

Fuera del Valle Central						
San Buenaventura <sup>◇</sup>	14-07-1756	02:30	-	VII	-	Sentido en Cartago.
4 de mayo <sup>◇</sup>	04-05-1794	-	-	>VI	-	Daños en la Factoría de Tabacos en San José y en la parroquia de Cartago.
San Estanislao <sup>◊</sup>	07-05-1822	01:45	7,5	VII	-	Daños en el valle central y en Matina.
San Casimiro	1924	-	-	-	-	Daños generalizados en el Valle Central, epicentro en Orotina, falla Tárcoles
Terremoto de Nicoya	05-10-1950	-	7,7	-	-	Daños en repellos del Banco Central en San José
Tembolor de Paraíso <sup>△</sup>	21-08-1951	05:41	-	V	-	Destrucción de casas en Paraíso, no se reportaron daños en San Pedro.

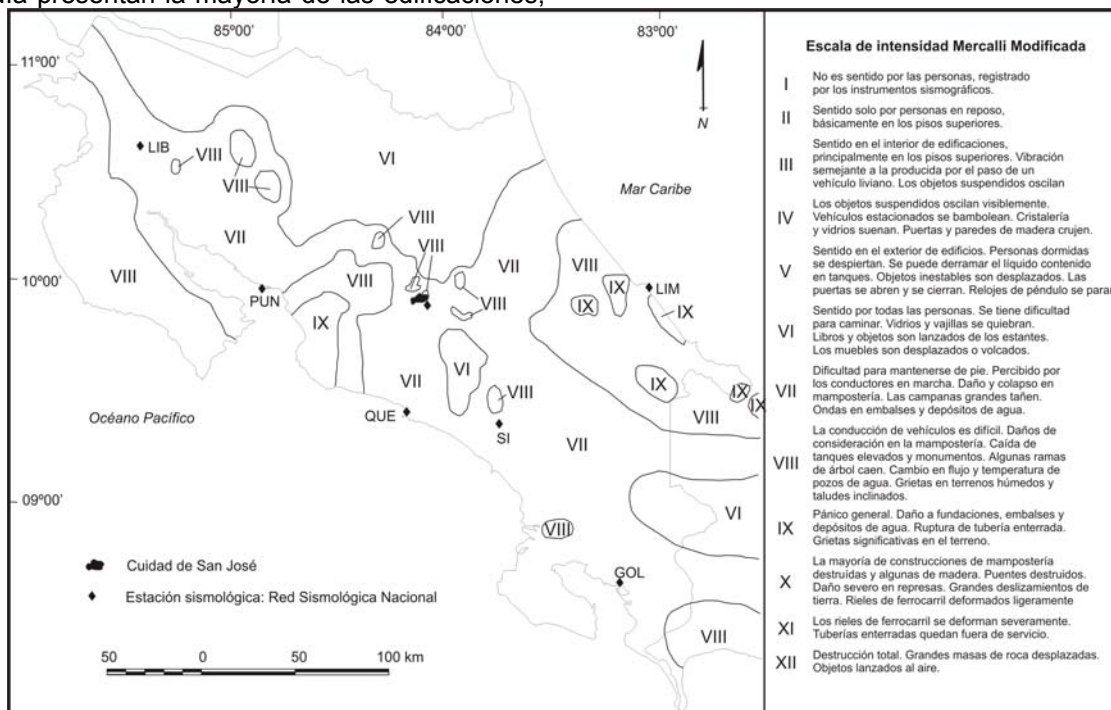
◊Montero (1986), ◇Peraldo & Montero(1999); △ Boschini, (1989).

De los nueve sismos históricos presentados en el cuadro 6.1 para el Valle Central, cinco se han correlacionado con fuentes sísmicas ubicadas hacia el este y sureste del Valle. Las magnitudes (Ms) de estos sismos han presentado valores entre 5,4 y 6,4 y las intensidades registradas dentro de San José presentan un rango entre V y VIII (MM). La figura 6.9 muestra los valores de intensidades máximas para Costa Rica en el siglo XX; para el Valle Central han sido de VII y VIII.

Se considera que el catálogo sísmico para Costa Rica es bastante completo (Rojas, 1993; Peraldo & Montero, 1999), sin embargo existen algunas limitaciones de los reportes sísmicos históricos, por ejemplo, hay zonas con alta sismicidad que fueron pobladas muy tardíamente; otro factor es la calidad de las construcciones en el pasado, pues era muy distinta a la que hoy día presentan la mayoría de las edificaciones,

lo cual influye al momento de determinar los valores de las intensidades (algunas de ellas podrían estar sobreestimadas). A estos factores se puede sumar la ilegibilidad de documentos antiguos o pérdida de los mismos y también el grado de confiabilidad de la información.

Los reportes históricos para los terremotos de Cartago de 1910 mencionan cierta variación en los daños para algunos distritos del cantón de Montes de Oca, esto con relación a otras áreas ubicadas relativamente cerca. Este hecho sugiere la existencia de efectos de sitio en esta zona. Sin embargo, no existen investigaciones detalladas que hayan evaluado este efecto específico en el cantón.



## Figura 6.9: Mapa de intensidades máximas para Costa Rica durante los siglos IX y XX (Tomado de Denyer *et al.* (2003).

### 6.3.4 Sismicidad reciente y sismotectónica

Para complementar la información de la neotectónica y sismicidad histórica se obtuvieron datos de sismos recientes en la RSN (Red Sismológica Nacional: UCR-ICE), la cual proporcionó la base de datos para el período 1992-2002. Estos sismos fueron delimitados para un área rectangular dispuesta hacia la parte noreste del cantón; el objetivo de analizar esta área es observar la sismicidad general de la zona adyacente al cantón de Montes de Oca.

Para el análisis sismotectónico de las fallas Agua Caliente y Río Azul se utilizaron los trabajos de Montero *et al.* (2002) y Fernández & Montero (2002).

#### Mapa de epicentros

Se seleccionaron 181 sismos para el área de interés (Fig. 6.10); los cuales cumplían con las condiciones de:

- Profundidades menores a 30 km.<sup>14</sup>
- Error de localización (rms) menor a 0,5.

Las magnitudes ( $M_L$ ) de los sismos tienen valores que oscilan entre 1,3 y 4,8. Los epicentros están muy dispersos; excepto en una franja de sismos de rumbo noroeste-sureste en la esquina inferior derecha de la figura 6.10, esta franja posiblemente podría asociarse a la falla Lara, sin embargo este hecho no se analizó con más detalle por estar ubicada fuera de la zona incluida dentro del análisis fotogeológico.

Ninguna de las fallas mencionadas parece mostrar distribuciones de epicentros localizados cerca de las trazas propuestas en este trabajo. Las causas de ello pueden obedecer a la poca cantidad de datos obtenidos y al error asociado de localización de cada sismo.

En la figura 6.10 las fallas Laguna, Dorita y Cipreses prácticamente no revelan un patrón definido de la sismicidad a lo largo de los segmentos trazados, ni tampoco en otras zonas que puedan asociarse con algún plano de falla potencial.

No se efectuaron relocalizaciones para ninguno de los sismos obtenidos durante este lapso de tiempo, ello pues el objetivo de este estudio era brindar un panorama general de la sismicidad en el cantón.

#### Sismos de enero y agosto del año 2001

En el 2001 se produjeron cinco sismos sentidos con epicentros circunscritos a la zona del San Pedro de Montes de Oca (RSN, 2001); las características de estos sismos se muestran en el cuadro 6.2. Los temblores alcanzaron valores de aceleraciones máximas entre 0,0066  $g$ <sup>15</sup> y 0,0306  $g$ . En la figura 6.11 se muestra la localización de tres de esos sismos, los cuales de acuerdo con Montero *et al.* (2002), forman parte de una secuencia sísmica iniciada en diciembre del año 2000 y están relacionados con un mecanismo inverso de las trazas inferidas para las fallas Agua Caliente ó Río Azul.

### 6.4 Peligros volcánicos

#### 6.4.1 Contexto volcánico de Costa Rica y el Valle Central

Nuestro país se ubica en una de las zonas con vulcanismo activo más importante del mundo, en el llamado "Cinturón de Fuego del Pacífico", que se extiende, en América, desde Las Aleutianas hasta el sur de Chile; esto sitúa a Costa Rica entre uno de los países con mayor peligrosidad volcánica. De acuerdo con Alvarado *et al.* (2000) los índices máximos de peligrosidad volcánica<sup>16</sup> y explosividad volcánica en el país son de 13 y 4, respectivamente.

Cerca de un 20% del territorio nacional está cubierto por material volcánico reciente. Estos depósitos volcánicos están concentrados a lo largo de una faja montañosa, de dirección noroeste-sureste; acá se encuentran todos los volcanes cuaternarios activos y en reposo.

Más del 35 % del total de la población costarricense está asentada en el Valle Central (1,5 millones de personas) (Alvarado *et al.*, 2000), al pie de las áreas volcánicas cuaternarias. Esto parece lógico si pensamos en las condiciones climáticas, en los recursos hídricos y la presencia de suelos fértiles.

#### 6.4.2 Historia volcánica del Costa Rica y el Valle Central

Los reportes históricos más antiguos de actividad volcánica datan de 1723, de modo que estos 280 años representan cerca del 0,05 % de la historia volcánica de Costa Rica (Soto & Paniagua, 1992), la cual muestra algunos desenlaces trágicos que han provocado muerte y destrucción; tal es el caso de los

<sup>15</sup> Aceleración de la gravedad.

<sup>16</sup> Se considera a un volcán de alto riesgo a aquel con un puntaje mayor a 10.

<sup>14</sup> Profundidad estimada para sismos de origen cortical.

períodos eruptivos y erupciones del volcán Irazú en 1723 y 1962-65 y el volcán Arenal en 1968 y 2000.

Al norte del Valle Central existen al menos cuatro edificios volcánicos con algún grado de peligrosidad, todos pertenecen a la Cordillera Volcánica Central: Poás, Barva, Irazú y Turrialba. Los tres últimos podrían potencialmente afectar directa o indirectamente al cantón de Montes de Oca, por razones de ubicación

geográfica, dirección de los vientos y principalmente por los registros históricos; de esos tres volcanes solamente el Irazú y el Turrialba han mostrado actividad histórica reciente (últimos dos siglos). En el cuadro 6.3 se muestran los tipos de actividad eruptiva histórica para los cuatro volcanes citados anteriormente.

**Cuadro 6.2: Datos epicentrales de los sismos ocurridos en el año 2001 cerca de San Pedro de Montes de Oca (Boletines de la RSN, enero y agosto del 2001).**

Fecha	Hora Local	Prof. (km)	Magnitud	Localización	Intensidades (MM)
29-01-01	22:31	5,2	4,0	San Pedro de Montes de Oca	III en San José
30-01-01	17:05	5,4	3,6	Límite entre San José y San Pedro de Montes de Oca	IV en San Pedro y alrededores
04-08-01	10:20	9,0	3,2	1 km al sureste de San Pedro de Montes de Oca	II-III en San Pedro, II en San José
04-08-01	13:04	6,2	3,0	3 km al S-SW de San Pedro de Montes de Oca	II en San Pedro
04-08-01	22:35	7,4	2,6	3 km al E de San Pedro	II en San Pedro

**Cuadro 6.3 Tipos de actividad eruptiva de los volcanes más cercanos al Valle Central, (Tomado de Alvarado *et al.*, 2000).**

Volcán	Activ. hist. e IEV* máximo	Tipos de activ. pre-histórica	IPV <sup>∞</sup>
Poás	Vulcaniana (IEV: 2-3), freática estromboliana, y domeana.	Subplinianas y similares a las históricas, efusiva.	6
Barva	-	Pliniana, vulcaniana, estromboliana, deslizam. Volcánicos, coladas de lava y erupciones ignimbríticas.	7
Irazú	Vulcaniana (IEV: 3), freática, estromboliana; lahares.	Vulcaniana a hawaina, efusiva, deslizam. volc. y lahares.	12
Turrialba	Vulcaniana (IEV: 3), freática, estromboliana, lahares.	Vulcaniana a estromboliana, pliniana, efusiva y desliz. volc.	8

\* índice de explosividad volcánica, <sup>∞</sup> índice de peligrosidad volcánica.

La determinación de los índices de peligrosidad volcánica están en función directa con el grado de estudio o conocimiento que se tenga de ese volcán; esto guarda una relación directa con el hecho de que los volcanes con un aparente bajo IEV corresponden en su mayoría con volcanes pobre o medianamente estudiados (Alvarado *et al.*, 2000).

De los volcanes mostrados en el cuadro 6.3 solamente el Irazú y el Poás tienen un grado aceptable de conocimiento científico y monitoreo (esto incluye estratigrafía detallada, medición de gases, presencia de estaciones sísmicas, registros históricos), el resto de los volcanes están poco o nada estudiados en la actualidad.

Para complementar y detallar la información presentada en el cuadro 6.3, se describen los eventos históricos más importantes para los volcanes que podrían afectar al cantón de Montes de Oca.

### Volcán Barva

De acuerdo con Boschini *et al.* (1995), el volcán Barva tiene una quietud de al menos 300 años, sin embargo no existen otras investigaciones que sustenten esta información. Paniagua & Soto (1986) informan que de acuerdo al catálogo Mundial de la Asociación Vulcanológica, el volcán Barva habría estado activo en 1867; sin embargo esto último parece haber correspondido a una serie de deslizamientos y no a una erupción.

La actividad histórica para este volcán es imprecisa, no obstante es considerado como uno de los volcanes más explosivos de la cordillera volcánica central, pues con base en su tefroestratigrafía al menos se han producido 2 explosiones plinianas en los últimos 10 mil años; la más reciente de éstas fue hace aproximadamente 3 mil años. Posterior a ello hubo 3 o 4 erupciones estrombolianas-vulcanianas (Boschini *et al.*, 1995).

Para el volcán Barva resulta muy difícil cuantificar su potencial de peligrosidad de una manera objetiva, debido a la carencia de registros de erupciones históricas y de estudios estratigráficos detallados.

### Volcán Irazú

El volcán Irazú se encuentra en estado de actividad solfatárica-fumarólica, mostrando raramente emisiones de vapor (Raccichini,1978). Su actividad histórica ha sido de carácter vulcaniano principalmente. Los principales ciclos eruptivos del Irazú se resumen en el cuadro 6.4.

El volcán Irazú presentó en 1994 una pequeña explosión freática, la cual produjo material no juvenil tamaño ceniza (<2 mm), bloques, arena y lodo; los reportes indican que las partículas finas se extendieron hasta 22 km al oeste del volcán (GVN, 1994). No obstante, Alvarado *et al.* (2000) señalan que se trató de un deslizamiento volcánico. Desde entonces no se reporta actividad volcánica relevante.

**Cuadro 6.4: Períodos eruptivos históricos más importantes del volcán Irazú. (Tomado de Boschini *et al.*, 1995 y Alvarado, 1993)**

Año	Tipo de erupción	Comentarios
1723-1726	Estromboliana fuerte a vulcaniana	Columnas eruptivas de ceniza de varios km de altura. Ceniza dispersada en el Valle Central, la más fuerte en tiempos históricos. Hubo lahares en 1723 y 1724.
1917-1921	Freática a vulcaniana	Ensanchamiento de los cráteres en el sitio del actual principal. Caída de cenizas a varios km de altura, en San José cayeron 16 g/m <sup>2</sup> de ceniza y al este de la capital cayeron 36 g/m <sup>2</sup> .
1962-1965	Estromboliana y vulcaniana	Proyección de cenizas a varios km de altura. Dispersión hacia el oeste-suroeste principalmente, incluyendo la península de Nicoya. Afectó mucho al Valle Central. Hubo lahares que mataron a cerca de 20 personas en Taras el 9 de diciembre de 1963.

\*Existen muchos más reportes de distintas erupciones del volcán Irazú desde 1723, para mayores detalles se recomienda leer a Alvarado (1993).

### Volcán Turrialba

El volcán Turrialba presenta actividad solfatárica estable. Su última actividad de tipo estromboliana se produjo en 1864; durante esa erupción expulsó gran cantidad de ceniza que se extendió hasta Atenas y Grecia. En San José el espesor de cenizas fue probablemente del orden de uno a varios mm. Luego de esa actividad no se tienen registros de procesos similares (Raccichini,1978, Soto & Paniagua,1992, Reagan *et al.*, inédito).

#### 6.4.3 Peligros volcánicos para el cantón de Montes de Oca

El peligro volcánico puede definirse como: *la expectación de la incidencia de un proceso ligado a la actividad volcánica; se debe expresar como la probabilidad de que ocurra el proceso en un determinado período de tiempo* (Ortiz, 1996).

En este trabajo se tratan los peligros volcánicos como peligros a corto, mediano y largo plazo; y se definen en el cuadro 6.5.

**Cuadro 6.5 Definición de la escala temporal para los peligros volcánicos.**

Período	años
Corto plazo	0 -100
Mediano plazo	100 -1000
Largo plazo	1000 - 1000000

Esta nomenclatura se aplica con el propósito de no confundir los rangos de tiempo normalmente utilizados (a escala de vida humana) con los del tiempo geológico, en especial si este trabajo es considerado como un insumo que podría ser utilizado o incluido dentro de planes de ordenamiento territorial y gestión del riesgo y por lo tanto en un tiempo de ejecución muy corto (50 años si consideramos la vida útil de una edificación). La escala de tiempo definida en el cuadro 6.5 está fundamentada básicamente en los reportes históricos y en los registros geológicos conocidos, no están relacionados con los rangos temporales probabilísticos mencionados en la definición de peligro volcánico y no deben ser atendidos como categóricos o predictivos.

Alvarado *et al.* (2000) han determinado los peligros asociados a cada volcán, clasificándolos en peligros volcánicos a corto y mediano plazo (ver cuadro 6.6). Dichos autores suponen, en caso de una reanudación futura de la actividad, un comportamiento eruptivo igual o similar (en magnitud y duración) a las erupciones históricas.

**Cuadro 6.6: peligro volcánico asociado a los volcanes Barva, Irazú y Turrialba según Alvarado *et al.* (2000).**

Volcán	Peligro volcánico, corto plazo	Peligro volcánico, largo plazo	Núm de pers. afectadas
Barva	Eventual reactivación	Pliniana, Flujos piroclásticos (ignimbritas), coladas de lava, nuevos conos	1000-10000 o hasta un millón.

eruptivos.			
Irazú	Cenizas sobre el Valle Central; caída de bloques y lahares.	Vulcaniana a estromboliana. Lahares, deslizamientos volcánicos, nuevos conos.	1000 a un millón o más
Turrialba	Cenizas finas sobre el Valle Central, caída de bloques y lahares.	Vulcaniana a estromboliana, lahares y deslizamientos volcánicos.	1000 a 50000

Con esta información podemos pensar que el volcán Irazú representa una fuente importante de procesos volcánicos a corto plazo, procesos que dependiendo de su génesis, magnitud y duración van a significar un peligro específico para el cantón de Montes de Oca.

A continuación se describen los procesos y peligros volcánicos más comunes asociados al volcán Irazú, también y en menor grado a los peligros asociados a los volcanes Barva y Turrialba. Por otra parte se describe y analiza cómo estos peligros llegarían a afectar al cantón.

**Depósitos piroclásticos de caída y de flujo**

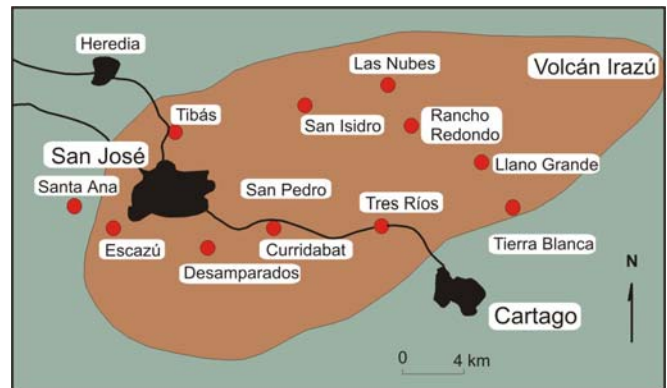
Más del 90% del área del cantón de Montes de Oca está cubierta por espesores considerables de tobas ( $\leq 30m$ ), constituidas por depósitos de tefras (cenizas y pómez) prehistóricos (mas de mil años) y recientes. Al noreste de San José el espesor de las cenizas aumenta quizá debido a la influencia de varios focos de emisión (Vargas, 1994), esto se ve representado en la columna estratigráfica local (Fig. 2.1.10).

Algunos de factores externos más influyentes al momento de una erupción volcánica son la dirección y velocidad del viento y la estación del año en la cual ocurre la erupción. Paniagua y Soto (1986), sustentados en datos climáticos, deducen que los productos de la actividad exhalativa, estromboliana moderada y freática o freatomagmática moderada del volcán Irazú, con columnas eruptivas inferiores a 4 km de altura, serán arrastrados hacia el oeste en cualquier época del año. Además, para erupciones con mayor energía explosiva, tales como las vulcanianas o plinianas, las columnas eruptivas piroclásticas sobrepasarían los 4 km de altura; en este caso, la caída de piroclastos tendría un comportamiento más complejo, especialmente entre los meses de noviembre a mayo; durante este período estos productos serían empujados hacia el oeste, al atravesar el rango de 7 a 16,5 km de altura serían devueltos hacia el este, para luego ser nuevamente arrastrados hacia el oeste. La figura 6.12 muestra la dispersión de ceniza para las erupciones de 1962-1965 del volcán Irazú.

Durante los meses de noviembre a mayo, es probable que la expansión de cenizas sea menor, a consecuencia de las lluvias típicas de esos meses;

debe tomarse en cuenta que las columnas eruptivas actúan como catalizadores de las lluvia y es común que uno conlleve al otro.

La caída de ceniza en el cantón de Montes de Oca implica la ocurrencia de una cantidad considerable de daños potenciales. Esto debido a la posibilidad de cubrir extensas áreas agrícolas y urbanas, incluso en zonas muy alejadas (más de 100 km) al sitio de la erupción.



**Figura 6.12: Dispersión de ceniza durante el período eruptivo 1962-1965 del volcán Irazú. Tomado de Alvarado (1993).**

El tamaño de las partículas (menos de 2 mm) y la dureza de las mismas causa dificultades en la respiración de las personas y animales. Además provoca la reducción de la visibilidad durante el día, lo que a su vez originaría un pico en la demanda de energía y por consiguiente habría recarga en el sistema de alumbrado. Con la caída de ceniza se generan además inconvenientes en el transporte y la comunicación colectiva, así como, en el funcionamiento de todo tipo de maquinaria (motores de combustión interna, impresoras, discos de ordenador, aisladores, etc). Si la ceniza arrastra elementos nocivos como arsénico o flúor, estos elementos pueden disolverse en el agua y pueden contaminar los suelos, en especial los sistemas de agua potable.

La densidad de la ceniza varía entre 0,5 y 2 g/cm<sup>3</sup>, dependiendo de la compactación que experimente y el contenido de agua. Esto supone para 1 cm de ceniza cargas de hasta 20 kPa.

El peligro más significativo para la vida humana por caída de ceniza es el colapso parcial o total de techos de las construcciones. Según Ortiz (1996) la ceniza se acumula en techos con pendientes menores a 20° y se ha constatado el colapso de tejados con espesores de sólo 2-3 cm de ceniza. Viviendas con esas características son las que serian potencialmente afectadas.

Para la actividad eruptiva de 1962-1965 del Irazú, los depósitos de caída cubrieron un área total de unos 8000 km<sup>2</sup>; durante este período el cantón se ubicó dentro de la zona de influencia severa (unos 100 km<sup>2</sup>) junto a Coronado, Curridabat y el cantón Central de San José (ICE, 1964; Alvarado 1987). El cuadro 6.7 muestra la precipitación de ceniza en gr/m<sup>2</sup> en la ciudad de San José durante 1963 a 1965.

**Cuadro 6.7 Precipitación mensual (en gr/m<sup>2</sup>) de ceniza volcánica en la ciudad de San José, de marzo de 1963 a marzo de 1965 (Tomado de ICE, 1964).**

Mes	Año 1963	Año 1964	Año 1965
Enero	-	3825,0	86,5
Febrero	-	601,0	24,2
Marzo	175,0	691,0	7,8
Abril	1521,0	2814,6	-
Mayo	724,0	1644,8	-
Junio	352,0	2233,3	-
Julio	1647,0	946,0	-
Agosto	617,0	1384,9	-
Septiembre	39,0	526,0	-
Octubre	160,0	193,7	-
Noviembre	983,0	194,4	-
Diciembre	4859,2	151,0	-
TOTALES	11070,2	15206,3	118,5

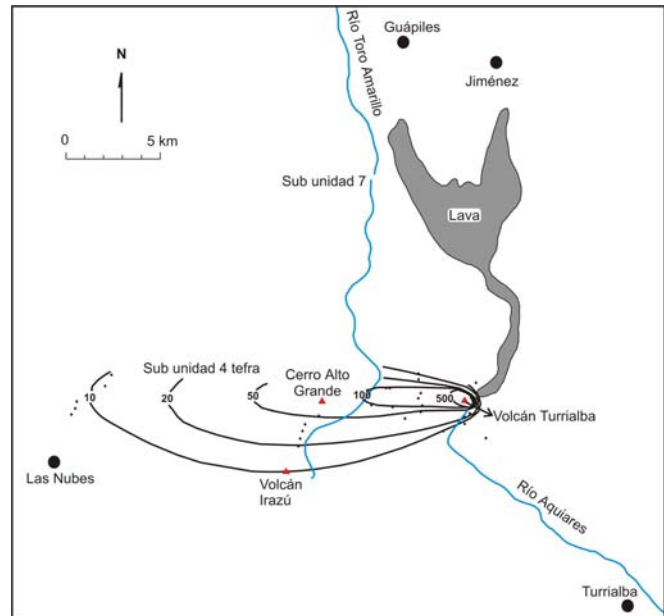
Con los valores del cuadro 6.7 podemos estimar las cargas máximas a esperar en el cantón de Montes de Oca ante un período eruptivo similar al de 1962-1965. Esos valores podrían incluso ser un poco mayores debido a la cercanía del cantón con respecto al volcán Irazú. La carga máxima sería de unos 15 kPa al año, lo que equivale a unos 7,5 mm de espesor de ceniza anuales. De acuerdo con Ortiz (1996) tal espesor sería suficiente para destruir cultivos que deban cosecharse prematuramente, tales como plataneras; además provocaría pérdidas de más del 50 % en legumbres, verduras y frutas.

El peligro por caída de ceniza proveniente de una erupción del volcán Turrialba es menor para el cantón de Montes de Oca; como se dijo anteriormente, el espesor de ceniza dispersado en San José durante 1864 fue probablemente de uno a varios mm. Registros tefroestratigráficos prehistóricos determinados por Regan *et al.* (inédito) muestran espesores menores a 10 cm para la ciudad de San José (Fig. 6.13). Tales espesores decrecen hacia el oeste, por eso es probable que en una próxima erupción similar la dispersión de ceniza alcance al cantón de Montes de Oca.

El cantón de Montes de Oca está ubicado dentro de una zona de alto peligro por caída de ceniza proveniente de una erupción del volcán Irazú (similar a las ocurridas en 1962-1965); la posibilidad de ocurrencia de este proceso es a corto plazo, esto pues de acuerdo a los registros históricos el volcán ha

registrado por lo menos una erupción en cada siglo desde 1723.

Por su parte el volcán Turrialba afectaría al cantón de manera moderada a baja en caso de producirse una erupción similar a la reportada en 1864; y la posibilidad de que esto ocurra se estima de corto a mediano plazo. No obstante es importante recordar que para este volcán el grado de conocimiento geológico es poco conocido, pero no se descarta tampoco una posible reactivación en el futuro.



**Figura 6.13: Espesores (en cm) de tefras para una subunidad litoestratigráfica del volcán Turrialba. Tomado de Regan *et al.* (inédito).**

### Flujos de lodo y bloques (lahares)

Los lahares son flujos densos de sedimentos, bastantes móviles y se generan al fluidizar el agua los materiales volcánicos, especialmente piroclastos. Esto flujos pueden alcanzar velocidades de hasta 100 km/h. Los lahares son altamente destructivos, ya que pueden recorrer grandes distancias siguiendo valles y alcanzando poblaciones aparentemente protegidas del volcán (Alvarado, 1987; Ortiz, 1996).

Los lahares pueden generarse por la presencia de lagos crátericos, pero también pueden desencadenarse por lluvias intensas e inclusive a partir de una erupción pequeña (IEV <2) (Ortiz, 1996).

El registro geológico de depósitos prehistóricos de lahares en el Valle Central fue cartografiado en el cantón de Montes de Oca. Se identificaron depósitos prehistóricos de lahares básicamente en secciones de cauces de algunos ríos; estos depósitos son producto

de flujos de lodo y piedra que se depositaron en gran parte del Valle Central hace unos 10 mil años.

Para el cantón de Montes de Oca no se encontraron reportes históricos de eventos lahéricos destructivos, incluso durante el período eruptivo del Irazú (1992-1965), no obstante este hecho no descarta la formación de lahares en las cuencas hidrográficas asociadas a los principales ríos que atraviesan el cantón.

La ocurrencia de futuras erupciones en el volcán Irazú ( $IEV \geq 2$ ) eventualmente generará lahares como los del 1962-1965 en áreas con registros históricos; eso dependerá también de la duración de las erupciones y de la existencia de agua para que dispare los flujos de lodo y bloques.

Cerca del cantón de Montes de Oca se pueden formar flujos de lodo en las cuencas altas de ríos como el Tiribí, Torres o María Aguilar. La generación de estos flujos puede ser por una erupción, por deslizamiento o ambos.

El mayor peligro dentro del cantón se encuentra en todas las áreas cercanas a los cauces de esos ríos (menos de 10 m), principalmente en los valles fluviales de pendiente baja a moderada ubicados al oeste del cantón. Flujos de lodo menores pueden ocurrir a través de quebradas secundarias como Sabanilla, Cas o Negritos.

En la actualidad se pueden observar construcciones que están prácticamente en el cauce de esos ríos; esta condición supone una amenaza importante para las personas ante eventuales flujos de lodo y bloques que se desplacen a lo largo de esos cauces.

Por otra parte, el cantón puede verse afectado indirectamente por la generación de lahares dentro de otros cantones; principalmente en de orden económico y social; por ejemplo, si uno de esos flujos afectara solamente al cantón de Goicochea o La Unión eventualmente se daría migración y relocalización de personas a sitios cercanos que no hayan sido afectados y que brinden mayor seguridad. Esta situación no se puede omitir en planes de ordenamiento territorial y de gestión del riesgo.

El peligro por lahares (similares o de menores proporciones a los ocurridos durante el período eruptivo de 1962-1965) para las cuencas hidrogeográficas cercanas al cantón de Montes de Oca es moderado. Según Alvarado *et al* (2000) el peligro por lahares para el volcán Irazú sería a corto plazo.

Por otra parte la ocurrencia de enormes lahares equivalentes a los que originaron los depósitos encontrados en este trabajo es más remota.

Consideramos este tipo de lahares como un peligro a largo plazo para el cantón.

En la figura 6.14 se presenta el mapa de peligros volcánicos a corto plazo para el cantón de Montes de Oca.

### Otros peligros volcánicos a mediano y largo plazo para el cantón

Existen otros tipos de procesos volcánicos referidos a los volcanes Irazú y Barva básicamente, tales como explosiones dirigidas de bajo ángulo (implica el colapso parcial de una de las paredes del edificio volcánico), flujos y oleadas piroclásticas, deslizamientos volcánicos, emisión de coladas de lava y dispersión de gases volcánicos y lluvia ácida.

#### Explosión dirigida

Teóricamente constituye el episodio más dañino de una erupción; ya que desencadena una combinación de oleadas, coladas piroclásticas y proyecciones balísticas; la dispersión de estos flujos puede afectar a lo largo de decenas de kilómetros. Este tipo de procesos va siempre precedido por una importante deformación del aparato volcánico; al ser éste un proceso lento es posible establecer con suficiente tiempo el grado un mapa de peligrosidad (Ortiz, 1996)

No se conocen reportes históricos de eventos de este tipo relacionados al volcán Irazú.

#### Flujos y oleadas piroclásticas

El flujo piroclástico es un proceso constituido por fragmentos de roca, ceniza volcánica, pómez y gases a alta temperatura que son erupcionados de un cráter y juntos se movilizan por el terreno a alta velocidad (40-1000 km/h) viajando entre 1 y 200 km del centro emisor, por lo que no es posible evacuar en el momento de su ocurrencia (Alvarado *et al*, 2000).

Para el volcán Irazú no se conocen eventos históricos relacionados a flujos piroclásticos. No obstante para el volcán Barva se conoce uno de los más grandes depósitos de flujo (ignimbritas) que existen; éstos se encuentran en todo el valle central y se originaron hace más de 200 mil años; su génesis está asociada a una paleocaldera ubicada en lo que hoy es el edificio volcánico del Barva (Pérez, 2000).

Con base en la génesis de este tipo de eventos, consideramos la ocurrencia de flujos piroclásticos como un peligro a largo plazo.

#### Deslizamiento volcánico

Es el colapso de un sector del edificio volcánico; debido a la presión interna de gases volcánicos, terremotos u otros factores. Estos eventos no son tan frecuentes pero son acompañados por destrucción a gran escala. En 1994 se presentó un pequeño deslizamiento volcánico en la ladera noreste del volcán Irazú, sin mayores consecuencias (Alvarado et al, 2000).

En el extremo noreste del cantón se encontraron depósitos asociados a un posible deslizamiento volcánico antiguo; se estimó un volumen aproximado de  $3 \times 10^6 \text{ m}^3$  (para mayor detalle ver capítulo sobre deslizamientos).

El grado de peligro existente en caso de que un evento de mayor magnitud al ocurrido en 1994 se suscitara en el flanco suroeste del volcán Irazú es moderado a alto si ocurriese en el flanco suroeste del volcán Irazú; puede ser considerado como un peligro a corto o mediano plazo.

### Flujos de Lava

La lava eruptada del cráter o las aberturas en los flancos fluye hacia abajo como un fluido viscoso, de acuerdo con la gravedad. Donde pasa el flujo de lava, la tierra agrícola, el bosque y las casas son sepultados (Alvarado et al, 2000).

En los últimos miles de años no se conoce ninguna actividad efusiva de los volcanes de la Cordillera Central; la colada datada más reciente es la de Cervantes, que hace unos 14 mil años se derramó al pie de los cerros Pasquí y Quemados, en la falda sur del volcán Irazú (Kussmaul, 2000).

El peligro por emisión de coladas de lava que afecten algún sector del cantón de Montes de Oca es poco o nada conocido; se considera como un peligro a largo plazo.

### Gases volcánicos

Los gases volcánicos en general solo plantean problemas muy cerca de las bocas eruptivas y campos fumarólicos, pues se diluyen rápidamente en la atmósfera a niveles inferiores al umbral de toxicidad. Sin embargo, en algunos casos pueden resultar nocivos y hasta mortales; por ejemplo el  $\text{CO}_2$  es más pesado que el aire, por lo que tiende a acumularse en zonas bajas como valles o barrancos. En general, las referencias más abundantes de daños asociados a gases volcánicos corresponden a procesos de degasificación de lavas y piroclastos (Ortiz, 1996).

Existe un campo de solfataras de baja temperatura (75-95 C°) (Ramírez, comunicación personal) al noreste del Irazú, pero presenta un bajo nivel de actividad (poca

salida de gases). Los incrementos exhalativos de los volcanes son un peligro potencial para las poblaciones y la actividad agropecuaria cercanos al cráter.

## 7. Conclusiones y Recomendaciones

### 7.1 Conclusiones

El cantón de Montes de Oca esta constituido fundamentalmente por flujos de lava, flujos laháricos, depósitos de caída y depósitos detríticos recientes, las cuales se agrupan en cuatro unidades litológicas: Unidad de Lavas Alto Pizote, Unidad de Lahar Roosevelt, Unidad de Cenizas Mansiones y la Unidad de Depósitos Cuaternarios.

La capacidad de soporte de las cenizas de la unidad Mansiones se debe a su mayor ángulo de fricción, comportándose como un material netamente friccionante. Los lahares por otro lado, muestran un comportamiento cohesivo-friccionante.

A partir de los mapas geomorfológico y de pendientes, así como los mapas de susceptibilidad al deslizamiento, inundación y flujos laháricos, el cantón se divide en dos grandes regiones: la región este y la región oeste. El límite entre ambas se ubica en la parte meridional del cantón y podría asociarse con la traza de la falla Cipreses.

En la región oeste predominan las laderas con pendiente Baja (<8°). El relieve plano ondulado obedece básicamente a su carácter litológico y a su ubicación con respecto al edificio volcánico del Irazú. Esta región es levemente disectada por ríos y quebradas y en ella se encuentran las áreas con mayor susceptibilidad a inundaciones y lahares.

En la región este resaltan valles fluviales con disección profunda; esto genera una zona con mayor susceptibilidad al deslizamiento; se considera que esta zona podría estar siendo localmente levantada por la falla Cipreses y esto conlleva a una mayor profundización de los cauces y a la generación de estas geoformas.

Los suelos limo arenosos y arenas limosas poco consolidados, predominantes en la zona de estudio contribuyen con los procesos de remoción en masa y con el eventual desarrollo de flujos de lodo que podrían afectar, especialmente, la región oeste del cantón.



Aunque la geoforma de Escarpes Estructurales (S2), fue determinada por su pendiente fuerte y cambios en la dirección de los ríos, no se pudo asociar objetivamente con la traza propuesta para la falla Cipreses u otra falla.

Las zonas de muy baja y baja susceptibilidad al deslizamiento abarcan la mayor parte del área, principalmente al oeste del cantón, es en esta zona donde se ha dado la concentración de los asentamientos humanos, sin embargo, es posible encontrar obras de infraestructura en sitios catalogado como de mediana, alta y muy alta susceptibilidad al deslizamiento.

Los deslizamientos translacionales en suelos son los más comunes en el área de estudio, actúan removiendo las capas de suelo de la zonas que han sido definidas como de media, alta y muy alta susceptibilidad al deslizamiento. La presencia de deslizamientos en roca son poco frecuentes en la zona del cantón, sin embargo, no se descarta la posibilidad de que puedan ocurrir.

Las forma F12a (*Valles fluviales de pendiente baja a moderada*), por sus características naturales presentan susceptibilidad baja a la inundación, además, la acción del hombre ha aumentado dicha susceptibilidad e incluso ha hecho susceptible zonas que naturalmente no lo son, como la forma D1 (*Laderas y colinas denudacionales de disección baja a moderada*).

El cantón de Montes de Oca presenta en sus cercanías evidencias sugestivas de fallas neotectónicas, muchas de las cuales han sido asociados al sistema de falla Lara. Cabe destacar que se propone la existencia de un nuevo segmento para este sistema, denominada falla Dorita 2.

Los peligros volcánicos más significativos que eventualmente afectarían al cantón de Montes de Oca a corto plazo son: caída de cenizas, flujos de lodo y lahares.

La caída de ceniza afectaría en mayor grado a aquellos lugares más próximos al volcán Irazú, el espesor promedio esperado de ceniza sería de aproximadamente 7,5 mm anuales para un evento volcánico similar al de 1962-1965.

En la figura 7.1, se muestra la zonificación de la susceptibilidad a la inundación, deslizamientos, flujos laháricos y la falla Cipreses, en el cantón de Montes de Oca. El sector oeste presenta susceptibilidades muy bajas y bajas al deslizamiento, mientras que el área susceptible a la inundación natural y flujos laháricos es mayor. En el sector este, aumentan las zonas con susceptibilidades media, alta y muy alta al deslizamiento y la susceptibilidad a la inundación se restringe a puntos críticos como terrazas y planicies de

inundación, entre tanto, los flujos laháricos podrían afectar los valles de los ríos. Por su parte, los depósitos de caída afectaría toda el área del cantón de manera similar, en mayor grado a las zonas que están más cercanas al volcán Irazú.

La presencia de obras de infraestructura cercanas o dentro del área de acción de los procesos naturales analizados, aumenta la posibilidad de que estas obras sean afectadas significativamente por este tipo de eventos.

## 7.2 Recomendaciones

Se considera necesario retomar y detallar estudios de la estratigrafía volcánica del Valle Central, debido a que casi ningún trabajo, que se haya hecho recientemente, profundiza en el tema y son muy pocos los trabajos anteriores que lo han hecho.

Debido al carácter netamente friccionante de los suelos volcánicos del cantón de Montes de Oca, se recomienda realizar un estudio específico del comportamiento de estos suelos (amplificación, respuesta dinámica, licuefacción), ante la ocurrencia de eventos sísmicos y si es así, cuales son sus causas, como pueden afectar la suelo y cuales medidas correctivas pueden aplicarse.

La figura 7.2 muestra una zonificación del uso del suelo recomendado, basado en la susceptibilidad al deslizamiento, inundación y flujos laháricos, dentro del cantón de Montes de Oca y se proponen tres tipos de actividad donde se recomienda que:

- En las zonas de desarrollo se deben tomar medidas correctivas menores, donde se considere necesario y se debe poner mayor atención en las partes aledañas a las zonas que presentan susceptibilidad más alta.
- En las zonas de desarrollo controlado, se debe evitar la construcción de infraestructura, en la medida de lo posible, si se aprueban construcciones en estas áreas, es necesario mejorar la condición del lugar con el fin de dar la mayor seguridad al sitio, según el proceso natural que pueda afectarlas.
- En las zonas de conservación es necesario que se realicen estudios de detalle y medidas correctivas que brinden seguridad a estas áreas, según el proceso natural que las pueda afectar, por el contrario deben mantenerse como áreas protegidas.

Todas las medidas y estudios que se realicen deben ser aplicadas, valoradas y aprobadas por un profesional en la materia.

Medidas como mantener limpios los cauces naturales y artificiales de drenaje, así como conocer y respetar el

comportamiento dinámico de los ríos, puede ayudar a evitar problemas tanto de erosión fluvial como de inundación.

Evitar el desarrollo en las zonas naturalmente inundables, así como corregir los problemas civiles de alcantarillado en el municipio.

Las técnicas de drenaje alternativo, representan una salida viable para el desvío de los excedentes de agua de escorrentía, por lo que se recomienda un estudio detallado de las condiciones hidrogeológicas del cantón, para la aplicación de dichas técnicas.

Realizar un estudio detallado de amenaza sísmica para la falla Cipreses, el cual debe incluir la construcción de trincheras sobre la traza propuesta así como estudios de paleosismología a fin de definir mejor las características geológicas de la falla (conocer el último evento ocurrido, determinar períodos de recurrencia, delimitar zona de impacto por rotura de falla, etc.).

Realizar estudios de amenaza y riesgo volcánicos asociados al volcán Irazú, éstos deberían de incluir un cartografiado a detalle del volcán Irazú (escala 1: 10 000), estudios detallados de la geoquímica y limnología de la laguna del crater, investigaciones sobre susceptibilidad de las cuencas hidrogeográficas a producir flujos de lodo y piedra (lahares).

Además se recomienda realizar planes estratégicos de coordinación entre la comisión local de emergencia y la CNE, la RSN y el OVSICORI, con el fin preparar a la población en la toma de decisiones ante estos eventos.

## 8. Referencias

- ALVARADO, G., 1984: Aspectos petrológicos-geológicos de los volcanes y unidades lávicas del Cenozoico Superior de Costa Rica.- 183 págs. Univ. de Costa Rica, San José [Tesis Lic.].
- ALVARADO, G., 1987: El volcán Irazú: síntesis geológica, actividad eruptiva y peligro volcánico preliminar.-46 págs. ICE
- ALVARADO, G., 1993: Volcanology and petrology of Irazú volcano, Costa Rica.-261 págs. Univ. de Kiel, Alemania [Tesis Ph.D.]
- ALVARADO, G., PEREZ, W. & SIGARÁN, C., 2000: Vigilancia y peligro volcánico.-En: DENYER, P. & KUSSMAUL, S., 2000: Geología de Costa Rica.-520 págs. Editorial Tecnológica de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.

- ASTM, 1993: Annual Book of ASTM Standard. Section 4, Construction; Volume 04.08. Soil and Rock, Geosynthetics.
- ASCE, 1993: Bearing capacity of soils. American Society of Civil Engineers Press, USA 142 págs.
- BERGOEING J. P., 1979: Geomorfología del Sector Volcánico Las Nubes-Cabeza de Vaca. Inf. Semest. N° 25, I.G.N. 139-146. S.J.
- BOSCHINI, I., 1989: Incidencia en las fuentes sísmicas en la región caribe de Costa Rica.-97 págs. Univ. De Costa Rica, San José [Tesis Lic.].
- BOSCHINI, I., SOTO, G., CLIMENT, A., ALVARADO, G., BARQUERO, R. & TAYLOR, W., 1995: Estudio de amenazas sísmicas y volcánicas para la administración de riesgos y seguros en el Instituto Costarricense de Electricidad.-71 págs. , ICE, San José.
- BOSCHINI, I., MOYA, A., CLIMENT, A., SCHMIDT, V., ROJAS, W., LINDHOLM, C., NADIM, F., BUNGUM, H. & ATAKAN, K., 2000: Microzonificación sísmica.-120 págs. LIS, ICE, ECG, NORSAR, NGI, UB,CEPREDENAC,CNE, San José.
- COMISIÓN NACIONAL DE EMERGENCIA, 2000: Mapa de Amenazas Naturales Potenciales, hoja Moravia.-Escala 1:10 000
- COMISIÓN NACIONAL DE EMERGENCIA, 2001: Mapa de Amenazas Naturales Potenciales, hoja Torres.-Escala 1:10 000.
- CRUDEN, D.M. & VARNES, D.J., 1996: Landslide types and processes.-En: Turner, A.K. & Schuster, R.L., 1996: Landslides: Investigation and mitigation. Special report 247. Transportation research board, National Research Council. National Academy Press, Washington, D.C. 675 págs.
- DENYER P. & ARIAS O., 1991: Estratigrafía de la región central de Costa Rica.-Rev. Geol. Amér. Central (12) 1-59.
- DENYER, P., MONTERO, W. & ALVARADO, G., 2003: Atlas tectónico de Costa Rica.-81 págs, Editorial UCR, San José, Costa Rica.
- DONDOLI C., 1955: Informe Geológico-Hidrogeológico sobre la zona norte del cantón de Montes de Oca.- Informe para el servicio cooperativo Interamericano de Salubridad Pública, 5 págs. San José, C.R.

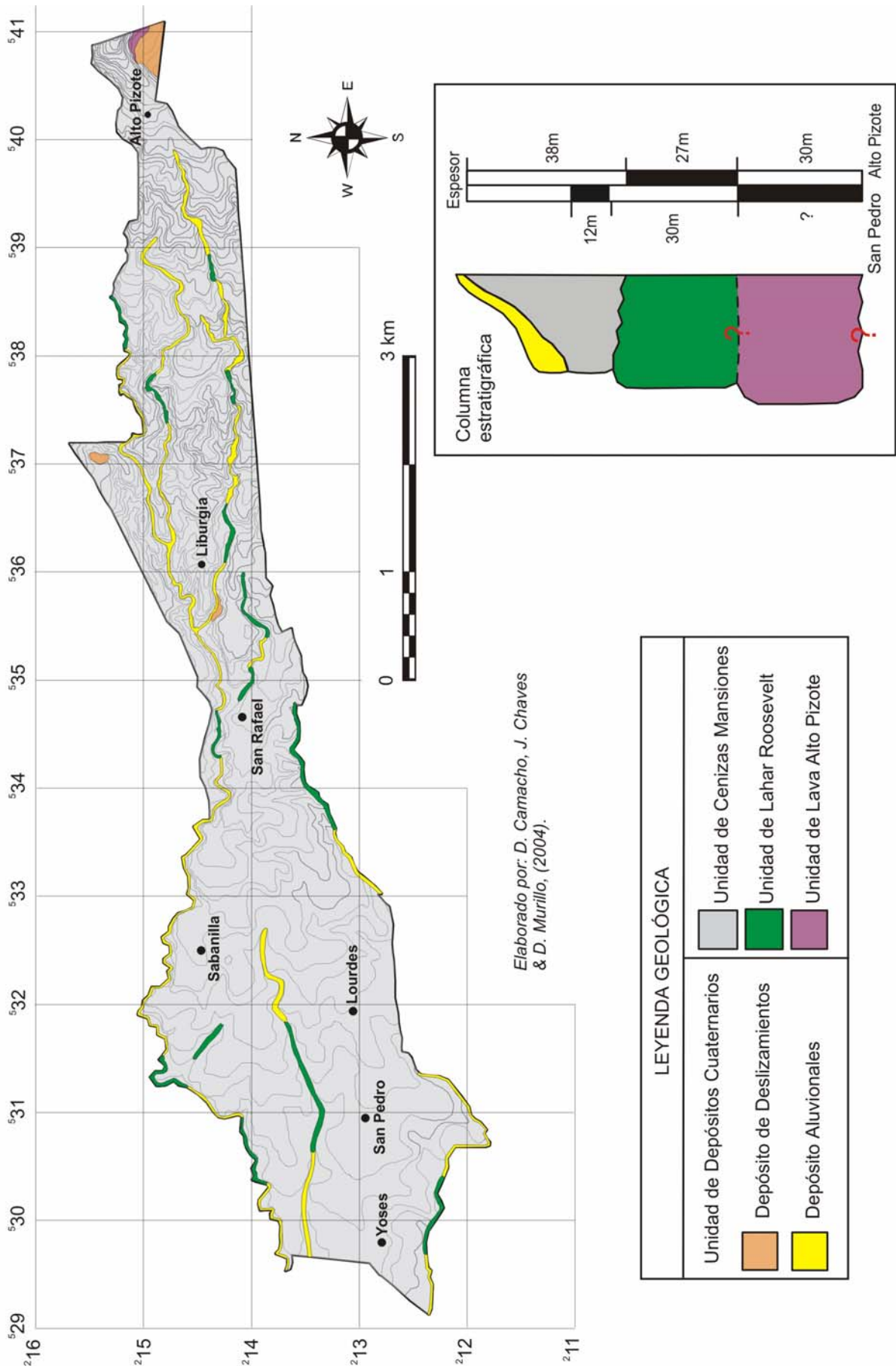
- DONDOLI C., 1965a: Volcanismo reciente en Costa Rica.-Inf. Téc. y Not. Geol., año 4, N° 15-B: 16; Direc. Min. y Petról., San José-Costa Rica.
- FERNÁNDEZ, M & MONTERO, W, 2002: Fallamiento y sismicidad del área entre Cartago y San José, Valle Central de Costa Rica.-Rev. Geol. Amér. Central, 26: 25-37.
- FERNÁNDEZ, M & PACHECO, J., 1998: Sismotectónica de la región central de Costa Rica.-Rev. Geol. Amér. Central, 21: 5-23.
- GVN, 1994: Bulletin of the Global Volcanism Network, 19 (12).
- ICE, 1965: Informe sobre el problema del Río Reventado.-312 págs. San José, Costa Rica [Informe interno].
- I. M. N., 2003 a: Datos de promedios mensuales de precipitación. Estaciones de Avance, CIGEFI, Coronado, Ipis, Las Nubes, Rancho Redondo, Sabanilla y San José.
- I. M. N., 2003 b: Datos máximos anuales de lluvia en milímetros en 24 horas. Estaciones de Avance, Curridabat, Las Nubes, Mozotal, Ochoмого, Rancho Redondo, Sabanilla y San José.
- KRUSHENSKY R. D., 1973: Geología del mapa básico Istarú.-Inf. téc. y Notas Geol. N° 48, Dirección de Geología, Minas y Petróleo, 83 págs.
- KRUSHENSKY R. D., MALAVASSI V. E. & CASTILLO M. R., 1976: Mapa de Reconocimiento Geológico y Cortes Transversales de Costa Rica, América Central.-U.S. Geol. Survey-MEIC, Series map. 1-899 (1: 100 000), Arlington.
- KUSSMAUL, 2000: Estratigrafía de las rocas ígneas.- En: DENYER, P. & KUSSMAUL, S., 2000: Geología de Costa Rica.-520 págs. Editorial Tecnológica de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.
- LINSLEY, R.K., KOHLER, M.A. & PAULHUS, J.L., 1986: Hidrología para Ingenieros. McGraw-Hill, México. 386 págs.
- NACIÓN.COM: Noticias Nacionales: Parte de la tapia de un cementerio se desploma. <http://www.nacion.com/>, Sección Nacionales [consulta: 13 nov. 2003].
- MARCO. J. & CAYUELA. A., 1992 Urban Flooding: the flood-planned city concept.- En: ROSSI, G., HARMANCIOGLU, N. & YEVJECICH. V. (eds): Coping with Floods. Kluwer Academic Publishers: 705-721.
- MONTERO. S., 2003: Plan de Desarrollo Municipal 2003-2007. 40 págs. Municipalidad de Montes de Oca, Despacho de la Alcaldesa (Informe Interno).
- MONTERO, W., 1983. Aspectos sismológicos y tectónicos del Valle Central de Costa Rica.-En IGN-CONICIT:El sistema fluvial de Tárcoles.-San José, Costa Rica.
- MONTERO, W., 1986: El terremoto de San Estanislao del 7 de mayo de 1822. ¿Un gran terremoto de subducción al sur de Costa Rica?.-Rev. Cienc. y Tec., 2: 11-20.
- MONTERO, W., 1989: Sismicidad Histórica de Costa Rica 1638-1910.- Geof. Int. 28 (3): 531-559.
- MONTERO, W., 2001: Neotectónica de la región central de Costa Rica: Frontera oeste de la microplaca Panamá.- Rev. Geol. Amér. Central, 24:29-56.
- MONTERO, W. & ALVARADO, G., 1995: El temblor de patillos del 30 de diciembre de 1952 (Ms=5,9) y el contexto geotectónico de la región del volcán Irazú.- Rev. Geol. Amér. Central, 18:25-42.
- MONTERO, W. & DEWEY, J.W., 1982: Shallow-focus seismicity, composite focal mechanism, and tectonics of the Valle Central, Costa Rica.- Bull. Seism. Soc. Am., 71: 1611-1626.
- MONTERO, W. & MIYAMURA, S., 1981: Distribución de intensidades y estimación de los parámetros focales de los terremotos de Cartago de 1910, Costa Rica, América Central.-Rev. Inst. Geogr. Nac. 2: 9-34.
- MONTERO, W., BARAHONA, M., REDONDO, C. & ROJAS, W., 2002: Sismicidad y simotectónica de San José y alrededores.-Informe Interno R.S.N., U.C.R. San José, Costa Rica.
- MONTERO, W., DENYER, P., BARQUERO, R., ALVARADO, G., COWAN, H., MACHETTE, M, HALLER, K. & DART, R, 1998: Maps and data base of quaternary faults and folds in Costa Rica and its offshore regions.-33 págs. file report 98 (481).
- MORA R., CHAVES J. & VÁSQUEZ M., En prensa: Zonificación de la susceptibilidad al deslizamiento: resultados obtenidos para la Península de Papagayo mediante la modificación del método Mora-Vahrson Mora, 1992.

- MORA R., VAHRSON W. & MORA S., 1992: Mapa de amenaza de deslizamientos, Valle Central, Costa Rica. Centro de Coordinación para la Prevención de Desastres Naturales en América Central (CEPRENAC).
- MORALES, L.D., 1985: Las zonas sísmicas de Costa Rica y alrededores.-Rev. Geol. De Amér. Central, 3: 69-101.
- MORALES, L.D., MONTERO, W. & MADRIGAL, R., 1992: El terremoto de Fraijanes de 1888 y el sistema de fallas de Alajuela, implicaciones del peligro sísmico potencial para el Valle Central Occidental. Rev. Geográfica de Amér. Central 25-26. 227-240.
- MURATA, K., DÓNDOLI, C. & SAÉNZ, R., 1966: The 1966 Eruption of Irazú volcano, Costa Rica (The period of March 1963 to October 1964).- Bull. Volcano 29: 765-796.
- ORTIZ, R., 1996: Riesgo volcánico.-304 págs.-Serie Casa de los Volcanes 5; Cabildo de Lanzarote.
- PANIAGUA, S. & SOTO, G., 1986: Reconocimiento de los riesgos volcánicos potenciales de la Cordillera Volcánica Central de Costa Rica, América Central.- Rev. Cienc. Tec. 10 (2): 49-72.
- PANIAGUA, S. & SOTO, G., 1988: Peligros volcánicos en el Valle Central de Costa Rica.- Rev. Cienc. Tec. 12 (1-2): 145-156.
- PERALDO, G. & MONTERO, W., 1999: Sismología histórica de América Central.-347 págs. IPGH, México.
- PERALDO, G. & ROJAS, E., 2000: Guía para investigadores. Catálogo de deslizamientos históricos para Costa Rica, período 1772-1960. Informe semestral, enero a junio y julio a diciembre. Ministerio de Obras Públicas y Transportes, I.G.N., San José, Costa Rica. 123-171.
- PEREZ, W., 2000: Vulcanología y petroquímica del evento ignimbrítico del pleistoceno medio (0.33 M.a) del Valle Central de Costa Rica. -170 págs. Univ. de Costa Rica. San José. [Tesis Lic.].
- RAMÍREZ, J., SALAS, J. & ROSSO, R., 1992: Determination of flood characteristics by physically-based methods.- En: ROSSI, G., HARMANCIOGLU, N. & YEVJECICH, V. (eds): Coping with Floods. Kluwer Academic Publishers: 77-110.
- ROJAS, W., 1993: Catálogo de sismicidad histórica y reciente en América Central: Desarrollo y análisis.-91 págs. Univ. de Costa Rica, San José [Tesis Lic.].
- RSN, 2001: Boletín de la red sísmológica nacional, enero 2001.-3 págs. Número 13.
- RSN, 2001: Boletín de la red sísmológica nacional, agosto 2001.-4 págs. Número 8.
- RACCICHINI, S., 1978: Criterios para la zonificación de Costa Rica en base al riesgo volcánico potencial.-Rev. Geogr. 86-87: 147-160.
- REAGAN, M, HILL, J & SOTO, G.: An outline of the recent eruptive history of Turrialba volcano, Costa Rica [inédito].
- SALCEDO, D. & SANCIO, R., 1989: Guía simplificada para la identificación y prevención de problemas geotécnicos en desarrollos urbanos. LOGOVEN S.A., Petróleos de Venezuela S.A., Caracas, Venezuela.
- SALAS, J. & JARRETT, R., 1992: Determination of flood characteristics using systematic, historical and paleoflood data.- En: ROSSI, G., HARMANCIOGLU, N. & YEVJECICH, V. (eds): Coping with Floods. Kluwer Academic Publishers: 111-113.
- SOTO, G. & PANIAGUA, S., 1992: La cordillera volcánica Central (Costa Rica): sus peligros potenciales y prevenciones.-Rev. Geog. Amér. Central 25-26: 291-304.
- TRIFUNAC, M.D. & BRADY, A.G., 1975: On the correlation of seismic intensity scales with the peaks of the recorded ground motion. Bulletin Seismological Society of America, vol. 65.
- van ZUIDAN, R., 1986: Aerial photo-interpretation in terrain analysis and geomorphologic mapping. -443 pág. Smits Publishers, The Hague, The Netherlands.
- VARGAS, A., 1994: evaluación de características químicas de aguas superficiales e hidrogeológicas en las subcuencas parte alta Río Virilla y Río Durazno, cantón Vásquez de Coronado, provincia de San José, Costa Rica.- 239 págs. Univ. De Costa Rica, San José [Tesis Lic.].
- VARNES, D.J., 1978: Slope movement: Types and procesos. -En: Scuster & Krizek, 1978: Landslides: analysis and control. special report 176. Transportation research board, Comisión on Sociotechnical Systems, National Research Council. National Academy of Sciences, Washington, D.C. 234 págs.

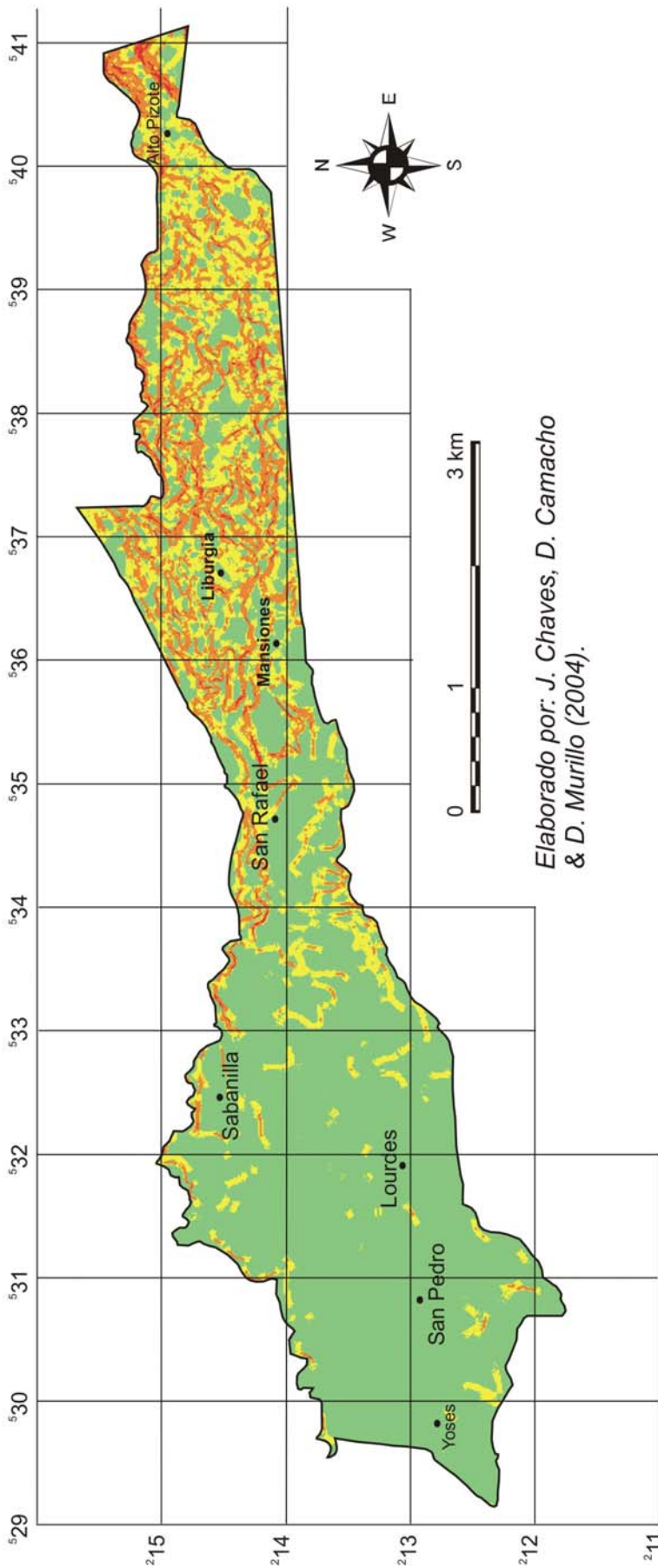
WOODWARD & CLYDE, 1993: A preliminary evaluation of earthquake and volcanic hazards significant to the mayor population center of the Valley Central, Costa Rica.-89 págs. Woodward-Clyde Federal Services, Maryland.

## MAPAS

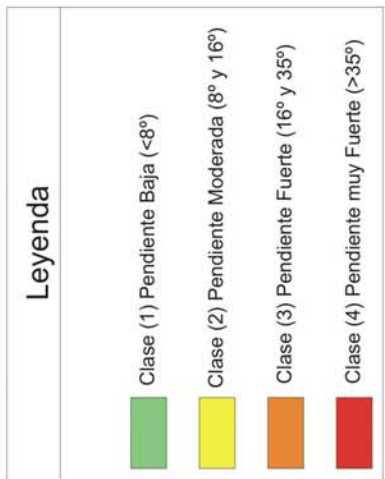
**Figura 2.1.10: MAPA GEOLÓGICO  
CANTÓN DE MONTES DE OCA**



**Figura 3.1: Mapa de Pendientes  
Cantón de Montes de Oca**

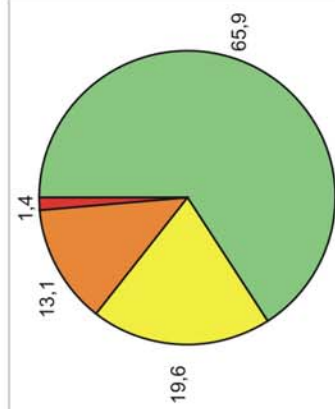


Elaborado por: J. Chaves, D. Camacho & D. Murillo (2004).



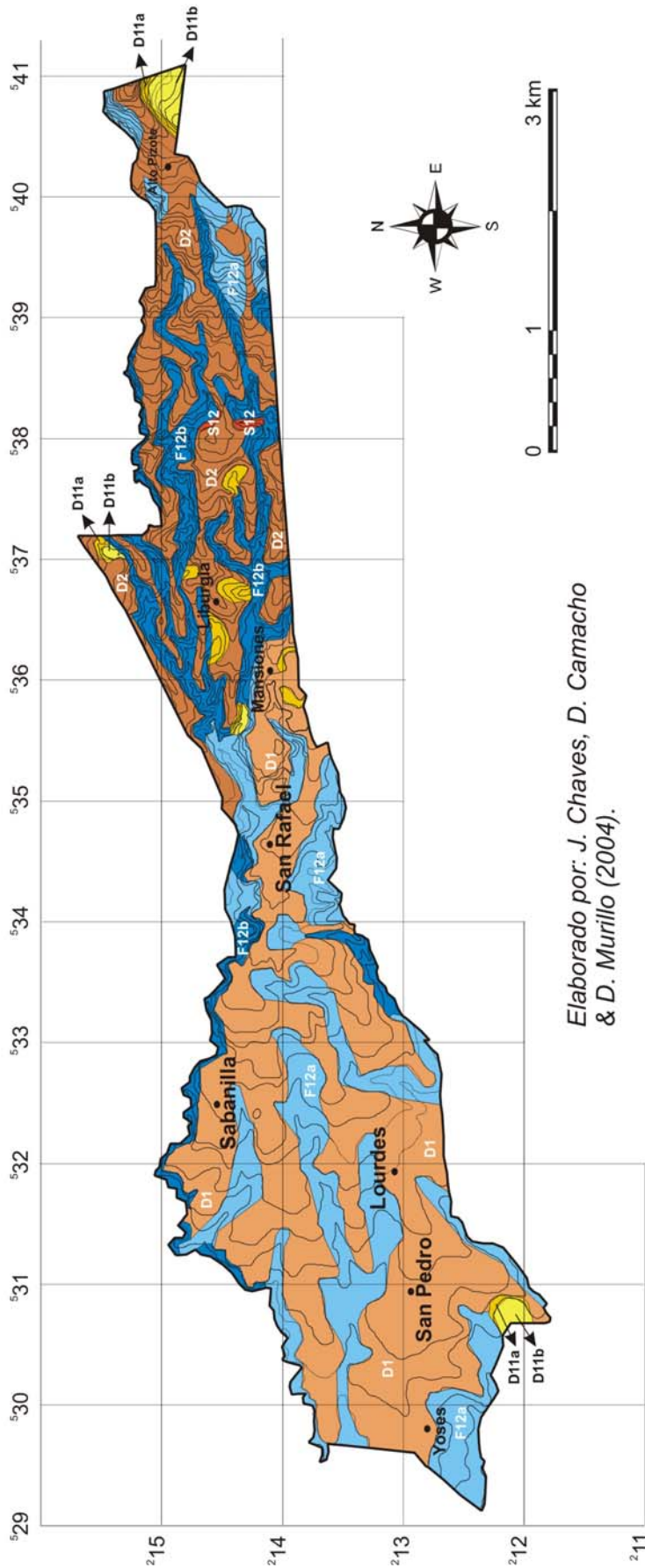
Porcentaje de área por Clase de Pendiente

Clase	Área (m <sup>2</sup> )	Área (km <sup>2</sup> )	Porcentaje
Pendiente baja	10243200	10,2432	65,9
Pendiente moderada	3029400	3,0294	19,6
Pendiente fuerte	2039400	2,0394	13,1
Pendiente muy fuerte	223800	0,2238	1,4
<b>Totales:</b>	<b>15535800</b>	<b>15,5358</b>	<b>100,0</b>

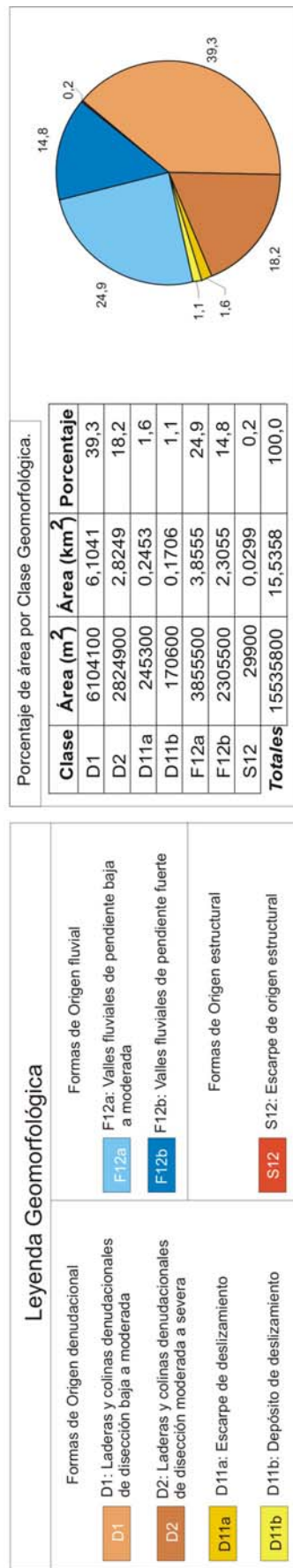




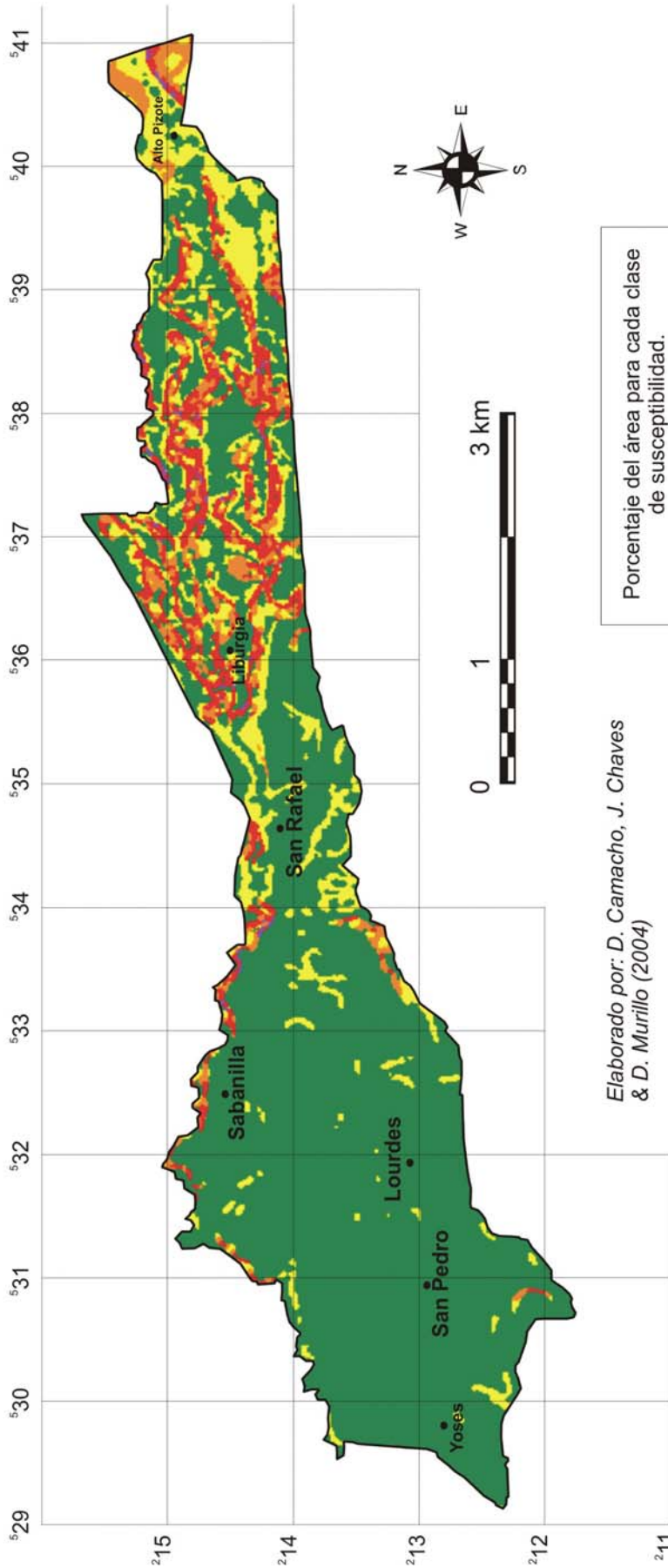
**Figura 3.2: Mapa Geomorfológico  
Cantón de Montes de Oca**



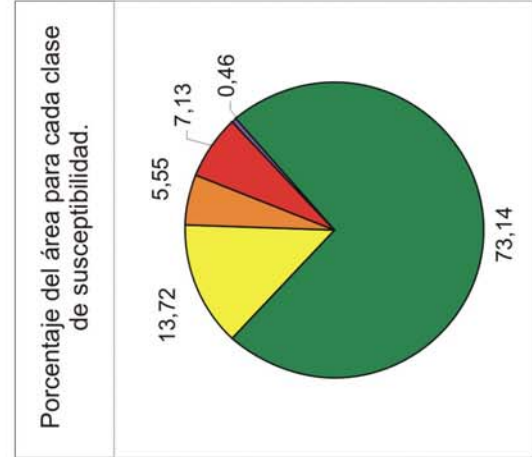
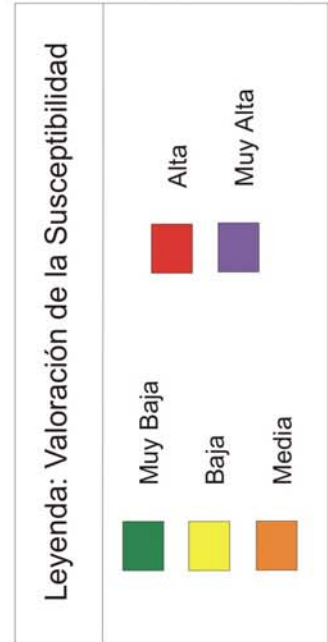
Elaborado por: J. Chaves, D. Camacho & D. Murillo (2004).



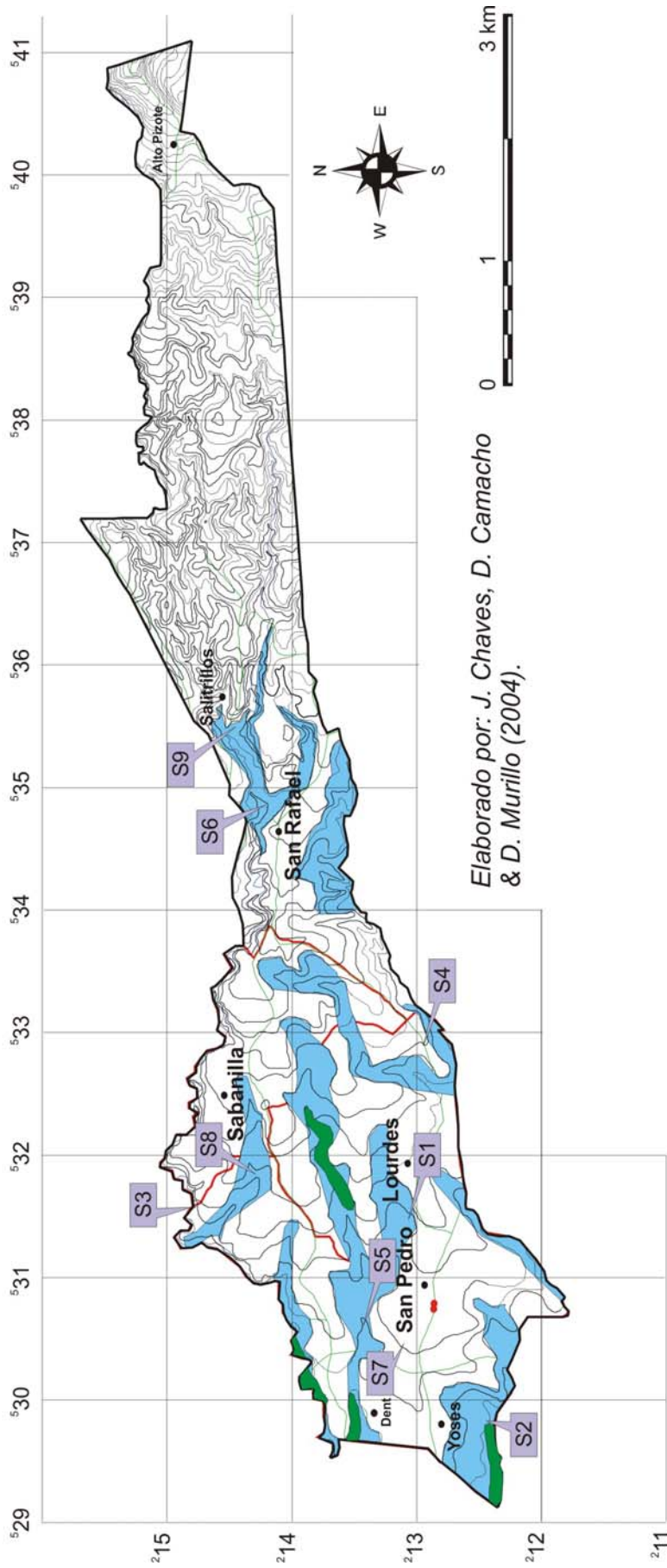
**Figura 4.3: ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD AL DESLIZAMIENTO  
CANTÓN DE MONTES DE OCA**



Elaborado por: D. Camacho, J. Chaves  
& D. Murillo (2004)



**Figura 5.18: Mapa de Ubicación de Puntos Críticos y áreas Susceptibles a Inundación Cantón de Montes de Oca**



Elaborado por: J. Chaves, D. Camacho & D. Murillo (2004).

SIMBOLOGÍA	
S1- Entubamiento frente al LANMAME (Fig. 5.2 y 5.3)	S6- Río Torres, San Rafael (Fig. 5.9, 5.14, 5.15 y 5.16)
S2- Barrio Los Yoses (Fig. 5.1 y 5.4)	S7- Bar Fito's (Fig. 5.10)
S3- Puente río Torres, Paso Hondo (Fig. 5.5)	S8 - Alma Mater (Fig. 5.11)
S4- Quebrada Poro, al SE de Santa Marta (Fig. 5.6 y 5.7)	S9- Confluencia queb. Patal río Patal, Salitrillos (Fig. 5.12, 5.13 y 15.7)
S5- Quebrada Negritos, U.C.R. (Fig. 5.8)	• Problemas de alcantarillado, según la CNE
<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: green;">■</span> Área de inundación recopilada, según la CNE</li> <li><span style="color: blue;">■</span> Área con baja susceptibilidad a la inundación.</li> </ul>	