

NardóSanjines Tudela, Gimmy; Aliaga Lordemann, Javier

Working Paper

Amenazas ambientales y vulnerabilidad en un contexto de variabilidad climática para Bolivia

Documento de Trabajo, No. 04/11

Provided in Cooperation with:

Instituto de Investigaciones Socio-Económicas (IISEC), Universidad Católica Boliviana

Suggested Citation: NardóSanjines Tudela, Gimmy; Aliaga Lordemann, Javier (2011) : Amenazas ambientales y vulnerabilidad en un contexto de variabilidad climática para Bolivia, Documento de Trabajo, No. 04/11, Universidad Católica Boliviana, Instituto de Investigaciones Socio-Económicas (IISEC), La Paz

This Version is available at:

<http://hdl.handle.net/10419/72753>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.



Instituto de Investigaciones Socio Económicas

Documento de Trabajo No. 04/11
Marzo 2011

**Amenazas Ambientales y Vulnerabilidad en un
Contexto de Variabilidad Climática para Bolivia**

por:
Gimmy Nardó Sanjines Tudela
Javier Aliaga Lordemann

Amenazas Ambientales y Vulnerabilidad en un Contexto de Variabilidad Climática para Bolivia

por: Gimmy Nardó Sanjines Tudela¹
y Javier Aliaga Lordemann

Resumen

El objetivo del presente trabajo de investigación es mostrar el impacto de las amenazas de la inundación, la sequía y la helada en el bienestar de las diferentes regiones de Bolivia, tomando a las vulnerabilidades como variables de aproximación a los indicadores socioeconómicos de bienestar.

La investigación es importante porque aporta al estado del conocimiento con un nuevo método para estimar e identificar los impactos en el bienestar socio económico producido por el cambio climático. El método para su validación se aplica de manera particular en la población boliviana. Este aporte se genera de combinar el análisis de la variabilidad climática – que básicamente se expresa en las amenazas, vulnerabilidades y el riesgo - con la inteligencia artificial.

Para lograr el objetivo planteado he identificar las relaciones entre amenazas, vulnerabilidades y el bienestar se construyen diversos Sistemas Expertos (los mismos que pertenecen al área de la Inteligencia Artificial) con base en el algoritmo C4.5. El algoritmo tiene como característica principal que permite ensamblar los árboles de decisión con base en tablas de datos, haciendo de esta manera el trabajo de reconocimiento de patrones mediante testores.

El reconocimiento de patrones permite describir el incremento o decremento del bienestar producido por las variables objeto de estudio logrando de esta manera el objetivo planteado.

¹ Es docente de la Carrera de Economía e Ingeniería Ambiental perteneciente a la Universidad Católica Boliviana a nivel de Post Grado y Pregrado. Administrador de “Joint European Latin American Universities Renewable Energies Project” JELARE – Bolivia. Email: g.sanjines97@egresados.uniandes.edu.co

Introducción

El calentamiento del sistema climático es inequívoco, como se desprende ya del aumento observado y demostrado del promedio mundial de temperatura del aire y del océano, de la fusión generalizada de nieves y hielos, y del aumento del promedio mundial del nivel del mar.

El calentamiento global, fenómeno largo plazo, se considera que genera el escenario propicio para la variabilidad climática, fenómeno corto plazo. La variabilidad climática es el fenómeno que las personas perciben en su cotidiano vivir, el mismo se expresa en cambios en la temporalidad, intensidad y frecuencia en que ocurren los fenómenos atmosféricos.

Por otro lado, los fenómenos naturales tienen una incidencia social, económica y natural, lo cual los convierte en amenazas. Actualmente, la manifestación de fenómenos hidroclimáticos extremos, como efecto del Cambio Climático, están agravando amenazas e incrementado la posibilidad de escenarios de desastre.

Estos escenarios de desastres y su potencial ocurrencia se denominan riesgos. El riesgo, funcionalmente hablando, resulta de la composición de las amenazas y vulnerabilidades que existen en una región determinada. Estas amenazas y vulnerabilidades impactan en el bienestar de las sociedades.

Tradicionalmente en los trabajos de investigación acerca del bienestar se enfoca el análisis en indicadores macroeconómicos, en función generalmente del Producto Interno Bruto, dejando de lado las interacciones directas e indirectas entre medio ambiente y bienestar.

Empero, en los ámbitos económico y sobre todo social, en la actualidad también se observa una utilización creciente del concepto de vulnerabilidad, que posee cuasi las mismas variables incluidas en el Índice de Desarrollo Humano (IDH), el Índice de Pobreza Humana (IPH) y las Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) que en su conjunto son considerados indicadores de bienestar. Esto se realiza con la finalidad de abordar cuestiones diversas desde perspectivas distintas a las que generalmente se utilizan.

Esta nueva perspectiva de análisis, basada en el concepto de vulnerabilidad, traslada la atención principalmente hacia los grupos o entidades expuestas a cambios ambientales. A diferencia del planteamiento tradicional el análisis de vulnerabilidad considera las diferentes presiones a las que puede verse sometida una comunidad, un municipio, un departamento o un país.

En este marco se realiza el trabajo para Bolivia con la finalidad de, por un lado, determinar una estructura formal matemática que describa el impacto que generan las amenazas y vulnerabilidades en el bienestar de las personas y por otra cuantificar el impacto.

Generalidades

Bolivia, se encuentra situada en una zona de intensa actividad climática, donde cada año la amenazan ondas tropicales como tormentas y disturbios como heladas y sequías estacionales, que afectan a los asentamientos humanos y las actividades económicas de toda índole.

En los últimos cuarenta años, la mortalidad a causa de inundaciones representan el 45% del total de vidas perdidas como efecto de eventos adversos, correspondiendo el 30% a epidemias, el 16% a deslizamientos, el 8% a terremotos y el 1% a vientos huracanados.

Si se describe a la población afectada por eventos climáticos adversos en estos mismos cuarenta años un 69% del total corresponde a sequías. Los afectados por inundaciones corresponden al 28% y por deslizamientos al 3%. [Quiroga et. al., 2010]

Las consecuencias de estos eventos se expresan en pérdidas económicas. Según la CEPAL ascienden a 965,6 millones de dólares a causa de sequías, 400 millones en deslizamientos y 804,6 millones en el caso de inundaciones.

Entre los desastres naturales reportados que se han incrementado en los últimos cinco años están la inundación y la helada: en 2002 llegó a 353 casos de inundación y en 2006 a 868; los de helada subieron de 66 a 121 en el mismo período. Los departamentos que sufrieron más en el período indicado fueron La Paz, con 404 casos de desastres naturales reportados; Beni, con 182; Potosí, con 163; Tarija, con 111; y Oruro con 110 casos.

En relación con el número de familias damnificadas, ésta se incrementó entre 2003 y 2006, por efecto de inundaciones, de 38.631 a 45.928; por heladas, de 2.402 a 7.851 familias; por granizadas, de 6.225 a 11.528 familias; por deslizamientos, de 426 a 714 familias. Los departamentos donde mayor cantidad de familias sufrieron los efectos de los desastres naturales en 2006 fueron La Paz, con 16.849; Potosí, con 12.256; Beni, con 9.511; Santa Cruz, con 8.862 y Oruro con 8.113 familias. [INE, 2010]

Por otro lado, si se describen las vulnerabilidades, estas se encuentran asociadas estructuralmente a los modelos de desarrollo vigentes, que generan desigualdades sociales, económicas y políticas, marginalidad, inequidad y exclusión social. Las condiciones de vulnerabilidad se relacionan a largo plazo con la migración acelerada, al deterioro ambiental, a las condiciones de pobreza y la debilidad institucional

Cabe mencionar que Bolivia mejoró en la agenda de la gestión del riesgo mediante la aplicación de estrategias de intervención y la formulación de instrumentos normativos que coadyuvar en el fortalecimiento de las instancias de decisión política (CONARADE) y técnica (SINAGER). Sin embargo, las entidades relacionadas con la temática tienen dificultades para desarrollar tareas más amplias e integrales que contemplen todas las etapas del ciclo de la gestión del riesgo debido, entre otros, a factores de manejo de información, aplicación de investigaciones, diseño de herramientas e instrumentos y procesos de planificación relacionados con la reducción del riesgo.

Por lo tanto la problemática general del escenario de riesgo en Bolivia, desde una visión integral que asocia la identificación de las amenazas, la evaluación de las vulnerabilidades y la definición de líneas de acción estratégicas de reducción del riesgo, se relaciona con las condiciones socioeconómicas.

Metodología

Para investigar sobre el impacto de las amenazas y vulnerabilidades en el bienestar se plantean los siguientes pasos:

- Acopio de información referente a amenazas, vulnerabilidades y variables que pueden mostrar el bienestar de los 347 municipios de Bolivia.
- Segmentación de las variables en altiplano, valles y llanos para un mejor análisis.
- Como tercer paso se utiliza el algoritmo C4.5 para construir los sistemas expertos.
- Se realiza el análisis de significancia y diagnóstico del sistema experto mediante la matriz de confusión.

- Finalmente se efectúa el análisis e interpretación de los resultados. Simulando las respuestas mediante el software generado.

Aspectos teóricos sobre Inteligencia Artificial y los modelos C4.5

Reconocimiento de Patrones

Se entiende por reconocimiento de patrones a la ciencia que se integra como un componente del área de la Inteligencia Artificial que se ocupa, en este caso en particular, de describir procesos y/o fenómenos económicos y su relación con el medio ambiente utilizando dispositivos computacionales. Estos dispositivos computacionales procesan la información que finalmente permite establecer propiedades y/o vínculos entre conjuntos de variables con las cuales se intenta explicar el fenómeno.

Los objetos abstractos, materia prima para el reconocimiento de patrones, son n-uplos de un cierto producto cartesiano de conjuntos de cualquier naturaleza – como la Teoría Clásica de Conjuntos, Teoría Difusa, Teoría Rugosa o de cualquier teoría de conjuntos que en un futuro se pueda crear.

El reconocimiento de patrones (RP), en general es una ciencia interdisciplinaria cuyas fuentes integrantes son la matemática y la ingeniería de sistemas. El terreno de aplicación y trabajo del RP es amplio y variado. Tanto desde el punto de vista de las investigaciones llamadas fundamentales, teóricas o básicas; así como las aplicaciones en diferentes áreas del conocimiento.

Ingresa al reconocimiento de patrones de manera formal se describe inicialmente un objeto O el mismo que es un n-uplo $I(O) = (x_1(O), \dots, x_n(O))$ donde $x_i(O) \in M_i$ con $i = 1, \dots, n$. Sobre M_i no se asume estructura algebraica, topología o lógica alguna.

A partir de un conjunto de descriptores de m objetos, que se denominan testores, se describe cualquiera de los patrones inmersos. Es decir, si se tiene una matriz MA de una muestra de entrenamiento de la matriz $M \subseteq U$, los descriptores son representados por tantas columnas como variables y de tantas filas como registros y estas filas agrupadas en r clases. Si el conjunto completo de las variables R es tal que las descripciones de objetos de la muestra M (filas de MA) que se encuentran en clases diferentes no se confunden, decimos R es un testor.

De manera consecuente se dice que el conjunto $r = \{t_1, \dots, t_r\}$ de columnas de la tabla T (y sus respectivos rasgos $(x_{t_1}, \dots, x_{t_r})$) de denomina testor para $(T_0, T_1) = T$, si después de eliminar de T todas las columnas excepto las de r , no existe fila alguna en T_0 igual a una de T_1 . [Abadia, 2010]

El proceso de extracción del conocimiento

El descubrimiento de conocimiento en bases de datos (en inglés *knowledge Discovery from Databases*, KDD) es un proceso iterativo e interactivo. Es iterativo porque la salida de alguna de las fases puede hacer volver a pasos anteriores y porque a menudo son necesarias varias iteraciones para extraer conocimiento de calidad. Es interactivo porque el usuario, o más generalmente un experto en el dominio del problema, debe ayudar en la preparación de los datos y la validación del conocimiento extraído.

El proceso de KDD se organiza en cinco fases; en la fase de integración y recopilación de datos se determinan las fuentes de información que pueden ser útiles. A continuación, se transforman todos los datos en una sistematización formal. Frecuentemente mediante un almacén de datos que logre unificar de manera operativa toda la información recogida, detectando y resolviendo las inconsistencias. Estas situaciones se tratan en la fase de selección, limpieza y transformación, en la que se eliminan o corrigen los datos incorrectos y se decide la estrategia a seguir con los datos incompletos. La selección incluye tanto una fusión horizontal como vertical. Las dos primeras fases se suelen complementar bajo el nombre de “preparación de datos”. En la fase de minería de datos se analiza cual es la tarea a realizar y se elige el método que se va a utilizar (Se define cual es la finalidad del sistema experto y cuál de estos utilizar). En la fase de evaluación e interpretación se evalúan los patrones y se analizan por los expertos, y si es necesario se vuelve a las fases anteriores para una nueva iteración. Esto incluye resolver conflictos con el conocimiento que se disponía anteriormente. Finalmente, en la fase de difusión en la que se muestra el trabajo del sistema experto.

Algoritmo de inducción de Sistemas Expertos por Árboles de Decisión C4.5

El algoritmo C4.5 permite construir a partir de un conjunto de datos de entrenamiento un sistema experto que tiene como estructura básica un árbol de decisión que representa la relación que existe entre la decisión y sus atributos o variables. Para construir el sistema experto se realizan estratificaciones binarias sucesivas en el espacio de las variables explicativas, de forma que para realizar cada partición se escoge la variable que aporta más información en función de una medida denominada entropía o cantidad de información que posee.

El árbol de decisión se construye bajo las siguientes premisas:

- Cada nodo corresponde a un atributo y cada rama al valor posible de ese atributo. Una hoja del árbol especifica el valor esperado de la decisión de acuerdo con la base de datos utilizada. La explicación de una determinada decisión viene dado por la trayectoria desde la raíz a la hoja representativa de decisión.
- A cada nodo se le asocia aquel atributo más informativo que aun haya sido considerado en la trayectoria desde la raíz.
- Para medir el nivel informativo de un atributo se emplea el concepto de entropía. Cuanto menor sea el valor de la entropía, menor será la incertidumbre y más útil será el atributo para la clasificación.

El algoritmo, como principio, utiliza el criterio denominado *gain* (ganancia) para elegir el atributo (variable) con base en el cual se realiza cada partición, estas particiones llegan a constituir el árbol.

Lo anterior, de manera formal matemática, se expresa de la siguiente manera: Sea un conjunto aleatorio de elementos de un conjunto T denominado población, y que pertenece a una clase C_j . La probabilidad del mensaje que nos indica la clase a la que pertenece el elemento es:

$$P = \frac{\text{freq}(C_j, T)}{|T|}$$

Y la información que proporciona dicho mensaje es:

$$I = -\log_2 \left(\frac{freq(c_j, T)}{|T|} \right) \text{ bits},$$

Donde: $freq(c_j, T)$ representa el número de casos u observaciones en el conjunto T que pertenecen a la clase c_j y $|T|$ denota el número de casos u observaciones que contiene el conjunto T . Por tanto, tomando la esperanza matemática de la cantidad $-\log_2 \left(\frac{freq(c_j, T)}{|T|} \right)$, se tiene la cantidad media de información necesaria para identificar la clase, de entre k clases posibles, a la que pertenece un caso en el conjunto T (la denominada entropía del conjunto T). Esa cantidad media viene dada por la expresión:

$$info(T) = - \sum_{j=1}^k \frac{freq(c_j, T)}{|T|} \times \log_2 \left(\frac{freq(c_j, T)}{|T|} \right)$$

Si se conoce el valor que toma un determinado atributo X para cada elemento del conjunto T , entonces para clasificar cada elemento se requiere una cantidad de información menor que $info(T)$, esta cantidad se puede expresar como:

$$info_X(T) = \sum_{i=1}^n \frac{|T_i|}{|T|} \times info(T_i)$$

Donde T_i es cada una de las particiones hechas en el conjunto T de acuerdo con los distintos valores que tome el atributo X y $|T_i|$ el número de observaciones que contiene cada una de dichas particiones. La magnitud:

$$gain(X) = info(T) - info_X(T)$$

Mide la cantidad de información que se gana dividiendo el conjunto de datos T de acuerdo con el atributo X . Entonces, el criterio de ganancia selecciona para hacer la partición aquel atributo para el cual se maximiza la ganancia de información.

Para evitar los sesgos que favorezcan a los atributos con muchos valores posibles se plantea el siguiente estimador robusto:

$$split_info(X) = - \sum_{i=1}^n \frac{|T_i|}{|T|} \times \log_2 \left(\frac{|T_i|}{|T|} \right)$$

Que representa la entropía del conjunto T cuando es dividido de acuerdo con los valores que toma el atributo X . Esta entropía será tanto mayor cuanto más elevado sea número de dichos valores. De este modo, puede ser utilizado como divisor de $gain(X)$ para corregir los elevados valores que esta magnitud tiene para aquellos atributos que adopten un mayor número de valores posibles. Entonces, el atributo elegido para la partición es aquel para el cual el ratio de ganancia sea mayor, definiéndose esta medida como:

$$gain_ratio(X) = \frac{gain(X)}{split_info(X)}$$

El árbol construido por aplicación reiterada del criterio mostrado consta del mínimo número de atributos (variables) que se requieren para la clasificación eficiente. [Muguerza, 2006]

Análisis de resultados

Para construir el sistema experto mediante el algoritmo C4.5 se utiliza el concepto de Entropía de la información.

Los datos de entrenamiento son un sistema $S = s_1, s_2, \dots$ de muestras ya clasificadas. Cada muestra s_i es un vector conformado por $s_i = x_1, x_2, \dots$ donde x_1, x_2, \dots representan las cualidades o las características de la muestra. Los datos del entrenamiento se aumentan con un vector $C = c_1, c_2, \dots$ donde c_1, c_2, \dots representa la clase de cada muestra que pertenece a la base de datos.

TABLA 1. Variables Objeto de Estudio

CÓDIGO	VARIABLE
A1	Número
A2	Departamento
A3	Municipio
A4	Poblacion total del municipio
A5	Poblacion infantil
A6	Población adulto mayor
A7	Tasa de crecimiento
A8	Analfabetos menores de 15 años
A9	Cobertura en educacion
A10	Escolaridad menores de 19 años
A11	Termino 8vo primaria
A12	Tasa de mortalidad infantil de menores de 1 año
A13	Déficit de Personal calificado en salud por cada 1000 habitantes
A14	Mujeres embarazadas con Cuarto control prenatal
A15	Incidencia de Pobreza extrema
A16	Consumo promedio
A17	Razon de dependencia (Poblacion entre 14 y 64 años)
A18	Calidad de construccion
A19	Habitabilidad de la vivienda
A20	Sin cañería
A21	Sin baño
A22	Con luz
A23	Sin luz
A24	Superficie (has)
A25	Poblacion (CNPV 2001)
A26	Vulnerabilidad global
A27	Multi amenaza
A28	Riesgo total
A29	Grado de inundacion
A30	Grado de sequia
A31	Grado de helada
A32	Riesgo de inundacion
A33	Riesgo de sequia
A34	Riesgo de helada

Elaboración: Propia

C4.5 utiliza el hecho de que cada cualidad de los datos se puede utilizar para tomar una decisión que estructure los datos en subconjuntos más pequeños. Es por esta razón que se examina el aumento de información en la variable seleccionada (diferencia en entropía), esto resulta de elegir una cualidad para diferenciar el conjunto de datos. La cualidad con el aumento normalizado más alto de la información es la que se utiliza para tomar la decisión. El algoritmo entonces se repite en las sub-listas más pequeñas.

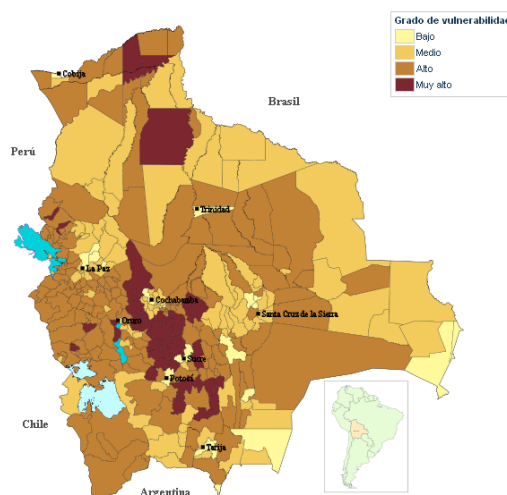
Se aclara que antes del proceso de datos, para un análisis por segmentos, se toman bases de datos separadas pertenecientes a la zona del altiplano (Departamentos de La Paz,

Oruro y Potosí), valles (Departamentos de Cochabamba, Chuquisaca y Tarija) y llanos (Departamentos de Santa Cruz, Beni y Pando).

Para mostrar el análisis de la presente investigación, primeramente se muestra el mapa de vulnerabilidades socio-económicas (población, educación, salud, economía, vivienda y servicios básicos), luego se muestran la estructura del sistema experto, los resultados estimados y finalmente las interpretaciones.

En este orden de ideas se inicia con la descripción de la vulnerabilidad económica donde se muestra que el grado de vulnerabilidad socioeconómica bajo abarca el 7% del total de los municipios de Bolivia, subiendo a un 28.7% los de grado medio. Más de la mitad de los municipios tiene un grado de vulnerabilidad socioeconómica alto (50.8%) y están distribuidos en todos los departamentos, llegando en el caso del Departamento de Oruro al 71.4% de sus municipios. Los municipios de grado muy alto, que representan el 13.5%, se ubican en mayor proporción en la zona norte del departamento de Potosí y hacia el oeste del departamento de Cochabamba, representando un 39.5% y 28.9% de los municipios de estos departamentos, respectivamente.

Figura 1. Mapa de Grados de Vulnerabilidad

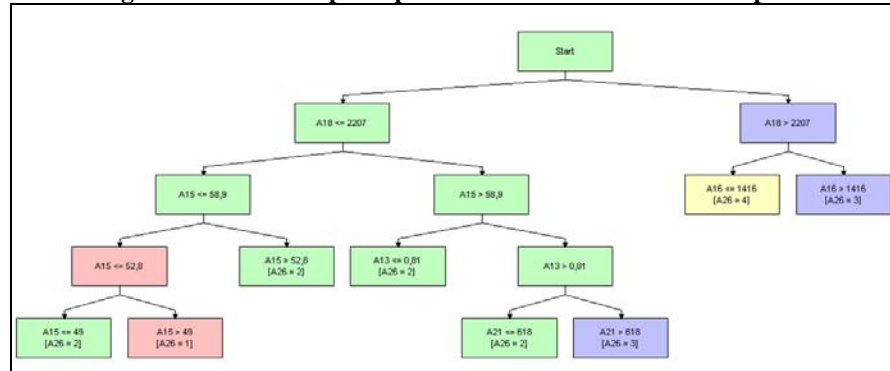


Fuente y Elaboración: Atlas-OXFAM 2008

En el contexto del presente documento, los cambios que se consideran afectan al bienestar de la sociedad son dos: i) las vulnerabilidades y ii) las amenazas naturales. Las amenazas que incurren en un comportamiento atípico o rompe el patrón son aquellos que generan desastres. Se aclara que la separación que se realiza entre bienestar y vulnerabilidad es artificial puesto que las vulnerabilidades se pueden incluir en las variables que explican el bienestar y las amenazas naturales (Que se encuentran dentro de la categoría de cambios ambientales) se pueden incluir como el escenario que excitó al sistema de bienestar como variables exógenas. Sin embargo, por su importancia en relación con el concepto de vulnerabilidad, los desastres se han considerado separadamente y en la categoría de cambios en el medio ambiente donde se incluyen otros cambios que, sin alcanzar la categoría de desastre afectan a los sistemas humano, económico y ecológico. Todo lo descrito establece por sus características un sistema complejo el mismo que se analiza a continuación con base en la inteligencia artificial, de manera particular, aplicando los sistemas expertos (SE).

El sistema experto estimado para la zona del Altiplano describe la estructura de la vulnerabilidad², ésta se muestra en la siguiente figura:

Figura 2. Sistema Experto para Vulnerabilidad – Zona Altiplano



Elaboración: Propia

El diagrama del sistema experto muestra que las variables significativas para explicar la vulnerabilidad, explicitando la codificación, son: el déficit de personal calificado en salud por cada 1000 habitantes, incidencia de la pobreza extrema, el consumo promedio, la calidad de la construcción y la ausencia de servicio sanitario.

Como se puede observar, en el árbol aparecen únicamente 5 variables de las 33 disponibles, lo que indica que 28 de las variables empleadas no aportan información relevante para construir estructuras lógicas de decisión con respecto a la vulnerabilidad y evaluar el grado de la misma. Se debe entender que los valores enteros de 1 a 4 expresan la menor y mayor incidencia respectivamente y quedando como valores de transición los valores 2 y 3 de la variable vulnerabilidad.

Se menciona que el árbol nos proporciona el menor número de atributos necesarios para alcanzar el objetivo deseado. Nuestro árbol se interpretaría del modo siguiente:

- Si el número de casas, con una aceptable calidad en su construcción es menor que 2207 y la incidencia de la pobreza se encuentra en el intervalo de [52.8 58,9] la vulnerabilidad es de 2.
- Si tomamos otra rama del árbol esta se puede interpretar de la siguiente manera: Cuando la vulnerabilidad es de 3, es decir próxima a la mayor, la pobreza extrema es mayor a 58.9, el déficit de personal calificado por cada 1000 habitantes es mayor al 0.81 y la cantidad de familias sin servicios sanitarios es menor a 618.

De esta manera se van interpretando cada una de las ramas y hojas del árbol de decisión que estructura el sistema experto.

La confianza alcanzada por el sistema experto es del orden del 76% lo que se muestra en la matriz de confusión. Cabe aclarar que la confianza es aceptable por tratarse de datos de

² Vulnerabilidad, según la norma, está referida "... al factor interno del riesgo, de un sujeto, objeto o sistema expuesto a una amenaza, que corresponde a su disposición intrínseca a ser afectado". En consecuencia, la vulnerabilidad es un factor interno que afecta al sistema social (interrelación social y actividades), a los grupos humanos (sujetos) o a la infraestructura (objetos). Está relacionada con la disposición intrínseca de estar expuesto a una amenaza y en consecuencia ser propenso a un riesgo de desastre.[Cárdenas, 2008]

La vulnerabilidad es resultado de la interacción de factores físicos, sociales, económicos, culturales y ambientales, que acrecientan o reducen la propensión o predisposición al impacto de las amenazas. Habitualmente, se considera como opuesto a vulnerabilidad la noción de "seguridad" o "capacidad"; es decir, la habilidad para proteger a la comunidad y restablecer los medios de vida.

corte transversal y que se evalúan los pronósticos como acierto o error, sin dar cabida a una respuesta aproximada.

Tabla 2. Matriz de Confusión

		ACTUAL				Prediction	
		1	2	3	4	Totals	Error%
PREDIC	1	6	0	1	0	7	14,29%
	2	6	50	6	1	63	20,63%
	3	1	13	40	7	61	34,43%
	4	0	0	0	13	13	0,00%
Actual Totals		13	63	47	21	144	24,31%
Actual Error%		53,85%	20,63%	14,89%	38,10%	24,31%	

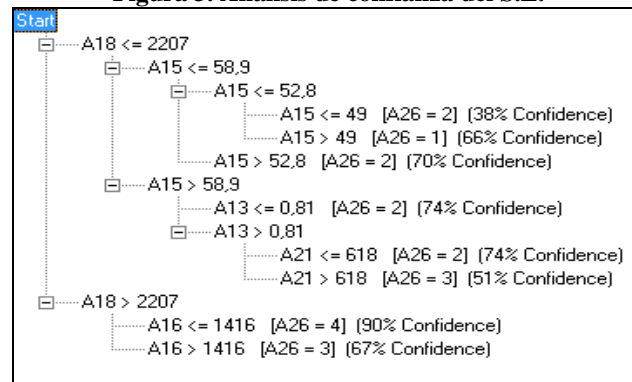
Elaboración: Propia

La evaluación de este árbol de decisión construido con la muestra de entrenamiento (144 municipios) indica que el árbol consta de 8 ramas y comete un total de 35 errores (24,31%). También se muestra en la matriz de confusión el tipo de errores cometidos.

Por último, para comprobar la capacidad predictiva del árbol, se clasifican de acuerdo con éste los 144 municipios de la muestra de validación, obteniendo un porcentaje de clasificaciones correctas del 72,2%.

El nivel de confianza para cada una de las ramas, es decir el grado de seguridad o certeza con la que se realiza cada una de las inferencias realizadas, se muestra en la siguiente figura:

Figura 3. Análisis de confianza del S.E.



Elaboración: Propia

Con base en el sistema experto estructurado se puede afirmar que las variables que poseen una mayor incidencia en la vulnerabilidad y finalmente en el bienestar son el consumo promedio, la pobreza extrema y posteriormente la población o número de habitantes, es decir que en poblaciones mayores a 2207 habitantes o más y con un consumo menor a los 1416 bolivianos se genera una vulnerabilidad de 4 - la mayor vulnerabilidad en la escala.

Esta y otras afirmaciones asociadas a la toma de decisiones se pueden simular mediante el sistema experto, cuyo interfaz de entrada de datos y salida de información se muestra en la siguiente figura.

Figura 4. Interfaz del S.E.

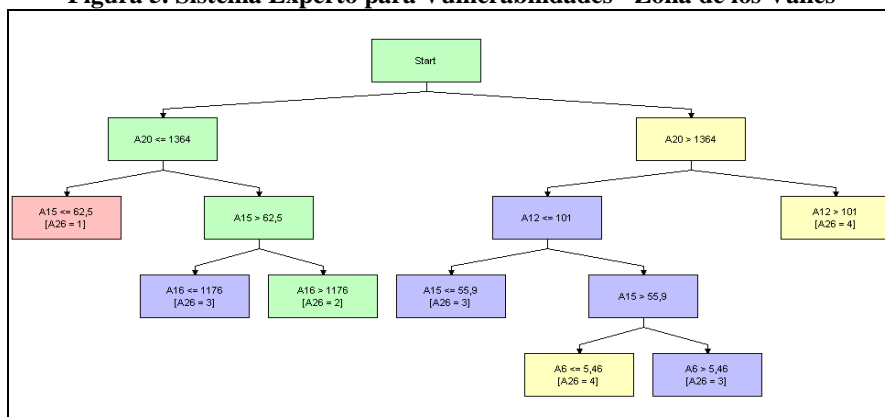
Prediction A26 is 3		Confidence Factor 67%
Field Name	Value	Range
A2	La Paz	
A4	70371	(221 - 793293)
A9	83	(0 - 142)
A12	76	(50 - 170)
A13	0,40	(0 - 4)
A15	61,9	(16 - 97)
A16	1896	(684 - 5220)
A18	6842	(22 - 20217)
A19	3009	(3 - 21299)
A21	13331	(77 - 60599)

Fuente: CorMac Technologies

Mediante el sistema se ingresan, por ejemplo, una reducción del 0.9 al 0.83 en tasas del déficit de personal calificado en salud por cada 1000 habitantes, entonces se muestra en la parte superior si este cambio es significativo para incrementar o generar un decremento en el valor asociado a la vulnerabilidad. De esta manera se pueden determinar los mejores niveles de las variables socio-económicas que minimicen la vulnerabilidad y maximicen el bienestar.

Los sistemas expertos para valles y llanos referentes a la vulnerabilidad se muestran a continuación.

Figura 5. Sistema Experto para Vulnerabilidades - Zona de los Valles

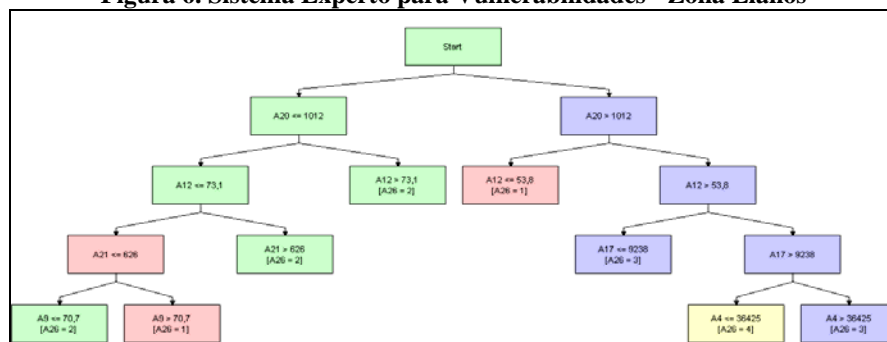


Elaboración: Propia

De los anteriores sistemas expertos se puede mencionar que en la Zona de los Valles las variables explicativas de la vulnerabilidad son la falta de alcantarillado, la incidencia de la pobreza extrema, la tasa de mortalidad infantil de menores de un año, el consumo per cápita, la falta de servicios sanitarios en los hogares y la población adulto mayor.

En la Zona de los Llanos las variables significativas son: falta de alcantarillado, tasa de mortalidad infantil menores de un año, falta de servicio sanitario en el hogar, la razón de dependencia de la población entre los 14 y 64 años, la cobertura de educación y la población del municipio.

Figura 6. Sistema Experto para Vulnerabilidades - Zona Llanos



Elaboración: Propia

Cabe entonces destacar que la variable más importante a nivel nacional es el de servicio sanitario en los hogares, siendo particular a los valles y llanos la falta de alcantarillado y la mortalidad infantil y las variables del consumo per cápita y la incidencia de la extrema pobreza en la Zona del Altiplano y los Valles. Esto se muestra en el siguiente cuadro.

Tabla 3. Identificación de Vulnerabilidades a Nivel Nacional

Variable de Vulnerabilidad	Zona del Altiplano	Zona de Los Valles	Zona de los Llanos
Falta de alcantarillado,		x	x
Tasa de mortalidad infantil menores de un año,		x	x
Falta de servicio sanitario en el hogar,	x	x	x
la razón de dependencia de la población entre los 14 y 64 años,			x
la cobertura de educación			x
la población del municipio.			x
la población adulto mayor.		x	
el consumo per cápita,	x	x	
la incidencia de la pobreza extrema,	x	x	
la calidad de la construcción y	x		
el déficit de personal calificado en salud por cada 1000 habitantes	x		

Elaboración: Propia

Las variables que agudizan la vulnerabilidad son: en la Zona del Altiplano la Calidad de la Construcción y el déficit de personal calificado en salud; en la Zona de los Valles la población adulto mayor y en la Zona de los Llanos la cobertura en educación, la razón de dependencia y la población en los municipios.

Estas variables y su incidencia en la vulnerabilidad en territorio boliviano deben tomarse en cuenta en cada región, departamento o municipio para la presentación de políticas económicas y públicas con la finalidad de incrementar el bienestar económico y social.

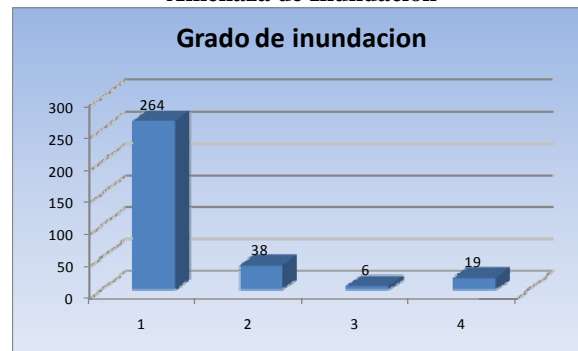
Se construyen a continuación sistemas expertos para cada una de las amenazas climáticas³, expresadas como el grado de inundación, grado de Sequia y grado de Helada.

³ Amenaza es definida como "... el factor externo del riesgo representado por la potencial ocurrencia de un suceso de origen natural o generado por la actividad humana que puede manifestarse en un lugar específico, con una intensidad y duración determinadas" La amenaza, un factor del riesgo, compromete la seguridad de las personas y su medio (asentamientos humanos, infraestructura y unidades productivas). La amenaza es un factor físico externo (a la sociedad, a la comunidad, a la familia y sus interacciones sociales), y su ocurrencia es potencialmente peligrosa. Tiene dos fuentes principales: natural (fenómeno natural) o antrópica (actividad

Tomando en cuenta su incidencia en el consumo, educación, tasa de mortalidad y la habitabilidad de las viviendas, para las diferentes regiones de Bolivia.

En la siguiente figura se muestra que aproximadamente 264 municipios se encuentran en un grado de inundación 1, lo que expresa que se posee en el país un bajo grado de inundación, empero, diecinueve municipios poseen un alto grado de amenaza los que se encuentran principalmente en el departamento del Beni.

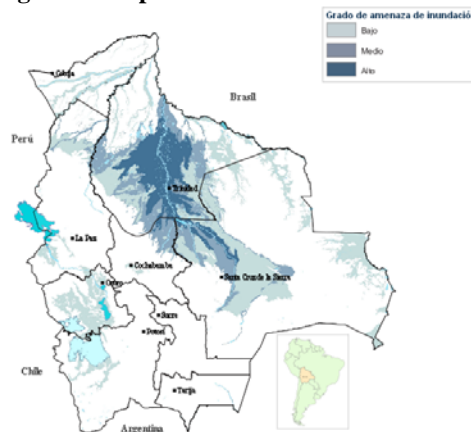
Figura 7. Número de Municipios por Grado de Amenaza de Inundación



Elaboración: Propia

En la siguiente figura, se aprecia que en la Zona del Altiplano y Zona de los Valles se tiene un grado bajo de amenaza de inundación y que la zona del oriente es el más afectado por este fenómeno.

Figura 8. Mapa de Amenaza de Inundación



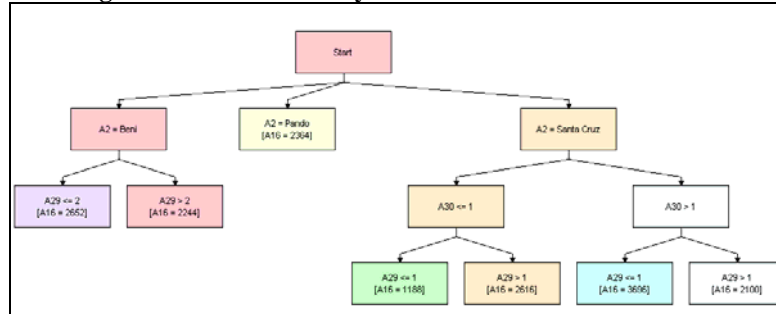
Fuente y Elaboración: Atlas-OXFAM 2008

En lo que respecta a la Zona de los Llanos, se demuestra que existe una mayor incidencia en los patrones de consumo por parte de las inundaciones de manera particular en

humana); si se considera la ocurrencia de algunos fenómenos potencialmente peligrosos combina la actividad humana y los fenómenos naturales, debe incluirse la fuente socio-natural. [Cárdenas, 2008]
 Las amenazas naturales son generadas por las manifestaciones periódicas y circunstanciales de la naturaleza; las antropogénicas están asociadas a las acciones humanas; y en las siconaturales confluyen las prácticas humanas con el ambiente natural.

los departamentos de Santa Cruz y Beni. Por otro lado en el departamento de Santa Cruz las sequias tienen un componente importante en las amenazas identificadas.

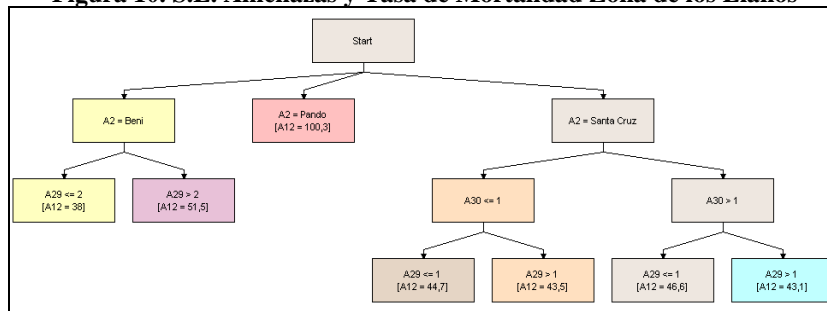
Figura 9. S.E. Amenazas y Consumo – Zona de los Llanos



Elaboración: Propia

Con respecto a la mortalidad en la Zona de los Llanos, se muestra que a niveles de 1 y 2 se tiene un nivel de 38 y a grados 3 y 4 en amenaza de inundación se tiene una mortalidad promedio de 51,5 por cada mil habitantes. Por otro lado en Santa Cruz se tiene un rango, en mortalidad, de entre 43.1 y 46.6 en zonas que son afectadas por sequias o inundaciones.

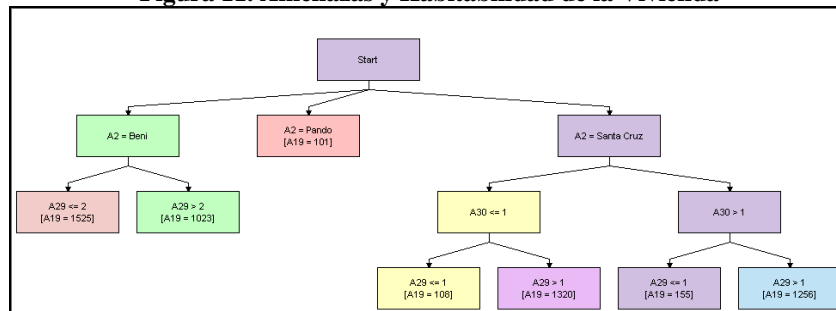
Figura 10. S.E. Amenazas y Tasa de Mortalidad Zona de los Llanos



Elaboración: Propia

Con respecto a la habitabilidad de las viviendas se muestra que en Beni a mayor grado de amenaza se reduce la habitabilidad, en cambio, en Santa Cruz se muestra una relación inversa la misma que se ve afectada porque el sistema experto toma en cuenta la variable sequía. Esto último se debe a que a ocurrencia de eventos adversos como las inundaciones, las personas pierden sus casas y tienden a hacinarse.

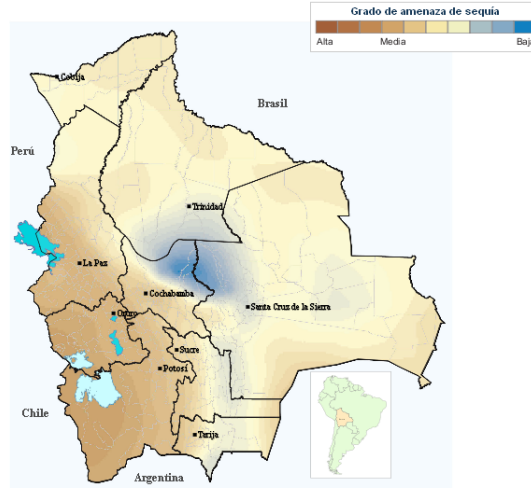
Figura 11. Amenazas y Habitabilidad de la Vivienda



Elaboración: Propia

En lo que respecta a la sequía la región más afectada es la Zona del Altiplano y parte de la Zona de los Valles. Con una frecuencia expresada en 204 municipios con un grado alto de amenaza, como se muestra en la siguiente figura.

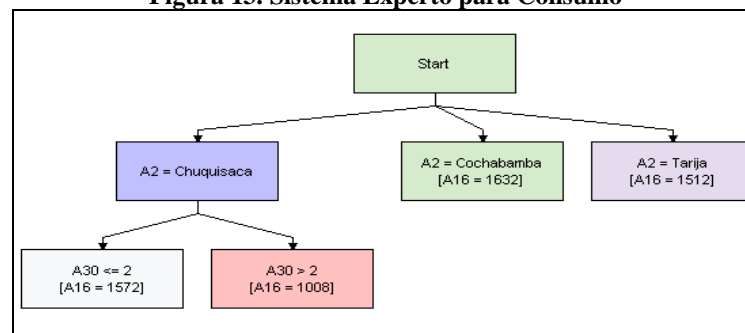
Figura 12. Mapa de Grado de Sequia



Fuente y Elaboración: Atlas-OXFAM 2008

En la Zona de los Valles, realizando el análisis con base en el S.E., se muestra una relación determinante entre las sequías y el consumo. A nivel departamental se aprecia que Chuquisaca posee las amenazas por inundaciones en relación inversa con el consumo promedio, en los departamentos de Cochabamba y Tarija no se reconocen patrones. El decremento de consumo per cápita de los municipios pertenecientes al departamento de Chuquisaca es de 564 bolivianos por unidad de amenaza de inundación.

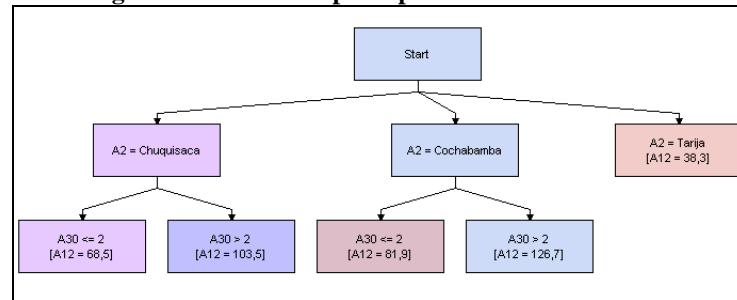
Figura 13. Sistema Experto para Consumo



Elaboración: Propia

La mortalidad infantil muestra un patrón directamente proporcional en Chuquisaca y en Cochabamba, empero, se tiene una mayor sensibilidad a la variación de amenaza en Cochabamba el mismo que es de 35 con respecto a 45 fallecidos promedio en Chuquisaca.

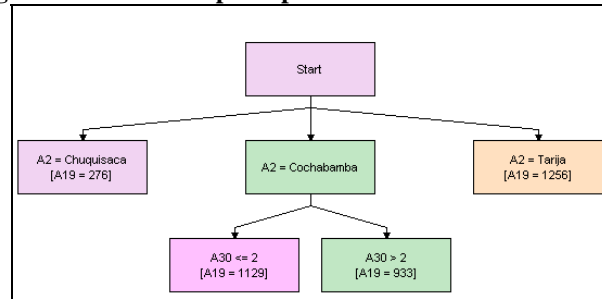
Figura 14. Sistema Experto para Tasa de mortalidad



Elaboración: Propia

Con respecto a la habitabilidad en la Zona de los Valles se identifica un patrón importante perteneciente a Cochabamba. Éste muestra que a una mayor amenaza de sequía la habitabilidad en los municipios disminuye.

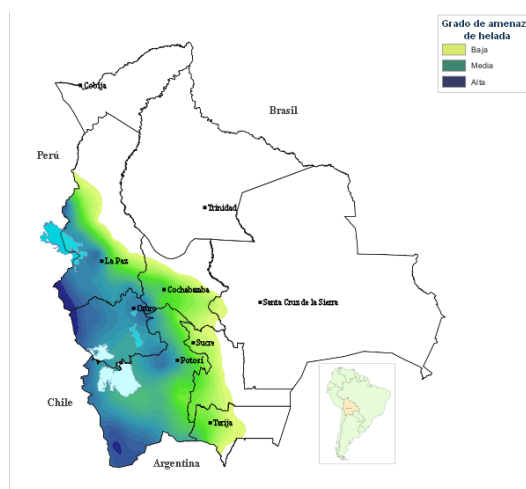
Figura 15. Sistema Experto para Habitabilidad de la vivienda



Elaboración: Propia

Las heladas, como se puede apreciar en el mapa, afectan de mayor manera a la Zona del Altiplano seguido de la Zona de los Valles en un 65% y 35% respectivamente. Lo que muestra un mayor número de municipios afectados en la Zona del altiplano.

Figura 16. Mapa de Grado de Sequia

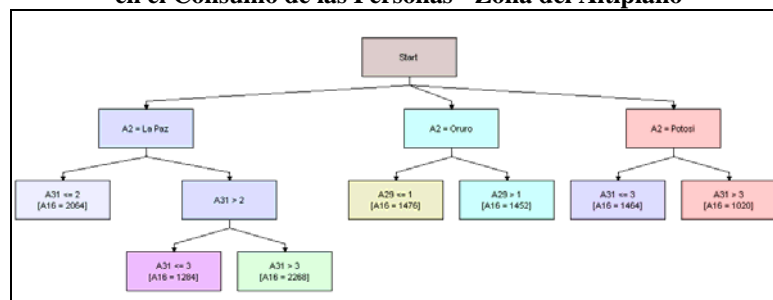


Fuente y Elaboración: Atlas-OXFAM 2008

En la Zona del Altiplano, con base en la información arrojada en el proceso de datos, se puede interpretar que la helada es una variable determinante para explicar el consumo de las personas.

En el departamento de La Paz, si el grado de amenaza es menor o igual que 2, el consumo tiene un promedio de 2064 bolivianos y si el grado de amenaza incrementa el consumo es superior. Este mismo patrón se repite en el departamento de Potosí. Se puede apreciar también que el mayor riesgo de helada se registra en Potosí y que ligado a esto se encuentra un promedio de consumo inferior a los otros dos departamentos. Es decir que en el departamento de Potosí el consumo se ve determinado por las heladas porque éstas afectan en alto grado la productividad agrícola de la región.

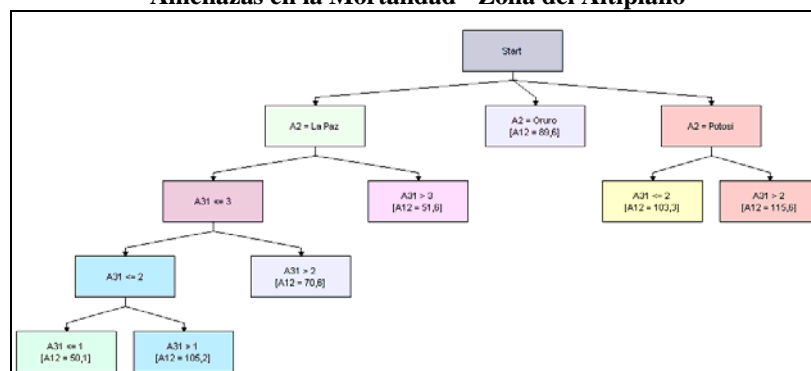
Figura 17. S.E. para Cuantificar el Impacto del Grado de las Amenazas en el Consumo de las Personas - Zona del Altiplano



Elaboración: Propia

Con respecto a la variable de mortalidad esta registra un máximo en el departamento de La Paz el mismo que corresponde a un grado de amenaza 2. La variable mortalidad registra un valor máximo de 105 a lo cual se suma una variabilidad mayor tomando en cuenta un mínimo de 50. En Oruro no se registra un patrón y en Potosí a un mayor nivel de amenaza por helada incrementa el promedio de 103 a 115 fallecidos por cada mil habitantes en la región. Estos resultados se logran cuando tiene lugar un evento adverso.

Figura 18. S.E. para Cuantificar el Impacto del Grado de las Amenazas en la Mortalidad - Zona del Altiplano

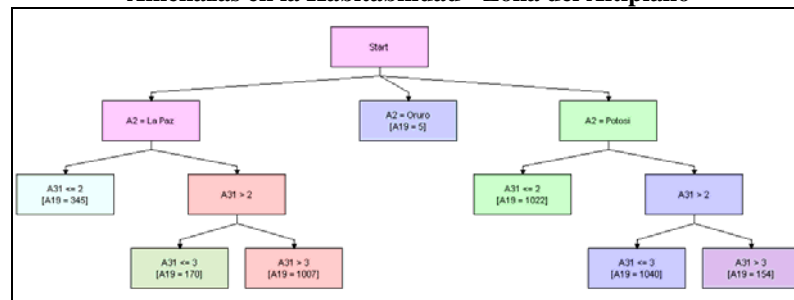


Elaboración: Propia

La Habitabilidad se define como la relación porcentual de las viviendas cuya calidad de habitabilidad es baja respecto del total de viviendas. La calidad de habitabilidad baja de las viviendas, dados los resultados obtenidos, es determinada por tres factores: hacinamiento

por dormitorio (más de 3 habitantes por cada dormitorio con que cuenta la vivienda), hacinamiento por habitación (más de 6 personas por habitación) y carencia de una dependencia exclusiva para cocinar.

Figura 19. S.E. para Cuantificar el Impacto del Grado de las Amenazas en la Habitabilidad - Zona del Altiplano



Elaboración: Propia

Según el sistema experto se menciona que el promedio de habitabilidad muestra un mínimo cuando se tiene un grado de amenaza 3, incrementa a 1007 si la amenaza es 4 y se mantiene en 345 si la amenaza toma los valores de 1 y 2. Por otro lado en Potosí, muestra como patrón que a mayor amenaza se reduce el número de viviendas con calidad de habitabilidad baja.

Conclusiones

Como conclusión inicial, se menciona que el presente trabajo muestra información que coadyuva al fortalecimiento de las capacidades de preparación y respuesta de las instituciones nacionales, regionales y locales de Bolivia mediante la gestión de metodologías de recopilación, sistematización, procesamiento, análisis de información y apoyo a la toma de decisiones relacionada a las amenazas prevalentes y las vulnerabilidades crecientes con respecto al logro de incremento del bienestar.

El presente trabajo muestra que existen relaciones significativas entre las amenazas y algunas variables del bienestar. Por lo que permite cuantificar en que rangos se encuentra la variable de bienestar en función de los indicadores de amenazas o vulnerabilidades.

Con base en las anteriores conclusiones se afirma que:

- Se asiste a la toma de decisiones y la planificación en el contexto político-administrativo, físico natural, sociocultural, institucional y económico-productivo de Bolivia.
- El enfoque teórico constituye el pilar fundamental de la elaboración del documento en el cual se realiza un análisis la realidad.
- Los criterios metodológicos, técnicos y operativos que orientan la modelación y el análisis del escenario del riesgo y bienestar ayudan al desarrollo de sistemas expertos estos últimos nos permiten simular y analizar de mejor manera las posibles soluciones y/o decisiones que se puedan proponer.

Con respecto a la gestión del riesgo, se concluye que el presente trabajo apoya al proceso de adopción de políticas, estrategias y prácticas orientadas a reducir el riesgo o minimizar sus efectos. Implica intervenciones en los procesos de planificación para el

desarrollo y la implementación de estrategias orientadas a reducir las causas que generan condiciones de vulnerabilidad en las unidades sociales y sus medios de vida.

Se demuestra básicamente que existe una relación entre vulnerabilidades y bienestar y amenazas ambientales y bienestar las que se describen al interior del documento.

Desde la perspectiva técnica se concluye que:

- El tipo de sistemas expertos utilizados para el modelado superan a las técnicas tradicionales en el sentido de que tienen un carácter estrictamente no paramétrico, lo que es importante teniendo en cuenta que la información que se maneja en la construcción realizada, pertenece a variables cualitativas y cuantitativas.
- Los sistemas expertos planteados difieren de las técnicas tradicionales en que no se requiere de la intervención de un experto humano para la inferencia de las reglas clasificadoras, como resultado estas son mucho más objetivas porque tienen soporte en datos reales contenidos en una base de datos.
- Frente a las redes neuronales, posee la ventaja, de que no es un sistema conformado por una caja negra, lo que permite valorar la importancia relativa de cada una de las variables explicativas mostrando la estructura interior. Esta última muestra la forma lógica de obtener los patrones inmersos dentro de los datos.

Bibliografía

- Abadía, José, Sistema Experto para la Bolsa de Valores, Universidad del Valle Colombia -2006
- Albuquerque de Castro, Rafael El estado de Bienestar. Cambio de Paradigmas. Los derechos sociales, Vicepresidencia de la República Dominicana Bogotá 2007
- Cárdenas, Miguel et.al., Construcción de Mapas de Riesgo, Comisión Europea, Fundepco, Oxfam Bolivia 2008
- Cardona, Omar Indicadores para la Gestión de Riesgos, Banco Interamericano de Desarrollo - Universidad Nacional de Colombia Colombia 2003
- Castillo, Enrique et. al., Sistemas Expertos y Modelos de Redes Probabilísticas 2000
- Chavarro, Andrés, Economía Ambiental y Economía Ecológica, Journal Ideas Ambientales, Edicion Número 2 - 2002
- Cohen, William Fast Effective Rule Induction, AT&T Bell Laboratories, 2005
- Duarte, Tito, Aproximación a la Teoría del Bienestar, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia 2007
- FAN – Bolivia, Implementation and Validation of a Regional Climate Model for Bolivia, Bolivia 2009
- García, Andrea Amenazas, Riesgos, Vulnerabilidades y Adaptación Frente al Cambio Climático, Naciones Unidas - Universidad Nacional de Colombia, Colombia 2008
- Gómez, Javier Vulnerabilidad y Medio Ambiente, Naciones Unidas – CELADE, Chile 2001
- INDH, Índice de Desarrollo Humano en los Municipios, Informe Nacional de Desarrollo Humano, Bolivia 2004
- INE, Instituto Nacional de Estadística – Anuario 2010
- Menger, Carl, Economía y Bienestar Económico, Ediciones Orbis, Barcelona, 2001
- Muguerza, Javier, Construcción de un Árbol de Clasificación Basado en Múltiples Submuestras sin Renunciar a la Explicación, Tesis Doctoral - Universidad del País Vasco, Donostia 2006
- Quintana, Michel, Modelos Híbridos para los Procesos de Data Mining en el Apoyo a la Toma de Decisiones Basados en Tecnologías Inteligentes Conexionistas, Universidad Nacional de San Agustín, Perú 2004
- Quiroga, Roger et. al. Atlas, Amenazas, Vulnerabilidades y Riesgos para Bolivia, Oxfam, Fundepco, VIDEICODI, Bolivia 2010
- Saulnier, Galán Aplicaciones de Inteligencia Artificial y Sistemas Expertos a la Arqueología del Conocimiento - Aplicación a la Economía, Universidad Autónoma de Madrid, España 2000
- Toche, Eduardo, Economía y Bienestar Volumen 2, Perú 2006
- Trincado, Estrella, Economía del Desarrollo y Economía del Bienestar, Universidad Complutense de Madrid, 2008
- Zucchetti, Anna. et.al., Guía Metodológica Para el Ordenamiento Territorial y la Gestión de Riesgos, PENUD - UN-Habitat, Perú 2008