

Zeitschrift: Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural

Herausgeber: Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)

Band: 96 (1998)

Heft: 6

Artikel: Géodésie en Colombie : propositions pour un réseau national cohérent et opérationnel

Autor: Ladetto, Q.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-235460>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 30.01.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Géodésie en Colombie: propositions pour un réseau national cohérent et opérationnel

Pays d'Amérique du Sud aux paysages fort contrastés, la Colombie est malheureusement plus connue pour ses problèmes de narcotiques que son charme enchanteur. Désirant modifier cette image, le pays entama dès 1992 un projet de restructuration et de modernisation de ses principales infrastructures. Dès 1994, l'Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) commença un programme pour acquérir et maîtriser les dernières technologies informatiques englobant le système de mesures satellitaires GPS. L'entreprise suisse Leica s'engagea à fournir les équipements nécessaires, de même que l'assistance technique requise. L'utilisation optimale de ces outils nécessitant des données géographiques cohérentes, la rénovation du réseau géodésique national colombien est en cours. Cet article présente diverses solutions pour s'adapter aux nombreuses particularités du contexte colombien. De par la situation actuelle, toutes ces propositions sont encore soumises à l'approbation des organes gouvernementaux responsables.

Kolumbien, dieses südamerikanische Land mit so unterschiedlichen Landschaften, ist leider besser bekannt für seine Drogenprobleme als für seinen bezaubernden Charme. Um diesen schlechten Ruf zu verbessern, hat das Land 1992 ein Umstrukturierungs- und Modernisierungsprojekt seiner hauptsächlichlichen Infrastrukturen begonnen. 1994 hat das geographische Institut Agustín Codazzi (IGAC) ein Programm begonnen, um die neuste Computertechnologie (inklusive Satelliten Messungen GPS) zu erwerben und zu beherrschen. Leica hat sich verpflichtet, die nötigen Präzisionsinstrumente und die technische Betreuung beizutragen. Die optimale Benützung dieser Werkzeuge erfordert kohärente geographische Daten; deshalb wird das nationale geodätische Netz verbessert. Dieser Artikel stellt verschiedene Lösungen vor, die noch von der Genehmigung der verantwortlichen Regierungsvertreter abhängig sind.

Paese d'America del Sud con paesaggi contrastanti, la Colombia è purtroppo più conosciuta per i suoi problemi legati al narcotraffico che per suo incanto stupendo. Con il desiderio di modificare queste immagini, il paese iniziò nel 1992 un progetto di ristrutturazione e modernizzazione delle sue infrastrutture principali. Da 1994, l'istituto geografico Agustín Codazzi (IGAC) incominciò un programma per acquisire e conoscere le ultime tecnologie informatiche conglobando il sistema di misure satellitare GPS (Global Positioning System). L'impresa svizzera Leica fornì tutti gli strumenti di precisione, e l'assistenza tecnica. Un uso ottimale di questi mezzi necessita ai dati geografici coerenti ed è per questo che la rinovazione della rete geodetica nazionale è in corso di elaborazione. Quest'articolo presenta le diverse soluzioni al fine di adattarsi nel migliore dei modi alle numerose particolarità della situazione colombiana. Vista la situazione, tutte queste proposizioni sono ancora sottomesse all'approvazione degli organismi governativi responsabili.

Q. Ladetto

«Un voyageur m'a dit que l'Espagne, c'est autre chose que l'Europe, comme l'Amérique du Sud, c'est autre chose que le monde.»

Pierre Drieu la Rochelle

Réseau géodésique colombien actuel

Composé de points de contrôle horizontaux et verticaux, l'actuel réseau géodésique colombien fut réalisé dès 1930, date à laquelle l'Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) commença son activité. Pas moins de 11 000 points déterminés par les méthodes topométriques terrestres et astronomiques définissent le réseau planimétrique. L'altimétrie se réfère à 235 lignes de nivellement effectuées le long des principales routes du pays.

Conséquence de l'absence de compensation globale pour les deux réseaux, des discordances supérieures au mètre apparaissent si l'on relie différents cheminement ou arcs triangulés. De plus, suite à une matérialisation trop légère, 60% des points ont disparu ou sont rendus impraticables...

Face à une telle inhomogénéité, l'élaboration d'un réseau mesuré à l'aide de la méthode GPS (Global Positioning System) se révèle indispensable pour répondre aux exigences actuelles des projets d'ingénierie. Actuellement, la Colombie dispose d'un réseau GPS de premier ordre (fig. 1) calculé et compensé en collaboration avec l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) [1]. Celui-ci s'inscrit dans le nouveau réseau continental SIRGAS (Système de Référence Géocentrique pour l'Amérique du Sud). Sa précision planimétrique et altimétrique est de 5 cm et 10 cm respectivement.

SIRGAS

En 1997, le Système de Référence géocentrique pour l'Amérique du Sud (SIRGAS) vit le jour suite à une intense collaboration internationale. La matérialisa-

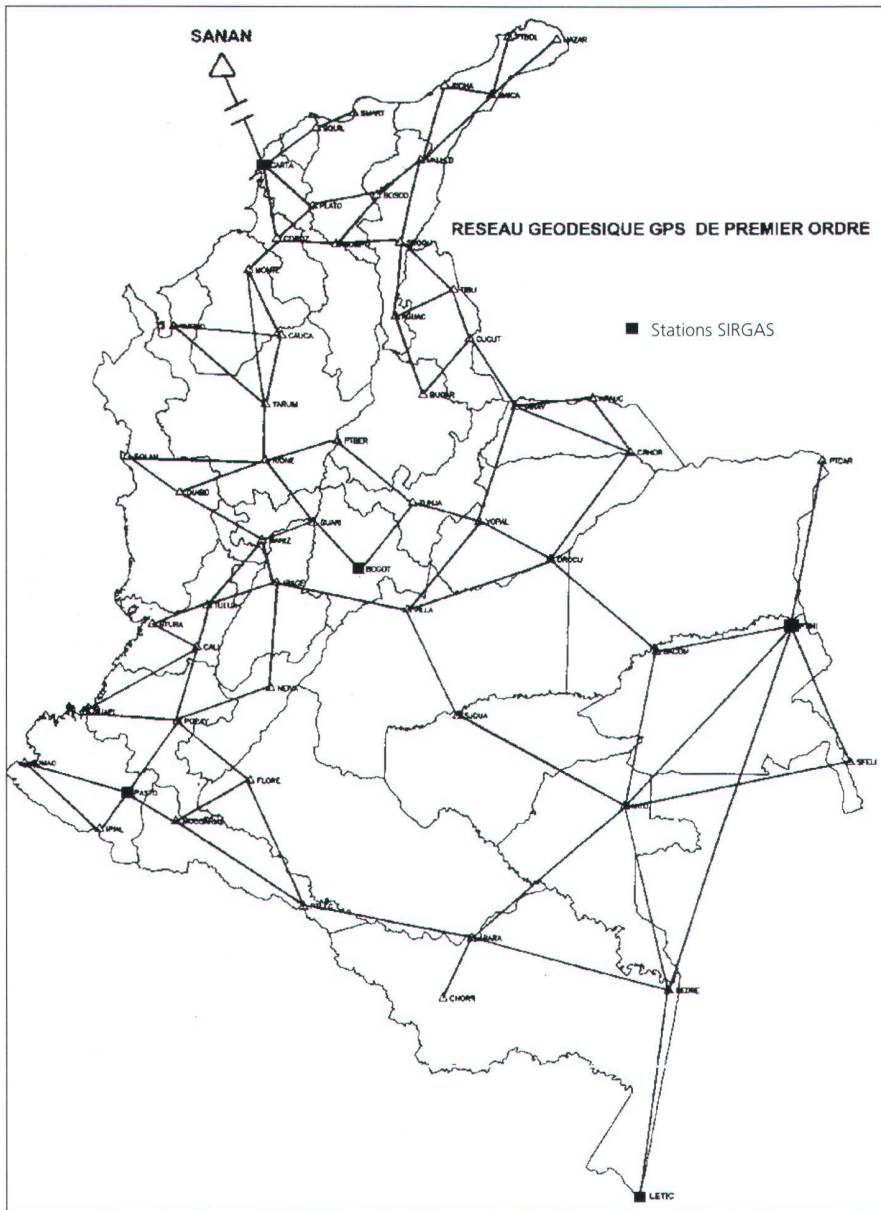


Fig. 1: Réseau géodésique G.P.S. de premier ordre incluant les points SIRGAS ainsi que les vecteurs mesurés.

tion du datum géocentrique consiste en un réseau de base, d'ordre zéro, regroupant 67 stations réparties sur tout le continent. La Colombie possède 5 points bien distribués sur son territoire. Ils ont servi de points de calage lors de la compensation, avec contraintes, du nouveau réseau GPS.

Densification

La taille moyenne des différents vecteurs est de 120 km dans les zones développées et de 230 km dans la région de l'Amazo-

nie. Ces dimensions ne permettent pas un emploi du réseau pour les travaux topométriques ordinaires. D'autre part, 90% des points se trouvent situés à l'intérieur d'aéroports; a priori, de tels sites présentent toutes les conditions de stabilité et de dégagement souhaitées, malheureusement, les points sont construits à proximité immédiate de la piste d'atterrissage et de la tour de contrôle ce qui rend tout accès difficile. Afin de rendre opérationnel le réseau actuel, sa densification a été prévue. La distance de 50 km entre les dif-

férents points fut suggérée de manière à permettre la résolution des ambiguïtés pour tout point nouvellement mesuré; en effet celui-ci ne se situera jamais à plus de 25 km d'une station de base. La densification sera facilitée par l'intégration de points existants appartenant à divers réseaux locaux issus de projets nationaux et internationaux tels que CASA (Central America - South America) ou de quelques sociétés pétrolières (Shell, Ecopetrol). Le projet CASA étudie les importants déplacements subis par les nombreuses plaques tectoniques se rencontrant en Amérique Centrale. Le réseau «local» se compose de 16 stations principales, 143 points de densification et de deux stations permanentes, le tout réparti dans les régions les plus développées du pays. La Colombie présentant une activité sismique intense, ces points sont mesurés chaque année afin de fournir un modèle précis des mouvements de la croûte terrestre.

Matérialisation

Retenant la leçon infligée par le passé sur la durabilité de la matérialisation actuelle, un nouveau style de construction a dû être adopté. Comme les points de densification devront remplacer le réseau de premier ordre existant, malheureusement inadapté à sa fonction, une solution stable et économiquement avantageuse fut re-

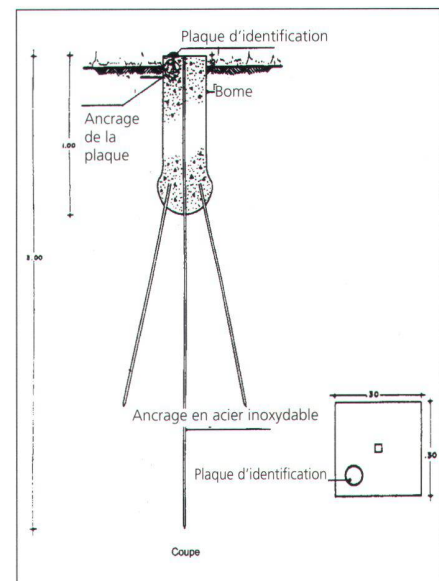


Fig. 2: Schéma de matérialisation d'un point CASA.

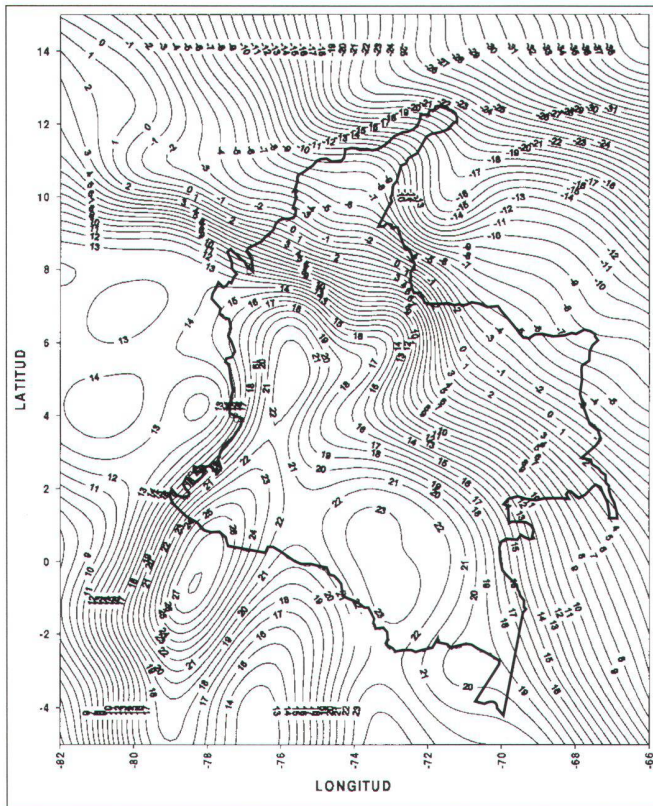


Fig. 3 : Géoïde colombien par rapport à l'ellipsoïde GRS80. Les cotes du géoïde varient entre -25m et 23m en présentant des variations locales très importantes de l'ordre de 1 m sur 5 kilomètres . Ceci conduit à des pentes maximales supérieures à 20% .

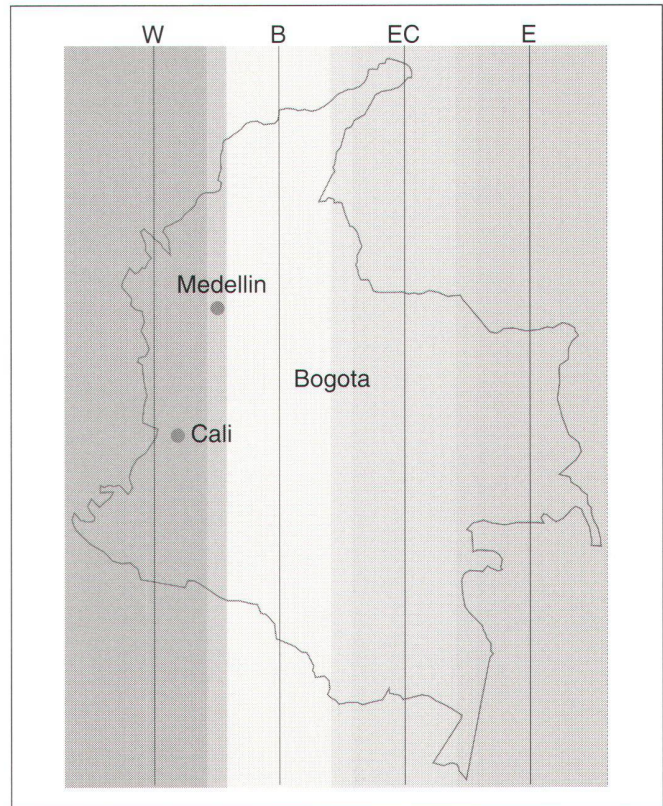


Fig. 4 : Projections de Gauss-Krüger avec leur méridien central respectif. Les recouvrements des différents fuseaux sont de $0,5^\circ$.

cherchée. Le choix se porta finalement sur les points construits par l'institut colombien INGEOMINAS (fig. 2), partenaire colombien du projet CASA et s'occupant principalement de géophysique. Du schéma de base, seule la section se vit légèrement augmentée. Bien que passablement d'entreprises, notamment américaines, fournissent des bornes préfabriquées, une solution nationale apparaît plus favorable, ne serait-ce que par l'utilisation de la main d'œuvre et du savoir-faire colombien.

Transformation

L'achèvement du réseau GPS accompli, une question se pose: «Que vont devenir toutes les anciennes coordonnées?» Effectivement, le changement de datum «Bogotá» à WGS84 ne se fera pas sans quelques tensions. Le datum «Bogotá» se caractérise en partie par l'ellipsoïde Inter-

national de Hayford positionné de manière à obtenir une déviation de la verticale nulle à l'observatoire astronomique national de Bogotá. Le passage à l'ellipsoïde GRS80 utilisé dans WGS84 ne peut se réaliser qu'au moyen de transformations locales.

L'IGAC se charge actuellement de la gestion nationale des données géographiques ainsi que du calcul de paramètres de transformation locaux pour diverses entreprises privées et gouvernementales. Dans le but d'éviter une utilisation abusive des différentes transformations proposées par le module «Datum-Map» de SKI (Static Kinematic Software), fourni par Leica à l'Institut, une analyse approfondie de celles-ci fut réalisée sur la région de Bogotá. Le projet considéré s'étend sur une superficie de 2000 km^2 à $2'500\text{ m}$ d'altitude et s'oriente dans la direction Nord-Sud sur 100 km . Les résidus obtenus sont

de l'ordre de 20 cm . La méthode «Interpolation» fournit les meilleurs résultats bien que son emploi soit déconseillé pour des projets de cette taille.

La solution proposée pour la transformation à l'échelon national fait appel à une autre approche et s'inspire de celle adoptée par la Suisse et connue sous le nom de FINELTRA. Un logiciel du même nom est également disponible pour l'application de cette méthode. Il s'agit d'une transformation linéaire affine par éléments finis (triangles) [2] s'adaptant relativement bien aux particularités colombiennes. L'avantage principal réside dans le fait que chaque triangle peut être densifié afin d'apporter des améliorations locales sans répercussions sur les zones voisines. De par les besoins spécifiques relatifs aux différents niveaux de développement de chaque région, l'intérêt de la méthode est évident.

Géoïde

L'intégration des nouvelles mesures satellitaires dans l'actuel réseau altimétrique défini à partir du marégraphe de Buenaventura, sur la côte Pacifique, est indispensable. A cette fin, la détermination de l'équipotentielle zéro, plus connue sous le nom de «géoïde» est à réaliser. Le géoïde coïncide avec le niveau moyen des mers, abstraction faite des marées. Une collaboration intense avec l'unité de géophysique de l'IGAC permet sa modélisation (fig. 3) [3] [4].

La technique utilisée met en relation les caractéristiques régionales (amplitudes d'ondes longues) du champ gravitationnel exprimé par un modèle géopotentiel global, en l'occurrence EGM 96 (Earth Geopotential Model 1996) avec ses particularités locales (amplitudes d'ondes courtes) obtenues par l'intermédiaire du modèle physico-mathématique de Stokes. Cette méthode est connue sous le nom de «Remove- Restore».

La précision des cotes du géoïde obtenues varie entre 0.2 m et 0.4 m ce qui ne permet pas encore son utilisation lors de tout projet géodésique. L'intégration de nouvelles données telles que la déviation de la verticale obtenue par les différentes stations de Laplace ainsi que les informations recueillies par la méthode de nivellement GPS (GPS levelling) permettront d'acquiescer une représentation encore plus détaillée de cette surface de référence primordiale. L'utilisation de points de nivellement dans le réseau GPS facilite, de par la connaissance précise de certaines de ses cotes, le calage du géoïde.

Une routine informatique en C++ décrivant le modèle du géoïde colombien a été intégrée au logiciel SKI.

Systèmes de projection

Recouvrant une surface de 1 138 000 km², la Colombie représente environ 28

fois la Suisse. Elle est divisée en 4 fuseaux auxquels on applique une projection conforme de Gauss-Krüger (fig. 4). Un désir de changement en faveur de la projection UTM a été formulé suite à son adoption par les pays avoisinants. Ce choix permettrait de réduire le nombre de fuseaux à trois, mais engendrerait des problèmes disproportionnés. Une projection locale nommée «Cartesianas» est utilisée depuis les débuts de IGAC dans les principales villes du pays. Chacune d'entre elle possède des paramètres particuliers faisant intervenir notamment l'altitude locale du plan de projection. A l'origine équivalente, de nombreuses modifications de ses formules aboutissent à une confusion totale quant à ses caractéristiques présentes. Une étude [5] démontra que les résultats obtenus se rapprochent de la projection de «Sanson Flamsteed», sans pour autant qu'il y ait coïncidence. Le remplacement pur, mais de loin pas simple, de cette dernière par une projection locale de Gauss-Krüger a été suggéré. L'utilisation de projections particulières est en effet indispensable si l'on considère l'altitude importante des villes colombiennes se situant entre 1500 et 3000 mètres. Elles permettent ainsi un travail topographique journalier sans réduction des distances. Une simple correction du facteur d'échelle central, fonction de l'altitude moyenne de la région considérée, permet d'obtenir des distances horizontales mesurées sur la carte pareilles à celles rencontrées dans la réalité.

Perspectives future

Comme tout projet à l'échelle nationale, la rénovation du réseau géodésique colombien est une entreprise importante. Pour mener à bien une telle mission, une organisation irréprochable accompagnée d'une intense collaboration entre l'IGAC

et ses différents partenaires que sont les nombreuses entreprises privées, gourmandes en données géographiques, est indispensable. Cela n'est certes pas une tâche aisée: elle demande à l'Institut de s'ouvrir davantage aux nécessités et aux nombreuses demandes, parfois fort pertinentes, de ses collaborateurs. C'est à ce seul prix que la Colombie pourra construire un réseau géodésique cohérent et durable répondant par-là même aux exigences toujours plus élevées des nombreux réalisateurs de projets d'infrastructure.

Bibliographie:

- [1] Perez Silva E. M., Guerra N. R., Umbarilla A., Alvarez G., Egger D. (1997) Red geodesica básica con GPS para Colombia, Informe Final, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Santafé de Bogotá D. C., 28 p.
- [2] Carosio A., Plazibat M. (1996) Trasformazione lineare con elementi finiti: un collegamento flessibile tra la vecchia e la nuova misurazione nazionale, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETHZ), 33 p.
- [3] Sanchez L., Martinez W., Flórez J. (1997) Proyecto Modelo Geoidal para Colombia: Avances (Componente Global). Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Unidad de Geofísica. Santafé de Bogotá, D.C.
- [4] Sanchez L., W Martinez., Flórez J. (1998) Proyecto Modelo Geoidal para Colombia: Avances (Componente Local). Instituto Geográfico Agustín Codazzi Unidad de Geofísica. Santafé de Bogotá, D.C.
- [5] Von Moos M. (1997) Projection «Cartesianas», Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Institut de Géomatique, 13 p.

Ladetto Quentin
EPFL Topométrie
GR-Ecublens
CH-1015 Lausanne
e-mail: quentin.ladetto@epfl.ch