

EL DATUM GEODÉSICO DE OCOTEPEQUE Y EL DATUM SATELITARIO DEL SISTEMA WGS84

Esteban Dörries y Julio Roberto Roldán Rodríguez
Escuela de Topografía, Catastro y Geodesia, Universidad Nacional
edörries@una.ac.cr; jroldan@una.ac.cr

RESUMEN

En Costa Rica están en uso actualmente dos sistemas de coordenadas. El sistema de coordenadas Lambert del Instituto Geográfico Nacional (IGN), definido a partir del datum de Ocotepaque y el sistema CRTM del Catastro Nacional, definido a partir del datum del sistema satelitario GPS.

Para establecer las bases científicas y técnicas adecuadas para realizar recomendaciones que permitan fijar normas conducentes a la unificación de los sistemas de referencia y a la eliminación de las ambigüedades, se ejecutó un proyecto de investigación en la Escuela de Topografía, Catastro y Geodesia (ETCG), de la Universidad Nacional, titulado "Estudio Comparativo del Datum Geodésico de Ocotepaque y el Datum Satelitario del Sistema WGS84". Este proyecto tuvo como objetivo general efectuar un estudio comparativo de la Red Geodésica Nacional utilizada por el IGN, formada por cadenas de triangulación, es base de la cartografía oficial y está orientada en relación con el datum geodésico de Ocotepaque, y una red obtenida por mediciones GPS constituida por las del Catastro Nacional y de la Universidad Nacional como redes parciales, formada por figuras y orientada en el datum satelitario WGS84.

PALABRAS CLAVES: datum geodésico, sistemas de coordenadas, Sistema de Posicionamiento Global, ajuste de redes geodésicas, transformación de datum.

ABSTRACT

At present, in Costa Rica two coordinate systems are in use. The Lambert coordinate system by the National Geographic Institute, defined within the Ocotepaque's datum, and the CRTM by the National Cadastre, defined from the GPS satellite datum.

In order to establish the scientific basis and proper techniques to produce recommendations that allow to establish norms aiming at the unification of the reference systems and ambiguities, a research project was executed by the School of Land surveying, Cadastre and Geodesia of the Universidad Nacional called "Comparative Study of the Ocotepaque Geodetic Datum and the WGS84 System Satellite Datum". The general objective of the project was to perform a comparative study of the National Geodetic Network used by the National Geographic Institute, formed by triangulated chains, base of the national and official cartography, and oriented in relation to the Ocotepaque's geodetic datum, and a network obtained by GPS measurements by the National Cadastre and the Universidad Nacional as partial networks, formed by figures and oriented within the WGS84 satellite datum.

KEYWORDS: geodetic datum, coordinate systems, Global Positioning System, network adjustment, datum transformation.

INTRODUCCIÓN

La Red Geodésica Nacional de Costa Rica se gestó como sustento para la cartografía del mapa básico 1:50000, y fue concebida y medida en los años cuarenta y cincuenta como red de cadenas de triangulación de primer y segundo orden. Las cadenas fundamentales, como se muestra en la figura 1, se extienden a lo largo de las costas oceánicas, atraviesan el valle central y dejan grandes zonas sin cubrir. Fue calculada y ajustada por partes sobre el elipsoide Clarke 1866 con el datum provisional situado en Ocotepeque, Honduras, mejorado posteriormente mediante traslado del datum norteamericano NAD27.

Mediciones efectuadas por la ETCG en la década de los ochenta, utilizando distanciómetros electromagnéticos, permitieron detectar la existencia de tensiones y variaciones de escala de importancia.

Debido a estos antecedentes, cuando a fines de los ochenta comenzó a gestarse el Proyecto de Mejoramiento de Catastro Multifinanciado, la ETCG, a través de sus representantes en la Comisión Asesora del Catastro Nacional, recomendó la creación de un sistema de referencia, basado en una red medida con la novedosa tecnología GPS y de modo que cubriera todo el país.

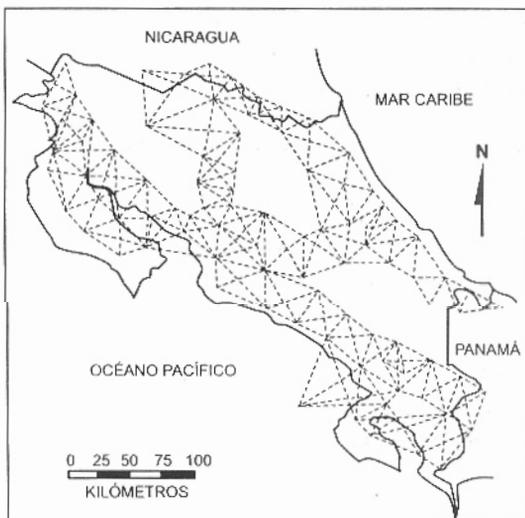


Figura 1. Red Geodésica Nacional del IGN.

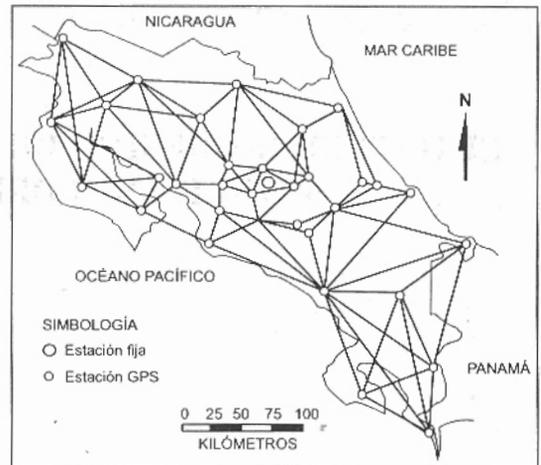


Figura 2. Red GPS del Catastro Nacional.

Esta red fue medida y calculada por una empresa holandesa en el año 1990 y consta de 34 puntos, de los cuales casi todos coinciden con puntos de la red de triangulación clásica.

La Red Geodésica Nacional del IGN sustenta la cartografía oficial, que se encuentra en un sistema de proyección cartográfico cónico secante conforme Lambert, pero aplicado en dos zonas conocidas como Costa Rica Norte y Costa Rica Sur. La aplicación cartográfica de la Red Geodésica del Catastro Nacional se diseñó con base en una proyección cilíndrica transversa conforme Mercator, básicamente el sistema denominado UTM, pero con variantes que la adecuan a la ubicación geográfica del país y al datum geodésico WGS84 que se utiliza como referencia. A esta proyección se le llamó CRTM por Costa Rica Transversa Mercator.

Otras campañas de medición GPS, que comprenden también puntos de la Red Geodésica Nacional del IGN, fueron realizadas por la ETCG y otras instituciones, para estudios tectónicos o para vuelos fotogramétricos. Cuando se gestó el sistema CRTM del Catastro Nacional se asumió que la aplicación simultánea de dos sistemas de referencia y dos sistemas de proyección cartográfica diferentes era inevitable pero temporal, pasando paulatinamente toda la información a un sistema con un datum moderno y una orientación conocida. Sin embargo, la situación de dualidad se mantiene y aunque las relaciones entre ambos sistemas están

dadas por funciones de transformación generadas en el marco del mismo proyecto, la realidad práctica demuestra la falta de un conocimiento profundo de la problemática por parte de los usuarios y también la ausencia de normas claras de aplicación.

Estudios comparativos preliminares realizados entre 1994 y 1996 demostraron que entre el datum trasladado a Costa Rica desde Ocotepeque y el datum WGS84 existe una discrepancia aproximada en posición horizontal de 260 m y que en la parte altimétrica hay una diferencia sistemática de unos 10 m.

Toda determinación topográfico-geodésica hecha dentro de un sistema dará como resultado una estructura geométrica con una exactitud interna acorde con la metodología empleada. Si la ubicación de los puntos únicamente debe ser definida en forma relativa, el problema citado en el párrafo anterior no se presenta. Si por el contrario se requiere de un posicionamiento absoluto o se pasa de un sistema al otro, pueden llegar a darse discrepancias del orden indicado. Las situaciones que pueden presentarse al combinar ambos datum en un problema práctico se ilustran en las figuras 3 y 4.

Hay casos en los cuales estos errores en posición o en altura pueden tener repercusiones que afecten seriamente elementos de orden económico y jurídico en el ámbito nacional e internacional, inclusive vidas humanas, como en el caso del señalamiento de puntos a utilizar como balizas en aeropuertos.

En el Aeropuerto Tobías Bolaños se efectuó un experimento que consistió en determinar la posición

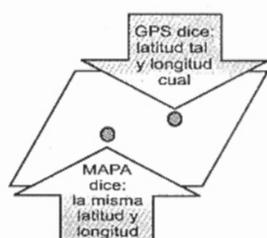


Figura 3. Puntos diferentes con coordenadas idénticas.

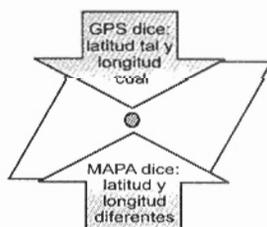


Figura 4. Un mismo punto con coordenadas diferentes.



Figura 5. Posicionamiento en el Aeropuerto Tobías Bolaños.

de una avioneta provista de un receptor GPS, ubicada cerca de la torre de control en la posición indicada por la palabra avioneta, como se muestra en la figura 5.

La posición promedio obtenida por GPS y trasladada al mapa escala 1:10000 del IGN cae en el punto B, es decir, totalmente alejada de la posición real de la nave. Para obtener las coordenadas de mapa del punto donde se estacionó la avioneta, ésta tendría que ubicarse en el punto A, o sea, sobre el cañón del río Torres. Un piloto que quisiera aterrizar a ciegas en la pista principal navegando con equipo GPS y basado en la cartografía oficial, seguiría la ruta señalada con la línea de trazos.

El proyecto "Estudio Comparativo del Datum Geodésico de Ocotepeque y el Datum Satelitario del Sistema WGS84" tuvo como objetivo general efectuar un estudio comparativo de la Red Geodésica Nacional utilizada por el IGN, formada por cadenas de triangulación, es base de la cartografía oficial y está orientada en relación con el datum geodésico de Ocotepeque, y una red obtenida por mediciones GPS constituida por las del Catastro Nacional y de la Universidad Nacional como redes parciales, formada por figuras y orientada en el datum satelitario WGS84. Los productos del estudio permitieron establecer las bases científicas y técnicas adecuadas para realizar la unificación de

los sistemas de referencia y para eliminar las ambigüedades en la georreferenciación.

METODOLOGÍA

Para el desarrollo se consideraron como insumos, las coordenadas oficiales de la Red Geodésica Nacional del IGN, las coordenadas de la Red Geodésica del Catastro Nacional y los datos originales de las redes GPS CorBas93 de la ETCG y de la Comisión Terra. La estrategia metodológica se resume en los siguientes puntos fundamentales.

La generación de bases de datos originales y de vectores espaciales se hizo en una computadora personal utilizando el programa suministrado por el fabricante del equipo GPS, con la salvedad de que en la selección de vectores específicos para cada configuración se dio prioridad absoluta al criterio de los investigadores frente al automatismo del sistema.

Los vectores definidos y escogidos para cada una de las campañas se descomposieron en una parte horizontal, dada por acimut y distancia horizontal, y una vertical como diferencia de altura elipsoídica. Estos datos quedan complementados por las posiciones absolutas en el sistema geocéntrico de coordenadas.

Los datos se procesaron mediante el programa de ajuste de redes geodésicas ARGEDOGO, contemplando la parte planimétrica en el sistema cartográfico de proyección CRTM y la altimétrica en relación con un plano hipotético de referencia. Este tipo de proceso se efectuó por separado por cada una de las campañas, en forma comparativa y en definitiva en forma global. Los resultados finales se transformaron mediante las ecuaciones de proyección cartográfica correspondientes sobre el elipsoide asociado al sistema WGS84.

A las cotas contenidas en la base de datos correspondiente a la Red Geodésica Nacional se aplicaron correcciones por la ondulación del geoides según el modelo Carib97 para obtener alturas elipsoídicas referidas al elipsoide Clarke 1866.

Las diferentes redes GPS en Costa Rica se integraron en una sola y mediante un ajuste se determinaron las coordenadas ajustadas utilizando

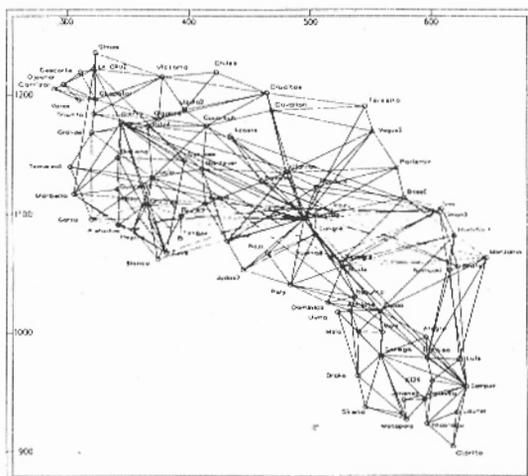


Figura 6. Red GPS de Costa Rica.

como datum provisional los puntos del CRTM del Catastro Nacional, que se denominó CR90. Paralelamente se realizó el ajuste altimétrico considerando como datum los puntos cuya cota está oficializada por el IGN.

El datum CR90 se revisó y actualizó mediante un enlace a la red de estaciones de observación permanente CORS, para lo cual se realizaron largas sesiones GPS en tres estaciones en territorio costarricense. Mediante este enlace se determinaron las coordenadas de las tres estaciones en el marco de referencia internacional de 1994 (ITRF94), reducido a la época de la medición que fue 1998. En un nuevo ajuste con amarre a estas tres estaciones se determinaron las coordenadas ajustadas de los puntos de la red nacional GPS. A este nuevo sistema de referencia se le denominó CR98.

Partiendo de los datos elipsoídicos latitud, longitud y altura, se calcularon las coordenadas cartesianas tridimensionales en un sistema con centro en el elipsoide considerado y con ejes en direcciones convencionales, aplicando fórmulas clásicas de la geodesia matemática. Este proceso se aplicó tanto a las coordenadas GPS referidas al elipsoide WGS84 como a las coordenadas del IGN referidas al elipsoide Clarke 1866.

Mediante un proceso de ajuste geodésico, que considera las coordenadas de los puntos idénticos en cada uno de los sistemas, se determinaron

las tres traslaciones, los tres giros y el factor de escala de una transformación semejante espacial. La transformación para pasar de un sistema al otro comprendió varios procesos de cálculo, que en su orden consistieron en convertir las coordenadas planimétricas de la proyección y las cotas en coordenadas elipsóidicas cuando correspondiera, a partir de éstas se calcularon las coordenadas en el sistema tridimensional, se aplicó la transformación de Helmert espacial para obtener las coordenadas tridimensionales en el nuevo sistema, a partir de éstas se calcularon las coordenadas elipsóidicas del otro sistema y finalmente con éstas se calcularon por proyección cartográfica las coordenadas planimétricas. Las cotas se obtuvieron aplicando el modelo de la ondulación del geoides Carib97.

RESULTADOS

La elaboración de las distintas redes GPS en Costa Rica y la combinación de ellas dio como resultado la red que se muestra en la figura 7. Esta red fue sometida a un proceso de depuración de observaciones, debido a la falta de identidad de algunos puntos contemplados en las redes medidas en diferentes épocas. Este hecho se pudo comprobar por medio de la comparación de los diferentes ajustes individuales de las redes y por los antecedentes documentados sobre la reconstrucción de algunos hitos. El desplazamiento de hasta 1,6 m detectado en algunos puntos por efectos del terremoto del Valle de la Estrella, ocurrido en abril de 1991, también afectó la identidad de algunos puntos. Este parámetro de desplazamiento se pudo determinar por comparación de los resultados de los ajustes individuales de las redes, ya que las redes CorBas90 y CorBas91 fueron medidas en 1990 y 1991, antes del terremoto, y las redes CorBas93 y TERRA en 1993 y 1997, respectivamente, después del terremoto. Considerando el desplazamiento evidenciado por algunos puntos y que las redes CorBas93 y TERRA se determinaron con una mayor exactitud que las demás redes, se decidió establecer como red GPS definitiva la combinación de las redes CorBas93 y TERRA, debidamente ajustadas en forma conjunta.

En este ajuste se determinaron las coordenadas ajustadas con desviaciones estándar entre ± 7 mm y ± 20 mm, mejores que las obtenidas en las



Figura 7. Estaciones CORS de amarre.

redes CorBas90 y CorBas91, donde las desviaciones estándar de coordenadas ajustadas tienen valores entre ± 25 mm y ± 170 mm.

Para el amarre al ITRF se utilizaron las estaciones CORS mdo1, rcm6, cro1, gala, bogt y areq que se muestran en la figura 7, mientras que en Costa Rica las estaciones de vínculo con la red GPS nacional fueron CATA (ubicada en la azotea del edificio del Registro Nacional), ETCG (ubicada en la azotea del edificio de la Escuela de Topografía, Catastro y Geodesia) y CRUZ (ubicada en La Cruz de Guanacaste). Estas estaciones con las CORS conforman la red de vínculo mostrada en la figura 8.

Las coordenadas ajustadas de ETCG, CATA y CRUZ, producto de la elaboración de la red de enlace, se muestran en los dos cuadros siguientes.

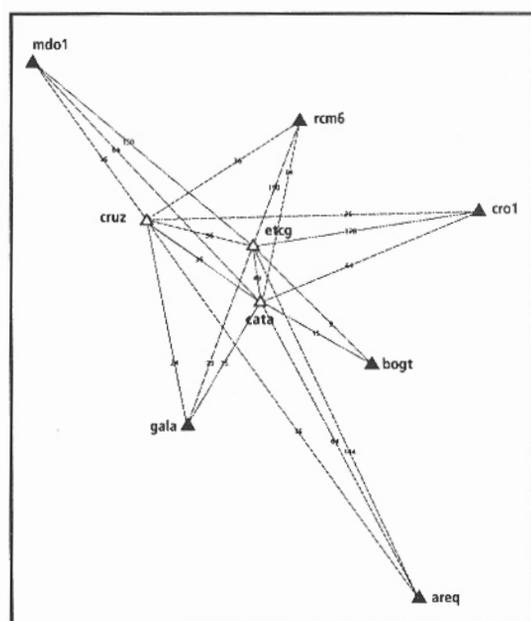


Figura 8. Red de enlace al ITRF.

PTO.	LATITUD LONGITUD h[m]	σ_N [mm]	σ_h [mm]
ETCG	09° 59' 58,13467"	± 7,3	± 18,5
	- 84° 06' 21,23118"		
	1193,745		
CATA	09° 55' 10,47051"	± 9,6	± 26,1
	- 84° 02' 56,31831"		
	1207,598		
CRUZ	11° 03' 15,36796"	± 13,3	± 38,3
	- 85° 38' 01,18664"		
	267,283		

PTO.	ESTE CRTM [m]	NORTE CRTM [m]
ETCG	488394,080	1105357,065
CATA	494630,992	1096520,852
CRUZ	321542,552	1222467,891

La red GPS se volvió a ajustar amarrando a las coordenadas ITRF de las estaciones CATA, ETCG y CRUZ. Con este proceso se llegó, finalmente, a una red geodésica ubicada y orientada

según el datum WGS84 con el ITRF94 reducido a la época 1998, y como se dijo antes, se denominó sistema CR98, más moderno y exacto que el sistema CR90.

Las coordenadas de los puntos idénticos en el sistema CR98 se transformaron a coordenadas tridimensionales X, Y, Z. El mismo cálculo se realizó pero a partir de las coordenadas en el sistema Ocoatepeque. De esta manera se tuvieron los dos conjuntos de datos para realizar un ajuste tridimensional, cuyos resultados fueron los siete parámetros de transformación para pasar del sistema Ocoatepeque al WGS84 y viceversa. Los dos conjuntos de datos se encuentran en los cuadros al final de esta publicación.

El modelo matemático utilizado para la transformación fue el modelo baricéntrico de la transformación espacial de Helmert, expresado por la siguiente función matricial:

$$\mathbf{X}_w = \mathbf{X}_c + (1+m) (\mathbf{X}_c - \mathbf{X}_0) + \mathbf{R} (\mathbf{X}_c - \mathbf{X}_0) + \mathbf{X}_T$$

Donde \mathbf{X} es un vector de coordenadas tridimensionales X, Y, Z, \mathbf{R} la matriz de rotación, \mathbf{X}_T vector con las componentes de la traslación y m el factor de escala. \mathbf{X}_0 es el vector de coordenadas reducidas al centro de gravedad y los subíndices w y c son relativos a los elipsoides de los sistemas nuevo y viejo.

El ajuste tridimensional dio como resultado los datos numéricos de los parámetros de transformación que se muestran en el próximo cuadro. Los parámetros están con los signos para pasar del sistema WGS84 al Clarke 1866. Las traslaciones están en metros, el factor de escala en partes por millón y las rotaciones en radianes.

Parámetro	\bar{x}	s_x
Traslación en X	-213.116*	0.428
Traslación en Y	-9.358	0.428
Traslación en Z	74.946	0.428
Factor de escala	5.22E-06	3.4E-06
	-1.14E-05	7.8E-06
Rotaciones	2.98E-07	3.4E-06
	-3.10E-05	5.4E-06

Para una transformación entre coordenadas cartográficas se realizó un ajuste con los datos de los puntos idénticos aplicando un polinomio de cuarto grado. Las formas de estos polinomios son las que se dan a continuación, para pasar de coordenadas Lambert, relativas al datum de Ocotepeque, a coordenadas CRTM con el datum CR98 y viceversa.

$$N_L = a_{00} + a_{10} e + a_{01} n + a_{11} e n + a_{20} e^2 + a_{02} n^2 + a_{12} e n^2 + a_{21} e^2 n + a_{30} e^3 + a_{03} n^3 + a_{13} e n^3 + a_{31} e^3 n + a_{22} e^2 n^2 + a_{40} e^4 + a_{04} n^4$$

$$E_L = b_{00} + b_{10} e + b_{01} n + b_{11} e n + b_{20} e^2 + b_{02} n^2 + b_{12} e n^2 + b_{21} e^2 n + b_{30} e^3 + b_{03} n^3 + b_{13} e n^3 + b_{31} e^3 n + b_{22} e^2 n^2 + b_{40} e^4 + b_{04} n^4$$

$$N_{TM} = c_{00} + c_{10} e + c_{01} n + c_{11} e n + c_{20} e^2 + c_{02} n^2 + c_{12} e n^2 + c_{21} e^2 n + c_{30} e^3 + c_{03} n^3 + c_{13} e n^3 + c_{31} e^3 n + c_{22} e^2 n^2 + c_{40} e^4 + c_{04} n^4$$

$$E_{TM} = d_{00} + d_{10} e + d_{01} n + d_{11} e n + d_{20} e^2 + d_{02} n^2 + d_{12} e n^2 + d_{21} e^2 n + d_{30} e^3 + d_{03} n^3 + d_{13} e n^3 + d_{31} e^3 n + d_{22} e^2 n^2 + d_{40} e^4 + d_{04} n^4$$

Con e , n , obtenidos después de restarles los respectivos falsos este y norte y multiplicarlos por 10-6. Los valores de los coeficientes están en los dos siguientes cuadros.

a00 = 1156866.6792	b00 = 463733.449
a10 = -1057.7995	b10 = 999635.3145
a01 = 999637.3055	b01 = 1052.2894
a20 = 95.1684	b20 = -553.7388
a11 = -706.3682	b11 = -110.9243
a02 = 182.8052	b02 = 464.4357
a30 = -106.1668	b30 = 4392.0115
a21 = 12236.5168	b21 = 485.9228
a12 = 1874.8067	b12 = -13829.9804
a03 = -1633.5398	b03 = -574.8766
a40 = -1228.7206	b40 = 5086.333
a31 = -4706.9038	b31 = 2352.5044
a22 = -1690.5126	b22 = -27142.9798
a13 = -12389.7288	b13 = -20423.3684
a04 = -212.5496	b04 = 10176.4012

c00 = 271820.5218	d00 = 500000
c10 = 1058.5773	d10 = 1000363.7026
c01 = 1000361.7079	dd1 = -1053.0533
c20 = -93.8863	d20 = 554.5252
c11 = 707.2328	d11 = 107.8241
a02 = -184.3702	d02 = -464.9515
c30 = 87.6268	d30 = -4397.2011
c21 = -12256.0583	d21 = -430.4679
c12 = -1834.8692	d12 = 13839.8899
c03 = 1635.8898	d03 = 555.8603
c40 = 1226.2455	d40 = -5104.4243
c31 = 4642.7259	d31 = -2273.9813
c22 = 1704.0179	d22 = 27254.8216
c13 = 12452.6915	d13 = 20266.5443
c04 = 214.1129	d04 = -10213.2062

DISCUSIÓN

Antes de comparar los datum Ocotepeque y WGS84 fue necesario realizar una depuración de observaciones y puntos de las distintas redes GPS medidas en Costa Rica, debido a que fueron realizadas en diferentes épocas dentro del período comprendido entre 1991 y 1997. Por comparación de resultados de ajustes individuales de las redes GPS se pudo determinar que había algunos puntos de la red que no mantuvieron su identidad en las diferentes épocas. Las razones fundamentales fueron dos, por un lado, hubo puntos que por haberse reconstruido no mantuvieron su posición original. Por otro lado, hubo puntos cuyas posiciones originales cambiaron, debido a desplazamientos de la corteza terrestre por efectos del terremoto del Valle de la Estrella ocurrido en abril de 1991.

Tomando en cuenta el efecto del terremoto y que en las redes CorBas93 y TERRA las exactitudes en coordenadas y observaciones son muy semejantes y mejores que las obtenidas en los ajustes de las redes CorBas90 y CorBas91, se decidió que la red GPS definitiva en Costa Rica sería la que resulta de la combinación de ambas, ajustada y amarrada al sistema mundial de coordenadas ITRF94, reducido a la época de la medición del enlace al sistema mundial que fue 1998. Por

utilizarse el sistema de proyección transversa de Mercator con meridiano central de -84° proyectado con el factor 0,9996 y con el paralelo origen en el Ecuador, a este sistema se le denominó CR98.

En la definición del nuevo sistema CR98 se descartó también la posibilidad de aprovechar las coordenadas del sistema CR90, ya que al comparlas con las obtenidas a partir del CR98 se demostró que en los puntos idénticos las coordenadas en CR90 variaron en forma constante en magnitudes aproximadas de $-6,8$ m y $-3,0$ m. Esto da un desplazamiento de aproximadamente 7,43 m entre los sistemas CR90 y CR98.

La correcta aplicación de los siete parámetros de transformación, para trasladar una posición obtenida con medición en el GPS con el datum CR98 a una posición en el sistema Lambert con el datum Ocoatepeque, evita el error de posicionamiento de 260 m señalado anteriormente. Las traslaciones en X, Y y Z son significativas a pesar de que la desviación estándar de cada parámetro es de $\pm 0,43$ m, que puede considerarse bastante alta.

Las rotaciones alrededor de los ejes X, Y y Z son pequeñas, $-2,35''$, $+0,06''$ y $-6,39''$, respectivamente, de las cuales la rotación alrededor del eje Y no es significativa por tener una desviación estándar de $\pm 0,7''$.

La desviación estándar de las traslaciones relativamente elevada no puede atribuirse a la nueva medición, ya que se demostró que los errores en la red CR98 alcanzan valores milimétricos, es más bien un reflejo de los errores en la red original del IGN. Ajustes de las mediciones originales de la red de triangulación del IGN, efectuados por sectores, dan en promedio desviaciones estándar de $\pm 0,30$ m en las coordenadas ajustadas.

Por lo anterior, se advierte que en un proceso de transformación entre los datum WGS84 y Ocoatepeque, se arrastran los errores de la red original, pese a que en la determinación de los parámetros de transformación interviene la red de alta calidad CR98. Por eso, si se mide directamente dentro del sistema CR98, las exactitudes del posicionamiento en relación con el sistema pueden mantenerse en el orden milimétrico.

La transformación con las funciones polinómicas ofrece una alternativa sencilla de aplica-

ción, ya que la transformación se realiza entre planos cartográficos. Las coordenadas Lambert de un punto se transforman a coordenadas CRTM y viceversa en forma directa, sin que se tengan que realizar cálculos en los elipsoides Clarke 1866 y WGS84.

Con los parámetros y coeficientes de transformación que resultaron de la investigación, los errores en coordenadas transformadas se mantienen en el orden de un metro y mejor, atribuible a los errores en las redes medidas, fundamentalmente en la de triangulación, en la cual los errores pueden ser hasta 100 veces mayores que en la red CR98.

No obstante, estos resultados resuelven de momento el problema de la georreferenciación cuando se combinan los dos sistemas cartográficos en uso actualmente en Costa Rica. Se espera que el uso dual de la cartografía sea temporal y que se llegue a implementar el CRTM como único sistema cartográfico con el datum CR98.

BIBLIOGRAFÍA

- Barrantes, M. 1975. *El Instituto Geográfico Nacional, breve reseña histórica*. IGN. Costa Rica.
- Dörries, E. y J. Roldán. 1999. *Estudio comparativo del datum geodésico de Ocoatepeque y el datum satelitario del sistema WGS84*. Informe final de proyecto de investigación. Universidad Nacional. Costa Rica.
- Dörries, E., J. Roldán y A. González. 1993. *Manual de Agrimensura para los Usuarios del Catastro Nacional*. Registro Nacional. Costa Rica.
- Grossmann, W. 1976. *Geodätische Rechnungen und Abbildungen*. Honrad Wittver. Stuttgart.
- Hake, G. 1976. *Kartographie I*. Walter de Gruyter. Berlín-New York.
- Hake, G. 1982. *Kartographie II*. Walter de Gruyter. Berlín-New York.
- Núñez, A. y otros. 1992. *GPS: La nueva era de la topografía*. Ediciones de las Ciencias Sociales S.A. Madrid.
- Proyección Lambert para Costa Rica*. Inter. American Geodetic Survey.
- Sánchez, M. 1951. *Cuadrícula Universal Transversa de Mercator*. Traducción al español del *Manual Técnico N° 19* del Army Map Service de los Estados Unidos de América.

COORDENADAS TRIDIMENSIONALES DE LOS PUNTOS IDÉNTICOS

PUNTO	X	Y	Z
ACOSTA	589713.748	-6243544.638	1160076.479
BALLENA	497704.667	-6254700.653	1142082.177
BASE ESTE	733158.719	-6237450.730	1108738.479
BASE NORTE	570040.178	-6255330.792	1103946.702
BRUJO	548829.113	-6260755.842	1087816.429
BUVIS	684244.321	-6256389.061	1052298.546
CABUYAL	573163.957	-6253572.771	1115814.491
CAMPOS	786950.537	-6257907.185	951657.288
CANGRE	661181.889	-6252739.728	1078705.952
CAVALLÓN	623314.840	-6236240.588	1181165.340
DESCARTES	465788.213	-6243885.200	1212090.169
GRANDE	475956.889	-6252652.681	1162532.344
LA CRUZ	476442.213	-6242660.520	1215023.572
LIBERIA	499855.251	-6249210.759	1171214.179
MANZANILLO	801705.500	-6237963.177	1058543.894
MARBELLA	462182.004	-6262966.496	1111390.366
NEGRO	671543.132	-6236895.589	1150534.910
OSA	734338.739	-6267192.331	928537.161
PALMIRA	615825.786	-6249884.140	1122588.632
PITAL	522082.019	-6248084.280	1168161.374
POLY	641172.369	-6260233.282	1036575.239
SAN JOSÉ	552413.397	-6251395.353	1140312.823
TIGRE	734988.765	-6256987.544	996513.082
UVA	763998.289	-6235361.097	1099730.547
UVITA	691064.531	-6259564.156	1014760.686
VOGUE	706593.585	-6230501.620	1163904.202
VUELTAS	673814.057	-6255863.735	1060004.494
ZUMA	538924.732	-6265397.586	1063060.626

SISTEMA ITRF98-WGS84			
PUNTO	X	Y	Z
ACOSTA	589926.762	-6243538.829	1160000.525
BALLENA	497918.577	-6254697.174	1142009.053
BASE ESTE	733368.705	-6237439.696	1108662.740
BASE NORTE	570253.399	-6255324.704	1103872.129
BRUJO	549041.896	-6260750.295	1087742.024
BUVIS	684457.478	-6256378.571	1052223.319
CABUYAL	573381.100	-6253566.307	1115740.213
CAMPOS	787163.345	-6257891.968	951582.336
CANGRE	661394.815	-6252730.408	1078630.491
CAVALLÓN	623527.339	-6236233.954	1181089.306
DESCARTES	466002.979	-6243883.751	1212016.183
GRANDE	476171.297	-6252650.253	1162458.676
LA CRUZ	476657.117	-6242658.745	1214949.504
LIBERIA	500069.187	-6249207.750	1171139.991
MANZANILLO	801912.440	-6237948.897	1058472.310
MARBELLA	462395.290	-6262963.770	1111318.049
NEGRO	671755.087	-6236886.950	1150459.091
OSA	734562.379	-6267177.258	928462.970
PALMIRA	616038.884	-6249876.864	1122513.285
PITAL	522295.996	-6248080.527	1168086.872
POLY	641385.678	-6260223.994	1036500.393
SAN JOSÉ	552626.602	-6251390.456	1140237.441
TIGRE	735201.932	-6256974.627	996437.946
UVA	764208.115	-6235348.760	1099655.759
UVITA	691277.912	-6259552.889	1014685.858
VOGUE	706804.316	-6230492.104	1163828.276
VUELTAS	674027.407	-6255853.632	1059929.511
ZUMA	539137.008	-6265392.207	1062985.726