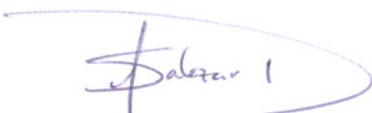
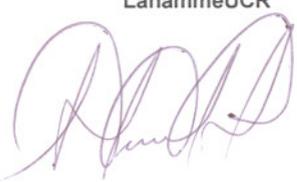
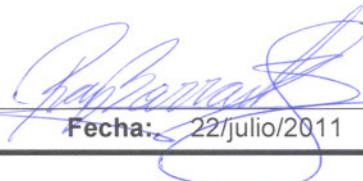


. Informe LM-PI-UE-007-11		2. Copia No. 1
. Título: valuación de las condiciones hidrotermales entre los kilómetros 38 y 48 de la Ruta Nacional 7.		4. Fecha del Informe Julio, 2011
. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440		
. Notas complementarias No aplica		
. Resumen Según se establece en el Artículo 5 de la Ley No. 8114 sobre la Simplificación y Eficiencia Tributarias, "para garantizar la máxima eficiencia de la inversión pública de reconstrucción y conservación óptima de la red vial costarricense...", la Universidad de Costa Rica, a través del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (en adelante, LanammeUCR), deberá efectuar una evaluación anual de los proyectos en concesión. De conformidad con lo señalado, el presente es un informe técnico que se enmarca dentro de las funciones de evaluación que la citada ley le confiere al LanammeUCR. Este informe tiene la finalidad de evaluar las condiciones de hidrotermalismo reflejadas de manera superficial en tramos de la Ruta Nacional 27 San José-Caldera y sus implicaciones, desde un punto de vista de ingeniería civil. Se identificaron cinco zonas donde hay evidencia superficial de alteración hidrotermal, la cual se aprecia principalmente en las coloraciones rojizas y amarillentas en los taludes de corte y otras obras de la infraestructura, tales como cunetas, contracunetas y concreto lanzado. Esta coloración se debe principalmente a la formación de sulfatos hidratados, óxidos e hidróxidos de hierro, ácido sulfúrico y azufre elemental, producto de los diferentes procesos de oxidación de la pirita y sus resultados. También es evidente en estas zonas la desintegración y desmoronamiento del concreto lanzado, así como la corrosión del acero de refuerzo utilizado como refuerzo del concreto lanzado o en las mallas para caídos, resultado de la interacción de estos elementos con las aguas ácidas del hidrotermal.		
. Palabras clave Alteración hidrotermal, Ruta Nacional 27, desmoronamiento, corrosión	9. Nivel de seguridad: Ninguno	10. Núm. de páginas 29
1. Preparado por: Ing. Diego A. Cordero Carballo Ingeniero Evaluador Unidad de Evaluación de la Red Vial Nacional  Fecha: 22/julio/2011		12. Revisado por: Quím. Jorge Salazar Delgado Unidad de Investigación LanammeUCR  Fecha: 22/julio/2011
2. Revisado por: Lic. Miguel Chacón Alvarado Asesor Legal Externo LanammeUCR  Fecha: 22/julio/2011	Ing. Roy Barrantes Jiménez Coordinador Unidad de Evaluación de la Red Vial Nacional  Fecha: 22/julio/2011	13. Aprobado por: Ing. Guillermo Loría Salazar, Ph.D. Coordinador General PITRA  Fecha: 22/julio/2011



Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales

Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

Proyecto: LM-PI-UE-007-11

EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES HIDROTERMALES ENTRE LOS KILÓMETROS 38 Y 48 DE LA RUTA NACIONAL 27

INFORME FINAL

Preparado por:

Unidad de Evaluación de la Red Vial Nacional

San José, Costa Rica
Julio, 2011

1. Informe LM-PI-UE-007-11		2. Copia No. 1
3. Título: Evaluación de las condiciones hidrotermales entre los kilómetros 38 y 48 de la Ruta Nacional 27.		4. Fecha del Informe Julio, 2011
5. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440		
6. Notas complementarias No aplica		
7. Resumen Según se establece en el Artículo 5 de la Ley No. 8114 sobre la Simplificación y Eficiencia Tributarias, “para garantizar la máxima eficiencia de la inversión pública de reconstrucción y conservación óptima de la red vial costarricense...”, la Universidad de Costa Rica, a través del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (en adelante, LanammeUCR), deberá efectuar una evaluación anual de los proyectos en concesión. De conformidad con lo señalado, el presente es un informe técnico que se enmarca dentro de las funciones de evaluación que la citada ley le confiere al LanammeUCR. Este informe tiene la finalidad de evaluar las condiciones de hidrotermalismo reflejadas de manera superficial en tramos de la Ruta Nacional 27 San José-Caldera y sus implicaciones, desde un punto de vista de ingeniería civil. Se identificaron cinco zonas donde hay evidencia superficial de alteración hidrotermal, la cual se aprecia principalmente en las coloraciones rojizas y amarillentas en los taludes de corte y otras obras de la infraestructura, tales como cunetas, contracunetas y concreto lanzado. Esta coloración se debe principalmente a la formación de sulfatos hidratados, óxidos e hidróxidos de hierro, ácido sulfúrico y azufre elemental, producto de los diferentes procesos de oxidación de la pirita y sus resultados. También es evidente en estas zonas la desintegración y desmoronamiento del concreto lanzado, así como corrosión del acero de refuerzo utilizado como refuerzo del concreto lanzado o en las mallas para caídos, resultado de la interacción de estos elementos con las aguas ácidas del hidrotermal.		
8. Palabras clave Alteración hidrotermal, Ruta Nacional 27, desmoronamiento, corrosión	9. Nivel de seguridad: Ninguno	10. Núm. de páginas 29
11. Preparado por: Ing. Diego A. Cordero Carballo Ingeniero Evaluador Unidad de Evaluación de la Red Vial Nacional <hr/> Fecha: 22/julio/2011	12. Revisado por: Quím. Jorge Salazar Delgado Unidad de Investigación LanammeUCR <hr/> Fecha: 22/julio/2011	
12. Revisado por: Lic. Miguel Chacón Alvarado Asesor Legal Externo LanammeUCR <hr/> Fecha: 22/julio/2011	13. Aprobado por: Ing. Roy Barrantes Jiménez Coordinador Unidad de Evaluación de la Red Vial Nacional <hr/> Fecha: 22/julio/2011	13. Aprobado por: Ing. Guillermo Loría Salazar, Ph.D. Coordinador General PITRA <hr/> Fecha: 22/julio/2011



TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	4
2. ANTECEDENTES DE ESTUDIOS SOBRE ALTERACIÓN HIDROTHERMAL PARA LA RUTA NACIONAL 27	4
3. ALTERACIÓN HIDROTHERMAL	5
4. UBICACIÓN DEL AREA EN ESTUDIO	6
5. DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA DE LA ZONA EN ESTUDIO	7
5.1. FORMACIÓN AGUACATE	8
5.2. FORMACIÓN OROTINA	9
6. ATAQUE QUÍMICO A LOS CEMENTOS Y EL ACERO POR ALTERACIÓN HIDROTHERMAL	11
7. ALTERACIÓN HIDROTHERMAL EN LA ZONA DE LA RUTA NACIONAL 27	13
7.1. AFECTACIÓN DE LA ALTERACIÓN HIDROTHERMAL SOBRE LA RUTA NACIONAL 27	13
7.2. ALTERACIÓN HIDROTHERMAL EN EL GRUPO AGUACATE	16
7.2.1. ALTERACIÓN PROPILÍTICA	16
7.2.2. ALTERACIÓN ARGILÍTICA	17
7.2.3. ALTERACIÓN SERICÍTICA	18
8. CONCLUSIONES	19
9. RECOMENDACIONES	21
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22
11. ANEXO. FOTOGRAFÍAS	24

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA ZONA DE ESTUDIO	6
FIGURA 2. GEOLOGÍA DE LA ZONA EN ESTUDIO	8
FIGURA 3. PUNTOS CON EVIDENCIA SUPERFICIAL DE ALTERACIÓN HIDROTHERMAL	15



1. INTRODUCCIÓN

Según se establece en el Artículo 5 de la Ley No. 8114 sobre la Simplificación y Eficiencia Tributarias, “para garantizar la máxima eficiencia de la inversión pública de reconstrucción y conservación óptima de la red vial costarricense...”, la Universidad de Costa Rica, a través del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (en adelante, LanammeUCR), deberá efectuar una evaluación anual de los proyectos en concesión. De conformidad con lo señalado, el presente es un informe técnico que se enmarca dentro de las funciones de evaluación que la citada ley le confiere al LanammeUCR.

Este informe tiene la finalidad de evaluar las condiciones de hidrotermalismo reflejadas de manera superficial en tramos de la Ruta Nacional 27 San José-Caldera y sus implicaciones, desde un punto de vista de ingeniería civil, para con dicha ruta.

2. ANTECEDENTES DE ESTUDIOS SOBRE ALTERACIÓN HIDROTHERMAL PARA LA RUTA NACIONAL 27

Si bien existen estudios geológicos (i.e., Castillo, 1969; Castillo, 1970; Escuela Centroamericana de Geología, 1997) y geotécnicos (i.e., Asociación Costarricense de Geotecnia, 2010) realizados en la zona que atraviesa la Ruta Nacional 27, el LanammeUCR no tiene registros de trabajos que se hayan enfocado en estudiar específicamente el fenómeno de hidrotermalismo y sus implicaciones desde un punto de vista de ingeniería civil sobre la infraestructura de la Ruta Nacional 27.

Los estudios geológicos antes mencionados sí estudiaron el fenómeno de alteración hidrotermal y sus implicaciones sobre el ambiente geológico en que se desarrolla, por lo que se puede decir que este fenómeno para la zona de estudio no es nuevo, pues ya había sido identificado y estudiado desde un punto de vista geológico.



3. ALTERACIÓN HIDROTHERMAL

Goodman (1993) define la alteración hidrotermal como la alteración química de macizos rocosos por fluidos calientes. Townley (2001), por su parte, proporciona una definición más detallada al decir que la alteración hidrotermal es el “intercambio químico ocurrido durante una interacción fluido hidrotermal-roca”, que “conlleva cambios químicos y mineralógicos en la roca afectada producto del desequilibrio termodinámico entre ambas fases.” Es decir, a raíz de la interacción del macizo rocoso con fluidos calientes, en algunos casos ácidos, las rocas que lo conforman sufren cambios que, desde un punto de vista ingenieril, pueden disminuir sus propiedades geomecánicas en el tiempo.

Existen varios tipos de alteración hidrotermal, caracterizados por las diferentes combinaciones de asociaciones de minerales que se puedan dar. El tipo de alteración hidrotermal y su intensidad dependerán de la composición del fluido hidrotermal, la composición de la roca original, de la temperatura, del pH, de la razón agua/roca y del tiempo de interacción, entre otros factores.

En las zonas alteradas hidrotermalmente las características mineralógicas, químicas y morfológicas de la roca afectada proveen información sobre las condiciones termodinámicas del fluido hidrotermal. En apartados siguientes se proporciona información sobre los tipos de alteración hidrotermal con afectación sobre el tramo analizado de la Ruta Nacional 27 y cómo se evidencia esta superficialmente.

4. UBICACIÓN DEL AREA EN ESTUDIO

El área estudiada comprende parte del tramo II de la Ruta Nacional 27, específicamente la zona ubicada entre los kilómetros 38 y 48. Geográficamente el área en estudio se encuentra localizada en la hoja cartográfica Río Grande (Escala 1:50000), editada por el Instituto Geográfico Nacional (IGN), dependencia del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT).

El área en estudio es cruzada por la Ruta Nacional 27 y otras rutas terciarias, como la Ruta Nacional 707. La parte sur es atravesada además por el Río Grande y sus afluentes, localizándose el Río Grande al sur de la Ruta Nacional 27 en el tramo considerado. La Figura 1 muestra la ubicación geográfica de la zona en estudio.



Figura 1. Ubicación geográfica de la zona de estudio.
Elaborado por LanammeUCR, 2011.



5. DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA DE LA ZONA EN ESTUDIO

Para el estudio de un fenómeno como la alteración hidrotermal es importante delimitar geológicamente las zonas sometidas a este fenómeno. Para este estudio se usó de referencia la zonificación realizada por Recope (1987) para delimitar las zonas afectadas. De igual manera, es importante contar con la descripción de las unidades geológicas pues esta permite conocer las propiedades litológicas comunes (i.e., composición y estructura) de cada unidad. De esta manera, conociendo estos componentes (ubicación, composición y estructura), se puede tener una referencia de las condiciones a las que pudiera estar expuesta la infraestructura de construirse sobre una misma unidad geológica que ya ha presentado un mismo comportamiento, en este caso alteración hidrotermal.

De acuerdo a Recope (1987) el tramo de la Ruta Nacional 27 comprendido entre los kilómetros 38 y 48 atraviesa dos unidades geológicas: la Formación Aguacate y la Formación Orotina. Denyer & Alvarado (2007) indican que la Ruta Nacional 27, en esta zona, atraviesa dos formaciones compuestas por vulcanismo del Mioceno e ignimbritas y tobas del Pleistoceno (formaciones de origen ígneo).

La descripción de las unidades geológicas se tomó de Castillo (1969 y 1970) y Laguna (1984), los cuales en sus respectivos estudios ya mencionaban que las unidades geológicas estudiadas estaban sometidas a alteración hidrotermal. Una descripción detallada de las unidades geológicas Formación Aguacate y Formación Orotina se muestra más adelante.

La Figura 2 muestra la zonificación geológica de la zona según Recope (1987).

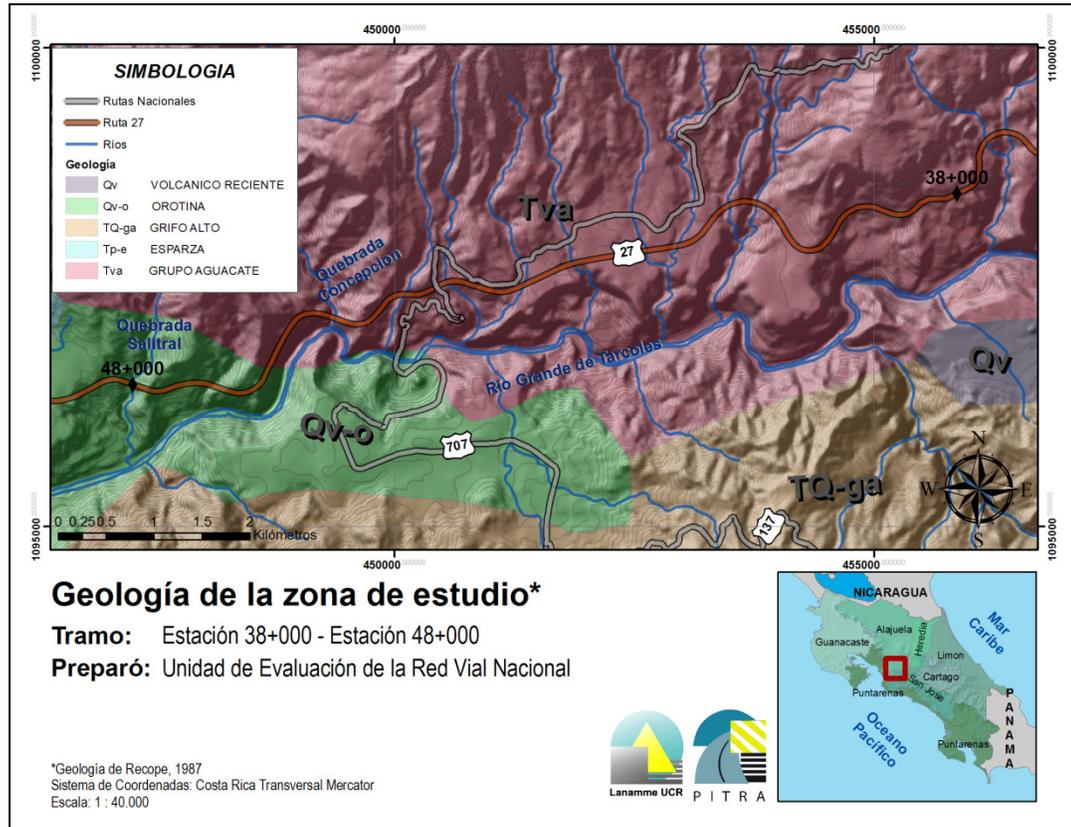


Figura 2. Geología de la zona en estudio.
Elaborado por LanammeUCR, 2011.
Fuente: Recope, 1987.

5.1. FORMACIÓN AGUACATE

La Formación Aguacate, según Castillo (1969 y 1970), “está constituida por rocas ígneas, extrusivas e intrusivas, tobas y brechas, y aflora en los Cerros del Aguacate. La formación está compuesta por brechas volcánicas, tobas soldadas y lavas andesíticas y andesito basálticas, intruídas todas por diques de basalto.”

Castillo (1969) realizó una descripción de las rocas localizadas en la zona donde menciona que “la brecha volcánica consiste de fragmentos de lava andesítica y andesito basáltica, grises a parduzcos, angulares a subredondeados, de pocos centímetros hasta más de 50 centímetros, distribuidos en una matriz tobácea, varicoloreada en partes, desde el gris claro, amarillo, rojo hasta púrpura. La matriz está pobremente endurecida y de condición friable



(i.e. *que se desmenuza fácilmente*, texto en cursiva no es del original) cuando se ha meteorizado. La toba soldada es generalmente de color gris clara, densa, de grano medio a fino y con diaclasamiento paralelo a la lineación del fiamme (i.e. *forma de lentes, usualmente de tamaño milimétrico a centimétrico, que se observan en la superficie de algunas rocas volcánicas*, texto en cursiva no es del original). Localmente muestra estructura de flujo. Fragmentos líticos y cristales alcanzan menos de 5 milímetros de longitud y están distribuidos en una matriz de grano medio a fino. Las lavas son generalmente andesitas y andesitas basálticas, grises y parduzcas, de grano fino a medio, corrientemente meteorizadas y con diaclasamiento horizontal. Las intrusiones basálticas son grises a gris verduzcas, de grano medio a grueso y con un grado de meteorización variable. Aureolas de origen hidrotermal de color púrpura, blanco, gris y varicoloreadas se observan en la formación.”

Continúa Castillo (1969) diciendo que “la Formación Aguacate descansa en forma discordante sobre las formaciones Terraba, Turrúcares y Coris y, ésta, a la vez, está sobreyacida también en forma discordante por las rocas volcánicas no diferenciadas del Valle Central Occidental, la Formación Orotina, la Formación Turrubares, la Lavina de San Pablo, la Lavina de San Pedro y aluviones reciente.”

5.2. FORMACIÓN OROTINA

La Formación Orotina, según Castillo (1970), aflora en la zona cercana a Hacienda Vieja en Orotina.

De acuerdo a Castillo (1970) la sección entre Hacienda Vieja y Bajos de Alumbre “está constituida por una toba soldada de corriente de piroclásticos que alcanza un espesor de aproximadamente 120 metros.” “En el cañón del Río Grande de Tárcoles, al sur de Hacienda Vieja, las ignimbritas tiene un espesor por lo menos de 60 metros, y yacen discordantemente sobre las rocas de la Serie Volcánica del Aguacate. La parte inferior está formada por fragmentos vítreos aglutinados, ordenados subparalelamente, los cuales le dan un aspecto bandeado a la roca, mientras que la parte superior está formada por bloques sub-angulares



de escoria negra y gris oscura, no estratificados y contenidos en una matriz de lapilli y ceniza vítrea. Todo el conjunto presenta disyunción columnar vertical”.

Continúa Castillo (1970) diciendo que “la topografía originada por estas ignimbritas varía de levemente ondulada a plana” y que “esta unidad litológica descansa sobre rocas de la Formación Aguacate”. “





6. ATAQUE QUÍMICO A LOS CEMENTOS Y EL ACERO POR ALTERACIÓN HIDROTHERMAL

Como parte de los alcances de este estudio se analizó el efecto del fenómeno de hidrotermalismo ácido en distintos materiales utilizados en la Ruta Nacional 27, como son el cemento y el acero de refuerzo del concreto lanzado, para la estabilización de taludes y para la construcción de otras estructuras que utilizan estos materiales como materia prima (i.e., cunetas, contracunetas).

El cemento, utilizado para la elaboración del concreto lanzado y concreto colado en sitio, por su composición puede ser atacado fácilmente por sustancias químicas que incluyan soluciones ácidas, sales de amonio, sales de magnesio, sulfatos, sulfitos y tiosulfatos. La susceptibilidad de cada cemento a ser atacado dependerá de las sustancias químicas, su actividad y su concentración, de la composición química del cemento y la permeabilidad del mismo, por lo que es importante realizar análisis puntuales para determinar la agresividad de estas sustancias químicas para con el cemento.

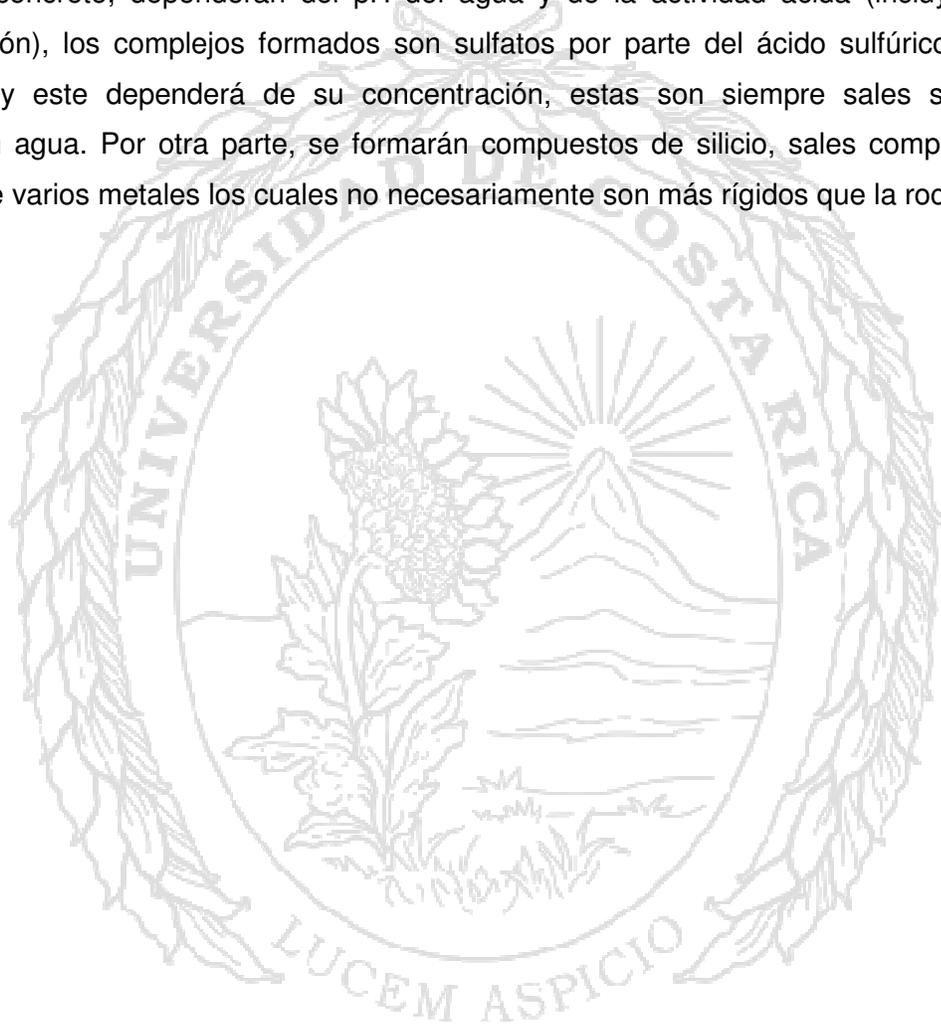
Por ejemplo, el cemento Portland tiene una alcalinidad muy alta (pH 12), lo que lo hace muy susceptible a ser atacado por ácidos (e.g., aguas con pH muy bajos). Estos disuelven la pasta del cemento hidratado en el concreto provocando su desintegración, desmoronamiento, la pérdida de la resistencia del concreto y la corrosión del acero de refuerzo. A mayor la concentración de los ácidos, más intenso será el ataque. Los ácidos de origen orgánico son menos agresivos que los inorgánicos, dependiendo la acción de los primeros más de la solubilidad de sus sales de calcio que del pH.

En los lugares donde el concreto entra en contacto con el agua subterránea que contiene sulfatos disueltos es común el ataque de sulfatos. El agua con contenidos de sulfatos superiores a 2 gramos/litro se puede considerar agresiva. El sulfato más común es el sulfato de calcio, pero el más dañino, aunque menos común, es el sulfato de magnesio debido a que es más soluble.



Dependiendo del caudal y la actividad química del agua a la que está siendo expuesta tanto la roca como el concreto, e incluso el acero de refuerzo que se utilice, así será su exposición al deterioro por la actividad química del ácido del agua, así como la generación de complejos metálicos que deterioran la piedra, corroen el acero y debilitan el concreto.

Los compuestos nuevos que se estarían formando por la actividad química del agua y la roca, y el concreto, dependerán del pH del agua y de la actividad ácida (incluyendo su concentración), los complejos formados son sulfatos por parte del ácido sulfúrico y ácido sulfhídrico y este dependerá de su concentración, estas son siempre sales simples y solubles en agua. Por otra parte, se formarán compuestos de silicio, sales complejas con inclusión de varios metales los cuales no necesariamente son más rígidos que la roca inicial.





7. ALTERACIÓN HIDROTHERMAL EN LA ZONA DE LA RUTA NACIONAL 27

De acuerdo con el minero industrial José Figuer (comunicación personal del 7 de febrero de 2011; Carta dirigida al Señor Ministro Francisco Jiménez del Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 11 de febrero de 2011; Carta dirigida al Señor Diputado Claudio Monge del Partido Acción Ciudadana, 17 de febrero de 2011; comunicación personal del 15 de junio de 2011), el hidrotermalismo presente en la zona pertenece a la Formación Aguacate, compuesta por rocas volcánicas muy alteradas hidrotermalmente; aunque según un levantamiento de zonas con evidencia superficial de alteración hidrotermal, realizado por ingenieros del LanammeUCR el 8 de junio de 2011, parte de la Formación Orotina, junto al cañón del río Salitral, también presenta afectación por este fenómeno.

A criterio de Figuer (comunicación personal del 7 de febrero de 2011; Carta dirigida al Señor Ministro Francisco Jiménez del Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 11 de febrero de 2011; Carta dirigida al Señor Diputado Claudio Monge del Partido Acción Ciudadana, 17 de febrero de 2011; comunicación personal del 15 de junio de 2011) el área de mayor peligrosidad es de 6 kilómetros cuadrados, localizándose estos en la Hoja Cartográfica Río Grande (1:50000) entre las coordenadas de latitud norte 211000 y 213000 y longitud este 485000 y 488000, zona que abarca porción del tramo de la Ruta Nacional 27 en estudio.

7.1. AFECTACIÓN DE LA ALTERACIÓN HIDROTHERMAL SOBRE LA RUTA NACIONAL 27

De acuerdo con Figuer (2011a, 2011b, 2011c, 2011d), entre los kilómetros 44 y 48 se localizan hidrotermales ácidos deslizantes verticalmente (por su formación geológica estructural). Estos hidrotermales ácidos están formados por sulfoarseniuros de hierro y cobre, formaciones ílticas (arcillas) que contienen caolinita, mormorillonita y otros elementos.

Según Figuer (2011c, 2011d), “el hidrotermal ácido que se localiza antes y después del Río Concepción es el mismo tipo de formación que atraviesa por debajo de la plataforma de los Cerros del Chompipe y aparece de nuevo en el distrito minero del Monte del Aguacate.”



Continúa Figuer (2011b) diciendo que “estos hidrotermales tienen una cobertura de rocas ignimbritas y de lavas volcánicas bastante impermeables.” “Este tipo de hidrotermal con ambiente geotérmico por lo general son amplios, de un espesor de 400 a 600 metros y de una altura media de 1400 a 1600 metros, con contenidos de conglomerados y brechas, materiales de rocas de cobertura volcánicas andesíticas, basálticas y materiales de derrumbe.”

“Estos hidrotermales por lo general internamente y profundo tienen un grado térmico que va de los 200 a 300 grados de temperatura y son sumamente impermeables. En estas zonas hay mantos acuíferos de 2 a 8 litros por segundo, entendiéndose que tanto en verano como en invierno estos hidrotermales estarán húmedos”. (Figuer (2011c, 2011d).

Estos hidrotermales, según Figuer (2011a, 2011b, 2011c, 2011d) son del tipo ácido deslizante, con altos contenidos de agua, arsénico, sulfosales y metales altamente corrosivos para los metales y no metales.

La información suministrada por Figuer (2011a, 2011b, 2011c, 2011d) fue corroborada en sitio con visitas los días 4 de abril, 2 de mayo y 8 de junio de 2011, donde se pudo constatar la presencia de este fenómeno y los efectos sobre los materiales empleados, entre otros, en los taludes y obras hidráulicas, como las cunetas y contracunetas.

De acuerdo a la descripción de tipos de hidrotermal realizada por Laguna (1984) y a lo observado superficialmente en la Ruta Nacional 27 se puede concluir que el tipo de alteración hidrotermal más común corresponde a la argilítica, concentrándose esta entre los kilómetros 38 y 48.

La Figura 3 muestra la ubicación de algunas de las zonas con evidencia superficial de alteración hidrotermal. Se muestran además fotografías asociadas a estos puntos en la sección de Anexos. La principal evidencia superficial de alteración hidrotermal en estas zonas se aprecia en las coloraciones rojizas y amarillentas en los taludes de corte y otras obras de la infraestructura, tales como cunetas, contracunetas y concreto lanzado. Esta

coloración se debe principalmente a la formación de sulfatos hidratados, óxidos e hidróxidos de hierro, ácido sulfúrico y azufre elemental, producto de los diferentes procesos de oxidación de la pirita y sus resultados.

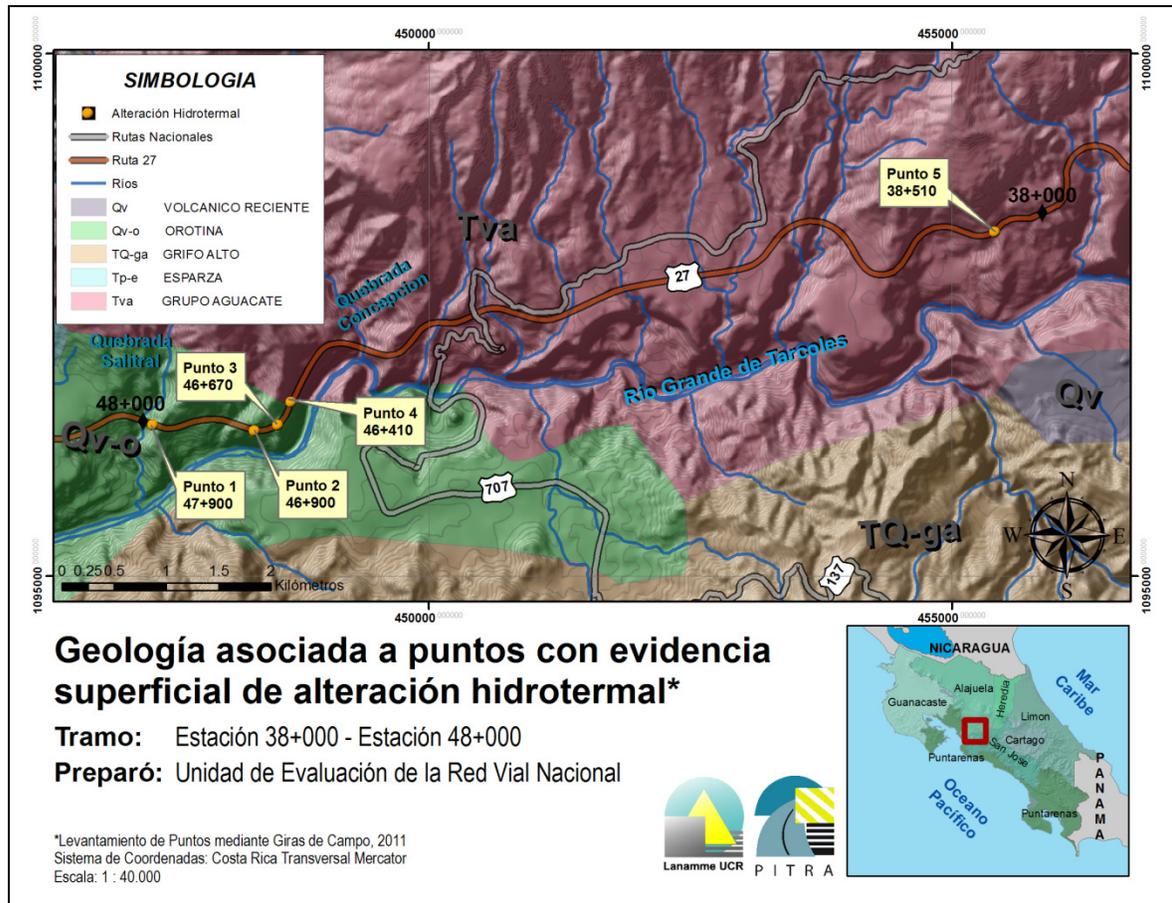


Figura 3. Puntos con evidencia superficial de alteración hidrotermal.
Elaborado por LanammeUCR, 2011.

También es evidente en estas zonas desintegración y desmoronamiento del concreto lanzado, así como corrosión del acero de refuerzo utilizado como refuerzo del concreto lanzado o en las mallas para caídos.

El día 8 de junio de 2011 ingenieros del LanammeUCR realizaron una visita de campo al tramo comprendido entre los kilómetros 38 y 48 para realizar un levantamiento de las zonas donde hay evidencia superficial de hidrotermalismo. En total se levantaron 5 puntos



(estacionamientos 38+500, 46+410, 46+660, 46+900 y 47+900), y en tres de ellos se tomaron muestras de aguas que afloraban en las paredes de los taludes de corte o que estaba empozada en cunetas, como fue el caso del primer punto). En detalle, se tomaron muestras de agua en los estacionamiento 38+500, 46+410 y 47+900) obteniéndose valores de pH de 5,9; 2,8 y 1,0; cuando el valor de pH del agua destilada es de 8,2, lo que hace ver que las condiciones de acidez a los que está expuesto el macizo rocoso y masas de suelo de estas zonas, así como el concreto lanzado y el acero, en las zonas donde han sido utilizados, son extremas y que de no tomar las consideraciones necesarias, estos materiales continuarán siendo muy susceptibles a presentar alteración química, meteorización y degradación a una tasa muy alta.

7.2. ALTERACIÓN HIDROTHERMAL EN EL GRUPO AGUACATE

De acuerdo a Laguna (1984), en el Grupo Aguacate las mayorías de las rocas aflorantes están en diferente medida influenciadas tanto por acción hidrotermal como por procesos de meteorización. Laguna realiza una descripción del fenómeno en el Grupo Aguacate, el cual pudo constatarse con la evaluación realizada por el LanammeUCR en este estudio, según se muestra más adelante.

La alteración hidrotermal en el Grupo Aguacate, según Laguna (1984) puede dividirse en tres tipos:

- a. Alteración propilítica.
- b. Alteración argilítica de intermedia a avanzada.
- c. Alteración sericítica.

7.2.1. ALTERACIÓN PROPILÍTICA

La alteración propilítica, según Laguna (1984) “está ampliamente distribuido y se concentra en centros aislados con distribución irregular. Aún cuando la alteración propilítica generalmente aparece en los bordes de grietillas fuertemente piritizadas y carbonatizadas, es también común encontrarla en rocas con un elevado grado de piritización y silicificación.”

Informe LM-PI-UE-007-11	Fecha de emisión: 22 de julio de 2011	Página 16 de 29
-------------------------	---------------------------------------	-----------------



Continúa Laguna (1984) diciendo que “las fases de alteración encontradas en las zonas propilíticas son: epidoto, clorita, carbonatos, sericita, pirita, esmectita, caolinita, pirofilita y ceolitas.” Alvarado (2011) menciona que la alteración propilítica “se caracteriza por minerales del tipo epidota, cloritas, carbonatos, ceolitas, pirita, etc., con temperaturas originales de 100 a 300 °C. La roca suele tener colores verdosos claros (propilita)”.

Laguna (1984) menciona que “la transición de roca fresca a roca alterada se reconoce cuando muchos pequeños cristales de pirita cubren una gran porción de la roca aflorante y cuando existen muchas grietas rellenas de cuarzo y epidoto; además cuando la calcita está presente y sustituye parcialmente cristales de plagioclasas.”

7.2.2. ALTERACIÓN ARGILÍTICA

De acuerdo a Laguna (1984) “este tipo de alteración es muy común en las rocas del Grupo Aguacate y se caracteriza por darle a los afloramientos una estructura masiva con coloraciones cenicientas a rojizas y en partes amarillentas. En las fases argilíticas intermedias predominan minerales del grupo de la caolinita y del grupo de las esmectitas, principalmente como productos secundarios de plagioclasas de intermedias a básicas, los que predominan como producto de alteración en muchas rocas volcánicas.”

Continúa Laguna (1984) diciendo que “en las zonas de alteración argilítica de grado avanzado se determinaron minerales tales como illita, caolinita, beidelita, illita/beidelita, cuarzo, hematita, alófana, goethita, anatasa, melnikowita, pirita, alunita y melanterita.” Alvarado (2011) menciona que la alteración argilítica “se caracteriza por minerales arcillosos (caolín, haolisita, alófana, montmorillonita) y otros (cloritas, sericita, alunita, etc.) en medios ácidos a temperaturas de 100 a 300 °C”.



7.2.3. ALTERACIÓN SERICÍTICA

Según Laguna (1984) “este tipo de alteración aparece en menor proporción y distribución que los tipos antes descritos. Se reconoce principalmente por la presencia de sericita, cuarzo y pirita. En algunas partes es posible reconocer, basado en la determinación de la variación de tipos estructurales en la mica de potasio y aluminio, un cambio de una argilitización tipo intermedia a una tipo avanzada”.





8. CONCLUSIONES

1. El fenómeno de hidrotermalismo ya había sido identificado y estudiado previamente en la zona, así lo demuestran los estudios realizados por Castillo (1970), Laguna (1984) y Figuer (2011) por lo que no se puede considerar como un fenómeno nuevo o que se manifestara de forma reciente.
2. El análisis y auscultaciones en sitio realizados por la Unidad de Evaluación de la Red Vial Nacional del LanammeUCR permitieron constatar la presencia del fenómeno conocido como “hidrotermalismo ácido” en varios puntos del tramo II de la Ruta Nacional 27. Este fenómeno se manifiesta superficialmente por medio de zonas de origen hidrotermal de color amarillento, rojizo y varicoloreadas (Ver Anexo 1). Esta condición se observa en varios taludes ubicados entre los kilómetros 38 y 48 y genera una condición de debilitamiento de los materiales que conforman estos taludes, aumentando la probabilidad de desprendimientos de material y disminuyendo la estabilidad de los mismos.
3. Ensayos de laboratorio realizados en el LanammeUCR demostraron que el nivel de acidez del agua, medido a través de su pH en tres puntos ubicados entre los kilómetros 38 y 48 de la Ruta Nacional 27, era menor a 6 y en un caso cercano a 1 (el pH del agua destilada es de 8,2), constituyéndose en un líquido sumamente ácido, lo que sin duda afecta y seguirá afectando los materiales utilizados para estabilizar los taludes y las obras hidráulicas como cunetas de concreto, así como las mallas para concreto lanzado, el concreto lanzado o las tuberías para encausar aguas pluviales.
4. Las auscultaciones realizadas en sitio permitieron comprobar importantes niveles de deterioro en los materiales utilizados para estabilizar los taludes. Se pudo observar corrosión y oxidación en las mallas del concreto lanzado y degradación del mismo concreto, así como un debilitamiento superficial de la matriz rocosa del talud. Esta condición no resulta sorprendente, ya que el concreto lanzado convencional con malla de acero, sin recubrimientos especiales, es mayormente utilizada para disminuir



los efectos de la erosión superficial del talud por efecto de las lluvias y no para enfrentar un fenómeno como el hidrotermalismo ácido descrito en esta zona.





9. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda al Consejo Nacional de Concesiones y a la empresa Supervisora de la Ruta Nacional 27 San José-Caldera solicitar al ente concesionario, un estudio geológico profundo y detallado, que comprenda, entre otros, aspectos de geología estructural, geoquímica e hidrogeología, que permita delimitar la zona afectada por alteración hidrotermal y la interacción que esta pueda tener con los materiales utilizados para construir las obras de infraestructura que componen la Ruta Nacional 27 (i.e., carretera, taludes de corte y tratamientos asociados, zonas de relleno, obras de manejo de agua de escorrentía y subterránea), y que sirva de insumo para el ente concesionario para la escogencia de los materiales a utilizar para estabilizar taludes y construir obras hidráulica, de forma que estas inversiones sean duraderas en el tiempo, resistan las condiciones geoquímicas propias del lugar y cumplan eficazmente con la función para la cual son construidas.
2. Se recomienda al Consejo Nacional de Concesiones y a la empresa Supervisora de la Ruta Nacional 27 San José-Caldera solicitar al ente concesionario memorias de cálculo, planos constructivos, especificaciones y estudios técnicos que respalden que las soluciones que se apliquen y los materiales que se utilicen en las zonas afectadas por alteración hidrotermal puedan soportar las solicitaciones para las cuales fueron conceptualizadas, así como las condiciones de alteración hidrotermal a las cuales van a estar expuestas, con el fin de que se asegure una inversión eficiente.
3. La alteración hidrotermal puede provocar cambios en las propiedades geomecánicas de las rocas y del macizo rocoso en el cual se desarrolla, por lo que se recomienda un control y monitoreo detallado e insistente de estos. Es prudente realizar este monitoreo para detectar los cambios que pueden presentarse en estos materiales ante el fenómeno hidrotermal, así como con los agentes meteorizantes a los cuales están expuestos, como el viento, la lluvia y el sol, así como su posible comportamiento ante eventos como los sismos y lluvias persistentes.



10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alvarado, G. (2011). *Geología básica en relación con las obras viales*. Presentación oral, curso Principios Básicos de la Geotecnia Vial del LanammeUCR. San José, Costa Rica: Centro de Investigaciones en Ciencias Geológicas, Colegio de Geólogos & Instituto Costarricense de Electricidad.
2. Arias, .O. & Denyer, P. (1991). *Estructuras geológicas de la región comprendida en las hojas topográficas Abra, Carraigres, Candelaria y Río Grande, Costa Rica*. Revista Geológica de América Central, No. 12. San José, Costa Rica: Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica.
3. Asociación Costarricense de Geotecnia. (2010). *Reporte de inspección Ruta 27 San José-Caldera*. San José, Costa Rica: el autor.
4. Castillo, R. (1969). *Geología de los mapas básicos Abra y partes de Río Grande, Costa Rica*. San José, Costa Rica: Ministerio de Industria y Comercio & Universidad de Costa Rica.
5. Castillo, R. (1970). *Geología del mapa básico "Río Grande", Costa Rica*. San José, Costa Rica: Ministerio de Industria y Comercio & Universidad de Costa Rica.
6. Castillo, R. *Comunicación personal, 22 de febrero de 2011*.
7. Denyer, P. & Kussmaul, S. (2000). *Geología de Costa Rica*. Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
8. Denyer, P., Montero, W. & Alvarado, G. (2009). *Atlas tectónico de Costa Rica*. San José, Costa Rica: Editorial UCR.
9. Escuela Centroamericana de Geología. (1997). *Estudio de amenaza sísmica y evaluación hidrogeológica para el proyecto de carretera Ciudad Colón-Orotina*. San José, Costa Rica: Sección de Sismología y Vulcanología, Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica.
10. Figuer, J. *Carta dirigida al Señor Ministro Francisco Jiménez del Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 11 de febrero de 2011a*.



11. Figuer, J. *Carta dirigida al Señor Diputado Claudio Monge del Partido Acción Ciudadana, 17 de febrero de 2011b.*
12. Figuer, J. *Comunicación personal, 7 de febrero de 2011c.*
13. Figuer, J. *Comunicación personal, 15 de junio de 2011d.*
14. Goodman, R. (1993). *Engineering Geology, Rock in Engineering Construction.* Estados Unidos: Wiley.
15. Instituto Geográfico Nacional. (1990). *Río Grande.* Hoja Cartográfica, escala 1:50000. San José, Costa Rica: Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Instituto Geográfico Nacional.
16. Laguna, J. (1984). *Efectos de alteración hidrotermal y meteorización en vulcanitas del Grupo Aguacate, Costa Rica.* Revista Geológica de América Central, No. 1. San José, Costa Rica: Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica.
17. Mora, S. & Valverde, R. (2005). *Geología Procesos de la dinámica interna y externa.* Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
18. RECOPE (1987). *Mapa Geológico de Costa Rica, Escala 1:750000.* San José, Costa Rica: Instituto Geográfico Nacional.
19. Townley, B. (2001). *Metalogénesis: Hidrotermalismo y Modelos de Yacimientos.* Santiago, Chile: Departamento de Geología, Universidad de Chile.

11. ANEXO. FOTOGRAFÍAS



Fotografía 1. Km 47+900 al 23 de febrero de 2010.
Fuente: LanammeUCR, 2010.



Fotografía 2. Km 47+900 al 16 de marzo de 2010.
Fuente: LanammeUCR, 2010.



Fotografía 3. Km 46+400 al 16 de marzo de 2010.
Fuente: LanammeUCR, 2010.



Fotografía 4 Km 38+700 al 02 de marzo de 2010.
Fuente: LanammeUCR, 2010.



Fotografía 5. Km 47+900 al 02 de abril de 2011.
Fuente: LanammeUCR, 2011.



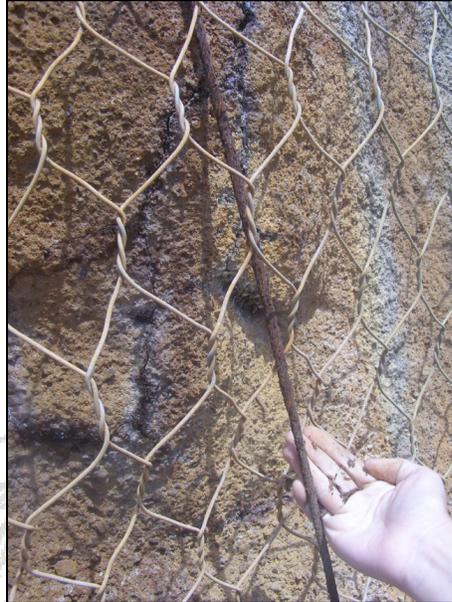
Fotografía 6. Km 47+900 al 04 de abril de 2011.
Fuente: LanammeUCR, 2011.



Fotografía 7. Km 38+500 al 04 de abril de 2011.
Fuente: LanammeUCR, 2011.



Fotografía 8. Km 38+500 al 04 de abril de 2011.
Fuente: LanammeUCR, 2011.



Fotografía 9. Km 46+800 al 04 de abril de 2011
Fuente: LanammeUCR, 2011.



Fotografía 10. Km 47+900 al 02 de mayo de 2011.
Fuente: LanammeUCR, 2011.



Fotografía 11. Km 38+500 al 08 de junio de 2011.
Fuente: LanammeUCR, 2011.



Fotografía 12. Km 38+500 al 08 de junio de 2011.
Fuente: LanammeUCR, 2011.