

**Julio, 2014**

**ESTUDIO DE GEOLOGÍA BÁSICA, HIDROGEOLOGÍA AMBIENTAL Y  
CONDICIÓN DE AMENAZAS Y RIESGOS NATURALES**

**PROYECTO  
Cuidad de la Investigación**

**San Pedro, Montes de Oca, San José**

**COORDINADO POR:**

**GEOCAD ESTUDIOS  
AMBIENTALES**

**MSc. Mauricio Vásquez Fernández**

**Geólogo Hidrogeólogo Consultor**

**SETENA-82-2004**

**CGCR-287**



## RESPONSABILIDAD PROFESIONAL

El suscrito Mauricio Vásquez Fernández, Bachiller en Geología de la Universidad de Costa Rica y Máster en Hidrogeología y Manejo de Recursos Hídricos de la Universidad de Costa Rica, incorporado al Colegio de Geólogos de Costa Rica, con el código 287 y consultor asociado a SETENA con el código 82-2004, manifiesta el conocimiento y aceptación de las condiciones y requisitos establecidos en el punto 9, "Responsabilidad profesional por la información aportada", del anexo 6 del "Manual de Instrumentos Técnicos para el Proceso de Evaluación de Impacto Ambiental", Parte II, publicado en el Alcance N° 43 de la Gaceta N° 223 del 18 de noviembre del 2005 y por lo tanto es responsable de los contenidos y alcances del informe técnico de geología básica, hidrogeología ambiental y condiciones de amenazas/riesgos naturales elaborado como parte del Documento de Evaluación Ambiental D1 para el **PROYECTO CIUDAD DE LA INVESTIGACIÓN**, ubicado en San Pedro, distrito San Pedro, cantón Montes de Oca, provincia San José.

---

Mauricio Vásquez Fernández



## CONTENIDOS

<b>Resumen de resultados y conclusiones técnicas</b> .....	4
<b>Introducción</b> .....	5
<b>1. ESTUDIO DE GEOLOGÍA BÁSICA DEL AP</b> .....	7
1.1 Unidades geológicas superficiales y del subsuelo superior .....	7
1.1.1 Subsuelo del AP.....	9
1.2 Geomorfología del AP y alrededores.....	12
1.2.1. Unidad denudacional volcánica de baja pendiente.....	12
1.3 Cauces en el AP .....	12
1.4 Geodinámica externa en el AP .....	13
1.5 Síntesis de resultados y conclusiones geológicas .....	13
1.6 Discusión sobre limitantes de incertidumbre y alcance del estudio .....	14
<b>2. ESTUDIO DE HIDROGEOLOGÍA AMBIENTAL DEL AP</b> .....	14
2.1 Datos hidrogeológicos del entorno inmediato al proyecto .....	14
2.2 Condiciones hidrogeológicas del AP .....	20
2.3 Propiedades básicas del acuífero subyacente .....	21
2.4 Análisis de vulnerabilidad a la contaminación.....	22
2.4.1 Aplicación del método de vulnerabilidad G.O.D. ....	22
2.4.2 Amenaza de contaminación de las aguas subterráneas .....	23
2.6 Modelado hidrogeológico local .....	23
2.7 Síntesis de resultados y conclusiones hidrogeológicas.....	23
2.8 Discusión sobre limitantes de incertidumbre y alcance del estudio .....	24
<b>3. AMENAZAS Y RIESGOS NATURALES DEL AP</b> .....	24
3.1 Estructura geológica local y susceptibilidad a las amenazas .....	24
3.2 Fallas geológicas.....	24
3.3 Potencial de licuefacción .....	26
3.4 Sismicidad .....	26
3.5 Amenaza volcánica.....	27
3.6 Síntesis de resultados y conclusiones geológicas .....	28
3.7 Discusión sobre limitantes de incertidumbre y alcance del estudio .....	29
<b>4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	29
<b>5. FIGURAS</b> .....	32



## Resumen de resultados y conclusiones técnicas

El AP se ubica sobre unidades de lahares y tobas correlacionadas con la Formación Lavina del Valle Central, la cual consiste de piroclastos intercalados con coladas de lava originadas en los volcanes extintos del paleo Irazú, en la base de la secuencia están las Formaciones Tiribí que consta de ignimbritas principalmente y Colima que son lavas andesíticas. Se presenta un perfil de suelos caracterizado por limos arcillosos. La morfología es típica de topografías de relleno volcánico, presentando pendientes suaves.

El acuífero principal en el AP se desarrolla dentro de las capas de tobas y los depósitos laháricos que conforman el subsuelo del AP. Este acuífero es de tipo poroso no confinado cubierto de bajo potencial, es sobreyacido por tobas de ceniza y otros piroclastos que funcionan como acuítardos. Se ubica aproximadamente a los 20m de profundidad y es capaz de rendir entre 0,5 y 3 l/s. Además se tiene un nivel profundo ubicado por debajo de los 50m, el cual se cataloga como un acuífero confinado de moderado a alto potencial alcanzando, según los registros de pozos, los 15 l/s.

La dirección de flujo de las aguas subterráneas es hacia el WSW siguiendo la misma dirección de flujo de la escorrentía superficial. El análisis de la vulnerabilidad a la contaminación en el acuífero del AP resultó ser baja a media de acuerdo con el método GOD. Los proyectos contemplan el desfogue de las aguas residuales al sistema colector de aguas negras administrado por el AyA.

Las principales amenazas naturales del AP son la sismicidad asociada a fallas activas y la amenaza volcánica del Irazú por caída de piroclastos y lluvia ácida. Las principales fallas son Cipreses, Lara, Río Azul y Agua Caliente catalogadas como activas, Dorita, Laguna y Rancho Redondo son neotectónicas.

La zona ha sido afectada por sismos históricos de magnitudes mayores a 5,0 y 6,0 que han ocasionado hasta muertes en el pasado, también ha sido afectada por caída de cenizas durante los períodos de actividad del Irazú en 1962-65 y 1994. Además se deben considerar afectaciones por deslizamientos producto del socavamiento sobre las márgenes de la quebrada Poró, la cual atraviesa la propiedad con rumbo E-W.

El proyecto es viable en tanto se tomen en cuenta las condiciones de sismicidad en los diseños de las estructuras del edificio siguiendo los lineamientos del Código Sísmico y el estudio de suelos.

## Introducción

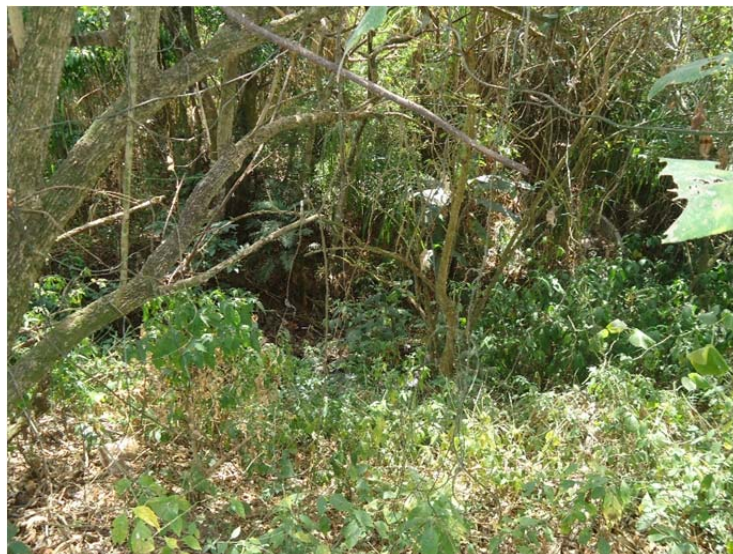
Los proyectos a desarrollar se ubican dentro de la Ciudad de la Investigación de la Universidad de Costa Rica, en el distrito de San Pedro, cantón de Montes de Oca, provincia de San José, en las coordenadas Lambert Costa Rica Norte 213608 N y 531490 E de la hoja topográfica Abra del IGN, escala 1:10 000.

De forma general la propiedad presenta zonas desarrolladas, principalmente infraestructura educativa como laboratorios y edificios de aulas, además de red vial, zonas de parqueo, en menor proporción se cuenta con zonas verdes, las cuales principalmente se ubican en las márgenes de la quebrada (Fotografía 1 a 4).

Los accesos son por calles asfaltadas que comunican San Pedro con la provincia de San José, además de los otros distritos de Montes de Oca, Guadalupe y Zapote, al oeste colinda con la carretera de circunvalación, las cuales son transitables durante todo el año en cualquier tipo de vehículo (Figura 1, Mapa de Ubicación).



**Foto 1.** Zonas verdes ubicadas en la margen derecha de la quebrada, a la izquierda se observa que la zona ha sido ya intervenida, presenta una cobertura vegetal con zacate y árboles, topografía plana, se va desarrollar el edificio de parqueos.



**Foto 2.** Condiciones de bajo caudal de la Quebrada, en el momento de la visita, dicho cauce tiene 1 a 2 m de ancho y su profundidad es variable.



**Foto 3.** Sitio donde se va desarrollar el Edificio de Centro de Investigaciones en Ciencia e Ingeniería de Materiales (CICIMA/Nanociencias) tiene una topografía plana con cobertura de zacate.



**Foto 4.** Sitio donde se va desarrollar el Edificio de Centro de Investigaciones en Neurociencias (CIN), se presenta en zona plana, sus inmediaciones se presentan intervenidas.

## Objetivos

El siguiente estudio contempla los protocolos de geología, hidrogeología ambiental y amenazas y riesgos naturales, el objetivo en cada caso es el siguiente:

### Estudio técnico de geología básica

Caracterizar de manera rápida y directa la conformación geológica estructural del AP y su entorno inmediato. De acuerdo con la sección I del Manual de Evaluación de Impacto Ambiental es



importante determinar a geoaptitud de AP, que se define como las limitantes técnicas o atributos técnicos positivos respecto del desarrollo de la actividad, obra o proyecto.

### **Estudio de hidrogeología ambiental**

Con base en la información geológica definir el modelo conceptual de las aguas subterráneas y la presencia de acuíferos en la zona para luego determinar si existe un factor de riesgo de contaminación de las aguas subterráneas y el grado de vulnerabilidad del acuífero subyacente en caso de que exista.

### **Estudio estructural y amenazas / riesgos naturales**

Establecer si el proyecto, actividad u obra a desarrollar, puede ser realizable bajo las condiciones estructurales, geomecánicas y geotécnicas y establecer las medidas necesarias para disminuir la eventual condición de vulnerabilidad que puede presentar el mismo, analizando además el entorno geotectónico en que se ubica.

La metodología utilizada fue hacer una visita al sitio para realizar observaciones de campo, hacer un análisis de las condiciones geológicas, de la topografía y de las unidades aflorantes de roca, tanto en el AP como en el AID, recopilación de la información obtenida del estudio de suelos con respecto a las características geotécnicas del AP, recopilación de información de pozos para definición de las características hidrogeológicas del sitio y la amenaza de contaminación por aguas residuales o fluidos provenientes de los proyectos y recopilación de cualquier otra información bibliográfica necesaria para la elaboración del presente informe como una parte de la evaluación ambiental D1.

## **1. ESTUDIO DE GEOLOGÍA BÁSICA DEL AP**

Se realiza a continuación el estudio de geología básica del AP de conformidad con lo establecido en la Sección II del anexo 6 del Manual de Instrumentos Técnicos para el Proceso de Evaluación de Impacto Ambiental, dado que el proyecto involucra la construcción de infraestructuras, además de estructuras asociadas como parques, accesos y demás servicios.

### **1.1 Unidades geológicas superficiales y del subsuelo superior**

El Valle Central de Costa Rica constituye una cuenca intra-arco rellena por espesores potentes de varias centenas de metros de secuencias de materiales volcánicos originados en una paleo Cordillera durante el Pleistoceno Temprano, se incluyen mayoritariamente lavas e ignimbritas de las formaciones Colima (o Formación Lavas Intracañón) y Tiribí (o Formación Depósitos de Avalancha Ardiente). Posteriormente del Pleistoceno Medio al presente, se han depositado flujos de lavas, lahares y piroclastos de caída, todos provenientes de los estratovolcanes actuales Irazú, Barva y Poás y otros ya extintos.



En la zona donde se ubica el AP y en general al este del centro de San José, las mayores influencias han sido del volcán Irazú y de otros volcanes extintos que lo precedieron, las unidades superiores están constituidas principalmente por depósitos de lahares y cenizas (Figura 2, mapa geológico).

A los depósitos del este del Valle Central Occidental que conforman el casco central de San José y las ciudades del este como San Pedro, Denyer & Arias (1990) los denominan como “Formación de Lahares y Cenizas”, mientras que Hidalgo *et al.* (2004) se refiere a ellos como “Lavina del Valle Central”. Esta unidad de depósitos de flujo sobre yace a las ignimbritas de la Formación Depósitos de Avalancha Ardiente. La unidad volcánica más inferior conocida se denomina Formación Lavas Intracañón. A continuación se hace referencia a las formaciones geológicas principales de la más antigua a la más reciente.

### **Formación Lavas Intracañón**

Se compone de al menos 7 coladas de lavas andesíticas de 10 a 30m de espesor (Echandi, 1981) y afloran principalmente en los valles profundos de los ríos Virilla y Tiribí, han sido identificadas en numerosas perforaciones a lo largo del Valle Central.

Esta formación por su importancia desde el punto de vistas hidrogeológico ha sido dividida en varios miembros. El Miembro Linda Vista corresponde con las lavas superiores donde se desarrolla en acuífero Colima Superior, son andesitas y afíricas. El Miembro Belén son las lavas inferiores donde se ubica el acuífero Colima Inferior y consiste de andesitas porfiríticas con dos piroxenos. En los horizontes fracturados y brechosos de cada miembro de desarrollan los principales acuíferos que en general se conocen como acuíferos Colima.

Las unidades de lavas anteriores están separadas por el Miembro Puente de Mulas, que constituye ignimbritas de baja permeabilidad, lo que se denomina como acuitardo y tiene hasta 80m de espesor (Losilla *et. al.*, 2001), permite la conexión vertical entre los acuíferos Colima Superior e Inferior. Las mejores exposiciones de esta formación se encuentran en el cañón del río Virilla.

Se calcula que el espesor total de la formación es de 270m (Echandi, 1981), su forma es irregular en la base y plana en la parte superior, es sobre yacida concordantemente por los depósitos de avalanchas piroclásticas. Según Kussmaul (2000) estas lavas son el producto de efusiones a lo largo de fisuras con direcciones NE-SO hasta E-O, ya que su extensión lateral es muy grande. La composición química de estas lavas es diferente a las lavas de los estratovolcanes de la Cordillera Volcánica Central y se asemeja más a la composición de la Formación Tiribí sobre yacente.

### **Formación Depósitos de Avalancha Ardiente**

Consiste de extensos depósitos de toba y flujos piroclásticos, flujos de ceniza con bombas escoriáceas, lapilli y clastos líticos, a veces se presenta como ignimbritas muy soldadas, de color gris claro y con fiames negros. Las facies de soldamiento varían tanto vertical como horizontalmente en diferentes puntos del Valle Central. En la base de la unidad se localiza una capa de pómez de caída de hasta 3m de espesor.



El espesor máximo de la formación es de 150m, tiene una extensión de 500km<sup>2</sup> y un volumen de 25km<sup>3</sup> (Kussmaul, 1988). Yace discordante o discontinua a la Formación Lavas Intracañón y a otras unidades sedimentarias del Terciario al suroeste del Valle Central. Es sobre yacida por lahares, piroclastos y lavas procedentes de la Cordillera Volcánica Central, tales como Formación Barva en la zona norte del río Virilla y la Lavina del Valle Central hacia la zona de San José.

Esta formación se caracteriza por ser de alta porosidad y una moderada permeabilidad, en las zonas más soldadas la permeabilidad disminuye, actúa como acuitardo regional cuando subyace al acuífero Barba Inferior (SENARA-BGS, 1985). En gran parte del Valle Central cubre al acuífero Colima Superior, de modo que le proporciona una verdadera protección a la contaminación superficial dada sus características de baja permeabilidad.

### **Lavina del Valle Central (lavas del paleo Irazú, lahares y cenizas)**

Estos depósitos afloran al este del Valle Central Occidental, en los ríos Torres y María Aguilar entre otros. Son depósitos sumamente heterogéneos con fragmentos volcánicos subangulares a subredondeados, predominando los bloques de lavas con diámetros máximos de 2m pero en general no superan 1m, los fragmentos flotan en matriz areno-limosa a limo-arcillosa compactada; están cubiertos por capas de ceniza de hasta 20m de espesor y localmente depósitos coluviales y aluviales (Hidalgo et al., 2004).

Son depósitos originados por movimientos de grandes volúmenes de material, tipo *debris avalanches*, que se produjeron por la desestabilización de estructuras volcánicas y en este caso pudo ocurrir una transición a *debris flow* por la incorporación de agua durante el movimiento. La fuente se ubica al noreste de San José en las estribaciones occidentales del actual macizo Irazú (Hidalgo et al., 2004).

Krushensky et al. (1976) las asocia a la formación Reventado mientras que Bergoeing (1979) asegura que son manifestaciones volcánicas del extinto volcán Las Nubes. Por su parte, Hidalgo et al. (2004) correlaciona estas coladas a estratovolcanes extintos del paleo Irazú los cuales nombra como Pico de Piedra, Cabeza de Vaca y Pre-Cabeza de Vaca, todos localizados al oeste del actual volcán Irazú.

Camacho et al. (2004) elaboraron la geología del cantón de Montes de Oca, muy cerca de donde se ubica el AP, describen la unidad de lahares (Unidad Roosevelt) que aflora de manera esporádica en los cauces de los principales ríos, como es el caso del río Torres. Constituye depósitos volcanoclásticos compuesto de andesitas con tamaños entre 5cm y 1,5m, flotando en una matriz limo-arenosa, cinerítica, arcillificada de color café claro a crema, medianamente consolidada y sin ninguna estructura interna. Estos lahares están cubiertos por al menos dos capas de ceniza de espesor variable, denominada Unidad Mansiones, que se extienden a lo largo del cantón de Montes de Oca, la más superior que culmina la secuencia se asocia a los eventos del volcán Irazú ocurridos entre 1963 y 1965, el espesor máximo es de unos 10m.

#### **1.1.1 Subsuelo del AP**



Se realizaron diversos estudios de suelos, cada uno para los respectivos proyectos a desarrollar dentro de la Ciudad de la Investigación de la Universidad de Costa Rica, a continuación se describen cada uno de ellos:

- **Edificio para parques**

La firma Vieto & Asociados, realizó el estudio de suelos en enero de 2011, se hicieron seis perforaciones con diversas profundidades, desde los 6 a 7,8 m, a dichas profundidades no se determinó el nivel freático en el sitio de exploración, el resultado obtenido determinó un suelo limoso arcilloso de consistencia variable, con una baja plasticidad.

- **Edificio para Ciclotrón y PET/CT**

En el mes de julio del 2014 se realizaron cuatro perforaciones para determinar las condiciones del subsuelo hasta una profundidad de variable entre 5,40 m y 8,55 m., por parte de la empresa Ingeotec S.A, se determinaron tres capas, las cuales están conformadas de la siguiente forma:

**Capa 1**

Limo arcilloso color café de tonalidades oscuras. Plasticidad alta. Consistencia variable entre blanda y compacta. Se extiende hasta profundidades del orden de los del orden de los 0,90 m a 2,25 m. Capa de regular calidad mecánica.

**Capa 2**

Limo arcilloso color café de tonalidades claras, grisáceas y amarillentas. Plasticidad alta. Consistencia variable entre compacta y muy compacta. Se extiende hasta la profundidad alcanzada por los sondeos (8,55 m). Capa de buena calidad mecánica. Este material posee calidad mecánica adecuada para ser el medio soportante de las obras objeto de este estudio. Para el área y la profundidad cubiertas por este estudio, no se detectó la presencia del nivel freático.

- **Centro de Investigaciones en Neurociencias (CIN)**

En el mes de marzo del 2014 se realizaron cuatro perforaciones para determinar las condiciones del subsuelo hasta una profundidad de 8,10 m como máximo, por parte de la empresa Ingeotec S.A., se determinaron tres capas, las cuales están conformadas de la siguiente forma:

**Capa 1**

Limo orgánico de color café oscuro con presencia de raíces y rastros de materia orgánica. Consistencia variable entre compacta y muy compacta. Plasticidad baja. No apta para la cimentación de estructuras.

**Capa 2**

Limo arcilloso de color café claro. Consistencia variable entre medianamente compacta y muy compacta. Plasticidad alta. Calidad mecánica de regular a buena desde el punto de vista de la estructura que se desea construir. Para el área y la profundidad cubiertas por este estudio, no se detectó la presencia del nivel freático.



- **Memorial de la Autonomía** (Estudio completo se adjunta como anexo )
- **Edificio anexo al Centro de Investigación en Ciencias Atómicas, Nucleares y Moleculares (CICANUM)** (Estudio completo se adjunta como anexo)
- **Centro de Investigación en Contaminación Ambiental (CICA)** (Estudio completo se adjunta como anexo).
- **Centro de Investigaciones en Ciencia e Ingeniería de Materiales (CICIMA/Nanociencias).**

En el mes de febrero del 2014 se realizaron cuatro perforaciones para determinar las condiciones del subsuelo hasta una profundidad de 8,10 m como máximo, por parte de la empresa Ingeotec S.A, se determinaron tres capas, las cuales están conformadas de la siguiente forma:

#### **Capa 1**

Limo orgánico color café de tonalidades oscuras. Plasticidad media a baja. Consistencia variable entre medianamente compacta y compacta. Se extiende hasta profundidades del orden de los 0,50 m. Capa de mala calidad mecánica por su alta compresibilidad.

#### **Capa 2**

Limo arcilloso color café de tonalidades claras y oscuras. Plasticidad media a baja. Consistencia variable entre blanda y medianamente compacta. Se extiende hasta profundidades del orden de los del orden de los 1,35 m a 2,25 m. Capa de regular calidad mecánica.

#### **Capa 3**

Limo arcilloso color café de tonalidades claras y amarillentas. Plasticidad alta. Consistencia variable entre compacta y muy compacta. Se extiende hasta la profundidad alcanzada por los sondeos (8,10 m). Capa de regular a buena calidad mecánica. No se detectó la presencia de niveles freáticos en los sitios y profundidades exploradas por los sondeos.

En general, a partir de las condiciones encontradas en los suelos de la zona, se determina que la aptitud es favorable para la cimentación de las obras nuevas, siempre y cuando se consideren todas las recomendaciones hechas en los diferentes estudios de suelos, en lo que con respecta a las excavaciones y cimentaciones. Este tipo de obras como las que se proyectan, existen a lo largo del campus de la Ciudad de la Investigación, lo que demuestra que es posible llevar a cabo su construcción.

De acuerdo con BGS-SENARA (1985) la porosidad de los tobos meteorizadas del Valle Central de Costa Rica es superior al 50% con valores de hasta 60%. BGS-SENARA (1985) establece permeabilidades para estos materiales meteorizados de origen volcánico como los del AP, entre  $10^{-2}$  y  $10^0$  m/día.

## 1.2 Geomorfología del AP y alrededores

El AP se ubica dentro de lo que regionalmente se conoce como la unidad geomorfológica de formas de origen volcánico (Madrigal & Salazar, 1993). La mayor parte de la superficie del área de San José y donde se ubica el AP es plana, con pequeñas ondulaciones (Unidad de formas volcánicas) y pendientes menores a 8%.

La unidad geomorfológica donde se ubica el AP corresponde a colinas denudacionales de disección baja a moderada, con superficies plano onduladas y cortada por la unidad de valles fluviales con laderas de pendiente baja a moderada (Figura 3, Mapa Geomorfológico). La unidad denudacional de colinas y pendientes se originó por la cobertura de cenizas que tiende a suavizar la morfología anterior de depósitos laháricos o *debris avalanches*.

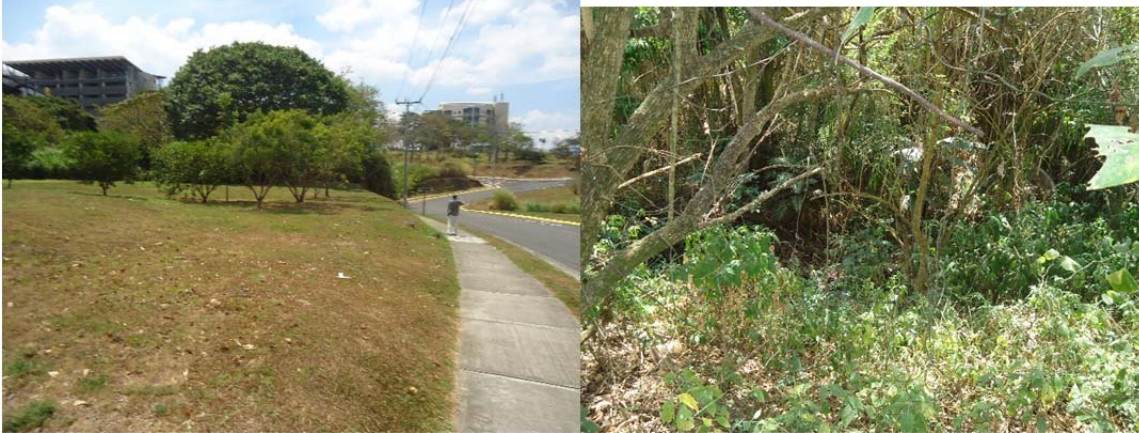
Hidalgo *et al.* (2004) describe la morfología de la lavina del Valle Central como suave y uniforme con presencia de montículos o colinas alongadas con direcciones NE-SO que asemejan *hummocks* característicos de eventos tipo *debris avalanches*. El sentido de la pendiente regional es hacia el suroeste principalmente, indicando, en la dirección opuesta, el lugar de la fuente que originó los materiales volcánicos de la zona, tanto las cenizas como los lahares.

### 1.2.1. Unidad denudacional volcánica de baja pendiente

La pendiente de la zona correspondiente al AID es en general menor a un 5%, en el AP predomina la pendiente de 1% a 2% lo cual se cataloga como plana, ya que la mayoría de las áreas destinadas para los nuevos proyectos, son intervenidas, pues están dentro del actual Campus de la Ciudad de la Investigación. Las características del AP son favorables para la construcción de obras como las que se proyectan, se requiere de movimientos de tierras para la cimentación de los edificios, y posiblemente se deban conformar taludes, que deberán hacerse según los parámetros establecidos en el estudio geotécnico de suelos en cada lugar.

## 1.3 Cauces en el AP

La zona utilizada por la Ciudad de la Investigación de la UCR es atravesado al Sureste por el cauce de una quebrada, con rumbo E-SW (Foto 5). Este cauce se cataloga como de bajo régimen de caudal, aumentando de manera considerable en periodos de lluvias por aportes en las partes altas de la cuenca donde se han dado los cambios de uso del suelo. Por la distancia a la que se encuentran los proyectos y aunado a las diferencias de altura entre dicho cauce y las áreas del proyecto, se define que no representa una amenaza de inundación. Si se puede esperar un socavamiento en los bordes de la quebrada. Se debe determinar mediante un estudio hidrológico el aporte de agua que recibiría dicho caudal por la construcción de los proyectos.



**Foto 5:** En la imagen izquierda, se observa la zona que bordea la quebrada, la cual se ubica en la sección izquierda de la fotografía., vista desde la margen derecha, en las cercanías de la zona donde se va desarrollar el edificio de parqueos.

#### 1.4 Geodinámica externa en el AP

La zona del AP para los diferentes proyectos dentro del Campus de la Ciudad de la Investigación, presenta una topografía de baja a moderada pendiente en la mayor parte del área, condición que no favorece la formación de surcos y cárcavas de erosión fluvial o la incidencia de deslizamientos o caída de rocas, además del uso del suelo cubierto de zonas verdes y el control de la escorrentía por medio de sistemas pluviales. Solo es considerable el factor de deslizamiento por socavamiento o formación de cárcavas en la margen de la quebrada únicamente. La cohesión de las tobas y cenizas superiores es baja y son fácilmente erosionables cuando se exponen a flujos de corrientes turbulentas, por lo que se debe llevar a cabo un control de la escorrentía.

#### 1.5 Síntesis de resultados y conclusiones geológicas

La geología del AP es de origen volcánico, constituido en su basamento por cenizas y andesíticas asociadas a la Formación Lavas Intracañón que son sobre yacidas por los depósitos de la Lavina del Valle central, la cual está constituida por materiales heterogéneos con fragmentos volcánicos.

La unidad superior consiste de lahares y cenizas intercalados con flujos de coladas de lava provenientes de los volcanes extintos del paleo Irazú, que constituyen la Lavina del Valle Central. Son depósitos muy heterogéneos con fragmentos volcánicos que flotan en una matriz areno limosa a limo arcillosa compactada. Se originaron por depósitos de grandes volúmenes de materiales tipo *debris avalanches* al ocurrir la desestabilización de estructuras volcánicas.

La estratigrafía del suelo está conformada por capas de limos arcillosos. La consistencia del material en el sitio varía crecientemente de blando hacia la superficie a dura al final de los sondeos.

Respecto a la geomorfología el AP está dentro de las formas de origen volcánico, compuestas por lahares y coberturas de cenizas, son superficies plano onduladas de pendiente baja, colinas



denudacionales de disección baja a moderada cortada por valles fluviales con laderas de baja a moderada pendiente. Localmente la topografía de la propiedad varía, presentando topografías subhorizontales.

A partir de las observaciones de campo, las características de las unidades aflorantes y las condiciones geomorfológicas, se determina que la geoaptitud del sitio es favorable para el desarrollo del proyecto de construcción de los edificios dentro de la Ciudad de la Investigación donde de por sí, ya funcionan estructuras como las que se proyectan, lo que demuestra la aptitud de los suelos y el terreno para este tipo de obras.

Como atributos positivos se pueden destacar que la unidad superior de depósitos de cenizas y tobas constituye una topografía subhorizontal y una adecuada consistencia lo que permite la cimentación de las obras. Se deben seguir las recomendaciones en cuanto a los tipos de cimentación adecuados en cada caso y según el tipo de proyecto.

### **1.6 Discusión sobre limitantes de incertidumbre y alcance del estudio**

Para la elaboración de este apartado se considera como incertidumbre la capacidad del cauce de la quebrada, para soportar el exceso de escorrentía proveniente de los proyectos. Desde el punto de vista geológico y a la información local observada en el campo, no se consideran incertidumbres en cuanto al modelo geológico de la zona del proyecto.

El alcance del estudio de geología está dado por las observaciones de campo y la información levantada del estudio de suelos, así como por la información bibliográfica obtenida de la zona y la levantada en el campo, de esta forma se cumple el principal objetivo que define la geoaptitud favorable del proyecto. Los resultados son, por lo tanto, aplicados al proyecto de construcción de los nuevos edificios dentro del Campus de la Ciudad de la Investigación, el cual se concluye que es viable desde el punto de vista de la geología del terreno.

## **2. ESTUDIO DE HIDROGEOLOGÍA AMBIENTAL DEL AP**

Se realiza a continuación el estudio de hidrogeología ambiental del AP de conformidad con lo establecido en la Sección III del anexo 6 del Manual de Instrumentos Técnicos para el Proceso de Evaluación de Impacto Ambiental. El proyecto tendrá acceso al sistema alcantarillado de San Pedro el cual es administrado por Acueductos y Alcantarillados, con lo cual se estima que la amenaza de contaminación a las aguas subterráneas es baja.

### **2.1 Datos hidrogeológicos del entorno inmediato al proyecto**

El sitio se ubica sobre la unidad denominada Lavina del Valle Central o lahares y cenizas. Los materiales sobreyacentes y cerca de la superficie, coinciden con cenizas o tobas de color café meteorizadas a suelos. Para determinar la estratigrafía geológica en la zona de estudio se recurren a registros litológicos de perforaciones existentes en los alrededores.

En algunos de los registros litológicos de las perforaciones no se describe la capa de cenizas superior. En las perforaciones de pozos se reportan espesores de hasta 10m cenizas. La Unidad de Lavina (lahares) está compuesta por bloques de lava englobados en matriz limo-arenosa, alcanzan hasta 25m de espesor.

Esta unidad de lahares y cenizas se considera de baja permeabilidad, con valores promedio de  $10^{-1}$  m/día y porosidades de hasta 50% (SENARA-BGS, 1985). Están intercaladas con capas de lavas a más de 40m de profundidad, se asocia a coladas de los estratovolcanes extintos del paleo Irazú.

La Formación Tiribí está constituida por ignimbritas o tobas soldadas, con capas de pómez y cenizas, el espesor es variable y se ubican a más de 50m de profundidad. Estos materiales son de baja a moderada permeabilidad.

La Formación Colima se mantiene a una profundidad más o menos constante a más de 100m. Son lavas y brechas lávicas, porosas y fracturadas, de color negro a gris, andesítico – basálticas, se asocian al Miembro Linda Vista en esta área. No se conoce su espesor total, ya que a más de 200m de profundidad todavía se describen lavas fracturadas correlacionadas con dicho miembro.

Se revisó la información hidrogeológica disponible en el Área de Aguas Subterráneas del SENARA. En el mapa hidrogeológico del Valle Central (SENARA & BGS, 1985) se describe la zona este de San José como lahares y tobas de baja permeabilidad con pozos que pueden producir hasta 3 l/s y en general menos de 1 l/s. El AP se ubica dentro de la cuenca del valle central con la presencia de importantes cauces como lo son el río Tiribí, María Aguilar, Torres y Virilla.

### 2.1.1 Inventario de pozos

Se procedió a investigar en el Área de Aguas Subterráneas del SENARA y el AyA las bases de datos de pozos perforados y excavados disponibles en un radio de 2000 metros con respecto a un punto ubicado en la entrada principal del AP. Se encontraron en total 169 pozos perforados registrados (legales), en el Mapa hidrogeológico (Figura 4) se ubican los pozos localizados a distancias inferiores a los 2000m respecto al AP. En el Cuadro 1, corresponde con la lista de pozos obtenida de la Base de Datos del SENARA para un radio de 1000m.

Cuadro 1  
Información básica de pozos registrados según la base de datos digital del SENARA para un radio de 2000m respecto al AP (julio de 2014)

No. pozo	X	Y	Propietario
AB-1040	531600	213700	UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
AB-96	531060	213450	UCR (BELLAS ARTES)
AB-95	531000	213540	U.C.R (QUIMICA)
AB-93	530980	213580	UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
AB-1081	531640	214040	ASOC CULT MIRAVALLS
AB-84	530960	213580	U.C.R.
AB-97	531050	213340	U.C.R (FAC. EDUCACION)
AB-76	530950	213450	U.C.R.
AB-94	530900	213580	U.C.R (MICROBIOLOGIA)



<b>AB-99</b>	531560	213140	A. ELECTRA.
<b>AB-80</b>	530880	213800	U.C.R.
<b>AB-75</b>	530850	213500	U.C.R.
<b>AB-1806</b>	531365	213055	ASOC.CULTURAL CALASANZ
<b>AB-86</b>	530850	213450	U.C.R.
<b>AB-820</b>	531250	213050	COLEGIO CALAZANS
<b>AB-88</b>	530900	213280	U.C.R.
<b>AB-169</b>	531400	213000	ALFREDO CRUZ.
<b>AB-79</b>	530780	213760	STERLING PRODS.
<b>AB-74</b>	530820	213370	U.C.R.
<b>AB-1899</b>	530770	213750	STERLING PRODUCTS
<b>AB-2416</b>	530768	213763	GLAXO SMITH KLINE
<b>AB-98</b>	532150	213580	SCISP
<b>AB-90</b>	530820	213190	TEJIDOS SAPRISSA
<b>AB-83</b>	530660	213580	U.C.R.
<b>AB-445</b>	531600	212900	FABRICA DE PAPEL
<b>AB-683</b>	531350	214400	UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
<b>AB-89</b>	530830	213150	FABRICA SAPRISSA
<b>AB-734</b>	531370	214420	UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
<b>AB-1058</b>	531000	212970	MARIO DIAZ SANCHEZ
<b>AB-82</b>	530620	213750	STERLING PRODUCTS.
<b>AB-444</b>	530800	213120	TEJIDOS SAPRISSA
<b>AB-92</b>	530830	213080	T.DADA
<b>AB-87</b>	530620	213400	U.C.R.
<b>AB-1687</b>	530930	212960	VICTOR MEJIAS CAMBRONERO
<b>AB-72</b>	530620	213340	U.C.R.
<b>AB-173</b>	531810	212880	ENSAMBLADORA DE AUTOS.
<b>AB-570</b>	531600	214500	KOBERG CIA.
<b>AB-1320</b>	531330	212750	INV. MUÑOZ Y NANNE, S.A.
<b>AB-85</b>	530520	213620	U.C.R.
<b>AB-991</b>	530525	213530	UNIV. DE COSTA RICA
<b>AB-81</b>	530480	213780	U.C.R.
<b>AB-77</b>	530520	213300	U.C.R.
<b>AB-569</b>	531500	214600	KOBERG CIA.
<b>AB-78</b>	530450	213520	U.C.R.
<b>AB-73</b>	530450	213500	U.C.R.
<b>AB-164</b>	531250	212670	R. QUIROS
<b>AB-167</b>	531800	212730	F. OREAMUNO.
<b>AB-172</b>	531740	212670	SR. LORENZEU
<b>AB-91</b>	530600	213000	OLIVA MUÑOZ S.
<b>AB-166</b>	530970	212690	CIA. PETRO. CAL.
<b>AB-158</b>	530620	212940	M.A. MUÑOZ
<b>AB-161</b>	530870	212720	ING. RENAN MENDEZ
<b>AB-596</b>	531600	214700	UNIVERSIDAD DE COSTA RICA





<b>AB-165</b>	531100	212600	R- QUIROS.
<b>ILG-900</b>	531690	212570	ARGENTINA MORA MOLINA
<b>AB-815</b>	530750	212750	ASOCIACION SAN MIGUEL ARCANGEL
<b>AB-159</b>	530650	212830	GULF DE COSTA RICA
<b>AB-1830</b>	530580	212900	OUTLET MALL SAN PEDRO
<b>AB-163</b>	531000	212600	F. FOURNIER
<b>AB-162</b>	530950	212620	J.FAITH
<b>AB-2014</b>	530900	214650	HUA HUI CHEN
<b>AB-171</b>	531641	212490	A. COLLADO
<b>AB-2132</b>	530350	213150	CONDOMINIO MALL SAN PEDRO
<b>AB-2000</b>	530645	212755	ANA MARIA BERTOLANI
<b>AB-435</b>	530250	213780	UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
<b>AB-1069</b>	531800	212500	PLAZA DEL SOL
<b>AB-1972</b>	532420	212950	INVERSIONES ASCAL S.A.
<b>AB-1813</b>	532500	214240	CONSTRUCTORA PROYCON S.A.
<b>AB-822</b>	531450	212400	TAKAMURA S.A.
<b>AB-174</b>	531700	212430	R. DORADO
<b>AB-1283</b>	530225	213250	INVERSIONES T.B., S.A
<b>AB-1070</b>	531800	212430	PLAZA DEL SOL
<b>AB-1526</b>	530250	213100	KUTKA S.A.
<b>AB-23</b>	530250	214180	ESCUELA ENSEÑANZA ESPECIAL
<b>AB-1995</b>	530370	212870	REAL MAYA S.A.
<b>AB-1215</b>	530250	213000	AUTO LAVADO COSTA RICA,SA
<b>AB-170</b>	530500	212630	AyA
<b>AB-24</b>	530190	214260	REFORMATORIO DE GUADALUPE
<b>AB-1699</b>	530090	213160	MALL SAN PEDRO
<b>AB-71</b>	530000	213590	JUAN DENT
<b>AB-1433</b>	531275	215050	MODELITOS CHACALINES SRL
<b>AB-567</b>	530000	213700	ALVARO ARIAS
<b>AB-70</b>	530000	213700	GERBER
<b>AB-1088</b>	530230	214420	MINIMAX
<b>AB-990</b>	530000	213400	CARLOS SALAS BLEN
<b>AB-156</b>	530332	212620	
<b>AB-1575</b>	531855	212210	INTAL S.A.
<b>AB-149</b>	530130	212870	C.M.GONZALES.
<b>AB-1782</b>	531150	215125	LAVACAR DEL ESTE S.A.
<b>AB-599</b>	530100	214400	COCA COLA
<b>AB-915</b>	529920	213310	CAYA S.A.
<b>AB-233</b>	529950	213180	CELSO SUROCA
<b>AB-1568</b>	529870	213710	GERBER DE C.A. S.A.
<b>AB-147</b>	530040	212930	CHARLES W. AVERRE
<b>AB-1453</b>	530900	215100	SUPER MORAVIA, S.A.
<b>AB-67</b>	529980	213050	JUAN DENT



<b>AB-69</b>	529890	213940	STICA
<b>AB-1166</b>	530075	212850	LAVAUTO DEL ESTE, S.A.
<b>AB-160</b>	530190	212680	GUILLERMO JIMENEZ
<b>AB-1003</b>	529870	213390	A?IWAPIE S.A
<b>AB-66</b>	529950	213060	EDUARDO ARTI?ANO
<b>AB-1924</b>	531030	215170	ASDRUBAL MOREIRA ARAYA
<b>AB-1195</b>	530080	212800	LAVAUTO DEL ESTE, S.A.
<b>AB-888</b>	529950	213050	CEDE S.A.
<b>AB-148</b>	530050	212810	GUILLERMO ESQUIVEL
<b>AB-154</b>	530100	212730	AyA
<b>ILG-318</b>	529900	213100	DOS PASOS S.A.
<b>AB-68</b>	529930	213020	JOSE PUJOL
<b>AB-361</b>	532805	212825	S. GUARDIAN
<b>AB-1329</b>	529875	213135	BEJOS YAMUNI JIMENEZ
<b>AB-22</b>	529900	214240	GALLITO INDUSTRIAL
<b>AB-2317</b>	532952	213080	INDUSTRIAL EQUILAB S.A.
<b>AB-1082</b>	529850	213162	INVERSIONES STEWART S.A
<b>AB-1688</b>	530170	212560	SAVIESE S.A.
<b>AB-168</b>	531230	212000	ADRIAN COLLADO
<b>AB-155</b>	530290	212430	M.URBINA.
<b>AB-157</b>	530200	212520	ALVARO ESQUIVEL
<b>AB-234</b>	529820	213200	GUIDO CASTRO G.
<b>AB-1076</b>	529750	213600	MAURICIO MENDIOLA (SAN BLAS)
<b>ILG-339</b>	531730	212000	INDUSTRIAS QUIMICAS S.A.
<b>AB-769</b>	529850	213050	CONSTRUCCIONES C.P.M.
<b>AB-620</b>	529800	213200	HOTEL CONQUISTADOR
<b>AB-21</b>	529900	214400	GALLITO INDUSTRIAL
<b>AB-431</b>	530930	215280	JORGE CLARE
<b>AB-960</b>	531500	215350	EXPUM S.A.
<b>AB-235</b>	529830	212970	MAX CORTES
<b>AB-153</b>	529970	212700	EMMA BAMBOA
<b>AB-1612</b>	532090	212050	SAN JOSE IDOOR CLUB S.A.
<b>AB-622</b>	529900	212800	RAMON HERRERO
<b>AB-896</b>	533090	213086	AyA
<b>AB-2121</b>	532900	214600	ASOC. IGLESIA EVANG METODISTA
<b>AB-20</b>	529890	214540	ESCUELA PILAR JIMENEZ
<b>AB-2379</b>	529720	214170	GRUPO BRITANICO GBCR PARA DES.Y LAS INVER.
<b>ILG-447</b>	529700	213150	JUVERO S.A
<b>AB-788</b>	529850	214500	SEDE PROVISIONAL DEL BUEN PAST
<b>AB-1292</b>	529740	212990	SYCAFRA, S.A.
<b>AB-17</b>	529740	214290	COLEGIO NAPOLEON Q.
<b>AB-65</b>	529700	213080	ALVARO DENT
<b>AB-978</b>	530110	212375	JESUS GAZEL SAUMA



<b>AB-18</b>	529930	214700	CLINICA CATOLICA
<b>AB-728</b>	529700	214300	EL GALLITO LTDA.
<b>AB-182</b>	530500	212040	AyA
<b>AB-64</b>	529650	213060	CELSE SURROCA
<b>AB-1700</b>	530265	212170	CORPORACION ABACO S.A.
<b>AB-62</b>	529665	212980	MARIO ULATE
<b>AB-141</b>	529710	212870	A. ELECTRICA.
<b>AB-995</b>	529700	214400	INDUSTRIAS COFALA
<b>AB-897</b>	530500	212000	AyA
<b>AB-61</b>	529630	212975	ALVARO PINTO
<b>AB-899</b>	530350	212050	AyA
<b>AB-937</b>	529650	212900	SANTIAGO MILLAS S.A.
<b>AB-1270</b>	532100	211850	KAMOIRE, S.A.
<b>ILG-187</b>	529700	214500	LABORATORIOS COFALA S.A.
<b>AB-151</b>	529790	212610	G.G. DE PINTO
<b>AB-140</b>	529660	212850	NO INDICA
<b>AB-901</b>	533150	212800	AyA
<b>AB-505</b>	530350	215250	SENARA
<b>AB-63</b>	529570	213045	E.D.I.C.A.
<b>AB-143</b>	529710	212700	JUAN DENT.
<b>AB-138</b>	529620	212885	MARIO URBINA
<b>AB-936</b>	529850	214800	CLINICA CATOLICA
<b>ILG-113</b>	529700	212700	FLORIA PINTO GONZALEZ
<b>AB-137</b>	529625	212830	M. FRANCO.
<b>AB-859</b>	529470	213920	EMBOTELLADORA TICA (COCA COLA)
<b>AB-19</b>	529740	214690	MONJAS DE GUADALUPE
<b>AB-142</b>	529730	212600	GUILLERMO ARAGON
<b>AB-1706</b>	531049	211690	J.ADM.REGISTRO NACIONAL
<b>AB-2318</b>	530620	215460	CULTURAL S.A.
<b>AB-938</b>	532850	212250	FRACCIONAMIENTO M. S.A.

La abundancia de pozos en el sector refleja la alta demanda de los acuíferos en las unidades volcánicas, ubicados en las lavas vesiculares de la Formación Colima y los acuíferos de menor capacidad ubicados dentro de las tobas, lahares e ignimbritas de la Formación Lahares y Cenizas, los cuales son captados en la zona.

A continuación se presenta información hidrogeológica de pozos cercanos al AP y AID tomada de los registros de datos del SENARA.

**Cuadro 2**  
**Información hidrogeológica de pozos cercanos al AP**

Pozo	Profundidad	Nivel Estático	Nivel Dinámico	Caudal	Uso
AB1040	103.0	20.0	57	2.0	DOMESTICO
AB96	61.0	4.6		0.5	DOMESTICO
AB93	61.0	13.7		0.5	DOMESTICO
AB95	44.2	9.1	36,57	2.5	DOMESTICO
AB1081	42.0	6.0		1.0	DOMESTICO
AB76	79.3	0.0		2.2	DOMESTICO
AB94	44.2	9.1	27,43	1.6	DOMESTICO
AB77	61.0	4.6		1.3	DOMESTICO

De acuerdo a los niveles estáticos reportados se asume la presencia de niveles colgados de bajo potencial dentro de lavas intercaladas con los lahares y cenizas. Dentro de las capas de lahares y cenizas existen además niveles colgados de agua subterránea, ya que en términos generales esta unidad se clasifica como un acuífero. Lo anterior quedó demostrado en los estudios de suelos en donde se reportan nivel de agua a menos de 10m de profundidad, que no corresponden por ende a acuíferos, sino a niveles colgados por las diferencias de permeabilidad de esta unidad.

## 2.2 Condiciones hidrogeológicas del AP

La hidrogeología de San José ha sido poco estudiada y no está del todo definida como ocurre en otras partes al oeste de la ciudad, como en las zonas de Heredia, Santo Domingo, San Antonio de Belén, etc. En el Mapa Hidrogeológico del Valle Central de SENARA-BGS (1985) no se hace una diferenciación con respecto a las unidades hidrogeológicas de esta zona, pues únicamente se hace referencia a tobas y lahares en general. En dicho mapa se describe la zona de San Pedro como lahares y tobas de baja permeabilidad con pozos que pueden producir hasta 3 l/s y en general menos de 1 l/s. Los acuíferos en estas unidades se catalogan como de bajo potencial y se estima que el espesor aproximado es de unos 100m.

El acuífero de San José y alrededores como San Pedro, se conoce como el Acuífero Metropolitano y fue estudiado principalmente a finales de los 70's por la presencia de varios pozos hacia el sector de Zapote. Posteriormente la investigación se concentró en la zona de Heredia y Belén donde se encontraron mejores condiciones hidrogeológicas. Este acuífero Metropolitano es de bajo potencial, cubiertos por capas de lahares poco permeables y se desarrolla principalmente en coladas de lavas y aluviones intercalados.

Existen tres unidades hidrogeológicas en la zona que se diferencian de acuerdo a la interpretación de los registros litológicos de los pozos. La unidad superior está compuesta por cenizas, seguidas por lahares y lavas del paleo Irazú. Esta secuencia sobreyace a otras tobas y cenizas, que se reportan en los registros de pozos y que aquí son correlacionadas con la Formación Tiribí. Por último, las lavas más profundas se asocian al miembro Linda Vista de la Formación Colima.

### Acuífero superior

El acuífero superior o sistema acuífero, está constituido en materiales volcánicos, tanto en las lavas como en los lahares, incluidos dentro de la unidad conocida como Lavina del Valle Central. Por el tipo de materiales predominantes se le clasifica como de bajo a moderado potencial, dependiendo de las permeabilidades de las capas de lava fracturadas o los lahares que tienden a ser arcillosos y de baja permeabilidad.

El acuífero en los lahares es de tipo poroso, se estima que está compuesto por niveles colgados dentro de capas de granulometría gruesa, que pueden además presentar confinamientos por las capas de arcillas sobreyacente. Su permeabilidad intrínseca está ligada a los poros de la matriz principalmente, es de bajo potencial por las características granulométricas de la matriz, se trata de bloques lávicos dentro de una matriz arenosa a arcillosa de baja permeabilidad.

En las capas de lavas la permeabilidad es secundaria y ocurre en sus partes fracturadas y en menor proporción en las rocas porosas o brechas, son los materiales con mejor potencial de agua subterránea, su espesor es menor a los lahares y se describen en algunos de los registros. Las coladas de lava cubiertas de lahares se presentan en la zona a manera de montículos alargados en dirección oeste, limitados por quebradas y ríos.

Se define que el sistema acuífero es de tipo libre cubierto y es recargado por infiltración directa del agua de lluvia a través del subsuelo y posiblemente de partes aguas arriba de la cuenca.

Se sabe que las coladas de lava no son continuas a diferencia de las cenizas y lahares. Las variaciones litológicas pueden influir en los niveles del acuífero y en la distribución de las isofreáticas. La descarga ocurre hacia los ríos y quebradas permanentes como flujo base (acuífero efluente) y en menor porcentaje por medio de pozos para distintos usos. Por lo general las quebradas permanentes de la zona tienen conexión hidráulica con los niveles colgados superiores.

### **Acuíferos inferiores**

La Formación Tiribí se toma generalmente como un acuitardo, aunque en ciertas zonas al oeste del Valle Central se conoce de su alto potencial acuífero. Estos materiales son de regular permeabilidad pero alta porosidad, permite la conexión hidráulica con el acuífero inferior, que en este caso podría tratarse del Colima Superior o La Libertad.

Los acuíferos en la Formación Colima se recargan por medio de una percolación vertical desde las unidades sobre yacientes (Formación Tiribí) y de una recarga a nivel regional que posiblemente ocurre en las partes montañosas al noreste de San José en los cerros del Zurquí y en las partes al oeste del volcán Irazú.

Los acuíferos Colima Superior y La Libertad se desarrollan en los estratos brechosos y fracturados de las coladas de lava andesíticas, separadas por capas de toba fina de 10m de espesor en promedio (SENARA-BGS, 1985), son capaces de rendir hasta 100 l/s en pozos.

### **2.3 Propiedades básicas del acuífero subyacente**

Para tener un panorama claro de las características hidráulicas de los acuíferos subyacentes en los lahares y lavas es necesario contar con mayor información de pruebas de bombeo de los pozos

alrededor del área de estudio. El coeficiente de almacenamiento por lo general ronda los  $10^{-4}$  indicativo de acuíferos semiconfinado hasta confinados.

De acuerdo con los reportes de los pozos el nivel freático para el acuífero superior en la Lavina ronda los 10m de profundidad. Además se reporta un acuífero inferior a profundidades superiores a los 50m de profundidad, se cataloga como un acuífero confinado de moderado potencial.

El flujo de agua subterránea es variable y predomina hacia el WSW, variando localmente hacia los valles aluviales de los ríos y quebradas, lo que sugiere una conexión hidráulica con dichos cuerpos de agua, por ende se podría definir un acuífero efluente en las quebradas y ríos.

## 2.4 Análisis de vulnerabilidad a la contaminación

### 2.4.1 Aplicación del método de vulnerabilidad G.O.D.

Para el análisis de la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero desarrollado en la Lavina (Acuífero Metropolitano) se usará el Método "G.O.D". (por sus iniciales en inglés), el cual considera dos factores básicos:

- El grado de inaccesibilidad hidráulica de la zona saturada
- La capacidad de atenuación de los estratos suprayacentes a la zona saturada del acuífero (Foster et al., 2002).

El índice de vulnerabilidad G.O.D. caracteriza la vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos en función de los parámetros:

- Grado de confinamiento hidráulico
- Ocurrencia del sustrato suprayacente
- Distancia al nivel freático

Para el área de estudio los valores asignados están en el Cuadro 4.

**Cuadro 4**  
**Aplicación del método GOD en el análisis de la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero superior en los lahares o Lavina**

PARÁMETRO	CLASIFICACIÓN	VALOR
Grado de confinamiento hidráulico	No confinado cubierto	0,60
Ocurrencia del sustrato suprayacente	Tobas volcánicas	0,60
Distancia al nivel del agua subterránea	5 - 20 metros	0,80
Valor del índice de vulnerabilidad	<b>G x O x D</b>	<b>0,29</b>
Vulnerabilidad a la contaminación del acuífero.	<b>BAJA A MEDIA</b>	

La vulnerabilidad intrínseca a la contaminación del acuífero en la zona del proyecto se clasifica como baja a media (Figura 5, Diagrama G.O.D.). Se utilizó el acuífero como no confinado cubierto, debido al espesor de cenizas y tobas que lo cubren.



## 2.4.2 Amenaza de contaminación de las aguas subterráneas

Los proyectos de edificios dentro del Campus de la Ciudad de la Investigación contarán con acceso al sistema colector de aguas negras de la zona de San Pedro, el cual es administrado por el AyA. Por lo tanto no se contempla la instalación de tanques sépticos o plantas de tratamiento de aguas residuales. En la zona de San Pedro y aun inclusive dentro del Campus, ya existen fuentes potenciales de contaminación, por la misma generación de aguas residuales de tipo ordinario.

## 2.6 Modelado hidrogeológico local

El acuífero principal en el AP se desarrolla dentro de las capas de tobas y los depósitos laháricos que conforman el subsuelo del AP. Este acuífero es de tipo poroso no confinado cubierto de bajo potencial, es sobreyacido por tobas de ceniza y otros piroclastos que funcionan como acuífardos. Se ubica aproximadamente a los 10m de profundidad y es capaz de rendir entre 0,5 y 3 l/s. Además se tiene un nivel profundo ubicado por debajo de los 50m, el cual se cataloga como un acuífero confinado de moderado a alto potencial alcanzando, según los registros de pozos, los 15 l/s.

La dirección de flujo de las aguas subterráneas es hacia el WSW siguiendo la misma dirección de flujo de la escorrentía superficial. La recarga se da en las partes altas de la zona al noreste y la descarga se da hacia los ríos permanentes efluentes de las partes más bajas de la cuenca y también por medio de pozos.

## 2.7 Síntesis de resultados y conclusiones hidrogeológicas

El modelo hidrogeológico local ha determinado que el acuífero somero en el AP se ubica dentro de lavas fracturadas intercaladas con tobas y lahares de baja permeabilidad y bajo potencial hidrogeológico, mientras que en profundidad se definen acuíferos fisurados en capas de lavas de alto potencial.

El acuífero somero se ubica aproximadamente a 10m de profundidad, se cataloga como un acuífero no confinado cubierto de bajo a moderado potencial, con caudales que van desde los 0,5 l/s hasta los 3 l/s. Se reporta un nivel a profundidades superiores a los 50m, caracterizado como un acuífero confinado de moderado a alto potencial, alcanzando según registros de pozos cercanos al AP un caudal de 15 l/s.

El análisis de la vulnerabilidad a la contaminación en el acuífero del AP resultó ser baja a media de acuerdo con el método GOD. Esto debido a las capas limosas por la meteorización de las tobas y lahares, y a la profundidad del nivel freático.

Se concluye que la geoaptitud hidrogeológica del AP es favorable ya que no representa una amenaza de contaminación a las aguas subterráneas que se ubican en la zona y en especial al Acuífero Metropolitano.

## **2.8 Discusión sobre limitantes de incertidumbre y alcance del estudio**

Dentro de los alcances de este estudio está la conceptualización de un modelo hidrogeológico local del acuífero en el AP, el mismo se ha definido con base en la correlación geológica con las unidades existentes y la información sustraída de los reportes de perforaciones cercanas.

La principal limitante técnica en este apartado es la falta de información de pruebas de bombeo y de los parámetros hidrogeológicos de los lahares para determinar las características del acuífero Metropolitano.

## **3. AMENAZAS Y RIESGOS NATURALES DEL AP**

Se realiza a continuación el estudio de estructura y amenazas y riesgos naturales del AP de conformidad con lo establecido en la Sección IV del anexo 6 del Manual de Instrumentos Técnicos para el Proceso de Evaluación de Impacto Ambiental.

### **3.1 Estructura geológica local y susceptibilidad a las amenazas**

Desde el punto de vista morfotectónico el AP se ubica dentro del arco volcánico de Costa Rica, sobre una unidad de lahares y cenizas que cubre gran parte del este del Valle Central Occidental, esta unidad sobre yace depósitos de ignimbritas y coladas de lava del paleo Irazú, finalmente la secuencia es coronada por capas de tobas y cenizas.

Por la génesis de los depósitos laháricos es común la formación de cerros alargados en el sentido de la dirección del flujo. Las coladas de lava inferiores tienen formas alargadas y tabulares y están cubiertas por espesores decamétricos de lahares y cenizas por lo que se dificulta su delimitación. Las unidades en general son discordantes entre sí, separadas por tiempos de relativa quietud volcánica, que se representa con la intercalación de paleo suelos.

Desde el punto de vista estructural el este de San José está afectado por varios sistemas de fallas neotectónicas, lineamientos y plegamientos asociados, tanto al sur como al este del AID. Varias evidencias morfotectónicas en superficie sugieren la existencia de las fallas como se verá más adelante.

Dentro de las principales amenazas naturales para el AP están la sismicidad asociada a las fallas activas del Valle Central de Costa Rica y en especial a las del este de San José y la amenaza volcánica del Irazú por caída de piroclastos y lluvia ácida principalmente.

### **3.2 Fallas geológicas**

Existen numerosas fallas neotectónicas en el Valle Central que podrían afectar el proyecto por su relativa cercanía, están claramente identificadas en el Mapa Sismológico y Neotectónico de la



Gran Área Metropolitana, escala 1:200 000 (Montero, 1993) y en el Atlas Tectónico de Costa Rica, hoja San José, escala 1:600 000 (Mapa Tectónico Regional).

Estas fallas, en el cantón de Montes de Oca al norte del AP por ejemplo, han sido identificadas utilizando fotointerpretación y criterios geomorfológicos, las principales son la falla Cipreses, Lara, Río Azul, Agua Caliente, catalogadas como activas y Dorita 1 y 2, Rancho Redondo y Laguna son neotectónicas. Las fallas Guarco y Coris son extensiones del sistema de falla Agua Caliente.

**Sistema de falla Lara:** se localiza a unos 10km al noreste del AP, según Montero *et al.* (1998) consiste de 4 fallas con segmentos de desplazamiento orientados con rumbo NO e inclinación al SO (fallas Lara, Rancho Redondo, Laguna y Dorita), el segmento principal es la falla Lara, tiene una extensión de 18km, es de tipo dextral.

La falla Laguna presenta un lineamiento en dirección NNO a lo largo de 5,5km, con facetamientos o escarpes de 25 a 30m de altura, también sillas de falla, valles alineados, bermas, colinas alargadas, contraescarpes y ríos desplazados, los depósitos volcánicos no han sido afectados (Camacho *et al.*, 2004).

La falla Dorita presenta dos lineamientos, uno con rumbo NNO y el otro NO, tienen 6,7 y 5,5 km de longitud y presenta al igual que la falla Laguna varias evidencias morfotectónicas (Camacho *et al.*, 2004). Las fallas Laguna y Dorita son consideradas neotectónicas. La falla Rancho Redondo definida por Montero *et al.* (1998) tiene una orientación NE y una longitud de 8km.

**Falla Cipreses y pliegues asociados:** es la fuente sísmica de mayor peligro para el AP. La traza de la falla corresponde con un pliegue sinclinal que pasa cerca del río Pío, se considera como una falla activa debido a los desplazamientos en capas de suelos (Camacho *et al.*, 2004). Esta falla tiene un rumbo E-O y presenta escarpes entre 30 y 40m de altura, tiene una longitud estimada en 8km. En su extremo oeste y sur corresponde con una serie de superficies geomorfológicas abovedadas de rumbo NW a EW y que se ubican entre Granadilla y Tres Ríos, estas geoformas se relacionan con una secuencia de pliegues anticlinales y sinclinales (Fernández & Montero, 2002).

**Falla Agua Caliente:** ubicada al sureste del AP, se presenta geomorfológicamente como alineamientos de promontorios truncados, contraescarpes en depósitos recientes, valles y fuentes termales alineados, lomos de falla y sillas de falla (Fernández & Montero, 2002). Es una falla sinuosa con rumbo variable entre NW, EW y WNW en sus sectores oeste, central y este respectivamente. Se han identificado depósitos del Cuaternario Superior cortados por fallas inversas asociadas a esta falla (Fernández & Montero, 2002). Esta falla tiene un movimiento predominante sinistral con una zona transtensiva entre Quebrada Honda y Bermejo al sur de Cartago.

**Falla Río Azul:** se ubica a escasos 2km al sureste del AP, tiene un rumbo E-NE y una longitud de 5km. Se ha inferido que su trazo alcanza el límite oeste entre los cantones de San José, Curribadad y Montes de Oca, por lo que representa un gran peligro debido a la proximidad con zonas de alta densidad de población. Presenta un valle profundo en la quebrada Quebradas, también sillas de falla, espolón truncado y facetamiento triangular (Fernández & Montero, 2002).

Propiamente dentro del AP no hay evidencia de fallamiento, ninguna de las descritas anteriormente tiene su trazo dentro del AP o AID.

### 3.3 Potencial de licuefacción

Por las características de los suelos de alta consistencia, el alto porcentaje de granulometrías finas y la presencia de nivel freático somero, se considera que no existen condiciones para que se presenten suelos potencialmente licuables en el AP.

### 3.4 Sismicidad

Este es quizás el factor de amenaza más importante a tomar en cuenta en el AP y AID y para toda obra de infraestructura en el Valle Central. La sismicidad en el AP y AID está muy vinculada con la presencia de las fallas antes mencionadas y otras que podrían causar efectos en la zona y que están ubicadas en otros bloques tectónicos del país, como es el caso de Puriscal y Pacífico Central por ejemplo. La principal fuente sísmica del Valle Central corresponde con el Sistema de Fallas Transcurrente de Costa Rica.

Varios sismos se han originado en el este y sureste del Valle Central con magnitudes (Ms) entre 5,4 y 6,4 e intensidades registradas en San José entre V y VIII (MM). Dentro de la sismicidad histórica para la zona hay registros de actividad de la Falla Lara, a la que se le asocia el terremoto de San Antolín de 1841 (M 6,5) (Peraldo y Montero, 1999). Según Camacho *et al.* (2004) para el período 1992-2002 hay registros de 181 sismos en el este de San José donde se ubica el AP, con profundidades menores a 30km (origen cortical) con magnitudes (ML) entre 1,3 y 4,8. La mayoría de los epicentros se ubican cerca del trazo de la falla Lara. Por ejemplo, en el 2001 se produjeron cinco sismos sentidos con epicentros en los alrededores de Curridabat, alcanzaron aceleraciones máximas entre 0,0066 y 0,0306 g., son asociados a las fallas Agua Caliente o Río Azul.

Desde el siglo XIX se han registrado sismos importantes en la zona que comprende San José y Cartago, en el cuadro 5 se da una lista de los principales sismos según Rojas (1993).

**Cuadro 5**  
**Temblores históricos de la zona comprendida entre San José y Cartago**  
**(Rojas, 1993)**

Número	Nombre	Fecha	Magnitud (Ms)	Daños
1	Cartago	02-09-1841	6,0-6,5	Destrucción de Cartago, 38 muertos
2	Alajuelita	1842	5,0-5,5	Daños en Alajuelita
3	Tablazo	13-04-1910	5,8	Daños en Desamparados
4	Cartago	04-05-1910	6,4	Destrucción de Cartago y Paraíso, 600 muertos
5	Tres Ríos	1912	5,0-5,5	Daños en Tres Ríos
6	Paraíso	1951	5,4	Daños en Paraíso y Orosí

De acuerdo con el Código Sísmico de Costa Rica 2002 el proyecto se ubica en la zona sísmica III y los suelos son de tipo S<sub>3</sub>.

En el mapa de distribución de zonas sísmicas en Costa Rica (Fernández & Rojas, 2000) el AP se ubica en la zona 15 llamada Escazú-Guarco, donde el número anual de sismos de magnitud M mayor a 4,5 es de 0,0865 con un valor medio probable de máxima magnitud M que podría generar la fuente de 6,5 a una profundidad entre 1 y 15km y la aceleración horizontal máxima 35% de g.

Los sismos que más han afectado la zona se han producido en fallas corticales como las descritas anteriormente, esos ocurren a profundidades relativamente someras menores a 15 km y de ahí que su potencial de destrucción sea alto, aunado a que se dan en zonas con altas densidades de población como es el caso de San José.

Las características geomorfológicas y geológicas del terreno del AP lo hacen favorable para la construcción pues son áreas estables donde no ocurrirán efectos como agrietamientos o deslizamientos. En las cercanías de las zonas de fuerte pendiente, que no son comunes en este caso, es posible que ocurran deslizamientos si existe peso adicional a los suelos y además taludes mal diseñados.

### 3.5 Amenaza volcánica

El volcán más cercano al AP es el Irazú a unos 20km al este, también podría ocurrir afectación desde el volcán Turrialba pero en menor grado. Las estructuras volcánicas que lo conforman son escudos volcánicos cráteres y conos, tiene una altura máxima de 3432 msnm, ha presentado actividad histórica en los años 1723, 1917-20, 1924, 1928, 1930, 1933, 1939-40, 1962-65 y 1994. El volcán Irazú ha mantenido una actividad constante de tipo solfatárica-fumarólica y rara vez emisiones de vapor, la actividad ha sido principalmente de tipo vulcaniana. La última actividad significativa fue durante 1994 que presentó una pequeña explosión freática que produjo ceniza, bloques, arena y lodo, las partículas más finas se extendieron hasta 22km al oeste del volcán.

Se tienen datos de actividades prehistóricas basándose en dataciones con  $^{14}\text{C}$  en los años 1560, 1080, 770, 670 y 390 d.C. y 600 a.C., la actividad ha sido principalmente vulcaniana, también estromboliana, freática, efusiva y lahares (Alvarado et al., 2000). En el siguiente cuadro se resumen los períodos eruptivos del volcán Irazú.

**Cuadro 6**  
**Períodos eruptivos históricos más importantes del volcán Irazú**  
**(Tomado de Alvarado, 1993)**

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



		lahares que mataron a cerca de 20 personas en Taras el 9/12/1963
--	--	--

Los peligros del volcán Irazú a corto plazo son principalmente caída de cenizas sobre San Pedro, como ocurrió en el periodo de 1963-1965, caída de bloques y lahares. Mientras que el peligro a largo plazo es actividad de tipo vulcaniana a estromboliana, lahares y deslizamientos volcánicos y formación de nuevos conos.

Las afectaciones a las obras que se construirán en el AP serán principalmente caída de cenizas, caída de bombas en caso de erupciones tipo plinianas o de ultraplinianas y lluvia ácida. Las estructuras deberán estar diseñadas con los soportes necesarios (vigas de acero por ejemplo) para aguantar el peso de la ceniza acumulada en el techo del edificio principal, la misma debe ser removida a la mayor brevedad para evitar cualquier inconveniente o colapso por acumulación. Por otra parte se deben seguir las instrucciones de la Comisión Nacional de Emergencias en caso de alerta o actividad del volcán Irazú o Turrialba.

### 3.6 Síntesis de resultados y conclusiones geológicas

El AP se ubica en el Valle Central catalogado como una zona altamente sísmica por la presencia de numerosas fallas neotectónicas y activas que en el pasado han provocado daños a la población, entre las principales fallas están Cipreses, Lara, Río Azul y Agua Caliente activas y Dorita, Rancho Redondo y Laguna neotectónicas. Las fallas han sido identificadas con base en fotointerpretación y evidencias morfológicas del terreno. La mayor actividad está asociada a la falla Lara ubicada al noreste del AP, otras importantes que han generado sismos de baja magnitud son la falla Río Azul y Agua Caliente.

Entre San José y Cartago han ocurrido sismos de importante magnitud que provocaron daños a la población, tal es el caso del sismo de Cartago en 1841 y 1910 con magnitudes superiores a 6,0 y en Tres Ríos, Paraíso y Alajuelita con magnitudes superiores a 5,5, algunos de los cuales inclusive produjeron muertes. Según Fernández & Rojas (2000) el AP se ubica en la zona 15 llamada Escazú-Guarco, donde el número anual de sismos de magnitud M mayor a 4,5 es de 0,0865 con un valor medio probable de máxima magnitud M que podría generar la fuente de 6,5 a una profundidad entre 1 y 15km y la aceleración horizontal máxima 35% de g.

Por las características topográficas y geomorfológicas del terreno del AP, durante un sismo es de esperar que la respuesta sea favorable pues en el AP predomina la baja pendiente y los suelos con un potencial de licuefacción nulo.

El volcán más cercano al AP es el Irazú a unos 20km al este, ha presentado actividad desde 1723 y hasta 1994 de tipo solfatárica a fumarólica, rara vez emisiones de vapor y actividad de tipo vulcaniana, la última explosión en 1994 produjo ceniza, bloques, arena y lodo que se extendieron hasta 22km al oeste del volcán. A corto plazo los peligros del volcán Irazú son caída de cenizas sobre, caída de bloques y lahares, de lo anterior sólo lo primero afectaría al AP directamente. Las obras tendrán soportes suficientes para aguantar acumulaciones de ceniza sobre el techo, sin embargo se recomienda su remoción rápidamente en caso de que ocurriera.



El terreno desde el punto de vista de las amenazas naturales muestra una geoptitud medianamente favorable ya que existe amenaza natural por la alta sismicidad de la zona y la cercanía al volcán Irazú. Entre las limitantes técnicas está la calidad del suelo del AP, el cual, ante aceleraciones sísmicas, puede producir asentamientos en las obras si las mismas no cuentan con las cimentaciones adecuadas. Por otro lado, el edificio debe tener capacidad para soportar la acumulación de ceniza en caso de un evento del volcán Irazú.

El AP muestra una geoptitud medianamente favorable para el desarrollo de infraestructura debido a la alta sismicidad que caracteriza al este del Valle Central Occidental y a la influencia directa que tendría una eventual erupción del volcán Irazú como la ocurrida en 1962-65 y 1994. Las limitantes citadas deberán obligar a que los diseños de todos los edificios contemplen los reglamentos estipulados en el Código Sísmico para este tipo de construcciones. Si se contemplan las medidas de diseño adecuadas entonces las obras son viables.

### **3.7 Discusión sobre limitantes de incertidumbre y alcance del estudio**

El alcance de este apartado está dado por información sísmica y vulcanológica de estudios anteriores realizados en la zona y en el resto del Valle Central así como por observaciones de campo. El terreno se muestra poco complejo y el potencial de amenaza natural es mediano (alta sismicidad y amenaza volcánica latente), se considera incertidumbre el volumen de ceniza que podría caer en un determinado tiempo en el AP ante una eventual actividad del Irazú, ya que podría afectar fuertemente cualquier obra civil de la zona.

Los resultados son aplicables para definir el diseño antisísmico de las obras, tomando en cuenta la sismicidad de la zona con base en las intensidades y magnitudes de eventos históricos que la han afectado, dichos resultados son aplicados para el AP y su AID inmediata, toda vez que las condiciones topográficas no varíen. Se concluye que el proyecto es viable desde el punto de vista geológico y de las amenazas y riesgos naturales de la zona, siempre y cuando se tomen en cuenta los lineamientos del Código Sísmico para la construcción de infraestructura y las recomendaciones que se hagan respecto a esto en el estudio de suelos y siguiendo los lineamientos del Código Sísmico.

## **4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ALVARADO, G.E., 1993: Vulcanology and petrology of Irazú volcano, Costa Rica. -261 págs. Univ. de Kiel, Alemania [Tesis Doctorado]

CAMACHO, D., CHAVEZ, J. & MURILLO, D., 2004: Diagnóstico de la susceptibilidad al deslizamiento e inundación, análisis del contexto sísmico y reconocimiento de peligros volcánicos para el cantón de Montes de Oca: una contribución al plan regulador del municipio. -106 págs. Escuela Centraam. de Geología, Univ. de Costa Rica, San Pedro, Costa Rica. [Tesis de Lic.]

BERGOEING, J.P., 1998: Geomorfología de Costa Rica. -1 ed. -409 págs. Instituto Geográfico Nacional, San José, Costa Rica



- DENYER, P. & ARIAS, O., 1991: Estratigrafía de la región central de Costa Rica. –Rev. Geol. América Central, 12: 1-59.
- DENYER, P., MONTERO, W. & ALVARADO, G.E., 2003: Atlas tectónico de Costa Rica. –1 ed. – Editorial de la Universidad de Costa Rica, San José, C.R. –79 págs
- FERNÁNDEZ, M. & ROJAS W., 2000: Amenaza Sísmica y por Tsunamis. -En: DENYER, P. & KUSSMAUL, S. (comp): Geología de Costa Rica. Editorial Tecnológica de Costa Rica, Cartago. –págs 287-301
- FERNÁNDEZ, M. & MONTERO, W., 2002: Fallamiento y sismicidad del área entre Cartago y San José, valle Central de Costa Rica. –Rev. Geol. de Amer. Central, 26: 25-37.
- KUSSMAUL, S., 1988: Comparación petrológica entre el piso volcánico del Valle Central y de la cordillera Central de Costa Rica. –Ciencia y Tecnol. 12(1-2): 109-116
- KUSSMAUL, S., 2000: Estratigrafía de las rocas ígneas. –En: DENYER, P. & KUSSMAUL, S. (comp.): Geología de Costa Rica. –Editorial Tecnológica de Costa Rica, Cartago. Págs 63-86.
- KRUSHENSKY, R.D., MALAVASSI, V.E. & CASTILLO, M.R., 1976: Mapa de reconocimiento geológico y cortes transversales de Costa Rica, América Central. –U.S. Geol. Survey-MEIC, Series map. 1-899 (1:100000), Arlington.
- MADRIGAL, R. & SALAZAR, G., 1993: Mapa geomorfológico de la Gran Área Metropolitana, escala 1:200 000. En: DENYER, P. & KUSSMAUL, S. (Comp): Atlas geológico del Gran Área Metropolitana. Editorial tecnológica de Costa Rica, Cartago.
- MONTERO, W., DENYER, P., BARQUERO, R., ALVARADO G.E., COWAN, H., MACHETTE, M., HALLER, K. & DART, R., 1998: Maps and data base of Quaternary faults and folds in Costa Rica and its offshore regions. 33 págs. File Report 98 (481).
- PANIAGUA, S., 1993: Mapa de amenaza volcánica de la Gran Área Metropolitana, escala 1:200 000. En: DENYER, P. & KUSSMAUL, S. (Comp): Atlas geológico del Gran Área Metropolitana. Editorial tecnológica de Costa Rica, Cartago
- PERALDO, G. & MONTERO, W., 1999: Sismología histórica de América Central. -347 págs. IPGH, México.
- SALAZAR, L.G., 2000: Geomorfología. –En: DENYER, P. & KUSSMAUL, S. (comp.): Geología de Costa Rica. –Editorial Tecnológica de Costa Rica, Cartago. Págs 63-86.





## 5. FIGURAS