



## Methodology for assessing vulnerability to climate change of rural households of Cali hillside districts using fuzzy logic

Luis Fernando Gómez Gallego  
Universidad del Valle

Orlando Zúñiga Escobar  
Universidad del Valle

Received: April 29, 2015

Accepted: August 3, 2015

Pag. 89-105

### Abstract

Based on the concept of complex, dynamic, non-linear systems that integrate the man-nature relationship, a methodology based on fuzzy logic for determining vulnerability to climate change is proposed. Its application takes effect by rural households in the districts on the hillsides of Cali, choosing as a model the Sustainable Livelihood (SL) framework. Primary information was obtained from a survey among residents under the heading of the concept of the 5 SL Assets: physical, natural, human, economic-financial, socio-cultural-political. Matlab *Fuzzy* toolbox for fuzzy evaluation of adaptability and sensitivity, the two components of vulnerability is used. For specification of agricultural sensitivity, based on the change of suitability of maize, beans, bananas, cassava and coffee between 2015 and 2030, it was made the most of the availability of databases as WorldClim, Ecocrop, IPCC and software as a DivaGis and ArcGIS. The methodology proved to be promising as an alternative to linear methods to measure vulnerability to climate change and allowed adequately answering the three research questions.

**Keywords:** Sustainable Livelihood, Climate Change, Vulnerability, Fuzzy Logic.

## Metodología para evaluar la vulnerabilidad al cambio climático de hogares rurales de corregimientos de ladera de Cali utilizando lógica difusa

### Resumen

Partiendo del concepto de los sistemas complejos, dinámicos, no lineales, que integran la relación hombre-naturaleza, se propone una metodología fundamentada en la Lógica Difusa, para la determinación de la vulnerabilidad al cambio climático. Su aplicación se efectúa en los hogares rurales de los corregimientos de ladera de Cali, escogiendo como modelo el marco de los Medios de Vida Sostenibles (MVS). La información primaria se obtuvo de una encuesta entre los pobladores bajo el encabezado del concepto de los 5 Activos de los MVS: físicos, naturales, humanos, económicos-financieros y sociales-culturales-políticos. Se utilizó la caja de herramientas *fuzzy* de Matlab para la evaluación difusa de la capacidad de adaptación y la sensibilidad, los dos componentes de la vulnerabilidad. Para la especificación de la sensibilidad agrícola, sobre la base del cambio de aptitud de los cultivos de maíz, fríjol, plátano, yuca y café, entre 2015 y 2030, se aprovechó la disponibilidad de bases de datos como WorldClim, Ecocrop, IPCC y software como DivaGis y ArcGIS. La metodología demostró ser promisorio como alternativa a los métodos lineales para medir la vulnerabilidad frente al cambio climático y permitió responder adecuadamente las tres preguntas de investigación.

**Palabras clave:** Medios de Vida Sostenibles; Cambio Climático; Vulnerabilidad; Lógica Difusa.

## 1 Introducción

Antes de tomar cualquier acción eficaz contra los efectos del cambio climático al nivel de un corregimiento, es esencial conocer el nivel de vulnerabilidad de la comunidad en particular. Si se identifican los principales aspectos de la vulnerabilidad y su magnitud, ello contribuirá a la evaluación del grado de sostenibilidad de los medios de vida que esa comunidad posee. La vulnerabilidad como contexto es uno de los componentes del enfoque (o marco) de los Medios de Vida Sostenibles (MVS).

“Un medio de vida comprende las capacidades, activos y actividades necesarias para ganarse el sustento. Un medio de vida es sostenible cuando puede afrontar y recuperarse de las tensiones y los shocks, y mantener o mejorar sus capacidades y activos tanto ahora como en el futuro, sin socavar la base de recursos naturales.” (Chambers y Conway, 1991).

Se formula aquí una metodología para determinar la vulnerabilidad al cambio climático de hogares rurales de corregimientos de ladera de Cali, utilizando la técnica de la inteligencia artificial, para un enfoque no lineal, como es la Lógica Difusa. Esta técnica es muy útil para tratar fenómenos sociales porque provee instrumentos prácticos con los cuales reducir los aspectos de incertidumbre y vaguedad de las decisiones del pensamiento humano, y así redirigir la intervención social para mejorar la visión analítica en la evaluación de los programas vinculados.

## 2 Métodos

Enfoque de Medios de Vida Sostenibles (MVS). La noción de Medio de Vida Sostenible fue trazada a partir de la proposición de desarrollo sostenible que surgió del reporte de la Comisión Brundtland en 1987. En este mismo año el grupo consultivo sobre seguridad alimentaria, agricultura, silvicultura y medio ambiente realizó un informe para la Comisión Mundial del Ambiente y Desarrollo (WCED), en el cual fue propuesto oficialmente, por primera vez, el concepto de Medios de Vida Sostenibles (MVS).

Chambers y Conway (Op. cit.) elaboraron con mayor profundidad la expresión Medios de Vida Sostenibles. El propósito de su artículo fue provocar una discusión alrededor de este concepto basado normativamente en las ideas de capacidad, equidad y sostenibilidad, cada una de las cuales es tanto un fin como un medio.

Marco para el análisis de medios de vida sostenibles. Más adelante, Scoones (1998) esbozó un marco (lineal) para el análisis de los medios de vida sostenibles, definidos en relación con cinco indicadores clave.

Sobre la base del trabajo de Scoones, el Departamento para el Desarrollo Internacional (DFID) publicó en 1999 el Marco de Medios de Vida Sostenibles como un arreglo más simple e inteligible (también lineal) (ver Figura 1).

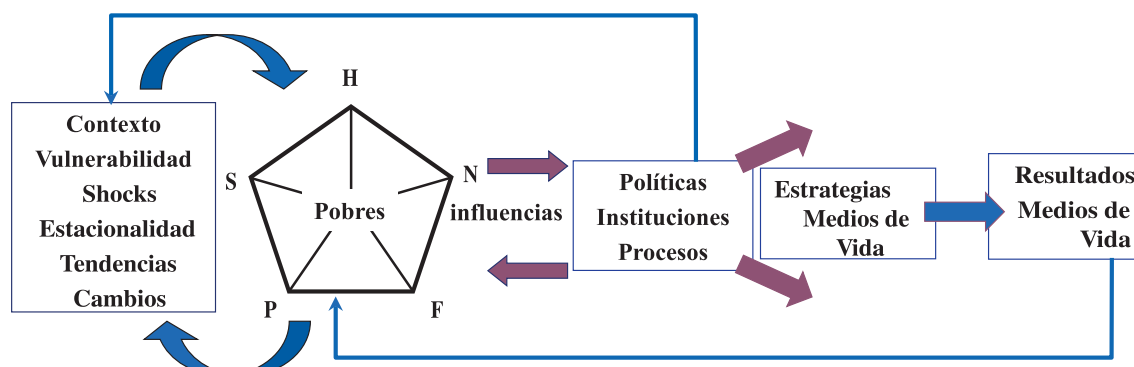


Figura 1. Marco de Medios de Vida Sostenibles.

Fuente: DFID (1999).

**Cambio Climático.** Según el Quinto Reporte de Evaluación del Cambio Climático del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC por su nombre en inglés): *Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability (2014)*, la siguiente es la definición de cambio climático:

“Se refiere a un cambio en el estado del clima que puede ser identificado por las modificaciones en la variabilidad de sus propiedades, y que persiste durante un período prolongado, generalmente decenios o incluso más.”

**Sensibilidad.** Hace referencia a la predisposición física del ser humano, de la infraestructura o de los ecosistemas a ser afectados por una amenaza, debido a condiciones de contexto e intrínsecas que potencien el efecto de la amenaza.

La sensibilidad de una comunidad (hogares rurales) es el grado en el cual es modificada o afectada por una perturbación. La sensibilidad y la exposición de una comunidad a nivel de hogares rurales son conceptos casi inseparables.

La sensibilidad a nivel de hogares rurales es manifiesta en parte por el grado al cual la producción se altera como resultado de un cambio climático (sensibilidad de la producción o agrícola) y en parte por el grado al cual el bienestar general de los hogares es afectado por el cambio en la producción (sensibilidad de los medios de vida).

**Capacidad de adaptación.** Se define como la capacidad de un sistema y de sus partes de anticipar, absorber, acomodar o recuperarse de los efectos de un disturbio de manera oportuna y eficiente. La capacidad de adaptación de una comunidad (hogares rurales) es la habilidad de ajustarse a los daños potenciales originados por una perturbación.

La sensibilidad y la capacidad de adaptación de una comunidad (hogares rurales) constituyen su vulnerabilidad inherente, la cual es considerada como un estado variable y dinámico, y por tanto, complejo.

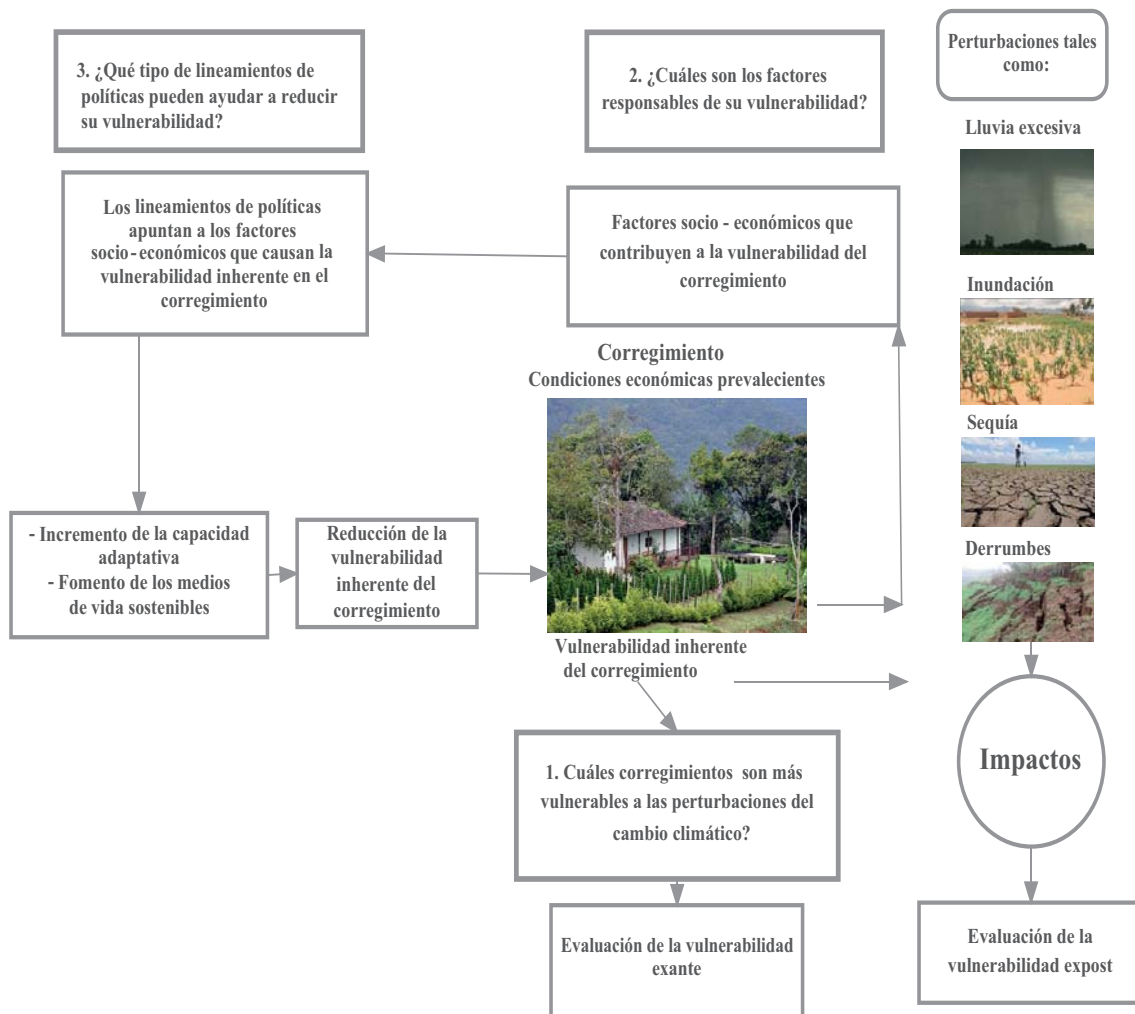
**Vulnerabilidad.** Es la propensión o predisposición a verse afectado negativamente. Los métodos más usados para la evaluación de la vulnerabilidad en la actualidad son de carácter lineal y se plantean con algunas variantes según la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} \text{Vulnerabilidad} &= \text{Capacidad de Adaptación} - (\text{Exposición} + \text{Sensibilidad}) \text{ o,} \\ \text{Vulnerabilidad} &= \text{Sensibilidad} - \text{Capacidad de Adaptación (adoptada por el IDEAM)} \text{ o,} \\ \text{Vulnerabilidad} &= (\text{Exposición} + \text{Sensibilidad}) - \text{Capacidad de Adaptación} \\ &\quad \text{(adoptada por el CIAT)} \end{aligned}$$

Dado que la relación entre la vulnerabilidad, la sensibilidad y la capacidad de adaptación es realmente dinámica, no lineal, imprecisa e incierta, es decir responde a un fenómeno complejo, socioeconómico y ambiental, se propone como alternativa la posibilidad de mejorar el resultado que arrojan las fórmulas matemáticas ya conocidas (lineales) del Índice de Vulnerabilidad de los Medios de Vida (LVI) o el Índice del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), llevando a cabo un ejercicio de un sistema difuso jerárquico (no lineal), por definición más ajustado a los sistemas complejos, dinámicos, turbulentos, y no predecibles con exactitud.

Chambers (1995) propone que la vulnerabilidad significa exposición e indefensión. Tiene dos lados: el lado externo de la exposición a shocks, estrés y riesgo; y el lado interno de la indefensión, es decir, de la falta de medios para hacerles frente sin una pérdida perjudicial.

Esquema de la investigación. En la Figura 2 se explica el esquema de la investigación como un croquis alrededor de la formulación de tres preguntas.



**Figura 2.** Esquema de la investigación.  
Fuente: Adaptado de Rajesh et al. (2014).



**Figura 3.** División política del área rural del municipio de Cali.

Fuente: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Corregimientos\\_de\\_Santiago\\_de\\_Cali.png](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Corregimientos_de_Santiago_de_Cali.png)

Para la investigación se escogieron los corregimientos de ladera: La Paz, La Elvira, Villacarmelo, Golondrinas, Montebello, Los Andes, Felidia y Pance. El criterio fue la oportunidad de generación de información primaria mediante encuesta para determinar la capacidad de adaptación al cambio climático, según la base de datos provista por la Unidad Municipal de Asistencia Técnica Agropecuaria de la Secretaría de Desarrollo Territorial y Bienestar Social de la Alcaldía de Cali.

Recogida de datos. La información se recogió mediante encuesta a 92 hogares rurales según la disponibilidad de la base de datos de la Unidad Municipal de Asistencia Técnica Agropecuaria de la Secretaría de Desarrollo Territorial y Bienestar Social de la Alcaldía de Cali.

Se escogió la Evaluación Rural Rápida (RRA), como una forma más eficiente y productiva de aprendizaje para los investigadores de los sistemas agrícolas, pues no acude a encuestas sociales a gran escala, puesto que busca obtener una imagen correcta de la situación en términos generales (Brock, s.f; Tetsuya, 2009; Malleson, 2008; Chambers & Conway, 1991; Kappel, 2010; Schoomaker, s.f.; Harrison, 2007). En la RRA normalmente el muestreo formal no se utiliza en la selección de sitios para la evaluación de los Medios de Vida Sostenibles.

Todos los datos fueron normalizados desde las entradas (preguntas cualitativas de la encuesta) al tomar valores entre 0 y 10.

Caja de herramientas *fuzzy* de Matlab. Se utilizó la caja de herramientas *fuzzy* de Matlab para la construcción de un sistema de inferencia difuso con el cual se interpretaron los valores en el vector de entrada y, dadas unas reglas definidas por el usuario, se asignaron valores para el vector de salida. Esta herramienta cuenta con los siguientes editores y visores:

*Editor FIS*. Muestra información general sobre un sistema de inferencia difuso; *Editor de Funciones de Pertenencia*: Permite ver y editar las funciones de pertenencia asociadas a las variables de entrada y salida del FIS; *Editor de Reglas*: Permite ver y editar las reglas difusas; *Visor de Reglas*: Permite ver el comportamiento detallado de una FIS; *Visor de Superficies*: Genera una superficie 3-D a partir de dos variables de entrada y la salida de un FIS. (Ver Figura 4).

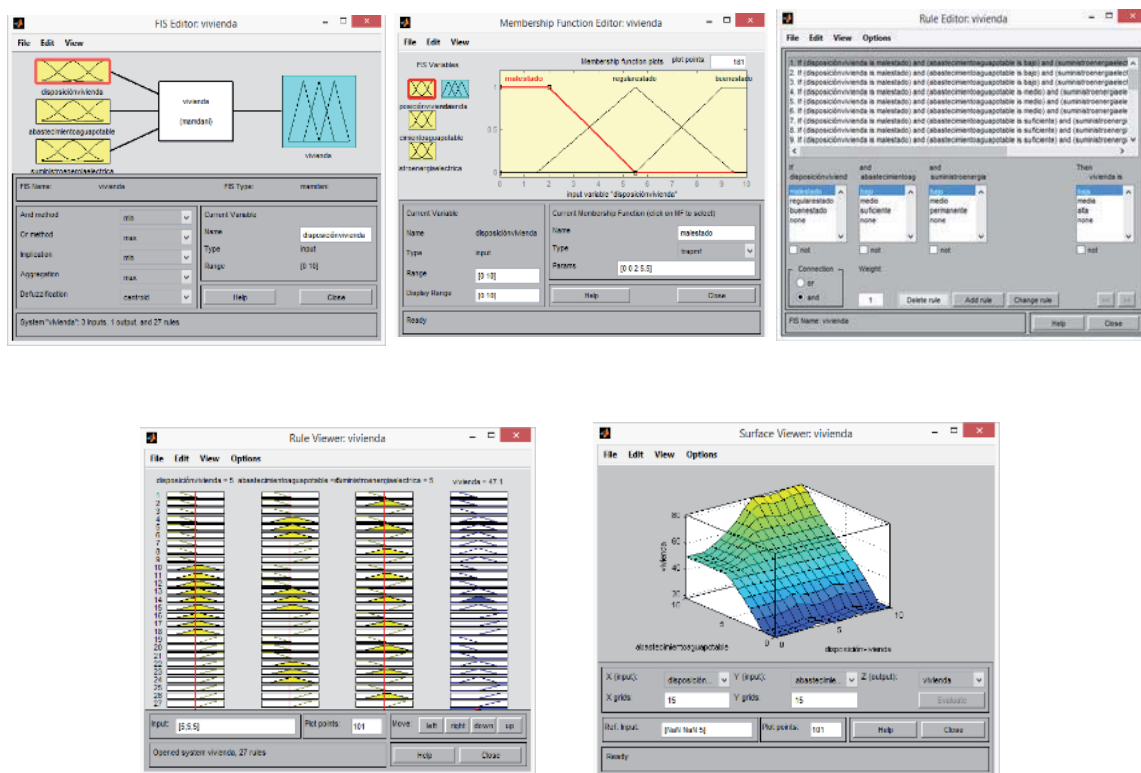


Figura 4. Editores y visores de Matlab.  
Fuente: Matlab

Evaluación difusa de la capacidad de adaptación y la sensibilidad. Se utilizó la herramienta *fuzzy* del software Matlab. En la Figura 5 se ilustra el esquema utilizado para determinar la capacidad de adaptación según un sistema difuso jerárquico. Las entradas (Fase 1) corresponden a las variables obtenidas de la encuesta. En la Figura 6 se exhibe el esquema para la sensibilidad, y en la Figura 7 para la vulnerabilidad.

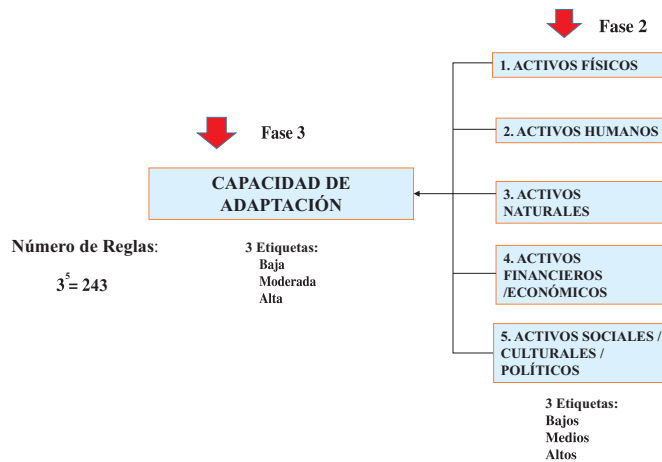


Figura 5. Esquema del sistema difuso jerárquico de la capacidad de adaptación.

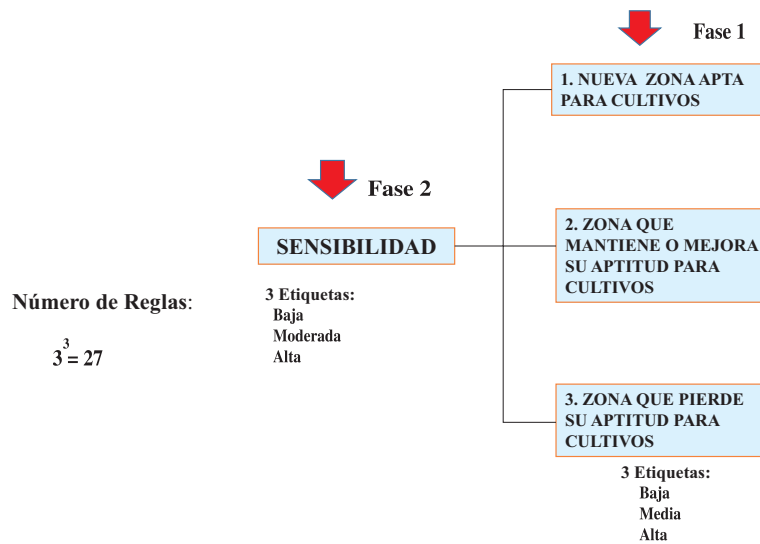


Figura 6. Esquema del sistema difuso jerárquico de la sensibilidad.

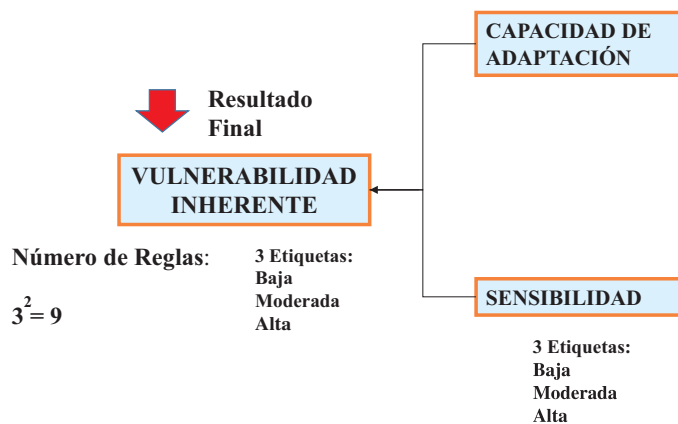


Figura 7. Esquema del sistema difuso jerárquico de la vulnerabilidad.

Indicadores de la capacidad de adaptación. Se muestran enseguida los indicadores escogidos dentro de cada uno de los activos y sus correspondientes sub-indicadores. Estos últimos son las variables de entrada al sistema de inferencia difuso jerárquico de la capacidad de adaptación.

### **Indicadores de activos fijos**

*Vivienda.* Posesión de vivienda, abastecimiento de agua potable y suministro de energía eléctrica.

*Tecnología.* Utilización de la tecnología: Generación de tecnología como un proceso conducido por el agricultor y sensible a su contexto local y generación de tecnología intensiva en el trabajo.

### **Indicadores de activos humanos**

*Educación.* Escolaridad: Entrenamiento o capacitación agrícola, investigación conducida por agricultor y sensible al contexto local.

*Trabajo.* Disponibilidad de trabajo en lo agropecuario, disponibilidad de trabajo no agropecuario y recuperación personal (resiliencia) frente a la adversidad.

*Nutrición y Salud.* Estado de nutrición: Seguridad alimentaria y estado de salud.

### **Indicadores de activos naturales**

*Tierra.* Tenencia y acceso a la tierra, uso de la tierra y agricultura basada en los principios ecológicos.

*Servicios ambientales.* Disponibilidad de agua para riego, uso de los bosques y uso de plantas como medicina tradicional.

*Protección/conservación/recuperación ambiental.* Protección del suelo y del agua, conservación de las semillas y conservación/recuperación del bosque.

### **Indicadores de activos financieros-económicos**

*Dinero.* Ingresos y ahorros.

*Valor Agregado.* Conformación de redes (clústeres) agroalimentarias, eliminación de intermediarios para llegar al consumidor y procesamiento/ industrialización de la producción a nivel de finca.

### **Indicadores de activos sociales-culturales-políticos**

*Participación Social.* Participación en instituciones formales, grado de confianza y solidaridad en la comunidad, acceso a la información (prensa, radio, televisión, Internet).



### ***Valores culturales***

Conservación de la cultura local y promoción del arraigo campesino en la comunidad, sostenimiento de los papeles de la mujer para la preservación de la agrobiodiversidad, oposición de los agricultores a la privatización y control del uso de semillas.

### ***Participación política***

Existencia de políticas habilitantes para la adaptación al cambio climático, la seguridad alimentaria y la reducción de la pobreza; existencia de enfoques de desarrollo participativo y sostenible de los pequeños productores rurales; influencia de las comunidades en la toma de decisiones para aumentar su capacidad de injerencia tanto en los mercados como en las políticas.

Indicadores de la sensibilidad. La sensibilidad de una comunidad (hogares rurales) es el grado en el cual es modificada o afectada por una perturbación.

El CIAT reconoce a la sensibilidad de producción como sensibilidad agrícola (causa directa restringida a la producción agrícola, no a otro tipo de producción) sin tener en cuenta la causa indirecta; y a la sensibilidad de los medios de vida como sensibilidad social (efecto directo dependiente de la producción agrícola) sin tomar en consideración el efecto indirecto.

Para el CIAT (Baca et al, 2014), en un estudio de evaluación de vulnerabilidad al cambio climático y de desarrollo de estrategias de adaptación de familias cafeteras en Centroamérica, la exposición fue cuantificada por el cambio de aptitud modelado de un cultivo (en este caso el café), es decir, el grado en el cual un sistema (referido a un cultivo o sistema agrícola) es implicado en una variación en el clima, o sea, las anomalías de temperatura y precipitación, comparando los climas actuales y futuros. La exposición es una causa climática directa o biofísica, o lo que es lo mismo, sensibilidad de producción, o sensibilidad agrícola. La sensibilidad es un efecto climático directo o biofísico, o lo que es lo mismo sensibilidad social, o sensibilidad de los medios de vida.

Por tanto, se considera aquí que la exposición equivale a la sensibilidad de producción o sensibilidad agrícola (causa). Y la sensibilidad equivale a la sensibilidad social o sensibilidad de los medios de vida (efecto).

Ello significaría, que exposición de todos modos pertenece al concepto de sensibilidad. De una manera más general, según Eakin y Bojórquez-Tapia (2008), también se podría argumentar que la exposición o sensibilidad agrícola (causa) representa mayormente la sensibilidad de los hogares rurales. En un grado menor la sensibilidad de los hogares rurales corresponde a la sensibilidad social o de los medios de vida (efecto).

Sensibilidad agrícola. El cambio climático puede alterar el crecimiento de los cultivos y el período vegetativo, y en casos extremos producir daños y pérdidas. Las temperaturas más altas pueden aumentar las necesidades de respiración de las plantas y con ello la demanda de agua. También pueden modificar las características del suelo, el abastecimiento de agua para riego, y las alteraciones en la temperatura y las precipitaciones, así como en el CO<sup>2</sup>, pueden conducir a aumentar las poblaciones de plagas, malezas, insectos y enfermedades de las plantas.

En la Figura 8 se esquematiza el protocolo seguido para determinar la sensibilidad agrícola. Como se mencionó anteriormente los corregimientos de Cali están expuestos al cambio climático entre 2015 y 2030, para los cultivos evaluados: maíz, frijol, plátano, yuca y café, y en el 2030 estos cultivos experimentarán un cambio en: 1. Zonas que aparecen como nuevas aptas; 2. Zonas que mantienen o mejoran su aptitud; 3. Zonas que pierden ligeramente su aptitud; y 4. Zonas que pierden fuertemente su aptitud, según unos parámetros eco-fisiológicos determinados.

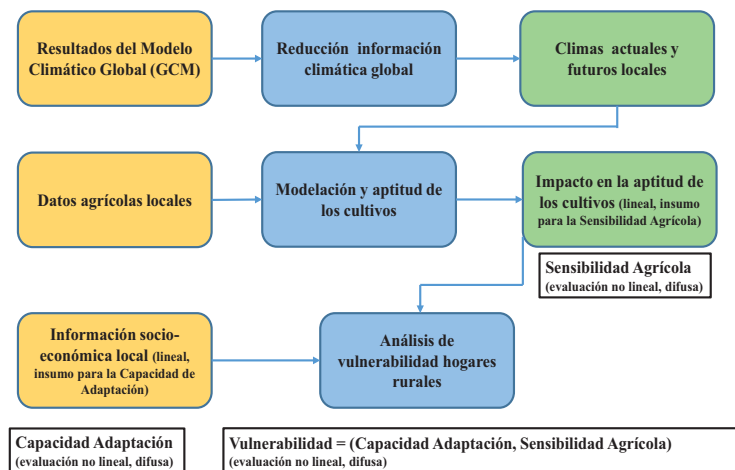


Figura 8. Protocolo para determinar la sensibilidad agrícola.

Para la modelación presente y futura de la aptitud de los cultivos, en los corregimientos de Cali se utilizaron las siguientes bases de datos WorldClimate, IPCC, Ecocrop y el software de DIVA-GIS y ArcGIS.

### 3 Resultados

Resultados de los activos de los hogares rurales de los corregimientos. En la Tabla 1 se expone la composición por activos de cada uno de los corregimientos y el promedio, destacándose el valor mayor y menor.

Tabla 1. Composición por activos de los corregimientos.

La Paz	35.4	39.5	44.2	29.5
La Elvira	40.4	40.5	44.8	30.7
Villa Carmelo	50.5	50.9	31.3	34.4
Golondrinas	59	51.3	30.1	39.2
Montebello	32	57.8	30.8	30.1
Los Andes	32.1	57	35.9	32.1
Felidia	27.5	52.8	35.9	28.2
Pance	31	51.8	48.2	31.1
<b>Promedio</b>	<b>38.5</b>	<b>50.2</b>	<b>37.7</b>	<b>31.9</b>
	<b>Físicos</b>	<b>Humanos</b>	<b>Naturales</b>	<b>Financieros</b>

Resultados de la capacidad de adaptación de los hogares rurales de los corregimientos. En la Tabla 2 se presenta la capacidad de adaptación de los hogares rurales de los corregimientos según el resultado del ejercicio difuso jerárquico:

**Tabla 2.** Capacidad de adaptación de los corregimientos.

Corregimiento	Capacidad de Adaptación (%)	Calificación difusa
La Paz	40.1	Media
La Elvira	43.0	Media
Villa Carmelo	46.8	Media
Golondrinas	52.0	Media
Montebello	36.8	Media
Los Andes	36.7	Media
Felidia	34.6	Media
Pance	36.8	Media

Golondrinas tiene la mayor capacidad de adaptación entre los ocho corregimientos de ladera de Cali presumiblemente por contar con los mayores activos físicos, naturales y financieros. Felidia, la menor capacidad de adaptación por contar con los menores activos físicos y financieros, y al mismo tiempo no detectar un activo mayor entre las cinco categorías para los ocho corregimientos.

Resultados de la sensibilidad agrícola de los hogares rurales de los corregimientos. Los parámetros eco-fisiológicos utilizados para modelar los cultivos en Ecocrop se relacionan en la Tabla 3. Se incluyen en el análisis el número de días de germinación mínima (Gmin) y máxima (Gmax) para cada especie. Los datos están multiplicados por 10 para obviar los decimales.

**Tabla 3.** Parámetros eco-fisiológicos de cultivos.

Cultivo	Gmin	Gmax	Tkill	Tmin	Topmin	Topmax	Tmax	Rmin	Ropmin	Ropmax	Rmax
Maíz	150	160	80	150	200	300	350	400	550	700	1100
Café	365	365	0	155	176	227	247	750	1400	2300	4200
Frijol	90	170	0	135	175	231	256	200	363	450	710
Cacao	180	365	100	150	180	320	360	1000	1500	2500	2800
Plátano	365	365	0	150	160	240	350	700	1000	2000	5000
Aguacate_l	365	365	120	180	260	300	320	1000	1500	2000	3000
Aguacate_h	365	365	-10	50	170	200	220	1000	1500	2000	3000
Caña_panel	210	365	-20	150	240	370	410	1000	1500	2000	5000
Cítricos	365	365	0	130	200	300	390	800	1200	2000	2500
Yuca	240	240	0	150	220	320	450	300	800	2200	2800

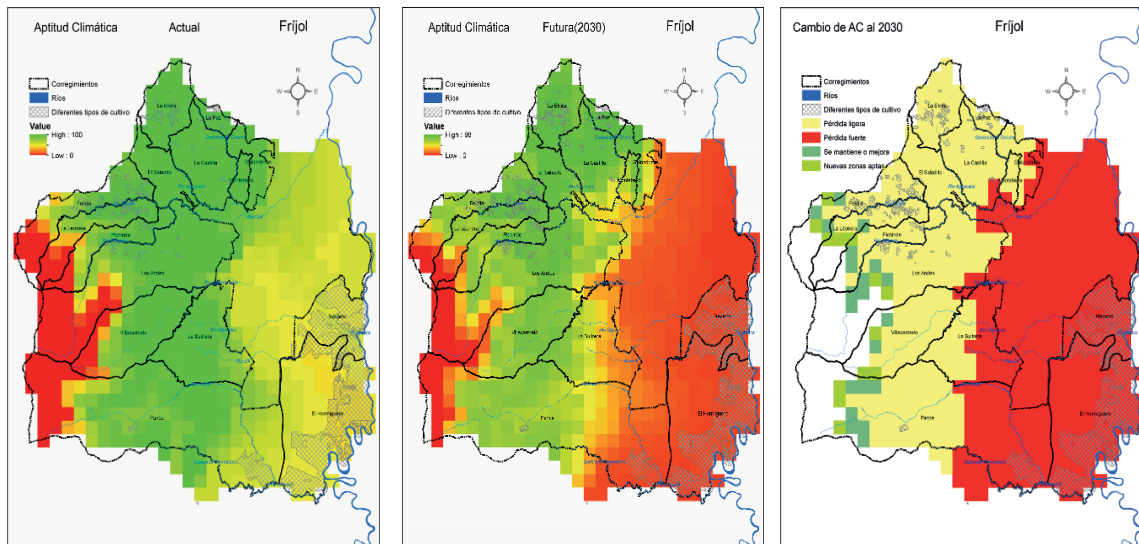
Fuente: Jesús Antonio Pantoja C. (CIAT).

Estos datos fueron validados con consulta a fuentes de información secundaria y expertos.

Se escogieron los cultivos que mejor representan la huerta casera de los hogares rurales de ladera o la seguridad alimentaria como son: maíz, fríjol, plátano y yuca. Se adiciona un cultivo comercial como es el café, por cuanto Cali, es el 4º municipio en el Valle para café.

Los patrones climáticos alterados e impredecibles tales como las altas temperaturas, sequías y lluvias torrenciales pueden aumentar la vulnerabilidad de los cultivos a las plagas y enfermedades que afectan la producción agrícola.

A continuación, en la Figura 9 se presenta el mapa de aptitud climática del cultivo del fríjol en la actualidad, año 2015 (*current*), en el futuro año 2030 (*future*), y a la derecha el cambio de aptitud climática para el cultivo de fríjol, 2015-2030, con cuatro convenciones entre amarillo oro: pérdida ligera; rojo: pérdida fuerte; verde primavera: se mantiene o mejora; y verde eléctrico: nuevas zonas aptas.



**Figura 9.** Aptitud climática, actual (2015), futura del fríjol (2030) y cambio de aptitud 2015-2030.

Fuente: Jesús Antonio Pantoja C. (CIAT).

Para calcular las zonas que: 1. Mantienen o mejoran su aptitud (verde primavera), 2. Pierden ligeramente su aptitud (amarillo oro), 3. Pierden fuertemente su aptitud (rojo), o 4. Nuevas zonas aptas que surgen (verde eléctrico), se trabajó con una cuadrícula cada corregimiento para cada uno de los cinco cultivos, correspondiendo cada cuadrado a 1 pixel, y contando su número para cada color. Del total de pixeles del corregimiento en cada cultivo se obtuvieron los respectivos porcentajes para cada una de las cuatro categorías.

El análisis que se desprende del mapa de cambio de actitud climática del cultivo de fríjol se presenta en la Tabla 4.

Dado que en los mapas aparece la distinción entre pérdida ligera y pérdida fuerte, se pondera la pérdida ligera por el 40% (0.4), dejando las otras tres categorías: en su mismo valor 100% (1). La pérdida ligera y la pérdida fuerte se consolidan en una sola categoría: pérdida. En el conjunto difuso sobre sensibilidad aparecen entonces como entradas: nuevas zonas, mantenimiento-mejoramiento y pérdida.

**Tabla 4.** Cambio de aptitud de los cultivos al 2030 en el corregimiento de Villacarmelo.

Villa Carmelo: Cambio Aptitud Cultivos (2015-2030)					Suma	Promedio ponderado
Maíz	Frijol	Plátano	Yuca	Café		
Mantiene o mejora	Mantiene o mejora	Mantiene o mejora	Mantiene o mejora	Mantiene o mejora		
47%	7%	3%	72%	19%	148% $\times$ 1	30%
Pierde ligeramente	Pierde ligeramente	Pierde ligeramente		Pierde ligeramente		
38%	83%	86%		61%	268% $\times$ 0.4 =107%	27%
				Pierde fuertemente		+
				6%	6% $\times$ 1	6%
Nuevas zonas	Nuevas zonas	Nuevas zonas	Nuevas zonas	Nuevas zonas		
15%	10%	11%	28%	14%	78% $\times$ 1	16%

Con los datos obtenidos de las anteriores tablas, se resumen los resultados del cambio de aptitud de los cultivos al 2030 de los corregimientos en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Resumen los resultados del cambio de aptitud de los cultivos al 2030 de los corregimientos.

Corregimiento	Nuevas zonas	Mantenimiento-Mejoramiento	Pérdida
La Paz	20%	68%	28%
La Elvira	29%	60%	27%
Villa Carmelo	16%	30%	33%
Golondrinas	0%	63%	64%
Montebello	0%	87%	89%
Los Andes	12%	33%	44%
Felidia	25%	41%	17%
Pance	7%	30%	58%

Después de realizado el ejercicio difuso en Matlab, en la Tabla 6 aparece la sensibilidad agrícola de los ocho corregimientos.

**Tabla 6.** Sensibilidad agrícola de los corregimientos.

Corregimiento	Sensibilidad (%)	Calificación difusa
La Paz	35.9	Media
La Elvira	33.8	Media
Villa Carmelo	38.5	Media
Golondrinas	59.1	Media
Montebello	82.5	Alta
Los Andes	45.6	Media
Felidia	22.4	Baja
Pance	55.5	Media

El corregimiento con la menor sensibilidad agrícola es Felidia y el corregimiento con la mayor es Montebello. Dado que Felidia asciende desde los 1390 msnm a los 3500 msnm, con temperaturas de 4°C a 12°C, tiene mayor posibilidad de absorber los impactos del calentamiento. Diferentemente, Montebello asciende de los 1040 a los 1415 msnm, con temperaturas de 22°C a 32°C, lo que la hace más sensible a mostrar grandes pérdidas de aptitud agrícola por el aumento de temperatura hacia el año 2030.

Resultados de la vulnerabilidad de los hogares rurales de los corregimientos. Retomando las preguntas de investigación:

1. ¿Cuáles corregimientos son los más vulnerables a las perturbaciones del cambio climático?
2. ¿Cuáles son los factores responsables de su vulnerabilidad?
3. ¿Qué clase de políticas pueden ayudar a reducir su vulnerabilidad?

Después de realizado el ejercicio difuso en Matlab, en la Tabla 7 aparece la vulnerabilidad de los ocho corregimientos.

**Tabla 7.** Vulnerabilidad de los corregimientos.

Corregimiento	Vulnerabilidad (%)	Calificación difusa
La Paz	40.8	Media
La Elvira	39.1	Media
Villa Carmelo	42.8	Media
Golondrinas	54.4	Media
Montebello	75.9	Alta
Los Andes	47.1	Media
Felidia	30.9	Baja
Pance	53.6	Media

Respondiendo a la pregunta de investigación 1, los corregimientos más vulnerables a las perturbaciones del cambio climático son Montebello, Golondrinas y Pance.

Con respecto a la pregunta de investigación 2, los factores responsables de la vulnerabilidad de los hogares rurales de los corregimientos, en relación con el primer componente; la capacidad de adaptación, son relacionados en la Tabla 8 en orden descendente.

**Tabla 8.** Orden descendente de los factores responsables (los activos) de la vulnerabilidad de los hogares rurales de los de los corregimientos.

1. Activos financieros-económicos
2. Activos naturales
3. Activos físicos
4. Activos humanos
5. Activos sociales-culturales-políticos

En conclusión, en la Tabla 9 se registra la frecuencia de aparición de las variables de los componentes de los activos, como factores responsables de la vulnerabilidad de los hogares rurales de los de los corregimientos. Estos factores tienen la connotación de una carencia o una insuficiencia. Por supuesto las frecuencias más altas son las que más tienen incidencia en todos los corregimientos.

**Tabla 9.** Frecuencia de aparición de las variables de los componentes de los activos en la responsabilidad de la vulnerabilidad de los hogares rurales de los de los corregimientos.

Activos financieros-económicos	
<i>Dinero:</i> Pance, Villa Carmelo, Felidia, La Paz, Montebello	Ahorros (5)
	Capacidad amortiguación riesgos mercados/estabilidad económica (4)
	Ingresos (2)
<i>Valor agregado:</i> Felidia, Montebello, Los Andes, Villa Carmelo, Golondrinas	Conformación de redes (cluster) agroalimentarias (4)
	Procesamiento/industrialización producción al nivel de finca (4)
	Eliminación de intermediarios para llegar al consumidor (4)
<b>Activos naturales</b>	
<i>Protección-conservación-recuperación ambiental:</i> Golondrinas, Montebello, Villa Carmelo, Felidia	Conservación-recuperación del bosque (4)
	Protección del suelo y el agua (2)
<i>Servicios ambientales:</i> Villa Carmelo, Felidia	Uso doméstico de los bosques (2)
	Disponibilidad de agua para riego (1)
<b>Activos físicos</b>	
<i>Vivienda:</i> Felidia, Pance, Montebello, Los Andes, La Paz	Abastecimiento agua potable (5)
	Disponibilidad de vivienda (1)
<i>Tecnología:</i> Felidia, Villa Carmelo, Golondrinas	Asistencia generación tecnología intensiva en trabajo (3)
	Asistencia generación tecnología como proceso activo del agricultor (2)
	Utilización de tecnología (1)
<b>Activos humanos</b>	
<i>Educación:</i> Villa Carmelo, Felidia, Pance, La Paz	Asistencia investigación como proceso activo del agricultor (3)
	Entrenamiento-capacitación agrícola del agricultor (1)
<b>Activos sociales-culturales-políticos</b>	
<i>Participación política:</i> Los Andes, Montebello, Villa Carmelo	Existencia políticas habilitantes adaptación cambio climático, seguridad alimentaria, reducción de pobreza (2)
	Existencia enfoques desarrollo participativo y sostenible pequeños productores rurales (2)
	Influencia comunidades toma de decisiones para aumentar capacidad injerencia en mercados y políticas (1)
<i>Valores Culturales:</i> Villa Carmelo	Sostenimiento papeles mujer en preservación agrobiodiversidad (1)

De nuevo, con relación a la pregunta de investigación 2, los factores responsables de la vulnerabilidad de los hogares rurales de los corregimientos, ahora en relación con el segundo componente, la sensibilidad agrícola, son el rango de altitudes en msnm del área geográfica (Felidia 1390 msnm a 3500 msnm y Montebello 1040 msnm a 1415 msnm) y el rango de temperaturas en grados centígrados (un parámetro a los que los cultivos son muy sensibles, Felidia 4°C a 12°C y Montebello 22°C a 32°C), los que permiten en mayor o menor medida confrontar el impacto del cambio climático debido al calentamiento global.

Por supuesto, a lo anterior se agregan los cambios en las temporadas y las intensidades en los regímenes de lluvias, puesto que el cambio climático también incide en las precipitaciones, principalmente cuando está ligado a la variabilidad climática, la que a su vez afecta la temperatura porque lleva asociada una variación del brillo solar.

#### 4 Discusión

La metodología propuesta demostró ser funcional para trabajar con todos los conceptos de sostenibilidad, incluyendo los medios de vida, para determinar la vulnerabilidad de hogares rurales de corregimientos de Cali frente al cambio climático.

El método propone cuatro características importantes, que pueden ser consideradas por quienes toman decisiones sobre las zonas de ladera de Cali, que tratan con ambigüedad y con diversidad en la gestión de la sostenibilidad. 1. Permite la combinación de varios aspectos de sostenibilidad de los medios de vida con diferentes unidades de medida. 2. Se sobrepone a la dificultad de evaluar ciertos atributos o indicadores de sostenibilidad sin criterios cuantitativos específicos. 3. Es fácil de usar e interpretar. 4. Está abierta a mejoramiento, basado en un mejor entendimiento de las realidades a futuro.

#### Referencias bibliográficas

- [1] Baca, M., et al. (2014) An Integrated Framework for Assessing Vulnerability to Climate Change and Developing Adaptation Strategies for Coffee Growing Families in Mesoamerica CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical).
- [2] Brock K. (s.f.) Implementing a Sustainable Livelihood Framework for Policy-directed Research: reflections from practice in Mali: Working Paper 90
- [3] Chambers, R. (1995). Poverty and livelihood: whose reality counts? *Environment and Urbanization*: 7, 173.
- [4] Chambers, R. and Conway, G. (1991). Sustainable Rural Livelihood: practical concepts for the 21st century; IDS, Discussion Paper 296.
- [5] DFID, Department for the International Development (1999) Hojas Orientativas sobre los Medios de Vida Sostenibles.



- [6] Eakin, H., Bojorquez-Tapia, L.A. (2008). Insights into the composition of household vulnerability from multicriteria decision analysis. *Global Environmental Change*; 18 112–127.
- [7] Harrison, P. (2007) Sustainable Livelihood Analyses and Threat Assessments in Priority Areas of the Mahale Ecosystem: Mahale Ecosystem Management Project.
- [8] IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (2014). *Climate Change: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Summary for Policymakers*.
- [9] Kappel, E., and Lind, M. (2010) *the Sustainable Livelihood Approach from a Psychological Perspective: Approaches to Development*; Institute of Biology, University of Aarhus
- [10] Malleon, R. (2008). A Methodology for Assessing Rural Livelihood Strategies in West/Central Africa: Lessons from the Field; *Ecological and Environmental Anthropology (University of Georgia) Paper 25*.
- [11] Rajesh, S. et al. (2013) Assessment of inherent vulnerability of rural communities to environmental hazards in Kimsar region of Uttarakhand, India: *Environmental Development*
- [12] Schoonmaker, K. (s. f.) *Rapid Rural Appraisal (RRA) and Participatory Rural Appraisal (PRA): A Manual for CRS Field Workers and Partners*; Food for Peace, Bureau for Humanitarian Response, United States Agency for International Development
- [13] Scoones, I. (1998) *Sustainable Rural Livelihood: A Framework for Analysis*; IDS, Institute of Development Studies
- [14] Tetsuya, K, (2009) *Rapid Rural Appraisal: Manual for Development Practitioners*. 1st. Edition, Kantarrow.

### **Direcciones de los autores**

Luis Fernando Gómez G.

Departamento de Biología, Universidad del Valle, Cali - Colombia

luisfegoz@msn.com

Orlando Zúñiga Escobar

Departamento de Física, Universidad del Valle, Cali - Colombia

agrophysik49@gmail.com