

Diseño de un sistema de inferencia difuso para la formulación de un índice de estimación del riesgo

Investigación Terminada

Julián Eliecer Guerrero Macías
Programa de ingeniería en Energía
Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas
jguerrero9@unab.edu.co

Universidad Autónoma de Bucaramanga

Resumen

En este documento se dan las pautas para el diseño de un sistema de inferencia difuso por medio del Fuzzy Logic Toolbox de MATLAB con el propósito de obtener la estimación de riesgo por inundación y el riesgo por remoción de masa de acuerdo a las condiciones naturales y antrópicas del área metropolitana de Bucaramanga. Estas estimaciones pueden ser utilizadas como guía para la implementación y evaluación de obras civiles de infraestructura en el área metropolitana de Bucaramanga.

Abstract

This document provides guidelines for designing a fuzzy inference system using the Fuzzy Logic Toolbox of MATLAB in order to obtain the estimate of risk to natural phenomena according to the context of the metropolitan area of Bucaramanga. These estimates can be used as a guide for implementation and evaluation of civil engineering projects in the metropolitan area of Bucaramanga.

Área de Conocimiento

Estimación del Riesgo, Ingeniería Civil.

Palabras Clave

Lógica difusa, Sistemas de inferencia difusa, Riesgo.

1. Introducción

Las estimaciones del riesgo por inundación y por remoción de masa utilizados actualmente se hacen por medio de matrices en Excel con reglas básicas y con demasiadas restricciones. El uso de un sistema de inferencia difuso para la estimación del riesgo pretende darle mayor flexibilidad a las variables de entrada y mayor robustez frente a datos imprecisos y subjetivos, por lo cual se ha articulado un conjunto de sistemas de inferencia difusa (archivos .fis) del Fuzzy Logic Toolbox de MATLAB con miras al uso de nuevas metodologías tecnológicas y con aspiraciones a resultados más concretos y próximos a la realidad.

2. Estimación de riesgo

Para la estimación del riesgo ya sea de remoción de masa o de inundación, debe tenerse en cuenta que el riesgo está en función de la Amenaza y de la Vulnerabilidad (Instituto nacional de defensa civil (INDECI), 2006), teniendo en cuenta que la *amenaza es cualquier hecho que pudiese producir algún daño, luego hablamos de amenaza cuando existe la probabilidad de que un hecho desfavorable ocurra y de vulnerabilidad cuando ese hecho pudiese producir algún daño a una persona o a una comunidad, entonces la vulnerabilidad es cuando hay vidas en riesgo.*

Partiendo de esto podemos estimar el riesgo a partir de la siguiente fórmula:

$$R = A * V,$$

Donde R es el riesgo, A es la amenaza y V, la vulnerabilidad. Estas son las variables de entrada del sistema de inferencia difuso presentado en este trabajo.

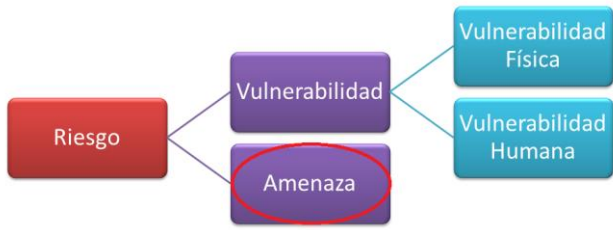
3. Sistema de Inferencia Difuso (.FIS)

El programa MATLAB consta dentro de sus herramientas con un Toolbox de Lógica Difusa donde se pueden crear estos sistemas de inferencia difuso. Éstos son un método que interpreta vectores de valores de entrada y con base en un conjunto de reglas y operaciones definidos por la lógica difusa, asigna valores a un vector de salida (Álvarez, 2005). Los conjuntos difusos y los operadores difusos son como los sujetos y los verbos de la lógica difusa, mientras que las reglas lógicas de decisión en este caso son del tipo SI / ENTONCES, las cuales son usadas para formular las sentencias condicionales que componen la lógica difusa. Para el caso de los sistemas de inferencia difuso, la estructuración de las reglas hacen que el sistema sea más o menos robusto dependiendo de la cantidad de reglas lógicas de decisión que se tengan.

Para establecer una ruta para la creación de sistemas de inferencia difusos es mejor tener en cuenta: *1. Entradas difusas, 2. Aplicar el Operador Difuso, 3. Aplicar el Método de Implicación, 4. Agregar las Reglas de Decisión.* Es de importancia que el operador difuso sea acorde con las variables de entrada, puesto que al final queremos un valor no difuso, un valor numérico. En este caso, la defusificación hace parte de este proceso. Sin embargo, ya está incorporado dentro de las herramientas del toolbox de lógica difusa de MATLAB, lo que facilita el trabajo del diseño y sólo se requiere seguir los pasos anteriores.

4. Implementación del sistema de inferencia difuso para estimación del riesgo de remoción de masa

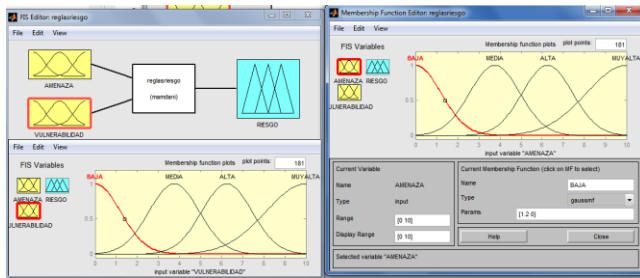
Se debe partir de las variables que entran al sistema y es de importancia revisar si las variables de entrada provienen de la salida de otro sistema de inferencia anterior. Para esto se debe establecer un cuadro sinóptico o una tabla donde podemos ver la procedencia de los datos de entrada:



Cuadro 1. Sistemas de Inferencia difuso para estimación de Riesgo

En el cuadro anterior está resumido el trabajo realizado y cada cuadro representa un sistema de inferencia difuso que se ha diseñado para poder obtener una estimación del riesgo por remoción de masa. En el caso de la vulnerabilidad se dividió ésta en vulnerabilidad física y vulnerabilidad humana (Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales (IDEAM), 2011). Para la estimación del riesgo por inundación se toman las mismas variables de entrada y salida y también se divide la vulnerabilidad de la misma forma, esto para facilitar el funcionamiento del sistema global que permitirá determinar el riesgo de una zona en particular.

Empezando por el Riesgo se pueden detectar muy fácilmente las variables de entrada según la cuadro No 1, estas son la amenaza y la vulnerabilidad, como ya se había explicado anteriormente. Sin embargo, cada una de estas variables consta de diferentes niveles las cuales se dividieron, de menor a mayor, en cuatro niveles iguales: 1. Bajo, 2. Medio, 3. Alto, 4. Muy Alto. Lo anterior se puede constatar en el Cuadro 2.



Cuadro 2. (.fis) Variables de entrada para estimación del Riesgo

Los valores del rango se pueden elegir arbitrariamente, lo mismo que las curvas de cada intervalo de cada nivel. En este caso la lógica difusa es muy subjetiva debido a que depende de la persona que este diseñando el sistema de inferencia. Sin embargo el sistema diseñado debe corresponder con los datos, el peso que tenga cada variable y el rango que toma cada nivel, puesto que esto incide en su proceso de fusificación, es decir en la posibilidad de tomar más o menos algunos valores deseados. Además, los parámetros de las curvas se eligen de la manera cómo mejor se consideran subjetivamente estén distribuidos los conjuntos difusos en el rango de valores de la variable en estudio. En este caso se ve más cercanía la distancia entre crestas de “Alta” y “Muy Alta” que la distancia entre “Baja” y “Media”, todo esto incide en la robustez que se le quiera dar al sistema de inferencia. Para la escogencia y definición de las reglas se creó una matriz de acuerdo con estudiantes de ingeniería civil de la universidad industrial de Santander, practicantes de la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB), de modo que se obtuvo una ponderación al riesgo dependiendo de la amenaza y la vulnerabilidad representado en la Tabla 3.

Tabla 3. Reglas que rigen el sistema de inferencia

AMENAZA	MUY ALTA	RIESGO BAJO	RIESGO ALTO	RIESGO MUY ALTO	RIESGO MUY ALTO
	ALTA	RIESGO BAJO	RIESGO ALTO	RIESGO MUY ALTO	RIESGO MUY ALTO
	MEDIA	RIESGO BAJO	RIESGO MEDIO	RIESGO MEDIO	RIESGO ALTO
	BAJA	RIESGO BAJO	RIESGO BAJO	RIESGO BAJO	RIESGO MEDIO
		BAJA	MEDIA	ALTA	MUY ALTA
VULNERABILIDAD					

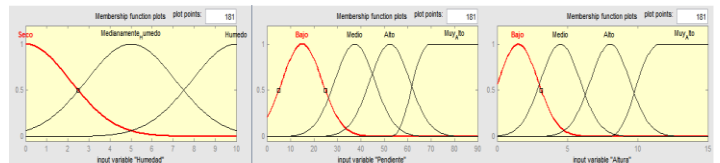
Las reglas de la Tabla No 3 son integradas en el sistema de inferencia difuso de MATLAB. Éstas tienen la forma de un condicional Si/Entonces y se presentan en el Cuadro 4.

```

1. If (AMENAZA is BAJA) and (VULNERABILIDAD is BAJA) then (RIESGO is BAJO) (1)
2. If (AMENAZA is BAJA) and (VULNERABILIDAD is MEDIA) then (RIESGO is BAJO) (1)
3. If (AMENAZA is BAJA) and (VULNERABILIDAD is ALTA) then (RIESGO is BAJO) (1)
4. If (AMENAZA is BAJA) and (VULNERABILIDAD is MUYALTA) then (RIESGO is MEDIO) (1)
5. If (AMENAZA is MEDIA) and (VULNERABILIDAD is BAJA) then (RIESGO is BAJO) (1)
6. If (AMENAZA is MEDIA) and (VULNERABILIDAD is MEDIA) then (RIESGO is MEDIO) (1)
7. If (AMENAZA is MEDIA) and (VULNERABILIDAD is ALTA) then (RIESGO is MEDIO) (1)
8. If (AMENAZA is MEDIA) and (VULNERABILIDAD is MUYALTA) then (RIESGO is ALTO) (1)
9. If (AMENAZA is ALTA) and (VULNERABILIDAD is BAJA) then (RIESGO is BAJO) (1)
10. If (AMENAZA is ALTA) and (VULNERABILIDAD is MEDIA) then (RIESGO is ALTO) (1)
11. If (AMENAZA is ALTA) and (VULNERABILIDAD is ALTA) then (RIESGO is MUYALTO) (1)
12. If (AMENAZA is ALTA) and (VULNERABILIDAD is MUYALTA) then (RIESGO is MUYALTO) (1)
13. If (AMENAZA is MUYALTA) and (VULNERABILIDAD is BAJA) then (RIESGO is BAJO) (1)
14. If (AMENAZA is MUYALTA) and (VULNERABILIDAD is MEDIA) then (RIESGO is ALTO) (1)
15. If (AMENAZA is MUYALTA) and (VULNERABILIDAD is ALTA) then (RIESGO is MUYALTO) (1)
16. If (AMENAZA is MUYALTA) and (VULNERABILIDAD is MUYALTA) then (RIESGO is MUYALTO) (1)
  
```

Cuadro 4. Reglas que rigen el (.fis) integradas en el Toolbox

Una vez establecidas estas reglas, se procede al diseño de otro sistema de inferencia para el caso de la variable amenaza según las condiciones naturales y antrópicas de la Meseta de Bucaramanga. Para la amenaza se determinaron las siguientes variables de entrada: 1. *Humedad* que consta de los Niveles de Seco, Medianamente Húmedo y Húmedo en una escala de 0 a 10, 2. *Pendiente* 0-30 Bajo, 30-45 Medio, 45-60 Alto y mayor de 60 Muy Alto y 3. *Altura* 0-3 Bajo, 3-6 Medio, 6-10 Alto, mayor a 10 Muy Alto. Las anteriores se presentan en el Cuadro 5.



Cuadro 5. Variables de entrada para el (.fis) de Amenaza

En este caso las reglas son de mayor complejidad debido a la cantidad de variables de entrada para determinar la amenaza. En particular se determinaron treinta reglas las cuales pueden apreciar en la superficie de la Figura 6.

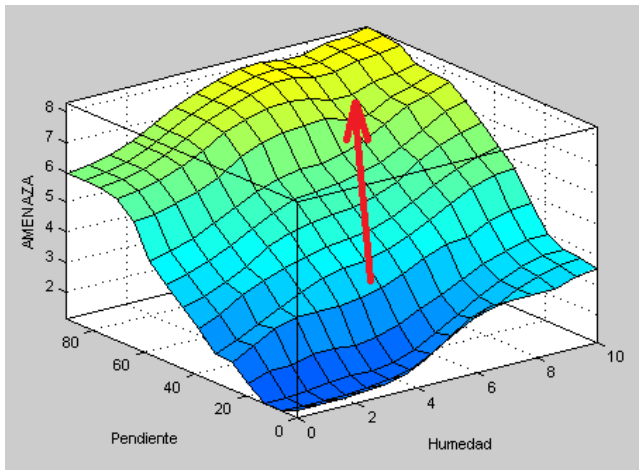


Figura 6. Superficie de las (30) reglas del (.fis) de Amenaza

Se puede observar que conforme aumenta la pendiente y la humedad, también aumenta la amenaza. Los mismos resultados se obtienen si se combina el análisis de la altura con la pendiente o la humedad.

Ahora se procede a diseñar el sistema de inferencia para la vulnerabilidad la cual tiene como variables de entrada las variables de salida de la vulnerabilidad física y la vulnerabilidad humana, por lo tanto debemos analizar primero estos sistemas antes de poder establecer la vulnerabilidad total.

Se inicia con definición de la variable vulnerabilidad física, la cual toma como variables de entrada propias: 1. *Material de viviendas* las cuales pueden ser: Tapia o Adobe, Madera, Ladrillo o Concreto, 2. *Confinamiento estructural* el cual puede ser: No tiene, Columnas o Vigas y Columnas, y 3. *Cimentación* la cual pueden ser: Buena, Agrietada o Socavada, o no tiene. En este sistema de inferencia difuso no se fusifican propiamente las variables de entrada puesto que el material de una vivienda es “Madera” o es “Concreto”, no puede ser de materiales intermedios. Lo mismo sucede con las otras variables por lo tanto las graficas de ellas pueden variar dependiendo de la persona que diseñe el sistema de inferencia o se puede realizar por medio de otros sistemas más simples. Además, las reglas utilizadas para analizar la vulnerabilidad física se pueden determinar por medio de cuadros simples, los cuales son utilizados actualmente. En este caso se halla el índice de vulnerabilidad física de estructuras puntuales basado en la metodología del índice de vulnerabilidad física (IVF) de (Leone, 1996) arrojando las reglas del Cuadro 7.

1. If (Material is Tapia_o_Adobe) then (VULNERABILIDAD is MUY_ALTA) (1)
2. If (Material is Ladrillo) then (VULNERABILIDAD is MUY_ALTA) (1)
3. If (Material is Madera) then (VULNERABILIDAD is MUY_ALTA) (1)
4. If (Material is Ladrillo) and (Confinamiento_Estructural is Columnas) then (VULNERABILIDAD is ALTA) (1)
5. If (Material is Ladrillo) and (Cimentación is Agrietado_o_Socavado) then (VULNERABILIDAD is ALTA) (1)
6. If (Material is Ladrillo) and (Confinamiento_Estructural is Columnas) and (Cimentación is Agrietado_o_Socavado) then (VULNERABILIDAD is ALTA) (1)
7. If (Material is Ladrillo) and (Confinamiento_Estructural is Vigas) and (Cimentación is Buena) then (VULNERABILIDAD is MEDIA) (1)
8. If (Material is Madera) and (Confinamiento_Estructural is Vigas) and (Cimentación is Buena) then (VULNERABILIDAD is MEDIA) (1)
9. If (Material is Concreto) and (Confinamiento_Estructural is Vigas) and (Cimentación is Buena) then (VULNERABILIDAD is BAJA) (1)

Cuadro 7. Reglas para la determinación de Vulnerabilidad Física

Esto a partir de la información suministrada en la Tabla 8:

Tabla 8. Metodología del índice de vulnerabilidad física de Leone

	1	2	3	4
Material	Tapia o Adobe	Ladrillo	Madera	Concreto
S. Confinamiento Estructural	Ninguno	Columnas	Vigas y Columnas	
Cimentación.	No	Si		

	Material	+	S. Confinamiento	+	Cimentación	Vulnerabilidad Física
A	1	+	1	+	1	B1 Muy Alta 0.9-1.0
B	2	+	1	+	1	
C	3	+	1	+	1	
D	2	+	1	+	1	B2 Alta 0.7-0.9
E	2	+	2	+	1	
F	2	+	1	+	3	
G	2	+	2	+	3	B3 o B4 Media 0.4-0.7
H	2	+	3	+	2	
I	3	+	3	+	2	
J	4	+	3	+	2	

En algunos casos la información es confusa dado que se presentan iguales parámetros presentando diferentes valores de vulnerabilidad, esto supuestamente entraría en conflicto en el programa. Sin embargo, el carácter difuso del sistema permite sortear situaciones de este tipo debido a su flexibilidad y elasticidad.

Para la vulnerabilidad humana, las variables son: 1. *Ubicación de Viviendas al Talud, Cerca o Lejos* y 2. *Número de Viviendas* donde están los parámetros: 1 a 5 Viviendas y más de 5 Viviendas de tal forma que las únicas reglas se presentan en el Cuadro 9.

1. If (Ubicación_de_Viviendas is Lejos) then (VULNERABILIDAD is BAJA) (1)
2. If (Ubicación_de_Viviendas is Cerca) and (Numero_de_Viviendas is 1-5_Viviendas) then (VULNERABILIDAD is ALTA) (1)
3. If (Ubicación_de_Viviendas is Cerca) and (Numero_de_Viviendas is Mayor_a_5) then (VULNERABILIDAD is MUY_ALTA) (1)

Cuadro 9. Reglas que rigen el (.fis) de Vulnerabilidad Humana

Posteriormente para hallar la vulnerabilidad total, teniendo en cuenta los dos casos: vulnerabilidad física y vulnerabilidad humana, las variables de salida son: Baja, Media, Alta y Muy Alta. Entonces se establecieron las reglas de acuerdo con la Tabla 10. Hay que tener en cuenta que se le dio más peso a la vulnerabilidad humana puesto, que si hay vidas en riesgo la vulnerabilidad total aumenta significativamente.

Tabla 10. Reglas que determinan la Vulnerabilidad Total

VULNERABILIDAD Humana	MUY ALTA	MUY ALTA	MUY ALTA	MUY ALTA	MUY ALTA
	ALTA	MEDIA	ALTA	MUY ALTA	MUY ALTA
	MEDIA	BAJA	MEDIA	ALTA	ALTA
	BAJA	BAJA	BAJA	BAJA	BAJA
		BAJA	MEDIA	ALTA	MUY ALTA
VULNERABILIDAD Física					

Una vez se tienen elaborados los cinco sistemas de inferencia difuso del Cuadro 1, se procede a crear un archivo en este caso una archivo (.m) de MATLAB donde recopile todas las variables de entrada e integre todos los resultados para así crear un programa que pida los datos y arroje un valor del riesgo de remoción de masa junto con una gráfica para saber dónde queda ubicado el valor que se nos entrega. Diseñar un archivo (.m) es muy sencillo, en este caso lo único que hay que saber es cómo llamar a los datos de salida de los sistemas de inferencia los cuales se realizan de la siguiente manera:

Para pedir valores de entrada:

```
Humedad = input('\Digite un valor de 0 a 10 para la Humedad:')
```

```
Pendiente = input('\Digite el un ángulo de 0 a 90 para la Pendiente:')
```

```
Altura = input('\nDigite un valor de 0 a 15 metros para la Altura:')
```

```
Para leer los archivos (.fis) que se han creado se utiliza
A = readfis('Amenazafinall');
```

En este caso se llama el archivo ‘(.fis)’ y se le asigna a una variable en este caso “A”, para evaluarlo se utiliza `Amenaza = evalfis([Humedad Pendiente Altura], A)`

En este último caso, se ve que primero se introducen las variables de entrada y luego separados de una coma la variable a la cual se asigna el archivo (.fis). En el caso de las vulnerabilidades primero se halla la vulnerabilidad física, luego la vulnerabilidad humana y después se asigna esos valores de salida como las de entrada de la vulnerabilidad total de la siguiente manera: `Vulnerabilidad = evalfis([VulnerabilidadH VulnerabilidadF], V);`

Después de haber culminado todos los pasos, se procede a hallar el riesgo por remoción de masa y a desplegar la gráfica que contiene los parámetros del riesgo final para determinar en que parte queda ubicado el valor arrojado. `RiesgoFinal = evalfis([Amenaza Vulnerabilidad], Riesgo)`
`plotmf(Riesgo, 'output', 1)`

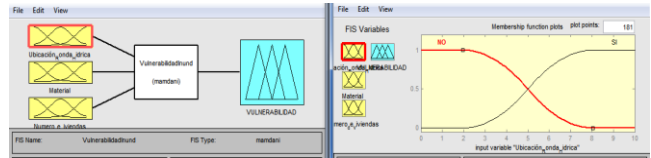
5. Implementación del sistema de inferencia difuso para estimación del riesgo de inundación

El riesgo por inundación es relativamente más fácil de hallar que el riesgo por remoción de masa puesto que manejan menos variables. En este caso, el sistema se rige de acuerdo al diagrama del Cuadro 11.



Cuadro 11. Sistemas de Inferencia con sus respectivas variables para la estimación del Riesgo de Inundación

Para la vulnerabilidad se observa que las variables de entrada de material y número de viviendas se repiten como en el caso del riesgo por remoción de masa. Luego, se abre el archivo (.fis) que se creó anteriormente y se introduce una variable nueva de la siguiente forma (Cuadro 12):



Cuadro 12. Variables de entrada para el (.fis) de Vulnerabilidad

Esta variable solo tendrá los valores SI o NO y las reglas son definidas por medio de una sencilla tabla:

Tabla 13. Reglas que Determinan la Vulnerabilidad de Inundación

Ubicación en la ronda hídrica	Material	# Viviendas	Vulnerabilidad
Si	Madera	1 a 5	Alta
Si	Madera	>5	Muy Alta
Si	Adobe o Tapia	1 a 5	Alta
Si	Adobe o Tapia	>5	Muy Alta
Si	Ladrillo	1 a 5	Media
Si	Ladrillo	>5	Alta
Si	Concreto	1 a 5	Media
Si	Concreto	>5	Alta
No			Baja

Luego de editar las reglas en el sistema correspondiente, se guarda con otro nombre el archivo y se procede a crear el archivo (.fis) para amenaza por inundación de acuerdo a la Tabla 14. Para este sólo se introducen dos (2) variables de entrada 1. Tipo de Cauce, el cual puede ser Afloramiento o Drenaje, Quebrada, o Río y 2. Posibilidades de Represamiento esta sólo tiene como valores Si o NO. En este caso se tienen en cuenta unas reglas propias del área metropolitana de Bucaramanga, esto quiere decir que tanto las variables de entrada como las reglas pueden cambiar dependiendo

Tipo de cauce	Posibilidades de represamiento	Amenaza
Río	Si	Muy Alta
Río	No	Alta
Quebrada	Si	Alta
Quebrada	No	Media
Afloramiento o drenaje	Si	Media
Afloramiento o drenaje	No	Baja

de la zona.

Tabla 14. Reglas que determinan la Amenaza de Inundación

Contando con los dos (2) archivos (.fis) y el mismo archivo con el que se evaluó el riesgo en el ejercicio de remoción por masa, se procede a crear un archivo (.m) con la diferencia que se introducen otras variables en este ejercicio para el caso de inundación. Para este sistema se pueden agregarse más variables y más reglas las cuales “calibran” el sistema dándole mayor precisión y robustez.

6. Diseño de interface gráfica

Para una mejor comprensión e introducción de los datos de entrada, se puede crear una interface grafica por medio de MATLAB teniendo elaborados los archivos (.m). Crear una

interface permite los datos que tienen en común los dos sistemas de evaluación de riesgo y reunirá la información en una sola ventana, esto se plantea como una posibilidad que podría ser de la siguiente manera:



Figura 15. Interface Grafica para el Análisis de Riesgo

6. Conclusiones

- Se puede determinar que los sistemas de inferencia difusa en este caso particular pueden estimar el riesgo ya sea por remoción de masa o riesgo por inundación de una forma eficaz, teniendo en cuenta las variables propias de la zona donde se toman los datos. Sin embargo, los sistemas de inferencia pueden ser utilizados en un amplio rango de aplicaciones, esto debido a que el Toolbox de lógica difusa de MATLAB es de amigable uso para su implementación en varios ámbitos.

- El sistema de inferencia difusa utilizado en la estimación de riesgo toma en cuenta unas variables propias del Área Metropolitana de Bucaramanga y las leyes implementadas fueron creadas acorde a matrices y criterios utilizados actualmente para la estimación de riesgo en la CDMB. Sin embargo, dependiendo de la zona o del diseñador del sistema de inferencia estas pueden cambiar dejando la posibilidad para el mejoramiento del programa.

- El diseño de la interface Grafica que reúne los dos sistemas de inferencia es parte importante en el ámbito de la estimación del riesgo puesto que proporciona una herramienta que facilita la toma de datos e integra todo lo realizado. Es un modelo fácil de entender debido a su estructura basada en reglas y la obtención de la respuesta es inmediata una vez se introduzcan los datos de entrada. Además, para su implementación sólo requiere abrir el archivo (.fig) y brinda en un entorno amigable con el usuario siendo esto un ítem importante a la hora de su utilización por personas que no tengan un manejo familiar con el programa MATLAB.

7. Discusión

Una de las dificultades que se presenta en la aplicación de este sistema de inferencia difusa es la falta de sensibilidad ante dos situaciones muy similares pero sobre las cuales se deben tomar decisiones sobre una ella, por ejemplo para el caso de hacer una priorización de construcciones de obras civiles para una zona de alto riesgo. La robustez que proporciona el sistema proviene de personas expertas del tema, luego la información suministrada puede ser una herramienta altamente efectiva en sus resultados. De esta forma, el actual trabajo de investigación sugiere una acción de continuo perfeccionamiento.

8. Identificación del proyecto

Nombre del Semillero	Modelación Matemática e Implementación Informática
Tutor del Proyecto	William González Calderón
Grupo de Investigación	CIHO Unab
Línea de Investigación	Lógica Difusa
Fecha de Presentación	Abril 9 de 2012

9. Referencias

- [1] Álvarez, G. P. (2005). *Sistemas de inferencia difusa*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- [2] Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales (IDEAM). (2011). *Propuesta de metodología para el análisis de la vulnerabilidad del territorio al cambio climático en el marco del plan nacional de desarrollo y del plan nacional de adaptación*. Bogotá: Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales (IDEAM).
- [3] Instituto nacional de defensa civil (INDECI). (2006). *Manual Básico para la estimación del riesgo*. Lima: Instituto nacional de defensa civil (INDECI).
- [4] Leone, F. A. (1996). *Vulnerability assessment of elements exposed to mass-movement: working toward a better risk perception*. Trondheim, Norway: VII International Symposium on Landslides.