

Elaboran guía para construcción de carreteras de lastre

Elizabeth Rojas Arias <elizabeth.rojas@ucr.ac.cr>

La Red Vial Nacional cuenta con 7 411 kilómetros de carreteras y caminos, de los cuales 2 740 kilómetros son rutas no pavimentadas, esto sin tomar en cuenta una gran cantidad de vías de lastre y tierra que se encuentran bajo la responsabilidad de las municipalidades.

Por esta razón, los ingenieros Fabián Elizondo y Denia Sibaja, del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (Lanamme-UCR), elaboraron una *Guía para la estabilización y el mejoramiento de las carreteras de lastre*, con el fin de aumentar la vida útil de estas vías.

De acuerdo con una evaluación de la Red Vial Nacional no pavimentada del 2006, solo un 32% de las carreteras de lastre se encuentra en buenas condiciones, un 66% está en estado regular y un 2% en mal estado.

En la *Guía* se toma en cuenta el efecto que tiene el clima en estas vías, se recomienda el aditivo estabilizador para un mejor desempeño de la calle y se reduce el mantenimiento, lo que a mediano plazo es económicamente más favorable para el país.

El Ing. Elizondo dijo que esta herramienta ofrece un procedimiento para la selección del aditivo estabilizador óptimo según el tipo de superficie, los métodos de diseño y ensayos requeridos para evaluar el desempeño, los equipos necesarios para la construcción de estas carreteras y la disponibilidad de estabilizadores en el país.

Añadió que durante el presente año se evaluarán las diferentes alternativas a escala en los laboratorios, para analizar las posibilidades de construcción y posteriormente se realizarán tramos de prueba en coordinación con el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) y el Consejo Nacional de Vialidad (Conavi) y se valorarán los costos de las diferentes opciones.



En Costa Rica, solo un 32% de las carreteras de lastre se encuentra en buenas condiciones.

Investigación sobre carreteras

Además de la *Guía* para carreteras no pavimentadas, el Lanamme-UCR trabajó en el 2008 en seis proyectos de investigación aplicada, cuyos resultados fueron dados a conocer en un foro al Ministerio de Obras Públicas y Transportes, al Consejo Nacional de Vialidad, a la Refinadora Costarricense de Petróleo y al sector privado.

Dichos estudios tratan sobre la regularidad superficial de las carreteras, los sellos asfálticos para pavimentos, el uso de mezclas asfálticas frías, la incorporación de aditivos en mezclas asfálticas y el desarrollo de herramientas para la gestión de rutas nacionales pavimentadas.

Estos temas fueron extraídos de los resultados de una encuesta, en la cual los sectores involucrados en la construcción y rehabilitación de las carreteras señalaron 15 aspectos sobre los que se debía profundizar para la toma de decisiones y la aplicación práctica.

Cada una de las investigaciones efectuadas por especialistas del Programa de Investigación en Ingeniería de Transportes (PITRA) del Lanamme contiene un capítulo de conclusiones y recomendaciones, así como los mecanismos de divulgación de los resultados.

Estos documentos están disponibles en el sitio *web* del Lanamme, en la dirección <http://investigacion.lanamme.ucr.ac.cr>

Por ejemplo, se sugiere que para los suelos constituidos por materiales granulares bien calibrados se recomienda el cemento; en el caso de materiales finos se les adiciona cal y para las arenas sedimentadas y materiales granulares se usa una emulsión de asfalto mezclada con agua.

Paso a paso

En cuanto al procedimiento de construcción, los especialistas afirman que la preparación inicial del suelo es fundamental para garantizar la calidad y el buen desempeño de la estabilización, se debe conformar y coronar la superficie, es decir, hacer la inclinación necesaria para que el agua llueva escurra hacia las cunetas. Posteriormente se pulveriza y se humedece el suelo.

Para la construcción del camino de lastre se dispersa y se mezcla el aditivo (cal, cemento o bitumen) con el suelo, se aplica agua, se amalgama de nuevo y se compacta.

El Ing. Elizondo explicó que la cal y el cemento se deben humedecer después de la construcción de la carretera, para que el material estabilizado gane resistencia y la vía tenga una vida útil mayor.

Calidad depende del acabado

De acuerdo con las especificaciones de la *Guía* para la estabilización de carreteras no pavimentadas, una vez compactado el material que se empleó en la mezcla, la superficie debe estar lisa, densa, libre de surcos, crestas y grietas.

En el proceso final de acabado por lo general se aplica agua y se emplea una compactadora de neumáticos para sellar la superficie.

El curado, que es la fase final del proceso, se hace con materiales bituminosos (emulsiones asfálticas) si se trata de suelos estabilizados con cemento. Se sugiere humedecer la superficie antes de aplicar el material y en algunos casos se distribuye más agua después.

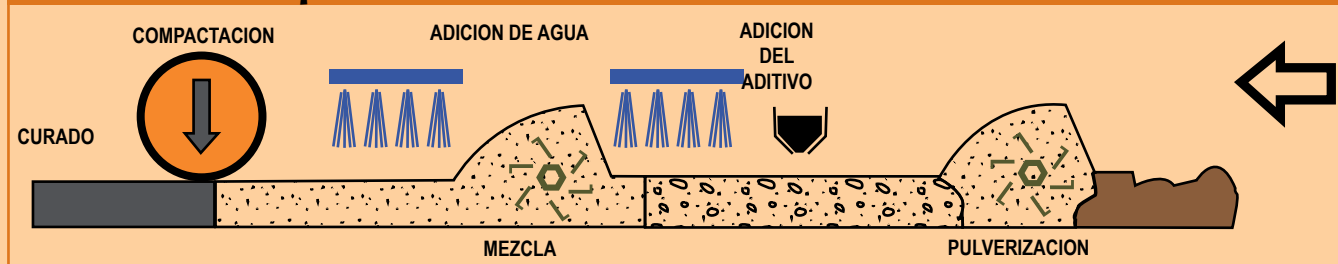
Otros aspectos que se deben considerar en la construcción de caminos de lastre son la posibilidad de que llueva y la humedad propia del suelo.

Los especialistas sugieren que si la lluvia cae durante la colocación del cemento, se debe suspender la tarea y mezclar el cemento que ya ha sido colocado con el suelo.

Por otra parte, en los suelos con humedad excesiva que son difíciles de mezclar y pulverizar, se tiene la experiencia de que el cemento se puede unir con materiales arenosos.

En el caso de suelos arcillosos, "el contenido de humedad debe estar por debajo del óptimo para un mezclado eficiente, de lo contrario será necesario secar los materiales por aireación", establece la *Guía*.

Pasos para la construcción de una carretera de lastre



Fuente Lanamme, infografía Alfredo Alvarado.

El terremoto



Gran cantidad de casas resultaron totalmente destruidas, como esta en Poasito de Alajuela.

Muchos sismos sentidos en Costa Rica y que tienen un área de daños muy localizada se originan por una falla, la cual es una ruptura en la corteza de dimensiones importantes.

En algunas ocasiones, el sismo principal es antecedido por temblores denominados **precursores o premonitores**. La ruptura súbita (temblor principal) causa una zona de inestabilidad que sigue originando sismos **réplicas** hasta que encuentra su punto de equilibrio.

En el caso del terremoto de Cinchona, ocurrido el pasado 8 de enero, se dieron sismos precursores y réplicas. Incluimos un conteo de los eventos de **magnitud mayor o igual a 2,5**, ya que son los percibidos por la población que se encuentra en la vecindad del área epicentral.

Cronología del terremoto

La actividad sísmica se inició el miércoles 7 de enero del 2009 a las 10 a.m. con un evento de magnitud 4,6. Entre esta hora y las 13:21 del jueves 8 de enero ocurrieron 39 sismos. Se tienen registrados un total de 40 sismos precursores de magnitud entre 2,5 y 4,6.

El jueves 8 de enero a las 13:21 hora local, un fuerte sismo (sismo principal) sacudió la región norte del Valle Central de Costa Rica, propiamente unos 40 km al norte de la capital, en las provincias de Heredia y Alajuela, magnitud del momento sísmico (Mw) 6,2, profundidad de 6 km, se estima una intensidad máxima en la escala Mercalli Modificada (MM) de IX en Cinchona e Isla Bonita, que son sitios que corresponden al área mesosísmica, es decir, al área de mayor impacto.

Durante el día 8 hasta la medianoche fueron registradas 62 réplicas con magnitudes entre 2,5 y 4,4.

El 9 de enero se registraron 123 réplicas, el 10 de enero 57 y el 11 de enero 24, todas ellas de magnitud por encima de 2,5 y por debajo de 4. Se observa que la cantidad de réplicas fue disminuyendo con el tiempo.

El 12 y el 13 de enero se da una situación particular aunque normal, la inestabilidad tectónica que causó el terremoto del 8 de enero provoca sismos en otras fallas vecinas, tanto hacia el norte del volcán Poás, como hacia el sur, cerca de Carrizal.

Por lo tanto, los 18 sismos registrados el 12 de enero y los 21 temblores hasta las 9 horas del 13 de enero son una mezcla entre réplicas originadas en la falla Varablanca-Ángel y sismos asociados en otras fallas vecinas, lo cual era de esperar. Se registraron más de 1 550 réplicas.

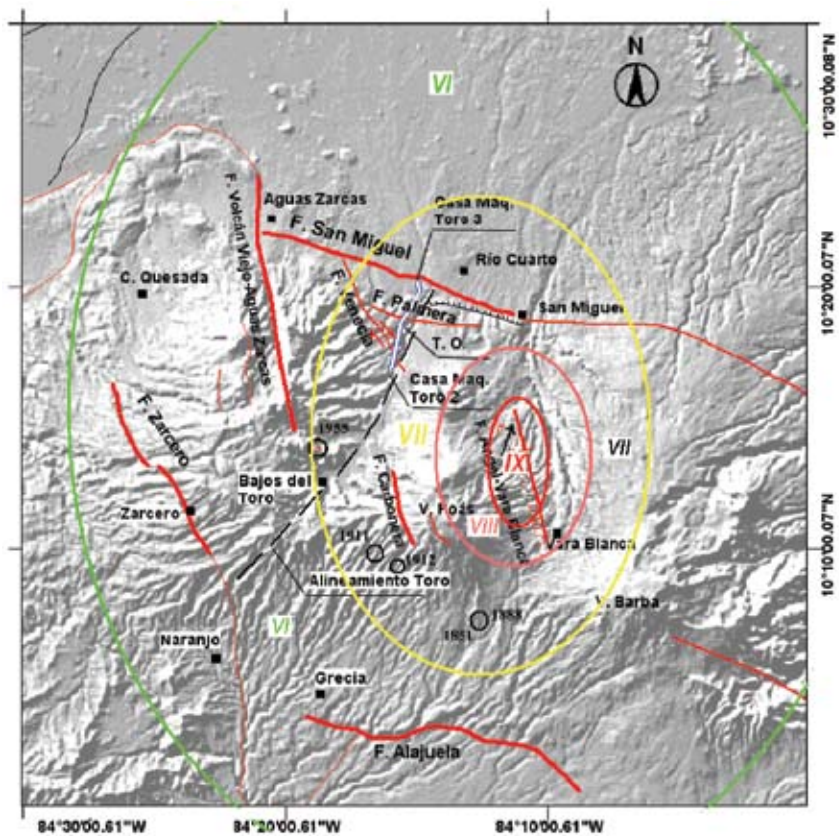
Los daños

El terremoto causó serios daños en el área, principalmente en Cinchona y Varablanca, al norte de Heredia y Alajuela (ver recuadro).

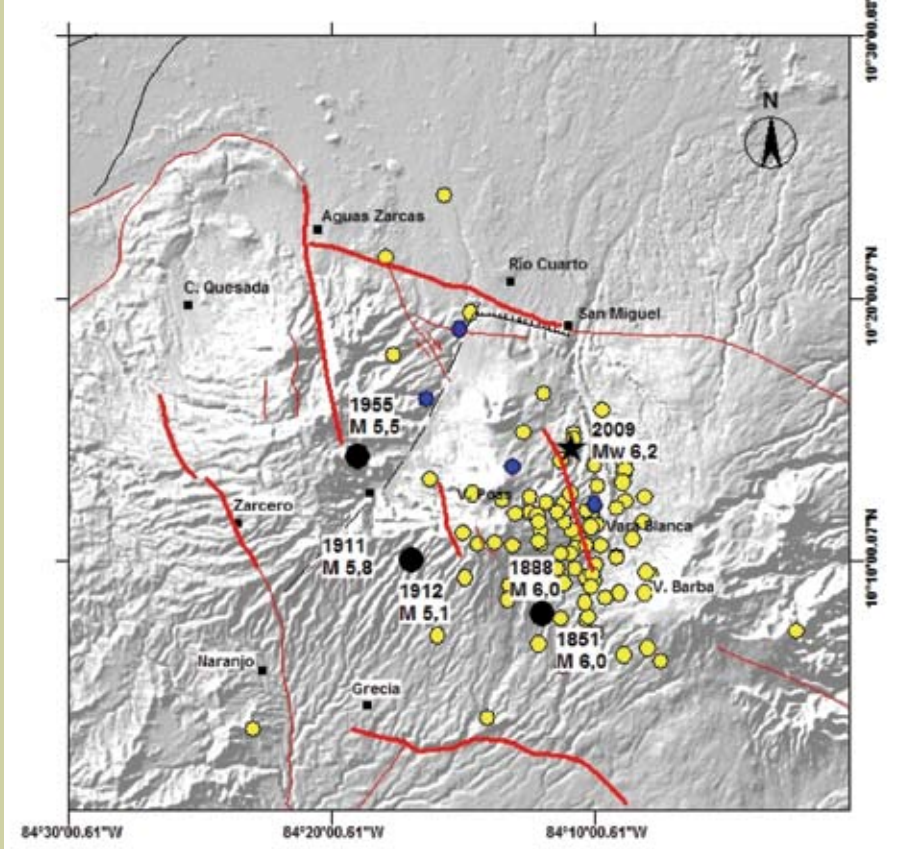
Desde el sismo de Limón no se registraban muertes.

Además, algunas obras del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), ubicadas en el área, como las represas hidroeléctricas de Toro II y Cariblanco, fueron afectadas parcialmente.

El servicio eléctrico presentó serias averías en el área epicentral y en el área metropolitana se interrumpió por una hora. Los servicios telefónicos se saturaron por al menos unas dos horas.



Intensidades de los sismos a nivel local en la escala Mercalli (fuente: Red Sismológica Nacional).



Terremotos históricos, sismo principal del 8-01-09 y réplicas (fuente: Red Sismológica Nacional).

de Cinchona



(Foto: Giovanni Peraldo)

Detalle de la ruptura del segmento de falla en el sector de Montaña Azul.

Central, con concentraciones de eventos principalmente en las cercanías del volcán Poás y en la falla Varablanca. En las llanuras del norte se observa cierta sismicidad, que se extiende en sentido aproximado noreste-suroeste y que podría corresponder con algunas fallas cubiertas por depósitos recientes (aluviones, avalanchas) no descritas todavía.

Cuadro 1

Sismos mayores a 4 en la región de estudio

Año	Mes	Día	Horas- Minutos	Latitud	Longitud	Profundidad	Magnitud
1992	Set.	2	16:09	10,298	-84,222	4,1	4,1
1992	Set.	3	00:31	10,433	-84,409	3,0	4,1
1992	Set.	14	08:31	10,179	-84,158	8,5	4,5
1993	Abr.	26	06:35	10,287	-84,415	0,9	4
1997	Jul.	19	14:25	10,228	-84,432	0,1	4,2
1998	Abr.	8	04:05	10,162	-84,179	5	4,2
2002	Jun.	7	02:32	10,307	-84,248	2,9	4,1
2005	Jun.	17	05:30	10,168	-84,185	1,8	4

Fuente: Red Sismológica Nacional.

Origen

El origen del terremoto fue una falla en el flanco este del volcán Poás, con una longitud de 15 km y un rumbo aproximadamente Nor-noroeste y Sur-sureste.

Su movimiento fue oblicuo en dirección aproximadamente norte-sur, cuya ruptura de acuerdo con la distribución de las múltiples réplicas (más de 1 500) se extiende por unos 12 km horizontalmente y unos 7 km en su inclinación en profundidad, lo que generó un deslizamiento promedio a lo largo del plano de falla de 30 cm de resbalamiento y la evidencia de ruptura en la superficie de unos pocos centímetros de rumbo norte-sur y un movimiento de tipo normal (gravitacional), con un componente lateral izquierdo, lo que provocó que el sector oeste se movió hacia la izquierda.

El principal sistema de fallas que se pueden observar en las fotografías aéreas es en general de mediana longitud (menos de 20 km), a excepción de las fallas San Miguel, Volcán Viejo-Aguas Zarcas y Zarcero, que son de mayor longitud. Todas estas fallas cortan rocas volcánicas con edades inferiores a 600 000 años y en su mayoría tienen edades inferiores a entre 100 000 y 300 000 años, por lo que se consideran como Cuaternarias y potencialmente activas.

Además, este evento reactivó deslizamientos por la vibración sísmica en laderas de fuertes pendientes constituidas por suelos de origen volcánico, saturados e inestables. Estos deslizamientos fueron los causantes de una gran cuota de la destrucción.

Sismicidad histórica

Históricamente, el área ha tenido varios sismos importantes: 1851 (magnitud 6), 1888 (magnitud 6), 1911 (magnitud 6,1), 1912 (magnitud 6,1) y 1955 (magnitud 5,8).

Se han registrado en la zona de Poás y Bajos del Toro varios enjambres sísmicos en su mayoría de corta duración y magnitudes moderadas en 1980, 1982, 1986, 1990, 1997, 1998 y en junio y julio del 2004 y 2005, que demuestran la presencia de fallas activas.



(Foto: Cortesía del ICE)

Los daños en la red vial ocasionados por deslizamientos fueron considerables, como este ocurrido en la carretera a Varablanca.

Las intensidades máximas estimadas para el terremoto del 8 de enero pasado, con base en la información de campo y los daños observados, fueron de IX (MM) alrededor de la población de Cinchona, en donde se estimaron aceleraciones del suelo mayores a 1 g (aceleración de la gravedad).

En Varablanca, Poasito, Cartagos y Cariblanco fueron entre VII y VIII. Cerca de Alajuela y Heredia fueron de VI y en San José de V.

Las intensidades se atenuaron rápidamente dado que el sismo fue superficial, por lo que en provincias como Puntarenas, Limón y Guanacaste fueron de III y II.

Durante el período de 1992-2006, la Red Sismológica Nacional ha registrado en la Zona Norte del país un total de 1 866 sismos, de los cuales 776 son sismos de subducción de la placa del Coco bajo la placa Caribe y 1 090 son sismos superficiales (profundidades menores a 20 km) originados por fallamiento cortical local (cuadro 1).

Del 2004 al 2006, el ICE mantuvo una red sismológica local en la Zona Norte, con la que se localizaron con gran precisión gran cantidad de sismos. La mayor parte de los sismos se ubican en las estribaciones del norte de la cordillera Volcánica

Reducción de riesgos

Es importante recalcar que Costa Rica es un país que se encuentra en una región tectónicamente muy activa, con actividad sísmica importante, ya sea asociada al proceso de subducción de la placa del Coco bajo la placa Caribe y microplaca de Panamá, así como por la interacción entre las placas Coco y Nazca o al fallamiento local.

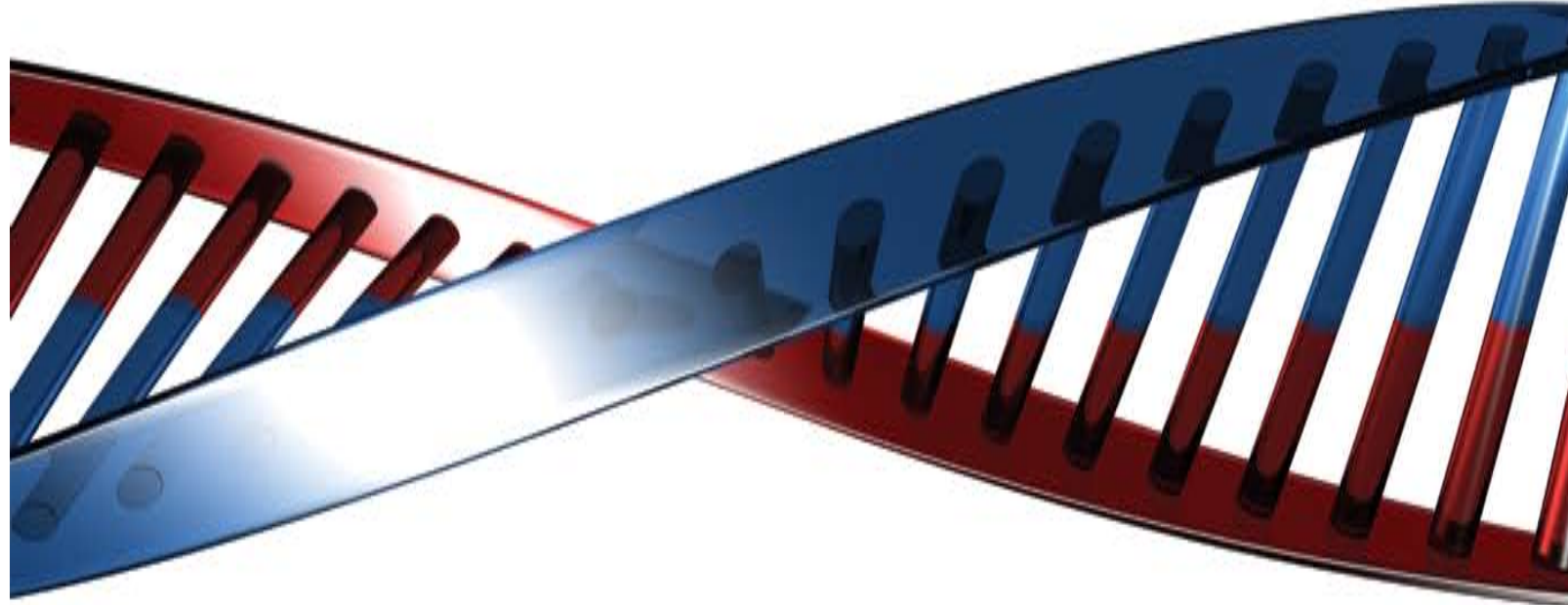
Por esta razón, es imperativo que la población esté siempre preparada y que las construcciones se hagan apegadas a las reglamentaciones del Código Sísmico y el Código de Cimentaciones. Si estas leyes se cumplen adecuadamente se lograrán reducir considerablemente los daños y las muertes que pueden ocasionar futuros terremotos en Costa Rica.

Los daños del terremoto

- 23 muertos.
- 17 desaparecidos.
- 91 heridos.
- 2 326 personas albergadas.
- 25 albergues.
- 63 misiones aéreas de rescate realizadas.
- 249 movilizados y 15 trasladados a centros médicos.
- 1 puente en Los Ángeles, Sarapiquí, arrasado.
- 2 puentes en Poasito dañados.
- 1 puente en Río Cuarto de Grecia caído.
- 1 puente sobre el río Seco, en Bajos del Toro, colapsado.
- Viviendas destruidas en Poasito, Varablanca, Sabana Redonda, Río Cuarto, Cinchona, Infiernillo, Dulce Nombre de Alajuela, Santa Rosa de Poás y Barrio Fátima de Heredia.
- Iglesia de Cinchona destruida.
- Pérdidas estimadas en \$100 millones.

(Fuente: Comisión Nacional de Emergencias)

Pruebas de ADN



Valioso instrumento para la ciencia forense

María Eugenia Fonseca Calvo <maria.fonseccalvo@ucr.ac.cr>

Se emplean en todo tipo de delitos: violaciones, pruebas de paternidad, homicidios, robos, tenencia de drogas, tachonazos de vehículos... y constituyen un instrumento muy apreciado por los Fiscales como prueba de respaldo.

Se trata de las pruebas de ADN, que se han convertido en una de las técnicas más utilizadas en las cortes de justicia, por su altísimo valor en la resolución de casos forenses y la identificación de la persona responsable de un delito.

Según dijo la Dra. Eugenia Fernández Mora, de la Unidad de Genética Forense del Departamento de Ciencias Forenses del Poder Judicial, esta prueba se puede emplear en todo fluido biológico, en especial en semen, sangre, saliva, sudor, hueso, músculo, y hasta en orina y heces. Lo único que se requiere es que la muestra esté bien preservada.

La especialista comentó en la conferencia sobre el tema, ofrecida en la Facultad de Microbiología de la Universidad de Costa Rica, que la obtención del ADN depende de la cantidad y el fluido biológico a analizar, así como de factores externos, como las condiciones ambientales y el tipo de material donde se encuentre la muestra.

No es lo mismo una gota de sangre en una camisa limpia, que la que se encuentra en una piedra o en un piso sucio, pues las condiciones varían mucho.

También va a depender de factores como la humedad, altas temperaturas y las bacterias, porque todas ellas pueden degradarlo.

En ocasiones no se puede obtener ADN de una muestra muy fresca, en tanto que de otras de mayor antigüedad los resultados son más exitosos.

La Dra. Fernández agregó que la manera de extraer el ADN varía dependiendo del tipo de fluido biológico que se analice, para lo cual existen técnicas diferentes. De allí la importancia de realizar análisis preliminares para determinar el tipo de fluido biológico presente en los indicios.

El uso de pruebas de ADN para resolver casos forenses surgió en 1985, con el descubrimiento de regiones hipervariables del ADN por parte del inglés Alec Jeffreys, quien estableció que la molécula de ADN tiene regiones que varían mucho entre individuos. En 1986, las pruebas de ADN ya eran admitidas en procesos penales en Inglaterra y Estados Unidos.

La introducción de la técnica PCR (Reacción en Cadena de la Polimerasa) en el análisis de ADN para uso forense aumentó la sensibilidad de la prueba y la convirtió en una de las técnicas más importantes para la resolución de casos.

¿Qué se analiza?

La microbióloga Fernández aseguró que en algunas partes de la región no codificante del ADN (la parte del ADN que no contiene la información para sintetizar proteínas) se encuentran grupos de bases que se repiten varias veces. El número de repeticiones que se presentan en un segmento determinado de ADN varía mucho entre los individuos. Así, si se estudian muchos de estos segmentos en una molécula de ADN se puede obtener un "perfil genético" que caracteriza a un individuo. En el campo forense se denominan "marcadores" a cada uno de estos segmentos analizados.



La Dra. Eugenia Fernández en la Cámara de flujo laminar la cual se utiliza para asegurar que no haya contaminación en las muestras.

Estos marcadores han sido motivo de mucha investigación por parte de las personas que laboran en las ciencias forenses, expresó la especialista. En un principio se examinaban segmentos donde el número de los pares de bases repetidos era entre 10 y 100, pero luego fueron sustituidos por el estudio de segmentos con repeticiones de 2 a 10 pares de bases, con lo cual se facilitó la sistematización del análisis.

En 1997, la Oficina Federal de Investigación (FBI, por sus siglas en inglés), de Estados Unidos, anunció la creación de

una base de datos de perfiles genéticos (CODIS) y para esto se escogieron 13 de dichos marcadores, por ser de los más aptos para este tipo de análisis y presentar mayores posibilidades de automatización.

Posteriormente, algunas casas comerciales dedicadas a la genética forense comenzaron a desarrollar paquetes, que incluían esos 13 marcadores, lo que facilitó la realización de dichos exámenes, pues para la identificación forense se requieren resultados rápidos y que la muestra sea manipulada lo menos posible.

En Costa Rica normalmente se seleccionan 15 marcadores (entre ellos los 13 marcadores del CODIS), pero dependiendo de la complejidad del análisis se pueden estudiar hasta 44 marcadores.

¿Cómo se hace?

La Dra. Fernández manifestó que la extracción de ADN es una de las labores más importantes en el campo forense, porque de esto va a depender el éxito del análisis.

Una vez extraído el ADN de la muestra o indicio, se estudian los marcadores para obtener un perfil genético y este se compara con el perfil obtenido de las partes (víctima, persona imputada, etc.).

Luego se cuantifica para saber qué se puede esperar de una muestra. Para ello se emplea la técnica de PCR en tiempo real, que permite saber no solo la cantidad de ADN que tiene la muestra, sino también la presencia de los inhibidores o sustancias que afectan de manera negativa el análisis.

Dependiendo de la cantidad y calidad del ADN extraído, se examinan los marcadores mencionados o se realizan análisis más complejos, como es el del ADN mitocondrial o del Cromosoma Y.

Completado este proceso, las muestras se colocan en un aparato denominado analizador genético, que separa los diferentes marcadores de acuerdo con su tamaño y así se logra definir el número de repeticiones que presentan.

Si el perfil genético obtenido coincide con el de alguna de las partes, se aplica un programa estadístico para saber la probabilidad de que ese perfil provenga de determinada persona. Para esta tarea el Laboratorio de Genética Forense se apoya en un estudio poblacional de Costa Rica efectuado para tal fin.

El tiempo que toma realizar este análisis es de dos a cuatro meses, ya que esta unidad del Poder Judicial no solo hace pruebas de ADN para resolver casos forenses, sino que también realiza otras para la determinación de la paternidad.

Crisol Febrero 2009, N° 221. Publicación mensual de la Oficina de Divulgación e Información (ODI) de la Universidad de Costa Rica. Editora: Patricia Blanco Picado.

Colaboraron en este número: Elizabeth Rojas Arias y María Eugenia Fonseca Calvo, Periodistas de la ODI.

Especialistas de la Red Sismológica Nacional de la Universidad de Costa Rica y el Instituto Costarricense de Electricidad.

Fotografía: José Salazar y Mónica Bolaños. Edición fotográfica: José Salazar Ferrer. Diseño y Diagramación: Thelma J. Carrera Castro.

E-mail: patricia.blancopicado@ucr.ac.cr

Sitio Web: <http://www.odi.ucr.ac.cr>

Teléfono: 2511-4796

Fax: 2511-5152