán
E13B65	16	Michoacán
E14A53	16	Michoacán
E14A52	16	Michoacán
E14A51	16	Michoacán
E13B59	16	Michoacán
E13B58	16	Michoacán
E13B57	16	Michoacán
E13B56	16	Michoacán
E14A44	16	Michoacán
E14A43	16	Michoacán
E14A42	16	Michoacán
E14A41	16	Michoacán
E13B49	16	Michoacán
E13B48	16	Michoacán
E13B47	16	Michoacán
E13B46	16	Michoacán
E14A35	16	Michoacán
E14A34	16	Michoacán
E14A33	16	Michoacán
E14A32	16	Michoacán
E14A31	16	Michoacán

Cve	Cve	
Carta	Edo	Estado
E13B39	16	Michoacán
E13B38	16	Michoacán
E13B37	16	Michoacán
E14A25	16	Michoacán
E14A24	16	Michoacán
E14A23	16	Michoacán
E14A22	16	Michoacán
E14A21	16	Michoacán
E13B29	16	Michoacán
E13B28	16	Michoacán
E13B27	16	Michoacán
E14A15	16	Michoacán
E14A14	16	Michoacán
E14A13	16	Michoacán
E14A12	16	Michoacán
E14A11	16	Michoacán
E13B19	16	Michoacán
E13B18	16	Michoacán
E13B17	16	Michoacán
E13B16	16	Michoacán
F14C85	16	Michoacán
F14C84	16	Michoacán

Cve	Cve	
Carta	Edo	Estado
F14C83	16	Michoacán
F14C82	16	Michoacán
F14C81	16	Michoacán
F13D89	16	Michoacán
F13D88	16	Michoacán
F13D87	16	Michoacán
F13D86	16	Michoacán
F14C76	16	Michoacán
F14C75	16	Michoacán
F14C72	16	Michoacán
F14C71	16	Michoacán
F13D79	16	Michoacán
F13D78	16	Michoacán
E14B61	17	Morelos
E14A69	17	Morelos
F13D63	18	Nayarit
F13D62	18	Nayarit
F13C69	18	Nayarit
F13C68	18	Nayarit
F13D53	18	Nayarit
F13D52	18	Nayarit
F13D51	18	Nayarit

Cve	Cve	
Carta	Edo	Estado
F13C59	18	Nayarit
F13C58	18	Nayarit
F13D43	18	Nayarit
F13D42	18	Nayarit
F13D41	18	Nayarit
F13C49	18	Nayarit
F13D33	18	Nayarit
F13D32	18	Nayarit
F13D31	18	Nayarit
F13C39	18	Nayarit
F13D23	18	Nayarit
F13D22	18	Nayarit
F13D21	18	Nayarit
F13C29	18	Nayarit
F13C28	18	Nayarit
F13D14	18	Nayarit
F13D13	18	Nayarit
F13D12	18	Nayarit
F13D11	18	Nayarit
F13C19	18	Nayarit
F13C18	18	Nayarit
F13B83	18	Nayarit

Cve	Cve	Estado
Carta	Edo	Estado
F13B82	18	Nayarit
F13B81	18	Nayarit
F13A89	18	Nayarit
F13A88	18	Nayarit
F13A79	18	Nayarit
F13A78	18	Nayarit
F14C68	22	Querétaro
F14C67	22	Querétaro
F14C66	22	Querétaro
F14C58	22	Querétaro
F14C57	22	Querétaro
F14C49	22	Querétaro
F14C48	22	Querétaro
F14C39	22	Querétaro
F14C38	22	Querétaro
F14C29	22	Querétaro
F14C28	22	Querétaro
F14C18	24	SLP
F14C17	24	SLP
F14C16	24	SLP
F14C15	24	SLP
F14A87	24	SLP

Cve	Cve	Estado
Carta	Edo	Estado
F14A86	24	SLP
F14A85	24	SLP
F14A84	24	SLP
F14A52	24	SLP
F14A51	24	SLP
F14A41	24	SLP
F13A68	25	Sinaloa
F13A58	25	Sinaloa
F13D47	32	Zacatecas
F13D46	32	Zacatecas
F13D45	32	Zacatecas
F13D44	32	Zacatecas
F13D38	32	Zacatecas
F13D37	32	Zacatecas
F13D36	32	Zacatecas
F13D35	32	Zacatecas
F13D34	32	Zacatecas
F13D28	32	Zacatecas
F13D27	32	Zacatecas
F13D26	32	Zacatecas
F13D25	32	Zacatecas
F13D24	32	Zacatecas

Cve	Cve	Estado
Carta	Edo	Estado
F14C13	32	Zacatecas
F14C12	32	Zacatecas
F14C11	32	Zacatecas
F13D17	32	Zacatecas
F13D16	32	Zacatecas
F13D15	32	Zacatecas
F14A83	32	Zacatecas
F14A82	32	Zacatecas
F14A81	32	Zacatecas
F13B89	32	Zacatecas
F13B88	32	Zacatecas
F13B87	32	Zacatecas
F13B86	32	Zacatecas
F13B85	32	Zacatecas
F13B84	32	Zacatecas
F14A73	32	Zacatecas
F14A72	32	Zacatecas
F14A71	32	Zacatecas
F13B79	32	Zacatecas
F13B78	32	Zacatecas
F13B77	32	Zacatecas
F13B76	32	Zacatecas

Cve	Cve	Estado
Carta	Edo	Estado
F13B75	32	Zacatecas
F13B74	32	Zacatecas
F13B73	32	Zacatecas
F13B72	32	Zacatecas
F14A62	32	Zacatecas
F14A61	32	Zacatecas
F13B69	32	Zacatecas
F13B68	32	Zacatecas
F13B67	32	Zacatecas
F13B66	32	Zacatecas
F13B65	32	Zacatecas
F13B64	32	Zacatecas
F13B63	32	Zacatecas
F13B59	32	Zacatecas
F13B58	32	Zacatecas
F13B57	32	Zacatecas
F13B56	32	Zacatecas
F13B55	32	Zacatecas
F13B54	32	Zacatecas
F13B53	32	Zacatecas
F13B49	32	Zacatecas
F13B48	32	Zacatecas

Cve	Cve		Cve	Cve		Cve	Cve		Cve	Cve	
Carta	Edo	Estado									
F13B47	32	Zacatecas	F13B38	32	Zacatecas	F13B33	32	Zacatecas	F13B15	32	Zacatecas
F13B46	32	Zacatecas	F13B37	32	Zacatecas	F13B26	32	Zacatecas	F13B14	32	Zacatecas
F13B45	32	Zacatecas	F13B36	32	Zacatecas	F13B25	32	Zacatecas			
F13B44	32	Zacatecas	F13B35	32	Zacatecas	F13B24	32	Zacatecas			
F13B43	32	Zacatecas	F13B34	32	Zacatecas	F13B23	32	Zacatecas			

Se generaron dos archivos shape, uno para la zona UTM 13 y otro para la zona UTM 14, con proyección Universal Transverse Mercator (UTM) a partir de un conjunto de 245 archivos shapes proporcionados por INEGI, para contar con la base oficial de carreteras en la zona piloto.

7.2.2 Curva Checoslovaca

Se analizó la curva publicada por ZAJICEK, 2009 en su artículo “Appraisal of Critical Transportation Infrastructure – Risks and Safety” donde establece la estimación del riesgo en vías de transporte. Así mismo menciona que la evaluación del daño tiene que estar basada en los principios de la combinación de la probabilidad y consecuencias. En dicha función, no se hizo la medición de la mayor cantidad de factores recomendados por las normas checas.

Se usaron escalas para normalizar los factores a considerar y se ajustó a un rango de valores. Por ejemplo los rangos de tiempo pueden ser de 1 hora, 10 horas, 100 horas, etc. Cada escala propuesta tiene 5 puntos. Para el análisis y la evaluación del daño no es necesario tener los mismos niveles de escala, pero es cómodo desde el punto de vista del evaluador hacer comparables y medibles las estimaciones. Zajicek, 2009, mide la intensidad de los eventos con los siguientes parámetros:

Factor (F_1),
Cantidad del nivel 5,
Punto de evaluación (x_1),
Valor alternativo (y_1),
Función de aproximación (f_1),
Unidad ($[h^{-1}]$)

Los datos de tiempo los usa según el uso más común (horas), el rango lo elige con respecto de la intensidad potencial de los eventos analizados. La escala la ajusta fuertemente a una secuencia geométrica con respecto a la función aproximada f_1 , de acuerdo a la tabla siguiente:

Table 1: Values and aproxim. function of the factor intensity of the event

x_1	Intensity of the event	y_1 [h^{-1}]	f_1 [h^{-1}]
1	insignificant (ca 1x per 100 year and less)	1.1E-06	$f_1 = 10^{x_1-7}$
2	small (ca 1x per 10 years)	1.1E-05	
3	middle (ca 1x per year)	1.1E-04	
4	height (ca 1x per month)	1.4E-03	
5	extreme (ca 1x per week and more)	6.0E-03	

En este caso, la intensidad del evento puede tomar uno de cinco valores, entre los que se encuentran: Valor 1 – Insignificante, Valor 2 – Pequeño, Valor 3 – Medio, Valor 4 – Alto y Valor 4- Extremo. El parámetro y_1 , en este caso usa un valor numérico en lugar de una categoría alfanumérica, y f_1 es la función de aproximación propuesta para el factor 1.

Las escalas de medición para las 5 escalas restantes las propone de la misma manera, el valor en los paréntesis cuadrados significa factores, cantidad de niveles de la escala, valor alternativo de punto de medición, función de aproximación y valor.

Costo de reconstrucción (del objeto)	($F_2, 5, x_2, y_2, f_2, [\text{currency}]$)
Costos de seguridad y salud	($F_3, 5, x_3, y_3, f_3, [\text{currency}]$)
Longitud de la ruta de desvío	($F_4, 5, x_4, y_4, f_4, [\text{km}]$)
Densidad del tráfico (intensidad del transporte)	($F_5, 5, x_5, y_5, f_5, [h^{-1}]$)
Tiempo de reconstrucción	($F_6, 5, x_6, y_6, f_6, [h^{-1}]$)

Donde **objeto** incluye tramos carreteros, puentes, diques, etc.. El cálculo del riesgo así conceptualizado, genera una escala numérica por ejemplo del 3 al 10, o del 1 al 8, dependiendo del valor asignado a cada parámetro, y es la jerarquización de esta escala la que establece un mapa de riesgo en zonas carreteras. Cada valor de esta escala le llama Zajicek, 2009, **Número final de riesgo (NR o RN)**.

Es posible calcular el riesgo final gracias a la medición de las escalas con valores alternativos y funciones de aproximación. El riesgo es un producto de la intensidad del evento y el financiamiento final después de los daños (after-effects). El producto de los factores alternos F_4, F_5 y F_6 muestran una distancia acumulada de la ruta de desvío de todas las unidades de transporte en tiempo de reconstrucción.

La distancia acumulada de la ruta de desvío durante el periodo de reconstrucción se calcula:

$$y_4 * y_5 * y_6$$

$$[\text{km} * \text{h}^{-1} * \text{h}] = [\text{km}]$$

Se necesitan costos promedio por km para el cálculo final, al cual llamaremos k . El procedimiento para calcular k , es el siguiente e incluye un ejemplo de datos inventados:

- Parte de frecuencia relativa de transporte de personal: $p = 0.65$
- Tarifa por transporte de un camión y transporte comercial de personal: $n_n = 35 \text{ CZK} * \text{km}^{-1}$
- Tarifa de 1 km de transporte de personal: $n_0 = 6.1 \text{ CZK} * \text{km}^{-1}$

CZK = Acrónimo de Korunas Checas (Czech Korunas)

La tarifa de para 1 km de transporte de camiones es un valor promedio de valores que obtuvieron de internet, los cuales incluyen salarios y otros costos de conexión. El transporte de personal incluye sólo costos para autos y cuestiones de promedio de consumo de combustible y amortización por kilómetro.

Los costos promedio por 1 km k son entonces calculados por la fórmula:

$$k = p * n_0 + (1 - p) * n_n$$

Sustituyendo valores del ejemplo, entonces queda:

$$k = 0.65 * 6.1 + (1 - 0.65) * 35 = 16.2 \text{ CZK} * \text{km}^{-1}$$

La fórmula final para el riesgo queda:

$$R \cong y_1 * (y_2 + y_3 + k * y_4 * y_5 * y_6)$$

$$[\text{h}^{-1} * (\text{CZK} + \text{CZK} + \text{CZK} * \text{km}^{-1} * \text{km} * \text{h}^{-1} * \text{h}) = [\text{CZK} * \text{h}^{-1}]$$

Los valores de y_1 a y_6 son puntos de estimación de valores alternos. La medición del riesgo puede ser calculado por aproximación de funciones de f_1 a f_6 , entonces:

$$R \cong f_1 * (f_2 + f_3 + k * f_4 * f_5 * f_6)$$

Si hay más eventos, el riesgo final es la suma de todos los riesgos parciales de los eventos.

$$R = \sum R_i$$

Ejemplo de evaluación de riesgo

En este ejemplo se presenta el procedimiento hasta aquí descrito. Se trata de 6 “objetos” vecinos en una carretera de la República Checa. El tipo de “objetos” que tiene son puentes, cruceros, paso subterráneo/metro (subway) y carreteras (de primera y tercera clase). En la siguiente tabla se presenta la lista de entidades monitoreadas

No.	Sort	ID	Code	Road 1	Road 2	Sort of Road 1
1	Road	12699		14		first class road
2	Bridge	30230	14 - 006	14		first class road
3	Crossing	12264	0332A093	14	29024	first class road
4	Road	6338		29024		third class road
5	Subway	1450	29024 - 2	29024		third class road
6	Road	27139		14		first class road

En la Figura 7.3 se muestra la imagen de las entidades que tienen identificador (ID). El código de la localidad de interés es 12264 (50°43'42'', E 15°9'13'', es decir el código GPS del crucero a evaluar tiene ID = 12264). Los eventos que se mencionan en la Tabla 7.1, ocurrieron sobre carretera, puente, crucero y paso subterráneo; y es donde se evaluaron las entidades propuestas.

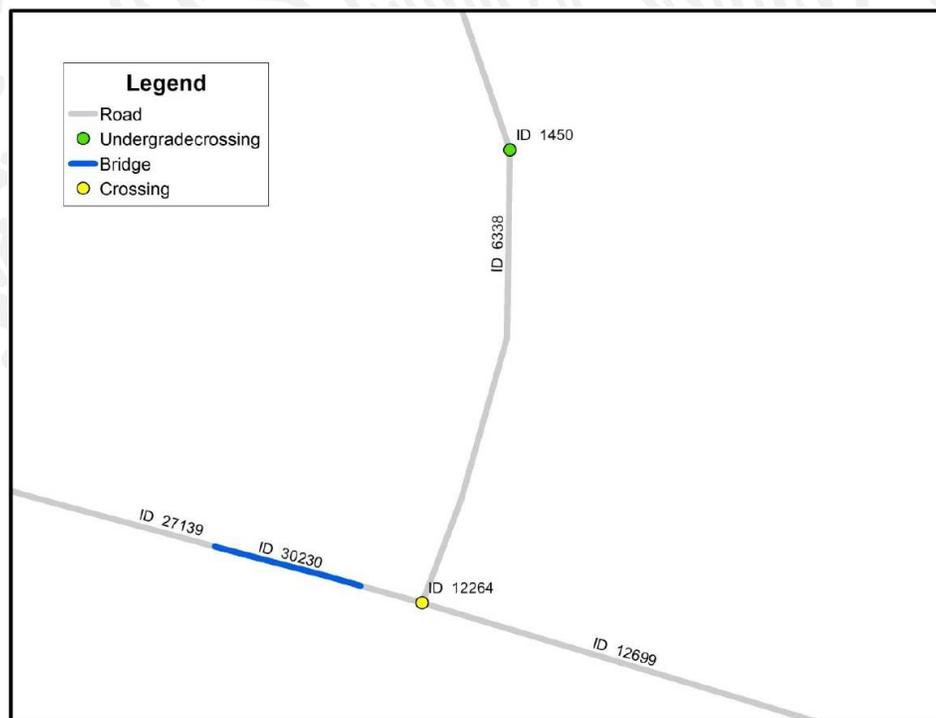


Figura 7.3: Punto evaluado (ID=12264) y universo de entidades a evaluar. Fuente: Zajicek, 2009

Tabla 7.1 Identificación de eventos "no deseables" y valores de sus puntos. Fuente: Zajicek, 2009

No.	Sort	Event	F1	F2	F3	F4	F5	F6
1	Road	Accident	3	1	1	1	4	1
2	Bridge	Accident	2	2	1	1	4	1
		Destruction of the overground part of construction	1	4	2	1	4	4
3	Crossing	Accident	4	1	1	1	4	1
4	Road	Accident	3	1	1	1	3	1
		Landslip	1	4	3	1	3	4
5	Subway	Accident	2	3	1	1	3	1
		Pipeline breakdown	2	3	2	1	3	3
6	Road	Accident	3	2	1	1	4	1

En la Tabla 7.2 se muestra el valor del riesgo calculado (R), el número final de riesgo (RN) y el efecto ponderado.

Tabla 7.2 Análisis de eventos "no deseables" sobre las entidades propuestas. Fuente: Zajicek, 2009

No.	Sort	Event	R [CZK.h ⁻¹]	RN	N [CZK]
1	Road	Accident	36,9	5	3,4E+05
2	Bridge	Accident	3,8	4	3,4E+05
		Destruction over-ground parts of constructions	34,5	5	3,1E+07
3	Crossing	Accident	469,0	7	3,4E+05
4	Road	Accident	19,0	5	1,7E+05
		Landslip	26,2	5	2,4E+07
5	Subway	Accident	3,0	3	2,7E+05
		Pipeline Breakdown	47,3	5	4,3E+06
6	Road	Accident	37,8	5	3,4E+05

Software CritInfo

Zajicek, 2009, usa la herramienta CritInfo (Software CritInfo Toolbox for Risk Assessment of the transport infrastructure) para efectuar una evaluación cuantitativa con base en los valores de escala

asignados a los datos de entrada y salida. De este modo, el valor del riesgo es cuantificado con base en el modelo propuesto y con el uso de valores de escala, valores que pueden ser plasmados en mapa asociados a un valor de escala.

CritInfo es una aplicación que trabaja sobre ArcMap 9.2 o 9.3 y consta de tres herramientas principales para cada conjunto de infraestructura de transporte: 1) **CreateTables**, crea las tablas de los eventos evaluados, 2) **CalculateRiskEvent**, evalúa en valor del riesgo para diferentes tipos de infraestructura de transporte, y 3) **CalculateTotalRisk**, calcula el riesgo final de todos los eventos. Adicionalmente, tiene la herramienta **Update** misma que puede actualizar los datos de entrada almacenados trayendo valores de otras evaluaciones hechas.

Herramienta Create Tables

Los datos de entrada para la infraestructura carretera constan de carreteras, puentes, cruceros y pasos subterráneos. Esta herramienta crea la estructura de datos para almacenar los valores evaluados. En la Figura 7.4 se muestran los datos de entrada en una infraestructura carretera. Se usaron valores falsos (dummy) de factores, riesgo y número de riesgo en dicha estructura (Frame).

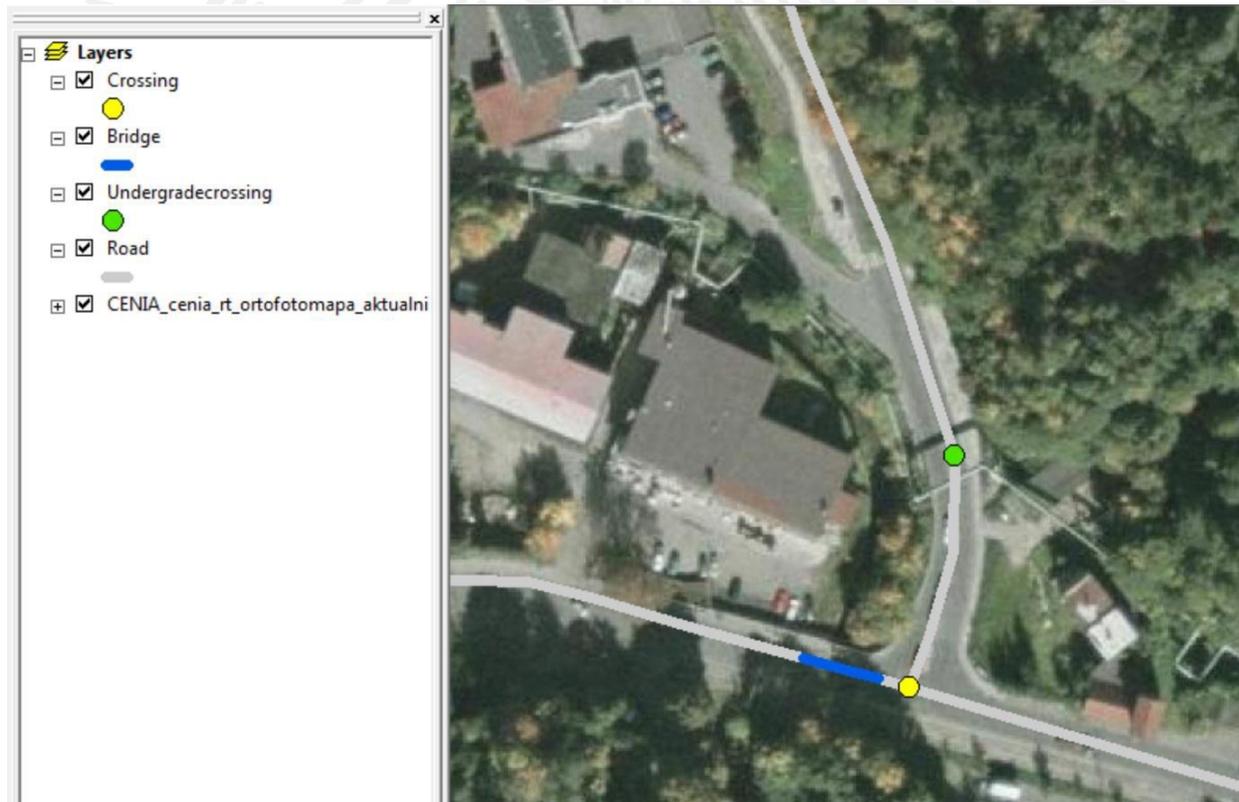


Figura 7.4: Ejemplo de datos de entrada de una infraestructura carretera que consta de carreteras, puentes, cruceros y pasos subterráneos. Fuente: Zajicek, 2009.

Herramienta CalculateRiskEvent

Permite la evaluación de la sección de la carretera seleccionada para el evento indicado. Recordemos que la infraestructura puede ser carretera, vía férrea, etc. El cálculo inicia, una vez que se indican las unidades del layer de iguales condiciones de evaluación. La herramienta evalúa las unidades marcadas, de las cuales despliega su tabla de datos, tal como se observa en la Figura 7.5. Dicha tabla es dividida en seis secciones por factor evaluado. Los factores son: Intensidad del evento, costos de reconstrucción, sobre costos por vías alternas, intensidad de transporte, tiempo de reconstrucción e influencia sobre la seguridad y la salud.

Event intensity:	Transport intensity:
insignificant (cca 1 per 100 years and less)	insignificant (cca 500 pcs / 24 h and less)
small (cca 1 per 10 years)	small (cca 2 000 pcs / 24 h)
middle (cca 1 per year)	middle (cca 6 000 pcs / 24 h)
significant (cca 1 per month)	significant (cca 12 000 pcs / 24 h)
extreme (cca 1 per month and more)	extreme (cca 30 000 pcs / 24 h and more)

Renewal costs:	Renewal time:
insignificant (cca 1 000 CZK and less)	insignificant (cca 8 hours and less)
small (cca 10 000 CZK)	small (cca 1 day)
middle (cca 100 000 CZK)	middle (cca 1 week)
significant (cca 1 000 000 CZK)	significant (cca 1 month)
extreme (cca 10 000 000 CZK and more)	extreme (cca 1 year and more)

Overcosts for diversion:	Health and safety influence:
insignificant (cca 5 km and less)	insignificant (no effect or injury)
small (cca 10 km)	small (injury with permanent disability)
middle (cca 25 km)	middle (inj. with perm. disab. for more people)
significant (cca 50 km)	significant (death of a person)
extreme (cca 100 km and more)	extreme (deaths of more people)

OK | Cancel

Figura 7.5: Evaluación del riesgo para la unidades de infraestructura seleccionada en el ejemplo. Fuente: Zajicek, 2009

La tabla ofrece una escala de cinco puntos por cada factor. Los puntos van de insignificante, pequeño, medio, significativo y extremo. Los valores de las escalas son transferidos a los valores alternativos y guardados en la tabla de atributos de las unidades de la infraestructura de transporte marcada o elegida. El número de riesgo (NR) es calculado por la fórmula señalada en la metodología.

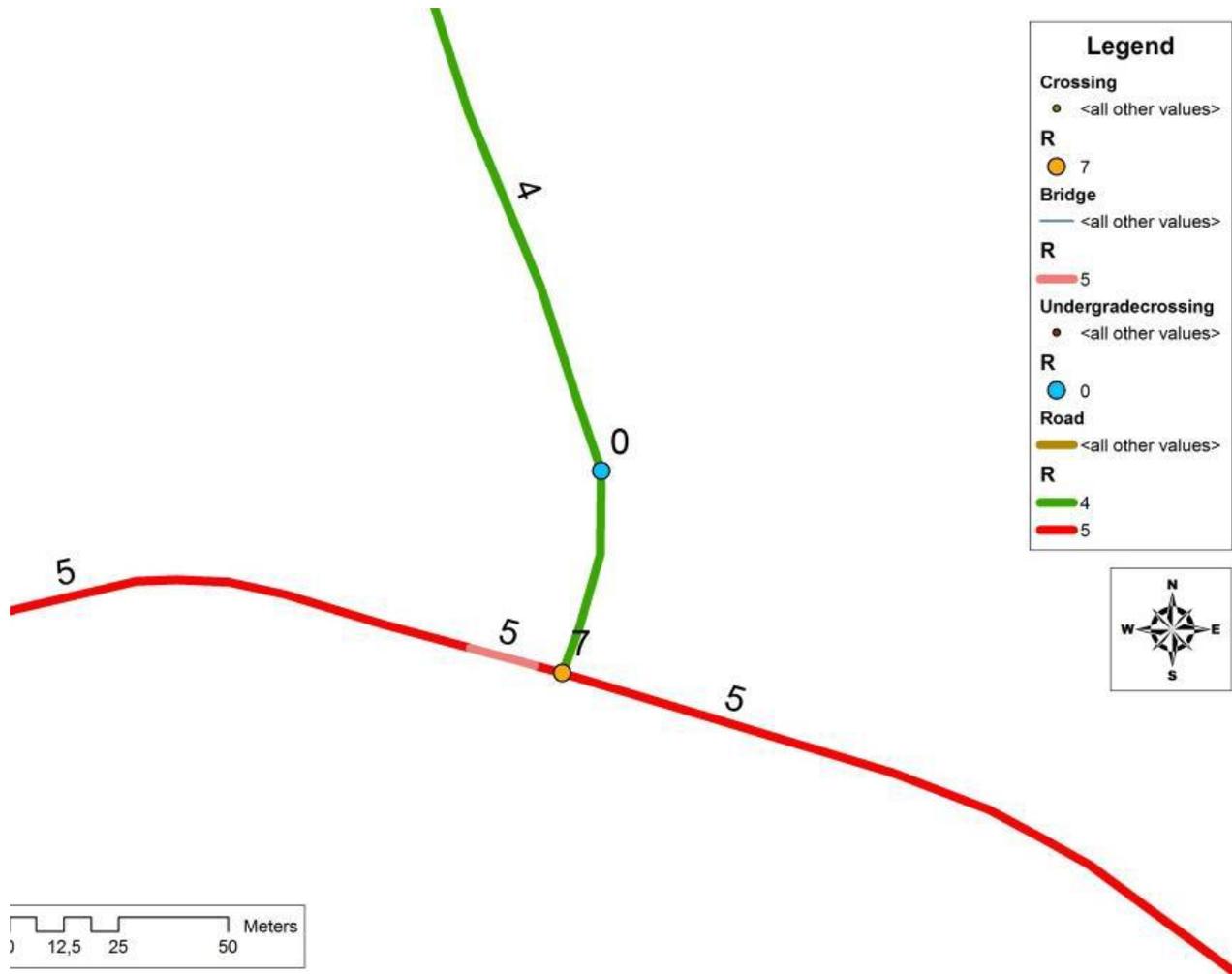


Figura 7.6: Ejemplo de la evaluación del riesgo del evento "accidente" en una carretera. El Número final de riesgo (RN) se da en el punto amarillo. Fuente: Zajicek, 2009

El proceso se repite hasta evaluar todas las unidades de infraestructura y todos los eventos (Accidente, derrumbe, destrucción de partes de construcción, etc.). A través de ArcMap adapta la simbología para colorear las unidades de la carretera evaluadas, tal como se observa en a Figura 7.6.

Herramienta CalculateTotalRisk

Calcula el riesgo total de una carretera (u otro objeto) para todos los eventos. Es la suma de todas las capas (layers) de todos los eventos.

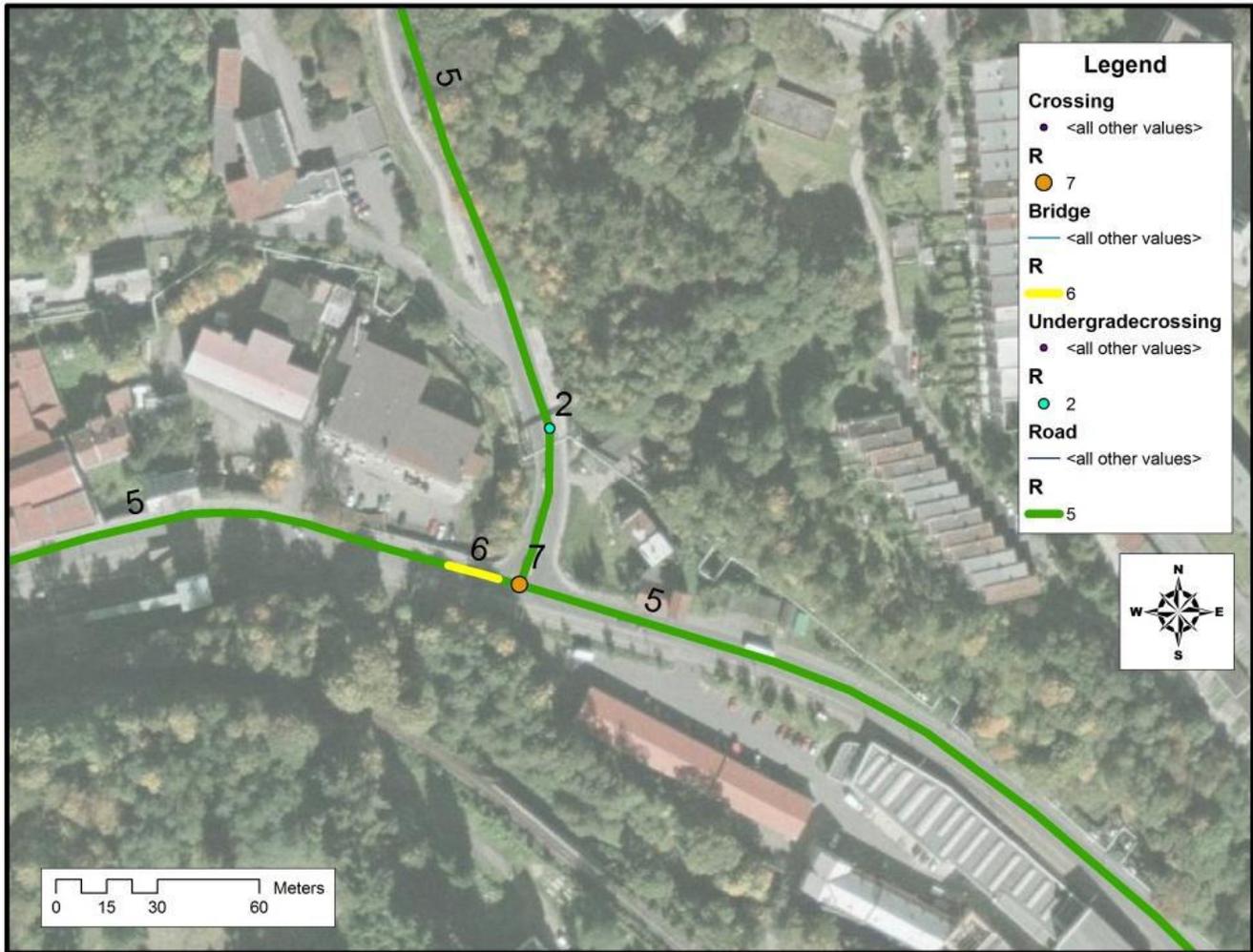
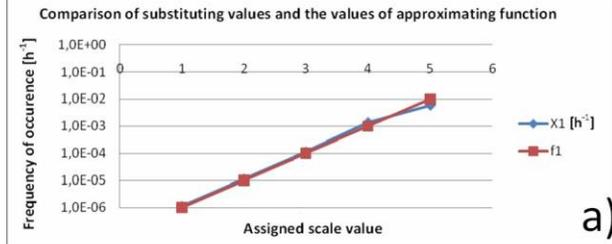


Figura 7.7: Ejemplo de un mapa de salida que tiene sobrepuesta la capa del riesgo total de todos los eventos encontrados en los sectores de la carretera evaluada. Fuente: Zajicek, 2009

Lo hasta aquí expuesto, establece curvas de vulnerabilidad con base en manejo de valores escalados a rangos establecidos por el evaluador del riesgo. En la Figura 7.8, se presentan estas seis curvas base para cada uno de los factores considerados en la metodología, publicadas por Zajicek, 2014.

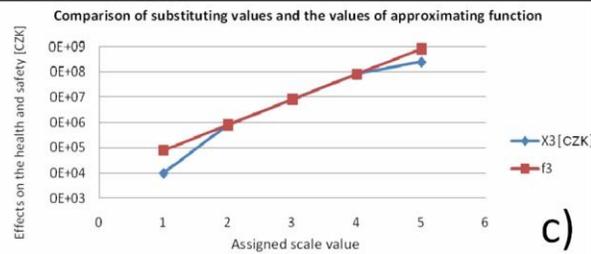
F ₁	Occurrence rate	X ₁ [h ⁻¹]	f ₁
1	negligible (cca once per 100 years or less)	1,1E-06	$f_1 = 10^{F_1-7}$
2	low (cca once per 10 year)	1,1E-05	
3	medium (cca once per year)	1,1E-04	
4	high (cca once per month)	1,4E-03	
5	abundant (cca once per week or more)	6,0E-03	



F ₂	Object reconstruction costs	X ₂ [CZK]	Approximating functions
1	negligible (cca 1 000 CZK or less)	1,00E+03	$f_2 = 10^{F_2+2}$
2	low (cca 10 000 CZK)	1,00E+04	
3	medium (cca 100 000 CZK)	1,00E+05	
4	high (cca 1 000 000 CZK)	1,00E+06	
5	extremely high (cca 10 000 000 CZK or more)	1,00E+07	

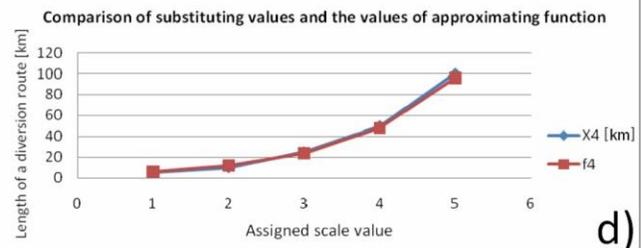
b)

F ₃	Effects on the health and safety	X ₃ [CZK]	Approximating function
1	negligible (health threats without persistent effects)	1,0E+04	$f_3 = 8 \cdot 10^{F_3+2}$
2	small (persistent injury)	8,0E+05	
3	medium (persistent injury of more people)	8,0E+06	
4	large (death)	8,0E+07	
5	death (death of more people)	2,5E+08	



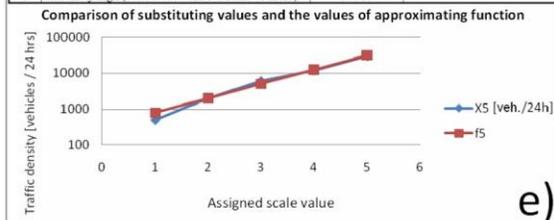
c)

F ₄	Length of a diversion route	X ₄ [km]	Approximating function
1	negligible (cca 5 kms or less)	5	$f_4 = 3 \cdot 2^{F_4}$
2	small (cca 10 kms)	10	
3	medium (cca 25 kms)	25	
4	large (cca 50 kms)	50	
5	extraordinary (cca 100 kms or more)	100	



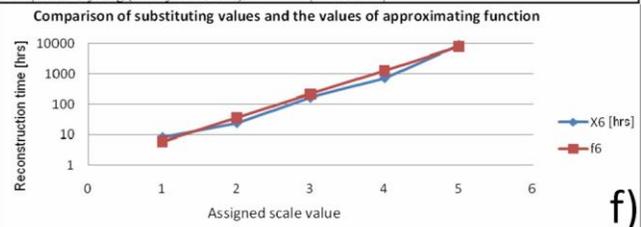
d)

F ₅	Traffic density	X ₅ [vehicles/ 24 hrs]	Approximating function
1	negligible (cca 500 vehicles/24hrs or less)	500	$f_5 = 500 \cdot 2,5^{F_5-1}$
2	low (cca 2 000 vehicles/24hrs)	2000	
3	medium (cca 6 000 vehicles/24hrs)	6000	
4	high (cca 12 000 vehicles/24hrs)	12000	
5	extremely high (cca 30 000 vehicles/24hrs or more)	30000	



e)

F ₆	Reconstruction time	X ₆ [hrs]	Approximating function
1	negligible (cca 8 hours or less)	8	$f_6 = 6^{F_6}$
2	short (cca 1 day)	24	
3	medium (cca 1 week)	168	
4	long (cca 1 month)	730	
5	extremely long (cca 1 year or more)	8760	



f)

Figura 7.8: Curvas base para los factores considerados en la metodología Checoslovaca para estimación de riesgo en infraestructura vial (Carreteras, vías férreas, etc. Fuente: Zajicek, 2014

La República Checa considera las carreteras y las vías férreas como infraestructura crítica. Los objetos a evaluar en estas carreteras son: puentes, túneles, uniones, tramos de carreteras y cruce ferroviario, mismos que son representados en un mapa de ArcGIS con símbolos de puntos y líneas (éstas representan longitud). Los incidentes a ser evaluados en los objetos pueden ser: desgaste normal de la carretera, defectos en la construcción, fenómenos naturales, accidentes de tráfico, etc., los cuales pueden causar un cierre parcial o total. Por facilidad de comparación de resultados, Zajicek, 2014 asumió 5 puntos,

mismas que se observan en la Figura 7.8; en el inciso a) se presentan los 5 puntos para la función 1 (f_1), **relativa a la razón de ocurrencia**, que son: 1- despreciable (una vez cada 100 años o menos), 2-baja (una vez cada 10 años), 3-media (una vez al año), 4-alta (una vez por mes) y 5-abundante (una vez por semana o más).

En el inciso b) se presentan los 5 puntos para la función 2 (f_2), **relativos a los costos de reconstrucción**, que son: 1- despreciable (\$ 1,000 Korunas checas), 2-baja (\$ 10,000 Korunas checas), 3-media (\$ 100,000 Korunas checas), 4-alta (\$ 1000,000 Korunas checas) y 5-Extremadamente alto (\$ 10 000,000 Korunas checas).

En el inciso c) se presentan los 5 puntos para la función 3 (f_3), **relativos a los efectos sobre la salud y la seguridad**, que son: 1- despreciable (Amenazas a la salud sin efectos permanentes), 2-baja (lesiones persistentes), 3-media (lesiones persistentes de más gente), 4-alta (muerte) y 5-Muerte (muerte de más personas).

En el inciso d) se presentan los 5 puntos para la función 4 (f_4), **relativos a longitud de la ruta de desvío**, que son: 1- despreciable (5 kms o menos), 2-baja (10 kms), 3-media (25 kms), 4-alta (50 kms) y 5-Extraordinario (100 kms o más).

En el inciso e) se presentan los 5 puntos para la función 5 (f_5), **relativos a la densidad del tráfico**, que son: 1- despreciable (500 vehículos / 24 hrs o menos), 2-baja (2000 vehículos / 24 hrs), 3-media (6000 vehículos / 24 hrs), 4-alta (12,000 vehículos / 24 hrs) y 5- Extremadamente alto (30,000 vehículos / 24 hrs o más).

En el inciso f) se presentan los 5 puntos para la función 6 (f_6), **relativos al tiempo de reconstrucción**, que son: 1- despreciable (8 hrs o menos = 8 hrs), 2-baja (1 día = 24 hrs), 3-media (1 semana = 168 hrs), 4-alta (1 mes = 730 hrs) y 5- Extremadamente largo (1 año o más = 8,760).

De este modo, las funciones para evaluar riesgo le quedan de la siguiente manera:

$$\text{Factor 1: Tasa/Razón de ocurrencia } f_1 = 10^{F_1 - 7}$$

$$\text{Factor 2: Costos de reconstrucción de carreteras, puentes, etc. } f_2 = 10^{F_2 + 2}$$

$$\text{Factor 3: Efectos sobre la seguridad y la salud } f_3 = 8 \cdot 10^{F_3 + 2}$$

$$\text{Factor 4: Longitud de una ruta de desvío } f_4 = 3 \cdot 2^{F_4}$$

$$\text{Factor 5: Densidad del tráfico } f_5 = 500 \cdot 2,5^{F_5 - 1}$$

$$\text{Factor 6: Tiempo de reconstrucción } f_6 = 6^{F_6}$$

El riesgo es calculado a través de multiplicar la razón de ocurrencia y el monto financiero estimado del daño estimado. La distancia acumulada de desviar todos los vehículos durante el tiempo de reconstrucción se calcula multiplicando los factores X4, X5 y X6. Para fines de cálculo es necesario determinar el costo por kilómetro, simbolizado por k4. Ejemplo: Las siguientes entradas pueden ser usadas para calcular k4.

Proporción del tráfico de mercancías	0.1
1 km de longitud de tasa de tráfico de mercancías	35 CZK
1 km de longitud de tasa de tráfico de pasajeros	6 CZK

CZK = Acrónimo de Korunas Checas (Czech Korunas), moneda nacional de Checoslovaquia. Los costos promedio por un kilómetro (k4) son aprox.: 9 CZK (= 0.1 * 35 + 0.9 * 6).

Eventualmente el riesgo es expresado por el siguiente término:

$$R = X_1 \cdot (X_2 + X_3 + k_4 \cdot X_4 \cdot X_5 \cdot X_6)$$

Los valores X1 a X6 son la sustitución de los valores reales del evento a analizar. En caso de requerir el uso de una función, el riesgo eventual puede ser estimado usando funciones de aproximación f1 a f6, por tanto:

$$R \cong f_1 \cdot (f_2 + f_3 + k_4 \cdot f_4 \cdot f_5 \cdot f_6)$$

Después de la sustitución de funciones particulares, obtenemos:

$$R \cong 10^{f_1-7} \cdot (10^{f_2+2} + 8 \cdot 10^{f_3+2} + 9 \cdot 3 \cdot 2^{f_4} \cdot 500 \cdot 2,5^{f_5-1} \cdot 6^{f_6})$$

Una opción es terminar la estimación después de asignar el riesgo R a un evento de daño en la carretera. Si es necesario, es posible transformar el riesgo eventual de nuevo a la escala de valores particulares para el evento de interés, lo cual es útil especialmente para colorear un mapa (para representar resultados) o para una comparación fácil de ocurrencias.

Los valores de escalas, después de la transformación de un riesgo a un número de prioridad del riesgo (RPN) deben ser valores geométricos. Una razón común de una escala geométrica q con un número deseado de niveles n, lo deriva Zajicek, 2009, a partir del siguiente término, suponiendo que el valor de sustitución de un primer nivel es min(R), i.e. representando el **riesgo mínimo** en el término.

$$q = \sqrt[n]{\frac{\max(R)}{\min(R)}} = \sqrt[n]{\frac{X_1(S) \cdot [X_2(S) + X_3(S) + k_4 \cdot X_4(S) \cdot X_5(S) \cdot X_6(S)]}{X_1(1) \cdot [X_2(1) + X_3(1) + k_4 \cdot X_4(1) \cdot X_5(1) \cdot X_6(1)]}}$$

Por ejemplo: Para $n=100$ la razón común es aproximadamente igual a 1.25 ($q=1.25$).

Los datos de contacto para la presente metodología son:

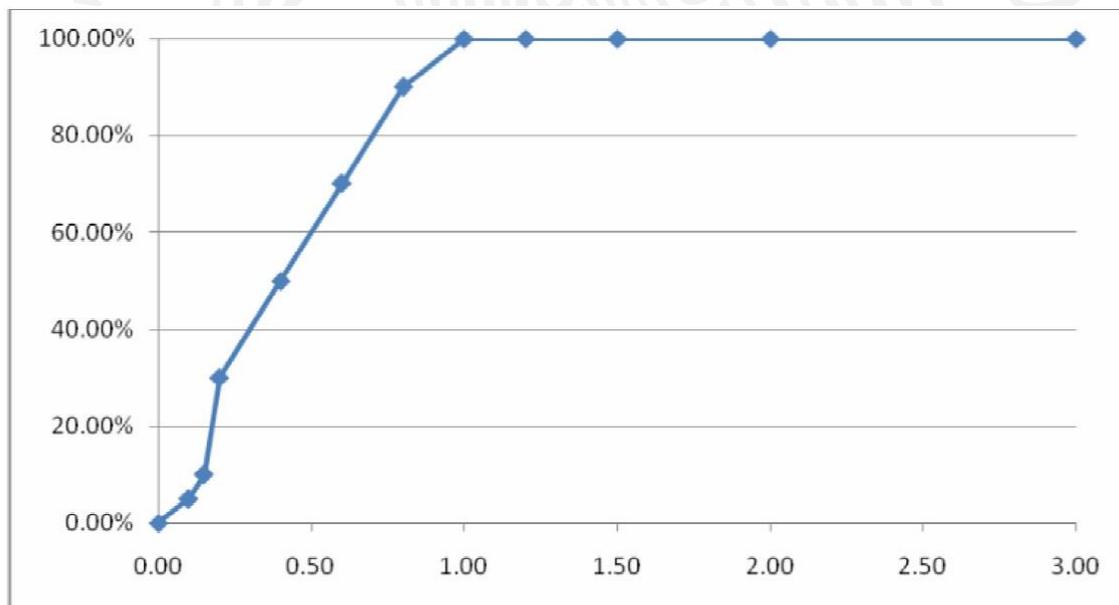
Ing. Pavel Fuchs, CSc.; Technical University of Liberec; Faculty of Mechatronics, Informatics and Interdisciplinary Studies.

Institute of Mechatronics and Computer Engineering Studentska 2, 461 17 LIBEREC Czech Republic tel. +420 485 353 287 fax +420 485 353 112; www: <http://risk.rss.tul.cz>; E-mail: pavel.fuchs@tul.cz.

7.2.3 Curvas Españolas

Curva de vulnerabilidad elemental para limpieza de viales

El Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2011 señala que toda inundación lleva consigo el arrastre de gran cantidad de materiales. Por este motivo, es siempre necesario acometer trabajos de limpieza de viales tras las avenidas para solucionar esta eventualidad. La curva de vulnerabilidad elemental propuesta para esta tarea se observa en la Figura 7.9.



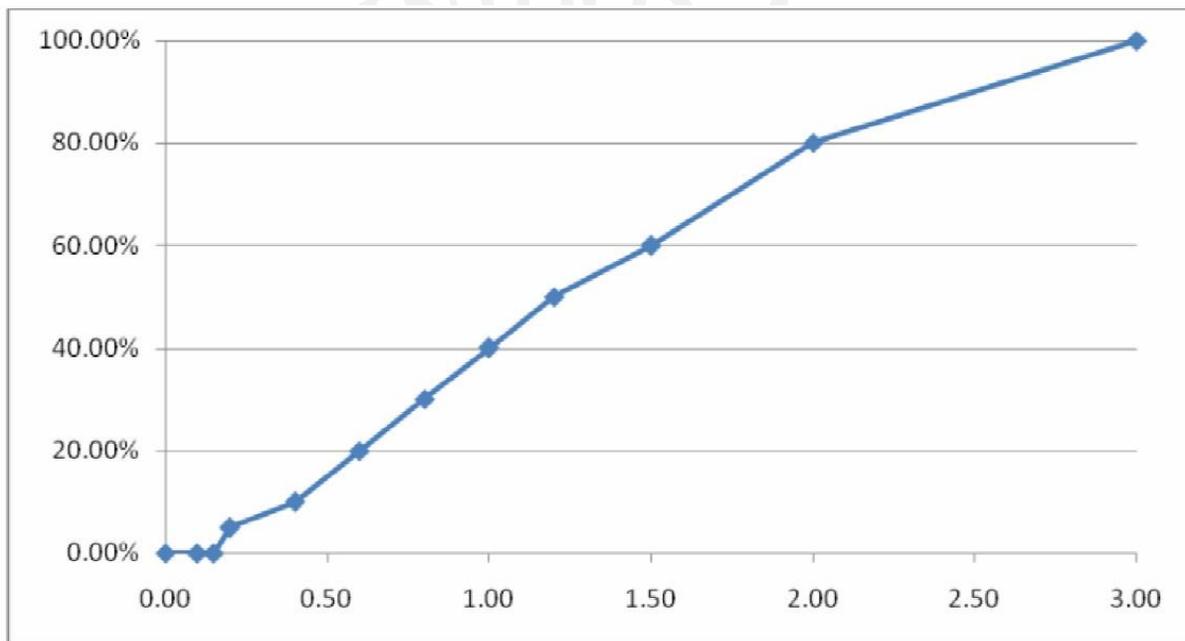
Uso	0.00	0.10	0.15	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	1.20	1.50	2.00	3.00
Viales Limpieza	0.00 %	5.00 %	10.00 %	30.00 %	50.00 %	70.00 %	90.00 %	100.00 %	100.00 %	100.00 %	100.00 %	100.00 %

Figura 7.9: Curva de vulnerabilidad elemental para limpieza de viales. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2011.

Como puede verse, se adopta una curva que crece muy rápido hasta alcanzar un valor máximo para tirantes del orden de 1 metro. La forma de la curva fue obtenida de estudios anteriores realizados tanto a nivel europeo como de la Comunidad Valenciana.

Curva de vulnerabilidad elemental para daños en viales

Al igual que se ha evaluado el valor de los trabajos de limpieza, es necesario también tener en cuenta los daños que van a producirse en los viales y en las instalaciones existentes (agua potable, alumbrado, semáforos, electricidad, etc.). La curva adoptada en este caso es la siguiente.



Uso	0.00	0.10	0.15	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	1.20	1.50	2.00	3.00
Viales Daños	0.00%	0.00%	0.00%	5.00%	10.00%	20.00%	30.00%	40.00%	50.00%	60.00%	80.00%	100.00%

Figura 7.10: Curva de vulnerabilidad elemental para estimar daños en viales. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2011.

Se asignaron valores de daños máximos en diversos tipos de bienes. Para el caso de carreteras aplican los valores a Viales limpieza y Viales daños, de la siguiente manera: Viales Limpieza 0.70 € y Viales Daños 15.00 €

Los valores fueron obtenidos tras un profundo análisis en el que se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos: La información contenida en la base de datos de siniestralidad del Consorcio de Compensación de Seguros; El estudio del programa Europeo Interreg IIIB Medocc para el cálculo de daños producidos por grandes catástrofes;

Para los daños en viales, se consideró la evaluación de los daños medios sobre los distintos elementos e instalaciones que pueden ser afectados por la inundación, siendo el daño máximo la suma de los importes para cada

uno de ellos. Al obtener la curva de vulnerabilidad elemental se han definido los daños sobre cada una de estos elementos o instalaciones.

- *Mobiliario Urbano*: Se consideran los daños en bancos, papeleras, señales, etc. (2.5 €/m²).
- *Alumbrado y Semáforos*: En este caso nos podemos encontrar daños sobre las farolas y semáforos, el cableado y los cuadros eléctricos o de maniobra (3.5 €/m²).
- *Electricidad*: Los daños sobre el cableado se consideran mínimos, sin embargo, en caso de resultar dañado algún centro de transformación la cuantía de la reparación puede ser considerable (2.5 €/m²).
- *Saneamiento*: Aunque las conducciones de saneamiento y alcantarillado no suelen dañarse durante las inundaciones, el gasto en limpieza puede llegar a alcanzar el valor de la construcción de un nuevo colector (4.0 €/m²).
- *Agua potable*: Los daños sobre las conducciones, válvulas y otros elementos singulares no van a ser muy elevados, ya que la red de abastecimiento no suele ser afectada durante las inundaciones (0.5 €/m²).
- *Telefonía*: Al igual que en el caso anterior, no se esperan daños elevados sobre la red de telefonía. En este caso, los daños se centrarán en los cuadros eléctricos y de maniobra más que en el cableado (0.5 €/m²).
- *Viales*: Los propios viales pueden resultar dañados con el arrastre de sedimentos, lo que implicará reparaciones tanto en el asfaltado como en el pavimento de las aceras (1.5 €/m²).
- DAÑO MÁXIMO VIALES: 15.0 €/m².

La información para realizar este cálculo fue obtenida de las bases de precios “centro” y del Instituto Valenciano de la Edificación.

Fuera del suelo urbano residencial o industrial, también podemos encontrarnos con suelo tipificado en la zonificación como “infraestructuras”. Se trata básicamente de suelo ocupado por *carreteras y autopistas*, y por *infraestructuras dotacionales como estaciones depuradoras de aguas residuales, potabilizadoras, grandes centros de transformación de energía, y otras instalaciones* similares.

En este caso, se va a utilizar una curva de vulnerabilidad obtenida a partir de las curvas elementales de limpieza de viales y daños en viales, con una ocupación del 50% de la superficie. Lo que se pretende es realizar una estimación grosera de los daños en carreteras (que serán menores que en los viales urbanos) y en la parte de obra civil de las instalaciones descritas anteriormente. No se van a tener en cuenta los daños singulares en las instalaciones por el mismo motivo ya expuesto anteriormente, es decir, la elevada incertidumbre que existe tanto para identificar las características de cada una de estas infraestructuras como para la evaluación de los daños potenciales que pueden sufrir.

De la misma forma, tampoco se van a tener en cuenta los daños que puedan producirse en los puentes, ya que no puede valorarse el riesgo que existe de que pueda caerse alguno de los puentes existentes en la comarca durante una avenida.

Finalmente, cabe destacar que en la zonificación del territorio realizada, la casi totalidad de la superficie tomada como infraestructuras, se corresponde con infraestructura viaria, y su porcentaje con respecto al resto de tipologías obtenidas en la zonificación es inferior al 1%.

La consecuencia de esto es que el error cometido en la evaluación de daños (salvo por los daños potenciales en infraestructuras singulares) va a ser mínimo. Se incluye por tanto esta curva de vulnerabilidad, más desde un punto de vista formal que por su incidencia en los resultados.

Uso			0.00	0.10	0.15	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	1.20	1.50	2.00	3.00
INF - Viales Limpieza			0.00%	5.00%	10.00%	30.00%	50.00%	70.00%	90.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
INF - Viales Daños			0.00%	0.00%	0.00%	5.00%	10.00%	20.00%	30.00%	40.00%	50.00%	60.00%	80.00%	100.00%
Uso	Modulo	Ocup	0.00	0.10	0.15	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	1.20	1.50	2.00	3.00
INF - Viales Limpieza	0.70	50%	0.00	0.02	0.04	0.11	0.18	0.25	0.32	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
INF - Viales Daños	15.00	50%	0.00	0.00	0.00	0.38	0.75	1.50	2.25	3.00	3.75	4.50	6.00	7.50
INF - Total			0.00	0.02	0.04	0.48	0.93	1.75	2.57	3.35	4.10	4.85	6.35	7.85

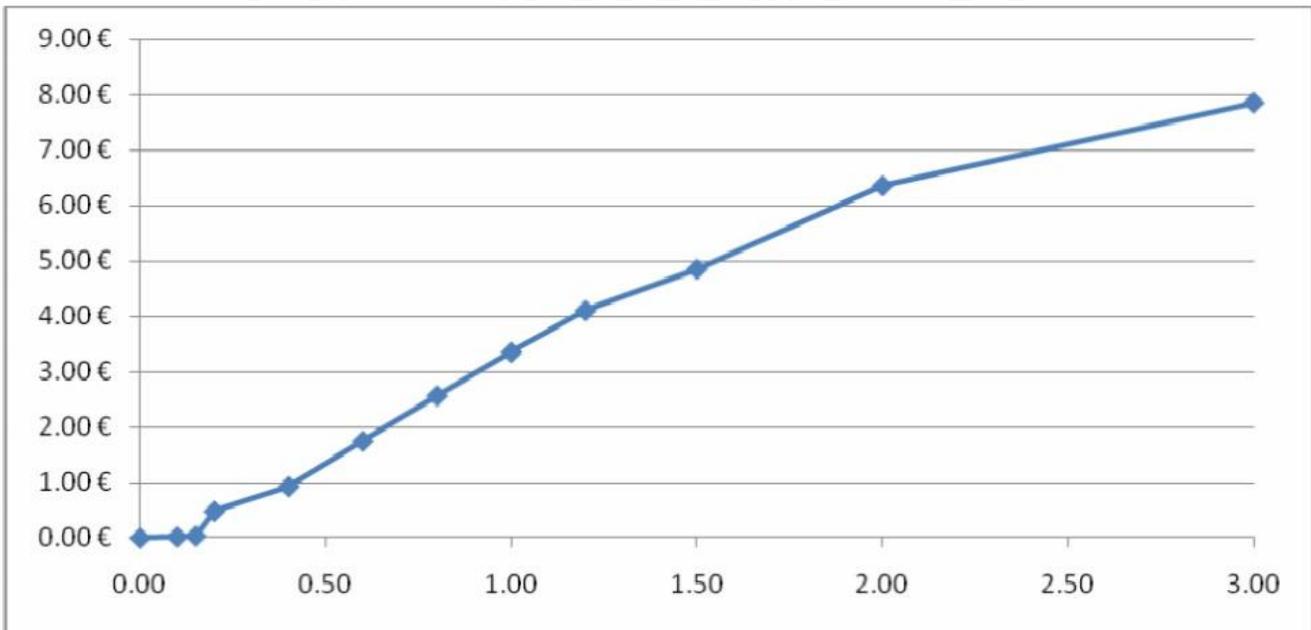


Figura 7.11: Curva de vulnerabilidad infraestructuras. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2011.

7.3 Curvas hospitalares y escuelas

Hospitales

Se obtuvo el documento “*Hospitales Seguros ante inundaciones*” emitido por la Organización Panamericana de la Salud. Washington, D.C. 2006. Así mismo, se tiene una base de datos de construcciones del sector salud. Centros de salud, clínicas, hospitales para la RHA LSP a partir de información del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE), filtrado por actividad económica y con base en la relación de cartas descritas en la sección 7.2.1.

Se estableció contacto con personal del Instituto Nacional de Salud Pública, ubicado en Santa María Ahuacatlán, Cuernavaca Morelos, para definir variables manejadas por el sector salud. El director de esta institución está muy interesado en trabajar conjuntamente este tema por ser de interés común.

Escuelas

Se obtuvo una capa de escuelas (shape), del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE), con base en la relación de cartas descritas en la sección 7.2.1, uniendo información de once entidades federativas, contabilizando el número total de escuelas por nivel y clasificando el nivel del grado escolar de las mismas bajo la siguiente clasificación:



Figura 7.12: Clasificación de escuelas por nivel académico y Grado de Rezago social. Ejemplo del nivel preescolar con grado de rezago bajo. Fuente: DENUE 2013.

Preescolar
Primaria
Secundaria
Media superior
Superior

Necesidades especiales

En esta base de datos se tiene asociado un Grado de rezago social del lugar donde se encuentra ubicada la escuela, valor que es deseable utilizar en la curva de vulnerabilidad resultante para el sector educación. Los resultados del análisis de las capas de información obtenidas de INEGE se muestran a continuación:

No.	Clave del nivel escolar	Nombre del nivel escolar	Total de escuelas por nivel
1	611112	Escuelas de educación preescolar del sector público	8315
2	611122	Escuelas de educación primaria del sector público	11870
3	611132	Escuelas de educación secundaria general del sector público	3249
4	611142	Escuelas de educación secundaria técnica del sector público	962
5	611152	Escuelas de educación media técnica terminal del sector público	541
6	611162	Escuelas de educación media superior del sector público	926
7	611172	Escuelas del sector público que combinan diversos niveles de educación	350
8	611182	Escuelas del sector público de educación para necesidades especiales	522
9	611312	Escuelas de educación superior del sector público	548

8. Resultados.

Resumen de resultados

Curvas agrícolas

Se tiene curva de vulnerabilidad elemental para arbolado (Curva española).

Se tiene curva de vulnerabilidad elemental para resto de cultivos (Curva española)

Construcción de base de datos de cultivos representativos por Distrito de Riego y por RHA.

Se tiene la documentación formal de la metodología agrícola (aplicada a México)

Validación manual de metodología agrícola para 5 Tr del DR Durango.

Validación por sistema de daños agrícolas a través de ANRI_Batc-PC para 2 Distritos de Riego.

Se tiene implementada la sistematización del cálculo agrícola en ANRI_Batch-PC.

Se desarrolló una herramienta para cálculo de DAE agrícola.

Curvas carreteras

Se localizó curva de vulnerabilidad para daños carreteros de origen Checoslovaca. Se descartó una Colombiana debido a que estima daños directos de reconstrucción de carreteras (sin puentes u otra infraestructura). Se estableció un camino para obtención de daños directos a través de catálogos de precios unitarios por metro lineal de construcción.

Curvas hospitales

Se tiene una base de datos de construcciones del sector salud. Centros de salud, clínicas, hospitales para la RH LSP. Se estableció contacto con personal del Instituto de Salud Pública para definir variables manejadas por el sector salud.

Curvas escuelas

Se tiene la base de datos base para la zona piloto (RHA LSP) para cruzar con variables mediadas. Falta conformar a base de datos de variables medidas para analizar la correlación que mejor se ajuste dando un menor error y con ello obtener una curva de vulnerabilidad básica para evaluación de daños económicos en escuelas. Hasta la fecha de la elaboración del presente informe, no se obtuvo respuesta de la Secretaría de Educación Pública para categorizar los tipos de escuela a considerar en el estudio.

9. Conclusiones.

Se tiene una herramienta computacional (ANRI_Batch-PC) evaluada parcialmente con tres curvas de vulnerabilidad y se sentaron las bases tanto de la factibilidad de la zona piloto como de las capas de información de contexto necesarias para comenzar la correlación de variables medidas.

En el caso de carreteras se tiene identificada una metodología checoslovaca con aproximadamente un 90% de factibilidad para ser aplicada en México a reserva de revisar lo que proponga al respecto la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, quien manifiesta mucho interés en seguir analizando el tema conjuntamente con el IMTA.

Tanto para escuelas como para hospitales se tiene construida la base de análisis con información de INEGI, falta consultar fuentes de variables medidas contra las cuales hacer comparaciones y correlaciones estadísticas que arrojen primeras luces de curvas de vulnerabilidad para estos dos sectores.

Finalmente, se tiene una justificación del motivo por el cual las plantas reducen su rendimiento en la producción cuando están sometidos a periodos de inundación.

10. Bibliografía.

Agua y cultivos, FAO. Depósito de documentos de la FAO. Mejora de la agricultura de secano. Producido por el departamento de desarrollo sostenible. Consultado en: <http://www.fao.org/docrep/005/Y3918S/y3918s09.htm>

ARMSTRONG W., BRÄNDLE R., JACKSON M.B., 1994. Mechanisms of flood tolerance in plants. Acta Bot Neerl 43(4), 307-358.

- Balakhnina, T.I., P. Bennicelli, Z. Stepniewska, W. Stepniewski e I.R. Fomina. 2010. Oxidative damage and antioxidant defense system in leaves of *Vicia faba major* L. cv. Bartom during soil flooding and subsequent drainage. *Plant Soil* 327, 293-301.
- [Baró-Suárez, 1], BARÓ, J.E., DÍAZ, C., CALDERÓN, G., CADENA, E. y ESTELLER, M. V. Costo más probable de daños por inundación en zonas habitacionales de México. *Tecnología y Ciencias del Agua, antes Ingeniería hidráulica en México*, vol. II, núm. 3, julio-septiembre de 2011, pp. 201-218.
- Baró-Suárez, 2 BARÓ, J.E., DÍAZ-DELGADO, C., CALDERÓN, G. y ESTELLER, M. V. Curvas de daños económicos provocados por inundaciones en zonas habitacionales y agrícolas de México. Parte I: propuesta metodológica. *Ingeniería hidráulica en México*, vol. XXII, núm. 1, enero-marzo de 2007, pp. 91-102.
- Baró-Suárez, 3, BARÓ, J.E., DÍAZ-DELGADO, C., CALDERÓN, G. y ESTELLER, M. V. Curvas de daños económicos provocados por inundaciones en zonas habitacionales y agrícolas de México Parte II: Caso de estudio en la cuenca alta del río Lerma, México. *Ingeniería Hidráulica en México. Tecnología y Ciencias del Agua, antes Ingeniería hidráulica en México*, vol. XXII, núm. 3, julio-septiembre de 2007, pp. 71-83.
- CONAGUA] Comisión Nacional del Agua, (2013), Atlas Nacional de Riesgos por inundaciones, <http://www.saver.gob.mx/ANRI/Manual/ManualANRI.pdf>
- CONAPO, Áreas Geoestadísticas Básicas AGEB, 2010.
- Cruz, Ricardo, 2011. Efecto de las inundaciones sobre el cultivo de la caña de azúcar. Cenicaña. Grupos de Transferencia de Tecnología (GTT) Cenicaña – Ingenio Manuelita S.A., Servicio de Cooperación Técnica y Transferencia de Tecnología. Tomada de: http://www.cenicana.org/pdf/grupos_gtt/dias_de_campo/manueltita/como_vamos_2011/efecto_inundaciones_gtt_mn_cenicana_2011.pdf
- De la Cruz-Jimenez J., Moreno-F L. P., Magnitskiy Stanislav. 2012. Respuesta de las plantas a estrés por inundación. Una revisión. *REVISTA COLOMBIANA DE CIENCIAS HORTÍCOLAS* - Vol. 6 - No. 1 pp. 96-109. Tomado de Anexo Agric_Respuesta de las plantas a la inundación.pdf. Consultado en <http://www.soccolhort.com/revista/pdf/magazin/Vol6/Vol.6%20No.1/Vol.6%20No.1.%20Art.9.pdf>.
- Dupont Pionner, 2012. Conocimientos agrícolas. Daño por anegamiento en maíz. *Crop Insights*, Vol 6, No. 12. Dupont Pioneer. 2012. Consultado en: http://www.pioneer.com/CMRoot/International/Argentina_Intl/AGRONOMIA/boletines/Conocimientos_Agricolas_Danio_por_Anegamiento.pdf.

- INEGI, 1, 2011, [http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/ queesmde.aspx](http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/queesmde.aspx)
- INEGI,2, <http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espano/prodyserv/actualizacion/mde/descripcion.cfm>.
- INEGI, 3, <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/informacion.aspx?id=informacion>.
- INEGI, 4, Producto Interno Bruto (PIB) por entidad federativa, http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/derivada/regionales/pib/2005-2009/PIBE2009.pdf
- INEGI, 5, Capa de población, Sistema de Integración Territorial (ITER 2010) demografía
- IPCC. 2007. Climate change 2007: Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- J.A. Pardos, Respuestas de las plantas al anegamiento del suelo. Unidad de Anatomía, Fisiología y Genética. Departamento de Silvopascicultura. ETS de Ingenieros de Montes. UPM. Invest Agrar: Sist Recur For (2004) Fuera de serie, pp 101-107.
- Koppitz, H. 2004. Effects of flooding on the amino acid and carbohydrate patterns of Phragmites australis. Limnologica 34, 37-47.
- KOZLOWSKI T.T., 1984. Flooding and Plant Growth. Academic Press, pp. 356.
- KOZLOWSKI T.T., PALLARDY S.G., 1997. Physiology of Woody Plants. Academic Press, pp. 411.
- LEVITT J., 1980. Responses of Plants to Environmental Stresses, Vol.II, Water, Radiation, Salt, and Other Stresses. Academic Press, pp. 605.
- Meyer V. et all.(2012) Economic evaluation of structural and non-structural flood risk management measures: examples from the Mulde River. Nat Hazards (2012) 62:301-324. DOI 10.1007/s11069-011-9997-z. Received: 21 April 2011 / Accepted: 25 September 2011 / Published online: 14 October 2011_ Springer Science+Business Media B.V. 2011.
- Ministerio del Medio Ambiente, y medio rural y marino, 2011. Confederación Hidrográfica del Júcar. Plan director de defensa contra las avenidas en la comarca de la marina baja (Alicante). Apéndice 8: Estudio de daños y vulnerabilidad. Vielca ingenieros S.A., INGIOPSA. Junio de 2011.

- MORENO, M y HERNÁNDEZ, G. Determinación de zonas de riesgo por inundaciones y avenidas torrenciales. Colombia 2008, En: Memorias del XXIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Cartagena de Indias, Colombia, 2008.
- Perozo, 2001. Miguel Ángel Perozo Ynestroza y Norberto V. Marrero de León. Estimación del riesgo de inundación en urbanismos y zonas agrícolas ubicadas en la planicie del Río Coro, Estado Falcón, Venezuela. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, Vol. 20, No. 3, 2001.
- Salarios mínimos, http://www.conasami.gob.mx/t_sal_mini_prof.html. Consulta realizada en marzo de 2013.
- Samuels P, Gouldby B, Klijn F, Messner F, van Os A, Sayers P, Schanze J, Udale-Clarke H (2009) Language of risk: project definitions, 2nd edn. Floodsite report T32-04-01
- SINA, Capa de municipios, capa obtenida de <http://sisgrh.imta.mx/sina/login.aspx>
- Unger, I.M., A.C. Kennedy y R.M. Muzika. 2009b. Flooding effects on soil microbial communities. Appl. Soil Ecol. 42, 1-8.
- UNAM, 2006. XVIII Seminario Internacional de seguros y fianzas 2006. Estudio Metodológico sobre la estimación del valor de las pérdidas originadas por eventos hidrometeorológicos. Instituto de Ingeniería de la UNAM. Presentación de Avances. CNSF, Septiembre 29, 2006. Presentación en diapositivas. Consultadas de: <http://www.cnsf.gob.mx/Eventos/Seminarios/2006/MARIO%20ORDAZ%20SCHROEDER.pdf>.
- Yong-Zhong L., T. Bin, Z. Yong-Lian, M. Ke-Jun, X. Shang-Zhong y Q. Fa-Zhan. 2010. Screening methods for waterlogging tolerance at maize (*Zea mays* L.) seedling stage. Agr. Sci. China 9(3), 362-369.
- Zaidi, P.H., S. Rafique y N.N. Singh. 2002. Response of maize (*Zea mays* L.) genotypes to excess soil moisture stress: morpho-physiological effects and basis of tolerance. Eur. J. Agron. 19, 383-399.
- ZAJICEK, 2009. ZAJICEK, J. et al. Appraisal of Critical Transportation Infrastructure – Risks and Safety. Science & Military. 2009, vol. 4, is. 2, pp. 112 - 118. ISSN 1336-8885.
- ZAJICEK, 2014. ZAJICEK, J. et al. Appraisal of Critical Transportation Infrastructure – Risks and Safety. Enviado por correo electrónico por el autor del artículo al autor del presente informe de proyecto.
- Udelar, 2014. Curso de Riego y Drenaje. Ciclo de síntesis y profundización. Materiales disponibles. Resistencia de cultivos a inundación. Fuente: Facultad de Agricultura, Universidad de la republica del Uruguay. Consultado en <http://www.fagro.edu.uy/~hidrologia/riego/Drenaje.pdf>



Agustín A. Millar, 1993. IICA. Manejo de agua y producción agrícola. Universidad de Concepción. Facultad de ingeniería agrícola. Instituto Interamericano de cooperación para la agricultura. Tomado de: https://books.google.com.mx/books?id=5LsqAAAAyAAJ&pg=PA333&lpg=PA333&dq=da%C3%B1os+sobre+el+rendimiento+del+cultivo+de+papa+inundacion&source=bl&ots=ETwEyqZvhv&sig=2MHIavkLuTkVLvSM4OsZBnYI_Zc&hl=es-419&sa=X&ei=aHXiVOywLizesASpz4LgDw&ved=0CBwQ6AEwAA#v=onepage&q=da%C3%B1os%20sobre%20el%20rendimiento%20del%20cultivo%20de%20papa%20inundacion&f=false

