



**MUNICIPALIDAD DE ALAJUELA  
PLAN REGULADOR CANTONAL DE ALAJUELA**

**DIAGNÓSTICO FÍSICO**

**CAPÍTULO 3 EJE FÍSICO Y MEDIO NATURAL**



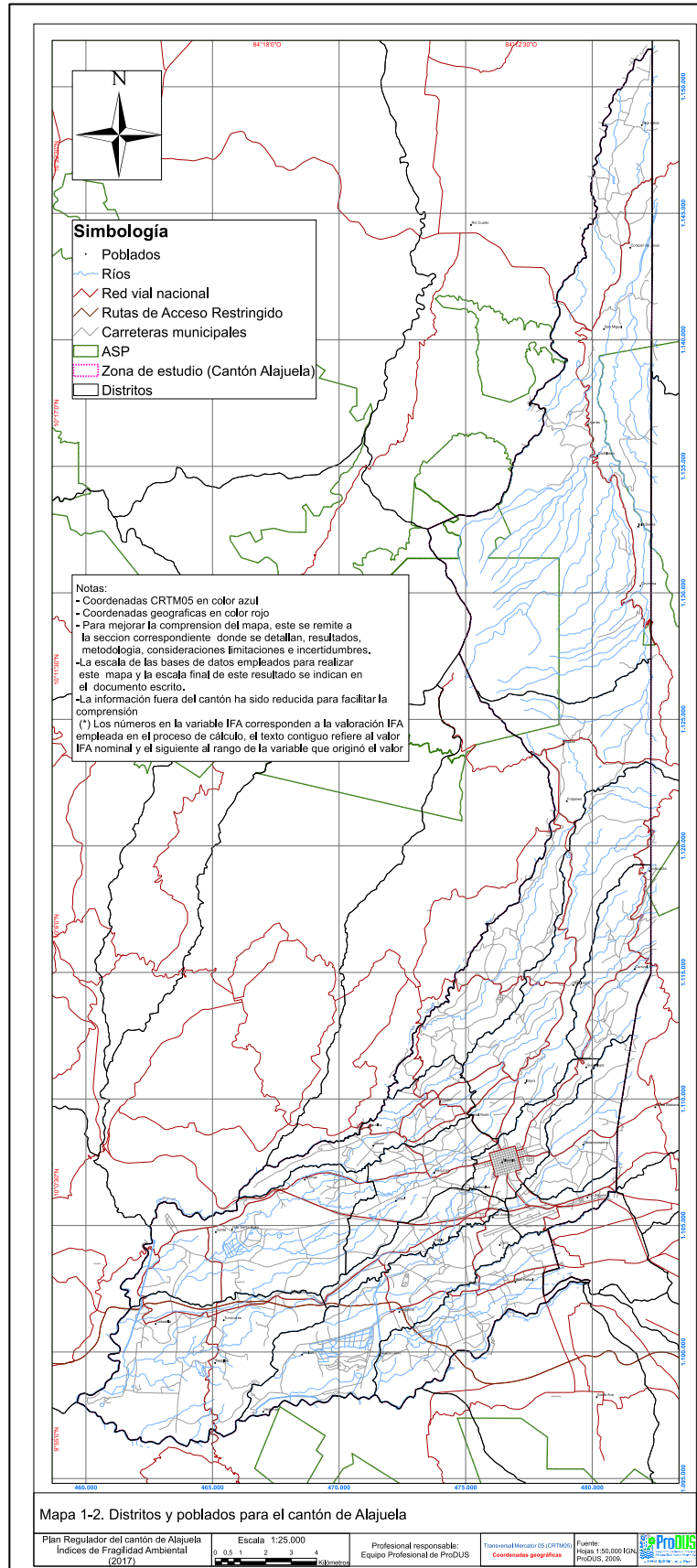
## **CAPÍTULO 3 EJE FÍSICO Y MEDIO NATURAL**

### **3-1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

Comprende territorialmente la extensión total del Cantón de Alajuela. Su jurisdicción ha sido creada y consolidada mediante el siguiente marco legal citado en orden cronológico:

- Asamblea Nacional de Centro América, en Guatemala 5 de junio de 1824: se otorga el título de ciudad.
- Decreto 20 de 11 de noviembre de 1824: el Congreso Constituyente del Estado de Costa Rica le otorga título de ciudad).
- Ley de Bases y Garantías Artículo 2, del 08 de marzo 1841: Establece los límites con los cantones Mora y Santa Ana.
- Decreto 167 de 7 de diciembre de 1848: Se menciona como cantón.
- Resolución 362 de 3 de octubre de 1855: Establece los límites del distrito Santa Bárbara del cantón Heredia con Alajuela.
- Decreto Legislativo 22 del 19 de setiembre de 1865: Faculta al Poder Ejecutivo para fijar límites entre Alajuela y Heredia).
- Decreto Ejecutivo 3 de 11 de abril de 1866: Establece el límite provincial entre Alajuela y Heredia de conformidad con lo dispuesto por el Decreto Legislativo 22 de 19 de setiembre de 1865.
- Decreto 30 de 7 de agosto de 1868: Creación del cantón Atenas y se da el límite con esta unidad administrativa.
- Decreto 31 de 29 de setiembre de 1882: Crea el cantón Santa Bárbara de Heredia colindante con el cantón Alajuela, ratifica límite según Resolución 362 de 3 octubre de 1855.
- Decreto Legislativo 9 de 14 de junio de 1901: Ratifica límite en parte con este cantón y Belén de Heredia así fijado en Decreto 5 de la Comisión Permanente del Congreso Constitucional, de 30 de marzo de 1901.
- Decreto 14 de 15 de octubre de 1901: Crea el cantón Poás segregado de Alajuela e indica límite.
- Decreto 28 de 6 de noviembre de 1922: Crea los distritos 12, 13 y 14 y amplía el distrito 1.
- Ley 4850 de 29 setiembre de 1971: Establece el límite con el cantón Sarapiquí.

Las unidades político – administrativas del cantón y los distritos cuentan con límites oficiales establecidos por las leyes y distritos de creación. En el caso de las ciudad, villas y barrios identificados, no cuentan con una demarcación física o cartográfica oficial de sus límites.





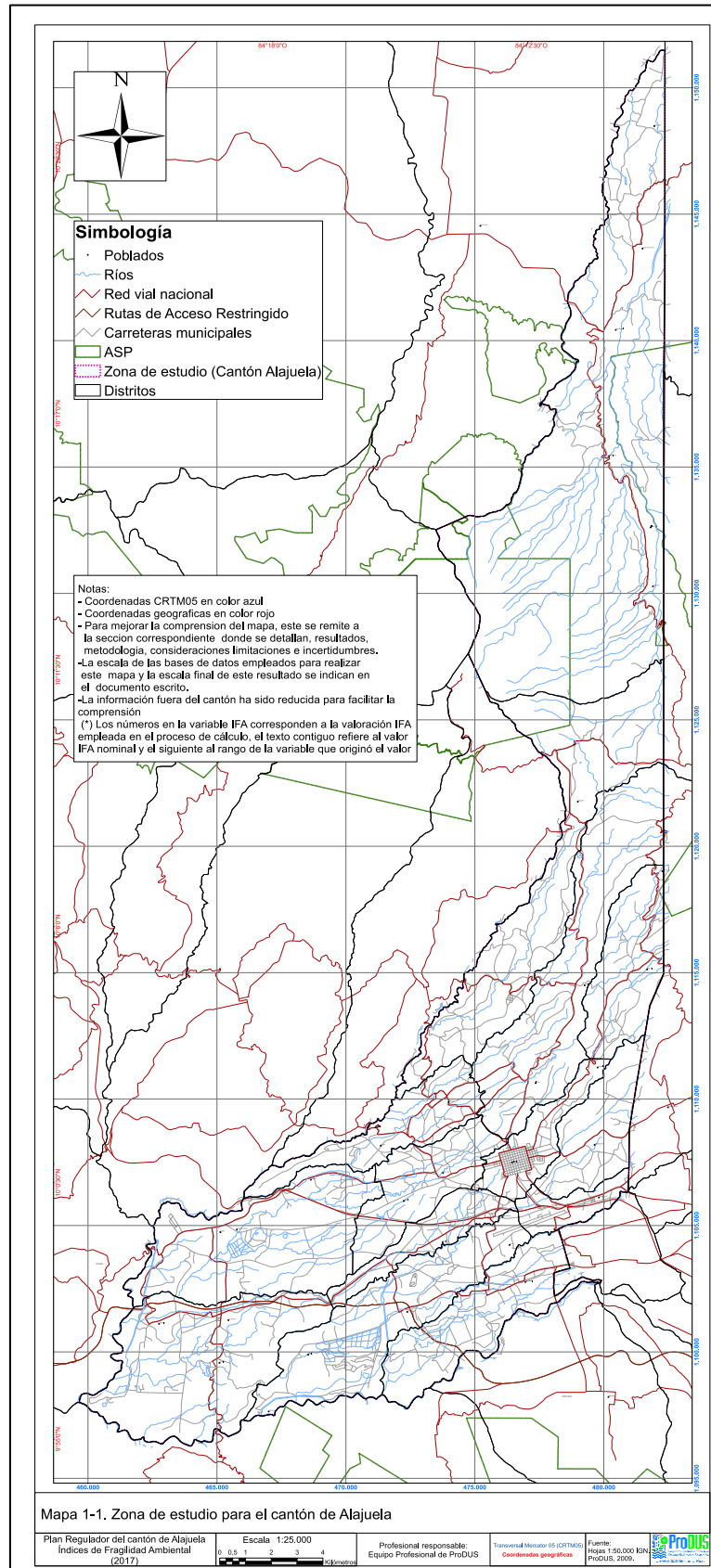
### **3-2. CARTOGRAFÍA DE BASE PARA EL PLAN REGULADOR**

Para el desarrollo de toda la cartografía temática del plan regulador y que muestra las características físicas, ambientales y urbanísticas del cantón, se elaboró un mapa base a partir de la recopilación e integración de los siguientes datos:

- Curvas de nivel cada 5 metros de las hojas cartográficas 1:10 000 del Instituto Geográfico Nacional (con cobertura del 59% del territorio cantonal).
- Curvas de nivel cada 10 metros de la cartografía del Centro Nacional de Investigación GeoAmbiental (CENIGA - con cobertura del 9% del área del cantón).
- Curvas de nivel cada 20 metros de las hojas cartográficas 1:50 000 del Instituto Geográfico Nacional (IGN – con cobertura del 32% del área del cantón).
- Fotografías aéreas *Misión Carta 2005*, CENAT.
- Mosaico de catastro obtenido de los datos disponibles en la Municipalidad.

A partir de estos datos se generó un mapa base que muestra:

- Límites provincial, cantonal y distritales.
- Red hídrica (cauces de dominio público).
- Red vial
- Curvas de nivel
- Mosaico catastral.





### **3-3. TOPOGRAFÍA Y PENDIENTES**

#### **3-3.1. Desarrollo del Estudio**

El estudio de las condiciones topográficas permite identificar zonas con restricciones para el crecimiento urbano, pues de acuerdo con el Reglamento para el Control Nacional de Fraccionamiento y Urbanizaciones en la sección III.3.2.9, terrenos con pendientes mayores al 15% deben presentar estudios preliminares de suelos y terraceo para determinar el tamaño de los lotes y sus taludes. Además, establece que en zonas con pendientes superiores al 30% requieren estudios de estabilidad de taludes.

También, en la Ley Forestal, en su artículo 33, se indica que la zona de protección de ríos y quebradas depende de la pendiente promedio que existe en sus márgenes, ya que si es mayor al 40% el terreno se considera quebrado y se debe respetar una franja de protección de 50 metros a cada lado del cauce. Caso contrario, la franja debe de ser de 10 metros si la zona es urbana, y 15 metros si es rural. Asimismo, se considera que la construcción de viviendas e infraestructuras de servicios básicos en pendientes superiores a 20% aumenta considerablemente el costo de las obras debido a la complejidad estructural.

Para el estudio de la topografía y pendientes del cantón se recopiló la información de curvas de nivel cada 5 metros de las hojas cartográficas 1:10 000 del Instituto Geográfico Nacional. Cobertura del 59 % del área del cantón, las curvas de nivel cada 10 metros de la cartografía del Centro Nacional de Investigación GeoAmbiental (CENIGA). Cobertura del 9% del área del cantón y las curvas de nivel cada 20 metros de las hojas cartográficas 1:50 000 del Instituto Geográfico Nacional (IGN). Cobertura del 32% del área del cantón. A partir de estos datos y utilizando el Sistema de Información Geografía conocido como ArcGIS se realiza el siguiente procedimiento:

- *Digitalizar curvas de nivel*
- *Elaboración del mosaico de curvas de nivel (cada 5 metros, 10 metros y 20 metros).*
- *Generar modelo de elevación digital (MED)*
- *A partir del MED elaborar cobertura de pendiente*
- *Clasificar la cobertura de pendientes de acuerdo con rangos de porcentaje, para así identificar categorías como las indicadas en el apartado "a" de esta ficha, con el fin de identificar zonas con restricciones topográficas para el crecimiento urbano.*

#### **3-3.2. Condiciones Existentes**

La pendiente, es el incremento porcentual de la altura con respecto al desplazamiento horizontal. La distribución de pendientes para el cantón de Alajuela se agrupa por rangos y se incluye el área que abarca cada categoría por distrito. Las categorías se establecieron de acuerdo con la utilizada por Acón y Asociados en 1991 para la elaboración de los Mapas de Capacidad de Uso del Suelo en escala 1:200 000. Las siete categorías de relieve que se utilizaron son:

- Relieves planos para los terrenos con pendientes entre 0-2%.
- Relieves ligeramente ondulados para pendientes con valores entre 2-5%.
- Terrenos ondulados para rangos de pendientes entre 5-15%.
- Relieves fuertemente ondulados son aquellos con pendientes entre 15-30%.
- Relieves escarpados poseen pendientes entre 30-50%.
- Relieves fuertemente escarpados son los terrenos con valores de pendientes entre 50-75%.



- Relieves montañosos son aquellos con pendientes mayores a 75%.

Se puede apreciar que la categoría de pendiente plana reúne el mayor porcentaje del área del cantón, esta abarca un área 117,79 Km<sup>2</sup>, lo que corresponde al 30,29% del territorio del cantón. Como se puede ver en el Mapa esta categoría se localiza principalmente en la parte sureste del cantón, comprende principalmente la zona del Coyal, Guácima, San Rafael y Ciruelas. El distrito con mayor presencia de relieve plano (0-2%) es Sarapiquí, con 26,50 Km<sup>2</sup> (correspondientes a un 23,26% del área del distrito) comprendidos principalmente en la zona norte del distrito, por las planicies que rodean el cauce de los ríos Sarapiquí y Sardinal; estas zonas elevaciones entre 180 y 500 msnm. Más allá de estas zonas planas hacia el centro se encuentran estrechos valles que escalan rápidamente hacia las elevaciones máximas alrededor de los 2500 y 2700 msnm; donde se ubica la Laguna del Volcán Poás.

Seguido de Sarapiquí se encuentra el distrito de Turrúcares, el cual cuenta con una superficie plana de 12,23 Km<sup>2</sup> (más del 35% de su territorio), compuesta principalmente por las planicies del Río Siquiá y la Quebrada Ochomogo. Al suroeste del distrito de Turrúcares se encuentran pequeñas zonas planas con elevaciones entre los 250 y 500 msnm, y el resto del territorio del distrito tiene elevaciones entre 500 y 750 msnm. Los distritos de San José y San Antonio están conformados en gran parte por tierras planas, el 43,27% y 42,87% respectivamente, de su territorio está compuesto por este tipo de relieve, lo cual corresponde en orden a 6,34 Km<sup>2</sup> y 3,78 Km<sup>2</sup>. Por estas planicies se encuentran los ríos Alajuela y Siquiá, y las quebradas Tigre y Lagunilla. Estos distritos se encuentran entre las elevaciones de 750 y 1000 msnm.

El relieve ligeramente ondulado (2-5%) representa el 6,32% del total del territorio de Alajuela, el distrito con mayor extensión en esta categoría es San Rafael con 4,27 Km<sup>2</sup>. Las elevaciones en este distrito se encuentran entre 500 y 1000 msnm, y su relieve es entre plano y ondulado principalmente. Se localiza principalmente en la zona central del distrito. Los distritos de Alajuela, Guácima, Río Segundo, San Antonio, San José y San Rafael, presentan más del 50% de sus áreas entre relieves planos y ligeramente ondulados, es decir pendientes por debajo del 5%. El relieve ondulado (5-15%) comprende un 19,61% del territorio de Alajuela, siendo Sarapiquí el distrito con mayor área de este tipo (14,13 Km<sup>2</sup>), seguido de Garita con 11,10 Km<sup>2</sup>. En el caso de los distritos de Alajuela, Garita, Guácima, Río Segundo, San Antonio, San José y San Rafael, más del 75% de su superficie posee pendientes por debajo de los 15%, correspondientes a las categorías plana, ondulada y ligeramente ondulada, en elevaciones por debajo de los 1000 msnm.

El relieve fuertemente ondulado (15-30%) representa el 19,35% del territorio y se distribuye por todo el cantón a los pies de las montañas y las zonas escarpadas. La mayor extensión de área de esta categoría se encuentra en los distritos de Sarapiquí y Sabanilla, con un total de 22,80 Km<sup>2</sup> y 12,44 Km<sup>2</sup> respectivamente. Esta categoría se encuentra principalmente en la zona sur del distrito de Sarapiquí, y en el distrito de Sabanilla en las zonas aledañas a los márgenes de los ríos Tambor, Poás y Caracha. Así mismo este relieve fuertemente ondulado se presenta en parte de los distritos de Carrizal (5,14 Km<sup>2</sup>) y San Isidro (10,58 Km<sup>2</sup>) en los márgenes de los ríos Tambor y Chorreras, y Quebrada Seca; así como en el sector sureste del distrito de Turrúcares. El Gráfico siguiente muestra el porcentaje que representa cada uno de los tipos de relieve en el territorio de los distritos de Alajuela. Lo más destacable es la presencia mayoritaria de pendientes bajas, pues en general cerca del 60% de las tierras de cada distrito poseen valores por debajo del 30%. El relieve escarpado (30-50%) se extiende sobre un área de 52,01 Km<sup>2</sup> que representa el 13,37% del cantón. Principalmente



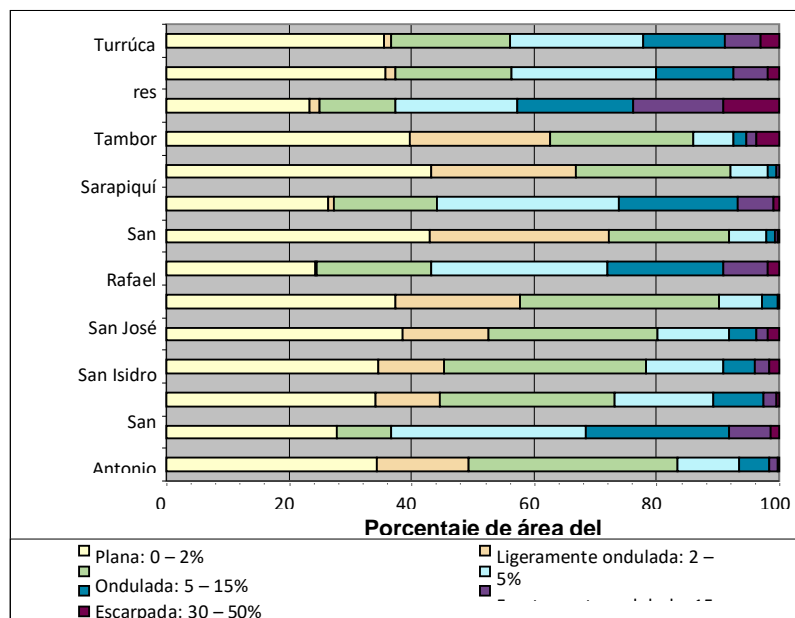
se presenta en los distritos de Sarapiquí, Sabanilla y San Isidro, donde las elevaciones son mayores a 1000 msnm.

El Reglamento para el Control Nacional de Fraccionamiento y Urbanizaciones en la Sección III.3.2.9, señala que aquellos terrenos con pendientes superiores al 15% deben presentar estudios preliminares de suelos y terraceo para estimar el tamaño seguro de los lotes y taludes. Y en aquellos casos en que las pendientes sean superiores al 30% se debe presentar además un estudio de estabilidad de taludes. Los relieves fuertemente escarpados (50-75%) y montañoso (más del 75%) se presentan en menor porcentaje dentro del cantón, abarcan 43,03 Km<sup>2</sup> y representan un 11,06% del territorio. Su presencia se da principalmente en la parte sur del distrito de Sarapiquí, zonas entre las que fluyen el Río Sarapiquí y la Quebrada Pulga; y se encuentra también en las cercanías de la Laguna del Volcán Poás que es donde se dan las mayores elevaciones del cantón, entre 1500 y 2700 msnm. Además se presenta en la zona suroeste del cantón, cercano a los márgenes de los ríos Poás, Ciruelas y Virilla.

En el distrito de Sarapiquí presenta un relieve variado; es donde se presentan las mayores áreas de casi todas las categorías. Al norte del distrito hay un relieve entre plano y ondulado (0-15%), en las planicies del Río Sardinal y Quebrada Grande; en la zona central se da un relieve entre fuertemente escarpado a montañoso (mayor a 50%) y se distribuye como una franja alrededor de los márgenes del Río Sarapiquí; y hacia el sur del distrito aumentan la altitud y se dan las mayores pendientes y elevaciones del cantón. Por su parte, en los distritos de Sabanilla, San Isidro y Carrizal se presentan relieves variados desde algunas zonas montañosas, relieves fuertemente ondulados a los pies de las zonas escarpadas, y hasta terrenos planos; donde predominan los relieves de fuertemente ondulados a escarpados.

En el distrito de Sabanilla se presentan mayores pendientes al norte y al sur del territorio, y pendientes más planas y onduladas al centro del distrito. Mientras que en el distrito de Carrizal se encuentran principalmente relieves fuertemente ondulados a lo largo de toda el área. Por otro lado, en el distrito de San Isidro se da la presencia de zonas más planas y onduladas al sur del distrito, aumentando el valor de la pendiente hacia la región norte.

Distribución porcentual de las pendientes por distrito.







*Distribución de pendientes por distrito para el cantón de Alajuela.*

Distritos	Categoría de relieve	Plana	Ligeramente ondulada	Ondulada	Fuertemente ondulada	Escarpada	Fuertemente escarpada	Montañosa	Total
	Pendiente (%)	0 - 2	2 - 5	5 - 15	15 - 30	30 - 50	50 - 75	Mayor a 75	
Alajuela	Km <sup>2</sup>	3,09	1,35	3,09	0,90	0,45	0,12	0,02	9,02
	%	34,32	14,93	34,23	9,97	4,95	1,37	0,24	100
Carrizal	Km <sup>2</sup>	4,49	0,01	1,41	5,14	3,76	1,12	0,21	16,13
	%	27,81	0,06	8,72	31,88	23,29	6,94	1,30	100
Desamparados	Km <sup>2</sup>	4,42	1,35	3,70	2,08	1,08	0,27	0,05	12,96
	%	34,12	10,39	28,58	16,06	8,33	2,11	0,40	100
Garita	Km <sup>2</sup>	11,66	3,60	11,10	4,29	1,73	0,76	0,54	33,68
	%	34,62	10,68	32,97	12,72	5,13	2,25	1,62	100
Guácima	Km <sup>2</sup>	10,88	3,93	7,80	3,25	1,24	0,55	0,53	28,17
	%	38,61	13,95	27,68	11,52	4,40	1,95	1,89	100
Río Segundo	Km <sup>2</sup>	2,07	1,12	1,80	0,38	0,13	0,02	0,00	5,52
	%	37,46	20,27	32,57	6,94	2,42	0,30	0,04	100
Sabanilla	Km <sup>2</sup>	10,47	0,17	8,07	12,44	8,14	3,17	0,80	43,26
	%	24,20	0,40	18,66	28,75	18,81	7,33	1,86	100
San Antonio	Km <sup>2</sup>	3,78	2,59	1,72	0,54	0,11	0,04	0,02	8,81
	%	42,87	0,75	17,00	29,56	19,36	5,79	1,05	100
San Isidro	Km <sup>2</sup>	9,48	0,27	6,09	10,58	6,93	2,07	0,38	35,80
	%	26,49	0,75	17,00	29,56	19,36	5,79	1,05	100
San José	Km <sup>2</sup>	6,34	3,45	3,71	0,89	0,22	0,05	0,01	14,65
	%	43,27	23,53	25,30	6,05	1,49	0,34	0,04	100
San Rafael	Km <sup>2</sup>	7,40	4,27	4,33	1,21	0,40	0,32	0,69	18,62
	%	39,73	22,92	23,27	6,49	2,15	1,72	3,72	100
Sarapiquí	Km <sup>2</sup>	26,50	1,87	14,13	22,80	21,50	16,68	10,46	113,93
	%	23,26	1,64	12,40	20,01	18,87	14,64	9,18	100
Tambor	Km <sup>2</sup>	4,98	0,23	2,64	3,30	1,74	0,80	0,26	13,96
	%	35,71	1,68	18,93	23,65	12,44	5,73	1,86	100
Turrúcares	Km <sup>2</sup>	12,23	0,38	6,70	7,45	4,58	2,02	1,05	34,41
	%	35,54	1,11	19,47	21,65	13,32	5,87	3,04	100
Total	Km <sup>2</sup>	117,79	24,59	76,28	75,24	52,01	28,00	15,03	388,92
	%	30,29	6,32	19,61	19,35	13,37	7,20	3,86	100

Fuente: Hojas cartográficas 1:50 000 IGN, 1:25 000 CENIGA, 1:10 000 IGN-JICA. ProDUS, 2009.

### 3-4. GEOLOGÍA

Dado que la geología y geomorfología son elementos que guardan una relación muy estrecha con otros elementos o procesos como erosión, inundaciones, climatología, edafología, hidrología, aguas subterráneas y ubicación de asentamientos humanos, son esenciales para el análisis y asignación de usos del suelo en la zonificación del Plan Regulador de Alajuela. Para la elaboración del estudio geológico cantonal se realizó un primer inventario de los siguientes datos e información:

- *Geodatos necesarios para la elaboración del mapa geomorfológico.*
- *Geodatos necesarios para la elaboración del mapa geológico.*
- *Mapa Geológico de Costa Rica 2007. Escala 1:400 000.*
- *Mapa Geológico de Costa Rica 1982. Hoja San José. Escala 1:200 000.*
- *Hojas cartográficas 1:10 000 del IGN.*

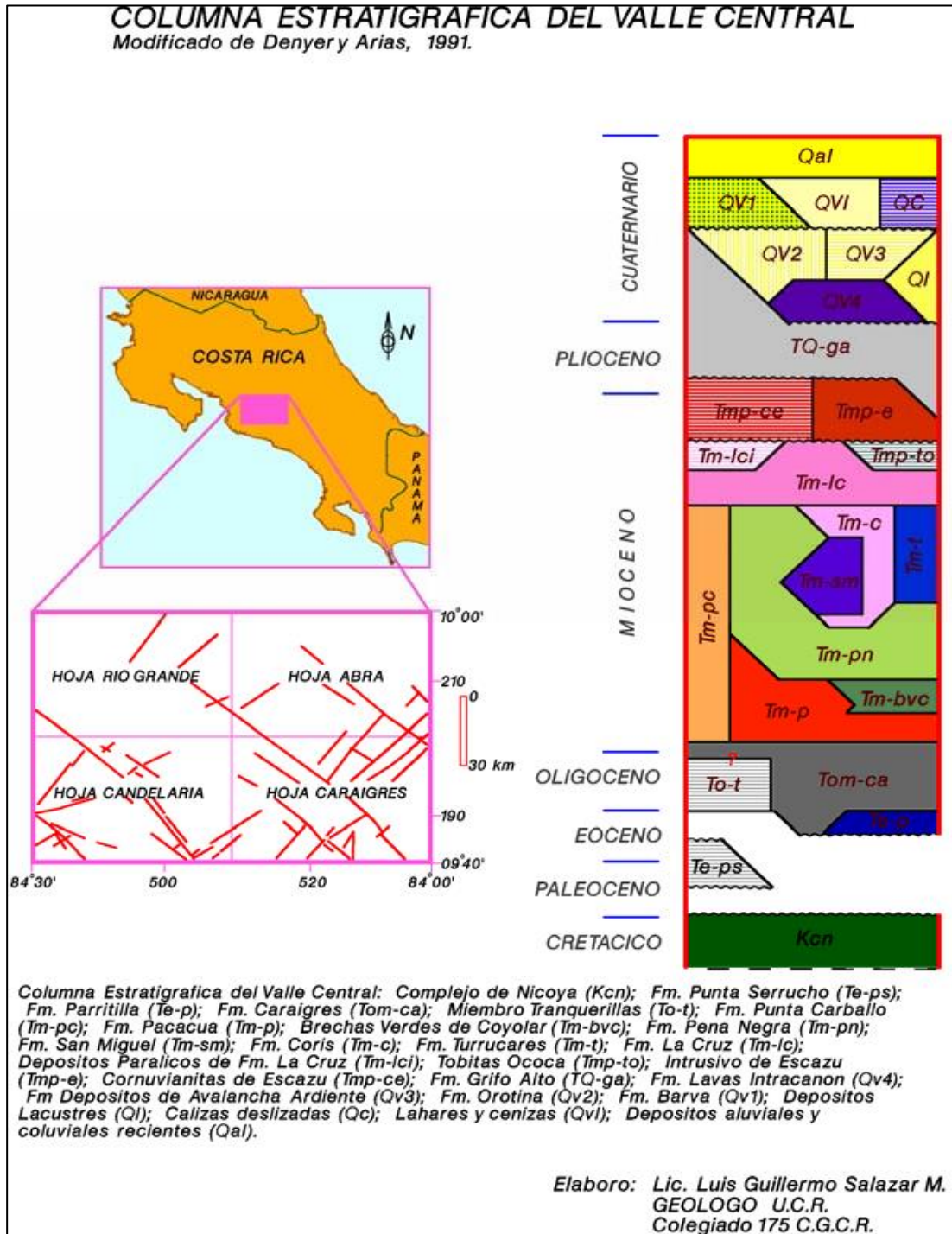
A partir de estos datos se elaboraron los mapas con la información geológica y geomorfológica utilizando el Sistema de Información Geográfica ArcGIS; asimismo, se describen las diferentes unidades que conforman la geología y geomorfología del cantón, por el geólogo Luis Guillermo Salazar.

En primera instancia debe señalarse que la geología del cantón de Alajuela comprende rocas eminentemente volcánicas y/o sedimentarias relacionadas con los mismos procesos volcánicos o volcano-sedimentarios. La edad cubre un rango temporal que abarca del Mioceno hasta el reciente; las rocas más antiguas pertenecen al Complejo Aguacate y las más recientes corresponden al Holoceno, caracterizados por lahares, coluvios y cenizas recientes del Poás.



### 3-4.1. Estratigrafía

La estratigrafía de la zona se describe de lo más antiguo a lo reciente de acuerdo con la normativa vigente. Iniciando la descripción con el Grupo Aguacate y finalizando con los materiales más recientes. La figura siguiente ilustra la columna estratigráfica, seguida de la descripción de las diferentes formaciones identificadas y su litología:





### 3-4.2. Formación Turrúcares (*areniscas, lutitas y calizas de las Cuencas del Candelaria*)

CASTILLO (1969) dio nombre a esta formación, y la ha descrito como una sucesión de areniscas y conglomerados calcáreos fosilíferos. Es una formación volcánica-sedimentaria, de transición marino-continental, con sedimentos siliceocalcáreos de origen químico y detrítico. Se observan diversas facies, que presentan variaciones laterales (MONTERO, 1975).

- **Lava basáltica:** de textura porfirítica, representa la base. Se encuentra muy meteorizada con fenocristales color blancuzco-amarillento, en una matriz arenácea. Presenta gran cantidad de amígdalas de cuarzo, calcedonia y calcita, las cuales aumentan hacia la parte superior de la colada.
- **Arenisca fosilífera:** compuesta por granos blancuzco-amarillentos de hasta 0,5 cm., incluidos en una matriz arenácea-limosa cuando está meteorizada; estos fragmentos aparentemente son volcánicos. Presenta fósiles bien conservados.
- **Caliza:** en superficie sana, presenta un color gris; pardo-amarillento en superficie alterada. Se presenta mal estratificada, con estratos de un espesor de hasta 15 cm., muy fosilífero, compuesto por péctenes, gasterópodos, moluscos, balanídeos, gusanos, etc.
- **Tufita desvitrificada:** de textura fina dominante en superficie sana, presenta un color verde blancuzco; en superficie alterada, pardo-verdoso. Estratificación de regular a mala, estratos de hasta 20 cm; la matriz es color verdosa, con gránulos blancos que reaccionan al HCl. Presenta intercalaciones en forma de lentes de estratos más silíceos y arenosos; en otras partes hay bancos de material muy fino, posiblemente una ceniza grisácea. También aparece una lutita silícea grisácea y conglomerados de río. Es un material poco competente, y en algunas partes se muestra muy plegada, debido a la acción de diques y otros tipos de intrusiones. Estas rocas tienen una textura y estructura similar a la de las tobas depositadas en agua, por lo que han sido llamadas tufitas o tobitas.
- **Conglomerado brechoide:** aparece meteorizado, con evidentes fragmentos volcánicos y, además, calcedonia, cuarzo, calcita. Se presenta mal estratificado, y se localiza a 500 m del Cerro Candelaria.
- **Conglomerado fosilífero:** de textura clástica, presenta granulometría variada, con granos de tamaño arena fina, hasta granos de más de 2 cm. Los de origen volcánico son de forma angulosa y los de pedernal y de otros orígenes son subangulares o redondeados. Se presenta poco meteorizado, con color gris pardo, sin estratificación. Se encuentra principalmente pectínidos y otros fósiles.
- **Ignimbrita dacítica:** presenta variaciones verticales. En la base muestra textura fluidal, con minerales alineados en la dirección de la corriente; en la parte media es más porosa y con minerales alineados sin fluidez; en el techo es más porosa, con gran cantidad de fragmentos de roca volcánica de hasta 4 cm., y minerales blancuzcos y negros siempre alineados, sin evidencia de fluidez.



- **Lava basáltica:** presenta textura porfirítica con fenocristales blancuzcos, por lo general alargados, con fluidez. Representa el paso de la Formación Turrúcares al Grupo Aguacatey a veces resulta difícil ubicarla dentro de una u otra unidad.

El espesor máximo medio sobre el mapa es de 610 m., y el mínimo, 50 m. En general se adelgaza hacia el noreste, donde desaparecen los estratos de caliza y tufitas depositadas en agua. El rumbo de los estratos es noreste, predominantemente N10E a N30E, los buzamientos varían entre 20º y 80º noroeste (MONTERO, 1975).

Aflora a lo largo de una franja con dirección noreste-sureste, en el flanco sureste de los Cerros Turrúcares. Está bien expuesta a lo largo del camino en el puente Piedras Negras, en el Cerro Candelaria y estribaciones, a lo largo de las Quebradas La Pita y Yeguas, y en las cimas de los Cerros Turrúcares, donde la erosión hace resaltar los estratos (MONTERO, 1975).

Sobreyace de manera concordante con la Formación Peña Negra, a lo largo de un contacto general noreste-suroeste. Aparentemente, existe un contacto transicional expuesto cerca de la base del Cerro Candelaria. Es subyacente a una posible discordancia angular a la Formación Tiribí (Rocas Piroclásticas y de Avalancha Ardiente) en su contacto este y oeste, sin haber exposiciones claras de este contacto. Se infiere este contacto debido a que la Formación Turrúcares está plegada, mientras que la primera es subhorizontal. El contacto con el Grupo Aguacate no muestra relaciones de superposición; se encuentra lindando con la Formación Turrúcares en dirección noreste-suroeste (MONTERO, 1975).

En esta secuencia sedimentaria, se encuentra muchos macrofósiles. A simple vista, se puede apreciar gran cantidad de balanídeos, equinoideos irregulares, pectínidos, turritelasy otros gastrópodos. Se trata de una de las localidades fosilíferas más conocidas del país. Los equinoideos fueron descritos por DURHAM (1961), y clasificados como: *Echinolampas wodringi* (+), *Clypeaster* sp., *Pericosmus israelski* (+), *Schizaster costaricensis* (+), *Brissospis* sp. (+), *Shizobrissus kewi* (+), *Plagiobrissus costaricensis* (+) y *Plagiobrissus malavassii* (+).

Las formas identificadas con “+” fueron reportadas por primera vez para la ciencia, WOODRING y MALAVASSI (1961) describen los restantes macrofósiles de la Formación Turrúcares, así como diversas especies de foraminíferos planctónicos y bentónicos. Consideran que los foraminíferos pertenecen al Mioceno Medio, en tanto que los moluscos sugieren que la depositación tuvo lugar en el Mioceno Inferior o Medio. Se puede inferir un ambiente de transición marino-continental, por medio de observaciones paleontológicas y de campo (MONTERO, 1975):

- Ambiente altamente oxidante, por evidencias paleontológicas.
- Gran cantidad de balanídeos, los cuales viven adheridos a substratos duros, cerca de la costa y, además, organismos perforadores (“hongos”), los que indican una profundidad máxima de 20 m.
- Presencia de ceolitas fosfatizadas, las cuales se forman en turbulencia cuando el sedimento está sujeto a fuertes corrientes de marea.
- Los fósiles aparecen quebrados y no redondeados, lo que demuestra que han sufrido corto transporte y que el ambiente era de alta energía.



### 3-4.3. Complejo del Aguacate (*andesitas y basaltos*)

Inicialmente, fue denominado Series del Aguacate por ROMANES (1912, en CASTILLO, 1969), SCHAUFELBERGER (1932, en DENGÓ, 1962) menciona a las Andesitas del Aguacate expuestas en los Montes del Aguacate, en la parte oeste de la Meseta Central. DENGÓ (1962), BERRANGE (1977) el de Complejo de Aguacate. Según DENGÓ (1962), aflora en la parte norte de la Provincia de Guanacaste, en los Cerros del Hacha, Cerros de Cañas Dulces, Cerros de Tilarán, Cerros de Abangares y en Miramar. A partir de los Montes del Aguacate, se extiende hacia el sur, aflorando en los Cerros de Puriscal y en Turrubares, en donde la litología era conocida desde el siglo pasado debido a las mineralizaciones del oro. Según CASTILLO (1969), en el área cubierta por las hojas Abra y parte de Río Grande, aflora al sur del Valle de Tabarcia, al oeste de la Fila Diamante, en el flanco oeste de los Cerros de Turrúcares y al oeste del Río Grande.

DENGÓ (1962) indica que está compuesto por basaltos y andesitas, aglomerados y tobas, las cuales tienen un espesor de por lo menos 800 m en los Montes del Aguacate. La sección basal consiste de andesitas con augita, andesitas con hipersteno y augita, basalto con iddingsita y aglomerados. La parte media consiste principalmente de aglomerados andesíticos y tobas. La parte superior está formada por tobas andesíticas con color de meteorización verde y morado, sobreyacidas por conglomerados con clastos de andesita dentro de una matriz tobácea. Por su parte, CASTILLO (1969) menciona la presencia, de brechas volcánicas, tobas soldadas y lavas andesíticas y andesito-basálticas, intruidas por diques de basalto. La brecha volcánica consiste de fragmentos de andesita y andesita-basáltica, grises a parduzcos, angulares a subredondeados, desde pocos centímetros hasta más de 50 de diámetro, distribuidos en una matriz tobácea, varicoloreada en partes, desde gris claro, amarillo, rojo, hasta púrpura.

La matriz está pobremente endurecida y es de condición friable cuando se ha meteorizado. La toba soldada es generalmente de color gris claro, densa, de grano entre medio y fino y con diaclasamiento paralelo a la lineación de fiame. Localmente, muestra estructura de flujo. Fragmentos líticos y cristales alcanzan menos de 5 mm de longitud y están distribuidos en una matriz de grano medio a fino. En los Cerros de Turrúcares, aflora una toba soldada con buzamiento fuerte hacia el oeste, con aparente evidencia de un plegamiento marcado en la misma dirección que las rocas sedimentarias de las Formaciones Térraba y Turrúcares localizadas por abajo. Las lavas son generalmente andesitas y andesitas basálticas, grises a pardas, de grano de tamaño medio a fino, frecuentemente meteorizadas y con diaclasamiento conspicuo horizontal. Las intrusiones basálticas son grises a gris verduzco, de grano medio a grueso y con grado de meteorización variable. Aureolas de origen hidrotermal de color púrpura, blanco gris y varicoloreadas se observan en la gran parte de las rocas.

KUSSMAUL (1980) describe en la cuenca del Río Aranjuez lavas andesíticas con fuerte alteración hidrotermal del tipo propilítico, con textura holocristalina porfirítica, con fenocristales de plagioclasa (bitownita a labradorita), augita y opacos. Los minerales secundarios son principalmente clorita, carbonatos, sílice, epidota, sericita y pirita. Descansa discordantemente sobre las Formaciones Térraba, Turrúcares y Coris y, a la vez está sobreyacido, en forma discordante, por las rocas volcánicas, lahares y aluviones no diferenciados del Valle Central (CASTILLO, 1969). DONDOLI (1954, en DENGÓ, 1962) se considera que esta serie es Mio-Pliocena, debido a que sobreyace rocas sedimentarias del Oligoceno a probablemente Mioceno Temprano, en la alineación de Puriscal y en los Ríos Grande de Tárcoles y Navarro. CASTILLO (1969) menciona que las rocas de la Formación Aguacate fueron depositadas después del Mioceno Inferior y probablemente antes del Cuaternario. Con base en el método K-Ar, BELLON y TOURNON (1978) le asigna una edad de  $3,2 \pm 0,2$  m.a. a las andesitas del Aguacate que afloran en la Garita y,  $2,1 \pm 0,1$  m.a. a las dioritas del Aguacate. Por lo tanto, todas pertenecen al Plioceno.



#### 3-4.4. Lacustre Palmares (*Diatomita, lutitas y tobas*)

Dondoli, 1951, Villalta y Echandi, 1965, Vargas, 1976, Rodríguez, 1976, Alvarado, 1986 y Matters, 1989, describen una serie de depósitos lacustrinos constituidos por pómez y capas de diatomita, situadas en los valles de San Ramón y Palmares, los cuales se interpretan como un lago con un área cercana a los 50 km<sup>2</sup>. Alvarado, 1986 mencionan hallazgos de megamamíferos en un Tajo de Buenos Aires de Palmares, dentro de depósitos lacustres. Vargas, 1976, describe las litologías de esta unidad como constituidas por sedimentos detríticos de color variable entre blanco gris y café claro, de grano medio a fino, con fragmentos de tamaño variables de pómez blanca; estratificados decimétricamente, presentando a la base de la Formación una parte de 25 m no estratificada de color gris y con una gran cantidad de pómez y biotita. En ocasiones se encuentran gran cantidad de concentraciones de lapilli accesorial.

Tristán, 1994, menciona localmente una serie de sedimentos epiclastos gravosos, arenosos y limo-arcillosos de origen volcánico (ceniza, lapilli, bloques de lava, fragmentos de pómez o escoria). Además existe sedimentación biogénica en algunos niveles. Para Villegas, 1994, la litología en las localidades estudiadas está formada por intercalaciones de lutitas hasta conglomerados pumíticos café claro a gris, con fuerte influencia volcánica; las cuales presentan nulo a bajo buzamiento, siendo el último sin tendencia definida. Define una serie de facies y subfacies, las cuales varían desde ambientes lacustrinos centrales a depósitos periféricos con influencia de ríos y facies ricas en componente de origen orgánicos. Mathers, 1989, le asigna a la secuencia Lacustrina de Palmares un espesor cercano a los 90 m de sedimentos conformados por capas de diatomitas, sobreyacido por una toba de "ash - flow" y localmente por depósitos de talud. Villegas, 1994, Tristán, 1994 y Fajardo, 1994, consideran un espesor cercano a los 50 m.

La forma de estas, es principalmente tabular con un acunamiento al norte hasta Zarcero en donde desaparece, se puede identificar la presencia de varios pequeños lagos al norte del principal (San Ramón-Palmares), con una superficie más reducida y limitada por barreras litológicas del Grupo Aguacate. Alvarado, 1994, ubica tentativamente al Lacustre San Miguel y al de Palmares en el Pleistoceno Inferior con base en correlaciones cronoestratigráficas. Su contacto inferior es difuso a transicional, con la Unidad Alto Palomo y el superior es transicional con los depósitos de caída recientes. Presenta intercalaciones de la formación depósitos de Avalancha Ardiente (Villegas, 1994).

#### 3-4.5. Grupo Volcánico Central

ECHANDI (1981) agrupa las distintas unidades volcánicas posteriores al Complejo de Aguacate, depositadas sobre el Valle Central Occidental, y que poseen una génesis relacionada con la actividad de la Cordillera Central. Incluye distintas unidades litoestratigráficas presentes en la Cuenca del Río Virilla. Se trata de las **Formaciones Colima, Tiribí y Barba**, constituidas por materiales provenientes del macizo del Volcán Barba y otros centros de emisión localizados al este. Dan origen a una serie de acuíferos importantes, que se explotan para el abastecimiento público, la industria y la agricultura. Otras unidades volcánicas post-Aguacate, localizadas en la Cuenca del Río Grande y provenientes del macizo del Poás, son incluidas en este grupo. Las unidades del Grupo Volcánico Central se extienden por todo el Valle Central. Están limitadas al sur, por los Cerros de Escazú, Puriscal, Tablazo y Carpintera; al norte, por las llanuras aluviales de Sarapiquí y San Carlos, y, por rocas de la Formación Turrúcares y del Complejo Aguacate, al oeste. Al este, limita con las rocas volcánicas de la Formación Reventado (Grupo Irazú de KRUSHENSKY, 1972, 1973).



### 3-4.6. Formación Tiribí (*Ignimbritas*)

Definida por FERNANDEZ (1968) y analizada por ECHANDI(1981). Con posterioridad a los derrames lávicos de la Formación Colima y separados por un intervalo de tiempo largo, comenzó una depositación sobre la topografía antigua de materiales piroclásticos, avalanchas ardientes y otros flujos de fragmentos, que se extienden por todo el Valle Central, definidos en una unidad formacional. Abarcan todos los materiales citados que se encuentran entre las lavas de la Formación Colima y las de la Formación Barba (Post-Avalancha) suprayacentes.

- a) Miembro Ignimbritas de Elctriona (Superior): constituido por los grandes depósitos de ignimbritas que se observan en los cañones de los Ríos Tiribí, Virilla y Ciruelas. Se agrupan en este miembro todas las exposiciones ignimbríticas que se observan en los citados cañones, incluyendo todas aquellas ignimbritas típicas muy soldadas, con bastante vidrio negro, con bandeamiento horizontal, fiames y pómez, colapsadas en una matriz vidriosa, densa y dura. Presenta disyunción prismática bien desarrollada. En las partes superior e inferior, la ignimbrita es menos densa, y presenta menos contenido de vidrio y mayor de pómez. Su espesor es de 80 m.
- b) Formación Andesitas Poás (coladas de lava y piroclastos de la Cordillera Central): se define para abarcar un conjunto de estrato-volcanes que forman la Cordillera Central. Se caracteriza por lavas andesíticas y andesita-basálticas con dos piroxenos, intercaladas con material piroclástico del tipo ceniza, lapilli, aglomerados y lahares. La mayoría de las rocas que la componen, están concentradas en los volcanes de la Cordillera Central, las lavas que constituyen a estos volcanes, son más antiguas que los “depósitos de avalancha ardiente”. Se incluye dentro de la Formación Andesitas Poás a la Formación Barba, definida por los geólogos del *Senas* (en ECHANDI, 1981), y al Grupo Irazú definido por KRUSHENSKY (1972: 18) con sus respectivas Formaciones Reventado, Sapper, Birrís y Cervantes por no existir criterios de campo, petrográficos ni químicos que permitan diferenciarlas. Se designa como holoestratotipo al Volcán Poás y como paraestratotipo a los volcanes Turrialba, Irazú, Barba y Platanar. Descripciones petrográficas y químicas de las lavas y piroclastos de la Formación Andesitas Poás, se encuentran en KRUSHENSKY (1972: volcán Irazú), PANIAGUA (en preparación: volcanes Barba y Turrialba), TOURNON (1980: volcán Platanar) y WEYL (1969: volcán Poás). ECHANDI (1981) propone el nombre “Grupo Volcánico Central” para reunir a las formaciones posteriores al Grupo Aguacate, o sea, Lavas Intracañón, Depósitos de Avalancha Ardiente y Andesitas Poás.
- c) Unidad Achote (vulcanismo del Pleistoceno): fue definida por Montes, 2007, y consiste en un conjunto de coladas andesíticas y basálticas que afloran principalmente a lo largo de los cauces y laderas de los ríos, originando grandes afloramientos verticales de roca de hasta 10 metros de altura. Se puede observar en las quebradas Chagüite, San Juan, Ángeles, Seca y Lajas. En las laderas cercanas a los cauces de agua, es posible observar bloques de rocas aislados sobre el terreno, con tamaños centimétricos a métricos, que sobresalen más de 5 metros de altura. Las lavas se caracterizan por ser masivas y por tener fracturación en lajas o ser masivas. Las aberturas por enfriamiento originan fracturas abiertas de hasta 50 cm, lo que a su vez permite la formación de bloques métricos en la parte superior de la colada y lajas de hasta 20 cm en la sección inferior de las mismas. Las coladas presentan pequeñas variaciones en su composición mineralógica, vacuolar y de meteorización. Esta unidad se encuentra sobreyacida por la unidad Doka y sobreyace la Formación Tiribí, sin embargo, no se observan los contactos entre ellas. Se estima una edad aproximada de 300 mil años.



- d) Unidad Doka (vulcanismo del Pleistoceno): está formada por depósitos piroclásticos de caída (cenizas, lapilli) y por horizontes de tobas, que han sido originados durante los últimos eventos eruptivos de los volcanes de la Cordillera Central, posiblemente por el Barba y Poás. Por las dimensiones del material y la forma en que es emitido, estos materiales se depositan cubriendo la topografía existente, compuesta de planicies y valles, por lo que presentan una amplia distribución geográfica. Aflora prácticamente en todo el cantón de Grecia, aunque los mayores espesores se localizan en el sector sur del mismo, cerca de la fuente de emisión. Las mejores exposiciones de la unidad se presentan en la parte norte del Cantón de Grecia, así como en taludes de carreteras y caminos como las cales San Miguel, Ángeles y San Luis. En el sector central del mismo, se observan grandes espesores de la Unidad.

Se trata de un depósito formado por una intercalación de cenizas, lapilli y tobas de variada granulometría, consolidación y estados variados de meteorización, así como sus espesores. Cada una de estas corresponden con diferentes episodios de depositación pero en la mayoría de los casos, no están claramente definidos por contactos marcados, sino que el cambio se observa de forma transicional, sin embargo, si se pueden reconocer las diversas capas con diferentes tamaños de piroclastos como cenizas, lapilli, o en diferentes formas de coloración o meteorización. El espesor total se ha estimado en 9 metros.

Estratigráficamente sobreyace discordantemente la Unidad Achioté y es sobreyacida por la Unidad de Lahares y depósitos Aluviales Recientes igualmente inconsolidados, sin embargo los contactos no se observan en el campo. La edad de esta Unidad ha sido estimada por Prosser y Carr (1987) en Montes, N., 2007 en 40 mil años.

### **3-4.7. Rocas Volcánicas, Lahares (*Lavinas*), terrazas fluviales y aluviones no diferenciados del Valle Central.**

Estas rocas han sido estudiadas por SCHAUFELBERGER (1935, en DENGO, 1962), WILLIAMS (1952) y DONDOLI (1954). CASTILLO (1969) agrupó los materiales del Cuaternario del Valle Central en:

- *Rocas volcánicas*
- *Lahares y Aluviones*

DENGO (1962) las agrupa en:

- *Lavas de intracañón*
- *Depósitos de avalancha ardiente*
- *Lavas de post-avalancha*

Las Lavas de intracañón se analizan en este trabajo en las Formaciones Colima, Tiribí y Barba, en tanto que las Lavas de Post-avalancha se analizan en el Grupo Irazú. Es necesario considerar en este capítulo, una serie de materiales no consolidados. Por lo tanto, en este capítulo se opta por analizar los lahares, las terrazas fluviales y depósitos aluviales recientes.





### **3-4.8. Lahares (*Lavina*).**

Cubren un área del lado oriental del Valle Central Occidental. Están constituidas por bloque de lava andesítica, cuyo diámetro promedio oscila desde 0,5 cm hasta 3 m y más. Están comprendidos en una matriz limo-arcillosa en unos casos, limo-arenosa en otros, y aún, en casos esporádicos, arenosa. Estos lahares sobreyacen lavas y ocupan la mayor extensión superficial (TORRES y LEZAMA, 1980). Montes, N., 2007 los describe de la siguiente forma para afloramientos en el Cantón de Grecia, se encuentran flotando en forma de muy puntual en los cauces de las Quebrada Lajas, y los cauces de los ríos: Rosales y Achioté.

A pesar de de las diferencias de color que caracterizan esta unidad, así como en los tamaños, grados de meteorización y selección de los clastos, se propone que es el mismo flujo lahárico y que, esa variabilidad es producida por la mecánica del flujo mismo que causó el depósito así como a la meteorización natural de las rocas del área. Los clastos son: angulares, subredondeados, de diferente composición y grado de meteorización.

La matriz en donde flotan los granos es arcillosa, con colores variados de café oscuro a amarillo claro, con partículas milimétricas. Normalmente los bloques no son muy grandes, ya que no sobrepasan los 7 cm de diámetro, pero si, están muy sanos, están constituidos por fragmentos de lavas, escorias, bombas, tobas otros líticos con coloraciones rojizas, negras, café, verde, amarillentas y naranjas. Los espesores medidos son de 1 a 2 m y el máximo observado es de 10 m en el río Achioté. Probablemente, se originaron en los flancos de las Tres Marías, del Volcán Irazú y en menor proporción de los cerros Escazú (CASTILLO, 1969).

### **3-4.9. Terrazas Fluviales.**

Están constituidas por capas de poco espesor y pequeña extensión, en forma de interestratificación, compuestas por materiales arenosos de evidente origen fluvial, que constituyeron, al parecer, antiguas terrazas del Río Reventado. Se asocian con lahares que interestratifican. Este material parece ser el relleno de un antiguo cauce del mencionado río (TORRES y LEZAMA, 1980).

### **3-4.10. Depósitos Aluviales Recientes.**

Están constituidos por bloque de lavas andesíticas, sueltos, cementados o semiconsolidados, bien redondeados y poco meteorizados, en tamaños cuyos diámetros oscilan desde los pocos centímetros hasta de un metro y más. Aparecen en una matriz de tipo, limo arcilloso, de color pardo amarillento, la cual a veces se torna predominantemente arenosa, y su coloración varía a gris oscuro (TORRES y LEZAMA, 1980).



### **3-5. GEOMORFOLOGÍA**

El mapa geomorfológico, ha sido elaborado con base a la recopilación geomórfica y su relación con la topografía a escalas diversas (200 mil, 100 mil y 50 mil), correlación con la topografía de los mapas originales a escala 1:50000. Para la clasificación de las morfologías se ha utilizado la metodología de I.T.C, de Holanda, la cual trata de unificar nombres, códigos y descripciones sencillas de las unidades que han sido cartografiadas en este estudio, adjuntándose en este documento parte de la Tabla de Van Zuidan, 1968, la cual ha sido traducida para ser utilizada en este estudio. Solo se presentan los tipos de morfologías que se han observado en el área a saber: Volcánicas, Denudacionales y Fluvio lacustres unido a lo anterior se consulta en forma preferencial a por MADRIGAL y ROJAS, 1984.

#### **3-5.1. Formas de Denudación**

Estas morfologías se han originado por los diferentes procesos que forman parte de la denudación (meteorización y erosión). Los procesos geomórficos son: el agua en sus diferentes facetas (ríos, torrentes, agua subterránea, océanos y glaciares), que junto con el transporte, alteran, desprenden y arrastran los fragmentos de rocas y suelos, hasta las cuencas sedimentarias.

- a) Montes del Aguacate: la ciudad de Santiago de Puriscal. Está formada por laderas de fuerte pendiente. Se presenta una divisoria de aguas de dirección este-oeste, las aguas al norte van al Río Grande de Tárcoles, las del sur van al Grande de Candelaria. Las divisorias son menores a 100 metros de ancho. Una de las características de la unidad es la facilidad de sus terrenos a originar deslizamientos. Solamente ha sido cartografiado uno de ellos, situado al noroeste de Santiago, pero existen muchos más en el área. Las rocas son en su mayor parte volcánicas pero hay también sedimentarias. Las volcánicas en su gran mayoría están profundamente meteorizadas, lo que favorece los deslizamientos. Su origen se liga a la intensa erosión de las rocas citadas anteriormente. Las rocas volcánicas descansan sobre rocas de aparente edad Oligoceno.
- b) Deslizamientos: se localizan sobre todo en la ladera sur del Poás, los más grandes se han desplazado, principalmente hacia el Sur y Oeste. Sus pendientes son cercanas a los 90 grados en las zonas de desgarramiento y menos de 30 grados en las zonas de depósito. Durante el terremoto de Cinchona, se generaron varios de ellos en forma individual y grandes áreas fueron afectadas por este tipo de evento, hasta ahora no existe un cartografía confiable para incluirlo en este documento. Se relacionan con erosión fluvial, alta intensidad sísmica que sacude la zona (VIII) cuando ocurren los terremotos, otro disparador de deslizamiento lo es las lluvias intensas y prolongadas, que afectan terrenos que no poseen un buen comportamiento físico mecánico como cenizas y depósitos de lahares. Su edad es Holoceno – Reciente.
- c) Laderas denudacionales del Volcán Poás: se localiza en la parte media de la ladera norte del Poás. Está constituida, principalmente, por laderas de pendiente baja y topografía ondulada y delimitada por valles de rumbo norte, de pendiente baja a moderada. Su origen se relaciona con la erosión hídrica provocada por la escorrentía que se da por las lluvias que penetran desde el Caribe y las Llanuras del norte, las laderas del sector norte de la Cordillera Central presentan esta característica común. La edad de la forma es desde el Pleistoceno hasta el Reciente.



- d) Taludes de erosión o escarpes: se localiza en la parte media de la ladera norte del Poás en donde son más profundos y desarrollados; en la ladera sur, son más numerosos pero no tan desarrollados. Está constituida, principalmente, por laderas de pendiente baja y topografía ondulada y delimitada por valles de rumbo norte ó hacia el Sur y suroeste, de pendiente baja a moderada. Su origen se relaciona con la erosión hídrica provocada por la escorrentía que se da por las lluvias que penetran desde el Caribe y las Llanuras del norte, las laderas del sector sur de la Cordillera Central presentan esta característica en común. La edad de la forma es desde el Pleistoceno hasta el Reciente.

### 3-5.2. Formas de Origen Volcánico

Estas formas se deben a la actividad volcánica de la Cordillera Central. La misma está conformada por cuatro de los más importantes y voluminosos estratovolcanes de Costa Rica a saber Poás, Barva, Irazú y Turrialba.

- a) Cono del Volcán Poás: el cráter activo se encuentra en la intersección de las coordenadas geográficas 10°1 Norte y 84° 14' Oeste. Es el estratovolcán complejo más grande del país, su máxima elevación es de 2708 m.s.n.m. Presenta laderas con todo tipo dependiente y en él se encuentran otros conos volcánicos poco conocidos como son: el Cerro Platanares, Porvenir, Viejo y las unidades ya mencionadas Caldera de Hule y Congo. Del lado sur, a 1 km del cráter activo, se localiza un cráter extinto, el cual está ocupado por una laguna. Tanto el cráter principal, como este de la laguna son en realidad calderas. En el interior del cráter activo; se ha formado un pequeño domo extrusivo. Posee todo tipo de rocas volcánicas, pero principalmente de composición andesítica. Su forma actual se debe la actividad volcánica que ha sostenido por varias centurias. Desde luego la erosión lo afecta en determinados lugares pero, su forma actual es exclusivamente el resultado del acumulo de diferentes coladas lávicas y de piroclastos. A pesar de que es una forma vieja, debe considerarse que su edad no va más allá del Plioceno.
- b) Meseta volcánica: denominada por Madrigal y Rojas, 1984 como “**Restos de topografía plana formada por ignimbritas**”: se localiza a la orilla del valle del Río Grande de Tárcoles entre su confluencia con el Virilla hasta alcanzar la costa Pacífica. Presenta una topografía casi horizontal. Por el lado donde la unidad cae al valle, su ladera es vertical, hay ríos o quebradas que han disectado la meseta de ignimbritas con profundos cañones como el Virilla, Grande y el Colorado. Esta constituido por ignimbritas y lavas de diversos grados de consistencia. Su origen se relaciona con corrientes piroclásticas que descendieron por el incipiente Valle del Tárcoles hace algunos cientos de miles de años. El río se localizaba unos pocos metros bajo la superficie y no a 200 metros como en la actualidad. Luego de muchos miles de años el cauce del Río Grande de Tárcoles ha cortado la superficie separándola, en varios sectores. Su edad es de finales del Pleistoceno, ya que las rocas que la conforman, tienen cerca de 800 mil años.
- c) Restos de superficies planas originadas por corrientes de lodo y lahares: se localizan al norte del Volcán Poás, formando parte de las llanuras del norte de Costa Rica; otro sector se localiza en la parte Sur del Cantón en la zona que ocupa la carretera hacia Puntarenas. Se caracteriza por pendientes inclinadas hacia el norte y al S y SO, pequeños ríos y quebradas la cortan, conformando un relieve plano y disectado por cárcavas y barrancos, que se caracterizan por laderas verticales. Ocupa la parte alta de terrenos que en superficie son planos, con un suave declive de menos de 10° en esas direcciones.



Su altura como promedio es de 1000 m.s.n.m., en su sección sur y unos 150 m en el norte al Cantón. Los ríos que la cortan originan laderas suavemente convexas que se transforman en verticales al encontrar materiales más resistentes. Está constituida por materiales arrastrados y depositados por corrientes de lodo. Los fragmentos originados desde la cúspide del Poás, tienen gran abundancia de fragmentos de andesitas y basaltos de tamaño métrico, todo dentro de una matriz muy arcillosa y arenosa. Debe estar entre el Plioceno al Holoceno.

- d) Coladas de lava: se localizan al pie del cono del Poás, se extienden inicialmente en forma radial desde la cúspide del mismo y luego toman direcciones predominantes al Norte, Sur y Suroeste. Su topografía consiste de lomas suaves y onduladas, con saltos topográficos pronunciados (100 m) en los frentes de las coladas de lava. Los frentes se disponen en forma de arco, perpendicular a la dirección de flujo de manto lávico, con un vértice agudo apuntando hacia el cono volcánico. Se caracterizan por poseer una superficie irregular provocada por el carácter blocoso de las mismas.

Ocasionalmente se observan otras características interesantes de las mismas como lo son: las arrugas frontales producidas por el flujo hacia adelante de la lava y la topografía en canoas, típicas de lavas viscosas, generalmente de tipo blocoso (lava aa, similares a las de otros volcanes del país Volcán Arenal y las de Cervantes, en el Irazú). Las coladas son flujos viscosos de lava que se desplazan pendiente abajo por las depresiones del terreno. Alcanzan hasta 20 km longitud y unos 3 km de ancho, y hasta 100 m de espesor. Sin embargo en las zonas planas, sobre todo donde se dan los cambios de pendiente importante estas alcanzan más de 3 km de ancho. Los drenajes principales están separados por más de 3 km en la parte cuspidal, sin embargo en las zonas planas estas diferencias tienden a disminuir.

El patrón general de drenaje es de tipo paralelo y en forma general radial para todo el Volcán, influenciado por la pendiente original de la zona, la que es constante y muy uniforme. Las laderas se inclinan preferentemente hacia el norte con variaciones NE y NO, con ángulos de 15 grados como máximo. Las coladas en este caso tendrían una edad entre unos 5 a 3 m.a. en su basamento hasta 0,3 m.a. La actividad posterior de los volcanes produjo durante un lapsus de tiempo no determinado coladas más cortas y menos importantes. Su edad por lo tanto es del Pleistoceno hasta el Holoceno. No hay indicios de coladas de edad Reciente o Actual, en el Poás.

### 3-5.3. Formas de Sedimentación Aluvial y Lacustre

Su origen está en el relleno efectuado por los ríos y quebradas con influencia coluvial o sin ella. En algunos casos ha existido aporte marino en forma de viejas líneas de costa y antiguos lagos, que podrán haber sido arenosas o pantanosas. Se distribuyen al pie y en la Cordillera Central.

- a) Terrazas fluviales: se localizan desde la ladera media del Volcán Poás, hasta la sección sur del Cantón. Está conformado por superficies planas, desde varios metros hasta decenas de metros sobre el nivel del cauce que lo ha formado, un ejemplo de ello es el cauce del Río Grande, en donde se localiza el nuevo puente de la carretera Ciudad Colón –Orotina, allí las terrazas están a unos 100 m sobre el cauce actual del río. Sus pendientes son menores a los 5°, casi siempre inclinadas hacia la dirección de la corriente y hacia el cauce. Está compuesta por un relleno aluvial variado, compuesto fragmentos de lavas, piroclastos de diversos tamaños como bloques, gravas y arenas.



Se forman por la depositación de sedimentos fluviales, cuando en sus avenidas los cauces erosionan, arrastran, depositan los materiales al lado de los cauces, cuando por una u otra razón, pierden la capacidad de transporte de la carga gruesa y la depositan, formando extensos mantos de materiales en forma horizontal, paralelo y levemente inclinado a favor de la corriente de agua, sus depósitos se constituyen en aluviones o bloques redondos que flotan en una matriz arenosa fina o gruesa. Su edad es Pleistoceno al Reciente, en el caso antes mencionado, parece que las erupciones que depositaron la Formación Tiribí, hace unos 800 mil años, dejaron una topografía plana que fue, posteriormente recubierta por aluviones y posteriormente fue disectada por los ríos, dejando las terrazas en esas posiciones.

- b) Rellenos de lacustres: se localiza en el sector sureste del cantón de la Alajuela. Es una superficie plana, separada en dos sectores por los cauces que la recorren. Sus pendientes son menores a los 5°, a excepción de los lugares por donde pasan los ríos, donde presentan laderas casi verticales. Está compuesta por un relleno lacustre compuesto por intercalaciones de ceniza, tobas y diatomita, que dan un tono café claro a la roca.

Su origen se debe a dos eventos naturales sucesivos contemporáneos, la falla de Alajuela pudo producir depresiones alargadas con un rumbo este-oeste, luego los aportes de sedimentos en el fondo de los lagos intercalados con capas de ceniza, luego el lago secolapsó por el aporte de los ríos. Su edad se remota a finales del Pleistoceno y llega al presente y está íntimamente relacionado con el origen y evolución tanto del Poás como de la Falla de Alajuela.

### 3-5.4. Fallas Geológicas

Una falla geológica se define como una zona tridimensional de la corteza terrestre que limitan dos bloques de la misma que se mueven entre sí relativamente, esto quiere decir que tienen: ancho, largo y espesor, característicos para cada una de ellas. El movimiento de ellas normalmente es mixto, o sea: normal o inversa con desplazamiento de rumbo, etc. Las fallas al moverse liberan una gran cantidad de energía elástica, que se dispersa en forma aleatoria en el terreno, en ese momento se indica que se produce un sismo local, con una fuente intraplaca, normalmente asociadas a una intensidad sísmica alta, debido a poca profundidad de foco o fuente sísmica.

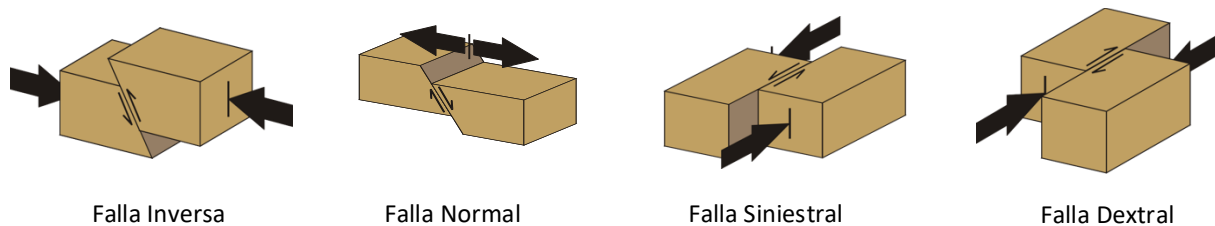
Los márgenes o bordes del Valle Central también se caracterizan por su origen tectónico. Por ejemplo desde Paraíso de Cartago hasta Salitral de Santa Ana, la presencia de afloramientos de aguas termales alineadas, con orientación general E-W hacen evidente la presencia de un sistema de fallas ubicado al pie de la Cordillera de Talamanca y de sus subsecuencias. En la base de los volcanes Irazú, Barba y Poás, son muy evidentes las evidencias de fallas.

El límite sur del Valle, por una conspicua actividad sísmica, ubicándose las fallas causantes de la misma sobre ríos y quebradas de la zona, mostrando preferentemente una dirección NE-NW y siendo las soluciones de los mecanismos focales del tipo de desplazamiento de rumbo. Existen al menos dos grandes grupos de fallas: las de movimiento vertical y las de desplazamiento horizontal o de rumbo, como se muestra en la imagen 1-2.2.1. Dentro de las fallas de movimiento vertical se encuentran las normales e inversas, y dentro de las fallas de desplazamiento de rumbo se encuentran las sinestrales y destrales.



Las fallas normales son producto de la aplicación de esfuerzos distensivos en el medio rocoso, los cuales generan planos o zonas de fracturación abiertas orientadas paralelamente a la dirección de esfuerzo compresivo regional que originó todo el mecanismo de deformación. A través de estas fracturas el agua circularía con mayor facilidad, y por ende constituyen el medio por el cual se puede dar la comunicación hidráulica entre la superficie y las capas productoras, como también facilitaría la comunicación hidráulica entre estas mismas capas. Esta situación no solo favorecería la recarga, sino también el ingreso de agentes contaminantes hacia los posibles mantos productores.

En el caso de las fallas inversas, dextrales y sinestrales, su origen se da generalmente a partir de la aplicación de esfuerzos compresivos, lo que genera planos o zonas de fracturación cerrados, orientados perpendicularmente a la dirección de esfuerzo compresivo regional.



### 3-5.5. Fallas Inversas

Se trata de una falla inversa de rumbo NWW-SEE. Posee cuatro segmentos claramente diferenciados.

- a) **Falla Pliegue de Alajuela:** (Borgia, et al., 1987) indican que tiene 200 a 300 metros de altura y un rumbo E-W. Tiene una longitud de 14,6 km, Es capaz de producir un sismo de 6,4 grados. Se caracteriza por presentar levantamientos sublineales largos, con escarpes que se inclinan al sur, y laderas que miran al norte. La diferencia de altura con respecto al relleno del Valle Central es de 200 m, debida a la presencia de pliegues delanteros asociados a una falla inversa de propagación (Borgia et al, 1990). Las rocas que se han sido deformadas tienen edades del Cuaternario Tardío y probablemente del Holoceno (Borgia et al, 1990). No existe evidencia sísmológica que muestre actividad, sin embargo algunos sismos históricos se han relacionado con ella como: 15 de febrero de 1772 y del 30 de diciembre de 1888 (Borgia et al, 1990; Alvarado et al, 1988; Peraldo y Montero, 1994). También han ocurrido enjambres de sismos al norte del escarpe, sin embargo, ninguno de estos se pueden asociar claramente con esta falla, siendo además sus magnitudes inferiores a 4,0 (Barquero y Alvarado, 1989).
- b) **Falla inversa Rosales:** tiene una longitud de 4,8 km, Es capaz de producir un sismo de 5,8 grados.
- c) **Falla inversa Argentina:** tiene una longitud de 4,6 km, Es capaz de producir un sismo de 5.8 grados.
- d) **Falla inversa Santa Bárbara:** tiene una longitud de 7,6 km, Es capaz de producir un sismo de 6,1 grados.
- e) **Falla San Miguel:** es una falla de grandes dimensiones, se localiza al norte del Cantón, y forma el límite entre la zona de la Cordillera Central y las llanuras de Norte de Costa Rica. Tiene un rumbo



Este-Oeste, y una altura que varía entre de 200 a 300 metros disminuyendo hacia sus extremos, está poco disectado y por lo tanto es juvenil.

Posee morfologías de antiformal debido a la misma mecánica del movimiento de las fallas de este tipo, el escarpe principal cae al Norte. Tiene una longitud de 15, km y es capaz de generar un sismo de 6,4. Los ríos que lo cortan tienen un cañón profundo. Existen fuentes termales alineadas con el escarpe (Alvarado et al., 1988). Esta falla sería similar a la de Alajuela, ambas están en los bordes opuestos del Poás, a una distancia similar de la cima del mismo. Borgia et al (1990) han considerado que ambas son causadas por el deslizamiento gravitacional del edificio volcánico del Poás ayudado por esfuerzos magmáticos distensivos generados en su eje volcánico.

Al igual que la falla de Alajuela, la de San Miguel, carece de datos sismológicos claros y contundentes. Otros alineamientos del sector W del Valle Central han sido descritos por Alvarado et al., 1988; estos poseen rumbos NNW- SSE, NNE-SSW y NE-SW, parecen obedecer a sistemas de fracturas paralelas y arqueadas, algunas subradiales, asociadas con colapsos volcano-tectónicos mayores.

### 3-5.6. Fallas de desplazamiento de rumbo sinistral

- a) *Falla La Garita*: es una falla de desplazamiento de rumbo sinistral de rumbo NE-SW, tiene una longitud de 10,7 km. Es capaz de producir un sismo 6,8.
- b) *Falla Virilla*: es una falla sinistral de rumbo NE-SW. Posee una longitud de 4,4km. Es capaz de producir un sismo de 6,5.

### 3-5.7. Fallas Normales

- a) *Falla el Ángel*: se localiza al este del Volcán Poás, tiene un rumbo N30W, sus extremos al norte y sur no se observan por estar cubiertos por materiales volcánicos del Holoceno. Tiene un rumbo NW. Se extiende por unos 18 km, es capaz de producir un sismo de 6,9.

### 3-5.8. Alineamientos Fuertes

- a) *Alineamiento Sabanilla Oeste*: se localiza al Oeste del Cantón, se incluye acá, no solo por su cercanía, sino por que forma parte de una serie de alineamientos importantes en la sección central del Cantón de Alajuela. Posee un rumbo NW en general, tiene una longitud de 8,9 km y podría producir un sismo de 6,7.
- b) *Alineamiento Sabanilla*: se localiza al norte de Dulce Nombre, tiene un rumbo NW. Posee una longitud de 8.1 km, y es capaz de producir un sismo de 6,7.
- c) *Alineamiento Ángeles*: se localiza al Centro del Cantón. Posee un rumbo NW en general, tiene una longitud de 9,8 km y podría producir un sismo de 6,7.



- d) *Alineamiento Birrí*: se localiza al Este del Cantón, se incluye acá, no solo por su cercanía, sino por que forma parte de una serie de alineamientos importantes en la sección central del Cantón de Alajuela. Posee un rumbo NW en general, tiene una longitud de 5,4 km y podría producir un sismo de 6,6.
- e) *Alineamiento Itiquís*: se localiza al Sur de la Falla Pliegue de Alajuela. Tiene un rumbo Este- Oeste. Posee un largo de 7,2 y es capaz de producir un sismo de 6,6.
- f) *Alineamiento La Garita*: se considera una extensión de la falla del mismo nombre sin embargo su expresión morfológica no es tan clara, tiene el mismo rumbo y se localiza en el extremo sur de la misma. Tiene una longitud de 4,3 km y podría producir un sismo de 6,5.
- g) *Alineamiento Santa Bárbara*: es una prolongación al este de la Falla Pliegue de Alajuela, Tiene una longitud de 7,6 km y podría producir un sismo de 6,1.

### 3-5.9. Dextrales

- a) Carrizal: tiene un rumbo NW-SE, posee una longitud de 6 km. Es una estructura con desplazamiento de rumbo dextral, como el resto de este grupo.
- b) San Isidro: tiene un rumbo NW-SE, posee una longitud de 10,4 km, escatalogado como una estructura con una morfología fuerte.
- c) San Juan Norte: tiene una longitud de 7,5 km, se extiende hasta la ladera suroeste del actual cono del Poas. En su cartografía es convexa hacia el SW.

Considerando la longitud de una falla postulada, se puede estimar empíricamente, cual es la magnitud máxima probable que puede generarse en la zona de influencia de dicha falla, a partir de las relaciones de Wells y Coppersmith (1995). Si la falla tiene movimiento inverso y se asocia con una ruptura a lo largo de las fallas que tienen rumbo NW, que limitan el frente montañoso tenemos:

$$M_s = 6,04 + 0,708 \log L \text{ (km)} \quad (1) \text{ Cualquier tipo de fallas}$$

$$M_w = 5,08 + 1,16 \log L \text{ (km)} \quad (2) \text{ Fallas inversas}$$

Los resultados muestran que las fallas que se ubican en los alrededores del Cantón de Alajuela, sobre todo en el sector al norte de la Ciudad; y que son potencialmente capaces de generar eventos de magnitud intermedia (M 5,8 a 6,9). Este tipo de sismo podría ser destructivo, por ser superficiales y porque se ubican relativamente cerca del AP. Son entonces capaces de generar fuertes movimientos del suelo, dada la relativamente poca atenuación que tendrían las ondas sísmicas desde la fuente hasta las obras y los poblados. De acuerdo con el Cuadro, un sismo máximo en la falla podría generar un evento con una duración de hasta de 24 segundos y una aceleración del suelo de hasta  $10 \text{ m/s}^2$  (gravedad terrestre). Así como una intensidad máxima teórica de X, aunque esta no se ha dado, para este sitio solo se ha reportado una intensidad de VIII, algo que aumentaría el riesgo es la presencia de suelos blandos en la zona aledaña a la Ciudad de Alajuela, así como cortes muy altos en taludes de calles y ríos, que los hace propensos a deslizamientos provocados por los sismos.





Relación entre la longitud de las fallas y su potencial evento sísmico

<b>FALLAS INVERSAS</b>				
Falla Alajuela (Argentina)	4161.92	4.16		5.8
Falla Alajuela (P)	14568.4	14.57		6.4
Falla Alajuela (Rosales)	4809.84	4.81		5.8
Falla Alajuela (Santa Bárbara)	7613.56	7.61		6.1
Falla San Miguel	15426.09	15.43		6.4
<b>FALLAS SINIESTRALES</b>				
Falla La Garita	10731.54	10.73	6.8	
Falla Virilla	4361.82	4.36	6.5	
<b>FALLAS NORMALES</b>				
Falla Ángel	17896.1	17.90	6.9	
<b>ALINEAMIENTOS DEXTRALES</b>				
Alineamiento Carrizal	6029.69	6.03	6.6	
Alineamiento San Isidro	10427.28	10.43	6.8	
Alineamiento San Juan Norte	7540.33	7.54	6.7	
<b>ALINEAMIENTOS MODERADOS</b>				
Alineamiento Sabanilla Oeste	8916.06	8.92	6.7	
Alineamiento Ángeles	9800.83	9.80	6.7	
Alineamiento Birrí	5390.72	5.39	6.6	
Alineamiento Itiquís	7195.61	7.20	6.6	
Alineamiento La Garita	4257.23	4.26	6.5	
Alineamiento Sabanilla	8104.36	8.10	6.7	
Alineamiento Santa Bárbara	14394.56	14.39	6.9	



### 3-5.10. Sismicidad

La región de valles y serranías (arco interno y cuencas intra-arco) se caracteriza por el fallamiento local que origina eventos de magnitud moderada ( $M \approx 6,5$ ), pero destructivos, que han llegado a producir el mayor número de víctimas (Cartago, 1910) y de pérdidas materiales, con intensidades entre VII y IX (Montero, 1985) y aceleraciones entre 5 y 50% de la gravedad, de acuerdo con el rango de Sauter y Shah.. Estas fallas podrían provocar una intensidad máxima por unos 12 hasta 24 segundos. Fernández y Pacheco, 1998, indican que los sismos del Valle Central se localizan a un promedio de 12 km.

Los sismos del Valle Central, tienen una magnitud máxima de 5,0 a 6,5; a estas fuentes se le asocian los mayores daños históricos en Costa Rica. Como los terremotos de Cartago (1910), Fraijanes (1888). Estos sismos destructivos podrían generar intensidades máximas de VII a IX y aceleraciones de 0,2 a 0,5 g. La actividad sísmica de los últimos 200 años en el Valle Central, no indica un evento destructivo en el Valle Central de Costa Rica y mucho menos en el Cantón de Heredia a excepción del sismo de Alajuela, generado por la Falla Virilla, de fecha 22 de diciembre de 1990 ( $M 5,7$ ).

El terremoto más dañino que ha afectado esta área, se dio el 18 marzo de 1851, con epicentro en Alajuela, este produjo una intensidad máxima de VIII, provocando daños en 145 casas, su magnitud ha sido estimada en 5,4 a 6 Ms.

Escala de Intensidad Mercalli Modificado  
(Con Base en Sauter, F., 1989; y Holmes y Holmes, 1980)

G.	Grado de percepción del	Tiempo	M. A.	M. E. M. I.
VI	Fuerte: sentido por todas las personas; se tiene dificultad en caminar establemente; vidrios y vajilla se quiebran; libros y objetos son lanzados de los estantes; los muebles son desplazados o volcados.	2	500	4,9-5,4
VII	Muy fuerte: se tiene dificultad en mantenerse parado; percibido por los conductores de vehículos en marcha; muebles se rompen; daños en mampostería; caída de mortero, tejas; ondas en embalses y depósitos de agua.	12	1000	5,5-6,1
VIII	Destructivo: daños de consideración y colapso de alguna mampostería; caída de chimeneas de fábricas, monumentos y tanques elevados; algunas ramas de árboles se quiebran; grietas en terreno húmedo y en taludes inclinados.		2500	6,2
IX	Ruinoso: pánico general; daño de fundaciones, embalses y depósitos de agua; ruptura de tubería enterrada; grietas significativas visibles en el terreno.		5000	6,9
X	Desastroso: la mayoría de las construcciones de mampostería y con base de pórticos destruidos; algunas construcciones de madera de buena calidad dañadas; puentes destruidos; grandes deslizamientos de tierra; el agua se rebalsa en los bordes de los ríos, lagos y embalses; rieles de ferrocarril deformados lieeramente.	24		7,0-7,3

Nota: G.I.: Grado de Intensidad  
M.A.S: Máxima aceleración del suelo  
E.M.I.A.: Magnitud equivalente a la máxima intensidad alcanzada



El Cantón de Alajuela por su ubicación tectónica es vulnerable a sufrir daños principalmente por actividad sísmica generada a partir de fallamiento local, una de las más importantes es la Falla de Alajuela, sin embargo, esta ha presentado poca actividad en tiempos históricos lo que impide su investigación detallada, otros esfuerzos han pretendido investigarla desde el punto de vista neotectónico, sin embargo los esfuerzos en busca de este objetivo han producido pocos avances. La Falla el Ángel produjo el último terremoto sentido en el norte de la Provincia, este provocó la muerte de unas 30 personas y millones de colones en pérdidas, incluyendo casa, vías e infraestructura mayor como: daños en represas, plantas de generación eléctrica y líneas de alta tensión del ICE.

Los eventos sísmicos generados en la zona de subducción (choque entre placas), pueden ser sentidos de manera considerable, sin embargo, la posibilidad de que causen daños graves es remota, debido a su profundidad en esta área de Costa Rica. En cuanto a los efectos que produciría un evento sísmico cercano al Cantón de Alajuela se pueden mencionar amplificaciones de la intensidad sísmica en la región de la Ciudad de Alajuela, en donde debido a su suelo blando se podrían dar amplificaciones de onda e intensidades más altas, como las sucedidas en el terremoto de Piedras Negras, también afectaría suelos mal compactados y rellenos, así como construcciones antiguas o sin mantenimiento.

### **3-6. CARACTERIZACIÓN DE CUENCAS**

El cantón de Alajuela está conformado por varias cuencas y subcuencas que se deben caracterizar para determinar su condición actual y planificar su futuro. Esta planificación debe tener una visión integral, considerando los impactos en todos los ámbitos: ambiental, productivo, recreativo y de protección. Por lo tanto se deben evaluar el potencial, uso y administración del recurso hídrico en las subcuencas del cantón para identificar zonas frágiles o vulnerables que requieran de consideraciones especiales en las regulaciones del Plan. Además, se busca proteger los recursos naturales, y controlar o disminuir los efectos de desastres naturales (como deslizamientos), y la contaminación en los ríos. Asimismo, se deben evaluar las cuencas afectadas por el terremoto de Cinchona, tales como la cuenca del Río La Paz, Río Ángel, Río Cariblanco y Río Desagüe; que sufrieron deslizamientos ante dicho evento sísmico.

Para el desarrollo del estudio de cuencas se recopiló los siguientes datos de base:

- Curvas de nivel cada 5 metros de las hojas cartográficas 1:10 000 del Instituto Geográfico Nacional. Cobertura del 59% del área del cantón.
- Curvas de nivel cada 10 metros de la cartografía del Centro Nacional de Investigación GeoAmbiental (CENIGA). Cobertura del 9% del área del cantón.
- Curvas de nivel cada 20 metros de las hojas cartográficas 1:50 000 del Instituto Geográfico Nacional (IGN). Cobertura del 32% del área del cantón.
- Áreas silvestres protegidas escala 1:50 000, SINAC-MINAE, 2005.
- Zonas de vida, escala 1:200 000, Centro Científico Tropical, 1993.
- Fotografías aéreas *Misión Carta 2005*, CENAT.
- Información de concesiones de agua (caudal de extracción, fuente y uso), de la Dirección de Aguas del MINAE.
- Información de pozos: del Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA).



A partir de estos datos se generó el modelo de elevación digital (MED) a partir de las curvas de nivel citadas anteriormente; se delimitaron la cuenca y subcuencas utilizando las extensiones Spatial Analyst y Hydrology Modeling del Sistema de Información Geográfica ArcGIS®; y se recopiló la información existente sobre las principales fuentes de abastecimiento de agua, amenazas naturales o ecosistemas en el cantón, para así determinar las características principales de las subcuencas, utilizando: mapas de uso del suelo, áreas silvestres protegidas, ubicación de los sitios de explotación del recurso hídrico, planes reguladores existentes, ubicación de proyectos importantes, entre otros, y estudios relevantes

### 3-6.1. Generalidades

Una *cuenca hidrográfica* es la unidad básica de un análisis hidrológico y corresponde a la totalidad de superficie que drena hacia un punto dado, este punto se conoce como punto de desfogue de la cuenca. La cuenca está delimitada por una línea divisoria (parteaguas) que define el perímetro de la cuenca y delimita una red de ríos (red fluvial). Durante un evento de precipitación, parte del agua que cae sobre la cuenca escurre superficialmente sobre el terreno hasta formar cauces que la conducen hacia quebradas y ríos. Esto se conoce como la red de ríos de la cuenca.

En total se delimitaron 74 cuencas y subcuencas; de éstas hay 28 cuencas cuyas áreas de drenaje se encuentran contenidas parcial o completamente en el cantón de Alajuela. Además se analizaron cuencas de ríos o quebradas de menor tamaño que son subcuencas de los ríos Grande, Virilla, Toro o Sarapiquí.

Se realizó una descripción general de 54 cuencas (incluyen tanto las cuencas que se encuentran contenidas parcial o completamente en el cantón de Alajuela, como algunas subcuencas de los ríos principales), tomando en cuenta sus características morfométricas, uso del suelo, rangos de pendientes y amenazas naturales, estas 54 cuencas corresponden a aquellas en las que el nombre del cauce principal está definido (se observan en las hojas topográficas 1:50 000 del IGN). Los márgenes de los ríos Grande, Virilla, Toro y Sarapiquí se caracterizaron en función del uso del suelo, rangos de pendientes, áreas silvestres protegidas y amenazas naturales.

#### 3-6.1. Caracterización de cuencas y red hídrica

Para la caracterización del área de estudio se utilizaron los siguientes parámetros morfométricos:

- El **área de la cuenca (A)** se define como la proyección horizontal de la superficie delimitada por la línea divisoria.
- El **perímetro de la cuenca** es la longitud de la línea divisoria de una cuenca. Se emplea la letra mayúscula *P* para simbolizar este parámetro.
- El **factor de forma** relaciona los dos parámetros anteriores para definir la forma de la cuenca. Y se calcula como:

$$F = \frac{A}{P}$$

- El **índice de compacidad ( $I_c$ )**, relaciona el efecto de la forma de la cuenca con el patrón de la escorrentía. Se define como el cociente adimensional del perímetro de la cuenca (*P*) y el perímetro de un círculo ( $P_c$ ) que tenga una superficie igual a la de la cuenca:



$$I_c = \frac{P}{P_c} = 0,282 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

El valor que toma esta expresión es siempre mayor que la unidad y crece con la irregularidad de la forma de la cuenca, para este índice se establece la siguiente clasificación:

- a)  $1 < I_c < 1,25$ : la forma de la cuenca es ovalada.
- b)  $1,25 < I_c < 1,50$ : la forma de la cuenca es oblonga.
- c)  $1,50 < I_c < 1,75$ : la forma de la cuenca es alargada.
- d)  $I_c > 1,75$ : la forma de la cuenca es rectangular o rectangular alargada.

El índice de compacidad permite medir la “eficiencia” de la cuenca para captar precipitación, cuando es igual a 1 la cuenca tiene forma circular y tiene la mayor área posible para su perímetro, por lo que en esta condición la cuenca atrapa la mayor cantidad de precipitación (suponiendo que ésta abarca la totalidad de la cuenca). Conforme aumenta el índice de compacidad, la cuenca es menos eficiente para captar precipitación. Adicionalmente conforme el índice de compacidad es mayor, los cauces tienden a ser más largos y la cuenca responde de forma más lenta ante una precipitación, esto trae consigo caudales pico más altos que suelen reflejarse en problemas de inundación en las partes bajas de la cuenca.

- La **curva hipsométrica** es la curva que, puesta en coordenadas rectangulares, representa la relación entre la altitud, y la superficie de la cuenca que queda sobre esa altitud. A partir de la curva hipsométrica se puede determinar la **elevación media** de la cuenca, la cual equivale a la elevación correspondiente al 50% del área de la cuenca.
- La **longitud del cauce principal** ( $L$ ) es la longitud total en kilómetros de la corriente principal de la cuenca, la cual es la que pasa por el punto de salida de la misma.
- La **densidad de drenaje** ( $D_d$ ) se define como la longitud total de cauces dentro de la cuenca ( $L_s$ ) entre el área ( $A$ ) total de drenaje:

$$D_d = \frac{\Sigma L_s}{A} \text{ (km/Km}^2\text{)}$$

Si la densidad de drenaje es baja es de esperarse que la cuenca sea pobremente drenada ya que hay pocos ríos en comparación con el área de la cuenca, por el contrario, para una densidad de drenaje alta se puede deducir que existe un mayor drenaje de la cuenca debido a la cantidad de afluentes que se presentan, esto es un indicador de una posible respuesta rápida ante una tormenta. Los factores que controlan la densidad de drenaje son: la litología de la región, la facilidad de infiltración del agua de lluvia bajo la superficie del terreno y la presencia o ausencia de cobertura vegetal entre otros. Para cuencas con drenaje pobre usualmente se obtienen valores de aproximadamente  $0,5 \text{ km/km}^2$ , mientras que para drenajes muy grandes se dan valores de hasta  $3,5 \text{ km/km}^2$ .

- La **pendiente media del río** ( $\bar{P}_r$ ) se define como la diferencia de elevación entre la elevación máxima del río ( $H_M$ ) y la elevación mínima del mismo ( $H_m$ ) dividida entre la longitud del río en kilómetros ( $L_r$ : longitud del cauce principal):



$$I_r = \frac{H_M - H_m}{1000 * L_r}$$

Clasificación de las cuencas de acuerdo con la pendiente promedio de laderas

<b>Pendientemedia (%)</b>	<b>Tipo de Relieve</b>
0 - 3	Plano
3 - 7	Suave
7 - 12	Mediano
12 - 20	Accidentado
20 - 35	Fuerte
35 - 50	Muy Fuerte
50 - 75	Escarpado
> 75	Muy Escarpado

Fuente: Soluciones Prácticas ITDG<sup>1</sup>

- El **número de orden** es un parámetro que refleja el grado de bifurcación o ramificación dentro de una cuenca. Está dado por el número de orden del cauce principal. Para determinar el orden de la cuenca se debe asignar el orden de cada una de las corrientes, considerando que cuando se juntan dos corrientes de orden diferente se mantiene el orden superior de las dos y cuando se unen dos corrientes de igual orden el número de orden se incrementa en una unidad. Las corrientes de orden 1 son las que no tienen ramificaciones. Un río de segundo orden es el que tiene únicamente ramificaciones de primer orden. Un río de tercer orden posee ramificaciones de primero y segundo orden y así sucesivamente.
- El **rectángulo equivalente** corresponde a la simulación de la cuenca a un rectángulo, el cual tiene el mismo perímetro, área y distribución hipsométrica de la cuenca. El lado mayor ( $L$ ) se utiliza para definir el índice de pendiente de la cuenca. En este rectángulo, las curvas de nivel se convierten en rectas paralelas al lado menor ( $I$ ), siendo estos lados la primera y última curvas de nivel. Los lados de los rectángulos están dados por las siguientes formulas:

$$L = \frac{I_c \sqrt{A}}{1,12} \left[ 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1,12}{I_c} \right)^2} \right]$$

$$I = \frac{I_c \sqrt{A}}{1,12} \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1,12}{I_c} \right)^2} \right]$$

Donde  $I_c$  corresponde al índice de compacidad,  $A$  es la superficie y  $P$  es el perímetro de la cuenca.



- El **índice de pendiente** ( $I_p$ ), es una ponderación que se establece entre las pendientes y el tramo recorrido por el río. Además, expresa en cierto modo, el relieve de la cuenca. Se obtiene utilizando el rectángulo equivalente:

$$I_p = \sum_{i=2}^n \sqrt{\beta_i (a_i - a_{i-1})} \cdot \frac{1}{\sqrt{L}}$$

donde:

$L$  = longitud del lado mayor del rectángulo equivalente (km)

$n$  = número de curvas de nivel existente en el rectángulo equivalente, incluido los extremos.

$a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$  = cotas de las  $n$  curvas de nivel consideradas (km)

$\beta_i$  = fracción de la superficie total de la cuenca comprendida entre las cotas.

$$\beta_i = \frac{A_i}{A_T}$$

En la tabla siguiente se resumen las características de las diferentes cuencas que incluyen al cantón de Alajuela. En esta se presenta información más detallada de las cuencas más importantes.



Características morfométricas de las cuencas del cantón de Alajuela.

Nombre de la cuenca	Área (km <sup>2</sup> )	Perímetro (km)	Factor de forma (F)	Índice de compacidad (c)	Forma	Altura mínima (msnm)	Altura máxima (msnm)	Altura media (msnm)	Número de orden del cauce principal	Lado mayor del rectángulo equivalente (km)	Lado menor del rectángulo equivalente (km)	Longitud total de cauces (km)	Densidad de drenaje (Km <sup>2</sup> /Km <sup>2</sup> )	Longitud del cauce principal (Km)	Pendiente media del río (r)	Clasificación de la pendiente	Índice de pendiente (p)
Quebrada Dantas	6.48	11.70	0.55	1.30	oblonga	1042.3	1940.0	1485.44	1	4.43	1.46	3.84	0.59	3.84	23.4%	fuerte	0.43
Quebrada Gata	12.39	18.88	0.66	1.51	alargada	823.3	2620.0	1558.28	2	7.95	1.56	16.88	1.36	7.87	22.8%	fuerte	0.42
Quebrada Gemelas	0.61	3.79	0.16	1.37	oblonga	402.2	680.0	560.25	2	1.51	0.40	1.66	2.73	1.55	17.9%	accidentado	0.36
Quebrada Grande (R. Toro)	4.21	9.69	0.43	1.33	oblonga	1440.0	2240.0	1784.85	1	3.76	1.12	3.69	0.88	3.69	21.7%	fuerte	0.44
Quebrada Honda	0.85	4.22	0.20	1.29	oblonga	757.8	1200.0	965.91	1	1.59	0.54	1.22	1.43	1.22	36.4%	muy fuerte	0.49
Quebrada Hornos	3.51	9.19	0.38	1.38	oblonga	709.1	1260.0	944.88	2	3.67	0.95	5.85	1.67	4.60	12.0%	mediano	0.35
Quebrada Lapita	3.86	10.95	0.35	1.57	alargada	340.0	720.0	516.48	3	4.69	0.82	7.60	1.97	4.02	9.5%	mediano	0.23
Quebrada Latas	3.66	14.43	0.25	2.13	rectangular	940.0	2006.4	1417.98	1	6.72	0.54	5.12	1.40	5.12	20.8%	fuerte	0.35
Quebrada Minas y otras	4.25	9.44	0.45	1.29	oblonga	437.4	688.7	621.53	2	3.56	1.19	5.68	1.34	3.51	7.2%	mediano	0.24
Quebrada Miona	2.87	11.66	0.25	1.94	rectangular	1000.0	1780.0	1524.66	1	5.33	0.54	4.49	1.56	4.49	17.4%	accidentado	0.02
Quebrada Muerte	2.79	8.39	0.33	1.41	oblonga	640.0	1100.0	834.03	3	3.40	0.82	6.00	2.15	2.91	15.8%	accidentado	0.32
Quebrada Porras	0.66	4.23	0.16	1.47	oblonga	762.6	1160.0	1000.87	2	1.76	0.38	1.70	2.57	1.53	26.0%	fuerte	0.42
Quebrada Quellal	1.34	5.11	0.26	1.25	oblonga	1680.0	2080.0	1676.26	1	1.85	0.72	1.67	1.25	1.67	23.9%	fuerte	0.38
Quebrada Saltral	0.42	3.89	0.11	1.69	alargada	680.0	1110.6	894.74	1	1.71	0.25	1.35	3.21	1.35	31.8%	fuerte	0.42
Quebrada Seca	73.24	54.15	1.35	1.78	rectangular	760.0	2240.0	1188.21	3	24.25	3.02	111.74	1.53	27.86	5.3%	suave	0.25
Quebrada Tirote	14.50	18.28	0.79	1.35	oblonga	370.3	740.0	587.99	3	7.19	2.02	34.68	2.39	9.46	3.9%	suave	0.19
Quebrada Yeguas (márgenes del R. Virilla)	0.67	4.29	0.16	1.48	oblonga	436.1	660.0	503.66	3	1.79	0.38	2.61	3.89	2.01	11.1%	mediano	0.31
Quebrada1	2.29	6.72	0.34	1.25	oblonga	1599.8	2160.0	1965.49	1	2.45	0.94	2.59	1.13	2.59	21.6%	fuerte	0.43
Quebrada2	2.64	8.01	0.33	1.39	oblonga	1620.0	2160.0	1973.82	1	3.21	0.82	2.59	0.98	2.59	20.8%	fuerte	0.37
Quebrada3	5.01	15.45	0.32	1.95	rectangular	1200.0	2605.0	1474.99	1	7.07	0.71	3.01	0.60	3.01	46.7%	muy fuerte	0.38
Río Agrío	7.60	14.92	0.51	1.53	alargada	1300.0	2560.0	1791.22	2	6.31	1.20	13.73	1.81	7.34	17.2%	accidentado	0.42
Río Alajuela	51.03	64.03	0.80	2.53	rectangular	500.0	1780.0	841.10	4	30.57	1.67	118.93	2.33	34.96	3.7%	suave	0.17
Río Ángel	21.28	26.04	0.82	1.59	alargada	680.0	2700.0	1617.40	3	11.21	1.90	37.61	1.77	13.65	14.8%	accidentado	0.39
Río Anonos	9.66	18.05	0.54	1.64	alargada	1440.0	2600.0	1911.08	2	7.86	1.23	10.55	1.09	8.83	13.1%	accidentado	0.38
Río Caracao	59.55	37.36	1.59	1.37	ovalada	500.0	1360.7	858.76	4	14.79	4.03	108.55	1.82	14.98	5.7%	suave	0.2
Río Cariblanco	23.88	22.46	1.06	1.30	oblonga	673.7	2620.0	1429.99	3	8.50	2.81	47.54	1.99	8.03	24.2%	fuerte	0.43
Río Ciriuelas	90.71	78.81	1.15	2.33	rectangular	440.4	2900.0	1022.29	4	37.25	2.44	205.29	2.26	44.53	5.5%	suave	0.23
Río Colorado	164.88	68.30	2.41	1.50	alargada	580.0	2560.0	1290.94	5	28.64	5.76	337.12	2.04	23.35	8.5%	mediano	0.22
Río Desagüe	13.13	24.45	0.54	1.90	rectangular	1360.0	2700.0	2033.06	2	11.14	1.18	11.18	0.85	9.01	14.9%	accidentado	0.34
Río Gorrion	7.24	14.23	0.51	1.49	oblonga	1460.0	2220.0	1839.69	1	5.95	1.22	6.49	0.90	6.49	11.7%	mediano	0.33
Río Grande	719.86	131.33	5.48	1.38	oblonga	300.0	2700.0	1136.36	5	52.39	13.74	1562.34	2.17	36.02	6.7%	suave	16.13
Río Itiquis	48.30	61.10	0.79	2.48	rectangular	600.0	2700.0	1419.39	5	29.11	1.66	155.39	3.22	28.82	7.3%	mediano	0.25
Río Jarís	31.43	29.34	1.07	1.48	oblonga	440.0	1260.0	790.46	5	12.20	2.58	176.92	5.63	18.71	4.4%	suave	0.23
Río La Paz	30.66	29.47	1.04	1.50	alargada	885.8	2700.0	1814.74	3	12.36	2.48	55.33	1.80	13.14	13.8%	accidentado	0.34
Río María Aguilár	9.58	19.47	0.49	1.77	rectangular	440.4	2020.0	1099.38	2	8.70	1.10	15.62	1.63	9.07	17.4%	accidentado	0.38
Río Poás	210.55	81.92	2.57	1.59	alargada	480.0	2700.0	1375.57	5	35.29	5.97	680.88	3.23	44.09	5.0%	suave	0.23
Río Pozo Azul	5.08	12.48	0.41	1.56	alargada	672.0	1930.7	1210.41	2	5.33	0.95	8.24	1.62	6.19	20.3%	fuerte	0.43

Nota: Densidad de drenaje mayor a 3.5.

Elaboración: ProDUS-UCR.





Características morfológicas de las cuencas del cantón de Alajuela (continuación).

Nombre de la cuenca	Área (km <sup>2</sup> )	Perímetro (km)	Factor de forma (F)	Índice de compacidad (c)	Forma	Altura mínima (msnm)	Altura máxima (msnm)	Altura media (msnm)	Número de orden del cauce principal	Lado mayor del rectángulo equivalente (km)	Lado menor del rectángulo equivalente (km)	Longitud total de cauces (km)	Densidad de drenaje (km/km <sup>2</sup> )	Longitud del cauce principal (km)	Pendiente media del río (r)	Clasificación de la pendiente	Índice de pendiente (p)
Río Quebrada Honda	34,19	27,30	1,25	1,32	oblonga	580,0	1800,0	1012,79	4	10,49	3,26	66,16	1,94	12,21	10,0%	mediano	0,29
Río Rosales	53,92	58,22	0,93	2,24	rectangular	500,0	2600,0	1097,21	4	27,34	1,97	147,99	2,74	32,97	6,4%	suave	0,25
Río San Rafael	17,20	21,91	0,78	1,49	oblonga	1322,6	2748,7	1864,06	3	9,15	1,88	19,64	1,14	7,93	18,0%	accidentado	0,35
Río San Ramón	20,03	29,68	0,67	1,87	rectangular	161,3	1019,9	393,67	3	13,46	1,49	29,15	1,46	14,99	5,7%	suave	0,22
Río Santiago	36,02	33,78	1,07	1,59	alargada	225,1	1240,0	531,15	3	14,53	2,48	46,57	1,29	14,91	6,8%	suave	0,25
Río Sarchí	52,36	46,30	1,13	1,80	rectangular	700,0	2560,0	1411,36	4	20,80	2,52	122,13	2,33	23,18	8,0%	mediano	0,27
Río Cardinal	136,63	104,07	1,31	2,51	rectangular	34,3	1396,5	150,34	3	49,66	2,75	134,36	0,98	57,44	2,4%	plano	0,11
Río Segundo (R. Toro)	16,88	21,20	0,80	1,45	oblonga	1280,0	2240,0	1753,43	2	8,74	1,93	12,89	0,76	7,61	12,6%	accidentado	0,32
Río Segundo (márgenes del R. Virilla)	83,89	71,73	1,17	2,21	rectangular	703,2	2820,0	1291,20	4	33,63	2,49	159,96	1,91	40,38	5,2%	suave	0,23
Río Tambor	27,97	46,87	0,60	2,50	rectangular	840,0	2540,0	1406,38	4	22,35	1,25	95,57	3,42	26,07	6,5%	suave	0,25
Río Tiribí	249,20	95,77	2,60	1,71	alargada	880,0	2946,0	1466,74	5	42,34	5,89	484,62	1,94	50,11	4,1%	suave	0,18
Río Toro	574,36	189,39	3,03	2,23	rectangular	20,0	2700,0	152,48	4	88,91	6,46	769,98	1,34	175,09	1,5%	plano	0,14
Río Torres	47,14	59,98	0,79	2,46	rectangular	887,6	2040,0	1304,23	4	28,55	1,65	111,52	2,37	33,46	3,4%	suave	0,18
Río Trojás	26,12	40,24	0,65	2,22	rectangular	800,0	2160,0	1522,26	3	18,88	1,38	52,14	2,00	18,70	7,3%	mediano	0,25
Río Uruca	55,45	35,28	1,57	1,34	oblonga	740,0	2340,0	1128,83	4	13,73	4,04	92,12	1,66	15,09	10,6%	mediano	0,29
Río Virilla	919,88	164,71	5,58	1,53	alargada	280,0	2968,2	1285,78	5	69,76	13,19	2197,62	2,39	75,62	3,6%	suave	0,17
Río Volcán	58,68	43,38	1,35	1,60	alargada	360,0	2062,7	1257,89	4	18,71	3,14	107,18	1,83	19,55	8,7%	mediano	0,28

Nota: Densidad de drenaje mayor a 3,5.

Elaboración: ProDUS-UCR.



### 3-6.2. Comparación de cuencas

Según el índice de compacidad, mientras éste sea más cercano a 1 (cota inferior) las cuencas son más eficientes en cuanto la captación de la precipitación, por lo que durante un evento de precipitación responden rápidamente y los caudales pico son más bajos aunque los volúmenes escurridos sean altos. Lo contrario sucede cuando la forma tiende a ser rectangular o alargada y las cuencas con índices de compacidad más altos, tienen mayor vulnerabilidad a crecidas (mayores caudales pico).

Las cuencas presentan formas mayormente oblongas (30 casos,  $1,25 < \text{Índice} < 1,5$ ), alargadas (17 casos,  $1,5 < \text{Índice} < 1,75$ ) y de formas rectangulares alargadas (20 casos,  $\text{Índice} > 1,75$ ), y solamente se tienen 1 caso (río Cacao) de cuenca ovalada ( $\text{Índice} < 1,25$ ). A excepción de la cuenca del Río Sardinal (número de orden 3), todos los ríos con área de drenaje superior a 100 Km<sup>2</sup> (Río Virilla, Río Toro, Río Tiribí, Río Poás, Río Grande y Río Colorado) poseen número de orden 5 ó 4. Las demás cuencas poseen número de orden de 1, 2 ó 3 principalmente. Un alto número de orden indica mayor potencial erosivo y arrastre de sedimentos respecto a las demás cuencas.

En la Tabla siguiente se observa que la densidad de drenaje se encuentra entre 0,59 y 5,63 Km/Km<sup>2</sup>. Para las cuencas con áreas de drenaje mayores a 100Km<sup>2</sup> tienen densidades de drenaje cercanas a 1 ó superiores. Una densidad de drenaje alta refleja una cuenca bien drenada de rápida respuesta frente a una tormenta evacuando el agua en menos tiempo, se considera una cuenca eficientemente drenada para valores de densidad de drenajes de 3,5Km/Km<sup>2</sup> ó mayores. Se destacan los valores de las cuencas del Río Jaris y de la Quebrada Yeguas con valores mayores a 3,5Km/Km<sup>2</sup> lo que denota cuencas bien drenadas y de rápida respuesta de evacuación de agua. Debe notarse que este parámetro se ve afectado por el mosaico de las escalas de la información base (escala 1:50 000, 1:25 000 y 1:10 000), lo que se evidencia en la menor densidad de drenaje de las cuencas de los sectores donde la cobertura es solamente escala 1:50 000, debido a que no fue posible obtener la información de las fotografías y topografía generada a partir de estudios recientes del ICE para el análisis del terremoto de Cinchona.

En general, las elevaciones medias de las cuencas de los ríos del cantón de Alajuela son menores a 2000msnm con excepción de la cuenca del Río Desagüe. Según las pendientes medias de los ríos se observan pendientes de planas a muy fuertes, lo que indica que las topografías son muy planas en algunas zonas y quebradas en otras, no obstante se observa tendencias a pendientes intermedias, como se muestra en el Mapa.

Las cuencas con pendientes medias de los ríos planas se dan en las cuencas de los ríos Sardinal y Toro; aquellas con pendientes suaves se observan principalmente en el sector sur, en cuencas de los ríos Grande y Virilla, y algunas de sus subcuencas como la de los ríos Poás, Alajuela, Tambor, Tizote, Ciruelas, Segundo; mientras que las pendientes medias de los ríos de categoría mediana se dan en las cuencas de los ríos Colorado, Trojas, Itiquís, Volcán, Gorrión, y cuencas de quebradas como Mina, Lapita y Yeguas.

Hacia las cuencas cercanas a los poblados de Sabanilla y Sarapiquí se dan las mayores pendientes medias de los ríos, se clasifican como accidentado (rango entre 12-20%) cuencas de los ríos Ángel, La Paz, Desagüe, Agrio, entre otros. Se presentan pendientes medias de los ríos fuertes en las cuencas de ríos como Cariblanco, Pozo Azul, y cuencas de las quebradas Latas y Gata.



### 3-6.2. Pendientes, usos del suelo y áreas silvestres protegidas

Se delimitaron 74 cuencas en el cantón de Alajuela, de las cuales se obtuvo el nombre de los ríos que conforman su cauce principal. Se eliminaron del análisis 17 cuencas, las cuales se encuentran fuera del cantón; y 7 cuencas de las que no se define un cauce principal. Todas las cuencas se identifican con el nombre asignado a cada una según se observa en el Mapa. Se presentan las áreas de las cuencas analizadas, con el porcentaje de área que se encuentra dentro de Áreas Silvestres Protegidas (ASP) y fuera de éstas. En el Mapa se muestran las ASP que incluyen parte de las áreas de drenaje de las cuencas del cantón de Alajuela.

Las Áreas Silvestres Protegidas que cubren parte de las cuencas del cantón de Alajuela son: Refugio de Vida Silvestre Bosque Alegre, Parque Nacional Braulio Carrillo, Zona Protectora Cerro Atenas, Zona Protectora Cerro de Escazú, Zona Protectora Cerros de la Carpintera, Reserva Forestal Cordillera Volcánica Central, Zona Protectora El Chayote, Zona Protectora El Rodeo, Reserva Forestal Grecia, Refugio de Vida Silvestre Jaguarandi, Parque Nacional Juan Castro Blanco, Zona Protectora Quitirrisí, Zona Protectora Río Grande, Zona Protectora Río Tiribí, Zona Protectora Río Toro, Parque Nacional Volcán Irazú y Parque Nacional Volcán Poás. Estas ASP cubren un total de 72 846Ha del área de las cuencas del cantón de Alajuela, lo que representa aproximadamente a un 17,14% del área total de las cuencas analizadas.

De las cuencas delimitadas para este trabajo, 14 cuencas del cantón se encuentran prácticamente dentro (más del 75% del área de cada una dentro) de las ASP. Por otra parte, se tienen 27 cuencas cuyas áreas de drenaje se encuentran prácticamente fuera de las ASP. En el mapa se muestran las ASP que cubren las cuencas del cantón de Alajuela. Se destacan las cuencas de los ríos Poás, Uruca, Colorado, Tiribí, Volcán, Grande, Toro y Virilla que poseen las mayores áreas de drenaje. La cuenca del Río Volcán posee un alto porcentaje de su área de drenaje dentro de las Áreas Silvestres Protegidas (ASP) con un 96,5%; la cuenca del Río Uruca posee un 39,7% de su área de drenaje dentro de las Áreas Silvestres Protegidas. Mientras que las otras cuencas (cuenca de los ríos Poás, Colorado, Tiribí, Grande, Toro y Virilla) poseen menos de un 20% de sus áreas de drenaje dentro de las ASP.

El siguiente aspecto para considerar fue la condición topográfica, es importante señalar que estas determinan restricciones para el crecimiento urbano así como para el desarrollo agrícola. En el caso de las zonas urbanas el Reglamento para el Control Nacional de Fraccionamiento y urbanizaciones en la sección III.3.2.9, se recomienda que en terrenos con pendientes mayores a 15% deben presentarse estudios preliminares de suelos y terraceo para determinar el tamaño de los lotes y sus taludes.

Además establece que en las zonas con pendientes superiores al 30% se requieren estudios de estabilidad de taludes Asimismo, en el Plan Regional Metropolitano: Gran Área Metropolitana (INVU, 1983) se considera que la construcción de viviendas e infraestructura de servicios básicos en pendientes superiores a 20% aumenta considerablemente el costo de las obras debido a las estructuras de seguridad que requieren. En la tabla se dan los porcentajes de área de las cuencas, según los siguientes rangos de pendientes: 0 - 2%, 2 - 5%, 5 - 15%, 15 - 30%, 30 - 50%, 50 - 75% y mayor a 75%. Solamente se incluyen las áreas que se encuentran fuera de las ASP.



En la tabla se observa que las cuencas poseen principalmente bajas pendientes, con pocos casos en rangos medios o altos. Se encuentran 31 cuencas en las que más del 25% del área de drenaje fuera de las Áreas Silvestres Protegidas poseen pendientes menores al 2%. Además en dicha tabla se destacan cinco cuencas con áreas de drenaje fuera de las Áreas Silvestres Protegidas cercanas o superiores a 10 000Ha, estas son Río Grande (64 653Ha), Río Poás (18 967Ha), Río Tiribí (21 304Ha), Río Toro (45 961Ha) y Río Virilla (79 682Ha), y poseen más del 25% de sus áreas de drenaje (fuera de las ASP) con pendientes inferiores al 2%. Se encuentran 16 casos de cuencas con más del 25% de su área de drenaje con pendientes entre ligeramente onduladas y onduladas (rangos entre 2-15%); y 19 cuencas con más del 25% de su áreas de drenaje con pendientes fuertemente onduladas (rango de pendientes entre 15-30%).

Las pendientes escarpadas (rango entre 30-50%) en solamente 3 cuencas (cuencas de los ríos Jaris y Pozo Azul y Quebrada 1) se encuentra que más del 25% del área de drenaje posee pendientes entre 30-50%. Mientras que solo 4 cuencas (cuencas de Quebrada Grande, Quebrada 1 y 2 y Río Ángel) tienen más de un 15% de su área de drenaje con relieve fuertemente escarpado (rango de pendientes entre 50-75%); y los terrenos montañosos (pendientes mayores a 75%) se presentan en pequeños porcentajes (menores a un 15% de las áreas de drenajes) en las cuencas del cantón Alajuela.

Se concluye que la mayor parte del área de las cuencas del cantón de Alajuela que se encuentra fuera de las ASP posee pendientes en los rangos intermedios con mayor tendencia hacia las pendientes bajas (principalmente planas a fuertemente onduladas), y solamente una pequeña parte de las cuencas poseen pendientes altas, sin embargo es necesario considerar la topografía en el crecimiento urbano dentro de las cuencas del cantón.

En cuanto al uso del suelo en las áreas de las cuencas del cantón de Alajuela que se encuentran dentro y fuera de las ASP, se cuenta con 189 775Ha de uso de suelo de las cuencas dentro de las ASP y 425 681Ha fuera de las ASP. En las tablas se presentan los porcentajes de cobertura de los usos de suelo en las cuencas, se presenta el uso de suelo dentro de las áreas de las cuencas que pertenecen a zonas protegidas y se da el uso del suelo de las áreas fuera de ésta.

En la tabla se encuentran 325,4Ha de pastos y árboles dispersos, lo que corresponde a un 7,7% del área dentro de las ASP de las cuencas del cantón. Además se encuentran 54,8Ha de suelo desnudo dentro de las Áreas Silvestres Protegidas, que corresponde al 3% del área de las cuencas dentro de las ASP; el suelo desnudo es un uso que no debe darse dentro de las ASP. Se muestran áreas de extensión considerable dentro de las ASP, cubiertas por bosque; principalmente se dan en las cuencas de los ríos Ángel, Cariblanco, La Paz y Volcán; no obstante esto varió después del terremoto del 8 de enero de 2009 por la gran cantidad de deslizamientos.

En la tabla se observa que por la extensión de las áreas boscosas fuera de ASP se destacan las cuencas de los ríos Grande (2 515,1Ha), Poás (2 077,3Ha) y La Paz (1 623,7Ha). En total la cobertura boscosa de 13 939,9Ha fuera de las ASP, actualmente no cuentan con protección. Se encuentran 16 527,8Ha de cultivos y 24 667,2Ha de pastos y árboles dispersos en el área fuera de las ASP, donde se destacan las coberturas de las cuencas de los ríos Grande, Poás y Virilla. Además se muestra para el uso urbano 8 847,6Ha, correspondientes a un 13,1% del área de las cuencas fuera de las ASP.



Se muestran la longitud de las carreteras nacionales, según el material de su superficie de rodamiento, dentro y fuera de las ASP en las cuencas de Alajuela. La red vial nacional se basa en información de las hojas cartográficas 1:50 000 del IGN y del inventario de la red vial nacional realizado por el departamento de Planificación sectorial del MOPT.

Existen aproximadamente 57,7Km de vías nacionales dentro de las ASP en las cuencas de Alajuela, sobresalen 3 cuencas con más de 5Km de vías nacionales dentro de las ASP, estas son Río Grande (13,35Km), Río Toro (8,57Km) y Río Virilla (7,18Km) correspondientes a vías de asfalto. Por otra parte se observa que en estas áreas (dentro de las ASP) la mayor parte de las vías nacionales corresponden a vías de asfalto (98,4% de la longitud total de las vías nacionales dentro de las ASP) y en solamente 0,94Km de camino de lastre o grava.

Se observa que hay 2 060,04Km de vías nacionales fuera de las ASP en las cuencas de Alajuela, se destacan 4 cuencas con longitudes de vías nacionales mayores a 100Km o superiores, estas son Río Virilla (637,0Km), Río Grande (417,4Km), Río Tiribí (184,3Km) y Río Poás (129,9Km). Entre las vías nacionales fuera de las ASP dominan las vías de asfalto (91,8%), seguidas por las vías de lastre o grava (5,8%) y las vías de concreto (2,4%).



**Porcentajes de áreas de las cuencas del cantón de Alajuela dentro y fuera de Áreas Silvestres Protegidas**

Nombre	Dentro de ASP		Fuera de ASP		Área total (Ha)
	(Ha)	%	(Ha)	%	
Márgenes del Río Grande			2 174,70	100,0	2 174,70
Márgenes del Río Sarapiquí	895,91	25,76	2 582,44	74,24	3 478,35
Márgenes del Río Toro	718,82	54,15	608,54	45,85	1 327,36
Márgenes del Río Virilla	81,58	2,93	2 698,87	97,07	2 780,45
Quebrada Cenagosa			477,14	100,0	477,14
Quebrada Dantas	605,77	93,51	42,04	6,49	647,81
Quebrada Gata	701,69	56,65	536,92	43,35	1 238,61
Quebrada Gemelas			60,89	100,0	60,89
Quebrada Grande (R. Toro)	377,98	89,86	42,67	10,14	420,65
Quebrada Honda	85,00	100,0			85,00
Quebrada Hornos	177,84	50,72	172,78	49,28	350,61
Quebrada Lapita			385,75	100,0	385,75
Quebrada Latas	195,58	53,46	170,27	46,54	365,85
Quebrada Minas y otras			425,05	100,0	425,05
Quebrada Mona	287,40	100,0			287,40
Quebrada Muerte	22,70	8,12	256,77	91,88	279,47
Quebrada Porras	66,01	100,0			66,01
Quebrada Quelital	133,80	100,0			133,80
Quebrada Salitral	42,19	100,0			42,19
Quebrada Seca	67,08	0,92	7 256,73	99,08	7 323,81
Quebrada Tizote			1 449,81	100,0	1 449,81
Quebrada Yeguas (márgenes del R. Virilla)			67,07	100,0	67,07
Quebrada1	227,59	99,36	1,47	0,64	229,06
Quebrada2	264,39	100,0			264,39
Quebrada3	203,81	40,67	297,29	59,33	501,11
Río Agrio	598,18	78,71	161,75	21,29	759,93
Río Alajuela			5 102,70	100,0	5 102,70
Río Ángel	883,47	41,51	1 244,82	58,49	2 128,29
Río Anonos	861,28	89,14	104,90	10,86	966,18
Río Cacao	439,07	7,37	5 516,23	92,63	5 955,30
Río Cariblanco	839,69	35,16	1 548,34	64,84	2 388,03
Río Ciruelas	604,87	6,67	8 466,34	93,33	9 071,21
Río Colorado	2 712,91	16,45	13 774,95	83,55	16 487,85
Río Desagüe	1 109,79	84,53	203,04	15,47	1 312,83
Río Gorrión	697,17	96,33	26,53	3,67	723,70
Río Grande	7 333,43	10,19	64 652,87	89,81	71 986,30
Río Itiquís	943,97	19,54	3 885,99	80,46	4 829,96
Río Jarís	1 467,04	46,68	1 675,95	53,32	3 142,99
Río La Paz	676,56	22,06	2 389,80	77,94	3 066,36
Río María Aguilar	378,55	39,51	579,65	60,49	958,21
Río Poás	2 088,14	9,92	18 967,07	90,08	21 055,21
Río Pozo Azul	177,69	34,97	330,36	65,03	508,04
Río Quebrada Honda	1 649,11	48,24	1 769,61	51,76	3 418,72
Río Rosales	1 014,20	18,81	4 378,26	81,19	5 392,46
Río San Rafael	1 443,14	83,93	276,37	16,07	1 719,51
Río San Ramón	115,76	5,78	1 887,52	94,22	2 003,28
Río Santiago	1 613,70	44,80	1 988,25	55,20	3 601,95
Río Sarchí	1 452,88	27,75	3 783,56	72,25	5 236,44
Río Sardinal	49,86	0,36	13 612,98	99,64	13 662,84
Río Segundo (R. Toro)	1 422,17	84,27	265,47	15,73	1 687,64
Río Segundo (márgenes del R. Virilla)	863,62	10,29	7 525,35	89,71	8 388,97
Río Tambor	107,62	3,85	2 689,76	96,15	2 797,38
Río Tiribí	3 616,14	14,51	21 303,78	85,49	24 919,91
Río Toro	11 475,12	19,98	45 960,93	80,02	57 436,05
Río Torres	0,04	0,00	4 714,06	100,0	4 714,10
Río Trojas	884,44	33,87	1 727,22	66,13	2 611,66
Río Uruca	2 201,65	39,71	3 343,05	60,29	5 544,70
Río Virilla	12 306,29	13,38	79 681,77	86,62	91 988,07
Río Volcán	5 663,12	96,51	204,73	3,49	5 867,85
Total general	72 845,82	17,14	345 096,53	82,57	417 942,36



Porcentajes de áreas de las cuencas del cantón de Alajuela fuera de Áreas Silvestres Protegidas, según rangos de pendientes

Nombre	Rango de pendientes en porcentajes(%)											Área (Ha)
	0-2%	2-5%	5-10%	10-15%	15-20%	20-25%	25-30%	30-40%	40-50%	50-75%	+ de 75%	
Márgenes del Río Grande	23,14	1,37	5,30	5,71	7,26	5,96	5,43	8,14	6,85	11,32	8,20	2 174,62
Márgenes del Río Sarapiquí	33,20	2,54	6,59	7,28	7,65	5,90	4,54	6,12	4,66	7,93	5,65	2 582,44
Márgenes del Río Toro	29,85	2,34	14,32	10,68	8,79	5,79	3,49	5,58	3,24	6,42	3,06	608,71
Márgenes del Río Virilla	30,16	6,69	10,59	6,32	5,58	3,86	3,07	5,72	4,28	7,74	8,26	2 699,39
Quebrada Dantas	50,00	-	0,12	0,88	7,67	9,28	5,45	5,76	3,68	8,11	0,97	42,04
Quebrada Gata	11,88	1,53	14,01	17,67	14,49	10,25	8,43	10,01	3,89	3,47	0,90	536,92
Quebrada Gemelas	24,51	-	-	0,53	4,26	5,42	3,33	9,83	11,84	17,96	4,35	60,89
Quebrada Grande(R. Toro)	16,34	-	10,77	33,86	21,74	7,47	2,72	1,78	0,55	1,81	1,15	42,67
Quebrada Hornos	35,31	-	-	-	3,02	6,80	9,08	8,59	13,02	7,24	2,11	172,78
Quebrada Lapita	31,60	0,01	4,30	5,71	6,83	8,81	6,47	12,28	7,14	7,49	1,88	385,75
Quebrada Latas	15,71	-	9,19	15,28	14,01	11,48	9,21	12,04	6,01	3,26	0,55	170,27
Quebrada Minas y otras	28,46	2,61	15,84	13,52	12,04	8,49	5,46	5,85	2,52	2,19	0,82	425,05
Quebrada Muerte	28,03	2,41	13,97	7,90	7,50	8,10	8,97	11,09	5,09	3,05	0,83	256,77
Quebrada Seca	29,49	11,55	27,22	15,19	7,29	3,77	1,84	1,72	0,76	0,52	0,15	7 256,73
Quebrada Tizote	35,86	1,41	10,31	9,70	7,46	8,18	5,94	9,06	4,87	3,23	0,75	1 448,81
Quebrada Yeguas	37,44	-	1,57	2,93	4,47	7,02	6,45	13,29	7,75	8,21	2,65	518,78
Quebrada1	11,40	-	-	-	1,47	2,97	6,54	17,70	14,98	19,59	5,78	229,06
Quebrada2	14,36	-	-	2,44	7,30	5,75	6,40	12,69	11,63	15,74	7,95	264,39
Quebrada3	9,71	2,66	4,67	11,17	16,09	11,62	10,72	12,87	5,62	6,73	1,41	501,11
Río Agrio	21,56	1,36	9,36	11,78	13,11	9,67	6,50	9,99	4,01	5,82	1,03	161,76
Río Alajuela	38,47	13,29	19,69	9,90	5,51	3,67	2,54	3,00	1,43	1,13	0,25	5 102,71
Río Ángel	12,82	-	0,33	0,96	2,58	3,06	3,91	9,56	11,14	21,43	12,78	1 244,82
Río Anonos	32,35	1,20	12,96	16,85	7,12	6,31	3,08	4,65	2,82	5,41	1,84	104,90
Río Cacao	26,70	0,73	4,03	5,01	5,56	5,81	5,79	10,88	8,84	11,36	3,93	5 516,23
Río Cariblanco	16,38	-	4,16	6,44	9,35	9,46	7,34	11,11	7,67	11,25	5,60	1 548,34
Río Cruelas	30,45	10,00	13,77	8,06	7,21	5,83	4,53	6,99	4,36	3,98	0,84	8 466,34
Río Colorado	24,81	0,11	2,28	5,54	8,29	8,72	8,22	13,56	8,97	8,62	2,26	13 774,95
Río Desagüe	23,22	0,36	8,20	9,94	4,84	5,07	4,54	11,44	7,59	10,89	3,03	203,04
Río Gorrion	36,34	-	1,58	14,70	8,76	11,41	7,18	8,06	2,73	4,46	0,32	26,53
Río Grande	28,24	1,57	5,61	7,64	8,64	8,14	7,18	10,76	6,87	6,71	1,94	64 652,92
Río Itiquis	25,37	1,11	7,03	9,01	9,95	8,67	7,88	11,10	6,75	5,86	1,41	3 885,99
Río Jaris	22,71	-	0,58	3,68	3,76	6,63	7,63	14,75	11,34	12,60	3,73	1 675,95
Río La Paz	17,20	-	2,21	5,69	8,02	8,58	6,82	10,49	7,92	12,49	8,08	2 389,81
Río María Aguilar	24,72	-	4,33	15,94	11,67	9,25	6,12	8,78	4,24	5,48	3,98	579,66
Río Poás	25,91	0,51	6,06	10,25	10,93	9,26	7,55	10,38	6,37	5,69	1,38	18 967,08
Río Pozo Azul	15,49	-	2,19	7,96	7,51	11,15	10,69	15,74	9,82	8,54	2,37	330,35
Río Quebrada Honda	26,26	1,12	3,98	3,58	4,36	5,85	6,58	13,66	9,62	10,73	3,52	1 769,61
Río Rosales	36,58	0,07	4,80	9,84	10,36	8,08	6,52	8,17	4,79	4,73	1,32	4 378,26
Río San Rafael	22,65	-	-	4,37	6,17	10,10	9,95	13,64	7,84	10,72	3,83	276,38
Río San Ramón	43,56	0,91	20,59	15,04	7,67	4,22	2,56	2,61	1,24	0,75	0,11	1 887,51
Río Santiago	43,59	0,51	13,42	15,79	9,15	5,46	3,78	4,22	1,95	0,98	0,17	1 988,25
Río Sarchí	22,99	-	1,36	5,04	6,34	6,91	6,66	13,22	10,69	11,78	3,24	3 783,56
Río Sardinal	56,99	11,02	10,98	7,41	4,43	2,70	1,82	2,04	0,82	0,76	0,26	13 612,98
Río Segundo (R. Toro)	23,08	-	13,02	9,81	12,12	10,55	5,96	7,72%	4,50	6,05	1,13	265,47
Río Segundo	28,19	9,24	16,43	15,72	11,60	7,22	3,90	4,18	1,70	0,84	0,14	7 525,35
Río Tambor	25,95	0,34	3,75	7,47	10,13	9,42	8,08	12,79	7,90	6,55	1,05	2 689,76
Río Tiribí	30,09	4,79	9,46	6,72	5,75	5,42	5,12	8,74	6,20	7,57	2,56	21 303,80
Río Toro	56,71	12,04	9,75	5,59	3,96	2,77	1,95	2,52	1,32	1,42	0,56	45 960,95
Río Torres	46,40	7,32	10,62	6,60	5,68	4,57	3,90	5,59	2,99	2,79	0,75	4 714,06
Río Trojas	22,95	-	2,16	5,63	9,17	8,77	8,04	12,91	9,11	9,44	2,39	1 727,22
Río Uruca	22,63	14,41	11,44	4,90	5,46	6,07	6,14	9,34	5,93	6,08	1,52	3 343,06
Río Virilla	30,64	6,46	11,64	8,45	6,92	5,73	4,78	7,56	4,93	5,47	1,95	79 681,79
Río Volcán	28,48	-	6,74	5,35	5,23	7,45	5,16	10,43	8,33	9,82	3,20	204,73
Total general	33,60	5,34	9,08	7,85	7,16	6,14	5,17	7,87	5,09	5,43	1,85	363 404,52



Uso del suelo dentro de las Áreas Silvestres Protegidas en las cuencas del cantón de Alajuela.

Nombre	Bosque		Charrales		Humedales o pantanos		Cuerpos de agua		Cultivos		Nubes y sombras		Pastos y árboles dispersos		Relleno sanitario		Suelo desnudo		Tajo		Uso urbano		Fuera del cantón de Alajuela		Área total (Ha)
	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	
Márgenes del Río Sarapiquí	323,8	9,3											24,3	0,7			4,3	0,1					3 125,9	89,9	3 478,4
Quebrada Gata	149,3	12,1											5,0	0,4			0,3	0,0					1 084,0	87,5	1 238,6
Quebrada Latas	46,9	12,8											1,4	0,4									317,5	86,8	365,8
Río Ángel	839,7	39,5			13,0	0,6							13,1	0,6			13,9	0,7					1 248,6	58,7	2 128,3
Río Cariblanco	809,3	33,9											4,8	0,2			25,5	1,1					1 548,4	64,8	2 388,0
Río Desagüe	22,0	1,7			23,8	1,8											0,1	0,0					1 266,8	96,5	1 312,8
Río Grande	112,1	0,2											15,6	0,0			1,5	0,0					71 857,0	99,8	71 986,3
Río Itiquís	2,5	0,1											2,3	0,0			1,5	0,0					4 823,6	99,9	4 830,0
Río La Paz	634,0	20,7											37,1	1,2			5,5	0,2					2 389,8	77,9	3 066,4
Río María Aguilar	17,1	1,8											6,3	0,7									934,9	97,6	958,2
Río Poás	112,1	0,5											15,6	0,1			1,5	0,0					20 925,9	99,4	21 055,2
Río Sardinal	0,3	0,0																					13 662,5	100,0	13 662,8
Río Toro	218,2	0,4			23,8	0,0							6,5	0,0			0,5	0,0					57 187,1	99,6	57 436,0
Río Volcán	522,1	8,9					2,3	0,0					193,3	3,3									5 150,2	87,8	5 867,8
Total general	3 809,3	2,0	0,0	0,0	60,6	0,0	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	325,4	0,2	0,0	0,0	54,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	185 522,4	97,8	189 774,7

Fuente: Hojas cartográficas 1:50 000 IGN. SINAC-MINAE, 2005. ProDUS, 2009.

Uso del suelo fuera de las Áreas Silvestres Protegidas en las cuencas del cantón de Alajuela.

Nombre	Bosque		Charrales		Humedales o pantanos		Cuerpos de agua		Cultivos		Nubes y sombras		Pastos y árboles dispersos		Relleno sanitario		Suelo desnudo		Tajo		Uso urbano		Fuera del cantón de Alajuela		Área total (Ha)
	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	
Márgenes del Río Grande	141,9	6,5	39,9	1,8	0,82	0,0	22,4	1,0	57,9	2,7			338,6	15,6			15,2	0,7	5,0	0,2	44,5	2,0	1 508,4	69,4	2 174,7
Márgenes del Río Sarapiquí	668,3	19,2	11,4	0,3			2,2	0,1			35,8	1,0	499,3	14,4			7,6	0,2	10,3	0,3	19,5	0,6	2 223,9	63,9	3 478,4
Márgenes del Río Toro																							1 327,4	100,0	1 327,4
Márgenes del Río Virilla	266,3	9,6	127,3	4,6			23,0	0,8	214,6	7,7			558,5	20,1			201,9	7,3	18,7	0,7	91,1	3,3	1 279,1	46,0	2 780,5
Quebrada Dantas																							647,8	100,0	647,8
Quebrada Gata	102,4	8,3											3,6	0,3			0,3	0,0					1 132,3	91,4	1 238,6
Quebrada Gemelas			12,7	20,9									48,2	79,1											60,9
Quebrada Grande (R. Toro)																							420,6	100,0	420,6
Quebrada Honda																							85,0	100,0	85,0
Quebrada Hornos																							350,6	100,0	350,6
Quebrada Lapita	40,0	10,4	95,3	24,7					25,1	6,5			221,2	57,4							4,1	1,1			385,7
Quebrada Latas																					0,0		365,8	100,0	365,8
Quebrada Minas y otras	11,6	2,7					0,5	0,1	102,6	24,1			274,7	64,6			9,1	2,1			26,5	6,2			425,1
Quebrada Mona																							287,4	100,0	287,4
Quebrada Muerte																							279,5	100,0	279,5
Quebrada Porras																							66,0	100,0	66,0
Quebrada Quelital																							133,8	100,0	133,8
Quebrada Salitral																							42,2	100,0	42,2
Quebrada Seca	10,7	0,1							17,9	0,2			70,8	1,0			12,1	0,2			73,2	1,0	7 139,1	97,5	7 323,8
Quebrada Tizote	103,7	7,2	173,8	12,0	45,0	3,1	12,5	0,9	29,8	2,1			962,3	66,4			13,4	0,9			109,3	7,5			1 449,8
Quebrada Yeguas (márgenes del R. Virilla)	11,8	17,7	27,5	41,0					1,8	2,7			26,0	38,7											67,1

Notas:







Tabla 1-3.6 Uso del suelo fuera de las Áreas Silvestres Protegidas en las cuencas del cantón de Alajuela (continuación).

Nombre	Bosque		Charrales		Humedales o pantanos		Cuerpos de agua		Cultivos		Nubes y sombras		Pastos y árboles dispersos		Relleno sanitario		Suelo desnudo		Tajo		Uso urbano		Fuera del cantón de Alajuela		Área total (Ha)	
	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%		
Quebrada1																							229,1	100,0	229,1	
Quebrada2																								264,4	100,0	264,4
Quebrada3																								501,1	100,0	501,1
Río Agrio																								759,9	100,0	759,9
Río Alajuela	298,1	5,8	87,3	1,7			4,7	0,1	1 350,3	26,5			2 286,0	44,8			50,5	1,0			917,7	18,0	108,0	2,1	5 102,7	
Río Angel	1 131,6	53,2	3,4	0,2									105,5	5,0							4,4	0,2	883,5	41,5	2 128,3	
Río Anonos																							966,2	100,0	966,2	
Río Cacao																							5 955,3	100,0	5 955,3	
Río Cariblanco	1 037,9	43,5					0,3	0,0			25,2	1,1	450,0	18,8			1,7	0,1	11,4	0,5	21,8	0,9	839,7	35,2	2 388,0	
Río Ciruelas	530,9	5,9	149,3	1,6			0,3	0,0	1 118,3	12,3	0,0		1 835,0	20,2			129,3	1,4			1 701,9	18,8	3 606,3	39,8	9 071,2	
Río Colorado																							16 487,9	100,0	16 487,9	
Río Desagüe																							1 312,8	100,0	1 312,8	
Río Gorrón																							723,7	100,0	723,7	
Río Grande	2 515,1	3,5	401,1	0,6	45,81	0,1	44,4	0,1	5 238,9	7,3	5,6	0,0	6 583,0	9,1	27,7	0,0	213,9	0,3	5,0	0,0	1 699,8	2,4	55 206,1	76,7	71 986,3	
Río Itiquis	513,9	10,6	58,3	1,2			1,2	0,0	1 359,0	28,1			995,7	20,6	27,7	0,6	60,8	1,3			408,4	8,5	1 405,0	29,1	4 830,0	
Río Jaris																							3 143,0	100,0	3 143,0	
Río La Paz	1 623,7	53,0	6,4	0,2			0,3	0,0	22,8	0,7			473,2	15,4	0,0		2,9	0,1			1,4	0,0	935,8	30,5	3 066,4	
Río María Aguilar	198,8	20,7	8,0	0,8					3,1	0,3	4,9	0,5	219,4	22,9	0,0		4,4	0,5	14,9	1,6	5,2	0,5	499,4	52,1	958,2	
Río Poás	2 077,3	9,9	100,2	0,5			4,6	0,0	3 697,2	17,6	5,6	0,0	2 736,0	13,0	27,7	0,1	126,2	0,6			600,8	2,9	11 679,7	55,5	21 055,2	
Río Pozo Azul																							508,0	100,0	508,0	
Río Quebrada Honda																							3 418,7	100,0	3 418,7	
Río Rosales																							5 392,5	100,0	5 392,5	
Río San Rafael																							1 719,5	100,0	1 719,5	
Río San Ramón																							2 003,3	100,0	2 003,3	
Río Santiago	20,1	0,6											21,2	0,6									3 560,6	98,9	3 602,0	
Río Sarchi																							5 236,4	100,0	5 236,4	
Río Sardinal	666,1	4,9							108,9	0,8	45,6	0,3	1 070,6	7,8			21,7	0,2	16,1	0,1	0,6	0,0	11 733,3	85,9	13 662,8	

Notas:

Nombre	Bosque		Charrales		Humedales o pantanos		Cuerpos de agua		Cultivos		Nubes y sombras		Pastos y árboles dispersos		Relleno sanitario		Suelo desnudo		Tajo		Uso urbano		Fuera del cantón de Alajuela		Área total (Ha)	
	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%		
Río Segundo (R. Toro)																								1 687,6	100,0	1 687,6
Río Segundo (márgenes del R. Virilla)	156,5	1,9	8,9	0,1			1,5	0,0	340,8	4,1			687,4	8,2			40,9	0,5			574,5	6,8	6 578,5	78,4	8 389,0	
Río Tambor	594,0	21,2	39,2	1,4			1,8	0,1	1 118,8	40,0			649,6	23,2			47,7	1,7			92,4	3,3	253,9	9,1	2 797,4	
Río Tiribí																							24 919,9	100,0	24 919,9	
Río Toro	2,4	0,0	23,8	0,0									3,9	0,0									57 405,9	99,9	57 436,0	
Río Torres																							4 714,1	100,0	4 714,1	
Río Trojas																							2 611,7	100,0	2 611,7	
Río Uruca																							5 544,7	100,0	5 544,7	
Río Virilla	1 082,0	1,2	477,0	0,5			27,1	0,0	1 720,1	1,9			3 487,4	3,8			384,2	0,4	18,7	0,0	2 449,3	2,7	82 342,3	89,5	91 988,1	
Río Volcán	134,6	2,3	1,5	0,0							6,5	0,1	60,1	1,0							1,2	0,0	5 664,0	96,5	5 867,8	
Total general	13 939,9	3,3	1 852,1	0,4	91,6	0,0	146,8	0,0	16 527,8	3,9	129,3	0,0	24 667,2	5,8	83,0	0,0	1 343,7	0,3	100,1	0,0	8 847,6	2,1	357 952,0	84,1	425 681,1	

Notas:

Coberturas de bosque superiores a 40 o más de 100Ha en áreas sin protección. Cuencas con áreas de drenaje mayores a 10 000Ha.

Fuente: Hojas cartográficas 1:50 000 IGN. SINAC-MINAE, 2005. ProDUS, 2009.



*Longitud de vías en las cuencas de los ríos de Alajuela dentro de las ASP*

Nombre	Carreteras nacionales					Total(Km)
	Carpeta asfáltica >= 4cm	Concreto	Lastre o grava	T.S.B Múltiple, asfáltica < 4cm	Carpeta T.S.B Simple base, estabilizada	
Márgenes del Río Toro			0,08	0,56		0,63
Quebrada Honda				0,85		0,85
Quebrada Hornos				0,28		0,28
Quebrada Porras				0,88		0,88
Quebrada Quelital				0,19		0,19
Quebrada Salitral				0,64		0,64
Río Cacao			0,35	0,56		0,91
Río Colorado				4,13		4,13
Río Desagüe				0,94		0,94
Río Gorrión			0,04	3,86		3,90
Río Grande			0,35	13,00		13,35
Río Jaris	1,31					1,31
Río Poás				3,06		3,06
Río Quebrada Honda	3,92					3,92
Río Rosales				1,24		1,24
Río Tiribí	1,63					1,63
Río Toro			0,12	8,45		8,57
Río Trojas				4,13		4,13
Río Virilla	7,18					7,18
Total general	14,05		0,94	42,76		57,74



Longitud de vías en las cuencas de los ríos de Alajuela fuera de las ASP

Nombre	Carreteras nacionales					Total (Km)
	Carpeta asfáltica >= 4cm	Concreto	Lastre o grava	T.S.B Múltiple, Carpeta asfáltica < 4cm	T.S.B Simple base, estabilizada	
Márgenes del Río Grande	5,11		3,44	3,63		12,18
Márgenes del Río Sarapiquí	14,80			4,19		18,99
Márgenes del Río Toro			1,54	6,76		8,31
Márgenes del Río Virilla	3,55		0,99	0,19		4,73
Quebrada Gata				1,61		1,61
Quebrada Gemelas			1,21			1,21
Quebrada Honda						0,00
Quebrada Hornos				0,75		0,75
Quebrada Lapita			0,90			0,90
Quebrada Latas				0,71		0,71
Quebrada Minas y otras	3,08		1,25			4,33
Quebrada Muerte	4,14					4,14
Quebrada Porras						0,00
Quebrada Potrerillos				6,69		6,69
Quebrada Prensa	4,56		0,14	0,40		5,11
Quebrada Quelital						0,00
Quebrada Salitral						0,00
Quebrada Seca	60,02	4,60		0,33		64,95
Quebrada Tizote			1,47	3,36		4,83
Quebrada Yeguas (márgenes del R. Virilla)			0,53			0,53
Río Agrio				0,13		0,13
Río Alajuela	18,87			13,80		32,66
Río Ángel	1,60					1,60
Río Cacao	14,46	1,43	2,84	8,80		27,54
Río Cariblanco	0,85			1,02		1,88
Río Ciruelas	43,87	1,79		4,31		49,97
Río Colorado	51,06		2,71	31,03		84,80
Río Desagüe				0,84		0,84
Río Gorrión			0,01	0,23		0,24
Río Grande	225,54	1,43	11,79	176,43	2,19	417,38
Río Itiquís	23,34			11,96	1,69	36,99



Nombre	Carreteras nacionales					Total (Km)
	Carpeta asfáltica >= 4cm	Concreto	Lastre o grava	T.S.B Múltiple, Carpeta asfáltica < 4cm	T.S.B Simple base, estabilizada	
Río Jaris	5,01		5,60			10,60
Río La Paz	6,75			4,36		11,11
Río María Aguilar				1,85		1,85
Río Poás	60,48			67,19	2,19	129,86
Río Pozo Azul				1,70		1,70
Río Quebrada Honda	7,01					7,01
Río Rosales	11,62			3,80		15,42
Río Sarchí	6,39			0,15		6,54
Río Sardinal	10,19		5,78	1,05		17,02
Río Segundo (márgenes del R. Virilla)	46,92			17,90		64,82
Río Tambor	5,69			12,43	0,50	18,63
Río Tiribí	144,24	10,36	7,37	22,36		184,33
Río Toro	7,68		37,04	35,11		79,83
Río Torres	42,49	3,12		2,18		47,78
Río Trojas	1,90			11,04		12,95
Río Uruca	23,65			1,01		24,66
Río Virilla	506,34	26,19	35,18	69,32		637,03
Total general	1 356,65	48,92	119,67	528,23	6,57	2 060,04

### 3-6.3. Recurso Hídrico

Según la Ley de Aguas, es necesaria una autorización para el aprovechamiento de las aguas públicas. Esa autorización la concede el Departamento de Aguas del Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET), para disponer y resolver sobre el dominio, aprovechamiento, utilización, gobierno o vigilancia de las aguas de dominio público. Toda persona que esté disfrutando de un derecho de aguas, deberá exhibir la concesión que tenga para ejercer ese derecho. El Servicio Nacional de Agua Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA) mantiene una base a nivel nacional con información de pozos, a los que se han realizado pruebas para determinar el nivel estático, profundidad del pozo, caudal explotable y litología, entre otros. Esta base incluye el uso del caudal del pozo y ubicación geográfica. Se realizó un inventario de las concesiones de MINAET y los pozos de SENARA para las cuencas del cantón de Alajuela. En las tablas siguientes se resume esta información. Dado que existen concesiones en las que se dan varios usos a una misma fuente, el número de concesiones según uso (607 concesiones) es mayor al número de fuentes concesionadas (385 fuentes).

Se observa que el uso más frecuente es el consumo humano con 282 concesiones, seguido del aprovechamiento para riego con 105 concesiones, y el agropecuario e industrial con 73 y 43 concesiones respectivamente. Se encuentran 23 fuentes de acueducto rural, 32 concesiones para uso turístico, 9 para uso comercial, 14 para uso agroindustrial y 16 concesiones para uso fuerza hidráulica. Se observa que no hay información para 10 concesiones en la base del MINAET.



Las cuencas con mayor número de concesiones son la del Río Grande y el Río Virilla con 258 y 306 concesiones respectivamente. En la sección 8-3 se observa que existe una gran cantidad de viviendas con fuentes de agua individual y solamente existen 282 concesiones para consumo humano en las bases del MINAET. Se observa que hay mayor cantidad de concesiones en pozos (231 concesiones) que en nacientes (90 concesiones) y ríos y quebradas (64 concesiones); sin embargo los ríos y quebradas son los que tienen el mayor caudal concesionado (60 281m<sup>3</sup>/s). Además el número de pozos de la base de SENARA y el caudal explotable. El número total de pozos es de 5544 los cuales tienen el dato del caudal con un potencial de 3041l/s, se observa que la cantidad de pozos concesionados según la base del MINAET es mucho menor. La cuenca con mayor cantidad de pozos es la del Río Virilla con 3720 pozos de los cuales 3701 poseen el dato de caudal con un potencial total de 1992l/s.

Los principales usos de los pozos según los registros de SENARA son para abastecimiento doméstico (1333 pozos, 849,5l/s), uso industrial (391 pozos, 643,4l/s), uso riego (222 pozos, 250,7l/s), para abastecimiento público (107 pozos, 696,7l/s), y uso urbanístico (105 pozos, 273,2l/s). Se observa como para algunos usos el caudal promedio de los pozos es alto; tal es el caso de los pozos utilizados para abastecimiento público que tienen un caudal explotado promedio de 6,51l/s por pozo, los de uso urbanístico con un caudal promedio de 2,60l/s para cada pozo, así como también los pozos utilizados para riego-turismo y para actividades industriales con un caudal promedio por pozo de 3,0l/s y 1,65 l/s respectivamente. Comparando los datos se observa una gran diferencia en la cantidad de pozos registrados, ya que según las bases del MINAET hay 231 concesiones de pozos, mientras que el SENARA tiene 5444 pozos registrados. Además, aparte de la gran cantidad de pozos que no están registrados en el MINAET, se debe destacar el caudal que no se está contabilizando y se explota ilegalmente.

Número de concesiones del MINAET, según uso del caudal.

Nombre	Número de concesiones del MINAE según uso del caudal										Total
	AR	AI	AP	CH	CO	INI	RI	FH	TU	SD	
Márgenes del Río Grande						1					1
Márgenes del Río Virilla			5	12		2	3	2			24
Quebrada Lapita			1	3		1					5
Quebrada Minas y otras			1	2			1		1		5
Quebrada Seca		2	3	9	1	2	1		2		20
Quebrada Tizote	1		6	21		1	13		9		51
Quebrada Yeguas				1							1
Río Alajuela	5		1	43	3	8	14	6	5		85
Río Ángel			1					1			2
Río Cariblanco			6	2			1				9
Río Ciruelas	5	3	9	63	2	12	19	3	6		122
Río Grande	10	6	36	108	4	11	52	6	15	10	258
Río Itiquís		1	5	20	1		6			1	34
Río La Paz				1		1	1				3
Río María Aguilar			1	1			1				3
Río Poás	4	6	28	42	1	1	24			10	116
Río Sardinal	1										1
Río Segundo	7	3	6	70	2	12	24	1	9		134
Río Tambor	2	3	1	8		1	5				20
Río Virilla	12	8	24	158	5	29	47	6	17		306
Río Volcán								1			1
Total general	23	14	73	282	9	43	105	16	32	10	607

AC: Acueducto Rural

AI: Agroindustrial

AP: Agropecuario

CH: Consumo Humano

CO: Comercio

IN: Industria

RI: Riego

FH: Fuerza Hidráulica

TU: Turismo

SD: Sin Datos

Fuente: MINAET, 2005. ProDUS, 2009



*Número de concesiones del MINAET y caudal concesionado, según tipo de fuente.*

Nombre	Tipo de fuente						Total	
	Naciente		Pozo		Ríos o quebradas			
	# nacientes	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	# de pozos	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	# de ríos o quebradas	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	# de concesiones	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
Márgenes del Río Grande					1	1,30	1	1,30
Márgenes del Río Virilla	1	0,40	12	21,80	3	27 277,01	16	27 299,21
Quebrada Lapita			3	3,30			3	3,30
Quebrada Minas y otras			2	1,06			2	1,06

La información base disponible para este estudio resulta deficiente para una caracterización detallada de cada una de las cuencas del cantón de Alajuela. La principal limitación se encuentra en las curvas de nivel disponibles cada 20m (IGN), cada 10m (CENIGA) y en algunos casos cada 5m (IGN); ya que en ciertas zonas el mosaico de la información resulta insuficiente para la adecuada representación de la topografía de las cuencas ya que éstas son muy planas; se trató de mejorar con la información generada por el ICE para el análisis del terremoto de Cinchona, sin embargo no fue suministrada. Además la red fluvial de la información oficial (IGN, 1:50 000) no incluyen los nombres de los ríos de muchas de las cuencas y en ocasiones no se encuentran los cauces.

Las cuencas presentan formas principalmente oblongas ( $1,25 < \bar{I}_c < 1,5$ ), mientras más cercano sea el valor del índice de compacidad a 1 las cuencas responden más rápidamente a un evento de precipitación, y los caudales pico son más bajos aunque los volúmenes escurridos sean altos. Sin embargo hay un número considerable de cuencas de formas rectangulares alargadas ( $\bar{I}_c > 1,75$ ) y alargadas ( $1,5 < \bar{I}_c < 1,75$ ), cuyos valores de índices de compacidad indican cuencas con mayor vulnerabilidad a crecidas y mayores caudales pico.

Las cuencas con área de drenaje mayor a 100 Km<sup>2</sup> poseen número de orden de 5 ó 4, lo que indica un mayor potencial erosivo y arrastre de sedimentos; además tienen densidades de drenaje cercanas a 1 Km/Km<sup>2</sup> ó superiores, lo cual refleja una densidad de drenaje media. Cerca de un 17% del área total de las cuencas analizadas se encuentran dentro de las Áreas Silvestres Protegidas (SINAC-MINAE, 2005). De las 51 cuencas que se encuentran dentro de las ASP, 15 cuentan con más del 75% de sus áreas de drenaje dentro de las áreas protegidas.

Con base en un modelo de elevación construido con la información digital del IGN y CENIGA, se evaluaron las pendientes fuera de las ASP, de este análisis se encuentra que las pendientes son, en general muy planas pues 31 de las cuencas poseen más del 25% de sus áreas de drenaje con pendientes inferiores al 2%, y solamente se encuentran 3 cuencas con más del 25% de sus áreas de drenaje en pendientes escarpadas.

Dentro de las ASP se encuentran algunas zonas de suelo desnudo y pastos con árboles dispersos, sin embargo la mayor parte del área de las cuencas dentro de las ASP son de cobertura boscosa (89,6%). Existen 13 939,9Ha de bosques fuera de ASP que actualmente no cuentan con protección, estos se ubican principalmente en las cuencas de los ríos Carrión, Ángel, La Paz, y zonas de bosque más dispersas en las cuencas de los ríos Grande, Poás y Toro.



La mayor parte de las vías nacionales en las cuencas de Alajuela fuera de las ASP corresponden a calles de asfalto y en menor grado a calles de lastre o grava y de concreto. Las vías dentro de las ASP corresponden a carreteras de asfalto y en menor medida a calles de lastre o grava. Se destaca la cuenca del Río Grande con la mayor longitud de vías nacionales dentro de ASP con 13,35Km.

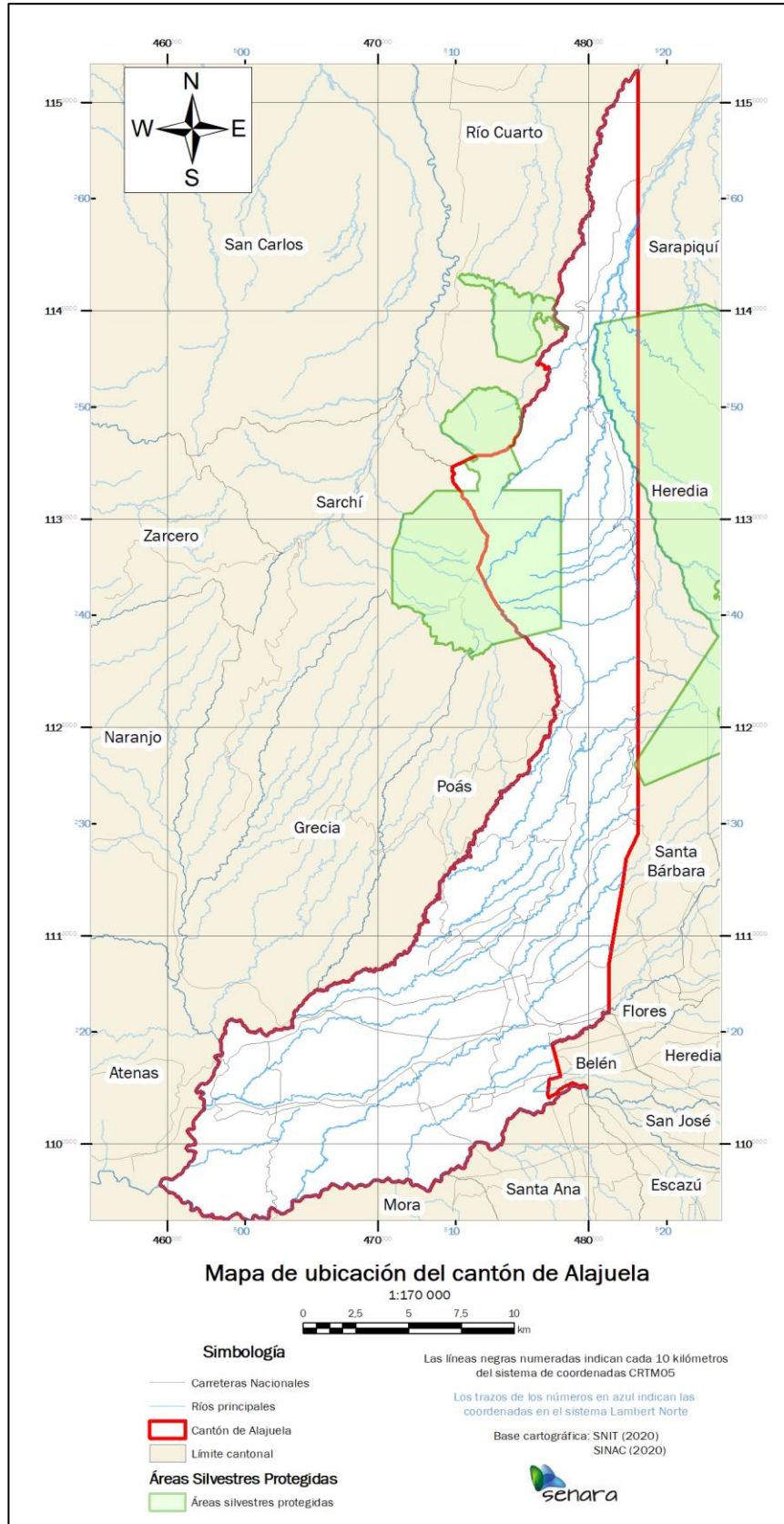
Se encuentra que la explotación de los recursos hídricos de las cuencas de Alajuela se da principalmente para consumo humano, industrial y riego, y las principales fuentes de agua potable son las fuentes subterráneas (pozos). Además existe una gran cantidad de esta explotación que se da de forma ilegal, pues se encuentran muy pocas concesiones de agua potable para consumo humano, y según registros del SENARA hay una gran cantidad de pozos para este uso.

Se encuentra que existen algunas áreas de las cuencas del cantón de Alajuela en zonas declaradas con riesgo de inundación de la CNE, sin embargo de estas zonas solamente el 56,7% se encuentran dentro del cantón, y el porcentaje restante se encuentran en zonas de las cuencas que se encuentran fuera del cantón de Alajuela.

### **3-7. HIDROGEOLOGÍA**

El presente informe constituye el Diagnóstico Hidrogeológico del cantón de Alajuela elaborado por SENARA, debido a la necesidad de mostrar la información hidrogeológica base existente en el área de estudio para la confección de la variable hidrogeológica y propuesta de manejo del recurso hídrico a ser incorporada en el plan regulador, que será desarrollada en la segunda fase del convenio entre la Municipalidad de Alajuela y SENARA. El estudio tuvo como propósito recopilar y presentar la información existente como parte del estudio hidrogeológico básico en la zona de estudio, con el fin de determinar la cantidad y calidad de los insumos con los que actualmente se cuenta, para así definir el plan de trabajo para la segunda fase. Su objetivo general fue *“Realizar la recopilación de la información hidrogeológica básica disponible para utilizarse en la elaboración del estudio hidrogeológico del cantón de Alajuela.”*

La zona en estudio se ubica entre las coordenadas aproximadas 459600-482300 y 1096000-1151600, sistema CRTM05. El cantón abarca una extensión de 388 km<sup>2</sup>. Limita al Norte con el cantón de Río Cuarto; al Este con los cantones de Sarapiquí, Heredia, Santa Bárbara, Belén; al Sur con los cantones de Santa Ana y Mora y al Oeste con los cantones de Atenas, Grecia, Poás y Sarchí. La figura 1 muestra el área en estudio, correspondiente al cantón de Alajuela.







La metodología de trabajo para realizar el presente informe de avance se detalla en las siguientes actividades:

- Recopilación de información bibliográfica de la zona, entre ella información geológica, estructural, climática e hidrogeológica.
- Revisión de bases de datos de pozos, manantiales y concesiones en el SENARA, la Municipalidad de Alajuela, la Dirección de Aguas del MINAE y el AyA para obtener datos de los acuíferos y usos del recurso hídrico.
- Recopilación de información climatológica de la base de datos del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) y SENARA.
- Elaboración del Informe de Diagnóstico Hidrogeológico.

La recopilación de información abarcó no solamente estudios concretos del cantón de Alajuela, sino que también se contemplaron estudios regionales en donde estuviera incluido al menos una parte del cantón, así como estudios específicos cuya extensión se encontrará dentro de los límites del cantón de Alajuela. Por lo tanto se determinó que en el área de estudio, se han realizado varios estudios hidrogeológicos específicos bajo el modelo de trabajos finales de graduación, así como también el estudio hidrogeológico para el Plan Regulador de Alajuela elaborado en el 2010. Se encontró que existen mapas geológicos de tres de las seis hojas cartográficas que cubren la extensión del cantón de Alajuela, Además se tiene el estudio hidrogeológico de la cuenca del río Grande, que abarca el sector central del cantón. Estos y otros estudios utilizados para el presente informe se enlistan a continuación:

- Zamora *et al* (2010): Mapa hidrogeológico del cantón de Alajuela. Informe final.
- Monge *et al* (2019): Estudio Hidrogeológico para la cuenca del río Grande, Alajuela, Costa Rica.
- Fallas (2017): Estudio Hidrogeológico para la cuenca del río Grande, Alajuela.
- Araya (2017): Caracterización Hidrogeológica de la Unidad Colada de Lava Cebadilla, formación Barva, Provincia de Alajuela, Costa Rica.
- Arias & Denyer (1990): Geología de la hoja Río Grande y de la hoja Abra.
- BGS-SENARA (1985): Mapa hidrogeológico del Valle Central de Costa Rica.
- Huapaya & Rojas (2012): Mapa geológico de la hoja Naranjo.
- Ramírez & Alfaro (2002): Mapa de vulnerabilidad hidrogeológica de una parte del Valle Central de Costa Rica.
- Losilla *et al* (1985): Mapa hidrogeológico del Valle Central de Costa Rica.
- Ruiz *et al* (2010): Caracterización geoquímica y petrográfica de las unidades geológicas del macizo del volcán Poás, Costa Rica.

### 3-7.1. Geología Regional

El presente capítulo comprende la revisión bibliográfica existente en torno a los estudios geológicos que han abarcado todo o una parte del cantón de Alajuela. En un primer apartado se enlistan los mapas geológicos que se encontraron y se utilizarán como fuente preliminar de información; el segundo apartado presenta las formaciones geológicas y litologías que se pueden esperar que se presenten dentro del cantón de Alajuela, aunque cabe mencionar, que no se hace referencia a sectores específicos en donde encontrarlas, debido a las diferencias existentes entre los estudios consultados; el tercer apartado comprende un análisis de la información geológica existente, según la calidad y cantidad de la información.



No existe un mapa completo y específico de la geología del cantón de Alajuela, por lo que en aquellos estudios en donde se ha tenido que presentar la información geológica del cantón para distintos fines, lo que se hizo fue tomar una serie de estudios a mayor escala que abarcaban ciertos sectores del cantón y realizar un compendio de los mapas; en ocasiones este compendio se complementó con la inspección de algunos sitios. Sin embargo en estos casos no se hizo una reinterpretación de los mapas para que hubiera una mejor coincidencia, por lo que simplemente las litologías aparecen yuxtapuestas. El caso anterior corresponde al mapa geológico generado en el estudio del 2009, por ProDUS cuyo consultor principal fue Marcelino Losilla. Este mapa se compone de cinco mapas geológicos, utilizando como base inicial el mapa geológico de Costa Rica, escala 1:200 000.

Las otras tres fuentes de información utilizadas fueron el mapa geológico elaborado por Gerardo Soto en 1999, como parte del informe interno del ICE para determinar la factibilidad del proyecto hidroeléctrico Laguna Hule; el mapa geológico de las hojas Abra y Río Grande, publicados en la RGCA y cuyos autores son Percy Denyer y Olman Arias; finalmente también se utilizó el mapa geológico de la zona Barva, sin embargo no se especifica el autor o la fuente de origen de dicho mapa.

Dentro de los mapas geológicos de las hojas cartográficas 1:50 000 que servirán como referencia para este estudio, se encuentran como ya se mencionó los de las hojas Río Grande y Abra, además se agrega el de la hoja Naranjo, publicado por la DGM en el 2012 y elaborado por Sofía Huapaya y Vanessa Rojas.

Además se encuentra el mapa realizado por el SENARA y el BGS en el 1985, escala 1:50 000 y el mapa del volcán Poás elaborado por Paulo Ruiz, Esteban Gazel, Guillermo Alvarado, Michael Carr y Gerardo Soto en el 2010 y publicado en la RGAC, los cuales en conjunto con los mapas previamente mencionados conforman las fuentes de información geológica más regional, en donde solamente se abarcan ciertos sectores del cantón de Alajuela.

Por otro lado, existen dos estudios a menor escala elaborados como trabajos finales de graduación de la Escuela de Geología de la UCR, en donde se realizó sendos mapas geológicos. El primero de ellos fue elaborado por Luis Alonso Fallas en 2017 y el área que cubre corresponde al distrito central del cantón de Alajuela, el segundo fue realizado por Luis Miguel Araya también en 2017 y el sector que abarca del Coyol hasta Cebadilla y la Guácima.

### **3-7.2. Geología del cantón de Alajuela**

Se describen a continuación algunas de las formaciones y unidades geológicas que se muestran en los mapas geológicos enlistados en el apartado anterior. Es importante anotar, que este apartado cubre aquellas litologías de las cuales se tiene mayor certeza que se encuentran en el cantón de Alajuela, sin embargo siempre existe la posibilidad de que en la segunda fase del estudio, se agreguen o excluyan litologías.

- a) Formación Colima: Inicialmente denominada Lavas Intracañon por William (1952), corresponden a depósitos volcánicos principalmente de lavas extruidas probablemente de fisuras de los volcanes Barva y Poás, cuya orientación se considera NE-SW (Kussmaul, 1988; Denyer & Arias, 1991). Fernández (1968) la denomina como Fm. Colima, mientras de que Echandi (1981) la subdivide en tres miembros (Mb. Belén, Mb. Puente de Mulas y Mb. Linda Vista) que serán descritos más adelante.



Litológicamente la Fm. Colima se compone de lavas andesíticas piroxénicas de color gris y con espesores de 10 a 30 m, intercaladas con tobas de ceniza y brechas (Echandi, 1981; Denyer & Arias, 1991; Vargas, 2019). Esta secuencia de depósitos es solamente observable en los cañones de los ríos más profundos, sin embargo los registros de perforación del Valle Central describen a la Fm. Colima (Denyer & Arias, 1991; Ramírez & Alfaro, 2002).

El espesor total de la formación varía según distintos autores, Ramírez & Alfaro (2002) indican que posee casi 100 m, sin embargo Echandi (1991) calcula su potencia en 270 m. Esta formación yace en discordancia a las formaciones La Cruz, Pacacua, Grifo Alto y Peña Negra, mientras que está sobreyacida por la Fm. Tiribí (Denyer & Arias, 1991). La edad se ubica en el Pleistoceno, con edades comprobadas de 0,75 Ma para la base, mientras que para el techo se le atribuye una edad de 331 ka (Alvarado & Gans, 2012). En cuanto a la descripción de cada uno de los miembros de la Fm. Colima, estas se presentan a continuación:

- Miembro Belén: comúnmente se le denomina de manera informal como Colima Inferior, y es una secuencia de lavas andesíticas transicionales a basaltos, interrumpidas por capas de ceniza. Según Gómez (1984) alcanza hasta un espesor de 190 m.
  - Miembro Puente de Mulas: corresponde al miembro intermedio, compuesto de un manto de ignimbritas de color gris oscuro a café, con una parte inferior y superior tobáceo, con un espesor de algunas perforaciones de hasta 50 m (Gómez, 1984). Según Alvarado & Gans (2012), este miembro tiene un origen vulcanológico y edad distinta, por lo que consideran que no pertenece a la Fm. Colima.
  - Miembro Linda Vista: también conocido como Colima Superior, es una secuencia de lavas que sobreyace tanto al Mb. Belén como al Mb. Puente de Mulas. Texturalmente son brechosas o también fracturadas, sin embargo su composición las clasifica como andesitas basálticas porfiríticas con augita y olivino (Echandi, 1981). Ramírez & Alfaro (2002) indican que realmente esta secuencia la conforman dos capas lávicas separadas por una capa de aprox. 10 cm de toba meteorizada, la capa superior posee unos 110 m de espesor.
- b) Formación Barva: Definida como tal por Fernández (1969) sin embargo también se les denomina Lavas de Post-Avalancha, en donde se agrupan varias coladas y depósitos piroclásticos que se originaron en la Cordillera Volcánica Central (Echandi, 1981). Su origen proviene de las últimas actividades del volcán Barva, extendiéndose hacia el Sur y Suroeste hasta alcanzar los cerros Turrúcares y el valle del río Grande. La potencia de esta formación se estima en 115 m según Echandi (1981) y 185 m según Protti (1986).

Las coladas de lava corresponden a andesitas y andesitas basálticas, de espesor variable entre 10 m a 80 m, con intercalaciones de aproximadamente 10 m de ceniza y ocasionalmente lapilli (Echandi, 1981; Protti, 1986). La Fm. Barva sobreyace a la Fm. Tiribí y la Fm. La Cruz, su edad está calculada de final del Pleistoceno al Holoceno (Denyer & Arias, 1991), de acuerdo a dataciones radiométricas posee 270 ka (Alvarado & Gans 2012). Esta formación se subdivide informalmente en los siguientes miembros, cuyas descripciones provienen de Ramírez & Alfaro (2002) y Vargas (2019):

- Miembro Bermúdez: está constituido por coladas de lava andesítica a basáltica, fracturadas.
- Miembro Carbonal: se encuentra formado por tobas líticas y tobas poco consolidadas.



- Miembro Los Bambinos: está compuesto por una serie de coladas de lava andesítica de poca extensión.
  - Miembro Porrosatí: está constituido por un depósito de piroclastos de granulometría gruesa (arena media a gruesa).
  - Los Ángeles: está formado por una colada de lava andesítica-basáltica.
  - Miembro Cráter: corresponde con una unidad de piroclastos recientes (cenizas y lapilli) de poco espesor.
- c) Formación Tiribí: Originalmente nombrada como Avalancha Ardiente, fue posteriormente definida por Fernández (1969) como Formación Tiribí, la cual consiste de una toba soldada, correspondiente a una serie de nubes ardientes (Krushensky, 1972). Estos depósitos piroclásticos se encuentran sobre capas de suelo que se desarrollaron en el Valle Central, gracias a un período de calma posterior a que ocurrieran las coladas de la Fm. Colima (Echandi, 1981).

Litológicamente, Denyer y Arias (1991) indican que está compuesta por depósitos de pómez de caída en la base, seguidos por flujos de ceniza, lapilli y bloques, así como ignimbritas con fiames de obsidiana y pómez. Por último la secuencia termina con depósitos de caída (Echandi, 1981). Su extensión abarca todo el Valle Central, cubriendo hasta 40 km de largo y se estima que cubre un área de 500 km<sup>2</sup>; su forma es bastante tabular, sin embargo se acuña hacia su límite Este (Denyer & Arias, 1991; Ramírez & Alfaro, 2001). Su potencia máxima se calcula en 150 m (BGS-SENARA, 1995).

Estratigráficamente esta formación sobreyace discordantemente a las formaciones Colima, Peña Negra y La Cruz, mientras que es por encima de ella se encuentra la Fm. Barva y los depósitos recientes (Denyer & Arias, 1991). Su edad está datada en 322 ka según Pérez *et al* (2006) y se considera que su génesis fueron varias calderas ubicadas en una franja NW-SE desde San Gabriel hasta Atenas (Denyer & Arias, 1991). Según el autor a consultar, esta formación se subdivide informalmente en dos miembros, Mb. Nuestro Amo y Mb. La Caja (Fernández, 1969). Posteriormente Echandi (1981), crea un tercer miembro superior denominado Electriona. A continuación se presentan un resumen descriptivo según Gómez (1984):

- Miembro Nuestro Amo: está caracterizado por tobas con fragmentos de composición heterogénea, lavas y escorias de granulometría variable, inmersos en una matriz tobácea densa y muy dura. Este miembro es la base de la secuencia.
  - Miembro La Caja: corresponden a depósitos de tobas e ignimbritas poco soldadas, masivas y con matriz cenicienta-arenosa.
  - Miembro Electriona: también conocido como miembro superior, está constituido por grandes depósitos de ignimbrita soldadas, que presentan obsidiana, bandeamiento horizontal, fiames y pómez colapsadas.
- d) Formación La Cruz: Denyer & Arias (1991) proponen con este nombre a un conjunto de lavas basálticas y tobas que se encuentran sobreyaciendo concordantemente la secuencia sedimentaria de la cuenca Candelaria (Sojo *et al*, 2017). Su génesis se asocia a una serie de fisuras basculadas (Denyer & Arias, 1991; Sojo *et al*, 2017).



Las coladas corresponden a basaltos y leucobasaltos y andesitas, de tonalidad oscura con fenocristales de plagioclasas y esporádicamente olivino (Denyer & Arias, 1991; Sojo *et al*, 2017), con espesores promedio de entre 20 m a 30 m (Denyer & Arias, 1991). También se presentan tobas intercaladas de colores rojos y violeta, con granulometrías de arena media hasta limo y también se pueden observar cristales de plagioclasa (Denyer & Arias, 1991; Sojo *et al*, 2017), los espesores de estos paquetes de tobas muy raramente sobrepasan los 10 m (Denyer & Arias, 1991). Esta formación presenta un espesor de hasta 1500 m, con una forma tabular en ocasiones algo acuñada (Denyer & Arias, 1991). Se encuentra sobreyaciendo en concordantemente a la Fm. Peña Negra y Fm. Turrúcares; mientras que se encuentra subyaciendo a la Fm. Grifo Alto por una discordancia angular (Denyer & Arias). La edad atribuida es de 19,9 Ma a 10,5 Ma según Alvarado & Gans (2012) lo cual coincide con la edad asignada por Denyer & Arias (1991) de Mioceno Superior.

- e) Formación Turrúcares: Fue nombrada así por Castillo (1969), quien agrupó una secuencia de areniscas y conglomerados calcáreos fosilíferos. Posteriormente se le agregaron una serie de litologías vulcanoclásticas (tobas e ignimbritas), con lo cual se aumentó su espesor (Díaz, 1984; Denyer & Arias, 1991). Está formación aflora en una franja con dirección Noreste-Sureste en el flanco Sureste de los Cerros Turrúcares (Díaz, 1984), con una forma lenticular y la extensión lateral no sobrepasa los 5 km (Denyer & Arias, 1991). En cuanto a las litologías que componen esta formación, se describen estratificaciones decimétricas a métricas de areniscas bioclásticas y vulcanoclásticas, con capas de conglomerado y tobas intercaladas, terminando con areniscas que contienen corales arrecifales (Denyer & Arias, 1991). Montero (1975) dentro de la descripción de las facies que realiza, describe además de las litologías antes mencionadas, capas de lava basáltica, ignimbritas dacíticas y estratos de calizas.

Genéticamente se considera que el ambiente de depositación es un ambiente transicional marino-continental, en donde la costa rocosa no estaba muy distante, sin embargo las profundidades en que se formó esta formación no es clara, ya que algunos autores indican profundidades no mayores a 20 m, mientras que otros indican profundidades de entre 80 m a 90m (Díaz, 1984; Denyer & Arias, 1991). Finalmente, con respecto al espesor, relaciones estratigráficas y la edad de la Fm. Turrúcares, Denyer & Arias (1991) indica que el espesor máximo es de 500 m, mientras Díaz (1984) propone un espesor de 610 m. Estratigráficamente se establece que está sobreyaciendo a la Fm. Peña Negra (previamente conocida como Fm. Térraba), mientras que a su vez se encuentra sobreyacida por la Fm. Tiribí (Díaz, 1984), sin embargo Denyer & Arias (1991) establece que el contacto inferior es con la Fm. Peña Negra y el contacto superior es con la Fm. La Cruz, estas discrepancias sobre las relaciones estratigráficas deberán ser abordadas en la siguiente fase en caso de que esta formación sea hidrogeológicamente significativa. La edad asignada por Denyer & Arias (1991) corresponde al Mioceno Medio al Mioceno Superior.

- f) Formación Peña Negra: Previamente llamada Formación Térraba, Denyer & Arias (1991) la redefinen debido a las características litológicas distintivas que posee y permitía tratarla como una unidad aparte. Corresponde a una formación exclusivamente sedimentaria, con secuencias de estratos de todo tipo de granulometría que se extiende por toda la región del Valle Central, con una forma tabular sin embargo más hacia el Oeste se acuña debido al fallamiento (Denyer & Arias, 1991).



Informalmente se describen tres unidades, la unidad inferior es una secuencia de areniscas medias y finas de color pardo, de estratos decimétricos. La unidad media, son lutitas y areniscas finas con tonalidades oscuras, con piritas y niveles concrecionales en estratos decimétricos y esporádicamente se intercalan algunos estratos de tobas. La unidad superior presenta intercalaciones guijarrosas y estratos de caliza aislados, con areniscas medias a gruesas con abundante influencia volcánica (Denyer & Arias, 1991; Sojo *et al*, 2017). En total, las tres unidades anteriores conforman un espesor máximo de 1200 m, en donde el contacto inferior es concordante con la Fm. Pacuacua, mientras que es sobreyacida por la Fm. Turrúcares, la Fm. Colima y la Fm. Tiribí (Denyer & Arias, 1991). La edad de esta formación se calcula en Mioceo Medio a Superior (Sojo *et al*, 2017). Por último, su origen está asociado a una plataforma interna, que presentaba condiciones anóxicas sin influencia de mareas (Denyer & Arias, 1991; Sojo *et al*, 2017).

- g) Unidad San Pedro: De acuerdo a Ramírez (2007) se definen como tres tipos de lavas que por sus características macroscópicas fueron agrupadas bajo el nombre común de lavas andesíticas con plroxenos. En algunos sectores es posible observar partes de superficies blocosas, columnas verticales, lajas y carpetas de tracción. A continuación se describe brevemente cada uno de los tres tipos de lava que se agrupan bajo esta unidad, según Ramírez (2007):
- Lavas basales Poás: son lavas afanítica porfirítica de color gris, que se consideran como productos de efusiones provenientes del volcán Poás. Se les asigna una edad del Pleistoceno Basal (Denyer & Arias, 1991).
  - Lavas intermedias Loma: se presentan como coladas masivas de espesor máximo de 15 m, son de color gris con textura porfirítica hasta afanítica porfirítica. Su génesis se atribuye a efusiones de la Cordillera Volcánica Central. Denyer & Arias (1991) proponen una edad Pleistoceno al Holoceno.
  - Lavas superiores Sanguijuela: son andesitas de color gris hasta azulado, masivas y con textura afanítica porfirítica. Se les estima una edad de 40 ka (Kussmaul, 2000).
- h) Unidad Achiote: Fue definida por Campos *et al* (2004) para agrupar coladas masivas de espesores máximos de 15 m. Consiste de lavas andesíticas y basálticas, de textura afanítica porfirítica de color gris claro, se encuentran fracturadas en lajas como en bloques métricos, producto del enfriamiento, un aspecto relevante de esta unidad es que no hay un tipo de lava típico para esta unidad (Ruíz *et al*, 2010). Ramírez (2007) describe esta unidad como una serie de aluviones y lahares recientes, sin embargo no menciona coladas de lava dentro de esta unidad, por lo que no se tiene certeza si es que está utilizando el nombre de Unidad Achiote para describir otras litologías, sin embargo debido a la mayor cantidad de referencias citadas por Ruíz *et al* (2010), el presente trabajo tomará como las coladas de lava la litología que compone la Unidad Achiote. El espesor observado de esta unidad es de 110 m, además se encuentra sobreyaciendo concordantemente a la Unidad Andesitas La Paz y Fm. Tiribí (Ruíz *et al*, 2010). Genéticamente se asocia a focos eruptivos cercanos a la actual cúspide del volcán Poás, que fueron expulsados hace 538 ka a 283 ka (Ruíz *et al*, 2010). Su extensión abarca casi completamente las faldas Sur del volcán Poás, exceptuando los sectores de Fraijanes y Sabana Redonda.



- i) Unidad Andesitas La Paz: Soto (1999) la denomina originalmente como Unidad Paleo Poás, sin embargo Ruíz *et al* (2010), la renombran Unidad Andesitas La Paz, la cual consiste en andesitas porfiríticas con megafenocristales de plagioclasa. Aflora en el sector Noreste y Noroeste del volcán Poás principalmente y, se considera que por su distribución geográfica, tuvo que ser emitida desde varios sectores en la periferia del actual cráter activo del volcán Poás. Geológicamente se compone de lavas andesítico basálticas hasta basaltos, aunque también presenta brechas, tobas y epiclastos interdigitados (Ruíz *et al*, 2010). El espesor según una perforación realizada por el ICE, para el proyecto hidroeléctrico Cariblanco, arroja hasta 260 m distribuidos en siete flujos de lava separadas por paleosuelos (Ruíz *et al*, 2010). Esta unidad se encuentra sobreyaciendo a la Fm. Colima mientras que a su vez subyace a la Unidad Achioté (Ruíz *et al*, 2010). La edad de esta unidad se calculó por medio de dataciones radiométricas en 600 ka a 500 ka (Ruíz *et al*, 2010), mientras que una datación realizada por Alvarado & Gans (2012), arroja una edad de 527 ka.
- j) Unidad Von Frantzius: Definida como tal por Soto (1999), abarca una serie de productos volcánicos variados, que se ubican en los alrededores del cráter Von Frantzius y en las faldas Norte del volcán Poás (Ruíz *et al*, 2010). Se compone principalmente por flujos de lava interdigitados con brechas y epiclastos, sobreyacidos por delgados depósitos epiclásticos y piroclásticos (Ruíz *et al*, 2010). De acuerdo con Soto (1999) se distinguen cinco tipos de coladas de lavas superpuestas y de acuerdo a una perforación realizada por el ICE para el proyecto hidroeléctrico Cariblanco se observó un espesor máximo de 70 m (Ruíz *et al*, 2010). Su edad se calcula en máximo 46,6 ka (Ruíz *et al*, 2010; Alvarado & Gans, 2012), mientras que las últimas coladas podrían ser tan recientes hasta de 10 ka (Soto, 1999).
- k) Unidad Cima Poás: Fue Soto (1999) quien utilizó el nombre Neo Poás para referirse a esta unidad, sin embargo Ruíz *et al* (2010), la renombran como Unidad Cima Poás para referirse a los productos emitidos de los cráteres Botos y Principal del volcán Poás. Su extensión se limita a los alrededores del cráter Principal y Botos, extendiéndose hacia bajos del Toro en el primer caso y hacia el Sureste, casi hasta Fraijanes (Ruíz *et al*, 2010). Las lavas provenientes de Botos, corresponden principalmente con basaltos y andesitas basálticas y poseen una edad entre 56 ka hasta tan recientes como 8 ka, en las lavas más proximales al punto de efusión (Ruíz *et al*, 2010). Según Prosser & Carr (1987), los depósitos del cráter Principal corresponden en su mayoría con piroclastos distribuidos alrededor del cráter y documentan tres eventos de colapso interno del cráter, lo cual habría ocurrido posteriormente al cese eruptivo del cono Botos. Además, identifican tres flujos de lava que posiblemente fueron eruptados del cráter hacia el norte y noroeste.
- l) Unidad Depósitos Recientes : Constituidos principalmente por aluviones producto de los principales ríos que atraviesan la zona, así como coluvios provenientes de las cimas que bajan por las laderas. En general se localizan en los cauces y meandros abandonados y antiguos cauces de los ríos y quebradas, así como en las zonas deprimidas y planas a la base de las laderas. Son materiales inconsolidados con presencia de gravas, arenas o arcillas que han sido generadas a partir de la erosión de materiales preexistentes. Los aluviones acarreados por ríos o quebradas progresivamente van rellenando diversos sectores del área, sin embargo Denyer & Arias (1991) indica que debido al poco espesor de estas litologías, se considera que hay un domino de la erosión sobre la depositación de los ríos.



### 3-7.3. Geología Estructural

Dentro de este apartado se resumen los principales rasgos estructurales que afectan el cantón de Alajuela, según estudios previos realizados por otros autores. Para comenzar, Losilla (2010), no elabora propiamente un apartado sobre las estructuras que se observan en el cantón, sin embargo dentro del mapa geológico presenta una serie de alineamientos y fallas (inversas principalmente, seguidas por un par de fallas de desplazamiento de rumbo sinistral y una falla normal).

La parte central del cantón es la más afectada por estas estructuras lineales, todas con dirección Noroeste-Sureste, alrededor de la mitad corresponden a fallas geológicas comprobadas; la parte más al Norte apenas presenta una falla (Falla San Miguel), mientras que el Sur del cantón muestra un pequeño alineamiento cerca del poblado de Ventanas. Una anotación importante que realizar sobre esta información presentada por Losilla (2010), es que no se cita de donde se obtuvieron los datos para ser agregados al mapa geológico.

Vargas (2019) presenta un apartado dedicado a discutir la geología estructural que afecta la cuenca del río Grande, sin embargo debido a que el cantón de Alajuela solamente comprende un pequeño sector de dicha cuenca, resulta impreciso determinar qué tanto de los rasgos estructurales descritos también atañen al cantón.

A pesar de la aclaración anterior, existe un rasgo destacable descrito por Vargas (2019) y que con seguridad afecta al cantón de Alajuela, debido a que está ampliamente documentado en la literatura geológica, esta es la falla de Alajuela. Dicha falla es de tipo inverso tiene un rumbo aproximada Este-Oeste (Vargas, 2019), lo cual es consistente con el modelo de esfuerzos compresionales propuestos por Arias & Denyer (1991). Menos de un kilómetro al Norte de la falla de Alajuela, existe un anticlinal que tiene el mismo rumbo (Este-Oeste), esta estructura es mostrada tanto en el mapa geológico elaborado por Vargas (2019) como por Ruíz *et al* (2010).

Finalmente, otras estructuras lineales que no son mostradas en los trabajos antes mencionados, son una serie de fallas locales (menos a 10 km de extensión) con rumbo Noroeste-Sureste, que se ubican al Noreste de la cima del volcán Poás (Ruíz *et al*, 2010).

### 3-7.4. Análisis de la Información

De acuerdo a la cantidad y calidad de la información recopilada, se elaboró un mapa con tres zonas distintas. La zona 1, representa aquella área que cuenta con más de dos fuentes de información y en la cual la coincidencia de los límites de las litologías entre los mapas es considerablemente cercana, por lo que se considera que la cantidad y calidad de la información disponible es suficiente como para utilizarla sin necesidad de incurrir en una intensa campaña de exploración, sin embargo siempre es recomendable realizar algunos puntos de muestreo como comprobación.

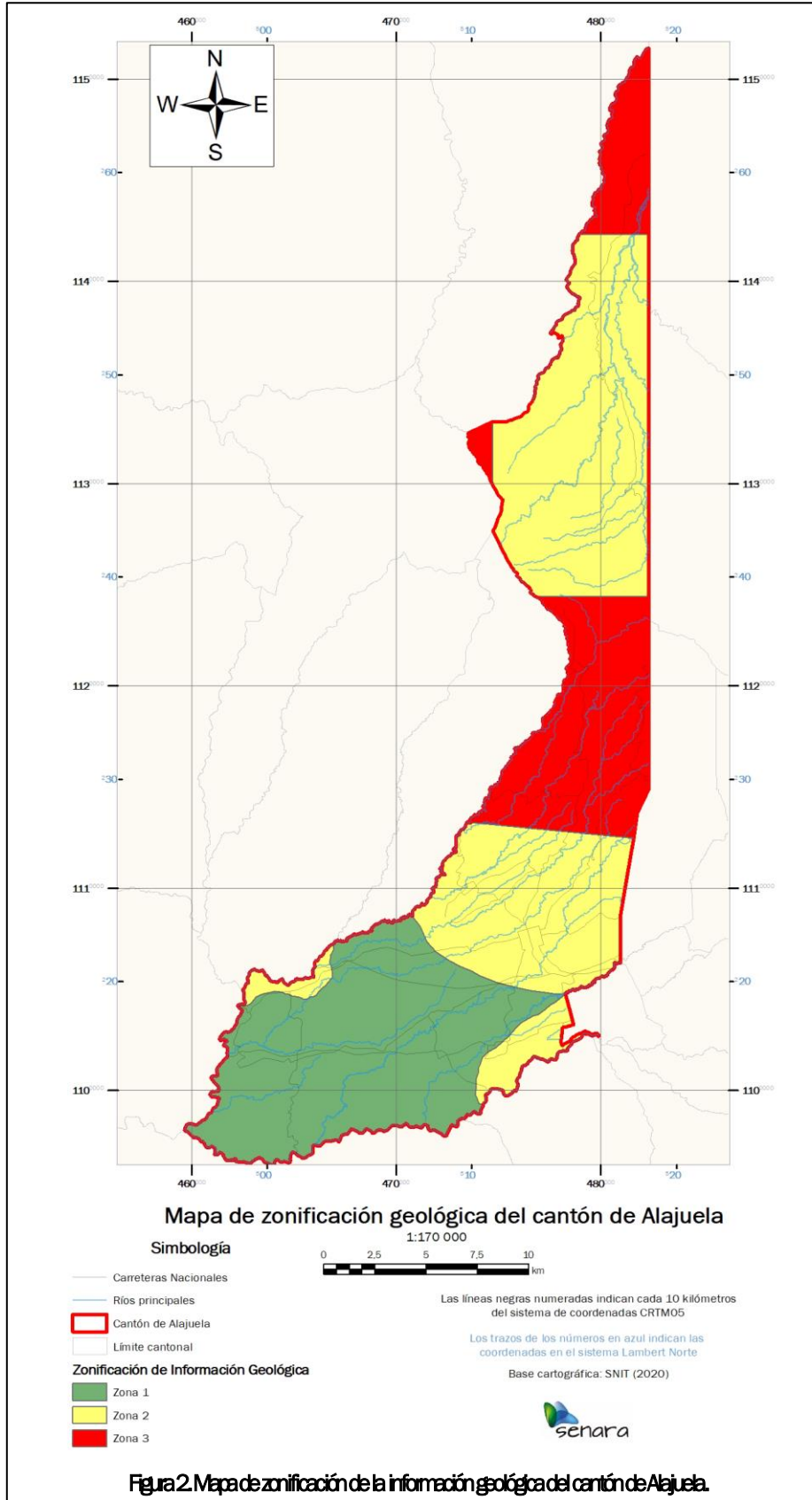
La zona 2, corresponde con las áreas en donde la información disponible es limitada y existen discrepancias entre las fuentes, ya sea porque los límites de las unidades no coinciden lo suficientemente bien o porque las litologías en una misma área no son las mismas entre mapas. En este caso, la información disponible se deberá utilizarse tan solo como guía durante la etapa de campo, en la cual se deberá llevar a cabo un control geológico riguroso, con varios puntos de muestreo que permitan establecer cuál de las fuentes representa mejor la realidad, sin embargo también se podrá utilizar como referencia los reportes de perforación cuando se cuente con ellos.





Finalmente, la zona 3 es aquella que cuenta con la menor cantidad de información (tan solo una fuente o ninguna) y menor calidad, ya sea debido a la antigüedad del trabajo, la inaccesibilidad a las áreas lo que supone menor cantidad de puntos de muestreo, entre otras razones. Para las áreas catalogadas como zona 3, se deberá planificar una campaña de exploración geológica que permita dilucidar la geología de la zona, procurando establecer un muestreo uniforme y lo más denso posible.

La distribución de cada una de las zonas se muestra en la figura 2, en la cual se observa que la zona 1 se ubica en el Sur del cantón, abarcando desde Turrúcares hasta el Coyo; la zona 2 comprende dos sectores principales, la parte central del cantón (Alajuela Centro, Río Segundo, San José, Tambor, Tacacorí hasta Pilas) y una parte del Norte del cantón, lo que sería la falda NE del volcán Poás hasta San Miguel, además existen dos pequeños sectores en los límites con el cantón de Grecia y el cantón de Santa Ana; por último la zona 3 comprende también parte de la región central del cantón (desde Sabanilla hasta Poasito), la parte más Norte del cantón (Corazón de Jesús, Bajo Latas) y una pequeña área en las inmediaciones del cerro Congo.



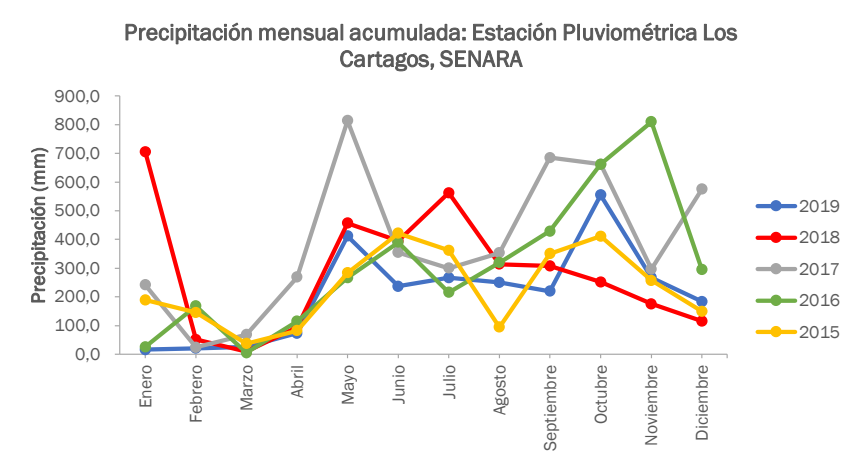


### 3-7.5. Climatología

El cantón de Alajuela se ubica en la región climática Central, la cual es parte de la Unidad Estructural Volcánica y la Franja de Tilarán (Bergeing, 1998). Dentro del valle central, el cantón se ubica en el Valle Central Occidental, que corresponde con la depresión del río Grande de Tárcoles (IMN, 2008). De acuerdo al Solano & Villalobos (2001), toda la región central es afectada por condiciones meteorológicas del Pacífico (la Zona de Confluencia Intertropical (ZCI) y vientos ecuatoriales) y las condiciones del Caribe (vientos alisios del noreste, con derrame de nubosidad y lluvias débiles). Debido a la gran extensión del cantón, este presenta una variabilidad altitudinal significativa, en donde las zonas más bajas presentan una elevación de cerca de 300 m.s.n.m., localizadas en la parte Sur, en las cercanías de la confluencia de los ríos Virilla y Grande, mientras que las mayores altitudes de hasta 2700 m.s.n.m. se localizan en la divisoria el volcán Poás (Losilla, 2010). Lo anterior conlleva a que existan gran variedad de microclimas y zonas de vida. Sin embargo, a grandes rasgos se puede describir el clima del cantón en tres grandes grupos: clima seco con marcada influencia del Pacífico en las partes bajas, clima templado en las partes medias y clima lluvioso y frío en las partes altas del cantón (IMN, 2008).

Según el Solano & Villalobos (2001) la precipitación promedio en el Valle Central Occidental, es cercana a los 1950 mm anuales, sin embargo este dato difiere del reportado por el IMN (2008), el cual indica 2300 mm de lluvia anual; la temperatura máxima de 27°C y una mínima de 18°C, no obstante nuevamente el IMN (2008) reporta valores distintos de temperatura máxima y mínima, 26,7°C y 16,5°C respectivamente. Solano & Villalobos (2001) indican que la época seca abarca cinco meses del año, de diciembre a abril (IMN, 2008).

- a) Estaciones meteorológicas :Este apartado presenta los datos meteorológicos disponibles al momento de redacción de este trabajo. La finalidad de disponer de esta información, es para ser utilizada en la segunda fase del estudio para la elaboración del cálculo de recarga potencial del acuífero por medio del “Balance Hídrico de Suelos”. De las estaciones pertenecientes a SENARA, solamente se ubicó una estación pluviométrica llamada Los Cartagos, localizada cerca del poblado del mismo nombre al Norte del cantón (1120495 N / 481736 W). Esta cuenta con registros desde 1980 al 2019, sin embargo a continuación solamente se presenta un gráfico con los datos de los últimos cinco años registrados.





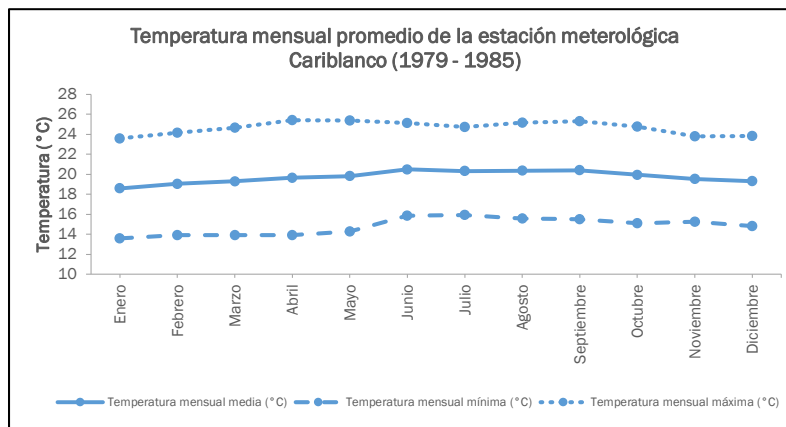
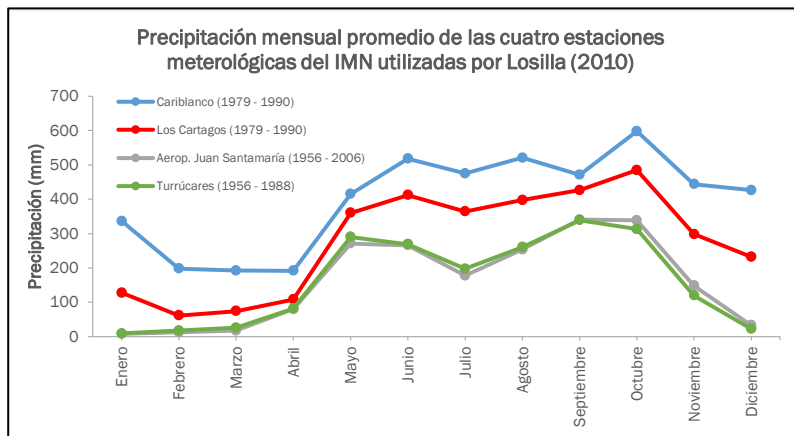
Se realizó la solicitud de información meteorológica al IMN, sin embargo al momento de redacción de este documento no se habían recibido los datos y no se tiene certeza de cuales estaciones meteorológicas se ubican más cercanas o dentro del área de estudio. Sin embargo Losilla (2010) provee la información mensual promedio de precipitación y temperatura (mín., máx., media) para distintos periodos de cuatro estaciones meteorológicas, cuya información base se muestra en el siguiente cuadro:

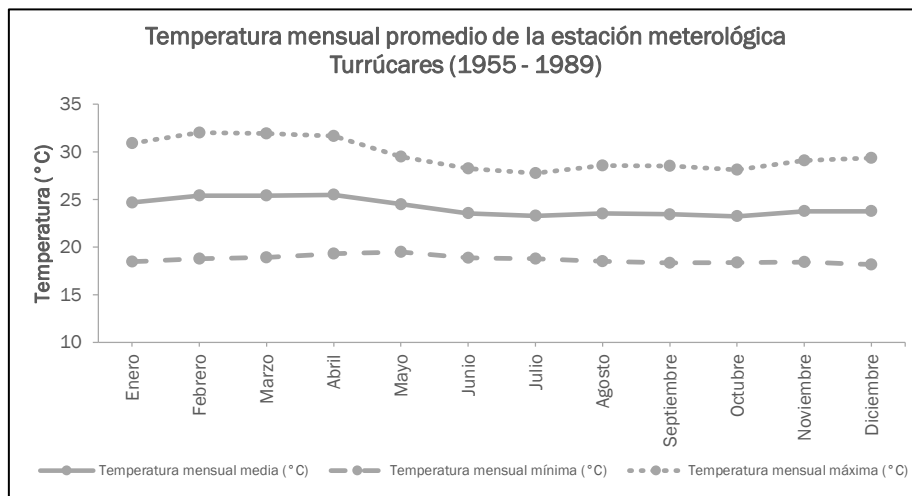
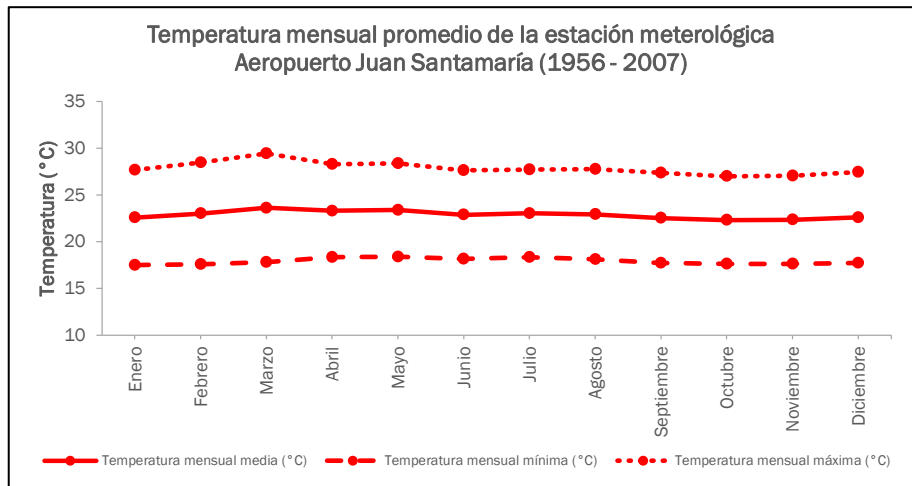
**Cuadro 1. Estaciones meteorológicas en el cantón de Alajuela utilizadas por Losilla (2010). Coordenadas en el sistema CRTM05.**

Estación	X	Y	Elevación (m.s.n.m.)	Tipo de estación
Los Ángeles Cariblanco	478271	1136938	920	Termo-pluviométrica
Los Cartagos	481959	1122188	1900	Pluviométrica
Aeropuerto Juan Santamaría	478260	1105584	920	Termo-pluviométrica
Turrúcares	465462	1101871	640	Termo-pluviométrica

Fuente: IMN, En Losilla, 2010.

El gráfico anterior muestra los registros promedio de cada una de las estaciones indicadas previamente, mientras que los gráficos siguientes muestran las temperaturas máxima, mínima y media de cada una de las tres estaciones que registran este elemento.



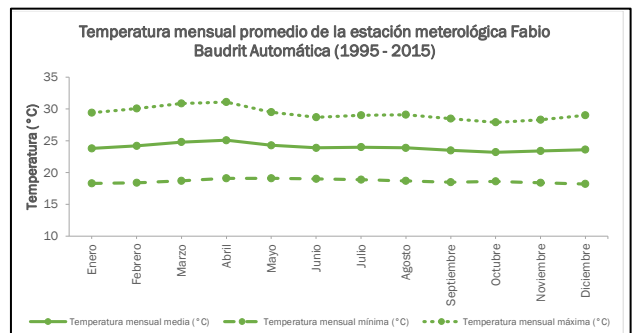
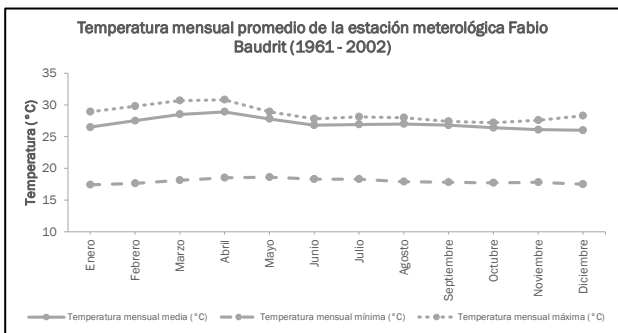
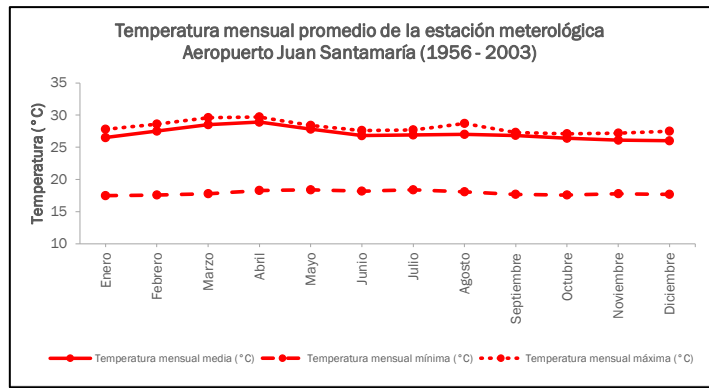
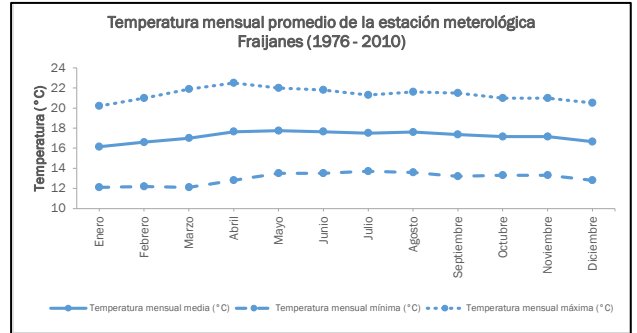
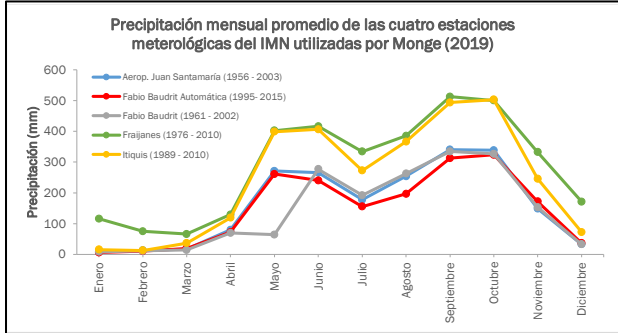


Monge (2019), también provee información climática (precipitación mensual promedio y temperatura mensual promedio) de estaciones meteorológicas del IMN, que se encuentran dentro del cantón de Alajuela. En este caso se repite la estación del Aero. Juan Santamaría, sin embargo el periodo de años es distinto. A continuación se presenta la información general de las estaciones incluyendo la precipitación mensual promedio de las cuatro estaciones, la temperatura media, máxima y mínima mensual promedio.

**Cuadro 2. Estaciones meteorológicas en el cantón de Alajuela, utilizadas por Monge (2019). Coordenadas en el sistema CRTM05.**

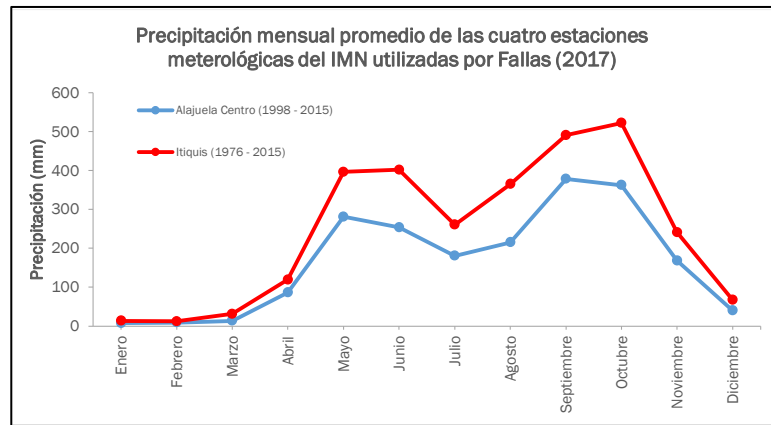
Estación	X	Y	Elevación (m.s.n.m.)	Tipo de estación
Aerop. Juan Santamaría	478074	1105750	932	Termo-pluviométrica
Fabio Baudrit Automática	472592	1105754	840	Termo-pluviométrica
Fabio Baudrit	470767	1107599	840	Termo-pluviométrica
Fraijanes	478996	1120773	1850	Termo-pluviométrica
Itiquis	476250	1111281	1080	Pluviométrica

Fuente: IMN, En Monge, 2019.

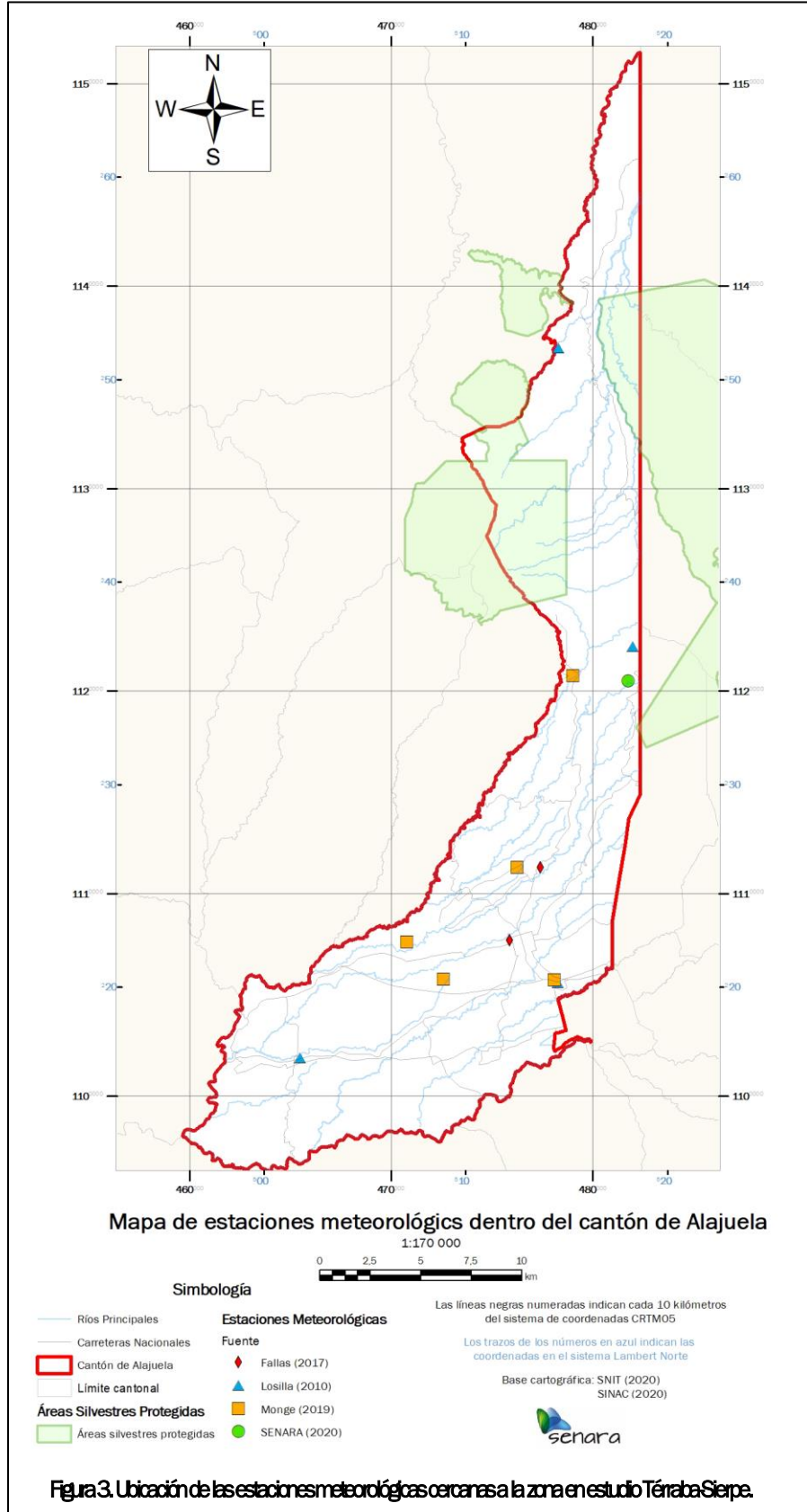




Finalmente, de la información meteorológica que se pudo recopilar de estudios previos, está la de Fallas (2017), quien utilizó dos estaciones pluviométricas, sin embargo nuevamente se repite una estación, la Itiquis, aunque el rango temporal de la información es distinto ya que abarca años más recientes. También se presenta la información de temperatura promedio mensual de la estación Aeropuerto Juan Santamaría, sin embargo debido a que solamente se presentó este aspecto de este elemento, no se tomó en cuenta para el presente estudio.



Se muestra la ubicación de las estaciones meteorológicas mencionadas en este apartado, mientras que en el Anexo I se aporta la información de la estación meteorológica Los Cartagos, del SENARA, así como los promedios de precipitación y temperatura de las estaciones utilizadas por Losilla (2010), Monge (2019) y Fallas (2017).







Con respecto a la precipitación, en el gráfico 1, se observa un patrón bastante errático en los últimos años, sin embargo se sigue marcando una época seca de diciembre a abril aproximadamente y, otra que coincide con el llamado “veranillo de San Juan” o canícula en el mes de julio. Se muestra el comportamiento marcado por un período lluvioso de mayo a junio y de agosto a octubre separados por el “veranillo de San Juan”. El mes de octubre es el que registra mayor precipitación en las cuatro estaciones, la única diferencia es la cantidad registrada, ya que las estaciones Turrúcares y Aero. Juan Santamaría poseen registros muy similares, mientras que la estación Los Cartagos registra una mayor precipitación y por encima la estación Cariblanco.

También exhibe las dos épocas lluviosas descritas en los párrafos anteriores, aunque las épocas secas se observan más fácilmente que en el gráfico 2, esto debido a un efecto visual en donde todos los registros poseen una disminución en la precipitación en el mes de julio, aspecto que no pasaba con la estación Cariblanco. Las estaciones concuerdan con lo ya expresado sobre las épocas secas y lluviosas, lo que queda por recopilar de todos los registros, es que los valores máximos de lluvia registrados en el mes de octubre, se encuentran en un rango de entre 500 mm y 600 mm, mientras que los valores mínimos son más variables dependiendo de la ubicación de la estación en donde se registró, ya que existe una diferencia de casi 200 mm en el mes de febrero, correspondiente al más seco. La lluvia anual se encuentra en un rango entre 1700 mm a 4700 mm de lluvia, sin embargo este valor máximo pertenece a la estación Cariblanco, la cual se encuentra más influenciada por el régimen de lluvias del Caribe.

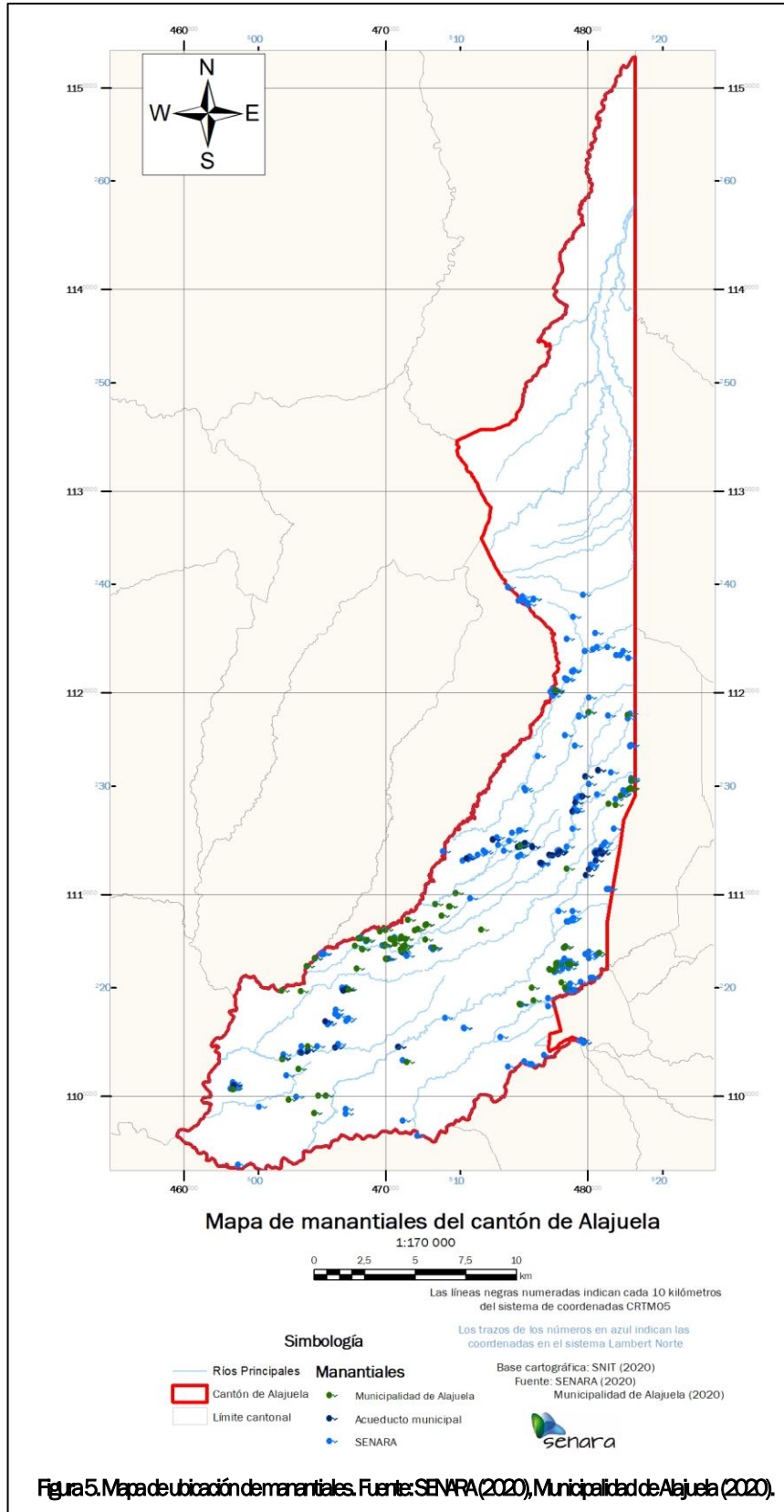
En cuanto a los registros de temperatura, las estaciones a mayor altitud, presentan menores temperaturas que aquellas que se encuentran a altitudes medias (1200-800 m.s.n.m.) o bajas (menores a 800 m.s.n.m.). La estación Aeropuerto Juan Santamaría y Fabio Baudrit, mostradas por Monge (2019), presentan una situación anómala en el registro de temperatura media promedio, ya que la temperatura media se encuentra muy cercana a la temperatura máxima, lo cual no ocurre con las demás estaciones o registros utilizados por Losilla (2010), sin embargo se desconoce si es un error en los datos o si esta situación se debe a un fenómeno natural.

### **3-7.6. Elementos Hidrogeológicos: Información de Pozos según base datos SENARA**

Debido a que la información hidrogeológica obtenida de los pozos perforados es primordial para realizar el estudio hidrogeológico, se procedió a ampliar el área de búsqueda de pozos en una franja de 1 km de ancho alrededor de los límites del cantón. Por lo tanto, a continuación, se presenta la información general de los pozos ubicados dentro del cantón de Alajuela, como también los pozos localizados en la franja de 1 km.

De acuerdo con la base de datos del SENARA existen un total de 1652 pozos ubicados dentro del cantón, sin embargo tan solo 926 de estos cuentan con informe final de perforación. Dentro de la franja se ubican 374 pozos, de los cuales 235 sí presentan registros de perforación. En total, se ubican 2026 pozos dentro del cantón de Alajuela y la franja de 1 km, con 1161 pozos que poseen informe de perforación.

Se muestra su ubicación de los pozos antes mencionados en el área de estudio y en el Anexo II se enlistan los mismos con la información básica del pozo (código, coordenadas, profundidad, registro de litología, registro de prueba de bombeo).





### 3-7.7. Análisis preliminar de la base datos de la Municipalidad y SENARA

La distribución espacial de los manantiales en las tres bases de datos está limitada a la mitad Sur del cantón, sin embargo en la base de datos de SENARA, se ubican varios manantiales más hacia el Norte de Sabana Redonda, que resulta ser donde se ubica el manantial más al Norte registrado por la municipalidad. La razón de porque el sector Norte del cantón no posee registros de manantiales se debe a su inaccesibilidad y la poca población que habita, que es usualmente la que notifica a las autoridades sobre la presencia de agua subterránea aflorando. Las principales agrupaciones de manantiales se dan los alrededores de Potrerillos, al Noreste de Guadalupe, al Norte y Sur de Río Segundo y alrededores de Bosque Encantado; sin embargo la Municipalidad de Alajuela registra un conglomerado importante de manantiales al Sur del Cacao, que no están registrados en SENARA.

Se realizó un análisis espacial entre los registros de las tres bases de datos, para encontrar posibles manantiales duplicados. Se partió del supuesto que a lo interno de cada base de datos no existen duplicidad de registros. La metodología consistió en medir las distancias entre registros que se encuentren a menos de 100 m, se eligió este valor, ya que en el análisis preliminar, se observó registros claramente duplicados (misma fuente) con coordenadas separadas hasta por 70 m. Entre las bases de datos de la Municipalidad, se encontró 8 posibles registros duplicados según la ubicación de los manantiales. A manera de ilustración, hay dos registros de manantiales separados por una distancia de 77 m y cuyo nombre es el mismo en ambas bases de datos, La Chayotera, por lo que se puede considerar con bastante certeza que este registro está duplicado.

En línea con lo anterior, las separaciones entre registros de manantiales varían entre 3 a 77 m, por lo que las separaciones más cortas implican una mayor probabilidad de que los registros estén duplicados, considerando esta hipótesis y estableciendo un rango de 10 m para casi una total certeza de registros duplicados, existen al menos otros 3 manantiales duplicados entre las bases de datos de la Municipalidad de Alajuela.

Entre la base de datos de SENARA y base de datos de la municipalidad, existen 37 posibles registros duplicados. Tan solo 4 pares de registros están separados por menos de 10 m, por lo que estos se podrían considerar duplicados entre ambas bases. Doce manantiales se encuentran separados en un rango de entre 10 y 30 m, los cuales se podrían considerar que existe alguna posibilidad de que sean duplicados. El resto (21) de registros en la base de datos de SENARA se encuentran a una distancia mayor de 30 m del manantial más cercano en la base de datos de la municipalidad.

Finalmente, entre la base de datos de SENARA y la base de datos del acueducto municipal, se encontraron 54 posibles registros de manantiales duplicados, de los cuales 12 son los que tienen la mayor probabilidad de estar duplicados debido a que la separación entre registros es menor a 10 m. Los manantiales con cierto grado de probabilidad de estar duplicados, debido a que los separa una distancia entre 10 a 30 m, son en total son 13. Por último, los restantes 29 registros de la base de datos de SENARA están separados por más de 30 m de los más cercanos de la base de datos del acueducto municipal.

El análisis presentado en los párrafos anteriores, no quiere decir que los registros realmente estén duplicados, ya que solamente se consideró la separación entre los manantiales registrados en las bases de datos, ya que en muchas ocasiones la localización por GPS no es tan precisa y por eso se generan estas diferencias de coordenadas.



Para definir si realmente los manantiales están duplicados, es necesario proseguir en la segunda fase con la comparación por nombre de las fuentes y otros datos, además de realizar un levantamiento de campo para determinar la ubicación real de los manantiales, esto último debido a que en realidad no se puede asegurar cuales coordenadas indicadas en cual base de datos son las correctas.

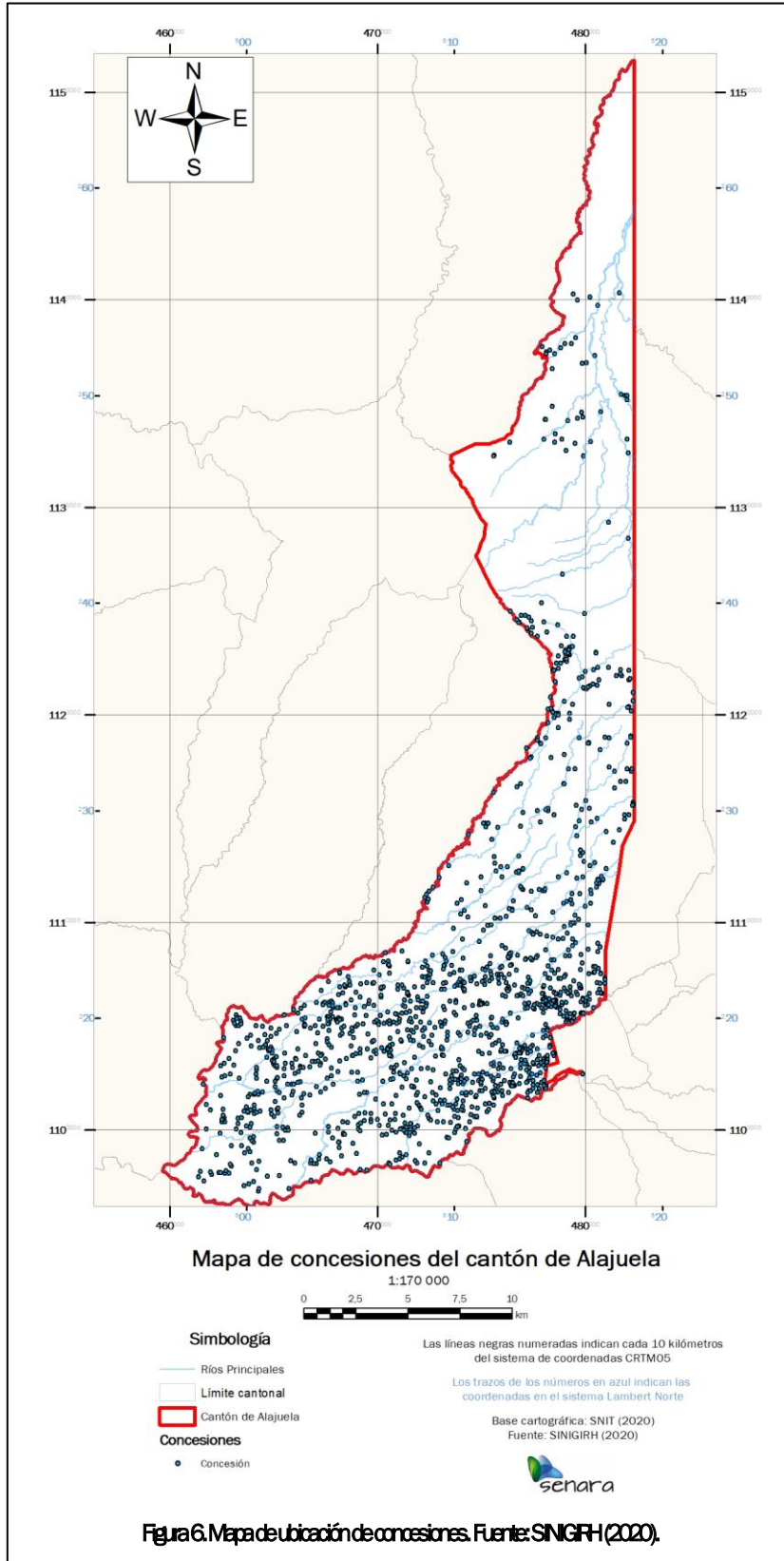
### 3-7.7. Información de la base datos SINIGIRH

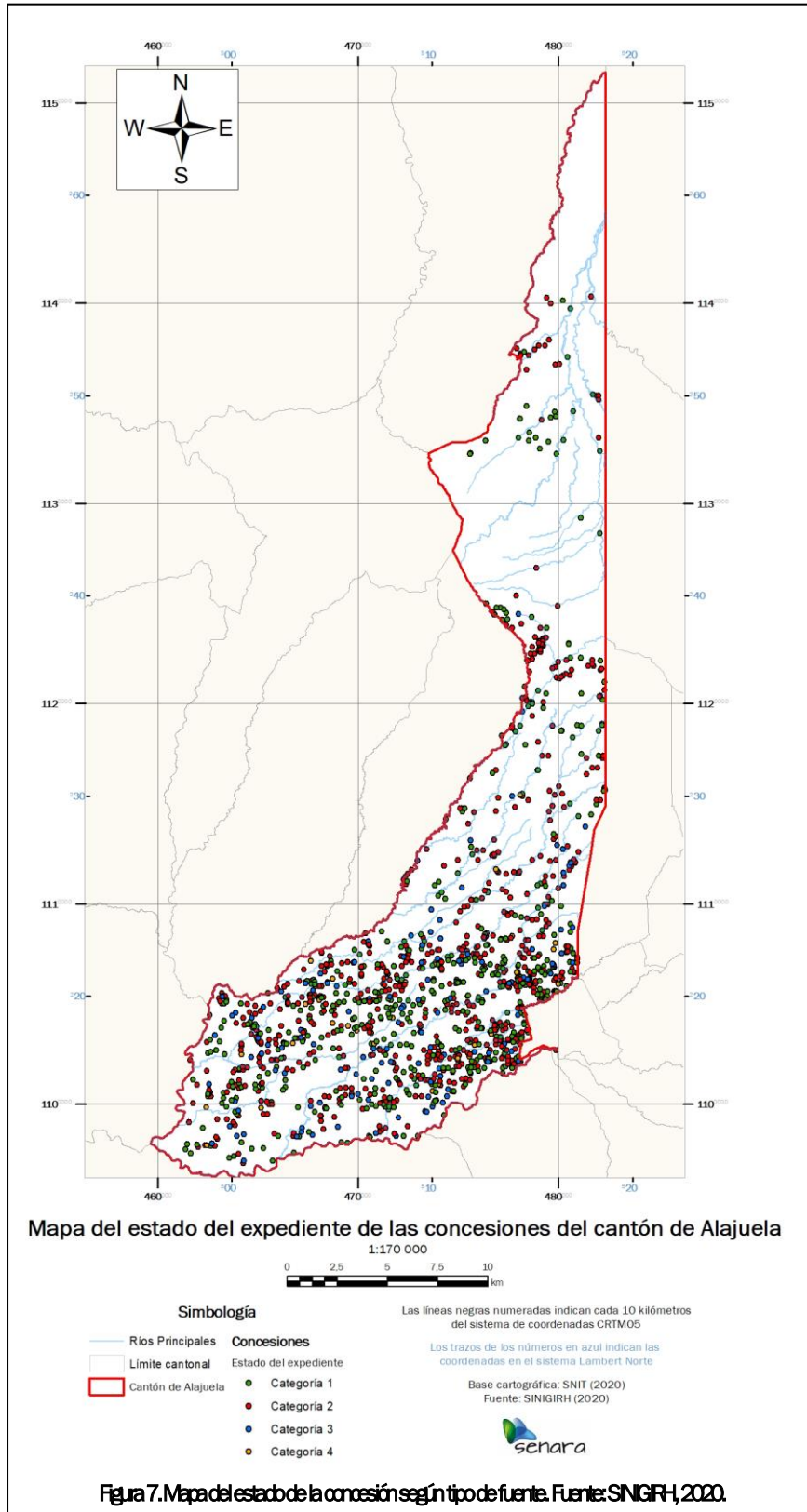
La informan de expedientes de trámites relacionados con concesiones para el aprovechamiento del recurso hídrico en el cantón de Alajuela fue obtenida a través de la base de datos del Sistema Nacional de Información para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico (SINIGIRH). La ubicación de estos expedientes de concesiones se muestra en la figura 6, mientras que en el Anexo IV se presentan ciertos datos referentes a las concesiones (número de expediente, coordenadas, propietario, caudal, tipo de fuente, tipo de expediente, estado del expediente). En total se registran 1556 concesiones dentro del cantón de Alajuela. De acuerdo al tipo de fuente, 1023 corresponden a acuífero, 264 a nacimiento, 172 a río, 88 a quebrada y entre cauce, otros y no indicado hay 9 concesiones. Según el tipo de expediente, hay 937 asignadas a pozo, 438 a agua superficial, 101 indicadas como acueducto rural, 33 a pozos de amnistía, 26 a fuerza hidráulica y 21 concesiones cuyo expediente es de tipo obra en cauce.

En cuanto al estado de la concesión, existen 11 categorías, cuya cantidad de expedientes asignada baja cada categoría se muestra en el cuadro 4. Sin embargo, por motivo de facilidad de visualización y análisis, se procedió a agrupar categorías similares: la primera corresponde a los expedientes que ya poseen una concesión autorizada o que el trámite ya fue completado (otorgado, inscrito, inscrito artesanal o resuelto), la segunda agrupa a los expedientes cuya concesión nunca fue dada o fue cancelada (denegado, archivado sin más trámite, cancelado o cancelado por vencimiento); la tercera categoría es para los trámites nuevos (solicitud nueva y perforación y/o concesión), finalmente la última categoría está compuesta solamente por las concesiones que se encuentran morosas del pago de canon. La figura 7 muestra la distribución geográfica de estas cuatro categorías.

4. Cantidad de concesiones según el estado en que se encuentra el expediente tramitado ante la Dirección de Agua, MINAE.

Estado del expediente	Cantidad
Otorgado	523
Cancelado por Vencimiento	347
Cancelado	264
Solicitud Nueva	145
Archivado sin más Trámite	119
Inscrito	46
Denegado	46
Moroso Pago de Canon	40
Resuelto	16
Inscrito-Artesanal	9
Perforación y/o Concesión	1
<b>TOTAL</b>	<b>1556</b>







Como se mencionó al inicio de este apartado, también se decidió analizar las concesiones según tipo de expediente, ya que esta información está ligada al carácter administrativo del concesionario (entes públicos encargados de abastecimiento, administradores privados, etc.). Del total de concesiones, un 60% corresponden expedientes de pozos, los cuales son de índole privados o de instituciones públicas que utilizan el agua para fines distintos al abastecimiento de la población. Un 28% son expedientes de aguas superficiales, las cuales están asociadas a captaciones de manantiales, ríos o quebradas. El 7% de las concesiones corresponden a expedientes denominados de acueducto rural, que abarcan a las ASADAS y al AyA, por lo que el agua es utilizada para abastecimiento poblacional, en este caso el recurso puede provenir tanto de pozos como de manantiales. Los expedientes de pozos de amnistía, fuerza hidráulica y obra en cauce tienen un 2%, 2% y 1% respectivamente del total de concesiones.

El caudal concesionado según tipo de expediente, muestra que del total del recurso hídrico concesionado de 94 581 L/s, un 93% está designado para fuerza hidráulica, mientras que los expedientes asociados a aguas superficiales poseen un 4%, seguido de un 2% provenientes de pozos y apenas 1% del caudal total corresponde al aprovechado por acueductos rurales. En el gráfico se observa la distribución estadística del caudal según los tipos de expedientes antes mencionados

También se procedió a analizar los caudales conexiónados según el tipo de expediente y tipo de fuente, ya que como se mencionó anteriormente, el tipo de expediente está asociado al carácter del administrador de la concesiones mientras que el tipo de fuente corresponde al origen del recurso hídrico, por lo que pueden haber tipos de expedientes que aprovechan el agua de distintas fuentes. Tal y como es lógico, todo el caudal concesionado a los expedientes de pozos proviene de acuíferos. En el caso de las concesiones con el tipo de expediente de aguas superficiales, la mayoría del caudal proviene de ríos (aprox. 88%), con un 7% proveniente de nacimiento y un 4% de quebradas; dentro de esta categoría existe una equivocación en el SINIGIRH, ya que hay un caudal de 4,6 L/s que proviene de acuíferos, lo cual no puede ser al tratarse de aguas superficiales.

Con respecto a los expedientes tipo acueducto rural, un 74% del caudal concesionado proviene de aguas subterráneas, mientras que un 13% aprox. procede de nacimientos al igual que el restante 13% que se obtiene de quebradas. Como también era esperable, toda el agua utilizada para fuerza hidráulica, que es para la generación de energía eléctrica o mecánica, proviene de ríos. Finalmente, como se observa en el gráfico 18 las obras en cauce no tiene caudales asignados, debido propiamente al carácter ingenieril de la concesión; en cuanto a los pozos de amnistía, estos no tiene caudales registrados debido a que estos trámites son nuevos y todavía están en proceso.

Para concluir con este apartado de análisis de las concesiones registradas en la base de datos del SINIGIRH, se presenta a continuación el gráfico 19 con los porcentajes de las concesiones que se encuentran bajo las 11 categorías del estado de los expedientes. Se observa que un 34% está otorgado, mientras que un 22% se encuentra cancelado por vencimiento al cual se le suma un 17% de expedientes cancelados. Un 9% corresponden a solicitudes nuevas y un 8% a expedientes archivados. El restante 10% se distribuye entre las demás categorías de estado. Ahora bien, no se realiza el análisis de caudales según el estado del expediente, ya que a pesar de que en primera instancia serían aquellas concesiones activas las que más importan, la realidad es que muchas de las concesiones canceladas, denegadas o nuevas, están extrayendo parte del recurso aún sin contar con la debida autorización.



### 3-7.8. Modelo hidrogeológico conceptual

En cuanto a la interpretación de los datos hidrogeológicos disponibles realizada previamente en otros estudios, con el fin de establecer un modelo de los acuíferos existentes bajo el cantón de Alajuela, se encontró que el único estudio que cubre toda el área fue el elaborado por Losilla (2010), sin embargo hay estudios con a una mayor escala que cubren parte de la zona en estudio, como lo son: Monge *et al* (2019) y Ramírez & Alfaro (2001) y el estudio realizado por BGS-SENARA (1985). Aparte de los estudios mencionados en el párrafo anterior, existen dos investigaciones realizadas a nivel local dentro del cantón de Alajuela, la primera realizada en la zona de El Coyoil, llevada a cabo por Araya (2017) y la segunda en el distrito central, hecha por Fallas (2017).

La segunda fase de este proyecto, utilizará estos insumos para elaborar el modelo conceptual hidrogeológico de los acuíferos presentes en el cantón de Alajuela, al determinar con el análisis nuevo que se haga, si los estudios previos respaldan o contradicen la interpretación realizada. En tanto se comienza la segunda fase, se provee a continuación una breve descripción y resumen de cada uno de los estudios antes mencionados. Losilla (2010) realiza una descripción general de los acuíferos de la Cordillera Volcánica Central (CVC) con base en dos estudios realizado por el mismo autor en 1993 y 2008, a los cuales no se tuvo acceso debido a que son informes técnicos de consultorías específicas. Además Losilla (2010) presenta 10 perfiles hidrogeológicos de la vertiente Pacífica del cantón (2 de las cuencas altas, 5 de las cuencas medias y 3 de las cuencas bajas); sin embargo no se realizan perfiles en la parte más al Norte del cantón, por encima de la divisoria continental.

Dentro del modelo que se propone, se indica que los acuíferos de la CVC están formados por dos tipos generales de rocas volcánicas que se presentan como capas de lava o piroclastos, que presentan intercalaciones de toba, ignimbritas y lahares (Losilla, 2010). Los acuíferos presentes en lavas, poseen espesores variables desde métricos a decimétricos y, se caracterizan por una alta permeabilidad, caso contrario con los acuíferos en piroclastos, que presentan bajas permeabilidades y que principalmente fungen como conectores entre otros acuíferos más productores (Losilla, 2010).

Losilla (2010) propone un modelo conceptual de una zona específica, que comprende la localidad de Montecillos. En este modelo se describe un acuífero superior colgado, que se encuentra cubierto por hasta 30 m de arcillas y lahares, está de semiconfinado a confinado, con un espesor entre 12 m a 35 m y caudales de entre 1,4 L/s a 15 L/s. El acuífero inferior, es también un acuífero semiconfinado o confinado, que se encuentra a una profundidad de 85 m.b.n.s., sin embargo se menciona que se desconocen los demás parámetros hidrogeológicos del acuífero (Losilla, 2010).

Finalmente, Losilla *et al* (2010), también presentan un mapa de curvas piezométricas del acuífero superior, cuyo flujo es hacia el Suroeste, además realiza un análisis de los resultados según la interacción de algunos ríos con el acuífero, estableciendo su carácter influente o efluente según se observe en el trazado de las líneas piezométricas. El estudio de la cuenca del río Grande elaborado por Monge *et al* (2019) abarca gran parte de la porción central del cantón de Alajuela, que se encuentra entre Poasito en el extremo Norte y Carrizal en el límite Sur, bordeando los poblados de San Isidro, Pilas, Tacacorí, Tuetal Norte, el Cacao hasta la Garita.





Este estudio provee un apartado general del modelo hidrogeológico de la cuenca del río Grande, además de un apartado específico de la cuenca del río Poás, que abarca parte del cantón de Alajuela según la descripción del párrafo anterior, en donde se describen los acuíferos de las partes altas, medias y bajas de la subcuenca. Además de eso existen tres perfiles realizados por la autoras del capítulo en donde los extremos se adentran en el cantón de Alajuela y un mapa de equipotenciales, en donde se muestra un flujo hacia el Suroeste en el sector que comprende parte del cantón de Alajuela (Vargas & Monge, 2019).

En el modelo hidrogeológico general, se describen tres sistemas de flujo, de los cuales solamente dos se adentran en el cantón de Alajuela. El primero se ubica en las zonas de mayor elevación, lo que correspondería dentro del cantón, a toda la zona al Norte de Sabanilla hasta Poasito. Este sistema acuífero es típica de acuíferos colgados hospedados en distintas capas volcánicas (Vargas & Monge, 2019). El otro sistema acuífero, se ubica entre los 600 a 1200 m.s.n.m. y presenta un flujo hacia el Suroeste, dirigido hacia el río Grande, además los tipos de acuíferos se consideran libre o semiconfinados primordialmente y según la información litológica el basamento lo conforma la Fm. Colima, sobreyacida por la Fm. Tiribí y esta a su vez por la Unidad Achiote y Paleo-Poás (Vargas & Monge, 2019).

En cuanto al apartado específico de la subcuenca del río Poás, está se divide en tres sectores; en la parte alta existe un acuífero en lavas andesíticas y basálticas, con permeabilidades altas en la base y techo de estas capas. En la parte media, también se da un acuífero en lavas debido a la permeabilidad secundaria, aunque también se dan niveles en tobas e ignimbritas que se encuentran usualmente debajo de las lavas. Finalmente en la parte baja, los niveles se encuentran en tobas arcillosas o en ignimbritas o lahares subyacentes, cuyos niveles se dan a mayor profundidad, por debajo de todos estos materiales se localizan lavas, con confinamiento localizado (Vargas & Monge, 2019).

El estudio realizado por Ramírez & Alfaro (2001), describe de forma general las propiedades hidrogeológicas de las tres principales formaciones hidrogeológicas del Valle Central: Colima, Tiribí y Barva. Además muestran un perfil hidrogeológico y una columna hidrogeológica esquemática de las tres formaciones antes mencionadas. Debido a que las descripciones realizadas por Ramírez & Alfaro (2001) son muy generales y ya fueron tomadas en consideración en el apartado de la geología regional de este trabajo, no se vuelven a resumir aquí, sin embargo sí se presentan las características hidráulicas de cada formación, las cuales aunque contemplan un amplio rango de valores, pueden ser de utilidad para la segunda fase de este proyecto. La Fm. Colima se presenta en lavas fracturadas, con un espesor saturado mayor a 100 m, transmisividades de entre 500 a 5000 m<sup>2</sup>/día, coeficientes de almacenamiento de  $1,5 \times 10^{-3}$  a 0,1 y pozos con extracciones de entre 50 a 100 L/s; la Fm Tiribí está considerada como un acuitardo con permeabilidades de entre  $1,16 \times 10^{-4}$  a  $2,72 \times 10^{-4}$  m/día; finalmente la Fm. Barva se encuentra en lavas y tobas con permeabilidades de entre 1 a 10 m/día, espesores saturados promedio de 50 a 100 m, transmisividades entre 100 a 500 m<sup>2</sup>/día, un coeficiente de almacenamiento entre 0,1 y manantiales y pozos con producciones de entre 5 a 20 L/s y 5 a 10 L/s respectivamente (Ramírez & Alfaro, 2001).



Fallas (2017) elabora en su estudio del distrito central del cantón de Alajuela, cuatro perfiles hidrogeológicos, de los cuales concluye que existen dos unidades hidrogeológicas, cuyas descripciones se resumen a continuación. La unidad Brechas y Lavas Barva, se correlacionan con el Fm. Barva, específicamente con el Miembro Bermúdez. Esta unidad presenta un espesor promedio de entre 20 m a 30 m, con niveles entre 20 a 50 m.b.n.s., el acuífero asociado a esta unidad es semiconfinado y los pozos poseen producciones de entre 10 a 20 L/s (Fallas, 2017). La única información provista por Fallas (2017) de la unidad Lavas Fracturadas Colima (asociada a la Fm. Hidrogeológica Colima Superior), corresponde al nivel promedio del agua subterránea, el cual se localiza entre 80 a 100 m.b.n.s., debido a que según menciona el autor, existen muy pocos pozos dentro del distrito central que alcancen grandes profundidades.

Por último, Araya (2017), realiza una descripción general del modelo hidrogeológico del área del Coyoil, que complementa con una descripción específica de las unidades hidrogeológicas presentes en su área en estudio además de tres perfiles hidrogeológicos y un mapa hidrogeológico con las curvas equipotenciales del acuífero Cebadilla.

En términos generales, se observan los sistemas acuíferos Barva Inferior el cual está separado del sistema acuífero más profundo, asociado a la Formación Colima Superior por el acuitardo Tiribí. En cuanto a la descripción detallada de las unidades hidrogeológicas, Araya (2017) comienza describiendo la zona no saturada, compuesta por lahares, tobas y capas de ceniza meteorizada, que presentan muy bajas permeabilidades con un espesor promedio de 23 m; continúa con la zona saturada asociada a la Unidad Colada de Lava Cebadilla, que se encuentra a una profundidad de 25 a 30 m.b.n.s., con un espesor promedio de 23 m y presenta una dirección de flujo hacia el Oeste y Suroeste, con un gradiente hidráulico promedio de 0,02, esta unidad corresponde a un acuífero libre, con una transmisividad de 69,24 m<sup>2</sup>/día.

Araya (2017) prosigue con aportando solamente el dato de espesor del acuitardo Tiribí, estimado entre 40 a 45 m en promedio, mientras que para el acuífero Colima Superior, indica que el techo del mismo está entre 55 a 65 m.b.n.s. y que presenta algún grado de confinamiento o semiconfinamiento, el gradiente del flujo de agua subterránea es de 0,03 con una dirección hacia el Oeste/Suroeste.

### **3-7.9. Vulnerabilidad Hidrogeológica**

En total, existen cinco estudios que abordan la definición de vulnerabilidad de los acuíferos dentro del cantón de Alajuela, como se ha reiterado en apartados anteriores, algunos de estos estudios tienen una escala mayor o tan solo cubren una parte del cantón. A continuación se examina cada uno de estos estudios.

Ramírez & Alfaro (2001), en su estudio de vulnerabilidad de una parte del Valle Central, realizan una modificación de la metodología GOD, definiendo tan solo tres categorías de vulnerabilidad (baja, media y alta) y cambiando los rangos de cada uno de los parámetros. En el mapa que presentan, solamente se cubre la mitad inferior o Sur del cantón de Alajuela, que se encuentra casi completamente en la categoría de alta vulnerabilidad, tan solo un pequeño sector al Oeste, cerca de San Rafael y Ojo de Agua se encuentra en categoría media y, en categoría baja solamente una franja en el sector Sur del cantón, en lo que corresponde a la margen derecha del río Virilla.



El estudio de Losilla (2010) utiliza el método GOD con algunos ligeros cambios en los rangos de los parámetros G y O, para que se ajustará mejor la metodología a las condiciones hidrogeológicas y se tomará en cuenta también la interrelación entre parámetros. El mapa de vulnerabilidad del cantón de Alajuela, presenta la porción central del cantón en vulnerabilidad media en conjunto con una franja de 100 m de ancho en ambas márgenes de los cauces; la parte Norte y Sur del cantón, está catalogada como baja vulnerabilidad y tan solo los propios cauces se categorizan como de vulnerabilidad alta. Aparte del mapa de vulnerabilidad, Losilla (2010) realiza una descripción de la vulnerabilidad según las unidades hidrogeológicas propuestas en el modelo conceptual.

Fallas (2017) utiliza la metodología GOD sin realizarle ninguna modificación, evaluando cada parámetro según el tipo de litología y unidad hidrogeológica, ya sea la unidad Brechas y Lavas Barba o la unidad Lavas Fracturadas Colima, para la cual indica que solo se realizó el análisis de vulnerabilidad en el sector Norte del distrito central de Alajuela, ya que en otras zonas no había información disponible. El mapa de vulnerabilidad y la descripción provista por Fallas (2017), establece una vulnerabilidad baja para prácticamente todo el distrito, solamente encontrándose franjas angostas de vulnerabilidad media en los límites del distrito, que se deben a la cercanía con los cauces de ríos y quebradas.



Monge (2019) quien realiza el capítulo de vulnerabilidad para el estudio de la cuenca del río Grande, utiliza la metodología GOD modificada por Ramírez (2013), la cual consiste en una definición más cuantitativa de los tipos de acuíferos No Confinado Cubierto del parámetro G, de acuerdo a las características físicas de los materiales que cubren dichos acuíferos. Monge (2019) presenta un mapa de vulnerabilidad, en donde el sector que cubre el cantón de Alajuela, muestra zonas de baja y media vulnerabilidad. Finalmente, ProDUS-UCR (2017), dentro de los estudios de IFA del cantón de Alajuela, muestran un mapa de vulnerabilidad hidrogeológica con el método GOD, el cual resulta ser el mismo mapa elaborado por Losilla (2010).

### 3-7.10. Análisis de estudios de vulnerabilidad

De todos los estudios de vulnerabilidad, solamente el elaborado por Monge (2019) sobre la cuenca del río Grande, utilizó la metodología GOD modificada por Ramírez (2013). Este aspecto es de suma importancia, ya que la elaboración del mapa de vulnerabilidad de la segunda fase, se desarrollará utilizando esta metodología GOD modificada. Ahora bien, en cuanto al estudio elaborado por Ramírez & Alfaro (2001), este es el que posee la mayor escala de todos los trabajos, por lo que los resultados que muestra el mapa son muy generales, como lo demuestra el hecho de que todo el cantón se encuentra catalogado como de alta vulnerabilidad. Por este motivo, dicho estudio no será tomado en consideración para la segunda fase del proyecto.

El análisis de vulnerabilidad realizado por Losilla (2010) resulta útil como punto de partida ya que abarca todo el cantón de Alajuela, sin embargo, se debe tener cautela con dicha información, debido a que no se especifican bien los criterios para cambiar los rangos de asignación de valores de los parámetros G y O. La escala a detalle del mapa de vulnerabilidad elaborado por Fallas (2017) del distrito central del cantón de Alajuela, lo hace un insumo importante en la segunda fase, ya que este estudio puede ser utilizado como calibración para otros sectores del cantón cuando se vaya a realizar el análisis de vulnerabilidad.

En cuanto al estudio elaborado por Monge (2019), al haberse realizado con el método GOD modificado, resulta ser el principal insumo para la segunda fase, ya que esta información puede ser utilizada directamente, para así enfocarse en zonas donde no hayan análisis de vulnerabilidad previos.

### 3-7.11. Zonas de Protección

Solamente se encontraron tres estudios que realizan un análisis de las zonas de protección de tan solo manantiales, el primero de ellos es el trabajo final de graduación de Araya (2017), que ya ha sido utilizado en este documento, el segundo es un estudio elaborado por Mario Arias, del CICG, que se titula "*Determinación de las zonas de captura de 29 manantiales utilizados por el acueducto municipal de Alajuela*", sin embargo, debido a la situación generada por la pandemia, no se obtuvo acceso a este informe, el último es un estudio elaborado por Hidrogeotecnia (2013), sobre la caracterización de zonas de recarga de sistemas de abastecimiento utilizados por el AyA en la región Central Oeste. Araya (2017) estableció las zonas de protección de nueve manantiales captados por la Municipalidad de Alajuela en las zonas de Turrúcares y Cebadilla, por medio de la metodología de las isócronas de 100 y 500 días, así como por el radio de 200 m establecido en el artículo 31 de la Ley de Aguas N° 276 y un radio operacional fijado en 20 m alrededor del manantial.



Del estudio elaborado por Hidrogeotecnia (2013), tan solamente se calculó la zona de protección por el método analítico (conocido también como tubo de flujo) para el sistema de captación Quesada Bogantes, conformado por 10 manantiales, todos aflorando en una misma zona. Aparte de esta zona de protección de las fuentes Quesada Bogantes, se establecen las microcuencas de otros manantiales y pozos por medio de criterio geológico-geomorfológico, las cuales se consideran zonas de recarga y se proponen en algunos casos como zonas de protección. Durante la segunda fase, se deberá evaluar la metodología aplicada por Araya (2017), para determinar si las zonas de protección propuestas para los nueve manantiales analizados, se encuentra bien calculada. De igual manera se deberá evaluar la zona de protección de las fuentes Quesada Bogantes definida por Hidrogeotecnia (2013), dejando de lado las demás zonas propuestas ya que utilizan una metodología de índole más geomorfológica que hidrogeológica.

### **3-7.12. Balance Hídrico: Insumos**

Solamente el estudio de Fallas (2017) y el de SENARA (2019), presentan insumos para la realización del BHS, sin embargo como se expone más adelante, existen algunos inconvenientes con el estudio de Fallas (2017). Cabe mencionar que aunque Losilla (2010), realizó un capítulo de balance hídrico de suelos, no presenta valores de campo o laboratorio, sino que utiliza valores teóricos, por tal motivo no se consideran útiles para el presente trabajo.

En el trabajo final de graduación de Fallas (2017), se indica que se realizaron ocho pruebas de infiltración (método doble anillo) y análisis de laboratorio de suelos, distribuidos de manera que se abarcará todo el distrito central del cantón de Alajuela. Se muestra un cuadro con los valores de velocidad de infiltración, sin embargo no se adjuntan las memorias de cálculo de cada prueba de infiltración, así como tampoco se adjuntan los reportes de laboratorio para los parámetros de capacidad de campo, punto de marchitez y granulometría. Debido a que Fallas (2017) no anexa las memorias de cálculo o los reportes de laboratorio, será necesario solicitarle al autor, que provea dichos anexos, con el fin de utilizar dicha información en la segunda fase. En cuanto al estudio de la cuenca de río Grande (SENARA, 2019), dentro del cantón de Alajuela solamente se realizaron 9 muestreos de suelo que contemplaron porosidad, textura, capacidad de campo, punto de marchitez y densidad aparente; de pruebas de infiltración se realizaron tan solo 4 dentro del cantón, por el método de doble anillo. Estos datos al haber sido recolectado por el personal técnico de SENARA, ya fueron revisados y cotejados con los demás resultados, por lo que son aprovechables para el presente proyecto.

### **3-7.13. Recarga Acuífera Potencial**

Los estudios elaborados por Losilla (2010), Fallas (2017) y SENARA (2019), presentan capítulos específicos en donde analizan la recarga acuífera y algunos a su vez presentan mapas de potencial de recarga. A continuación se resumen los aportes de cada uno de estos tres estudios. Losilla (2010) discute la recarga potencial del cantón de Alajuela tanto por infiltración directa como por recarga lateral. La recarga por infiltración directa se realizó por medio de BHS, sin embargo estos fueron hechos a partir de valores teóricos; en cuanto a la recarga lateral, solamente se menciona que esta fue calculada a partir de los hidrogramas de estaciones hidrológicas, sin embargo no se describe el procedimiento utilizado para el cálculo de la recarga. Losilla (2010) no provee un mapa de recarga potencial.



Debido a las falencias del análisis de recarga mencionadas en el párrafo anterior, no se considera que el estudio de Losilla (2010) sirva de insumo para la siguiente fase de este proyecto, especialmente debido a que no especifica los procedimientos realizados para sus cálculos ni tampoco provee un mapa de recarga con que se pueda definir zonas de mayor potencial.

El estudio de Fallas (2017) que abarca solamente el distrito central del cantón de Alajuela, presenta un mapa de recarga potencial anual en mm de agua infiltrada, el cual presenta siete rangos de recarga, desde valores de 15 mm hasta un máximo de 860 mm, así como un mapa de recarga potencial anual de acuerdo al porcentaje de agua que infiltra del total de lluvias. El análisis de recarga potencial fue realizado por la metodología de BHS propuesta por Schosinsky (2006). La mayor parte del distrito central, presenta según Fallas (2017), muy poca recarga debido a la impermeabilización de los suelos especialmente en el sector Sur; en el Norte del distrito se da una mayor recarga (más de un 30% del total de la precipitación), la cual se debe al menor desarrollo en esta parte y también mayores valores de precipitación.

Monge (2019) elabora también el capítulo de recarga por medio de la metodología de BHS de Schosinsky (2006), para las unidades geológicas que afloran en la cuenca del río Grande. Monge (2019) provee un cuadro con cinco categorías de recarga (desde muy baja hasta muy alta) y los rangos asociados de clasificación, además de un mapa de recarga potencial, el cual muestra al sector central como de muy alta recarga, más hacia el Sur, cerca de Itiquis la recarga es alta mientras que en los alrededores de Sabanilla la recarga se vuelve media, por último la zona hacia el Sur de Tambor hasta la Garita está catalogada como de baja recarga.

Se considera que los mapas elaborados por Fallas (2017) y Monge (2019), pueden ser utilizados como referencia para la elaboración del capítulo de recarga potencial durante la segunda fase de este proyecto, con el fin de que se puedan comparar los resultados y determinar divergencias significativas entre los valores de recarga.

### **3-7.13. Zonificación hidrogeológica y gestión del recurso hídrico.**

El único estudio que contempla una zonificación hidrogeológica es el de Losilla (2010), quien propone seis zonas o sectores con distintas características hidrogeológicas y por lo tanto distinto manejo y limitaciones asociadas. En general se describen la ubicación, límites, características, manejo recomendado y limitaciones de cinco sectores, debido a que el sexto, representa las zonas de protección de captaciones de agua potable, por lo que su cobertura es limitada, además de que son una gran cantidad y no se tiene certeza de la ubicación debido a las discrepancias entre bases de datos (Losilla, 2010).

El sector vulnerable, de recarga principal y protección absoluta de aguas subterráneas, se ubica principalmente en las cuencas altas de las vertientes Norte y Pacífico, lo que corresponde a las cercanías de la cima del volcán Poás. Este sector presenta una recarga directa importante, además de recarga lateral en la vertiente Norte; dentro de las recomendaciones de manejo se establece captación de fuentes de abastecimiento público, protección y reforestación, generación de energía hidroeléctrica, turismo ecológico y actividades agropecuarias de baja intensidad; las limitaciones asociadas van dirigidas al desarrollo urbano, agrícola e industrial, así como ganadería extensiva (Losilla, 2010).



El sector de recarga y protección especial de aguas subterráneas, se ubica en la sucesión media alta del río Poás y presenta un importante recarga por infiltración directa y lateral. El manejo recomendado se dirige hacia desarrollo rural limitado y controlado, con tratamiento de aguas residuales, agricultura no contaminante, captación de fuentes, protección de ríos, turismo ecológico y actividades agropecuarias de baja intensidad. Las limitaciones son para actividades industriales, ganadería extensiva y desarrollo urbano (Losilla, 2010).

Losilla (2010) ubica el tercer sector, denominado de captación y manejo de aguas subterráneas, en las subcuencas medias de los ríos Poás, Alajuela, Ciruelas, Río Segundo y, las subcuencas bajas de la quebrada Seca y río Bermúdez. Las características de este sector, es que se compone de acuíferos volcánicos vulnerables y con riesgo a la contaminación, además de recarga lateral y directa. También se presentan gran cantidad de captaciones dentro de esta zona. Se propone captar fuentes de agua para el cantón, con estudios de interferencia entre fuentes para asegurar la disponibilidad del recurso, además utilizar este espacio para actividades agrícolas, agroforestales, desarrollo urbano controlado y con tratamiento de aguas residuales. Las limitaciones van asociadas a no desarrollar cualquier tipo de actividades en zonas de protección de manantiales y pozos (Losilla, 2010).

El sector de desarrollo urbano, agrícola e industrial, se localiza en el extremo Norte del cantón y en las subcuencas bajas de los ríos Poás, Alajuela, Ciruelas y Río Segundo. En este sector se ubican acuíferos volcánicos en la vertiente Pacífica y acuíferos volcánicos y aluviales en la vertiente Norte, existe una diferencia entre la cantidad de captaciones, ya que la vertiente Pacífica presenta mucho más que la Norte. El manejo recomendado consiste en desarrollar aquí centros urbanos, actividades agrícolas e industriales con el adecuado tratamiento de aguas servidas; se propone que se capte agua de acuíferos superiores para actividades económicas y de acuíferos inferiores para abastecimiento público. Las limitaciones van en torno a malas prácticas ambientales, como desfuegos de aguas sin tratamiento, construcción en márgenes de cauces, desarrollo de actividades en zonas de protección (Losilla, 2010).

Finalmente, el sector de cauces con taludes de erosión y deslizamientos fuertes se ubica en los cauces de los ríos Sarapiquí, San Fernando y Volcán. Se caracterizan por tener una recarga y descarga de aguas subterráneas y zonas de deslizamientos. El manejo propuesto consiste de protección absoluta de 100 m a cada lado de los márgenes de los cauces, por otro lado las limitaciones son para desfuegos no controlados y deforestación (Losilla, 2010). El último sector, lo que indica es la metodología para definir las zona de protección inmediata y de recarga de captaciones de agua potable, tanto para ríos y quebrada, como para manantiales y pozos.

Los sectores propuestos por Losilla (2010), tienen ciertos aspectos a considerar en caso de utilizar esta información para la segunda fase del proyecto; entre estos está el hecho de que las partes de la definición de los sectores se basa en parámetros geomorfológicos o de uso actual del suelo, más que propiamente en las propiedades hidrogeológicas de los acuíferos subyacentes. Además varios sectores poseen recomendaciones de manejo y limitaciones similares, por lo que no queda claro bajo qué criterio se realizó su separación. En la misma línea, las categorías de actividades recomendables resultan muy generales y no se proponen procedimientos, en caso de que se quiera desarrollar alguna actividad específica que podría llegar a ser dañina para el recurso hídrico subterráneo.



Con respecto al sector seis, que establece la metodología para la definición de zonas de protección, aunque no se ahondó sobre estas en el apartado anterior, los criterios para la definición de estas zonas, resultan ser poco precisos e inclusive poco técnicos, en donde de aplicarse, resultarían zonas de protección demasiado extensas que limitarían grandemente el uso de la tierra. A pesar de todo lo anterior, la propuesta de sectores de manejo elaborada por Losilla (2010), puede funcionar como una base inicial para la segunda etapa, en el caso de que los mapas de vulnerabilidad y recarga sean coincidentes, por lo que únicamente sería necesario definir mejor las regulaciones de cada sector.

### **3-8. CAPACIDAD DE USO DEL SUELO**

El concepto de suelo varía de acuerdo al enfoque y el objetivo propio del estudio que se realice. Para este análisis se toma una definición en la que concuerdan edafólogos, agrónomos y forestales; así: “El suelo es un conjunto de unidades naturales que ocupan las partes superficiales terrestres que soportan las plantas y en general todo tipo de infraestructura construida para uso de los seres humanos y cuyas propiedades se deben a los efectos combinados del clima y de la materia viva sobre la roca madre, en un periodo de tiempo y en un relieve determinado”(adaptado y traducido de Soil Survey Staff, 1951). Con un conocimiento amplio de las características de los suelos es posible advertir sus capacidades y debilidades, combinándolo con el efecto que provoca cada uso se puede lograr un desarrollo armónico con la naturaleza. Al conocer la distribución del uso del suelo y las características de cada unidad geográfica es posible establecer regulaciones que promuevan el uso sostenible de los recursos naturales y eviten el deterioro irreversible o fenómenos dañinos para el medio natural y para las actividades humanas.

Para determinar la distribución del uso del suelo se emplearon fotografías aéreas. En particular se recurrió a las fotografías aéreas en infrarrojo de la Misión Carta 2005, realizada por el Programa Nacional de Investigaciones Aerotransportadas y Sensores Remotos (PRIAS) del Centro Nacional de Alta Tecnología (CENAT), en febrero y marzo del 2005. Dichas fotografías se encuentran en escala 1:8000, donde cada píxel de la foto mide cerca de dos metros de lado, es decir 4 metros cuadrados en escala natural. Esta escala es ideal para distinguir edificaciones, varios tipos de cultivos y la vegetación natural. Sin embargo en algunas zonas fue necesario realizar giras de campo que constataran lo observado en las fotografías aéreas.

Una vez terminada la categorización del uso del suelo, se necesita describir el suelo y la respuesta que tendría este ante diferentes usos, para esto se emplean los mapas de capacidad de uso del suelo. Los mapas de capacidad empleados se enfocan principalmente en el potencial agropecuario y forestal. En estos se definen varias categorías que ubican las tierras desde muy aptas para cultivos, hasta terrenos que deben ser destinados a protección pues no es posible sostener una actividad agropecuaria o forestal sin dañarlos en un lapso corto de tiempo y de manera irreversible. Conociendo la capacidad potencial del suelo y el impacto del uso que se le está dando a cada unidad territorial, se establece si el uso que se le está dando es sostenible, o en cambio promueve un desgaste paulatino de las capacidades agropecuarias de la unidad territorial. Si olvidar que la incompatibilidad entre la capacidad agropecuaria y forestal con los usos antrópicos reduce el alcance del análisis.





### 3-8.1. Uso del Suelo

El mapa de uso del suelo se confecciona a partir de un análisis fotogramétrico; el cual consiste en la corrección, deformación, ubicación y comprensión de fotografías aéreas o imágenes derivadas de sensores remotos. Las fotografías utilizadas se financiaron mediante un convenio entre diferentes instituciones nacionales e internacionales, y fueron capturadas dentro del marco del Proyecto CARTA II, 2005. Estas son en infrarrojo cercano, con una resolución de píxel de 2 metros de lado en escala natural y al ubicarlas espacialmente mediante modelos y técnicas se obtiene un mosaico en una escala de 1:8000. La delimitación de las categorías de uso del suelo se define según criterios de color y textura observada en las fotos, con el respaldo de la calibración y corroboración realizada durante las giras de campo.

Con toda la información fotogramétrica, cartográfica y la de campo se definen 11 categorías de uso del suelo; que son: bosques, charrales, pastos y árboles dispersos, suelo desnudo, cultivos, uso urbano, cuerpos de agua, relleno sanitario, tajo, cráter volcánico y finalmente nubes y sombras. Esta última categoría corresponde a vacíos en la información donde la nubosidad no permitió capturar la superficie del suelo mediante la fotografía.

Si bien durante las giras de campo se corrobora y actualiza mucha información, la fuente primaria de información continúan siendo las fotos, razón por la cual cambios sutiles en el uso del suelo tales como la variación de la frontera forestal y la frontera urbana son indetectables en este mapa. En el mapa se muestra el uso del suelo en baja escala y algunos recuadros que muestran la fotografía en la cual se basa el reconocimiento de uso del suelo.

Durante el 8 de enero del 2009, se da un fuerte sismo que dispara una serie de deslizamientos en la parte alta de las montañas cerca del macizo del Volcán Poas, también se dan grandes deslizamientos junto a la calle que comunica Cariblanco con Fraijanes, todo este material suelto se precipita hacia el río Sarapiquí y sus afluentes, formando grandes avalanchas que arrastran material hasta las partes más planas. Este fenómeno modificó fuertemente el uso del suelo en algunas zonas, creando grandes trazas de suelo desnudo y aumentando las terrazas de los ríos y quebradas. Se intentó conseguir las fotografías capturadas por el ICE para poder analizar el cambio que había provocado este fenómeno, pero no fue posible contar con esta información a tiempo, razón por la cual el análisis se basa únicamente en las fotografías aéreas del 2005 y las observaciones de campo.

En el cantón se observa predominancia de usos para diferentes zonas, a primera vista es posible definir al menos 7 zonas sectores; empezando por el extremo suroeste del cantón en los distritos de San Rafael, Guácima, Turrúcares y Garita se tienen principalmente pastos, contrastados con centros poblacionales, algunas industrias, actividades pecuarias y turísticas. Un poco más al norte hacia el este, se encuentra el sector urbano; con las zonas comerciales, residenciales, mixtas, el aeropuerto y grandes fábricas y depósitos, un sector cubierto por múltiples superficies impermeabilizantes que modifican circunstancialmente el patrón de escorrentía. Al norte del sector urbano, empieza la zona agrícola; sobre los distritos de Desamparados, Carrizal, San Isidro y Sabanilla, se encuentran cientos de hectáreas de café y grandes sembradíos de hortalizas cubiertas por zaranes.



Siguiendo hacia el norte a partir de elevaciones cercanas a los 1600 msnm se encuentran nuevamente zonas de pastizales, bosques y actividad turística. Hacia la divisoria de aguas desde los 1900 msnm se encuentra un gran bloque de bosques que cubren todo el ancho del cantón; este grupo de bosques continúa hacia el norte hasta las cercanías del pueblo Cariblanco, en el distrito de Sarapiquí; dentro de esta zona se encuentran pueblos, áreas de pastizales y actividades turísticas cercanas a la carretera. A partir de Cariblanco y principalmente hacia el oeste de la calle se tienen pastos y algunos pocos cultivos de café y piña en el extremo norte, junto a bajo latas. En las tablas siguientes se observan las categorías de uso del suelo y el área que ocupa cada una para cada distrito; en el mapa se ve la variación espacial ya citada.

El uso del suelo de bosques se ubica en todos los distritos, cubriendo 12515 ha; concentrado principalmente en el distrito Sarapiquí cerca y dentro del Parque Nacional Volcán Poás y el Refugio Forestal Cordillera Volcánica Central; en el resto del cantón los bosques se ubican en las riberas de los ríos o en pequeños grupos aislados. Los charrales también llamados crecimiento secundario son unidades vegetales difíciles de definir, ya que en estas se incluyen aquellas zonas con bosques de baja altura y escasa densidad razón por la cual durante el análisis fotogramétrico es muy difícil denotarlos, con la escala a la que se está trabajando.

La categoría pastos y árboles dispersos se esparce por todo el cantón cubriendo 12988 ha concentradas principalmente en el distrito Sarapiquí y Turrúcares (aproximadamente 36% del cantón). A partir de la información base que se maneja no es posible distinguir entre los lotes que se encuentran en abandono, aquellos destinados a la ganadería o cultivos de hortalizas.

Los suelos desnudos son unidades transitorias, ya que con el tiempo el hombre o la naturaleza utilizan estos terrenos. Usualmente el suelo desnudo se produce por la intervención antrópica, cuando se preparan lotes para actividades tales como cultivos, construcción de infraestructura y tajos. Sin embargo, no es posible saber cuál será el uso final que se le vaya a dar a estas áreas por esta razón no se hace una sustitución de categoría, adicionalmente los derrumbes naturales por sobrecarga de suelo con cobertura vegetal o el efecto acumulativo del agua, agregan incertidumbre a la razón de ser del suelo desnudo.

A lo largo de todo el cantón se ubicaron 687 ha de suelo desnudo, de las cuales 329 ha se concentran en el distrito Guácima y San Rafael; debido a su cercanía con grandes extensiones de cultivo es posible que estas áreas se estén preparando para la agricultura. Hacia el norte en Sarapiquí, en las estribaciones del volcán Poas se observan varias tiras de suelo desnudo, probablemente producto de deslizamientos naturales debido a la sobrecarga del suelo por el excesivo crecimiento de los árboles o el efecto de la escorrentía sobre suelos poco compactados y en fuertes pendientes.

Los cultivos se ubican en todos los distritos cubriendo 7366 ha concentrados principalmente en los distritos de Carrizal, San Isidro y Sabanilla con un 52% del total. En el análisis fotogramétrico se utilizan dos variables principalmente para encontrar los cultivos la forma y el acomodo, así como la textura; por esto algunos cultivos como las hortalizas y la caña de azúcar son indetectables ya que son confundidas con los pastos bien cuidados. En el cantón se siembran diversos tipos de cultivos agrícolas, entre los que se logró detectar específicamente: el café, frutales o maderables, hortalizas y helechos cubiertos con saran y plásticos.



Dentro de la categoría de cultivos se incluyen las polleras, que por su ubicación y la forma específica de los galpones son de fácil detección; este uso de tipo pecuario se incluyó dentro de la categoría cultivos, para facilitar las categorizaciones y el análisis de actividades económicas agropecuarias. Dentro de las categorías de cultivo que se ubicaron sobresalen tres: el café; las hortalizas y frutales cubiertas, así como los pastizales. Entre estos suman los 5531 ha de las nombradas como cultivos. Entre los cuales la mayor parte son sembradíos de café. También se encontró completamente hacia el norte un sector de las piñeras dentro del cantón con una extensión de 8 ha.

El uso de suelo denominado urbano reúne la mayor parte de las edificaciones humanas que ha impermeabilizado de manera parcial o total el suelo; es decir casas, edificios, bodegas, el aeropuerto y las calles aledañas a estas estructuras. Esta categoría se esparce por todo el cantón formando un gran conglomerado en los alrededores de la ciudad Alajuela; mientras en el resto del cantón se presentan núcleos urbanos consolidados y sin consolidar; así como un gran desarrollo lineal sobre algunas calles importantes, especialmente las calles que se dirigen hacia el norte. En el cantón se clasificaron 4203 ha de suelo como urbano; de las cuales el 57% se ubican en los distritos de Alajuela, San José y San Antonio. La mayor parte del uso urbano ubicado se encuentra en el conglomerado principal con aproximadamente 3300 ha.

La categoría cuerpos de agua comprende aquellos espejos de agua visibles en la fotografía, tales como pequeños lagos y algunos ensanchamientos de ríos donde los bosques en la ribera no son demasiado densos. En esta categoría se encontraron 122 ha de las cuales 80 ha, se ubican en Turrucare, distrito donde se concentran los balnearios y fincas con fines recreativos. El resto de los espejos de agua se dividen entre lagos, piletas y ríos. El relleno sanitario Los Mangos ubicado en distrito San José colindante con el distrito Tambor, está ubicado en la categoría relleno sanitario; y posee una huella para el 2005 de 28 ha.

La categoría tajo compila todos aquellos terrenos que por la coloración vista en la foto se estima son suelos desnudos con roca expuesta. En el cantón se encontraron 76 ha con estas características, y están distribuidos en tres distritos que son: San Rafael, Turrucare y Sarapiquí; poseyendo este último el 69% del área reconocida. Cráter volcánico, es el espejo de agua de coloración diferente ubicado en la cúpula del macizo montañoso; junto a la laguna; y abarca unas 37 ha.

### **3-8.2. Capacidad agropecuaria y forestal del suelo**

Conociendo las características edafológicas de los suelos de una región es posible estimar su capacidad agrícola y forestal; para propiciar un desarrollo eficiente y armónico con la naturaleza que aproveche al máximo el potencial del suelo; sin deteriorarlo y evitando fenómenos perjudiciales para el medio ambiente o las actividades humanas. “La capacidad de uso de las tierras mide el potencial de las tierras para soportar actividades agrícolas o forestales en el largo plazo, sin reducir su capacidad productiva si son manejadas adecuadamente.” (Fundación Neotrópica, 1997).



La capa de información con la capacidad agrícola y forestal de los suelos del cantón de Alajuela se obtiene de la combinación de dos fuentes bibliográficas. De la Fundación Neotrópica, Costa Rica; se tienen los mapas de Capacidad de uso de la tierra, Clases forestales realizado en 1994 en escala 1:50000; del Ministerio de Ganadería se tienen los mapas de Capacidad de uso de suelo realizados en 1991 en escala 1:200000. Los suelos pueden ser clasificados de diferentes maneras según el objetivo del estudio que lo genera, pero en este caso ambas fuentes utilizan la metodología oficial para Costa Rica, basada en la aptitud agrícola y forestal de acuerdo a las características físico-químicas y el relieve de cada unidad de manera aislada, sin considerar con mucho detalle la interacción entre bloques contiguos.

Este sistema de evaluación agrupa la capacidad de uso del suelo en 8 categorías representadas con números romanos que van desde el I hasta el VIII. La agrupación de los suelos se hace de acuerdo al decreto N°23214-MAG-MIRENEM publicado en la gaceta N°107 del 6 de junio de 1994. adicionalmente a las agrupaciones de ley el mapa de la Fundación Neotrópica define dos categorías más; la categoría A, que reúne todos los suelos con capacidad agropecuaria entre buena y media, estas son desde la I hasta la V; y la categoría VF para aquellas zonas donde la “La capacidad de uso de las tierras mide el potencial de las tierras para soportar actividades agrícolas o forestales en el largo plazo, sin reducir su capacidad productiva si son manejadas adecuadamente.”(Fundación Neotrópica, 1997).

“Las clases I, II y III incluyen todas las tierras que son adecuadas para el cultivo regular, y la clase IV, las tierras que se pueden cultivar sin riesgos solo de vez en cuando, es decir, de modo limitado. Las clases V, VI y VII comprenden las tierras que no son adecuadas para cultivarlas, pero que son propias para pastos y bosques. La clase VIII comprende las tierras que no son adecuadas para cultivos, pastos ni bosques...” (MAG, 1991) Las categorías del VI en adelante son: reforestación o cultivos permanentes (VI), manejo de bosque natural o regeneración (VII y VF) y protección (VIII). La agrupación se divide en subclases que integran la pendiente y limitaciones tales como erosión sufrida, profundidad efectiva, textura, pedregosidad, fertilidad, toxicidad y salinidad así como características climáticas que inhiban el crecimiento de las plantas, tales como períodos secos, neblina y viento.

Debido a que las Áreas Silvestres Protegidas (ASP) son reguladas por lineamientos legales definidos según la categoría de manejo de las mismas, ninguna de las dos fuentes de información posee referente a aquellas zonas que pertenecen a este régimen. Para la conformación del mapa final de capacidad agrícola y forestal se combinaron las dos fuentes bibliográficas y los mapas de las áreas silvestres protegidas (ASP) definidas por el Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC). La disposición de estas capas se realiza de tal manera que se optimizaran el exceso de información de cada fuente. Así inicialmente se dibujan las ASP, seguidas por las unidades VI al VIII de la capa perteneciente a la Fundación Neotrópica, posteriormente se agregan las unidades del I al V del mapa del MAG que se encuentra en la menor escala.

En el cantón se presentan 8 de las categorías de capacidad definidas anteriormente, de las cuales 6 corresponden a la categorización dada por el decreto N°23214, se tiene también la categoría VF definida por la Fundación Neotrópica, Costa Rica y las zonas sin información que forman parte de las Áreas Silvestres Protegidas (ASP).



En la categoría de áreas silvestres protegidas se incluyen cuatro de ellas: Parque Nacional Volcán Poás, Zona Protectora Río Toro, Reserva Forestal Cordillera Volcánica Central y Refugio Nacional de Vida Silvestre Bosque Alegre; las cuales se encuentran dentro del cantón y cubren un área total de 3836 ha equivalentes a un 9,8% del área del cantón.

La categoría III comprende suelos moderadamente buenos para el cultivo, con pendientes moderadamente fuertes, alta susceptibilidad a la erosión, problemas asociados a humedad o inundaciones, entre otros. Esta categoría se extiende por 7812 ha se localiza en todos los distritos excepto Río Segundo. Los distritos de Sabanilla y Turrúcares poseen cerca de la mitad del área de esta categoría. De manera geográfica esta categoría se ubica principalmente hacia el suroeste en las montañas onduladas desde Montecillos hasta la confluencia de los ríos Virilla y Grande. El otro gran bloque que se ve de esta unidad se encuentra apenas al norte del distrito central en los distritos de San Isidro, Sabanilla y Carrizal, desde los 1100 msnm hasta 1500 msnm en los alrededores de los pueblos: Ángeles, San Luis, Sabanilla, San Isidro y Pilas.

La categoría IV comprende suelos con severas limitaciones, tales como fuertes pendientes, baja capacidad de retención de humedad, frecuentes inundaciones y moderados efectos adversos del clima. Esta categoría se presenta en todos los distritos; extendiéndose por el 30,0% (11730 ha) del cantón. Con un área de casi 8100 ha se tiene un gran bloque de suelo en esta categoría en la mayor parte del núcleo urbano central. En este gran bloque se encuentra todo el distrito Río Segundo. En el resto del cantón esta categoría se encuentra sobre terrenos de pendiente fuerte, junto a los suelos de categoría II, formando pequeñas manchas o lengüetas que parecen estirarse hacia el suroeste y el norte.

En la categoría VI; hay terrenos poco aptos para los procesos agrícolas, sin embargo, son capaces de mantener plantaciones forestales o cultivos perennes que no requieran mecanización sobre el suelo, tales como árboles frutales. Está localizado sobre un 19,9% del área total (7762 ha). Se da en todos los distritos menos en San Antonio, San Rafael y Río Segundo, en contraparte el distrito con mayor representación es Sarapiquí con 2772 ha, equivalentes al 24,5% del distrito. Hacia el norte más halla de Tacacorí la unidad forma grandes manchas de formas irregulares definidas por la topografía, y los cambios en las características de los suelos producto de la actividad tectónica y volcánica.

En la clase VII se reúnen limitaciones muy severas por lo cual solo hay capacidad para manejo de bosque natural. Esta categoría de capacidad se ubica en 7 de los 14 distritos y abarca el 12,0% del cantón. Si bien la categoría se da en 7 distritos, Sarapiquí concentra la mitad del área con 2362 ha. Esta categoría se encuentra sectorizada en 2 áreas, hacia el sur en el distrito de Turrúcares y en las estribaciones del volcán Poás.

La clase VIII está compuesta de terrenos que no reúnen las condiciones mínimas para actividades de producción agropecuaria o forestal. Las tierras de esta clase tienen utilidad solo como zonas de preservación de flora y fauna, protección de áreas de recarga acuífera, reserva genética y belleza escénica. (Mapas de capacidad de uso de la tierra, 1994). Esta clase igualmente se presenta en 7 distritos sobre 2962 ha, sin embargo, la mayor parte se concentra en Sarapiquí con 1572 ha. La categoría se presenta en el cantón en tres casos específicos, pequeñas secciones donde las pendientes son muy fuertes a escarpadas; el margen del río Virilla, el Itiquís y el Grande; la falda este del volcán Poas junto con los cañones escarpados de los afluentes del río Sarapiquí.



La categoría VF reúne tierras con pendientes aptas para uso agrícola o pastoreo, pero que debido a otras limitantes (texturas, fertilidad y climáticas) son de capacidad forestal, para manejo de bosque natural o regeneración. Este grupo se presenta completamente al norte, desde el pueblo de Bajo Latas hasta más allá del cantón y se extiende por 267 ha dentro del cantón.

En general la capacidad de uso agrícola y forestal del suelo está condicionada por el relieve, los efectos naturales que lo moldean y definen así como los procesos tectónicos y volcánicos. Así las características edafológicas

### 3-8.3. Evaluación del uso del suelo según su capacidad

La sostenibilidad en el tiempo de las diferentes actividades antrópicas y naturales depende de múltiples variables de diversa índole. Desde un punto de vista puramente de capacidad de soporte se puede realizar un análisis somero que compare el uso del suelo con la capacidad agrícola y forestal del suelo; para obtener los lugares donde se estén excediendo las capacidades y potencialidades del mismo y por lo tanto se está incurriendo en un uso insostenible que podría provocar una erosión excesiva, pérdida de la fertilidad o situaciones riesgosas para la infraestructura y población. Para evaluar el comportamiento del suelo ante el uso que se le está dando se definieron tres categorías de evaluación: *sobreuso*, *uso adecuado* y *subuso*. En algunos casos la información existente no es concluyente y no fue posible establecer el comportamiento que tendría el suelo, para estos casos se define una categoría auxiliar; *indeterminada*.

Cuando un uso agrícola o forestal requiere mayores atributos de los que el suelo puede proveer o renovar entonces se estará incurriendo en un **sobreuso**, en general en estos casos se produce deterioro de la capa superficial, esto se refleja con erosión, pérdida de la capa efectiva o pérdida de la fertilidad. Por el contrario, si el uso es congruente con la capacidad agropecuaria, se define como **uso adecuado**, y el suelo será capaz de sustentar este uso siempre que se le realicen las respectivas prácticas de conservación. Mientras que si el uso demanda menor capacidad de la residente en la unidad territorial, se tiene un **subuso**, en cuyo caso el terreno posee una capacidad remanente. Cabe recordar que sin importar el caso en el que se encuentre, toda actividad agropecuaria debería mantener prácticas de conservación aun cuando se encuentre en *subuso*. Se recomienda evitar los *sobreusos* e incentivar los *usos adecuados* y *subusos* para mantener la capacidad potencial del suelo. Para aquellos usos del suelo diferentes a los agrícolas y forestales, se revisaron las limitaciones técnicas de cada capacidad para determinar el efecto que tendrían estas sobre los otros usos.

Este análisis supone que en la práctica ninguno de los usos realiza ninguna práctica de conservación y mantenimiento de la capacidad agrícola del suelo, además dada la intensidad y alcance del informe únicamente se generan tres categorías de análisis, sin embargo la evaluación del efecto y la sostenibilidad de un uso antrópico especialmente del tipo agropecuario requiere evaluar mayor información, para obtener planes de manejo capaces de permitir ocupaciones intensivas en suelos de poca capacidad agrícola. Algunas prácticas como la siembra por terrazas o contornos, construir trampas de erosión y drenajes, el control biológico de plagas; siembra conjunta de herbáceas que protegen la superficie del suelo de la escorrentía y controlan los niveles químicos del suelo.



La implementación de estas y otras técnicas que el profesional que realice el estudio estime adecuadas, pueden mitigar significativamente los efectos de un sobreuso hasta convertirlo en un uso adecuado. Cabe resaltar también que esto no implica que todos los suelos son cultivables, solamente refleja la necesidad de un estudio detallado en la realización de cualquier actividad antrópica en suelos de características limitantes.

A continuación, se enlistan todos los lineamientos empleados en la comparación del uso del suelo con la capacidad forestal y agrícola de los suelos. Para esta comparación se emplearon los mapas y las características de cada unidad de estudio detalladas en las secciones anteriores. En la tabla se resumen todas las combinaciones posibles entre uso y capacidad y se indica la evaluación respectiva.

- La infraestructura, reflejada en el uso urbano se aceptará como *uso adecuado* cuando coincida con unidades territoriales con capacidad agropecuaria, pues las características morfológicas de estas categorías son adecuadas para el desarrollo de la vida humana y la construcción de infraestructura segura.
- El suelo desnudo no es analizado, pues corresponden a estados transitorios en un cambio intensivo de uso, y no es posible determinar con certeza que uso era anteriormente ni para que se destinará en el futuro. En algunos casos podrían ser deslizamientos naturales que exponen repentinamente la superficie del suelo. Para todos los casos se utiliza el evaluador *indeterminado*.
- En el caso en que se encuentre nubes dentro de las coberturas de uso, no es posible distinguir cual es el uso, por lo tanto, estas zonas se definen como *indeterminado*.
- En caso de que el mapa contenga alguna categoría referente a los espejos de agua, tales como ríos, lagunas o canales; estas extensiones se definen como *indeterminado*.
- Para la combinación capacidad agrícola y uso bosques se indicó *subuso*, según un enfoque productivo de acuerdo a las capacidades fisicoquímicas del suelo. Sin embargo, desde un enfoque ambiental en la mayor parte de los casos esta combinación correspondería con un *uso adecuado*.
- El café se considera un cultivo permanente por lo tanto se asume como *uso adecuado* en las capacidades desde la I hasta la VI.
- La siembra de hortalizas y frutas pequeñas cubiertas por zarános o plásticos requieren de una serie de prácticas de conservación y protección de los suelos, por eso estos usos se aceptan como *uso adecuado* hasta suelos de capacidad VI.
- Los tajos y rellenos sanitarios ubicados en suelos con capacidad agrícola moderada (III y IV) se denominan en subuso ya que ambos usos requieren la eliminación de la capa superficial del suelo. También se declara en sobreuso en los suelos con capacidad para protección forestal, ya que estas unidades son ambientalmente frágiles y estos usos provocarían grandes daños.



- Para analizar los territorios dentro de las Áreas Silvestres Protegidas (ASP), los bosques se consideran *uso adecuado* y cualquier otro en *sobreuso*, pues estos terrenos deben estar destinados únicamente a protección. Si bien algunos planes de manejo para ASP diferentes a los Parques Nacionales permiten otros usos, en todos se piden huellas mínimas las cuales no habrían sido percibidas por el uso del suelo.

Se muestra el área que ocupa cada una de las categorías de evaluación dentro de cada uno de los distritos. En la tabla se muestran el área correspondiente a cada combinación de uso y capacidad del suelo. El mapa muestra la variación espacial de la evaluación del uso del suelo.

La categoría de subuso se localizó en todos los distritos del cantón abarcando un total de 6228 ha equivalentes a un 15,9% del área del cantón. Si bien esta situación se da en todos los distritos se concentra mayormente en Turrúcares y Garita con 1404 ha y 1481 respectivamente, adicionalmente solo en Guácima se superan las 500 ha.

Como se ve en la tabla existen 2110 ha de suelo clasificadas como subuso, por la combinación de bosques y tierras con capacidad agrícola III y IV, sin embargo estos bosques en general se ubican en las riberas de los ríos y bajo un enfoque de conservación de los recursos naturales, estas líneas boscosas protegen los ríos de algunos efectos agrarios negativos. Además sobresalen 3474 ha de pastos y árboles dispersos, combinados con suelos de categoría III, provocando un subuso; si bien desde el punto de vista agrícola estas tierras ubicadas en la zona suroeste del cantón se encuentran en subuso, habría que hacer una distinción entre los lotes abandonados y aquellos destinados a la ganadería, ya que el mapa de uso del suelo no logra hacer esta distinción y en caso que los terrenos estén destinados a la ganadería se tendría que hacer un estudio mucho más amplio y exhaustivo para determinar si los lotes se encuentran en subuso.

El relleno sanitario los mangos ubica alrededor de un 40% de su área en un suelo de categoría IV. Respecto de los tajos, estos se ubican por todo el cantón y por lo tanto poseen las tres evaluaciones, subuso, uso adecuado y sobreuso.

Los terrenos con evaluación uso adecuado abarcan la mayor parte del cantón, un 72,1% (28157 ha). Cerca de una tercera parte del área con esta valoración se ubica en el distrito Sarapiquí (7743 ha), donde la combinación de bosques en áreas silvestres protegidas o en suelos con capacidad forestal (VI, VII y VIII), promueven un uso congruente del recurso suelo respecto de sus capacidades y debilidades. La siguiente combinación de uso y capacidad congruente con gran extensión (6810 ha) son los cultivos ubicados en terrenos con aptitud agrícola media o baja; donde se ha sembrado café, hortalizas, legumbres, frutas pequeñas (fresas y tomate), plantas ornamentales. De esta agrupación la mayor parte corresponde a café con 4374 ha.

La categoría sobreuso cubre 3700 ha y se da en casi todos los distritos; siendo Río Segundo y San Antonio los únicos donde no existe esta situación, sin embargo, esto se debe a que en ambos, no existen unidades edafológicas que combinadas con alguno de los usos de suelo observados provoquen una evaluación del tipo sobreuso.





El distrito donde se da la mayor extensión en sobreuso es Turrúcares, donde los suelos con potencial para el manejo de bosques naturales ubicados entre el pueblo Turrúcares y Vueltas han sido convertidos en potreros y charrales; usos que debido a la poca protección que proveen al suelo permiten el deterioro de la ya reducida capacidad de la tierra. Igualmente, en Sarapiquí se da esta combinación donde los pastos además, se internan dentro de la Reserva Forestal Cordillera Volcánica Central cerca de 190 ha. La categoría indeterminado cubre 970 ha, equivalente a un 2,5% del cantón.

Esta evaluación se enfoca principalmente en la capacidad agrícola del suelo, por lo tanto, no evalúa el impacto económico y social de una u otra actividad antrópica, la cual siempre estará sujeta a múltiples variables y condicionantes que determinaran la eficiencia, eficacia y sostenibilidad de dicha actividad en el tiempo. Sin embargo, esta evaluación brinda un perfil inicial sobre el uso del suelo y su impacto sobre las características de la tierra

### **3-9. EROSIÓN**

#### **3-9.1. Modelado del proceso de erosión**

Durante las fases de la realización del Plan Regulador se evalúan una serie de características, así como fenómenos y procesos que moldean la dinámica del cantón. La erosión es un proceso natural que reduce la capa superficial del suelo y aumenta la carga de sedimentos en los ríos y aluviones. Debido al relieve cambiante, las fuertes pendientes y la excesiva profundidad de los suelos en algunos lugares del cantón, este fenómeno juega un papel muy importante en la caracterización del cantón.

La erosión se define como un proceso, pues es constante; variable en el tiempo y espacio, pero existe como tal en todas o casi todas las condiciones. Esto quiere decir que aún en las condiciones naturales absolutas o en materiales tales como roca, la erosión hídrica se da; ya que esta es un proceso de transformación geomorfológica. Este proceso puede darse de múltiples formas, tales como: láminas, surcos, cárcavas, flujos de lodo, deslizamientos, reptación o en cavidades subterráneas. La ocurrencia de cualquiera de estas formas de erosión depende de la interacción de las variables que intervengan en el proceso; por lo cual los modelos de predicción de erosión no son capaces de evaluar todas las formas a la vez.

El proceso erosivo afecta de múltiples maneras al entorno. Los suelos pierden su capacidad agrícola al ver reducida su capa fértil o arrastrados partes de sus componentes; el suelo desprendido desestabiliza los taludes, anega y colmata los sistemas naturales o artificiales que controlan el excedente de escorrentía superficial (ríos, humedales, canales y embalses), provocando desbordamiento e inundaciones en las comunidades vecinas y en las actividades agropecuarias e industriales cercanas. El incremento en la erosión aumenta la carga de sedimentos en los ríos y en las desembocaduras afectando los procesos de oxigenación y la turbiedad en el agua. El incremento de erosión contiene intrínsecamente un incremento en la escorrentía y una reducción en la infiltración, afectando el comportamiento de los flujos superficiales y subterráneos.



Existen métodos físicos y heurísticos para modelar este proceso; todos integran de alguna manera las principales variables que intervienen en el proceso erosivo, que son: clima, suelos, relieve y uso sobre la capa superficial del suelo, cada modelo es calibrado y evaluado en diferentes partes del planeta y con diferentes condiciones. La aplicabilidad de cada modelo depende de las características de la zona, el objetivo de estudio y la calidad de los datos de entrada. Así los modelos heurísticos sólo tienen validez en zonas con iguales condiciones que en la región donde se hayan formulado, mientras que los modelos físicos pueden realizarse en cualquier ambiente, pero requieren de datos muy puntuales y exhaustivos.

En 1965, el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos formuló el modelo USLE, una ecuación empírica que correlacionaba variables de clima, edafología, relieve y uso del suelo, empleando factores equivalentes. En 1997 se presenta el modelo RUSLE que integraba las mismas variables, pero compuestas por subvariables para facilitar su cálculo en situaciones equivalentes. A lo largo de los años ambos modelos han sido aplicados en diferentes partes del globo y para múltiples condiciones.

Alrededor de todo el mundo se han realizado otras ecuaciones y modelos; sin embargo, es difícil obtener información detallada de estos. También existen múltiples calibraciones y correcciones al modelo RUSLE sin embargo es difícil encontrar toda la información referente a esos casos con lo que no se pueden comprobar de manera adecuada todos los supuestos que se hayan utilizado.

La aplicación del modelo se realizó con base en los lineamientos y conclusiones del proyecto final de graduación para obtener la Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica: "Implementación del modelo de erosión RUSLE como herramienta de planificación regional en algunas cuencas de la Fila Costeña" del Ing. Roger Mesén en el año 2009.

### 3-9.2. Metodología RUSLE

En nuestro país los modelos de erosión se han usado para múltiples estudios y análisis, sin embargo, se han realizado pocas calibraciones y estas suelen ser respecto del resultado final y no de las subvariables puntualmente. Por esta razón la aplicación de este modelo debe ser realizada con mucho cuidado y su interpretación debe estar sujeta a las limitaciones, en las que se base la calibración.

*"El modelo de predicción de erosión hídrica RUSLE, está diseñado para predecir la pérdida anual de suelo causada por la precipitación y el escurrimiento sobre una sección compuesta por terrazas y taludes, con una cobertura de suelo y un sistema de manejo dado." (Mesén R, 2009; pág. 26).* Dentro del diseño del modelo los autores del mismo buscaron diseñar únicamente la erosión que se manifiesta de manera laminar, en surcos o en pequeñas cárcavas; para las cuales supone que las fuerzas más importantes que intervienen en estos casos son el impacto de las gotas y el flujo a través de la superficie del suelo.

El modelo RUSLE se muestra como una ecuación de seis factores multiplicativos; donde dos de ellos definen las unidades (R, K), mientras las cuatro (L, S, C, P) restantes conforman una serie de ajustes respecto de la zona y condiciones en las que fue calibrado el modelo. Siendo este un modelo empírico es válido únicamente en los casos en que se demuestre que los supuestos fundamentales



siguen siendo consistentes; así como los resultados son comparables con estándares definidos, solo cuando todos los componentes se encuentren dentro de los rangos normales. Cada uno de los factores se construye a partir de una serie de ecuaciones paramétricas que intentan incluir las variables principales que afectan el proceso según el enfoque o rama que evalúe el factor. A continuación, se muestra la ecuación junto con los factores que la componen

$$A = R * K * L * S * C * P$$

Donde:

*A*:= pérdida anual de suelo dada en unidades de masa por área.

*R*:= Factor de precipitación y escurrimiento. Se conoce como erosividad.

*K*:= Factor de características del suelo. Se conoce como erodabilidad.

*L*:= Factor topográfico, longitud del talud. Pondera la variación de la erosión respecto al efecto de la extensión de la pendiente.

*S*:= Factor topográfico, nivel de pendiente. Estima la variación de la erosión respecto a la encontrada en el lote de control.

*C*:= Factor de cobertura. Simula el efecto de los diferentes usos del suelo con respecto a un suelo desnudo en continua labranza.

*P*:= Factor de prácticas de control de erosión.

Este modelo fue construido en unidades inglesas; de todas maneras, existen factores de conversión y ecuaciones alternativas para realizar los cálculos en unidades métricas.<sup>2</sup> En la siguiente tabla se muestra para cada variable las unidades en los dos sistemas de unidades.

**Tabla Dimensión y unidades de los factores del modelo RUSLE**

Símbolo	Dimensión	Unidades Inglesas	Factor de conversión (1 UI = #UM)	Unidades Métricas
A	$\frac{M}{L^2 * T}$	$\frac{Ton}{acre * año}$	2,242	$\frac{ton}{Ha * año}$
R	$\frac{L * F * L}{L^2 * T * T}$	$100 \frac{ft * Tonf * plg}{acre * hrs * año}$	17,02	$\frac{MJ * mm}{ha * hrs * año}$
K	$\frac{M * L^2 * T}{L^2 * L * F * L}$	$\frac{Ton * acre * hrs}{100 * acre * ft * Tonf * plg}$	0,1317	$\frac{ton * Ha * hrs}{Ha * MJ * mm}$

Donde:

<b>Dimensión</b>	M:=Masa   L:= longitud   T:= tiempo   F:= fuerza
<b>Unidades Inglesas</b>	Ton: tonelada masa   acre:   ft: pie   Tonf: tonelada fuerza   plg: pulgada   hrs: hora
<b>Unidades Métricas</b>	ton: tonelada métrica (1000 kilogramos)   Ha: hectárea (10000 metros cuadrados)   MJ: megajulios   hrs: hora   mm: milímetros (0,001 metros)

Fuente: Renard, K.G.; et All. (1997) USDA

Acorde como se realizó en el proyecto de Mesén y considerando que la mayor fuente de documentación detallada se encuentra en unidades inglesas, se decide realizar todos los cálculos con las ecuaciones paramétricas en las unidades inglesas; el resultado final será convertido en unidades métricas; siguiendo la tabla anterior.

En la figura siguiente se presenta el esquema general del modelo. Debido a una serie de limitaciones con los cálculos y la calibración del modelo; la comparación de los resultados numéricos solo es válida dentro del contexto del cantón y de la forma específica en cómo se aplica el modelo. Para la aplicación del modelo se divide el área del cantón con una cuadrícula y se realizan los cálculos que requiera el modelo para cada cuadro. Debido a las limitaciones de calibración y a las reducciones que se incurren al realizar el cálculo, el mapa final será interpretado en un contexto de susceptibilidad no como una medición puntual del volumen de suelo desprendido.

Cada uno de los factores requieren de diversas fuentes de información; estas fuentes son preparadas y unificadas espacialmente por zonas según corresponda con la variable; es decir que no toda la información se encuentra digitalizada en un mapa, por lo que es necesario realizar algún tipo de agrupación espacial del territorio y asignar los datos según las variables. Esta información debe ser procesada y preparada con el uso de las ecuaciones paramétricas, hasta convertirse en uno de los seis factores del modelo; posteriormente los factores son procesados por la cuadrícula y son multiplicados como lo solicita el método con la ayuda de técnicas de superposición de capas geográficas.

Para cada uno de los factores en Figura 1-6.1 se señalan las fuentes consultadas. El Factor R se calcula tomando la información del mapa de erosividad formulado por Vahrson para el Taller de erosión de suelos de 1991; los datos del Factor K se obtienen del informe Estudio para aumentar el nivel de detalle del mapa de suelos de Costa Rica a escala 1:200000 realizado en 1991 por Acon y Asociados para el MAG; estos se procesan según la ecuación del diámetro geométrico.

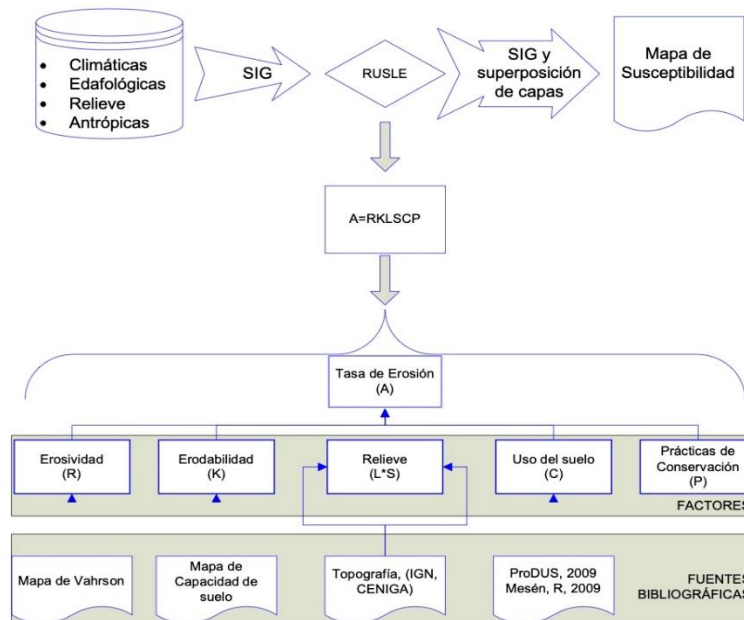


Figura 1-6.1. Diagrama de flujo para la creación del mapa de susceptibilidad a la erosión hídrica.



El relieve para los Factores L y S se obtiene uniendo la cartografía 1:25000 del CENIGA y la 1:50000 del IGN. Finalmente, el Factor C toma los resultados presentados en la tesis de Mesen; pág, 103-104. El Factor P, no se evalúa, ya que este se concibe dentro del modelo como una herramienta para evaluar el impacto de una técnica de conservación sobre la erosión esperable, sin embargo, no se tiene información precisa de los lotes en los cuales se esté aplicando alguna de las técnicas de conservación; adicionalmente no es posible saber si las ecuaciones para evaluar las técnicas de conservación son válidas pues carecen de una adecuada calibración en nuestro territorio.

En la bibliografía consultada se dan rangos para clasificar la erosión, según el lugar las tasas máximas en las que la situación se vuelve insostenible varían desde las 37 ton/ha hasta las 200 ton/ha. Sin embargo, en nuestra zona de estudio se dieron resultados de hasta 1700 ton/ha; esto se debe a que varias de las variables que componen los Factores se encuentran fuera de sus escalas normales por las condiciones particulares de nuestro país.

La gran variabilidad de suelos y relieve del país dificulta la creación de rangos de evaluación de erosión; pues para cada tipo de suelo, y en cada condición los rangos variarían; por las condiciones cambiantes. Además, los criterios de tolerancia a la erosión deberían formularse en base a la condición natural del suelo y la capacidad del medio de absorber y controlar esa carga de material desprendido. Ya que no es posible evaluar el nivel de erosión a falta de una escala calibrada para las condiciones del país, se decide presentar el resultado por rangos; donde los valores de quiebre de los rangos se establecen según comportamientos observados en los histogramas normal y acumulado.

Como medida comparativa respecto de las tasas de erosión y la capacidad del suelo de resistirla; se considera la opción de convertir el resultado del modelo en profundidad de suelo; para tal efecto se supone una densidad de  $2,5 \text{ ton/m}^3$ ; como valor medio para todos los suelos de la zona. Bajo este enfoque se calcula la profundidad del suelo que se desprendería y por tanto el porcentaje de la capa primaria que se pierde; la profundidad de la capa primaria se obtiene del informe Estudio para aumentar el nivel de detalle del mapa de suelos de Costa Rica a escala 1:200000 realizado en 1991 por Acon y Asociados. Se muestra la variación espacial de los factores que se evalúan en el modelo RUSLE; estas fueron las capas utilizadas para el cálculo del modelo; se presenta el Factor R, K, L, S y C; también se incluye la profundidad del horizonte A, como dato de comparación con el resultado final.

El mapa presenta los primeros resultados del modelo; estos son la aplicación del modelo con todas las capas anteriores, incluyendo el Factor C calculado con el uso de suelo del 2005, esto con el fin de evaluar un caso real, cercano a las condiciones actuales; como condición contrastante también se da el cálculo del modelo sin incluir la condición de uso del suelo; esto para estudiar la interacción del resto de variables las cuales representan los parámetros que son más difíciles de alterar por los seres humanos; en este último recuadro se pueden ver los lugares con condiciones naturales más críticas.



Sobresalen en el sur del cantón las riberas de los ríos limítrofes y el sureste del distrito de Turrúcares; un poco al norte del bloque urbano sobre a la zona de fallas se tiene una franja de gran susceptibilidad erosiva; en contraste hacia el norte más allá de la divisoria de aguas, se tienen dos condiciones críticas, los máximos valores en el cerro Congo; y en la ribera del río Sarapiquí desde la divisoria hasta el cerca del poblado San Miguel; los valores menos críticos pero igualmente altos se dan en las faldas de la cordillera. Cada una de estas condiciones críticas se da por la combinación de los factores, en el entendido, que para cada lugar se tiene uno o dos condicionantes críticos. Estas condiciones críticas son amortiguadas o aumentadas por el uso que se le da al suelo. A continuación, se detallan las condiciones críticas encontradas.

Sobre el comportamiento de los Factores según sus variables; el método considera que los suelos cargados de limos y aquellos que tienen una mala granulometría, tienen una alta erosividad, esto se da debido a condiciones especiales que aumentan la resistencia del suelo, pero que solo se dan en materiales tales como arenas y arcillas. En las arenas el peso de las partículas dificulta el arrastre de los mismos, mientras que en las arcillas las fuerzas electroquímicas reflejadas en la cohesión le ceden una fuerza adicional para resistir el efecto de la gota y la escorrentía.

En la ribera del río Virilla, el río Grande y el Itiquís; se dan condiciones de fuertes pendientes que generan valores altos para el factor L y S; esto combinado con un suelo rico en limos y por tanto muy erosionable, dispara la condición de susceptibilidad a la erosión hasta valores críticos según los resultados vistos en el cantón. Esta condición se vuelve importante en algunos tramos de los ríos donde la frontera agropecuaria, se ha extendido, desprotegiendo el suelo de los efectos de la erosión.

Cerca de estos ríos en casi la mitad del distrito de Turrúcares se alcanzan condiciones críticas; de igual manera, la combinación de fuertes pendientes con suelos desfavorables, en este caso, suelos mal graduados; logran condiciones de gran susceptibilidad a la erosión. Esta situación se vuelve peligrosa debido a la intervención antrópica que se da en este distrito, donde dominan los cultivos y los pastizales.

Entre los poblados de Tacacori, Pilas y Guadalupe, inclusive un poco más al norte llegando a Sabanilla se encuentra un enjambre de fallas; esta condición tectónica a propiciado una formación particular de suelos, muy deteriorados y de carácter limoso; esto por el constante levantamiento y pliegue de las capas de suelo; usualmente en los enjambres de fallas se suelen dejar al descubierto las caras "débiles" del suelo.

Como se indica en la tesis de Mesén, según el método matemático de cálculo, los suelos limosos o con granulometría que den un diámetro promedio similar al de los suelos limosos tienen las condiciones más favorables para la erosión; esto pues los suelos de carácter arenoso o arcilloso poseen ventajas propias que evitan el proceso erosivo. Así la condición particular de suelos y las pendientes moderadas producto de la actividad de las fallas aumentan la susceptibilidad a la erosión; a todo lo ancho del cantón a la altura de los pueblos ya citados. Adicionalmente esta zona se encuentra sumamente intervenida antrópicamente aumentando la susceptibilidad a la erosión en algunos sectores de esta banda.



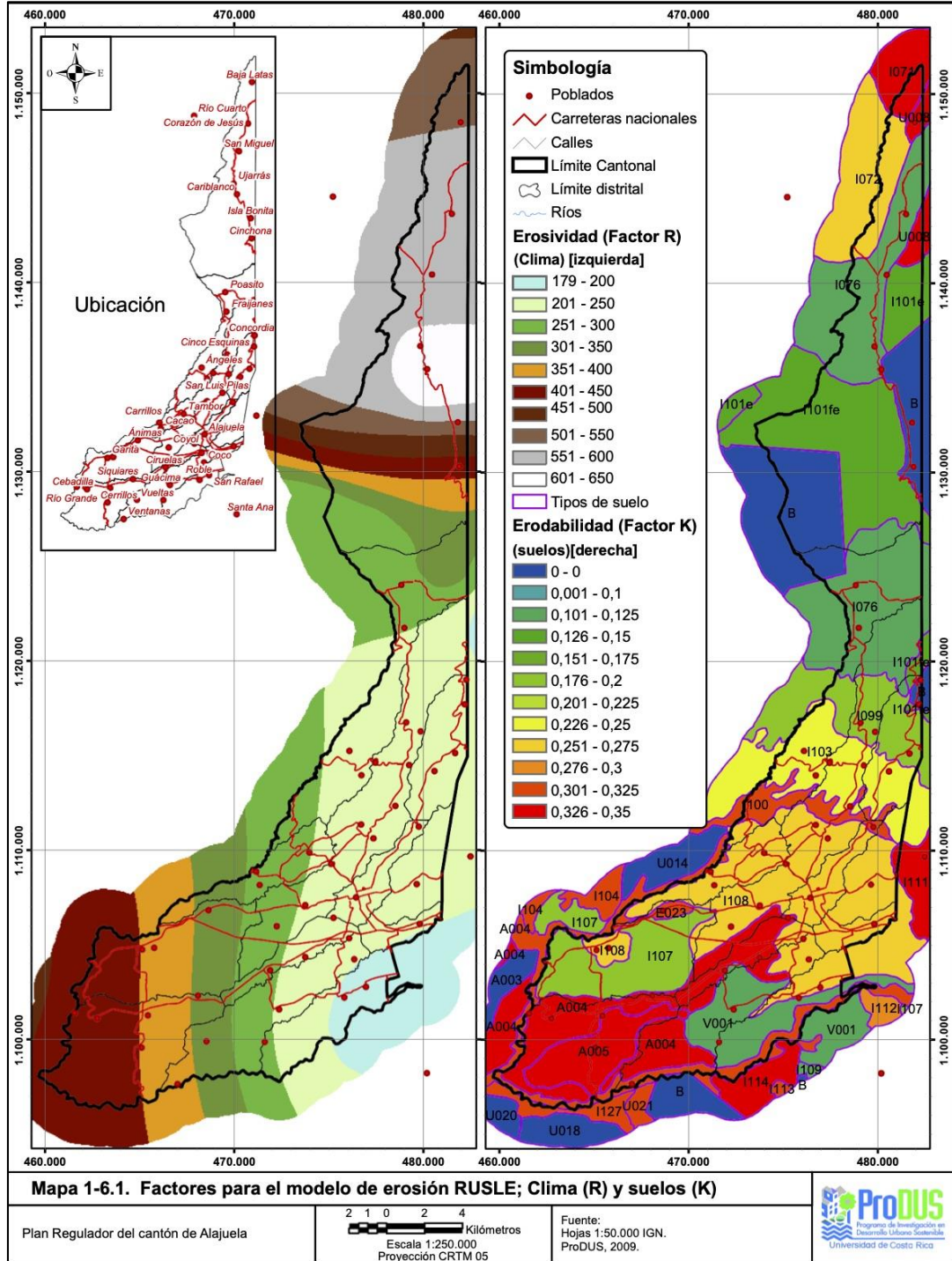
En la zona norte del cantón en el distrito de Sarapiquí; se tienen dos situaciones de susceptibilidad alta a la erosión hídrica. Estas dos situaciones extremas se dan por la combinación de las características climáticas y las altas pendientes, pues el comportamiento de los suelos en todo el distrito incluyendo la cima de la divisoria de aguases moderado a bajo en comparación con el resto del cantón; esta diferencia marcada entre los suelos de la vertiente pacífica y atlántica pueden deberse tanto al plegamiento y rotación de las capas de suelo durante la formación del país; como a el impacto que la misma erosión a tenido por la diferencia climática; así como por el comportamiento de las emanaciones volcánicas.

En esta zona se tiene un faltante importante de información, pues el informe del cual se obtienen los datos de suelos no evaluó los Parques Nacionales; observando el mapa se podría predecir que los suelos en el este, en el Refugio Forestal Cordillera Volcánica Central; mantienen un comportamiento similar, donde el suelo tipo inceptisol (I76) revelado por el relieve dominante del río Sarapiquí y la falda sur de la cordillera buscan reunirse incrustándose un poco en el cantón de Sarapiquí.

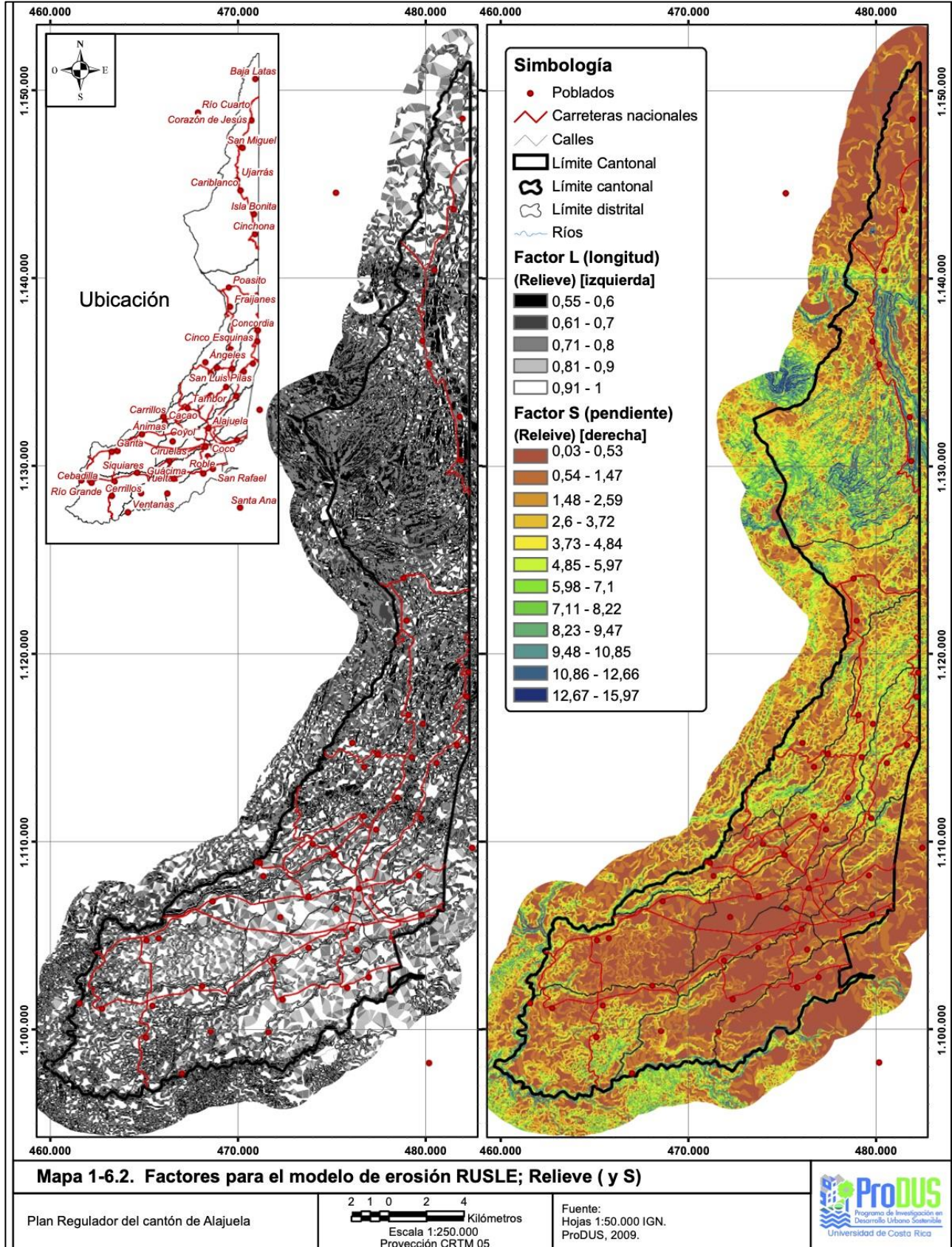
En el lado oeste, en el Parque Nacional Volcán Poas; igualmente podría esperarse que los dos tipos de suelos I76 y i101fe buscan abarcar esa área; sin embargo, por la presencia del cono volcánico y el cráter se espera la existencia de tipos de suelo diferentes. Sin embargo, esto no necesariamente implica que esta área sin información sea más o menos susceptible; pues como se observó durante el sismo del 8 de enero del 2009 hubo grandes deslizamientos en el cerro Congo y sobre la falda de la cordillera, no se observó una condición marcadamente crítica en las cercanías del volcán. La alta susceptibilidad de esta zona ante los procesos erosivos se ve controlada, gracias a los bosques presentes que mantienen estable la situación, registrando las menores tasas de erosión en las zonas boscosas y entre las mayores en las zonas intervenidas antrópicamente.

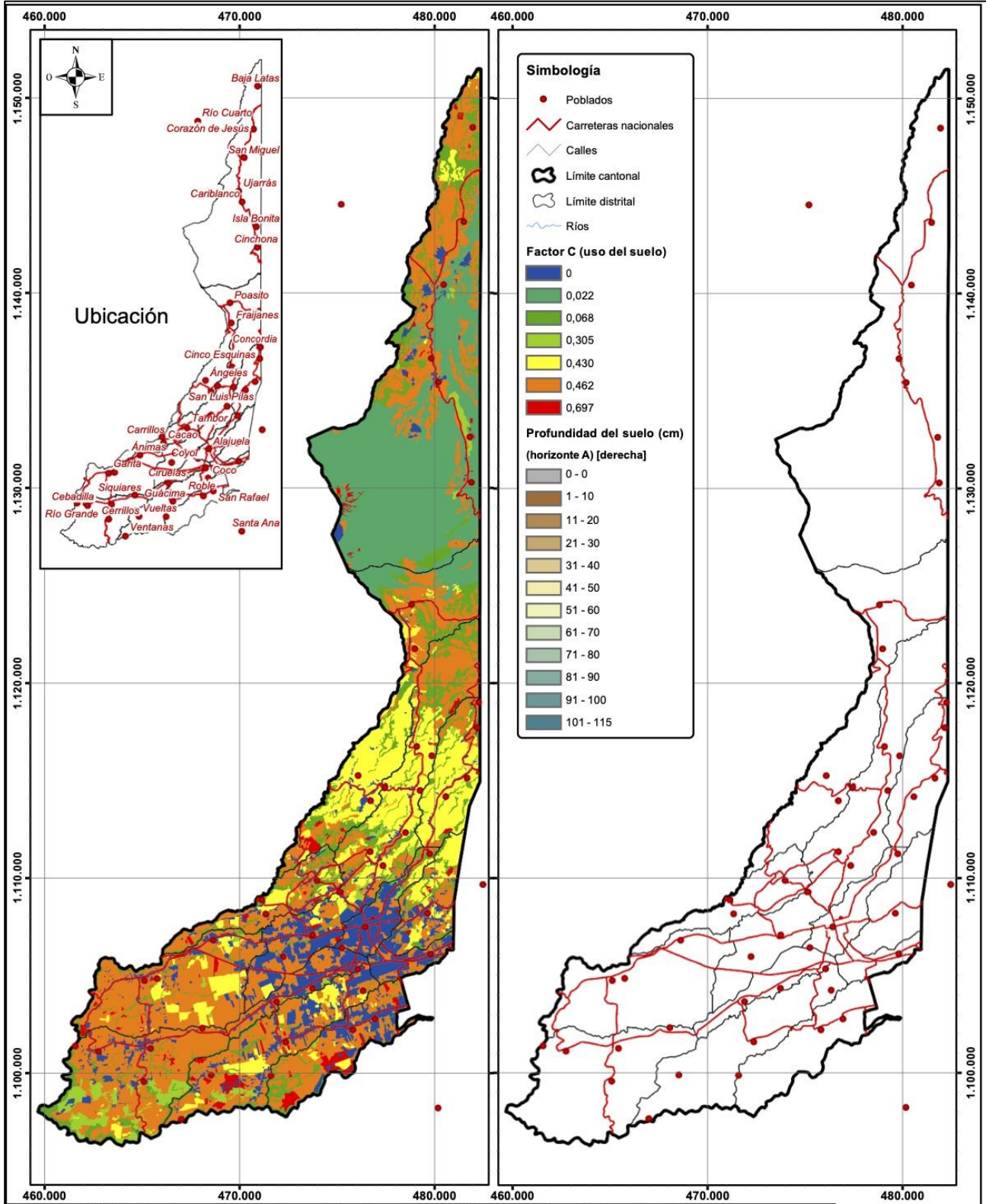
En el mapa se muestra el resultado de la erosión convertida en profundidad de suelo; y el efecto del proceso sobre la dimensión supuesta de la capa de suelo. Combinando los 5 mapas y los conceptos teórico-prácticos que sustentan cada uno es posible analizar como un conjunto los comportamientos y resultados que se observan en el Cantón. En este nuevo mapa se mantienen los comportamientos ya detallados; sin embargo, resalta la característica que mucha de la erosión esperable de acuerdo con la modelación se da sobre suelos con horizontes A de baja profundidad. Esto aumenta la degradación y meteorización de los suelos.

Finalmente cabe recordar que este análisis está sujeto a la escala de las capas de información con las que se trabajó, esto limita enormemente el análisis por el componente edafológico, pues el cantón tiene muchos procesos geomorfológicos que fácilmente pueden crear betas aisladas de tipos de suelo; o horizontes complejos donde se tengan características muy variadas para diferentes capas de suelo con espesores tan delgados como 10 cm, como se evidencio en una de las giras de campo a la localidad de La Esperanza; en este lugar se lograron observar, hasta 25 capas diferentes de suelos en taludes de apenas 2 metros de altura.









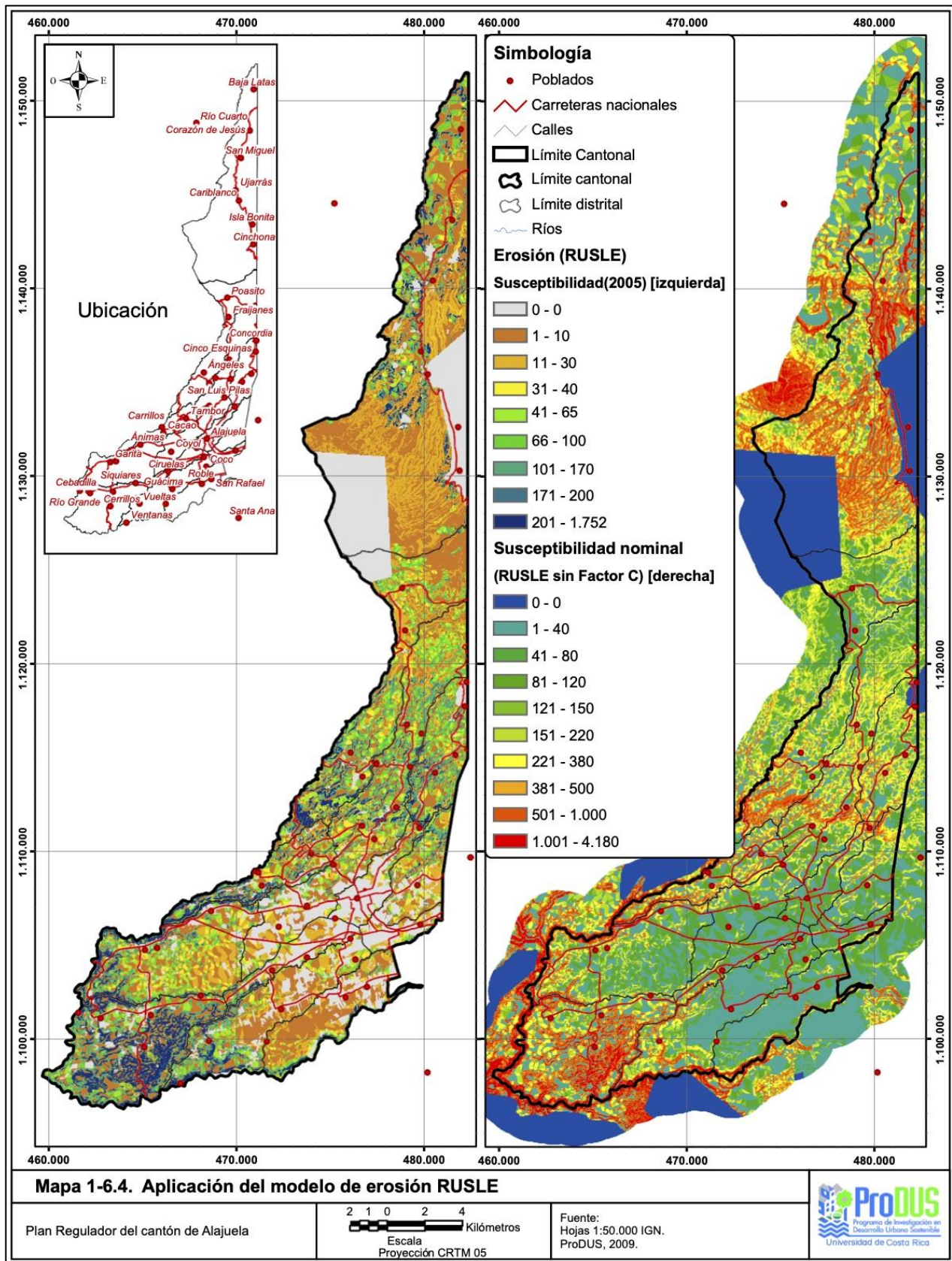
Mapa 1-6.3. Factores para el modelo de erosión RUSLE; Uso del suelo (C) y profundidad del horizonte A

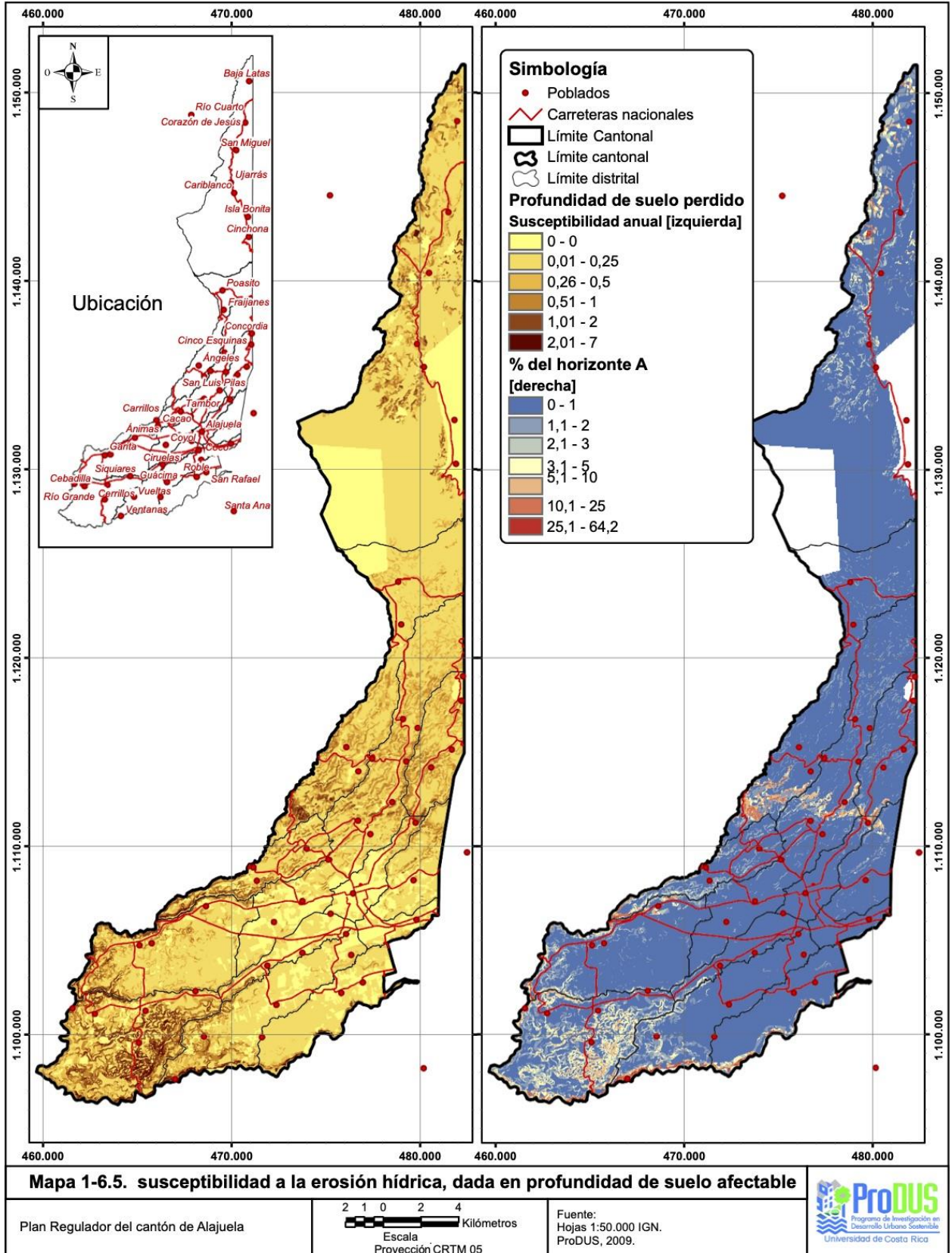
Plan Regulador del cantón de Alajuela

2 1 0 2 4  
Kilómetros  
Escala 1:250.000  
Proyección CRTM 05

Fuente:  
Hojas 1:50,000 IGN.  
ProDUS, 2009.









### **3-10. AMENAZAS NATURALES**

Desde finales del siglo XIX, diferentes instituciones se han encargado de recopilar la información referente a los desastres naturales y estudiar las actividades y situaciones que lo provocan, entre las instituciones se encuentra el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), la Red Sismológica Nacional, de la Universidad de Costa Rica (RSN-UCR), el Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica de la Universidad Nacional (OVSICORI-UNA) y la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE), entre otras instituciones.

La prevención de riesgo y control de amenazas naturales requiere un conocimiento amplio sobre las variables que definen y moldean los eventos, así como una descripción amplia del contexto en que se encuentra inmersos los eventos.

#### **3-10.1. Inventario Histórico de Desastres Naturales**

Las amenazas naturales se refieren a todos aquellos fenómenos o procesos de la naturaleza que afectan de manera negativa a la población y a la infraestructura de una región. Entre las amenazas naturales comunes al cantón de Alajuela se tienen los sismos, deslizamientos, la actividad volcánica y las inundaciones. A continuación, se muestra una tabla resumiendo los principales eventos que han ocurrido según los registros recopilados.

A partir de información recolectada desde finales del siglo XIX, se pretende citar y explicar brevemente los principales desastres naturales que se han presentado en el cantón de Alajuela. Estos se ordenarán en orden cronológico.

Es importante recordar que los primeros registros que se tienen de desastres naturales únicamente cuentan con una descripción simple, por lo que no es posible establecer el impacto que estos tuvieron.

*Inundaciones registradas en el cantón Alajuela*

<b>Año</b>	<b>Tipo de evento</b>	<b>Sitio de ocurrencia</b>	<b>Comentario</b>
1888	Inundación	Fraijanes	Río Fraijanes
1968	Inundación	Las Cañas de Alajuela	Desborde del río Ciruelas
2003	Inundaciones	Upala, Valle Central, Alajuela, Puntarenas y el Caribe	Sistema de baja presión que afecta Panamá y Costa Rica. Se decreta Emergencia Nacional

**Fuente.** CNE.



*Actividad sísmica importante registrada en el cantón Alajuela*

<b>Año</b>	<b>Tipo de evento</b>	<b>Sitio de ocurrencia</b>	<b>Comentario</b>
1638	Sismo	Parte Central de Costa Rica	
1756	Sismo	Parte Central de Costa Rica	Temblor de Buenaventura, no se conoce su epicentro
1780	Sismo	Alajuela, Cartago y Guanacaste	
1834	Sismo	Parte Central de Costa Rica	Sismo superficial tipo infra placa
1851	Sismo	Alajuela, Heredia y San José	Daños en Alajuela y San José
1888	Terremoto	Fraijanes	Causó deslizamientos y originó la laguna de Fraijanes
1910	Sismo (5,2 Richter)	Valle Central	Temblor del Tablazo
1955	Sismo (5,8 Richter)	Toro Amarillo, Zarcero, Grecia, Alajuela	Terremoto producido por falla local, ubicada al noroeste del volcán Poás.
1990	Terremoto (5,7 Richter)	Piedras Negras, Alajuela	Terremoto producido por falla local. Provocó gran cantidad de pequeños deslizamientos y hundimientos en Puriscal
2008	Terremoto (6,2 Richter)	Cinchona, Poasito, Fraijanes, Sarapiquí	Causó deslizamientos y avalanchas de lodo. Activo falla que provocó sismo de 1955.

**Fuente.** CNE, OVSICORI, RSN.

*Deslizamientos ocurridos en el cantón Alajuela*

<b>Año</b>	<b>Tipo de evento</b>	<b>Sitio de ocurrencia</b>	<b>Comentario</b>
1888	Deslizamientos	Fraijanes	Inducido por sismo, originó la laguna de Fraijanes
1989	Deslizamientos	Itiquís de Alajuela	Zona de fuertes pendientes y composición geológica débil
1992	Deslizamientos	Alajuela, Pital de San Carlos y Río Toro	Amenaza de avalanchas de lodo

**Fuente.** CNE; Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres, EIRD.



*Actividad Volcánica registrada en el cantón Alajuela*

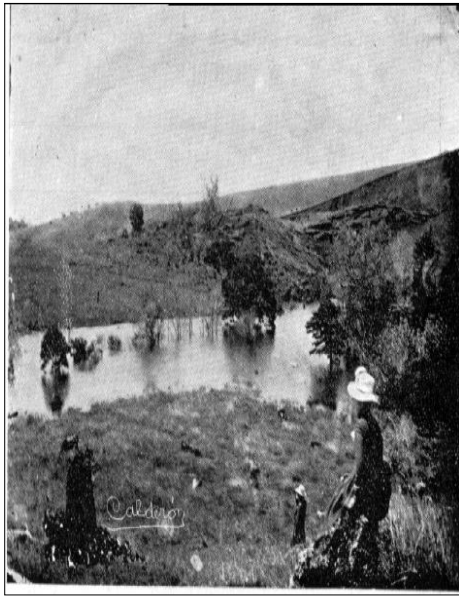
<b>Año</b>	<b>Tipo de evento</b>	<b>Sitio de ocurrencia</b>	<b>Comentario</b>
1834	Erupción Volcánica	Parte Central de Costa Rica	Erupciones de cenizas que afectaron parte del Valle Central
1904	Erupción Volcánica	Alajuela	Erupciones de ceniza
1905	Erupción Volcánica	Alajuela	Erupciones de ceniza
1906	Erupción Volcánica	Alajuela	Erupciones de ceniza
1910	Erupción Volcánica	Alajuela	Erupción acompañada de una pluma de 8 km de altura sobre el nivel del cráter y las cenizas afectaron todo el Valle Central, incluso llegaron hasta Cartago.
1953 -1955	Actividad Volcánica	Volcán Poás	Período freatomagmático, erupciones de ceniza
1988 -1990	Actividad Volcánica	Volcán Poás	Erupciones de gases y piroclásticos y lluvia ácida
1994	Erupción Freática	Volcán Poás	Actividad fumarólica dentro del cráter activo

**Fuente.** CNE, OVSICORI, RSN.

Adicionalmente se detallan algunos eventos históricos importantes, en algunos casos no fue posible obtener más información detallada.

- 1828. Actividad volcánica, Volcán Poás: Explosiones freáticas (explosión de vapor, agua, ceniza y piedras), acompañadas de ceniza y bloques ardientes.
- 1834. Actividad volcánica. Volcán Poás: Erupciones de ceniza que afectan parte del Valle Central.
- 1888. Terremoto de Fraijanes: Ocurre el 30 de diciembre de 1888. La magnitud fue de 5,8 grados en la escala Richter. Las intensidades máximas que alcanza el evento fueron entre VIII y IX grados en la escala de Mercalli Modificada. El origen del terremoto fue la falla Ángel, ubicada cerca del Volcán Poás, a 1,5 km al este de Fraijanes y tuvo una profundidad de 12,5 km.

El sismo destruye numerosas viviendas en San Pedro de Poás, Sabanilla, Santa Bárbara, y en ciudades como Alajuela, Heredia y San José donde además se afectaron edificios públicos. También se producen una gran cantidad de deslizamientos que provocaron represas temporales en algunos ríos, la caída de árboles, destrucción de potreros y caminos. Se origina la Laguna de Fraijanes. A raíz del sismo se da la muerte de 6 personas, 5 de las cuales caen al río producto del deslave del suelo donde se ubicaban sus viviendas.



*Laguna de Fraijanes luego del terremoto.*



*Deslizamientos causados por el terremoto.*

- 1889-1905. Actividad volcánica. Volcán Poás: Erupciones freatomagmáticas originadas en lago de agua caliente. También en ese periodo se presentan erupciones geysiformes intermitentes, acompañadas de actividad fumarólica permanente.
- 1910. Actividad volcánica. Volcán Poás: Erupción acompañada de una pluma de 8 km de altura sobre el nivel del cráter. Las cenizas afectaron la totalidad del Valle Central, incluso Cartago.
- 1924. Terremoto de Orotina: Ocurre el 4 de marzo de 1924 y presentó una magnitud de 7,0 grados en la escala Richter. Se dieron réplicas con magnitudes entre 5,0 y 6,4. Las intensidades máximas en el epicentro fueron entre VII y IX en la escala de Mercalli Modificada. A partir de los datos obtenidos en la época, se cree que el origen del terremoto se dio en la falla Tárcoles, aunque el sistema de fallas Bijagual tuvo participación durante el sismo. A raíz del terremoto, se activaron varias fallas al interior del país así como la actividad volcánica en el Volcán Irazú y en el Rincón de la Vieja. Además, generó daños en la línea férrea, numerosos deslizamientos, caída de rocas, agrietamientos de suelos y licuación. También se produjeron cambios en los movimientos de aguas subterráneas.
- 1953-1954. Actividad volcánica. Volcán Poás: En el mes de junio de 1953, se producen erupciones de ceniza con una columna de 7 km de altura sobre el nivel del cráter. Cae ceniza al este, noreste y noroeste del volcán. En setiembre de 1953, se presentan erupciones geysiformes acompañado de barro, ceniza, bloques y escoria. Durante noviembre de 1953, ocurren erupciones tipo estromboleano acompañadas de bombas y escorias. Para diciembre de 1953 y enero de 1954, se dan erupciones de cenizas, con caída de cenizas en sector del cráter y a una distancia de hasta 15 km.





- 1954-1955. Actividad volcánica. Volcán Poás: Erupciones de ceniza y bombas, con formación del cono interior del cráter principal con una altura de 40 m.
- 1956-1963. Actividad volcánica. Volcán Poás: Erupciones de ceniza en forma intermitente acompañadas de actividad fumarólica. Para los dos últimos años de este periodo, las erupciones de ceniza alcanzaron hasta 20 km de distancia.
- 1968. Desbordamiento río Ciruelas: Inundación en la zona de Las Cañas de Alajuela, producida por el desbordamiento del río Ciruelas el 8 de noviembre de 1968. Resultaron afectadas 12 viviendas, las cuales presentaron leves daños. No hubo víctimas mortales ni heridos.
- 1989. Deslizamiento en Itiquís: El 27 de octubre de 1989 se produce en Itiquís un deslizamiento que produjo daños en la carretera de Itiquís, así como destrucción de dos viviendas. Tuvo como saldo dos muertes y dos personas heridas.
- 1990. Terremoto de Piedras Negras, Alajuela: Se da el 22 de diciembre de 1990 con una magnitud de 5,7 grados en la escala Richter y una profundidad de 6,5 km. La intensidad máxima se registró en Alajuela y fue de VII en la escala Mercalli Modificada y una aceleración máxima de 0,45 g, es decir el 45% del valor de la aceleración de la gravedad. El sismo produjo numerosos daños en viviendas, donde se reportaron entre 268 y 300 casas dañadas en forma parcial o total en las ciudades de Alajuela, San José y Heredia. Algunas carreteras como la de la Garita se agrietaron. El movimiento produjo grandes deslizamientos en el cañón del río Virilla los cuales fueron producto de la fragmentación de las columnas de ignimbrita que conforman las paredes del cañón. Adicionalmente se presentaron otros deslizamientos de menor magnitud en la zona sur de Puriscal, donde también se dieron numerosos hundimientos.



*Edificios destruidos o altamente dañados por el terremoto.*



*Deslizamientos causados por el terremoto.*



- 2009. Terremoto de Cinchona: El 8 de enero de 2009, ocurrió un terremoto superficial de 6,2 grados de magnitud en la escala Richter y 7,1 km de profundidad. Este se localizó a 4 km al nor-noreste y 1 km al sureste de Fraijanes de Sabanilla de Alajuela. La intensidad máxima fue de IX en la escala de Mercalli. El sismo se originó por falla local (falla Vara Blanca), ubicada entre los volcanes Poás y Barva. El terremoto afectó un área que contiene 9 distritos y 4 cantones, 3 de Alajuela y 1 de Heredia. Destruyó la ciudad de Cinchona, además causó daños en Alajuela, Heredia y Río Cuarto de Grecia. Provocó avalanchas de lodo, deslizamientos y destruyó 3000 hectáreas de bosque. Por otra parte, se vieron afectadas un total de 2387 casas, de las cuales 781 resultaron destruidas. El sismo dejó 23 personas fallecidas y alrededor de 100 heridos.

Esta región se ha visto afectada por 5 terremotos previos a este, entre los siglos XIX y XX. Se registraron terremotos el 28 de marzo de 1851 con una magnitud de 6,0, luego el 30 de diciembre de 1888 en Fraijanes, con una magnitud de 6,0, el 28 de agosto de 1911 (terremoto de Toro Amarillo) con magnitud de 6,1, el 6 de junio de 1912 (terremoto de Sarchí), de 6,1 grados de magnitud y el 1 de setiembre de 1955 (terremoto de Bajos del Toro) con magnitud 5,8. De los anteriores sismos, el de Fraijanes es el que presenta más aspectos en común con el ocurrido el 8 de enero en Cinchona, ya que se cree que el primero se produjo en el mismo sistema de fallas pero hacia el sur del ocurrido en enero del 2009. El sismo de 1888 también produjo derrumbes en las paredes del cráter del Volcán Poás. Además, la intensidad reportada en el sismo de 1888 y 2009 en Cinchona fueron las mismas, lo que hace pensar, según expertos de la Comisión Nacional de Emergencias, que las rupturas fueron similares, pero rompieron segmentos diferentes del sistema de fallas.



*Carretera afectada por el terremoto.*



*Daños en carreteras y viviendas*



*Hundimientos en Cinchona.*

### 3-10.2. Amenazas Naturales del Cantón

El cantón de Alajuela se ha visto afectado por múltiples eventos de desastre a lo largo de los años, estos eventos están asociados a las amenazas naturales con las que convive el cantón. La gestión de riesgo requiere, el inventario y la comprensión de las actividades que disparan los eventos de desastre, para planificar adecuadamente las actividades humanas que se pueden realizar en cada zona y comprender los riesgos que se asumen al encontrarse en ese lugar. En el mapa se muestran las amenazas naturales que afectan al cantón, entre estas están inundaciones, deslizamientos, flujos de lodo, sismos, fallamientos locales y las volcánicas.



Las amenazas por inundación son frecuentes en las riberas de los ríos de la vertiente Pacífico, estos ríos montañosos que lentamente cambian a pendientes más bajas en la dirección del río, tienden a formar múltiples terrazas aluviales y meandros que se combinan para crear riberas muy heterogéneas. La hidrología de estos ríos es igualmente compleja, estos ríos en muchos casos tienen cuencas grandes y alargadas con regímenes pluviales diversos y cambiantes, así durante un evento intenso de caudal, sin que este llegue a ser un evento extremo, es decir eventos de menos de 1 año de período de retorno, el río se extiende hacia alguna de sus terrazas auxiliares distribuidas a lo largo de la ribera, mientras que durante un evento extremo con un período de retorno de 25 años el río podría llegar a llenar más niveles de terrazas y afectar a poblados o cultivos que se hallen en las cercanías del río. Hacia el sur y en los bordes los ríos Virilla, Poás y Ciruelas se vuelven más profundos, reduciendo la probabilidad de un riesgo para los habitantes.

Dentro de la información se encontraron referencias hacia lugares donde comúnmente se dan inundaciones por colmatación de los sistemas pluviales por acumulación de basura, dentro del mapa no se incluye los problemas que se dan en la zona urbana del cantón por el mal manejo de los desechos sólidos y su dispersión sobre los sistemas pluviales, este tema se detalla en la sección 8-5 Agua pluvial, donde se comenta los reportes de la municipalidad respecto de esta problemática y las propuestas de solución que ellos plantean.

Los flujos de lodo se dan desde el pie de monte hasta la parte alta de las montañas, estos flujos corresponden a movilizaciones coloidales de suelo y agua, a lo largo del río. La longitud y el grado de afectación de cada uno de estos eventos depende del disparador que lo provoco, la forma en planta y perfil del río, así como de la disponibilidad de agua que tenga el río. El flujo seda cuando una presa de tierra se rompe, se da un deslizamiento o el incremento de escorrentía provoca un deslave en la ribera del río, socavando el pie del talud y provocando finalmente un derrumbe que inicia la movilización de lodos por el cauce. Los sismos pueden disparar deslizamientos y derrumbes y así iniciar los flujos de lodo; estos pueden llegar a tener tanta fuerza y generar tantos daños como el flujo que se dio durante el sismo del 8 de enero, donde varios flujos de lodo destruyeron el puente sobre la catarata de La Paz, el puente del Ángel e inundaron con sedimento el sitio de máquinas del proyecto hidroeléctrico Cariblanco.

Los deslizamientos se dan en las zonas montañosas del cantón, en las riberas de los ríos y en los taludes de las carreteras. En general estos son provocados por el efecto de escorrentía o disparadores sísmicos. La escorrentía superficial, afecta las caras libres y desprotegidas de los taludes. Muchos de los deslizamientos en carretera se dan por una mala infraestructura de control de aguas pluviales; cunetas y contracunetas inexistentes o insuficientes; alcantarillas que no contemplan la variabilidad de caudal de las quebradas o no poseen toda la estructura completa que protege la carretera, tales como cajas de registro, aletones, reductores de velocidad. La falta de cunetas permite que el agua discurra libremente, erosionando los suelos, debilitándolos y sobrecargándolos. En el caso de las alcantarillas, estas pueden saturarse de agua y reventarse por presión, llevándose consigo parte de la carretera y el talud aguas abajo. También se puede dar pérdida de material de ruedo por infiltración de agua a presión dentro de la base y sub-base del pavimento.



En el caso de los sismos, estos son eventos aislados y fortuitos, que están correlacionados con las fallas, tanto el fallamiento local como el continental. La descripción de los fallamientos locales existentes en el cantón de Alajuela se incluye en los diagnósticos de Geología y Geomorfología; recapitulando una falla geológica se define como una zona tridimensional de la corteza terrestre que limitan dos bloques de esta que se mueven entre sí relativamente y al moverse liberan una gran cantidad de energía elástica, que se dispersa en forma tridimensional en el terreno, en ese momento se indica que se produce un sismo local.

Los sismos son disparadores de deslizamientos, en especial en suelos poco compactados o conformados con múltiples capas o con pendientes muy fuertes. Posterior al sismo del 8 de enero, personal del ICE encontró evidencia de un tipo de deslizamiento muy particular sobre la pared oeste del río Sarapiquí, si bien no hay información contundente para demostrar el evento, la evidencia es importante. Se formuló la teoría que durante el sismo los acuíferos confinados, por el efecto de las ondas sísmicas puede ganar rápidamente energía y presionar las paredes del confinamiento hasta hacerlo ceder, estos casos poco comunes se observan como geiser que emergen repentinamente del suelo.

En el cantón se han encontrado tres enjambres de fallas como se muestra en el mapa de sur a norte el primero se da entre los pueblos de Itiquís hasta Guaraní, cubriendo una longitud norte sur de casi 4 kilómetros, hay más de una decena de fallas que cortan el cantón de este a oeste. Más hacia el norte desde Concordia hasta la falda este del volcán Poás, en dirección noroeste-sureste se tiene una falla de gran longitud. Aún más al norte en la vertiente Caribe cerca del pueblo de San Miguel de Sarapiquí dos fallas largas cortan el cantón en dirección este-oeste.

El cantón de Alajuela, Poas y Sarchí comparten las estribaciones del volcán Poas, sin embargo, los flujos directos de piroclásticos se han dado hacia el cantón de Poas; sin embargo los otros cantones no están exentos del efecto volcánico; ya que el mismo presenta otro tipo de eventos con huellas de afectación con radio mayor y dirección diferente. El cantón se ha visto afectado por caída de cenizas y bloques, así como por lluvia ácida.



### **3-11. ECOSISTEMAS Y ZONAS DE VIDA**

El cantón central de Alajuela abarca 14 distritos, algunos con una mayor densidad de población que otros, y por ende una mayor afectación. Hacia el sector norte del cantón se localiza el distrito de mayor extensión territorial como lo es San Miguel, involucrando sectores de Sarapiquí. Hacia el sector central del cantón se localizan los distritos de Sabanilla, San Isidro y Carrizal, mientras que hacia el sector sur del cantón y menos extensos se encuentran los distritos de Tambor, Alajuela, Desamparados, Garita, San José, San Antonio, Río Segundo, Turrúcares, Guácima y San Rafael. Sobre todos los distritos se distribuye una red fluvial bien definida compuesta por los ríos: Alajuela, Itiquis, Ciruelas, Segundo, Poás, Tambor, Burío juntamente con las quebradas Cañas y Fuente.

El cantón de Alajuela presenta una considerable actividad sísmica, como ha sido evidenciado con sismos de gran magnitud, y han afectado sectores como Fraijanes y un poco más hacia el sur, sectores como Turrúcares, Guácima, Ojo de Agua y Coyol.<sup>1</sup> El último sismo causó gran afectación principalmente en sectores como Cinchona, Poasíto, Cariblanco entre otros. El cantón de Alajuela se encuentra dentro de la región sísmica denominada “Valles y Serranías del Interior del País”.<sup>1</sup> Estos movimientos telúricos han provocado deslizamientos de diversa magnitud en aquellas regiones de fuerte pendiente y aquellas cercanas a los márgenes de los ríos. También dicho cantón se encuentra cerca de los volcanes Barva y Poás, por lo tanto, es predecible actividad volcánica en la zona.

El cantón en algunos sectores presenta inestabilidad de suelos o posibilidad de deslizamientos debido a las características topográficas, geológicas y climáticas. Principalmente hacia el sector norte del cantón, los depósitos de materiales volcánicos poco compactos y fácilmente alterables puedan presentarse deslizamientos considerables.



*Efectos causados por el terremoto que afectó la zona de varios poblados dentro del cantón de Alajuela.*



### 3-11.1. Zonas de vida asociadas al Cantón

La clasificación por Zonas de Vida se refiere a las variables de geografía física mencionadas, no al uso del suelo. En este sentido, una Zona de Vida permite conocer el tipo de ecosistema que se desarrollaría en los pisos altitudinales definidos (potencialmente), caso de que existiera bosque primario o naturalmente desarrollado con especies nativas de la zona en cuestión. Las Zonas de Vida presentes en el cantón de Alajuela con sus respectivas zonas de transición son:

- **Bosque húmedo Premontano (bh-P):** Este es un bioclima muy atractivo para el asentamiento humano y probablemente es la Zona de Vida más apreciada del país, debido a su clima. Es también un excelente bioclima para el desarrollo de las actividades del uso de la tierra. El ámbito de precipitación varía entre 1200 y 2200 mm, como promedio anual y su biotemperatura oscila entre 17 y 24 °C. El bh-P presenta un periodo efectivamente seco de 3.5 a más de 5 meses. El bosque que predomina es semidecídico, con poca cantidad de epífitas, de dos estratos, árboles con fustes cortos y macizos, poco denso y con una altura aproximada de 25 metros. Se localiza hacia el sector central del cantón.
- **Bosque húmedo Tropical (bh-T):** Esta zona se caracteriza por poseer un ámbito de precipitación entre 1950 y 3000 mm anuales. Temperatura varía entre 24 y 27 °C. El periodo efectivamente seco es muy variable, fluctúa entre 0-5 meses. La vegetación está constituida por bosques relativamente altos y densos, árboles con alturas de 30 a 40 metros, presencia de tres estratos. La flora puede ser siempreverde o semidecídica dependiendo de los periodos secos largos, El suelo es generalmente desnudo y ocasionalmente presenta helechos, palmas pequeñas y epífitas. Esta zona de vida se localiza hacia el sur del cantón.
- **Bosque muy húmedo Montano Bajo (bmh-MB):** La presencia de una alta humedad en esta zona, hace que se presenten limitaciones moderadas para el desarrollo de las actividades del uso del suelo, principalmente para la producción de cultivos orgánicos; sin embargo, es bastante apropiada para el desarrollo de la ganadería de leche. Presenta un ámbito de precipitación promedio anual que oscila entre 1850 y 4000 mm, con una temperatura media entre 12 y 17° C. El periodo seco para este bioclima varía entre 0 y 4 meses. La presencia de neblina es bastante común. El bosque natural inalterado de esta Zona de Vida, que se ubica en la sección norte, se caracteriza por ser siempreverde, denso, con dos estratos, de moderada altura (25-35 m), con abundante cantidad de epífitas.
- **Bosque muy húmedo Premontano (bmh-P):** Los cultivos de tipo permanente y los pastos son las actividades que mejor se adaptan a este tipo de bosque. Precipitación entre 2000 y 4000 mm como promedio anual, su temperatura varía entre los 17 y 24 °C. Periodo seco variable (0 hasta 5 meses efectivos). La vegetación natural inalterada de mediana altura, aproximadamente entre 30 y 40 metros de altura; densidad media; de dos o tres estratos, siempreverde, con algunas especies decídicas durante la estación seca. Hay una moderada o abundante cantidad de epífitas. Se presenta hacia el sector norte del cantón, involucrando la cuenca del río Sardinal.



- **Bosque muy húmedo Tropical (bmh-T):** Zona con exceso de precipitaciones durante la mayor parte del año, generando limitaciones para el uso de la tierra y una mayor susceptibilidad para ser suelos erosionados. Suelen ser utilizados para actividades forestales, aparte de que en su condición natural inalterada presentan una gran biodiversidad. Los bosques tropicales más exuberantes y los más altos se desarrollan en esta zona, siempre verde, pocas especies deciduas, presenta tres estratos. Los árboles son altos y rectos, con troncos libres de ramas durante sus primeros 20 o 30 metros. Las epifitas y lianas son abundantes. Precipitación entre 4000 y 6000 mm como promedio anual, temperatura media de 24 a 27 °C. El período efectivamente seco puede variar entre 0 y 3.5 meses. Se localiza hacia el sector norte.
- **Bosque pluvial Montano (bp-M):** El clima de esta Zona de Vida es poco atractivo para el asentamiento humano, debido al frío húmedo imperante. Resulta también limitante para actividades agropecuarias o forestales. El ámbito de precipitación puede variar entre 2200 y 4500 mm aproximadamente. La biotemperatura y temperatura media anual oscila entre 6 y 12 °C. El período efectivamente seco no existe o es muy corto (0-2 meses). Los bosques primarios se caracterizan por ser de baja a mediana altura (10-30 m), siempreverdes, con dos estratos, densos, las epifitas son comunes, principalmente el musgo. La mayor parte de la vegetación del lugar tiene hojas coriáceas (duras y gruesas) y es común la presencia de bambú (*Chusquea*) en el sotobosque. Se localiza hacia el sector norte del cantón.
- **Bosque pluvial Montano Bajo (bp-MB):** Esta Zona de Vida resulta restrictiva para el desarrollo de las actividades del uso del suelo, debido a la excesiva precipitación pluvial y al alto grado de humedad ambiental. Es un clima muy inhóspito al hombre. Presenta un ámbito de precipitación pluvial superior a los 3600 mm como promedio anual, eventualmente podría alcanzar hasta 7500 y 8000 mm en algunos sectores. La temperatura media oscila entre 12 y 17°C. El período efectivamente seco es moderado o no existe (0-3 meses). La presencia de neblina es frecuente. Los bosques se caracterizan por ser siempreverdes, de baja a mediana altura (20-30 m), muy densos, con troncos delgados y muchas ramas, con abundantes epifitas, especialmente musgos, que comúnmente cubren todo el tronco y ramas de los árboles. Se localiza hacia el sector norte.
- **Bosque pluvial Premontano (bp-P):** Se caracteriza por una precipitación pluvial superior a los 4000 mm anuales, un rango de biotemperatura y de temperatura media anual que oscila entre 17 y 24 °C y sin período efectivamente seco definido o si se presenta es muy corto (menos de 2 meses). Los bosques se caracterizan por ser siempreverdes, con abundante cantidad de epifitas, alta biodiversidad, muy densos, de mediana altura y de tres estratos. Se localiza hacia el sector norte del cantón.

Las zonas de transición asociadas son:

- **Bosque húmedo Premontano transición a Basal:** Precipitación con un ámbito entre 1500 y 1950 mm con una biotemperatura que varía entre 24 y 24.5°C y una temperatura media entre 24 y 27.8 °C. Se localiza hacia el sector oeste del cantón.
- **Bosque húmedo Tropical transición a Premontano:** Presenta temperaturas más frescas, oscilando entre 24 y 21 °C como promedio anual, con una biotemperatura y temperatura media entre 24 y 27 °C. Se localiza hacia el sector sur del cantón.



- **Bosque muy Húmedo Premontano transición a Basal:** Presenta un ámbito de precipitación entre 3000 y 4000 mm y una biotemperatura media anual de 24 a 25°C con un ámbito de temperatura entre 24 y 27 °C. Esta zona de transición puede verse como una condición intermedia entre el Bosque húmedo Tropical (bh-T) y el Bosque muy húmedo Tropical (bmh-T). Se localiza hacia el sector norte del cantón, prácticamente es un pequeño sector (la punta norte del cantón) que se encuentra limitrofe con otros cantones colindantes.
- **Bosque muy Húmedo Tropical transición a Premontano:** Con una precipitación entre 4000 a 5500 mm, y con un ámbito de temperatura y biotemperatura equivalente a 21.5 a 24°C. Se localiza hacia el sector norte del cantón, en la cuenca del río Sardinal.

La clasificación de las Zonas de Vida se debe principalmente a los factores climáticos mencionados y no al uso del suelo. Una Zona de Vida permite conocer el tipo de ecosistema predominante si aún se conservan los tipos de bosque característicos de estas zonas.

### 3-11.2. Tipos de cobertura biótica

Los límites del cantón de Alajuela, hace que el cantón mantenga una forma muy particular, mostrando como especie de “cuña” hacia el sector norte el cual involucra los sectores de las llanuras de Sarapiquí, Llano Grande, La Virgen, San Miguel abajo y parte de Río Cuarto. Esta zona se caracteriza por tener condiciones climáticas particulares, como son humedad relativa alta, abundante precipitación y temperaturas elevadas, con alturas que oscilan entre los 35 hasta los 500 metros. Aquí encontramos varios tipos de bosque con vegetación muy diversa, los cuales se agrupan en Bosques muy húmedos tropicales a transición a Premontano.

Al recorrer lugares como La Virgen y Llano Grande se observó la presencia de amplias extensiones de tierra cultivadas de piña y el desarrollo de actividad ganadera en potreros con pocos árboles; éstos árboles se localizaron principalmente en cercas vivas y en zonas de protección de las quebradas y ríos de la zona como el río Sardinal. Al irascendiendo, la cobertura boscosa se observa disminuida, principalmente por la ganadería, observándose solo potreros sin árboles y con parches de bosque sólo en aquellas zonas con pendientes muy pronunciadas en las márgenes de los cauces de los ríos como es el caso de los poblados de Río Cuarto y San Miguel. El único lugar con bosques secundarios y parches de bosque primario es Toro amarillo, el cual por mantener pendientes mayores a los 45 grados mantiene vegetación, caso similar ocurre también con Laguna Hule, y la colindancia con el Refugio mixto de Vida silvestre Bosque Alegre con evidentes extensiones de bosque. En las anteriores zonas predominan especies de árboles como el Gavilán, Jacaranda, Aceituno, Fruta dorada, Targuá, Cecropias, las Ceibas y Ceibo barrigón, Burío, Sota caballo, Manteco, Lagarto, Guácimos, Gallinazo, Balsa, Caobilla, Pastora de montaña, Laurel y los Mayos.

En las zonas húmedas y más altas, cerca de los 500 metros sobre el nivel del mar como la parte alta de Toro amarillo y Laguna hule y subiendo hacia Cinchona tenemos cobertura boscosa con árboles característicos a la zona como son los Cedros, Quina (*Cinchona officinalis* Rub.), Canfinillo, Aguacatillos, Nance macho, Virola, Hoja dorada, Higuerones, Canilla de mulao marías, Jaúl, Falso Cristóbal y Capulín. Los árboles que predomina en las cercas vivas están el Indio desnudo y el Madero negro, además de algunos árboles utilizados en éste tipo de cercas como son el Pochote, Nance y Guachipelines (*Dyphisa americana* Fab.).





Desarrollo de cultivos de piña y ganadería en la zona.

### 3-11.3. Bosques primarios, humedales y áreas de protección.

Estas zonas donde aún se localizan parches de bosque con vegetación considerable y algunos potreros que por su topografía se inundan y forman lagunas o humedales pequeños se localizan principalmente hacia el sector norte del cantón, en las áreas de Sarapiquí, San Miguel y la colindancia con Bosque Verde.

Este es un bosque con precipitaciones anuales de hasta 3000mm, con temperaturas entre 27 y 28° C, siempreverde, muy húmedo, denso y con varios estratos de vegetación. Los árboles del estrato superior tienen un tallo recto, ancho y ramificado a gran altura (Vargas 1997). De esos bosques primarios en la zona de estudio solo quedan algunos componentes como árboles aislados en zonas de protección de los ríos como el Sarapiquí, y algunos afluentes o quebradas. Algunos de estos árboles son el Aguacatillo (*Ocotea atirrensis*, *O. veraguensis* Laur.), Areno (*Qualea paraensis*, Voch.), Caobilla (*Carapa guianensis*, Mel.), Zapatero o Pilón (*Hyeronima alchornoides*, Euf.), Ceiba (*Ceiba pentandra*, Bomb.), Manú (*Minquartia guianensis*, Olac.), Huella de perro (*Sloanea picapica*, Ela), Espavel (*Anacardium excelsum*), Ceibo (*Ceiba pentandra* Bomb.), *Bombacopsis sessilis*, Bomb., Cedro amargo (*Cedrela odorata*, Mel), Yema de huevo (*Chimarrhis latifolia*, Rub), Mora (*Maclura tinctoria*, Mor), Guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*, Fab), Jabillo (*Hura crepitans*, Euf), Chilamate (*Ficus tonduzii*, Mor), Aceituno (*Simarouba glauca*, Simar), Fruta dorada (*Virola koschnyi*, *V. guatemalensis*, *V. sebifera*), Manú (*Vitex cooperi*, Verb) Cedro dulce (*Cedrela tonduzii*, Mel), Tabacón (*Cespedesia macrophylla*, Ochn), *Alfaroa costaricensis*, Jug, *Stemmadenia alfari* Apo, *Cymbopetalum costarricense* Anon, *Guatteria aeruginosa* Anon, *Miconia matthaei* Mela, *Nectandra salcifolia* Lau y *Zamia squinerii*, Canfín (*Protium costarricense*, *P. glabrum*, *P. panamense*), Hoja plateada (*Otoba novogranatense*), Canilla de mula (*Miconia calvescens*, *Conostegia xhalapensis*), Moquillo (*Saurauia montana*, *S. yasique*), Madroño (*Elaegia uxpanapensis*, *E. auriculata*), *Brunelia standlleana*, *Ruagea glabra*, Yos (*Sapium glandulosum*), y Mayos (*Vochysia guatemalensis*, *V. ferruginea*).



*Parches de bosque en zonas altas y lagunas estacionales.*

#### **3-11.4. Bosques Secundarios.**

Este bosque se presenta asociado con remanentes de bosques primarios en sectores de Sarapiquí, San Miguel, Toro Amarillo y Laguna Hule. Estos bosques son comunes en la zona y son de gran altura. Los podemos ver en las zonas de protección de los ríos, en pendientes de inclinación considerable, en remanentes de bosque en potreros y plantaciones, zonas de recuperación y sucesión espontánea.

Se ven especies como Capulín (*Trema micrantha* Ulm, *Muntingia calabura*, *Trichospermum galeotii* Til), María (*Miconia argentea* Mel.), Gallinazo (*Schizolobium parahyba*), Guácimo blanco (*Goethalsia meiantha* Est), Botarrama *Vochysia alleni*, *V. ferruginea*, *V. guatemalensis*, *V. megalophylla*, Indio desnudo (*Bursera simarouba*), Jobo (*Spondias mombin* Anac), Jocote (*Spondias purpurea* Anac), Higuierón (*Ficus goldmanii* Mor), Poroporo (*Cochlospermum vitifolium* Cocl), Madero negro (*Gliricidia sepium* Fab) y Guácimos (*Guazuma ulmifolia*, *G. invira*, *Luehea semanii*, *L. alternifolia* Est), Manglillo (*Tessaria integrifolia* Ast), Sotacaballo (*Zyglalongifolia* Fab), Peine de mico (*Apeiba tibourbou* Til), Caña blanca (*Gynerium sagittatum*), Amapola (*Malvaviscos arboreus* Malv) y Saragundí (*Senna reticulata* Fab), Balsa (*Ochroma pyramidale* Bom) y Guarumo (*Cecropia spp* Ceccr), Laurel (*Cordia alliodora*, *C. cymosa*, *C. eriostigma*, *C. meglantha*, *C. bicolor* Borag.).

#### **3-11.5. Bosques Secundarios en Recuperación.**

Desde el sector sur de Sarapiquí hacia Sabanilla se puede divisar éste tipo de bosque en recuperación en algunos sectores. Consiste en un bosque secundario, muy alterado y en recuperación o sucesión espontánea. Este bosque secundario en recuperación es muy ralo, con árboles que ostentan un tamaño de aproximadamente 6 a 15 metros y abundante charral o arbustos.

Es común ver especies jóvenes de árboles creciendo cerca de ríos y quebradas como Balsa (*Ochroma pyramidale*), Guácimo colorado (*Luehea seemanii*, *L. speciosa* Til), Guácimo ternero (*Guazuma ulmifolia*, *G. invira*), Gavilán (*Pentaclethra macroleoba* Fab), Saragundí (*Senna reticulata*), Papayillo (*Oreopanax xalapensis* Aral), Nance (*Birsonima crasifolia* Malp), targua (*Croton draco* Euf), Jabillo



(*Hura crepitans*), Chilamate (*Ficus tonduzii*, *F. costarricana*, *F. máxima* Mor), Indio pelado (*Bursera simaruba*), Achotillo (*Viznia ferruginea* Clus), Guitite (*Acnistus arborescens* Sol), Madero negro (*Gliricidia sepium* Fab), *Dendropanax arboreus* Aral, *Heliocarpus appendiculatus*, *Hampea appendiculata* Til, Aceituno, Guaba de caite (*Inga spectabilis* Fab), Ceiba, ceibo barrigón, Achotillo (*Viznia ferruginea* Clus), Targuá (*Croton draco*, *C. smithianus* Euf), Manteco (*Cupania glabra* Sap), Jacaranda (*Jacaranda caucana* Bign) Sota caballo (*Zigia longifolia* Fab.), Jobo, Laurel (*Cordia alliodora* Bor), Cacao de montaña (*Herrania purpurea* Est), Mayo blanco y Mayo colorado.

### 3-11.6. Potreros arbolados o cultivos agroforestales.

Más hacia el centro del cantón, en San Isidro, Carrizal y Sabanilla abajo se localizan extensiones de terreno dedicadas a cultivos como el café y plantas ornamentales. En algunos sectores aún se mantienen potreros con pocos árboles, que muy posiblemente se conviertan en zona de producción de monocultivos u ornamentales.



Hay especies como Platanillas. (*Heliconias* sp. y *Calathea* sp.), Capulín (*Trema micrantha*, *Muntingia calabura*, *Trichospermum galeotii*), María (*Miconia argentea*), Gallinazo (*Schizolobium parahyba*), Guácimo blanco (*Goethalsia meiantha*), Botarramas o Mayos (*Vochysia* spp.), Indio pelao (*Bursera simarouba*), Jocote (*Spondias purpurea*), Higuierón (*Ficus goldmanii*), Poro poro (*Cochlospermum vitifolium*), Madero negro (*Gliricidia sepium*), Guácimo (*Guazuma ulmifolia*), Balsa (*Ochroma pyramidale*), Guácimo colorado (*Luehea seemannii*), Cedro amargo (*Cederla odorata*), Gavilán (*Pentaclethra macroloba*), Botarama (*Vochysia ferrugínea*), Saragundí (*Senna reticulata*), Papayillo (*Oreopanax xalapensis*), Nance (*Birsonima crasifolia*), Manú (*Vitex cooperi*) y Achotillo (*Viznia ferruginea*).

Existen plantaciones forestales y agroforestales con Pochote (*Bombacopsis quinata*), Amarillón (*Terminalia amazonia*), Surá (*Terminalia oblonga*), Melina (*Gmelina arborea*), teca (*Tectona grandis*) y cercas vivas con Pochote, Madero negro e Indio desnudo.



### 3-11.7. Pastos, áreas de cultivo, zonas de uso antrópico (Categoría V muy bajo).

Estos escenarios se aprecian principalmente hacia el sector sur del cantón, donde predominan zonas residenciales como son Río Segundo, San Antonio, San Rafael, la Guácima y San José. Áreas con extensiones amplias de potreros (Fotografías 9 y 10) se aprecian hacia los sectores de Turrúcares y La Garita, los cuales se ha convertido en sitios de esparcimiento familiar con un crecimiento acelerado a la creación y venta de terrenos para ser utilizados como “quintas residenciales”. Hacia el sector de Alajuela, Tambor y San José, se observan cultivos de caña, café y potreros con árboles en sus cercas vivas.

Esta es una vegetación que se encuentra entre cultivos, jardines y a orillas de calles en cercas vivas. A menudo se compone de especies típicas de áreas abiertas o pioneras en remanentes de bosques o creciendo en forma solitaria en repastos u orillas de los lotes de las viviendas.

Es común observar Platanillas (*Heliconias* sp. y *Calathea* sp.), María (*Miconia argentea*, *Conostegia xhalapensis*), Gallinazo (*Schizolobium parhyba*), Guácimo blanco (*Goethalsia meiantha*), Botarramas o Mayos (*Vochysia ferruginea*, *Vochysia guatemalensis*, *Vochysia alleni*), Indio desnudo (*Bursera simarouba*), Jobo (*Spondias mombin*), Jocote (*Spondias purpurea*), Higuerón (*Ficus goldmanii*), Mango (*Manguijera indica*), Madero negro (*Gliricidia sepium*), Guácimo (*Guazuma ulmifolia*), Nance (*Byrsonima crassifolia*), *Malvaviscus arboreus*, *Ibiscus rosa cinensis*, *Brunfelsia phauciflora*, *Croton* spp, *Musa paradisíaca*, *Musa velutina*, *Cecropia* spp, Lorito (*Cojoba arborea*), *Artocarpus altilis*, *Vismia macrophylla*, *Vismia ferruginea*, *Lonchocarpus* spp, *Castilla elástica*, Llama del bosque (*Spathodea campanulata*) y Roble de sabana (*Tabebuia rosea*, *T. ochracea*).

La vegetación asociada a los potreros con sus árboles dispersos, predominan especies como Cedros, Ron ron, Poró (*Erythrina poeppigiana*, *Erythrina* spp Fab.), Guachipelines, Robles de sabana, Cortezas, Indio desnudo, Caña fístula (*Cassia fistula* Fab.), Quebracho (*Lysilomadivariatum* Fab.), Guácimos, Espavel, Balsas, Guanacastes, Aguacate, Madero negro, Ceiba, Nance, Indio desnudo, Yos, Chilamate, Eucaliptos, Pino, Ciprés, Orgullo de la india (*Iagerstroemia speciosa* Litr.), Laurel, Guitite (*Arcnistus arborescens* Solan.), Guabas, Teca, Jobo, Jocote, Mango, *ocotea atirrensis*, *myriocarpa longipes*, *Cecropia* spp.





### 3-11.8. Áreas Silvestres Protegidas

- a) Área de Conservación Cordillera Volcánica Central: Una pequeña franja hacia el norte del cantón de Alajuela involucra dicha cordillera. El Área de Conservación Cordillera Volcánica Central es una cadena montañosa en la que sobresalen siete macizos volcánicos. Tiene una extensión aproximada de 594 Ha, de las cuales 135 representa alguna de las categorías de manejo de áreas silvestres protegidas y el restante 459 es su área de amortiguamiento. <sup>2</sup> La precipitación oscila entre los 2.500 mm en el sector pacífico de la Cordillera Volcánica Central y 5.500 mm anuales en el sector caribe. Esta característica conjuntamente con otros factores de tipo geográfico, hacen que en esta región se produzca gran cantidad de nacientes de agua y mantos acuíferos, de ahí su gran importancia económica y social. <sup>2</sup> Las variaciones en topografía, precipitación y temperatura han hecho de esta área una región de gran diversidad biológica, con tipos de vegetación que varían desde el bosque húmedo tropical, pasando por el bosque pluvial montano bajo; hasta el pluvial subalpino o páramo de vegetación achaparrada. <sup>2</sup>
- b) Zona Protectora Río Toro: Un pequeño sector hacia el noroeste del cantón se ubica dicha Zona. Presenta una extensión aproximada de 4.304 Ha. <sup>4</sup> Su importancia radica en la protección de la mayor parte de la cuenca alta y media del Río Toro, principalmente debido a la existencia de los proyectos hidroeléctricos Toro I y Toro II. La mayor parte de esta zona protectora está cubierto de bosques, con especies como el cedro dulce (*Cedrela tonduzii*) y el roble (*Quercus spp.*). <sup>5</sup>
- c) Refugio Nacional de Vida Silvestre Bosque Alegre: Se encuentra limítrofe hacia el sector noroeste del cantón. Presenta una extensión de 833 Ha. Su importancia es la protección al humedal lacustrino y a áreas de recarga de acuíferos de la zona. Está constituido por las lagunas Congo, Hule y Bosque Alegre. Bosques primarios y secundarios que albergan diversidad de organismos. <sup>6</sup>
- d) Parque Nacional Volcán Poás: Éste parque se encuentra localizado dentro de la Cordillera Volcánica Central, hacia el norte de la ciudad de Alajuela. Presenta una extensión aproximada de 6.506 Ha. Actualmente es uno de los volcanes más espectaculares del país y de extraordinaria belleza escénica. Posee varios tipos de hábitats como el bosque nuboso que es muy húmedo y denso, con árboles que superan los 20 m de altura, de los cuales se encuentran cubiertos de musgos, epífitas, helechos y bromelias

Hacia el sector caribe, los bosques son más altos, muy húmedos, ricos en palmas, helechos arborescentes y epífitas. En otras áreas del parque, donde la emisión de gases y las antiguas erupciones han destruido la vegetación primaria, crecen especies que se han adaptado a tales condiciones.<sup>3</sup> El Parque, es uno de los atractivos naturales más importantes para el turismo nacional e internacional. Es una de las áreas del sistema que recibe mayor afluencia de visitantes debido a excelentes instalaciones, miradores, senderos entre otros (Boza, 1978). Contiene un considerable potencial energético, producto de los recursos hídricos y geotérmicos.<sup>3</sup>



Esta zona es la que contiene especies de más altura al pasar por Poasito, Cinchona, Catarata de la paz, Carrizal, donde encontramos bosque primario en el cañón del Río Sarapiquí y secundario en las faldas del Volcán Poás, el resto hacia abajo por Poasito, Carrizal, Fraijanes y San Isidro son potreros y plantaciones de café con árboles aislados. El bosque primario y secundario de altura de esta zona posee especies como Tucuico (*Ardisia revoluta*), Moquillo, Cedros, Jaules, Cacho de venado, Ciprés, Pino, Ratoncillo (*Myrcine coriácea*), Nance macho, Tirrá (*Ulmus mexicana* Ulmac.), Capulines, Guácimos, *Werklea insignis*, Caraigra (*Lipia myriocephala*).

Existe la creación de un proyecto privado denominado Corredor Biológico Garcimuñoz, el cual pretende involucrar y conectar el Parque Nacional Volcán Poás con el corredor biológico Montes del Aguacate conjuntamente con la Zona Protectora el Rodeo, manteniendo una posible conexión “verde” entre éstas zonas. Comprende parcialmente los cantones de Alajuela, Poás, Grecia y Atenas de la provincia de Alajuela y el cantón de Mora de San José.

El proyecto del Corredor Biológico Garcimuñoz, estaría involucrando sectores particulares como es la totalidad del distrito de Turrúcares, parte de los distritos de la Garita, Guácima, Tambor, Sabanilla y San Isidro, prácticamente los sectores noroeste de cada uno de éstos distritos.

Se debe tener presente la producción agrícola presente dentro de algunos sectores de éstos distritos, donde se cultiva café y caña, además de zonas dedicadas a la actividad ganadera, por lo cual se presentaría una menor disposición de cobertura vegetal para integrarla al posible corredor biológico. Además la principal conexión “verde” que se presenta en la conectividad del corredor con el cantón de Alajuela, está asociada principalmente a los reductos boscosos presentes en las márgenes de los ríos involucrados principalmente el río Poás, además conjuntamente con el río Grande, Virilla, Ciruelas y Jaris.

### 3-11.9. Especies de fauna identificadas en el Cantón.

El grupo faunístico más representativo del cantón fueron las aves. Ésta fauna fue observada en el bosque secundario, cerca de quebradas o ríos y potreros, incluso en zonas residenciales. Las especies más comúnmente observadas fueron el Pechoamarillo (*Pitangus sulphuratus*), el tijo (*Crotophaga sulcirostris*), Comemaíz (*Zonotrichia capensis*), Yigüirro (*Turdus grayi*) entre otros. Es posible que la diversidad de aves aumente, asociado esto a la permanencia de especies arbóreas que son fuente de recurso alimenticio como son los árboles de *Cordia alliodora*, *Ficus sp.*, y *Miconia argentea*, entre otros. Se han identificado 79 especie de aves. <sup>7</sup>



Se logró observar un grupo de juveniles armadillos o cusucos (*Dasypus novemcinctus*) en el sector de Poás y ardillas (*Sciurus variegatoides*). Es de esperar, principalmente hacia el sector norte del cantón, una mayor diversidad de especies, por ser éstas áreas con más parches de bosque disponibles. Los residentes indican la presencia de otros animales, aún así la diversidad de animales en las zonas altas es relativamente baja.

Un factor desfavorable para la observación de fauna, fueron las condiciones de lluvia imperantes en la zona en el momento del muestreo, por lo que es de esperar una mayor diversidad asociada al área estudiada, tanto en época seca como la época lluviosa.

### 3-11.10. Especies en peligro de extinción de flora y fauna.

Según la lista de especies de flora y fauna para Costa Rica de acuerdo con la Ley de Conservación de la Vida Silvestre, el Convenio sobre el Comercio Internacional de Especies de Fauna y Flora Salvaje Amenazadas (CITES) y la Unión Internacional de Conservación de la Naturaleza (UICN), dentro del área estudiada, se identificaron y se encuentran en peligro de extinción las siguientes especies:

- Ron ron (*Astronium graveolens*)
- Cedro amargo (*Cedrela odorata*)
- Areno (*Qualea paraensis*)
- Manú (*Minuartia guianensis*)

En poblaciones reducidas o escasas se encuentran el Surá (*Terminalia oblonga*), Amarillón (*Terminalia amazonia*), Ceibas (*Ceiba pentandra*) y el Guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*). Dentro de la fauna identificada, se encuentran en peligro de extinción debido a la cacería ilegal y pérdida de hábitat el caucel (*Leopardus wiedii*)



Especies de fauna identificadas y observadas en el área de estudio.

Familia	Nombre científico	Nombre común
<b>Mamíferos</b>		
Leporidae	<i>Sylvilagus brasiliensis</i>	Conejo de monte *
Dasypodidae	<i>Dasyopus novemcinctus</i> *	Armadillo o cusuco
Canidae	<i>Canis latrans</i>	Coyote
Erethizontidae	<i>Sphiggurus mexicanus</i>	Puercoespín o Cuerpoespín *
Mustelidae	<i>Mustela frenata</i>	Comadreja *
Felidae	<i>Leopardus wiedii</i>	Cauel * **
Sciuridae	<i>Sciurus variegatoides</i>	Ardilla o chiza
<b>Aves</b>		
Cathartidae	<i>Coragyps atratus</i>	Zoncho
Columbidae	<i>Columbina talpacoti</i>	Tortolita rojiza
	<i>Leptotila verreauxi</i>	Paloma Coliblanca
Cuculidae	<i>Crotophaga sulcirostris</i>	Tijo
	<i>Piaya cayana</i>	Bobo ardilla
Emberizidae	<i>Zonotrichia capensis</i>	Comemaíz
Parulidae	<i>Dendroica virens</i>	Reinita negrigrande
	<i>Wilsonia pusilla</i>	Reinita
Picidae	<i>Piculus rubiginosus</i>	Carpintero careto
Ramphastidae	<i>Ramphastos swainsonii</i>	Quioro o Dios-te-dé
	<i>Aulacorhynchus prasinus</i>	Curre
Thraupidae	<i>Ramphocelus passerinii</i>	Sargento
Trogonidae	<i>Trogon collaris</i>	Trogón acollarado
Turdidae	<i>Myadestes melanops</i>	Jilguero
	<i>Turdus grayi</i>	Yigüirro
	<i>Turdus plebejus</i>	Yigüirro de montaña
Tyrannidae	<i>Contopus cooperi</i>	Mosquitero olivaceo
	<i>Pitangus sulphuratus</i>	Pecho amarillo
	<i>Myiozetetes similis</i>	Mosquitero cejiblanco o Pecho amarillo
Vireonidae	<i>Vireo olivaceus</i>	Vireo ojirrojo
<b>Reptiles</b>		
Corytophanidae	<i>Basiliscus plumifrons</i>	Doble cresta
Phrynosomatidae	<i>Sceloporus malachiticus</i>	Lagartija de tapia
Polychrotidae	<i>Norops humilis</i>	Lagartijilla
	<i>Norops limifrons</i>	Lagartijilla
Viperidae	<i>Bothriechis schlegelli</i>	Oropel, bocaracá
	<i>Bothrops asper</i>	Terciopelo
	<i>Porthidium nasutum</i>	
<b>Anfibios</b>		
Dendrobatidae	<i>Dendrobates pumilio</i>	Rana roja venenosa ***
	<i>Dendrobates auratus</i>	Rana verde venenosa ***

\* Los residentes indican la presencia de estas especies

\*\* Especies en peligro de extinción. Apéndice I CITES

\*\*\* Especies con poblaciones reducidas. Apéndice II CITES





La permanencia de cierto grupo de mamíferos en la zona manifiesta que aún existen parches de bosque secundarios que brindan alimento y protección a este grupo. Es muy importante conservar, además de aumentar mediante reforestación algunos sectores boscosos, con la finalidad de mantener los grupos de fauna asociada a estos bosques, disminuyendo la posibilidad de desplazamiento en busca de mejores condiciones o por destrucción de hábitat de las especies observadas. Es de esperar que la zona mantenga un mayor número de individuos de otras especies de fauna que no fue posible determinar los días de muestreo.

### **3-11.12. Zonas boscosas y conectividad ecológica.**

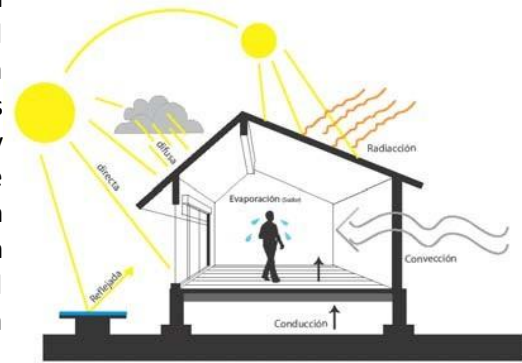
La conectividad ecológica posible para la zona está basada en la propuesta de la creación del Corredor Biológico Mesoamericano (CBM), el cual es una agenda política, determinada por la visión de bien común de los diferentes países que conforman la iniciativa (los siete países de Centroamérica más México).

En términos generales el conjunto de áreas protegidas de la región ha hecho énfasis en proteger ecosistemas de montaña como los picos y volcanes con bosques nublados, y selvas bajas tropicales lluviosas. Sin embargo, muchas zonas de endemismo, o ecosistemas únicos, no están bien representados en el Sistema de Áreas Protegidas de Centroamérica. Se pretende desarrollar un corredor biológico denominado Garcimuñoz, el cual involucraría algunos sectores conjuntamente con el cantón de Alajuela.



### 3-12. CLIMATIZACIÓN PASIVA

La climatización Pasiva consiste en el diseño de edificaciones teniendo en cuenta las condiciones climáticas, aprovechando los recursos disponibles (sol, vegetación, lluvia, vientos) y así disminuir los impactos ambientales, para reducir los consumos de energía. El diseño bioclimático como también se le conoce consiste básicamente en conseguir que el planteamiento de la vivienda o edificio sea adecuado para el clima y las condiciones del entorno con el fin de conseguir una situación de confort térmico en su interior utilizando los factores de su contexto para reducir el impacto negativo en el medio y minimizar el consumo energético utilizando estrategias de climatización pasiva para ello. Los sistemas solares pasivos son formas de utilizar precisamente el calor emitido por el sol sin mecanismos o dispositivos electromecánicos para climatizar el interior de una edificación, usando principios como la convección, conducción o radiación del calor y recursos como la protección eólica, el aislamiento térmico, la protección solar, la ventilación o la masa térmica.



Un edificio bioclimático necesita funcionar en climas diferentes ya sea en época lluviosa o época seca, una propuesta de este tipo, gracias a su diseño, proporciona el confort adecuado consumiendo una menor cantidad de energía, y así generando una menor contaminación.<sup>1</sup> Se trata de que la vivienda u otro se aproveche de las condiciones climáticas y que esté protegida de las condiciones adversas. Las medidas de diseño, si se aplican desde el primer momento, no suponen ningún coste adicional, esto porque el diseño es la forma más factible de enfrentar esta problemática desde un principio tomando en cuenta todos los factores que inciden se puede desarrollar un resultado mucho más ajustable a la necesidad. La ubicación determina las condiciones climáticas con las que la vivienda tiene que "relacionarse". Podemos hablar de condiciones macro climáticas y micro climáticas.

Las condiciones macro climáticas son consecuencia de la pertenencia a una latitud y región determinada, entendiéndose como la ubicación de la misma. En Costa Rica existe una gran cantidad de microclimas que afectan los diversos sectores, ya que la existencia de topografía u otros factores crean estas condiciones. Los datos más importantes que las definen son:

- Las temperaturas medias, máximas y mínimas: Esto para establecer las necesidades de confort necesarias para cualquier sitio, desde calientes o frías y las estrategias para enfrentarlas.
- Las precipitaciones durante los diferentes meses del año: Para comprender necesidades de tratamientos en fachadas y techos, así como porcentaje de pendientes, periodo y lugar de presencia de inundaciones u otras problemáticas necesarias para tomar en cuenta en la formalidad de una construcción.
- La radiación solar incidente y reflejante: Es importante saber este dato, para establecer como afecta la radiación reflejada por el suelo y varias superficies del entorno, el tipo de cobertura de las edificaciones (paredes y techos) los sistemas de aberturas como ventanas y los elementos que nos generaran espacios de sombra y confort como aleros y elementos de corte vertical en ventanas.



- La dirección del viento dominante y su velocidad media: Esto por las amenazas que pudieran representar a las estructuras de una construcción y las influencias en el cambio de la temperatura en el interior de los edificios.
- La humedad ambiental del sitio.

Para comprender el diseño en el sitio de una vivienda u otro bioclimático tomaremos en cuenta los elementos anteriormente señalados así como sus variables micro climáticas, elección adecuada del sitio, las orientaciones que se le dará al mismo, forma de los edificios, el movimiento del aire, el equilibrio de la temperatura y la combinación de las soluciones arquitectónicas que se brinden ya sea los materiales utilizados (aislante, etc.) y otros para conseguir eficiencia energética óptima de los recursos dentro del espacio arquitectónico.

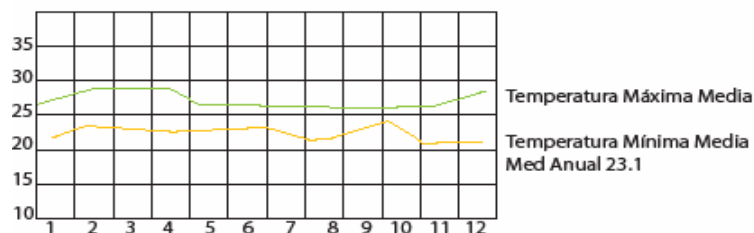
### 3-12.1. Aspectos generales, definiciones y conceptos.

Para poder enfrentar las diferentes necesidades de un sitio se deben establecer los parámetros necesarios que inciden en el diseño de una construcción con cualidades de diseño bioclimático, para Alajuela se establecerá estas recomendaciones a partir de los siguientes puntos:

- Las temperaturas medias, máximas y mínimas.
- Las precipitaciones durante los diferentes meses del año.
- La radiación solar incidente y reflejante.
- La dirección del viento dominante y su velocidad media.
- La humedad ambiental.
- Fluctuación térmica promedio anual.

a) Temperatura: La temperatura es una magnitud referida a las nociones comunes de calor o frío. Por lo general, un objeto más "caliente" tendrá una temperatura mayor. La temperatura nos puede guiar para saber cuáles son las necesidades de un sitio para poseer grados de confort adecuados para la realización de nuestras actividades diarias. La temperatura del aire es una variable que es dependiente del calor y el enfriamiento de la superficie por el sol, así como de las condiciones de la vivienda en que se encuentre el usuario, es importante conocer las temperaturas máximas, mínimas y promedios del cantón para conocer las recomendaciones a utilizar en cada sector.

Temperatura promedio de Alajuela.



Fuente Germen; Jerry. (1986 pp 52) Estrategias pasivas para Costa Rica: Una aplicación regional del diseño bioclimático. Colegio de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica.



Mapa de temperatura máxima promedio anual para el cantón de Alajuela.

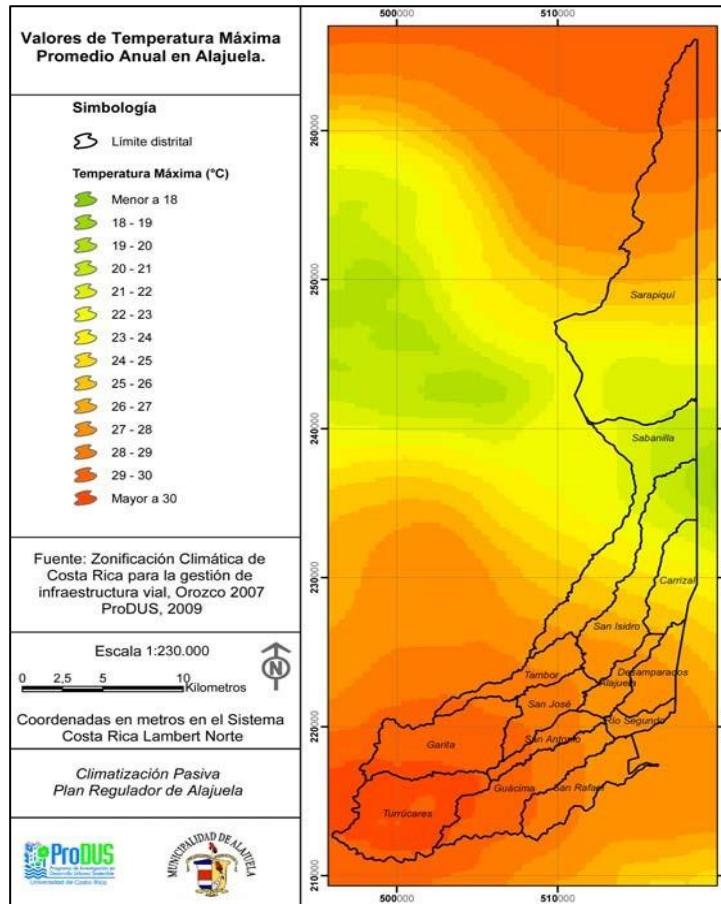
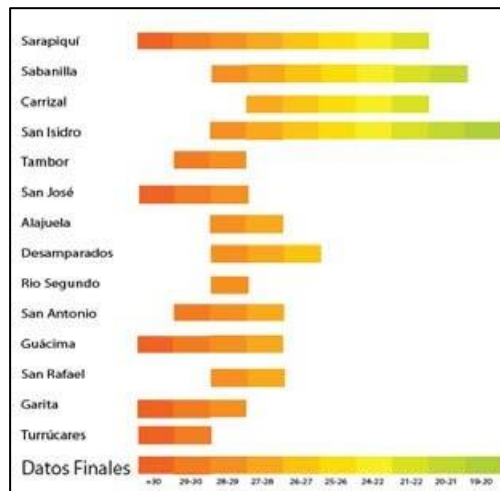
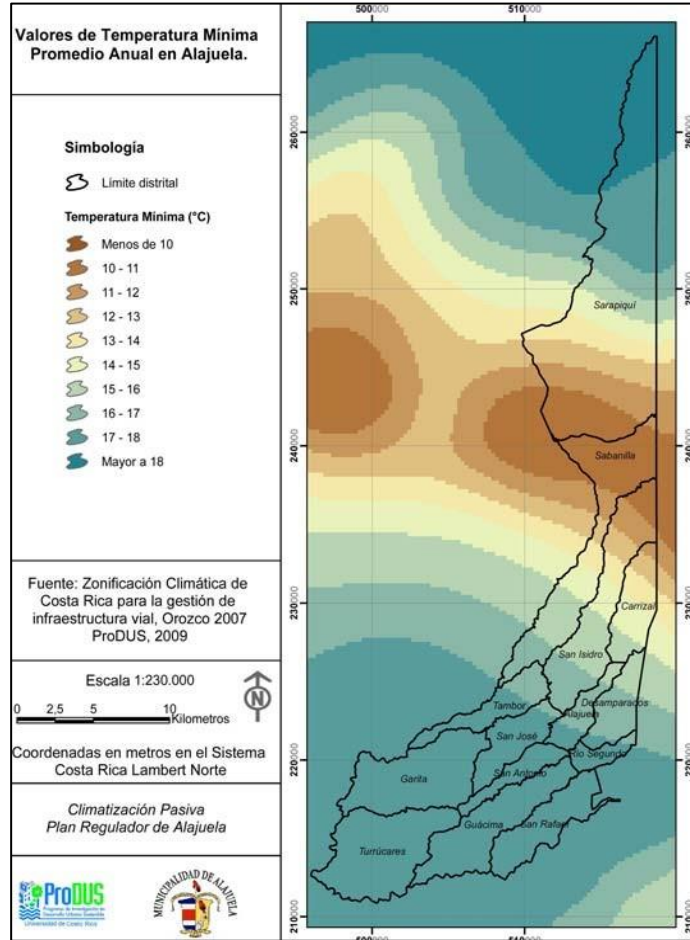


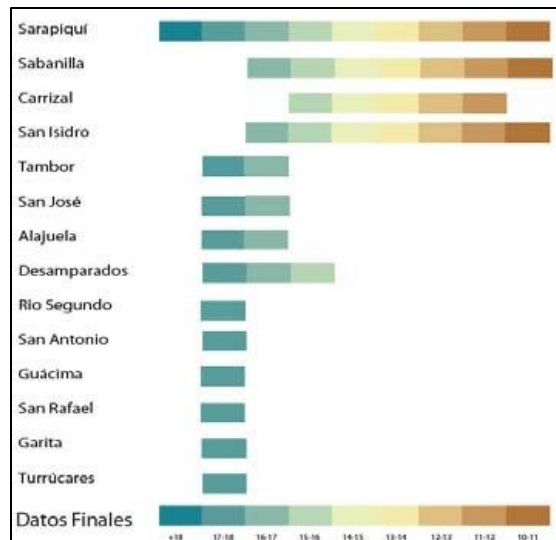
Tabla de temperatura máxima promedio anual para el cantón de Alajuela.





Mapa de temperatura mínima promedio anual para el cantón de Alajuela.

Tabla de temperatura mínima promedio anual para el cantón de Alajuela.





Mapa de temperatura promedio anual para el cantón de Alajuela.

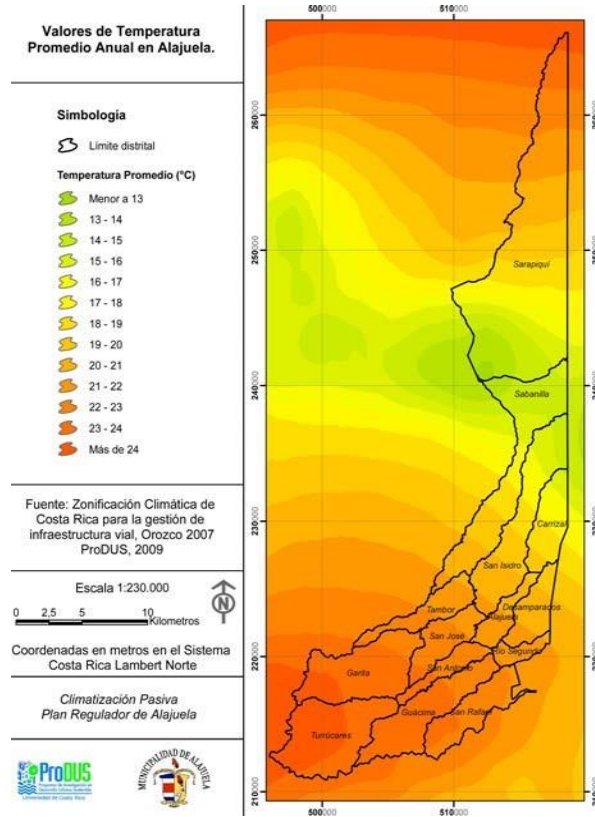
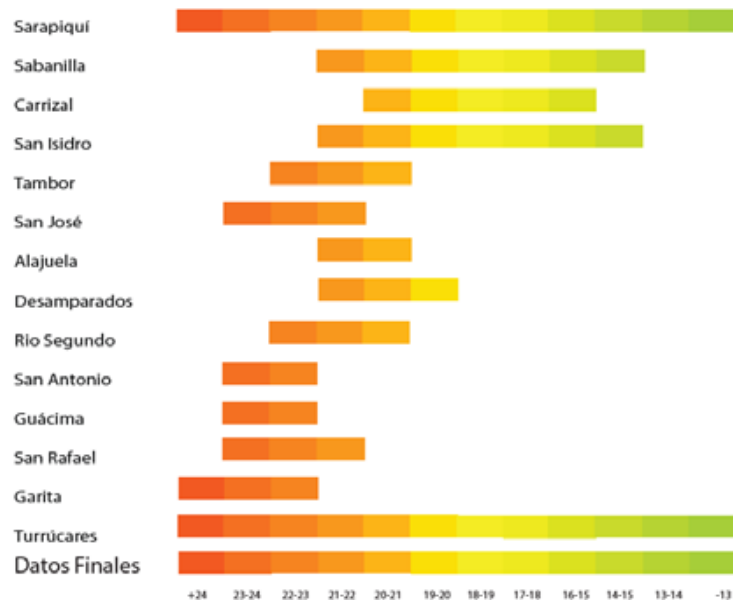


Tabla de temperatura promedio anual para el cantón de Alajuela.





Mapa de fluctuación promedio anual para el cantón de Alajuela.

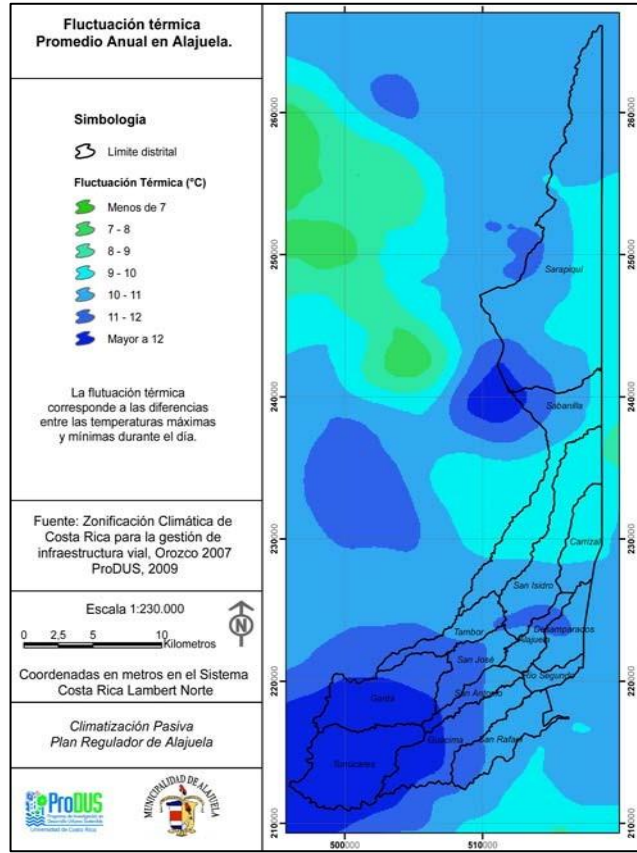
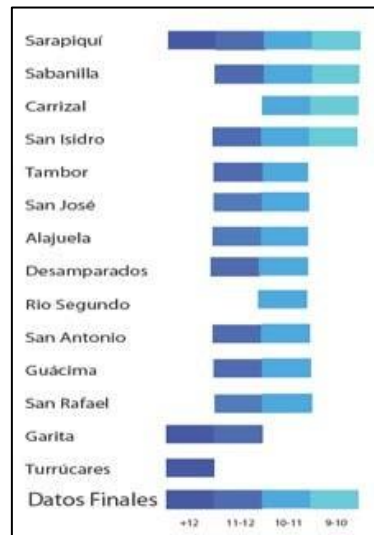


Tabla de fluctuación térmica promedio para el cantón de Alajuela.





b) La radiación solar incidente y reflejante: La existencia de radiación solar afecta directamente los elementos construidos, al darles calor y luz en sus exteriores e interiores. Alajuela no escapa de ser afectada en esto, por ello se deben tomar en cuenta estos factores para usar en buena manera este recurso. Esta energía que viene del sol se distribuye como energía calórica, una radiación de onda, una parte de esta onda es recibida y absorbida y otra reflejada y esta es la que es absorbida por los elementos constructivos, o es reflejada hacia el cielo

Mapa de brillo solar promedio anual para el cantón de Alajuela.

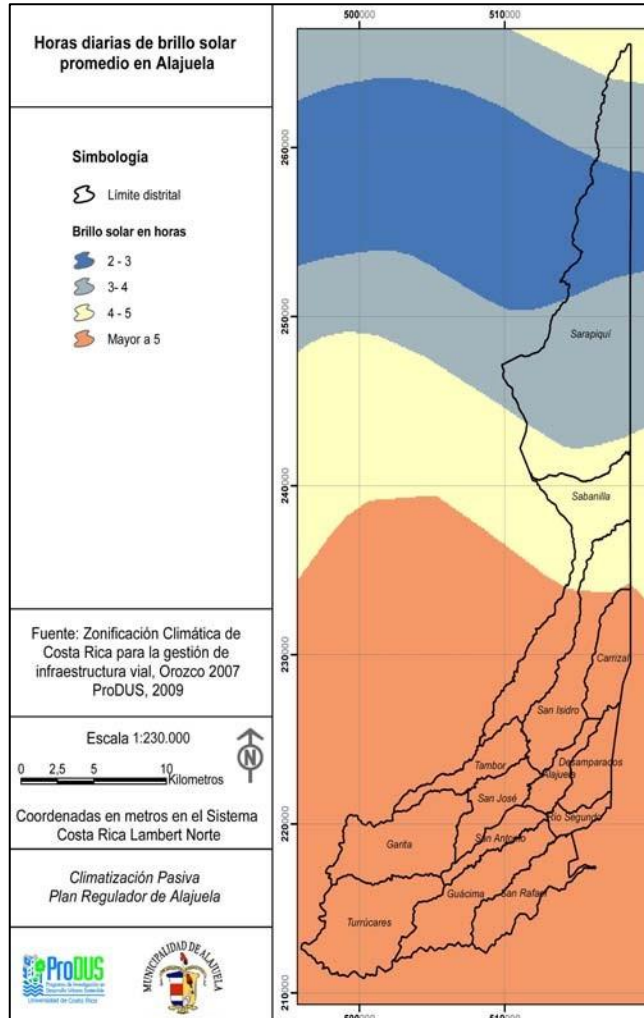


Tabla de brillo solar promedio para el cantón de Alajuela

Sarapiquí	2-3	3-4	4-5	Mayor a 5
Sabanilla			4-5	Mayor a 5
Carrizal			4-5	Mayor a 5
San Isidro			4-5	Mayor a 5
Tambor				Mayor a 5
San José				Mayor a 5
Alajuela				Mayor a 5
Desamparados				Mayor a 5
Rio Segundo				Mayor a 5
San Antonio				Mayor a 5
Guácima				Mayor a 5
San Rafael				Mayor a 5
Garita				Mayor a 5
Turrúcares				Mayor a 5
Datos Finales	2-3	3-4	4-5	Mayor a 5





- c) Las Precipitaciones: Se define precipitación como cualquier forma de caída del agua que cae del cielo y llega a la superficie terrestre. Esto incluye lluvia, llovizna, nieve, granizo. La precipitación es una parte importante del ciclo hidrológico y es responsable del depósito de agua fresca en el planeta. Es generada por las nubes, cuando alcanzan un punto de saturación; en este punto las gotas de agua creciente (o pedazos de hielo) se forman, y caen a la Tierra por gravedad. En Costa Rica la cantidad de lluvia es grande, debemos tomar en cuenta esta condicionante para poder establecer las necesidades a las que se verá enfrentada una vivienda u otro tipo de construcción de ocupación humana para que soporte estas características.

Mapa de días con lluvia en el año para el cantón Alajuela.

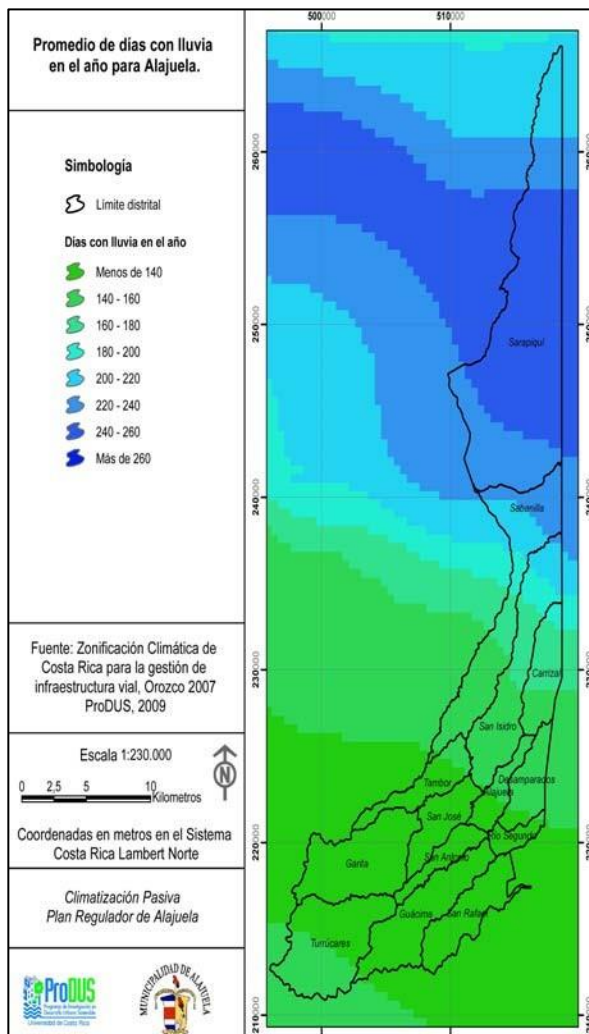
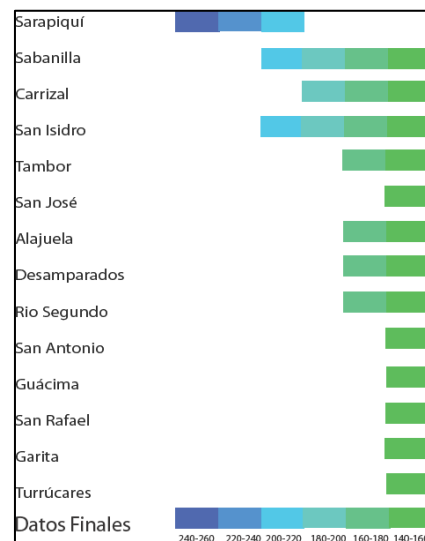


Tabla de días con lluvia en el año para el cantón de Alajuela.





Mapa de precipitación media anual para el cantón de Alajuela.

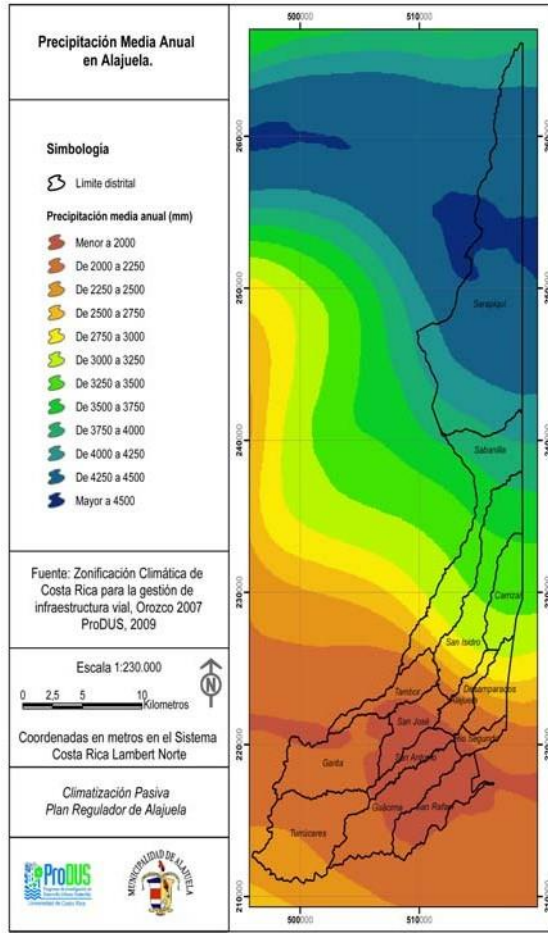
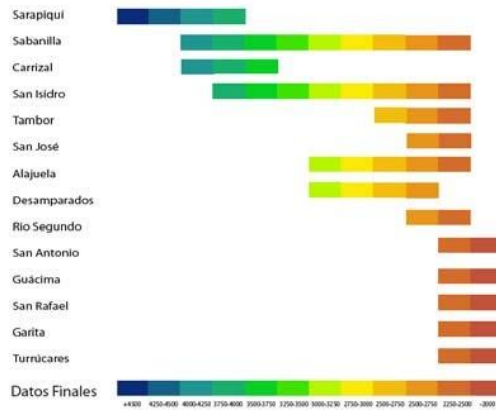


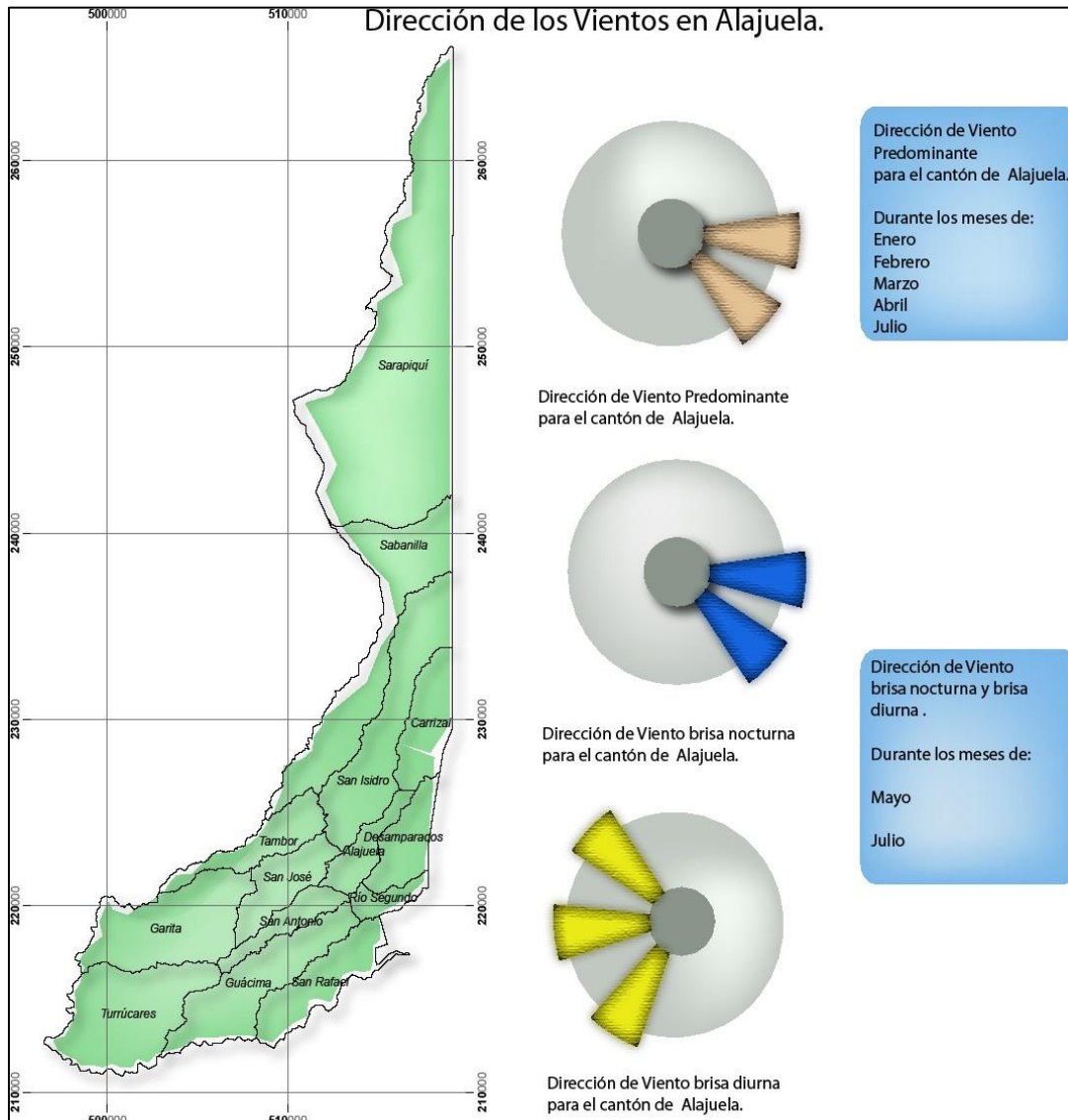
Tabla de precipitación media anual para el cantón de Alajuela.





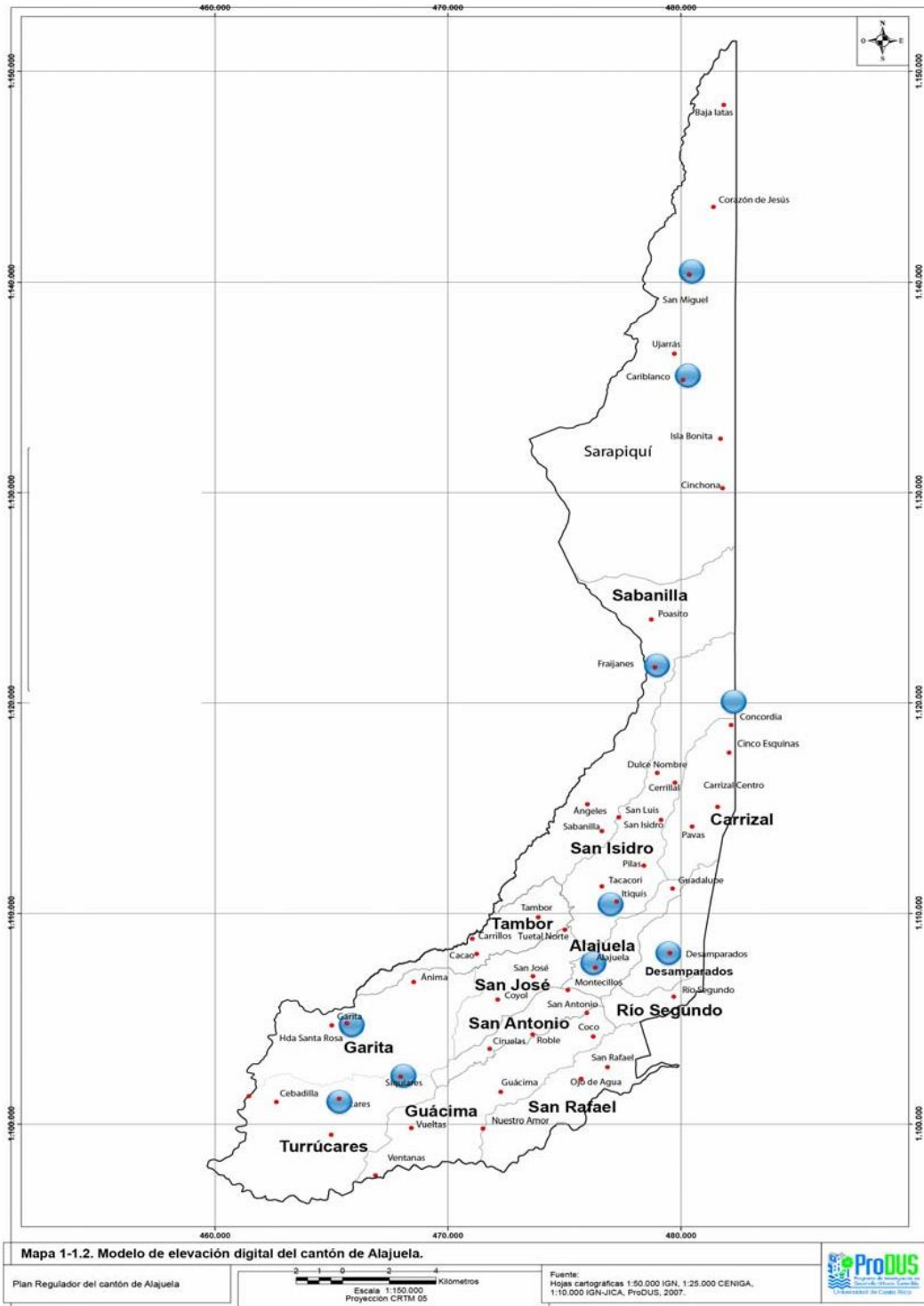
- d) Los Vientos: Los vientos debemos tomarlos en cuenta por la amenaza que pueden generar a las estructuras de un ente construido y las posibilidades de que estos vientos nos cambien las condiciones de confort del sitio. En Alajuela se pueden clasificar tres importantes tipos de corrientes de vientos que caracterizan la zona: viento predominante, brisa nocturna y brisa diurna.

Mapa de dirección de Viento en Alajuela.





Mapa de ubicación de las estaciones de registro climático en Alajuela. Fuente ProDUS





Condiciones climáticas para Alajuela. Fuente Instituto de Meteorología de Costa Rica.

Estación: **Los Angeles Cariblanco**

	Periodos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep	Oct	Nov.	Dic.	Anual
<b>Lluvia</b>	1978-1990	311,2	197,8	179,3	192	416	518,1	489,1	557,9	480	567	457	398	4762,7
<b>Brillo Solar</b>	1978-1990	4,1	3,8	3,7	2,9	2,9	2,3	2,3	2,5	2,6	2,3	2,6	3,6	3

Estación: **San Miguel de Sarapiquí**

	Periodos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep	Oct	Nov.	Dic.	Anual
<b>Lluvia</b>	1960-2007	355,5	237,4	177,7	207	374	448,3	540,7	491,4	398	461	499	456	4646,4
<b>Días Lluvia</b>	1960-2007	16	13	13	13	19	21	21	22	21	22	21	17	219

Estación: **Aeropuerto Juan Santamaría 1**

<b>Lluvia</b>	1956-2003	7,6	12,6	17,4		271	265,6	177,5	253,8	341	339	149	32,8	1945,7
<b>Días Lluvia</b>	1956-2003	2	2	3		22	23	20	22	25	26	16	6	175
<b>Temp. Máx</b>	1956-2003	27,8	28,6	29,6		28,4	27,6	27,7	28,7	27,3	27	27,2	27,5	28,1
<b>Temp. Mín</b>	1956-2003	17,5	17,6	17,8		18,4	18,2	18,4	18,1	17,7	18	17,8	17,7	17,9
<b>Temp. Med</b>	1956-2003	22,7	23,1	23,7		23,4	22,9	23,1	23,4	22,5	22	22,5	22,6	23
<b>Brillo Solar</b>	1971-1998	9,1	9,4	9,1		5,9	4,8	4,9	5	4,9	5,2	5,7	7,7	6,6
<b>Humedad</b>	1971-2003	67	66	65		79	83	78	81	86	85	79	71	76
<b>Viento</b>	1974-2003	25,5	26,1	23		13,9	12,1	15,2	13,7	11	11	14,6	21,5	17,3
<b>Presión</b>	1970-2003	909,5	909,5	909,4		909	909,6	909,6	909,6	910	909	909	909	909,4
<b>Evaporación</b>	1972-1977	6,5	7,3	7,8		5,1	4,3	4,7	4,6	3,7	3,5	4	5,2	5,4

Estación: **Aeropuerto Juan Santamaría 2**

	Periodos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
<b>Lluvia</b>	1999-2007	8	13,2	16,8	62	284	230	150	210,7	322	311	166	37,5	1811,6
<b>Temp. Máx</b>	1999-2007	28,1	28,9	30	30	29	28,4	28,4	28,4	27,7	27	27,4	27,9	28,5
<b>Temp. Mín</b>	1999-2007	18,5	18,5	18,7	19	19,1	18,9	18,9	118,8	18,1	18	18,4	18,5	18,7
<b>Temp. Med</b>	1999-2007	23,3	23,7	24,4	25	24,1	23,7	23,7	23,6	22,9	23	22,9	23,2	23,6
<b>Humedad</b>	1999-2007	66	62	64	67	80	83	79	81	87	87	80	72	76
<b>Viento</b>	1999-2007	22,4	23,6	20,3	18	11,6	10,7	12,2	11,2	9,1	9,1	12,4	17,4	14,8

Estación: **Alajuela Centro**

	Periodos	Enero	Febrero	Marzo		Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
<b>Lluvia</b>	1935-2007	16,2	7,1	15,6		304	269,3	196,6	202,1	370	406	171	41,1	2062,4
<b>Días Lluvia</b>	1935-2007	2	1	2		18	18	17	16	21	21	13	6	141

Estación: **Desamparados de Alajuela**

	Periodos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
<b>Lluvia</b>	1970-1979	23,2	5,9	20,9	147	348	347,5	223,7	339	479	445	260	74,2	2712,2



Estación: **Fabio Baudrit**

	Periodos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
<b>Lluvia</b>	1995-2007	7,1	12,4	24,5	68	286	232,4	158	167,8	316	318	170	36,3	1796,8
<b>Temp. Máx</b>	1995-2007	29	29,8	30,7	31	29,1	28,4	28,6	28,7	28,1	28	28,1	28,7	29
<b>Temp. Mín</b>	1995-2007	18,4	18,6	18,9	19	19,3	19,1	18,9	18,8	18,6	19	18,6	18,4	18,8
<b>Temp. Med</b>	1995-2007	23,7	24,2	24,8	25	24,2	23,8	23,8	23,8	23,4	23	23,4	23,6	23,9
<b>Humedad</b>	1995-2007	69	65	67	72	86	88	87	86	92	92	87	78	81
<b>Viento</b>	1995-2007	16	17,1	15	12	7,5	6,3	6,6	5,9	5,5	6	8,3	11,4	9,8

Estación: **La Garita**

	Periodos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep		Nov	dic	Anual
<b>Lluvia</b>	1999-2006	7	14,6	23,8	38	243	204,2	161,1	180,2	287		109	36,7	1587,9
<b>Temp. Máx</b>	1999-2006	28,8	29,5	30,4	31	28,9	28,3	28,3	28,3	28,1		27,9	28,3	28,8
<b>Temp. Mín</b>	1999-2006	17,9	18,6	18,6	19	19,2	19,3	18,9	18,7	119		18,7	18,1	18,8
<b>Temp. Med</b>	1999-2006	23,4	24,1	24,5	25	24,1	23,8	23,6	23,5	23,5		23,3	23,2	23,8
<b>Humedad</b>	1999-2006	65	60	62	66	82	86	83	84	88		82	73	77
<b>Viento</b>	1999-2006	10,8	12,5	10,4	8,6	5,1	4,3	5,5	4,8	4,3		6,5	8,6	7,2

Estación: **Fraijanes**

	Periodos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep		Nov	dic	Anual
<b>Lluvia</b>	1976-2007	109,6	64,5	125,4	391	407	324,5	373	494	500		169	170	3434,1
<b>Días Lluvia</b>	1976-2007	12	9	9	11	24	25	25	26	26		22	17	232
<b>Temp. Máx</b>	1976-2007	20,3	21,1	22	23	22	21,7	21,2	21,6	21,5		20,6	20,4	21,3
<b>Temp. Mín</b>	1976-2007	12,2	12,1	12,1	13	12,8	13,5	13,8	13,7	13,2		13,5	13	13
<b>Temp. Med</b>	1976-2007	16,3	16,6	17,1	18	17,4	17,6	17,5	17,7	17,4		17,1	16,7	17,2
<b>Brillo Solar</b>	1976-2007	8,1	8,6	8,2	6,7	4,3	3,1	3,4	3,5	3,1		4,2	6,2	5,2
<b>Radiación</b>	1976-2007	19,1	20,4	20,7	19	15,3	13,5	14,7	14,2	13,5		13,7	16,7	16,2
<b>Humedad</b>	1989-2005	80	78	79	81	89	89	87	87	90		89	85	85

Estación: **Los Cartagos**

	Periodos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep	oct	Nov	dic	Anual
<b>Lluvia</b>	1967-2005	168,9	90,5	77	123	386	416,7	341,3	381,9	450	480	406	272	3592,5

Estación: **La Giralda Sto Domingo de Sta Bárbara**

	Periodos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep		Nov	dic	Anual
<b>Lluvia</b>	1998-2007	214,6	102,5	64,3	122	416	331,1	309,6	311,7	516		423	244	3589,8
<b>Días Lluvia</b>	1998-2007	14	8	7	10	23	21	24	25	27		22	17	224



Estación: **Scott Paper**

	Periodos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep	oct	Nov	dic	Anual
<b>Lluvia</b>	1973-1995	5,1	5,2	11,7	77	229	255,5	180,7	224	309	307	97,9	31,9	1734,1

Estación: **Siquiaries de Turrucares**

	Periodos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep	Nov	dic	Anual
<b>Lluvia</b>	1994-2007	3,3	17,4	42,3	75	493	360,4	233,6	280,4	509	185	35,4	2707,9
<b>Días Lluvia</b>	1994-2007	0	1	2	2	16	16	12	14	20	11	3	118

Estación: **Tegucigalpa Itiquis**

	Periodos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep	Nov	dic	Anual
<b>Lluvia</b>	1989-2007	18,8	12,4	36,9	122	399	390,4	273	360,9	526	268	81,6	2987,2
<b>Días Lluvia</b>	1989-2007	2	1	2	8	21	22	18	21	25	15	7	167

Estación: **Turrucares**

	Periodos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep	Nov	dic	Anual
<b>Lluvia</b>	1947-1986	5,7	3,5	28,5	151	379	329,7	184,8	301,3	454	218	269	2709,8
<b>Temp. Máx</b>	1962-1988	26	26,6	28	28	26,5	24,9	25,3	25,5	25,1	25,1	25,7	26
<b>Temp. Mín</b>	1962-1988	13,6	13,1	13,6	15	15	15,3	15,6	15,6	15,3	15,4	10,4	14,4
<b>Temp. Med</b>	1962-1988	19,8	19,9	20,8	21	20,8	20,1	20,5	20,6	20,2	20,3	18,1	20,2
<b>Brillo Solar</b>	1972-1975	8,9	8,9	8,2	8,1	5,7	4	4,4	4,8	4,1	5,5	7,5	6,2

Estación: **Volcán Poás**

	Periodos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep	oct	Nov	dic	Anual
<b>Lluvia</b>	1971-1991	189,7	101,9	70,4	105	370	419,9	364,4	446,4	463	436	375	286	3627,9

### 3-12.2. Estrategias básicas para arquitectura bioclimática.

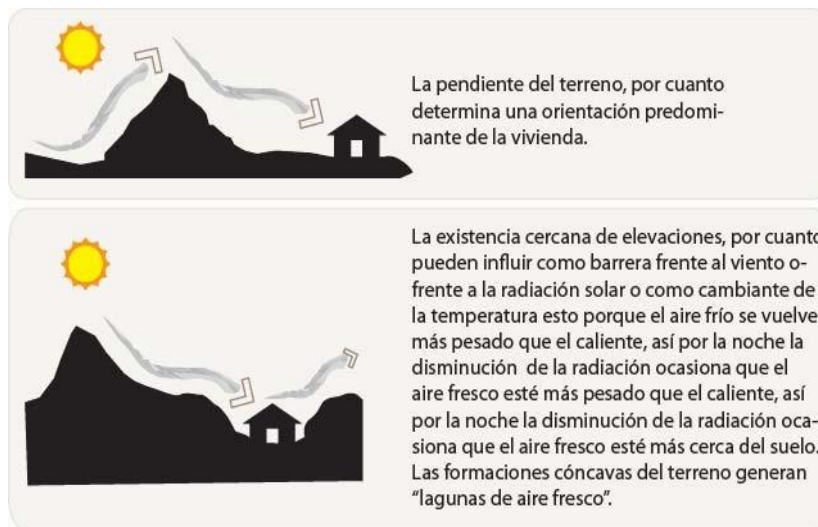
Para comprender la importancia de la climatización pasiva, debemos primero manejar las condiciones mínimas que debemos tomar en cuenta, los conceptos que debemos entender y las respectivas estrategias para afrontar las condiciones que se nos presenten de una manera rápida y eficaz. Entre estas estrategias básicas están:

- Estrategias del Emplazamiento (terreno):
  - Importancia del emplazamiento.
  - El contexto: Arquitectura del Paisaje. Utilidades.
  - Ubicación de Zonas de Vida y Fichas de Especies de Flora para la zona de Alajuela.
- Estrategias para minimizar asoleamiento:
  - Orientación del Bloque.

- Forma de los edificios. -Geometría:
- Elementos de protección solar: proyecciones horizontales-verticales Techos: Materiales, colores.
- Paredes: Materiales.
- Estrategias para la utilización del Viento:
  - Ventilaciones tipo, aberturas en planta, fachadas.Ubicación.
  - Elementos de Diseño Interno para utilización del viento; tabiques y patiosTechos.
  - Pisos.
  - Galerías, terrazas y corredores.

### 3-12.3. Estrategias del emplazamiento (terrenos).

- **La ubicación:** Se refiere a la posición geográfica del edificio y condiciona el tipo de diseño que puede desarrollarse con éxito. El diseño para una determinada ubicación debe tener en cuenta aspectos tan diversos como el clima, tradiciones, nivel de conocimientos, técnicas constructivas, materiales y tecnología disponibles en la zona.
- **La situación:** Abarca el terreno sobre el que está el edificio y sus alrededores. Para conseguir los resultados esperados deben considerarse, entre otros la radiación solar e iluminación natural, las características de la vegetación y del viento, las propiedades del suelo y la influencia de las actividades humanas en las proximidades del lugar. El terreno nos puede sugerir técnicas para mejorar la condición de la vivienda, ya que este puede presentar diversas variaciones a nivel topográfico, pero esto no impide el desarrollo de una arquitectura que se preste al desarrollo de estrategias para esto. Las condiciones micro climáticas son consecuencia de la existencia de accidentes geográficos locales que pueden modificar las condiciones determinantes de un clima de un lugar, dentro de estas podemos tener en cuenta:







*Diferentes imágenes de condiciones para las estrategias de emplazamientos.*

La elección de la ubicación de la vivienda, si ello es posible, es una decisión muy importante en el proceso de diseño bioclimático, si acaso tan importante como el diseño de la vivienda en sí misma. Además de seleccionar la ubicación más adecuada, debemos tener en cuenta que siempre es posible actuar sobre el entorno (añadiendo o quitando vegetación o agua, por ejemplo), para modificar las condiciones micro climáticas. Es lo que llamamos corrección del entorno.

### 3-12.4. Estrategias para el entorno.

La forma del terreno nos ofrece posibilidades para aprovecharlas en mejoramiento de nuestra forma de vida, esto nos ayuda a utilizar los elementos que tengamos en nuestro contexto como aspectos positivos en el manejo de una construcción bioclimática. Entre estas podemos mencionar:

- Cuando se tiene un terreno con pendiente moderada colocar las habitaciones en la parte superior de la pendiente del terreno drenando las aguas hacia abajo para mejorar el manejo de estas.
- Los terrenos con pendiente moderada pueden también ser espacios captadores de brisas que benefician para una adecuada ventilación, colocando la vivienda o el ente construido con relación a esta brisa.
- Los espejos de agua son elementos que ayudan al refrescamiento de la superficie y la regulación de la temperatura.



### 3-12.5. El Contexto: arquitectura del paisaje.

La arquitectura del paisaje se conoce como aquella herramienta que nos puede ayudar a establecer ciertas ventajas en el uso de los elementos naturales del sitio para utilizarlos en estrategias que ayuden a mejorar nuestro entorno. Para ello es recomendable saber que tipos de plantas nos sirven mejor según la zona y para que puedan soportar las características climáticas del sitio en donde se vayan a ubicar, y como y para que utilizarlas. La vegetación tiene diferentes ventajas en su uso para el mejoramiento del entorno ambiental entre estas están:

- Filtración y limpieza del aire. (reodorización). Cada árbol dependiendo de su follaje o su calidad de purificación del aire puede colaborar con el ambiente para la limpieza del aire de sustancias como el provocado por los vehículos y otros agentes de contaminación. Por ejemplo, a la hora de colocar vegetación alta se debe utilizar también arbustos bajos para no permitir el paso de agentes contaminantes a distancias bajas.
- Control de Ruidos: Las plantas funcionan como ambientes de controladores de ruidos porque su cantidad de follaje ayuda a establecer divisiones entre ambientes produciendo amortiguadores o barreras de control de ruidos, entre más diversidad de plantaciones se tenga, se promociona mejor la atenuación del ruido, que si utilizamos una sola especie, según las plantaciones que utilicemos tenemos las siguientes consideraciones:
  - Arbustos: Los arbustos con alturas de 0.50cm tienen la posibilidad de controlar el ruido hasta un 50%-25%.
  - Árboles: Reducción del ruido según el follaje capacidad de reducción de ruido 75-80% cuando es follaje tupido y de 25-40% para follaje menos denso.

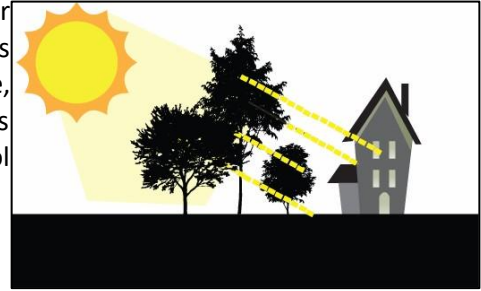
Para el control de ruidos o utilización de barreras verdes en el uso de la existencia de carreteras se recomienda:

- Establecer una profundidad de 1.20 en el uso de vegetación si las velocidades de los vehículos que transitan son de 30km/h.
- De 2.4m a 3m de profundidad si son velocidades de 80km/h.
- La misma profundidad, pero una distancia de 0.30cm entre árbol y árbol si la velocidad es de 110km/h.





Para control de la Radiación: Las plantas pueden obstruir y filtrar la radiación solar y reducir su reflexión. La sombra que producen los árboles según su altura y su dimensión, así como su ubicación norte, sur, este u oeste producen un refrescamiento en las diferentes fachadas de la vivienda. Plantas bajas para minimizar el reflejo del sol en la tierra.



Para separación de actividades o como barreras físicas: La vegetación trabajada en diferentes escalas o alturas dependiendo, pueden ayudar a establecer diferentes ámbitos, delimitar espacios de una forma intermedia, o completa, podemos encontrar de vegetación con alturas de:

- De 0-30 cm, de 0.50m para crear situaciones de corte de flujos peatonales, delimitación de espacios.
- De 0.90m o de 1.50m como máximo para establecer diferentes sectores en un mismo lugar o barreras visuales y sonoras.
- Para evitar la erosión: Las plantas protegen al suelo de factores como la lluvia su intensidad y duración, el viento y la exposición solar que producen el desgaste de la misma, el uso de plantas con diversas características ayuda a mantener el suelo sujeto y compacto.
- Como creadores de microclimas dentro de las zonas deseadas: La vegetación se puede utilizar para recrear diversidad de ambientes o microclimas, ya que las plantas reodorizan el ambiente y generan espacios de mayor confort y limpieza de aire.

Dentro de estas consideraciones se debe tomar en cuenta las siguientes sugerencias:

- Evitar las especies que tienen muchas frutas, hojas u ramas quebradizas que pueden romperse y caer sobre los techos de la edificación provocando problemas en sistemas de aguas etc.
- Seleccionar aquellas especies que son densas como para dar sombra, proteger de la radiación pero que permitan el paso de aire para lograr la reodorización en la construcción.
- Ubicar los árboles de copa alta en lugares cercanos a la casa en los lados este y oeste debido a que sus largas sombras pueden cubrir ciertas aberturas de la edificación y proveer sombra.
- Por el contrario, los árboles muy frondosos pueden colocarse en el sector norte y sur de las edificaciones para proveer sombra en las horas más fuertes a las techumbres para crear menos intensidad de calor dentro de las residencias.
- Si se puede evitar el uso de pavimentación trate de que el porcentaje de cobertura sea poco y de utilizar elementos que permitan el crecimiento de alguna cobertura vegetal y penetración de la lluvia por ejemplo zacate block.



Dimension Nominal:  
40\*8\*40cm  
Resistencia:  
133 kg/cm<sup>2</sup>

Zacate Block. Colegio de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica (2008).(CFIA) .*Guía para el espacio público en Costa Rica*. Editorial del mismo. San José, Costa Rica.

Para la utilización de árboles debe mencionarse algunas directrices, entre estas están:

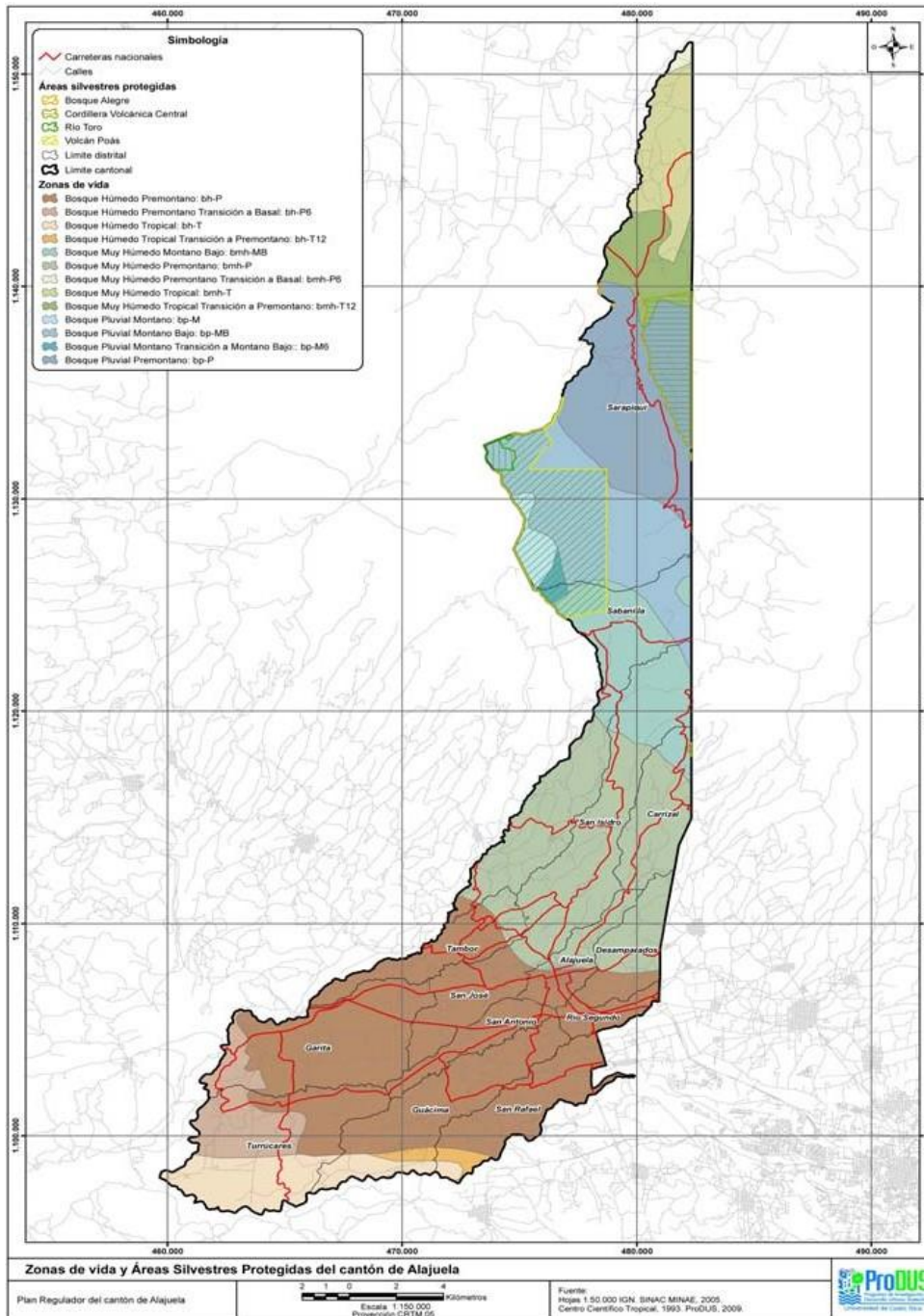
- **Densidad:** Los árboles son más efectivos y saludables cuando crecen suficientemente cerca unos de los otros para que sus ramas se entrelacen, creando una red continua, como ocurre en un bosque. Es poco frecuente encontrar en la naturaleza un árbol aislado de los demás.
- **Diversidad:** La diversidad debe ser estudiada y comprendida con un ente a favor no en contra de ya que una diversidad forzada puede resultar en la siembra de especies no aptas. Por ello es necesario conocer cuáles son las especies endémicas de la zona para crear paisajes más acordes a las necesidades de sitio y sus limitantes climáticas y espaciales.
- **Escala:** Debe realizarse un análisis de las necesidades del sitio, en base a ello se podrá establecer la escala de las plantaciones y escoger la más necesaria para ello.
- **Forma y Follaje:** La forma de un árbol se altera enormemente dependiendo del espacio en que se desarrolla. Los árboles dentro del bosque desarrollan un tronco alto y recto, con una copa más alta y menos extensa. La tradición de sembrar árboles como especímenes aislados, en vez de en filas o grupos, refleja una preocupación por el desarrollo libre de su copa. Esta actitud representa un obstáculo para el diseño urbano porque limitan las posibilidades estéticas en la creación de patrones.
- **Ordenamiento:** El ordenamiento de los elementos naturales puede orientarse hacia dos estrategias:
  - En la capacidad de crear y reforzar espacios urbanos.
  - En la utilidad para la regeneración del medio ambiente.



### 3-12.6. Ubicación de zonas de vida y especies de flora y fauna para Alajuela.

Es recomendable utilizar vegetación que sea adaptable y propia del sitio para lograr los mejores resultados en cuanto a la reproducción, uso y aprovechamiento por ello se señalan las zonas a continuación como una guía de las plantas que son de uso apropiado para la zona de Alajuela.

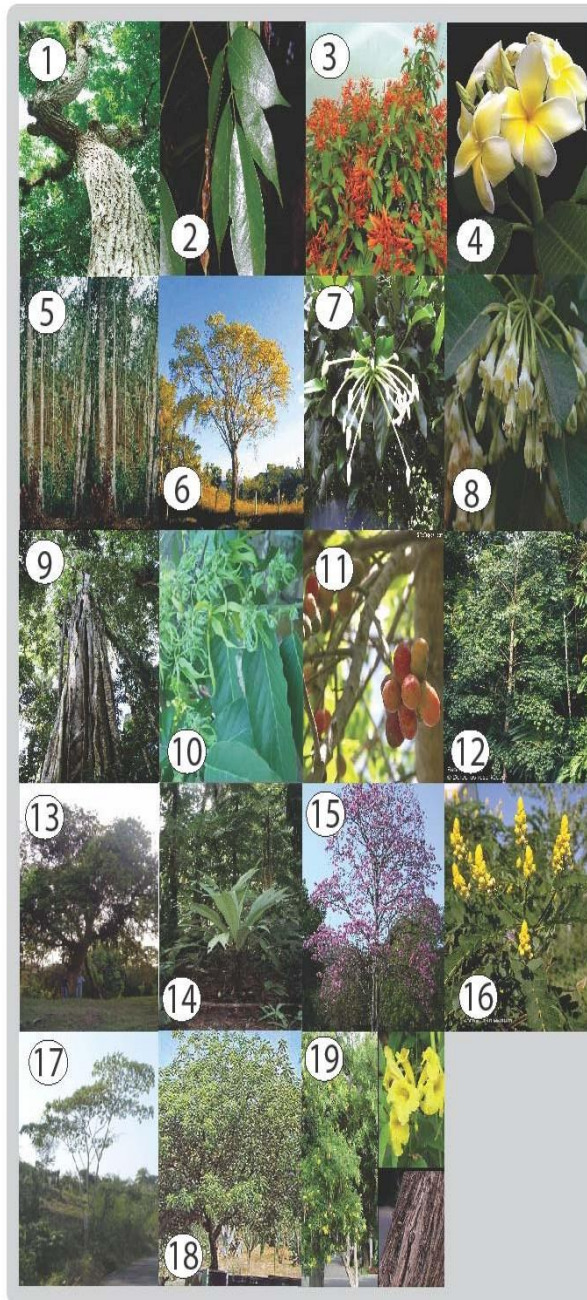
Mapa de Zonas de Vida y Áreas Silvestres Protegidas del cantón de Alajuela.





Bosque muy húmedo Premontano

Nombre Común	Especie
1 Cedro Amargo	Cedrela Adorata
2 Chaperno	Lonchocarpus sp.
3 Coralillo	Hamelia Patens
4 Flor Blanca	Plumeria Rubra
5 Guaba	Inga sp
6 Guachipelin	Diphysa Americana
7 Guayaba de Mono	Posoqueria latifolia
8 Guitite	Acnistus Arborescens
9 Higeron	Ficus sp
10 Ilán ilán	Cananga Adorata
11 Jocote	Spondias purpurea
12 Lagartillo	Anthoxylum sp
13 Lorito	Cojoba arborea
14 Mantequillo	Trichilia Martiana
15 Roble de Sabana	Tabebuia Rosea
16 Saragundi	Senna Reticulata
17 Targuá	Croton Draco
18 Uruca	Trichilia Havanensis
19 Vainilla	Tecoma stans



Recomendaciones de Especies por Sector de Vida y Bosque

Mosaico de imágenes recomendadas para su uso en el cartón de Alajuela. Colegio de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica (2008). (CFIA). *Guía para el espacio público en Costa Rica*. Editorial del mismo. San José, Costa Rica.



A continuación, se detalla en fichas las diferentes plantas recomendadas por zona para el sector del cantón de Alajuela, sus tamaños y datos más importantes para su uso.

### Plumeria Rubra:

Árbol o arbusto de 2-15m de alto, con copiosa savia lechosa en todas sus partes. Hojas de hasta 41cm de largo 14 cm de ancho. Inflorescencias al final de las ramas. Flores blancas con garganta amarilla, o rosadas muy fragantes. Frutos largos, más o menos cilíndricos, hasta casi 40cm de largo.

Las plantas son fáciles de propagar a partir de estacas y pueden florecer aún cuando son pequeñas. Se usa como ornamental de patio en las partes más secas del Valle Central y otros sitios de la vertiente pacífica. Florece de febrero a agosto y en diciembre.



### Trichilia Havanensis:

Árbol hasta 12m de alto, hojas pinnadas, 5-11 hojuelas hasta 10 cm de largo cada una. Flores axilares en agrupaciones más o menos densas a lo largo del tallo, blanco verdoso. Frutos una cápsula obovada. Es común verla cultivada como planta ornamental de calle en San José y otros lugares del Valle Central.



### Tecoma Stans

Arbustos o árboles pequeños, hasta 10m de alto. Hojas pinnaticompuestas con tres a nueve hojuela. Flores amarillo brillante con líneas rojas por dentro. La especie florece más durante la época seca, de diciembre a abril. Sobre todo en bordes o claros de bosque.



### Tabebuia Rosea:

Árbol hasta 30m de alto, ramas jóvenes glabras. Hojas palmaticompuestas con cinco hojuelas. Flores agrupadas en la punta de las ramas, blanca o rosadas o magenta.

El paseo Colón es un lugar decorado con esta especie. Florece sobre todo en la época seca entre los meses de enero a abril, aunque también en junio y agosto.





Ficha técnica de árboles o arbustos para el sector del Cantón de Alajuela. Colegio de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica (2008). (CFIA) .*Guía para el espacio público en Costa Rica*. Editorial del mismo. San José, Costa Rica.

Ficha técnica de árboles o arbustos para el sector del Cantón de Alajuela. Colegio de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica (2008). (CFIA) .*Guía para el espacio público en Costa Rica*. Editorial del mismo. San José, Costa Rica.

### Acnistus Arborescens

Arbusto o árbol pequeño, hasta 6m , el tronco más o menos como corcho y rajado. Hojas hasta 15cm de largo, simples, sin largo de las ramas. Flores blanco sucio, 1 cm de largo agrupadas densamente a lo largo de las ramas. Frutos anaranjado brillante. Su hábitat a lo largo de riachuelos y en bordes de charrales secundarios desde 600 hasta 1500m de altitud. Produce abundantes flores con fragancia a miel durante la estación seca.



### Posoqueria Latifolia

Arbusto o árbol pequeño, hasta 10m de alto. Hojas 25 cm de largo, 15cm de ancho, verde brillante, Flores blancas con un tubo largo y angosto de hasta 16cm de largo. Se encuentra en bosques húmedo muy húmedo con frecuencia a lo largo de los ríos desde 0 hasta 900 m de altitud. Es fácil de ver al lado de ríos y riachuelos de las tierras bajas del Atlántico . Se cultiva más comúnmente en las áreas calientes de las tierras bajas que en los alrededores de San José. Florece casi todo el año.



### Cojoba Arborea

Árbol 7-35m de alto, ramitas color café herrumbroso. Flores blancas. Frutos rojos, péndulos, semillas negras. Bosque húmedo a muy húmedo, desde 0 hasta 1500 m de altitud. Este árbol es de propagación y crecimiento rápido es apreciado como ornamental de jardín por su follaje brillante y su elegante postura.



### Diphysa Americana

Árbol hasta 10 m de alto. En bosque seco a húmedo, desde el nivel del mar hasta 1200m de altitud. Esta especie crece en las áreas silvestres sobre todo de la vertiente pacífica, desde el Valle Central hasta la costa y al norte a lo largo de Guanacaste. Se siembra con frecuencia, ya sea para cercas vivas o como ornamental de jardín o de camino, por sus agrupaciones densas de flores amarillo claro que aparecen en los meses secos, entre diciembre y abril. Se dice que la madera produce un tinte amarillo



### Ficus Sp

Árbol 8-25 metros de alto. Hojas de 13cm de largo, 8cm de ancho, Higos hasta de 12mm de diámetro en pares, sésiles, rojo brillante al madurar. Por su densa corona, y sus hermosas hojas verde brillante, algunas veces es sembrada como árbol de calle como ornamento y por su sombra. Produce higos de febrero a setiembre.







### 3-12.7. Estrategias para minimizar el asoleamiento.

La orientación depende de las prioridades en el aprovechamiento del viento dominante, la iluminación y el asoleamiento. En los climas fríos, en este caso los lugares que esta en lugares muy altos, las zonas habitadas de la vivienda deben orientarse hacia el mayor asoleamiento y procurar dar la espalda a los vientos dominantes. En todo caso si el viento dominante coincide con el asoleamiento, el viento se puede modificar mediante árboles, arbustos o construcciones colindantes, cosa difícil de lograr con el sol. En el clima caluroso se debe evitar el asoleamiento y dar prioridad a los vientos dominantes.

El sol se puede evitar mediante árboles que den sombra o poniendo los locales en donde no importa el calor con orientación hacia el sol.

- a) Asoleamiento y Orientaciones: Los edificios suelen estar expuestos al impacto directo de la incidencia de los rayos del sol y a temperaturas externas. Los rayos solares —en específico la gama del infrarrojo— transmite calor a los elementos a los que incide, calor que es conveniente aprovechar en climas fríos y evitar en climas calurosos. Así tenemos un primer método de control ambiental en donde se analizan la salida y puesta de sol a lo largo del año, esto para programar las estadias y los grados de calor y luz a los que los usuarios serán expuestos

Como ubicar los espacios según sus necesidades lumínicas. La medida de una casa. Xavier Fonseca. 1995.

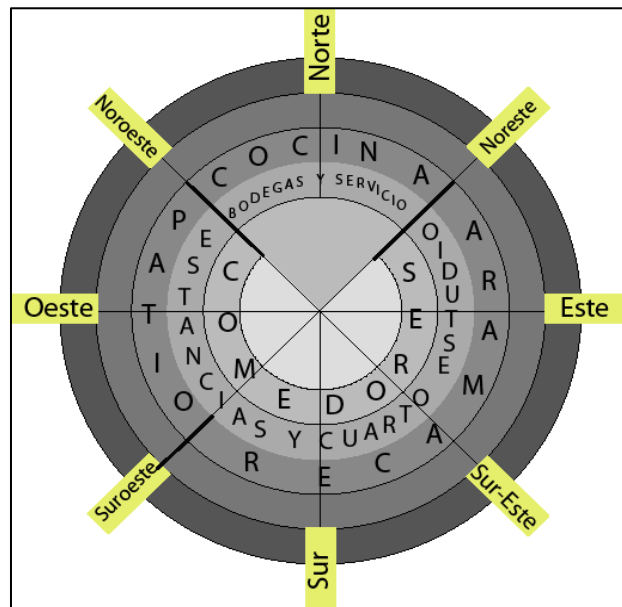




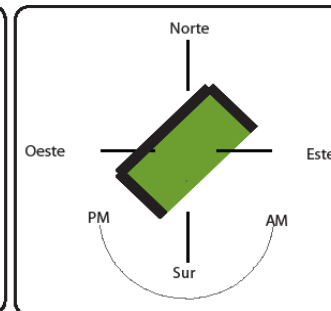
Tabla de rangos de iluminación de local. Mínimas y máximas para los diferentes sectores de una casa.  
Fuente: La medida de una casa. Xavier Fonseca. 1995.

Local	Intensidad Lumínica de Luces		Calidad Luminica
	Mínima	Recomendable	Tipo de Alumbrado
Estancia	60Lx	150lx	Se recomienda indirecta general, directa en algunas zonas.
Comedor	120Lx	250lx	Se recomienda directa al centro de la mesa apoyada por general difusa.
Récamara	150Lx	300lx	Se recomienda semiindirecta apoyada por directa en las cabeceras.
Baño	120Lx	250lxm	Se recomienda general difusa con directa en la cara en zona de aseo personal.
Vestibulo	30Lx	60lx	General Difusa o indirecta
Pasillos y Escaleras	60Lx	120lx	General Difusa.
Estudio		400lx	Directa en las zonas de escritorio apoyada por general difusa.
Lavado planchado	120Lx	400Lx	Directa en las zonas de trabajo apoyada por general difusa.
Cocina	180Lx	500Lx	Directa en zonas de trabajo apoyada por general difusa.

- b) Orientaciones de los bloques: La conservación de un ambiente confortable dentro de la habitación depende de una buena orientación y una correcta ubicación de las ventanas de manera que se permita el asoleamiento y se proteja de una excesiva insolación. Por ello se brinda las siguientes recomendaciones para la utilización de las orientaciones a mayor conveniencia del usuario y del problema que enfrente o la ubicación que tenga

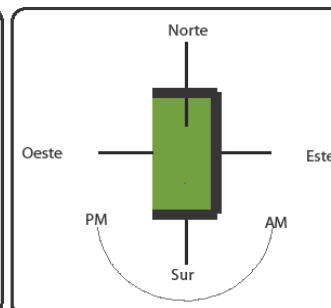
**Orientación Sureste:**

Los rayos solares inciden desde las primeras horas de la mañana hasta el medio día.  
A media mañana el sol estará suficientemente alto en el cielo como para que haya una intensidad moderada de los rayos solares.



**Orientación Oeste:**

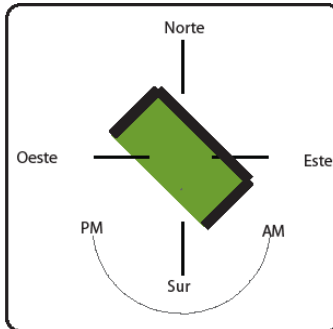
Los rayos incidirán desde el pasado el medio día hasta la puesta de sol. Durante los meses de época seca el sol del oeste será muy intenso y se pondrá entre el oeste y noroeste.





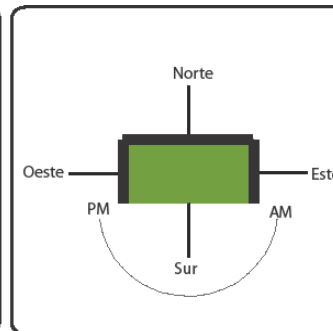
#### Orientación Suroeste:

Los rayos solares incidirán desde antes del mediodía hasta la puesta del sol, estará a una altura razonable en el cielo y los rayos solares serán mucho más intensos que por la mañana.  
En algunas zonas durante el invierno el sol se pondrá en el sureste.



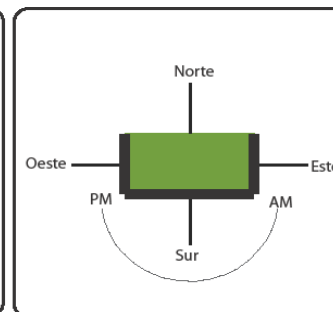
#### Orientación Sur:

Los rayos inciden desde avanzada la mañana hasta el final de la tarde.  
En la orientación sur hay una máxima incidencia de los rayos solares durante el día.  
En la época seca se puede controlar fácilmente con un diseño adecuado de faldones.  
En la época lluviosa, la baja inclinación del sol proporciona una profunda incidencia de los rayos en las habitaciones orientadas al sur.



#### Orientación Norte:

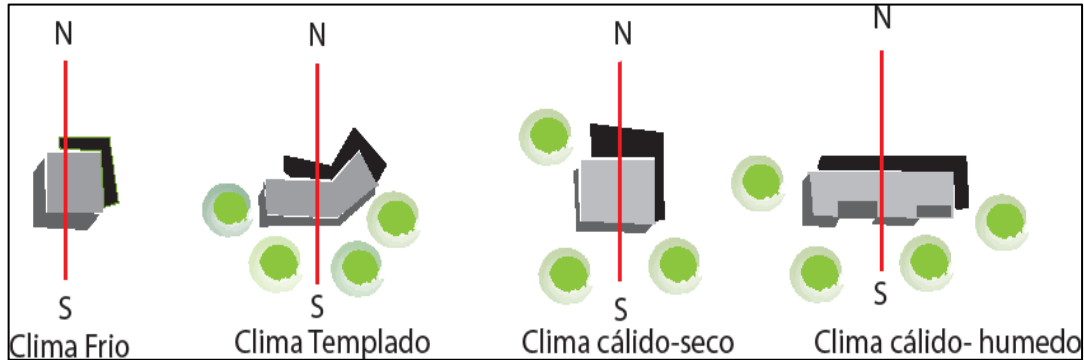
En esta orientación los rayos solares inciden en algunos días cerca del solsticio de época seca. En época lluviosa no inciden directamente sobre la fachada.



Las orientaciones están recomendadas para brindar mayores fortalezas en el uso y ubicación de los espacios en relación a sus funciones prácticas y necesarias para el buen desarrollo de las actividades que cualquier ser humano necesita desarrollar, por ende, se brindan estas guías para la ubicación en el lote de los bloques a desarrollarse bajo la preferencia de las personas que los habiten y las necesidades que tengan en relación al sitio y al ambiente

- c) Formas de los Edificios: Geometría: A través de las superficies exteriores de un edificio se produce en buena medida el intercambio de energía con el exterior, mayor sea la superficie, mayor intercambio energético tendrá el edificio. Las pérdidas y ganancias de energía de un ente construido están fuertemente influenciadas por el valor de la forma que tenga éste, a su vez de la forma geométrica que tenga el edificio, que determina la proporción de su superficie exterior de intercambio de energía según el entorno exterior respecto al volumen que encierra. Los edificios compactos son los más adecuados para reducir las pérdidas o ganancias de los edificios, aconsejables para climas extremos muy caluroso o muy fríos.

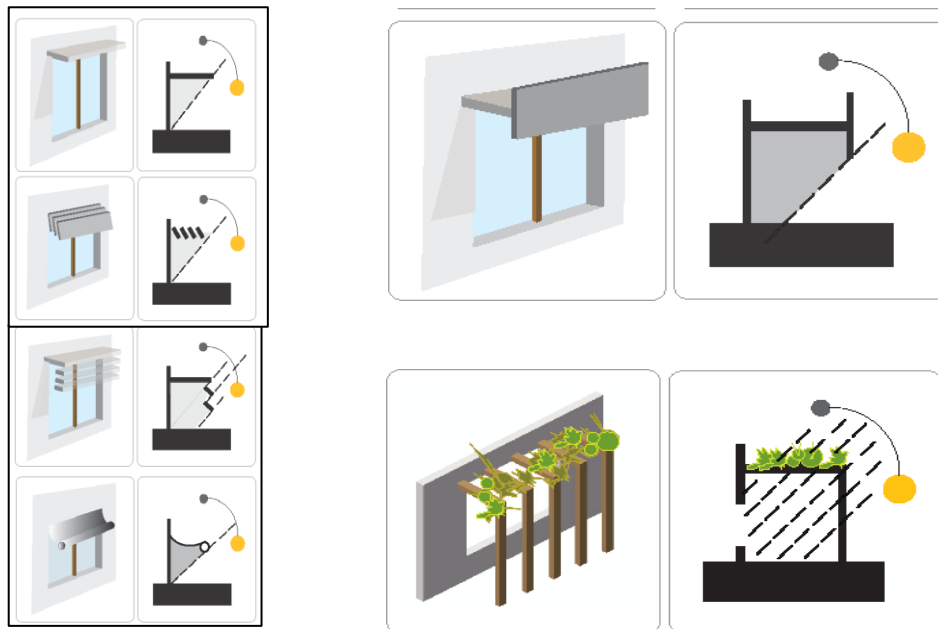
Los edificios con fachadas más extensas y alargadas les favorecen para la captación de vientos e iluminación. Para una forma igual del edificio en las zonas cálidas debe usarse mayores volúmenes habitables que en las frías.



Imágenes de posibilidades de composición del bloque construido. Fuente: *La medida de un acasa*. Xavier Fonseca. 1995.

### 3-12.7. Elementos de Protección Solar: Parasoles y Aleros.

Los aleros son proyecciones de la fachada que funcionan como aislantes de la radiación producida por el sol, estos son realmente efectivos para sol alto del mediodía, son de especial atención para las fachadas sur y norte. Estos son apropiados porque reflejan la luz difusa al exterior y elevan el nivel de iluminación interior, sobre todo si estos son objetos claros.



Imágenes de posibilidades de aleros. Fuente: *Germen, Jerry. (1986) Estrategias pasivas para Costa Rica: Una aplicación regional del diseño bioclimático. Colegio de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica.*



### 3-12.8. Techos o Cubiertas: rango de colores y su reflectividad.

Los techos o las cubiertas son los puntos más altos que presenta una construcción, es el punto más expuesto al sol, y es el que por lo tanto recibe la mayor cantidad de radiación emitida por el mismo, es por ello que se debe pensar en que tratamiento se le puede dar para que este no sea un promotor del calentamiento de un recinto habitado. El color que se utilice en la techumbre determina y ayuda al control de la radiación que llega a la misma, entre más claros sean los colores menor grado de absorción tendrá, por lo tanto, generará menos calentamiento a lo interno.

*Tabla de reflexión de los colores.*

Tipo de Superficie	% de Absorción
Reflectantes	0.20
Rugosas de color blanco	0.25-0.40
Amarillo claro al amarillo oscuro	0.40-0.50
Verde, rojo y marrón	0.50-0.70
Marrón oscuro al azul	0.70-0.80
Azul oscuro al negro	0.80-0.90

*Fuente: Germen, Jerry. (1986) Estrategias pasivas para Costa Rica: Una aplicación regional del diseño bioclimático. Colegio de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica.*

*Tabla de reflexión de los materiales.*

Materiales	% Reflexividad
Acero galvanizado, nuevo	45
Acero galvanizado, aclimatado	30
Tejas, arcilla roja	30
Con pintura, café, roja, verde	30

*Fuente: Germen, Jerry. (1986) Estrategias pasivas para Costa Rica: Una aplicación regional del diseño bioclimático. Colegio de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica.*

Las paredes son otros de los elementos que se ven expuestos a la radiación solar y que según su gran masa térmica tienen la capacidad de conservar las temperaturas frescas de la noche a través del día. Para esto es necesario saber las fluctuaciones del calor que presente el material que se vaya a usar y el grosor de la pared. Los materiales que tienen la capacidad de conservar las temperaturas frescas de la noche a través del día necesitan tener entre 15-60 cm de grosor para lograr tales objetivos.

Tabla de reflexividad de diferentes materiales.

Material	Fluctuaciones de temperatura en función del espesor del muro.					
	10cm	20cm	30cm	40cm	50cm	60cm,
Adobe		10°	4°	4°	5°	
Ladrillo		13°	6°	4°		
Hormigón		15°	8°	5°	3°	3°
Agua	17°	10°	7°	9°	6°	5°



Fuente: Germen, Jerry. (1986) *Estrategias pasivas para Costa Rica: Una aplicación regional del diseño bioclimático*. Colegio de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica.

### 3-12.9. Estrategias para la utilización del viento.

El viento es un factor determinante, porque el es uno de los medios más baratos para proveer de ventilación a nuestro lugar de estar, ya sea casa, escuela u otro. Utilizando simples estrategias se podrá hacer un mejor uso de este. Por ello con pequeños cambios podemos mejorar la ventilación de cualquier lugar, entre estas podemos mencionar:

- *Aberturas en planta, fachadas.*
  - *Ubicación- tamaños.*
  - *Elementos de Diseño Interno para utilización del viento; tabiques, atrios y patios*
  - *Techos.*
- a) Ventilaciones / Aberturas: Importancia: La ventilación tiene como función disminuir la temperatura superficial de las personas y superficies. Así como de proveer de aire/oxígeno para las necesidades fisiológicas de las personas (un mínimo de 0.2 l/s/persona se requiere para respirar) y para proveer la eliminación necesaria de olores desagradables es superior a la necesaria para renovar el oxígeno y disminuir el CO<sub>2</sub>, los requerimientos de estas necesidades se adaptan según:

- *Frecuencia de uso del local*
- *Densidad de usuarios*
- *Tipo de local.*

La ventilación se puede realizar como una ventilación general, esta actúa en todo el volumen en todo el local, mejora el clima interno (oxígeno, gases, vapores, olores) y la ventilación local, esta actúa en zonas determinadas. Los factores que influyen en la ventilación son:

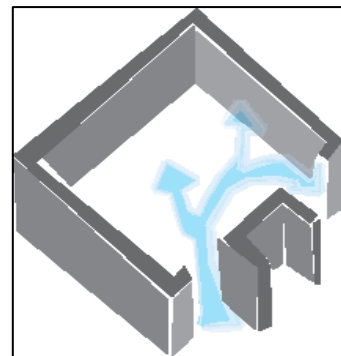
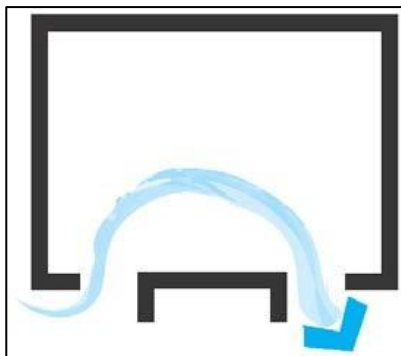
- *Forma y proporciones de los espacios exteriores*
- *Forma y proporciones de los edificios*
- *Ángulo de incidencia del viento*
- *Ubicación de las aberturas*



- *Aleros y salientes*
- *Orientaciones opuestas*
- *Obstáculos interiores y profundidad de locales.*
- *Obstáculos exteriores*
- *Dispositivos en aperturas*

b) Tipos de Ventilación.

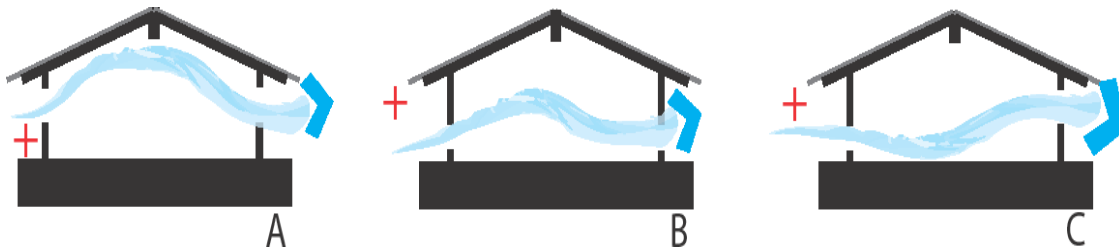
- **Ventilación Cruzada:** Esta ventilación se da para climas cálidos-húmedos. Esta ventilación necesita los siguientes requisitos:
  - *Velocidad del aire que permita disipación de calor por convección y evaporación. La velocidad recomendada es de 1m/seg hasta 2m/seg.*
  - *Abertura de entrada y apertura de salida perpendicular a dirección del viento.*
  - *Movimiento de aire a nivel del cuerpo.*
- **Ventilación Selectiva:** Esta es utilizada para climas con gran amplitud térmica (cálidos – secos)
  - *Esta se utiliza para reducir la ventilación durante el día.*
  - *Mínimos por requisitos higiénicos.*
  - *Entrada de aire exterior durante la noche.*
  - *Velocidad de aire exterior durante la noche hasta 1m/seg*
  - *Para refrescar temperaturas en superficies interiores.*
- **Ventilación Mínima:** Para climas fríos, en esta ventilación se ocupa evitar las pérdidas de aire caliente interior, movimientos de aire mínimos para garantizar cambios de aire por requisitos higiénicos, las aberturas son mejor ubicarlas por sotavento, y dar protección con vegetación, agrupamiento y forma del edificio.
- **Ventilación Unilateral:** Este tipo de ventilación se utiliza para mejorar la forma de ventilación de cualquier sitio. Esta se caracteriza por:
  - *Tener dos ventanas.*
  - *El viento tiene incidencia en ángulo.*
  - *Las ventanas en los extremos poseen salientes en el centro. (saliente = ancho de ventana) esto sirve para crear zonas de alta y baja presión y para inducir al movimiento de aire.*



Imágenes de ventilación unilateral. Fuente: La medida de una casa. Xavier Fonseca. 1995.

- c) Aperturas: Ubicación, tamaño y tipo. La ubicación de las aberturas ayuda enormemente para la utilización del aire dentro de una vivienda u otro para brindar mejores calidades de confort para el habitante. El flujo de aire a la altura requerida depende de la posición de las aberturas, por entradas y salidas en diferentes puntos del espacio. Así contamos con tres básicas maneras de proyectar el aire:

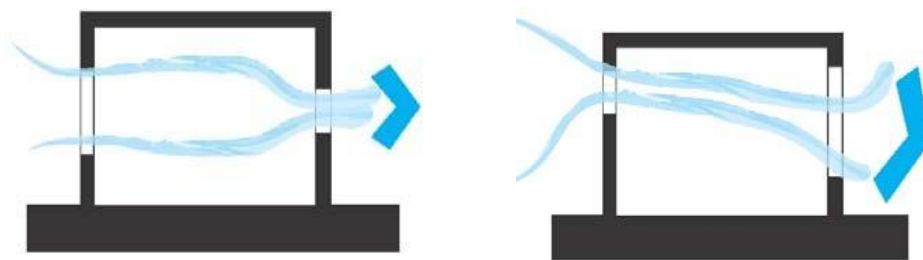
- A. Entrada alta y salida alta: Flujo de aire alto.
- B. Entrada baja y salida baja: Flujo de aire bajo
- C. Entrada baja y salida alta: variación de altura de salida no afecta flujo de aire en la mayor parte del local.



Variaciones de las aberturas Fuente: *La medida de una casa*. Xavier Fonseca. 1995.

- d) Tamaño de las Aberturas: El tamaño de las ventanas, tabiques u aberturas que tengamos en nuestra construcción también produce o ayuda a la ventilación dentro de un espacio habitable, esto ayuda a la coordinación de la entrada y salida de aire y a mejorar su velocidad dentro de la vivienda. Por ello es importante tomar en cuenta también el tamaño que incorporemos.

- Entrada amplia-salida reducida. Las aberturas que poseen entrada amplia y salida reducida producen:
  - Buena distribución del aire interior.
  - Velocidad del aire reducida.
- Entrada reducida-salida amplia. Aumenta la velocidad del aire en el interior.

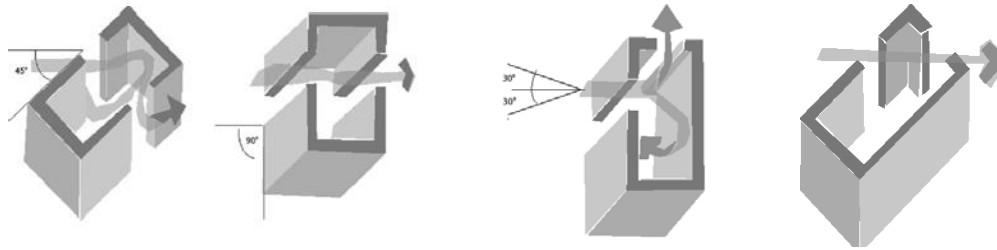


Variaciones de las entradas- salidas de aire. Fuente: *La medida de una casa*. Xavier Fonseca. 1995.

Los ángulos para ventilaciones en paredes opuestas o ángulos de entrada del viento también son importantes tomarlos en cuenta, los ángulos para proyecciones de aberturas son:

- Ángulo de 45°. Velocidades más altas.
- Ángulo de 90°. es 15-20% menos efectivo.
- Ángulo de 20°-30°. hacia la perpendicular. No afecta severamente la ventilación.

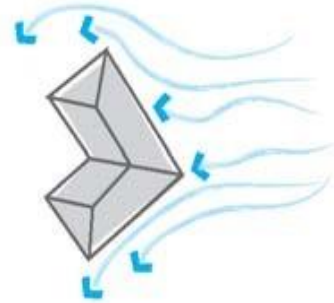




Variaciones de los ángulos. Fuente: *La medida de una casa*. Xavier Fonseca. 1995.

e) La colocación de construcciones en lugares ventosos se recomienda:

- Considerar la ubicación de la construcción como punto clave dando “la espalda” al viento de mayor preponderancia en la zona, localizando corredores, terrazas, puerta principal y aberturas grandes del lado opuesto.
- Aprovechar el efecto de succión para ventilar estas áreas.
- Los techos más amplios y las salidas superiores de aire deben realizar técnicas de techos flotantes u otros.
- Diseñar techos con limatones y limahoyas que permitan tener aleros amplios y bajos con pendientes considerables para la evacuación de aguas.
- La estructura del techo debe estar muy bien anclada a la estructura principal de las paredes.
- Los aleros deben llevar cielo hermético y sin cajas de aire que puedan poner en riesgo el techo



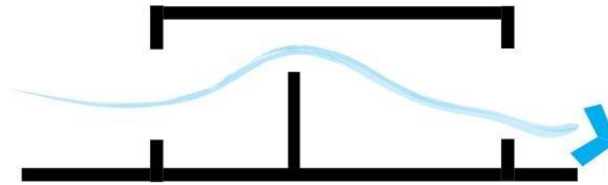
f) Elementos de Diseño Interno para utilización del viento: Se puede utilizar también dentro de las viviendas diferentes cortes en el diseño interno para implementarlo como medida de utilización de la luz natural y de la mayor utilización de la ventilación dentro de este tema se plantean dos constantes importantes:

- Tabiques internos y/o Divisiones Internas.
- Patios.

g) Tabiques o paredes internas: Los tabiques internos son los elementos que utilizamos para establecer divisiones en nuestras casas oficinas u otros, más conocidos como paredes, estas divisiones internas o tabiques nos ayudan a la hora de formular distintos espacios o sectores, pero también pueden representar entes cortantes en la ventilación de nuestros aposentos.

Lo que se recomienda entonces es que estas paredes internas no lleguen hasta los puntos superiores del techo sino que sean más bajas que las paredes que funcionan como fachadas exteriores o estructurales del proyecto y que estas que son de divisiones internas se bajen de nivel produciendo una continuidad en el flujo del aire que permite una ventilación más eficiente para la misma.

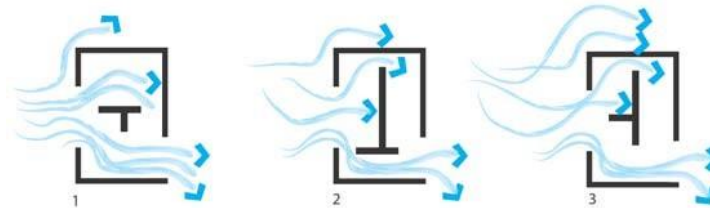
Otro punto importante son los materiales que estemos utilizando, estos deben ser livianos y de corte delgado, en algunos casos las personas utilizan paneles de cedazo y tela que permite un mayor paso del aire por toda la casa creando sectores libres de ventilación.



*Entrada y salida de aire. Continuidad por medio de tabiques Fuente: La medida de una casa. Xavier Fonseca. 1995.*

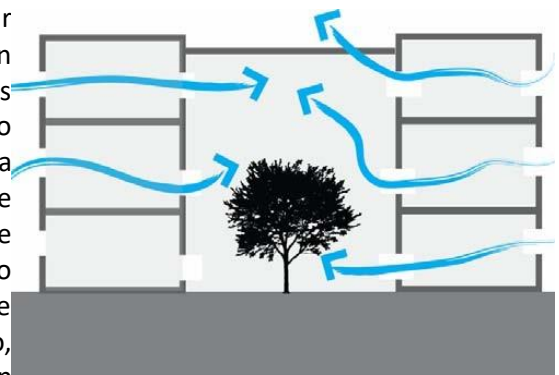
Problemas Frecuenta en diferentes Colaciones de Tabiques:

- Flujo Interceptado: Al utilizar paredes interceptadas entre ellas se produce un efecto de disminución en la velocidad del viento y esto limita el efecto refrescante.
- Divisiones paralelas al flujo de aire: Estas divisiones parten el flujo y logran mantener las velocidades adecuadas para elrefrescamiento de las estancias.
- Divisiones perpendiculares al Flujo: Estas alteran el recorrido de las corrientes de aire dejando sin ventilación al sector trasero de la construcción.



*Entrada y salida de aire. Afectación del aire por paredes internas. Fuente: La medida de unacasa. Xavier Fonseca. 1995.*

- h) Patios: Los patios son excelentes medios para refrescar una construcción, ya que estos permiten una ventilación cruzada en espacios aledaños. Para la utilización de estos en una construcción es necesario no techarlos, así como utilizar vegetación para controlar incidencia de la radiación solar en el lugar. En una casa un patio puede ser empleado como un espacio de esparcimiento e iluminación a todas las habitaciones de cada piso. El suelo de los patios puede ser acabado de baldosas o de hormigón, o bien una zona ajardinada. En cualquier caso, suele disponer de un sistema de drenaje o de evacuación del agua de lluvia y evitar así su acumulación.

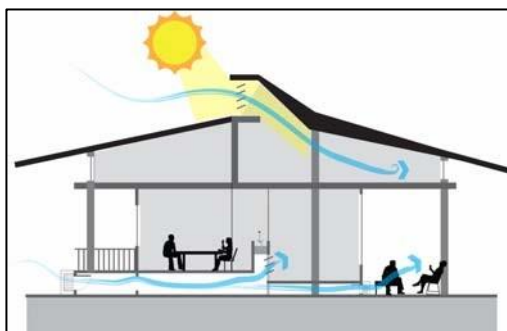


- i) Techos y Cubiertas: Los techos influyen fuertemente en cómo puede entrar y manejarse las corrientes de vientos dentro de las instalaciones habitacionales o incluso como poder desviarlas en el caso de que no se quiera más bien el ingreso de la brisa o el viento fuerte en una construcción, casi nunca se toca el tema pero es de suma importancia y un medio muy útil para crear otras formas de ventilación dentro de la misma. Los techos o las cubiertas tienen la versatilidad de poder crear con ellos juegos visuales que se vuelven puntos atractivos en la formalidad de una casa y que generan cierta dinámica constructiva y plástica, pero además de ello, si se utiliza de una forma adecuada pueden generar estas condiciones de refrescar y ventilar la vivienda o el edificio. A continuación, se esbozan algunos casos de cómo poder articular las cubiertas para generar situaciones antes mencionadas:



Ventilación cruzada. Propuesta para la aplicación de un mecanismo de flujo (ejemplo positivo) ejemplo tomado del libro Instituto de Arquitectura tropical. "Arquitectura rural en el trópico. Enclaves bananeros" en Costa Rica.

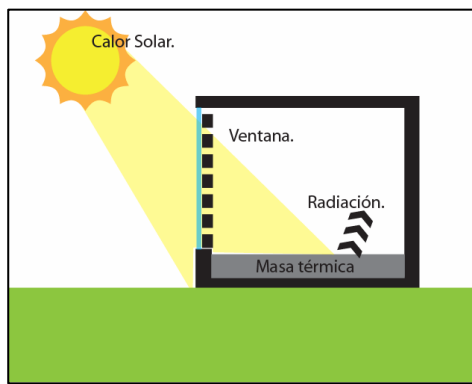
- j) Pisos: Los pisos es otro de los puntos que pocas veces o casi nunca son tomados en cuenta a la hora de diseñar espacios en lugares calientes. La colocación de bolsas de aire entre el piso de la casa y el suelo hace que esto sea altamente funcional y le brinda la capacidad al usuario de poder restringir de una manera fácil y rápida el paso del viento, esto porque cuenta con la posibilidad de cerrar la puerta de paso y controlar el acceso o no del viento.



*Entrada y salida de aire.  
Mediante la estrategia de  
usar desniveles de pisos en  
la casa, se captura la  
corriente de viento y se  
dirige hacia el interior de  
la casa, así mismo se  
provoca una entrada y  
salida del aire. Fuente  
ProDUS*

- k) Galerías, terrazas y corredores: Los espacios continuos a la entrada de las casas que funcionan como corredores o espacios de estar, se convierten en centros generadores de actividad y confort esto porque se crea un medio espacial donde se reúnen las condiciones externas del contexto y las internas de la construcción, aunque no son espacios para ser considerados como habitables son fuente de refrescamiento para el individuo que habite un sitio.

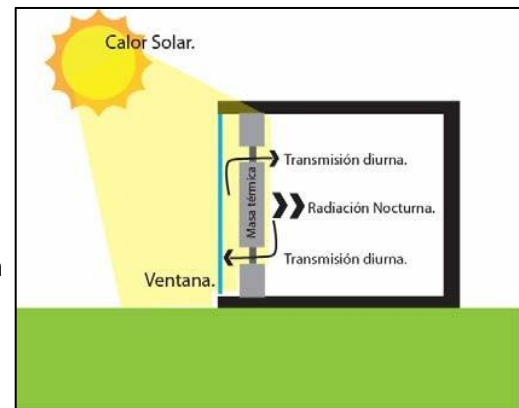
- l) Estrategias para la acumulación de calor: Para la acumulación del calor se han desarrollado sistemas para la ganancia directa, como: el muro de acumulación, el techo acumulador de calor, o la captación y el pisotérmico.
- m) Ganancia Solar Directa: La ganancia directa es mediante la captación del sol de forma continua al recinto habitable, esto es que el sol entra por las ventanas, tragaluces, u otra apertura sin ningún objeto que interfiera. Esto se resume en una gran ventana expuesta hacia el lado donde el sol pegue más fuerte en la construcción, y que este caliente los pisos, y los muros, estos almacenarán el calor y lo distribuirán en el espacio por radiación y convección. El control en este caso lo realiza la ventana y es recomendable el uso del doble vidrio para impedir las fugas de calor



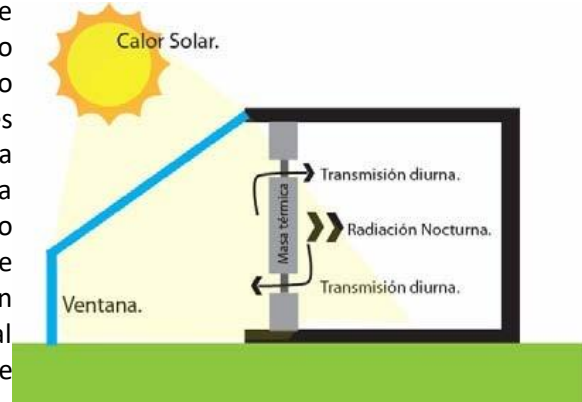
*Efecto de la radiación del sol en masa térmica.  
Fuente: La medida de una casa. Xavier Fonseca. 1995.*

- n) Muro térmico: Este sistema capta y almacena el calor fuera de la zona habitable. Se logra construyendo un muro térmico con una gran masa entre el espacio habitable y los rayos del sol. El calor almacenado en el muro es distribuido por la radiación de la parte posterior y la convección provocada por aire frío que circula en la parte interior. El control depende del correcto tamaño del muro para lograr que la radiación comience después de un cierto número de horas, por el uso de agujeros controlables manualmente para regular la dirección y cantidad del flujo de aire y con el uso de persianas aislantes para controlar la radiación solar. Este sistema se puede subdividir en tres tipos:

- A) Muro y techos masivos (como el adobe que absorben el calor durante el día y lo irradian durante la noche).
- B) Un muro masivo con un vidrio enfrente (este sistema se conoce comúnmente como un muro Trombe en honor a su inventor).
- C) Una pared de agua; el agua está contenida en tambores o tubos, el control depende del tiempo que tarda en calentarse el agua.



- o) Invernadero: Este sistema se deriva de un muro Trombe y consiste en un invernadero anexo a la casa separado por un muro térmico. El calor se almacena en el muro que divide el invernadero del espacio habitable y es distribuido por radiación tanto al invernadero como a la vivienda y por el aire que pasa del invernadero a la casa. El control lo efectúa el tamaño correcto del muro y el uso de las aperturas que regulen el flujo del aire entre ambos espacios. El invernadero no sólo es un depósito de calor, sino también un espacio adicional utilizable y que presenta además la oportunidad de cultivar alimentos.



- p) Depósito de agua o materiales de captación de calor en la azotea: Bolsas de plásticos resistentes a las roturas, se colocan llenas de agua sobre un techo metálico. La energía térmica es almacenada por el agua. El control se efectúa con unos paneles aislantes que se encuentran sobre las bolsas de agua. En el día se corren los paneles para permitir el paso del sol y en la noche se cierran para evitar las pérdidas de calor.
- q) Piso con tuberías calientes: También existe la posibilidad de insertar tuberías livianas de agua caliente debajo de las instalaciones de los pisos para que en la noche estas sirvan de calefacción a las personas que residen en algún lugar y esto genere un ambiente más caliente en la construcción en la que se use.
- r) Materiales para edificios que sean sustentables: Hasta en los materiales que se utilice se puede fomentar para que una construcción sea sustentable, entre las características que debe poseer están:
1. *Bajo contenido energético. Entre los materiales usados en la construcción que más energía propia poseen se encuentran: el aluminio primario (215 MJ/kg), el aluminio comercial con 30% reciclado (160 MJ/kg), el neopreno (120MJ/kg), las pinturas y barnices sintéticos (100 MJ/kg), el poliestireno sea expandido o extraído (100MJ/Kg) y el cobre primario (90 MJ/kg) junto a los poliuretanos, los polipropileno y el policloruro de vinilo PVC.*
  2. *Esto es que tenga bajas emisiones de gases que provocan el efecto invernadero, tales son: CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>.*
  3. *En caso de que se utilicen maderas evitar las maderas de cultivos como el: el pino, el eucaliptos entre otras.*
  4. *No utilice materiales como: fibras de asbesto, amianto, plomo, formaldehídos, disolventes volátiles, y el mencionado anteriormente el PVC.*
  5. *La utilización de materiales autóctonos contribuye a reducir el consumo de reducir el consumo de combustibles fósiles y el efecto invernadero asociado a este.*
  6. *Evitar en lo posible la utilización de maderas de especies amenazadas con su extinción.*
- s) Pinturas, disolventes y selladores
1. *Elija productos con poco VOC. Los VOCs, un contaminante común del suelo y del aire, son sustancias químicas fabricadas por el hombre que se utilizan para producir y fabricar pinturas y refrigerantes. Busque selladores, adhesivos, pinturas y madera sintética con poco contenido de VOC.*



2. *En la medida de lo posible no utilice disolventes. "Es especialmente importante para clientes que trabajen en una guardería, asilos de ancianos u hospital considerar el uso de pinturas orgánicas o sin disolventes, las cuales no contienen sustancias químicas perjudiciales.*

t) El uso energético en su casa:

1. Utilice lámparas, bombillos y electrodomésticos de bajo consumo de energía. En lugar de bombillas halógenas o incandescentes que consumen más energía, instale fluorescentes y diodos emisores de luz (LED, por sus siglas en inglés). Considere cambiar lámparas más viejas por las nuevas, que utilizan alrededor de un tercio menos de electricidad que las lámparas estándar y proporcionan igual calidad de luz. Así como a la hora de comprar electrodomésticos que estos sean con tecnologías que ayuden al ahorro del consumo del agua o de la energía.
2. Aplique película solar en las ventanas. La película para ventanas se elabora con una película de poliéster revestida con adhesivos que absorben los rayos UV, los cuales bloquean los rayos del sol. Utilizar una película para ventana transparente adaptada a la superficie interior del vidrio puede ayudar a los clientes a mejorar el control del clima en interiores y ahorrar en energía en costos de iluminación y aire acondicionado.
3. Instalar en los edificios sistemas que ayuden a la recolección y acumulación de agua llovida para su aprovechamiento como agua de riego o de limpieza.
4. Seleccionar electrodomésticos eficientes que consuman el mínimo agua posible y sean capaces de autorregular su consumo.
5. Instalar en los inodoros mecanismos que permitan ahorrar agua en cada descarga en función de las necesidades de los usuarios.
6. Seleccione griferías que sean eficientes; que incorporen mecanismos de ahorro (las temporalizadas consumen menos que las convencionales, y las electrónicas menos todavía); si no los llevan incorporados, colocar reductores de consumo que permitan ahorrar hasta un 50% de agua.
7. En viviendas aisladas, considerar la posibilidad de instalar sistemas de depuración biológicas de las aguas residuales.

u) Materiales reciclables: Entre los materiales posibles de reciclar se encuentran:

- La mampostería en la forma de escombros triturados se puede utilizar de maneras ingeniosas para hacer contrapisos.
- Las maderas de diversas escuadrías de techos, paneles y pisos.
- Hormigón de pavimentos, que se vuelve a triturar y usar en estructuras de menor compromiso de cargas.
- Las puertas, ventanas y otras aberturas. Por ejemplo, las puertas que no se utilicen se pueden reutilizar agregándole algún decorado que le dé un valor agregado.
- Las lozas de revestimientos cerámicos rotos pueden ser colocados en forma de mosaico que genera una belleza escénica.
- El hierro estructural para obras menores.
- Las rejas.



### 3-12.10. Análisis de la Realidad Alajuelense:

	<h4>Villa Bonita.</h4> <p>En la mayoría de las casas, la preocupación solo se genera en establecer áreas de ventilación tradicionales, por medio de las ventanas, se crea esa apertura hacia las corrientes de viento, casi no hay ninguna otra estrategia utilizada, además de esta</p>	
	<p>Otra de las estrategias es la colocación de cortinas o películas de protección al sol como estrategias para evitar la radiación excesiva hacia el interior de la casa.</p>	
	<h4>Sector Cristo Rey Montecillos.</h4> <p>El uso de ladrillos perforados permiten el ingreso de corrientes de aire pero a veces estos se deterioran o por la falta de aseo provocan que estos no funcionen adecuadamente.</p>	



### Las Cañas

- Uso de sistemas- ático para la salida de aire caliente y entrada de aire fresco.
- Uso de aleros para la protección de la entrada de luz a la residencia.
- Uso de corredores como espacio transitorio entre bloques externo e interno
- Uso de vegetación para reodorizar el aire del sitio.



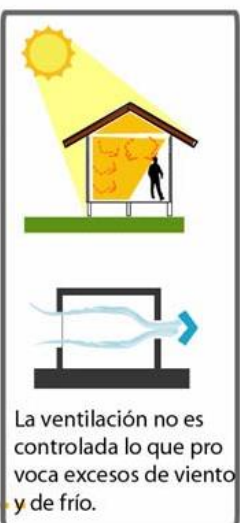
### Barrio el Carmen. Alajuela Centro

- En Alajuela Centro, es difícil ver casas, edificios u otro con elementos propios de climatización pasiva, en este caso un intento por medio de ladrillo perforado para permitir el paso del viento y la salida del aire caliente, sin embargo estos métodos a veces no son muy efectivos, por la suciedad del ladrillo, o por no crear otro punto de entrada y salida del aire



### INVU Las Cañas.

Es muy común encontrar a lo largo de todo el recorrido por los diferentes lugares de Alajuela sitios de reunión comunal en donde se utilizan materiales que no son aptos para la concentración de cantidades sustanciales de personas por el calor que acumulan aunque tengan un porcentaje de factor de reflexión a la luz del sol. En este caso la lata de zinc se sin el tratamiento de alguna pintura funciona como un horno.



La ventilación no es controlada lo que provoca excesos de viento y de frío.





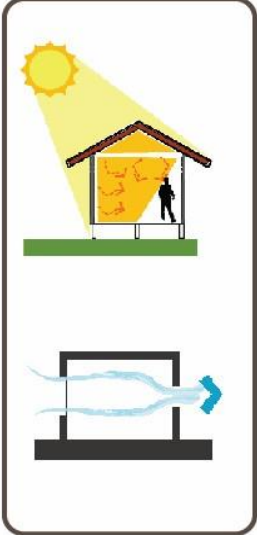
### Plaza e iglesia de Tambor

- Uso de techos con cambios de niveles que ayudan a la salida del aire caliente acumulado
- Amplios aleros que ayudan a que la incidencia del sol en las paredes no sea tan grande, sino que esta disminuye incluso en horas de la mañana.
- Planta baja abierta para el ingreso del aire frío y el refrescamiento del sitio.



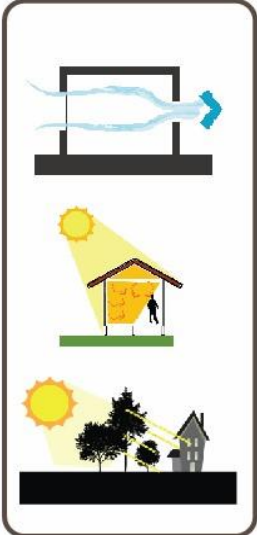
### Plaza e iglesia de Tambor

- Aperturas a nivel superior con maya que permiten el paso del viento y la salida del aire caliente sin embargo estas aperturas por ser mayas no tienen la modalidad de poder ofrecerle al usuario una posibilidad de regular la entrada de aire al recinto, lo que puede provocar incomodidad en tiempo de época lluviosa.
- Uso de lata de zinc para cubierta sin pintar lo que provoca que no exista protección contra la radiación solar, lo que desemboca en más calor interno



### Pueblo Nuevo

- Aperturas a nivel superior con maya que permiten el paso del viento y la salida del aire caliente estas aperturas tienen la modalidad de poder ofrecerle al usuario una posibilidad de regular la entrada de aire al recinto.
- Uso de colores claros para evitar las radiaciones de calor, así como de materiales como concreto.
- Uso de árboles y otros en los alrededores que ayudan al refrescamiento del sitio así como sombra y permeabilidad a la luz del sol.



### 3-12.11. Estrategias Constructivas para el Espacio Urbano.

Para analizar mejor el clima en las ciudades se hace una distinción entre el aire a la altura de los edificios hasta el suelo, llamado de “canopy”. El que se encuentra a mayor altura conocido como “domo” de la ciudad, la temperatura de este aire es más homogénea entre diversos puntos, mientras que el primero presenta cambios más inmediatos de un punto a otro.

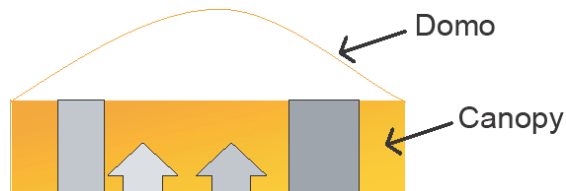


Diagrama que explica el efecto “Canopo”. Fuente ProDU

En cuanto a la temperatura urbana, es muy importante el llamado fenómeno de “Isla decalor” (*heat island*), el cual consiste en la diferencia entre la temperatura promedio del área urbana densa, la cual es mayor que en las zonas rurales circundantes. Es un fenómeno principalmente nocturno, ya que durante el día la diferencia es menor e inclusive se puede invertir. La alta temperatura urbana reduce el consumo de energía en calefacción, en los países donde esta es necesaria. También en algunos casos aumenta el riesgo en horas calientes para niños, ancianos, enfermos, y otros.

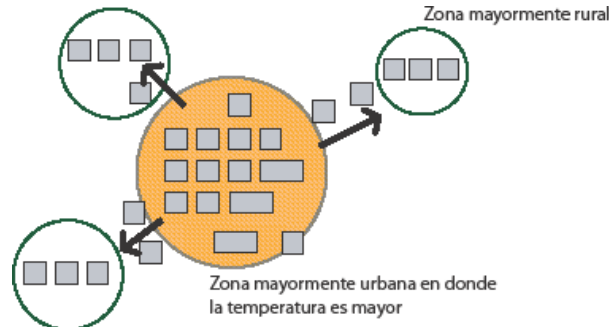


Diagrama que explica como el calor urbano se distribuye a los demás núcleos. Fuente ProDUS

Los cambios en la temperatura *producto de la ciudad* (isla de calor, fenómeno nocturno) provocan un aumento gradual de aire caliente en el centro y un flujo centrípeto de aire fresco, cerca del suelo, desde las afueras hacia el centro, cuando el patrón de densidad urbana es aproximadamente uniforme. Entre más grande y densa sea una ciudad, se presenta una mayor diferencia de temperatura con las zonas rurales aledañas.<sup>3</sup> Si hay vegetación, las plantas se calientan lento pero liberan el calor rápidamente, debido a su humedad. Por otro lado, los edificios se enfrían lentamente y reflejan mucha energía solar. Se debe considerar que va a permanecer en ese lugar en el tiempo, por lo que la selección de la ubicación determina las opciones de crecimiento con las que va a contar el poblado y la dirección de su expansión. Si la población se ubica a sotavento (la parte opuesta a aquella de donde viene el viento con respecto a un punto o lugar determinado), las condiciones van a ser más áridas y con menos viento. A barlovento (parte de donde viene el viento, con respecto a un punto o lugar determinado.), hay más viento y lluvias.



Se puede influir en el flujo de aire a través de la estructura física, incluyendo la orientación de las calles y los edificios respecto a la dirección del viento. Los principales factores que determinan estos efectos son la altura promedio de los edificios y la distancia entre ellos. Respecto a la altura el aspecto más importante es la diferencia de ella entre edificios vecinos-

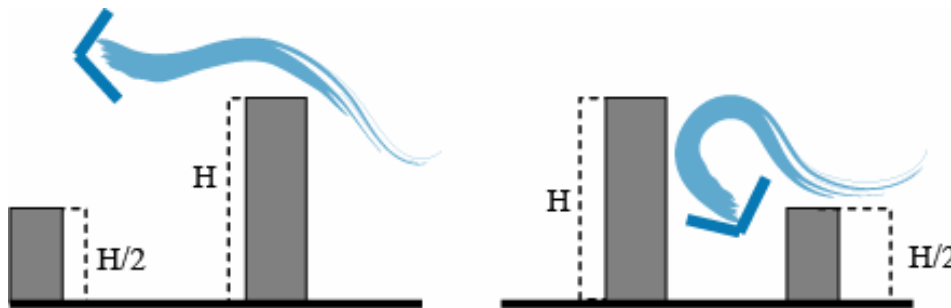


Diagrama del comportamiento del aire. Fuente ProDUS

### 3-12.12. Impactos climáticos del ancho y orientación de calles.

Deben considerarse los siguientes factores:

- Orientación.
- Condiciones del viento
- Sol y sombra en las calles y aceras
- Exposición solar de los edificios
- Potencial de ventilación de los edificios junto a las calles.

Las calles angostas proveen mayor sombra a los transeúntes, sin embargo, esto se puede lograr también con detalles especiales en los edificios o árboles. La orientación de la planta de las edificaciones este - oeste es recomendada si lo que se busca es mayor exposición al sol. Impacto combinado:

- Filas de edificios perpendiculares a la dirección del viento: zonas escudadas con poca velocidad de viento.
- Bloques de edificios paralelos a la dirección del viento: más viento entre ellos y sobre las calles. Pero hay poca diferencia de presión entre los lados del edificio y se dificulta la ventilación natural.
- Edificios oblicuos al viento: la velocidad y presión es diferente a ambos lados del edificio. ("Downwind": mayor velocidad.)
- Calles paralelas al viento: se crean pasajes sin obstáculos (más si son anchas) por los que puede penetrar hasta el centro del área urbana.
- Calles perpendiculares con edificios a su lado: la corriente principal va sobre los edificios, el flujo en las calles es secundario provocado por la fricción del viento en los edificios. La ventilación casi no es afectada por el ancho de las calles. Calles oblicuas: mayor amplitud en las calles mejora la ventilación en las mismas y en los edificios.



### **3-12.13. Impacto de la densidad urbana en la demanda de energía y en el potencial para energía solar.**

La alta densidad promueve el transporte público, reduce la longitud de las calles necesarias para cierto número de habitantes, y con ello la longitud de facilidades para infraestructura (agua, energía). Así se tiene una menor área cubierta y pérdida de calor. La orientación de las calles respecto al norte y su ancho afecta la temperatura y condiciones del sol en edificios y aceras, también determinan la orientación de la subdivisión de la tierra en lotes y con ello la orientación de los edificios, por lo que tienen gran impacto en el potencial de edificios individuales para utilizar energía solar. La manera más simple para promover el aprovechamiento de este potencial es maximizar la orientación este-oeste de las calles. También reducir la sombra entre edificios ampliando la distancia entre edificios en dirección norte-sur, y establecer regulaciones de retiros.

### **3-12.14. Detalles de diseño especiales que afectan las condiciones exteriores Protección del sol y la lluvia**

Aproximaciones de diseño básicas:

- Colgante (alero) proyectado hacia fuera de la pared de edificios junto a aceras.
- Retiro del primer piso, aumentando el ancho de las aceras. (Sugerencia del texto *Climate Considerations in Building and Urban Design*.)
- Mantener el retiro del primer piso, pero permitir un voladizo que permita al transeúnte un mayor nivel de protección.
- Colores claros disminuyen la absorción de calor del edificio e intensifican la luz natural de las calles, pero producen brillo al peatón. Hay que tomar la decisión en función de si lo que debe primar es el interés por el peatón o por la edificación.
- Tratamiento de fachadas para reducir brillo: proyecciones horizontales, parasoles verticales, superficies ásperas y salientes.
- Vegetación como control de brillo, cuando enredaderas cubren las paredes crean una superficie de poca reflexión. O implementar vegetación a las aceras.

### **3-12.15. Efectos climáticos de parques públicos y lugares de juego.**

En regiones calientes es conveniente proveer amplias sombras y protección contra el viento y el polvo, especialmente en las zonas públicas de las ciudades. Filas de árboles, conocidas como “tapa vientos” o “rompe vientos”, proveen protección contra vientos y el polvo.

La sola existencia de áreas verdes públicas no garantiza la creación de lazos sociales, e incluso pueden llevar a condiciones conflictivas. Las funciones socioculturales, con oportunidades de recreación, son especialmente importantes en vecindarios de bajos recursos. El cumplimiento de estas funciones depende del arraigo que la comunidad sienta sobre las áreas públicas, y especialmente en las actividades que se desarrollen en estos espacios, lo cual es posible con las facilidades y el financiamiento adecuados. El éxito de un parque depende de la visita de la gente para la cual fue diseñado, si es abandonado atrae delincuencia y se empeora el vecindario. Entonces se necesita planear la ubicación de facilidades, caminos, así como el uso de los terrenos a su alrededor y la ubicación de estaciones del transporte público.



### 3-12.16. Consideraciones en tipos de edificios.

Algunos elementos por tomar en cuenta de acuerdo con los tipos de edificio. Tabla de análisis de edificaciones.

<b>Casas independientes</b>	<b>Filas de casas</b>	<b>Edificios de apartamentos de varios pisos</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- La superficie que la “envuelve” es amplia (dado que está conformada por los cuatro costados más aún si posee un patio)</li> <li>- Sin embargo se pueden lograr variantes valiosas si se incorpora vegetación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Poseen en principio dos lados de afectación directa del medio (sol y viento). Pero con elementos diseñados se permitirán niveles de confort elevados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Edificios que posean corredores son apropiados si se orientan para que el corredor esté abierto en verano y localizado a sotavento, pero puede afectar la privacidad.</li> <li>- Edificios de apartamentos con acceso directo: la ventilación y el potencial de energía solar depende del número de unidades accedidas directamente desde la escalera.</li> </ul>