



GEOMINAS SEPARATA

**VOLUMEN 36, N° 45
ABRIL 2008**



NÚCLEO BOLÍVAR
ISSN: 0016-7975.
Depósito Legal: pp 196403BO252

Registrada en: Latindex: Folio 15397; Revencyt: RVG003;
Fonacit: Reg2006000013; Periódica; GeoRef Titles; ICSU Navigator database: UDC: 624.131.1, 549;552.08



Conciencia conservacionista



Araguaney (Tecoma chrysantha)



Apamate (Tecoma pentaphylla)

COMISIÓN DIRECTIVA

Yockling Lima
Andreina García
Ángel R. P. Paulo G. C.
Anna Bandini
Miguel Gómez H.
Alexis Perales
Mercedes Sequera

COMISIÓN ASESORA

Manuel Funes A.
Pedro Elías Lezama P.
Rafael Sosa
Guillermo Tinoco M.
Galo Yáñez P.

CONSEJO EDITORIAL

Editor-Coordinador: José Herrero Noguero

Víctor González
Ángel R. P. Paulo G. C.
Iván Quintero
Jesús Santiago

Fotografías

Joheno

Diagramación y digitalización

Ángel R. P. Paulo G. C.

Portada

Diseño original por Lozaiga, desde 1964

CORRESPONDENCIA

BOLETÍN GEOMINAS. Escuela de Ciencias de la Tierra.
Campo Universitario La Sabanita, Ciudad Bolívar,
estado Bolívar. Venezuela.
e-mail: revistageominas@gmail.com
fundag@cantv.net

Impreso en Graficolor, C. A.
Puerto Ordaz
500 ejemplares. Precio: BsF. 54,00

PUBLICACIÓN ARBITRADA

Registrada en:
Latindex: Folio 15397; Revencyt: RVG003;
Fonacit: Reg2006000013; PERIÓDICA; GeoRef Titles;
ICSU Navigator database: UDC: 624.131.1, 549;552.08
ISSN: 016-7975
Depósito Legal: pp 196403BO252

Edición financiada por:

Consejo de Investigación
Universidad de Oriente

El material contenido en esta revista puede ser reproducido sin autorización alguna, siempre y cuando se mencione expresamente la fuente



El boletín **GEOMINAS** es una publicación cuatrimestral de la Escuela de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Oriente, a través de la Fundación de Egresados y Amigos de la Escuela de Geominas de la Universidad de Oriente (FUNDAGEOMINAS); es publicado desde 1964.

GEOMINAS se edita con la visión de promover y estimular la investigación científica en las geociencias y difundirla para contribuir con el conocimiento global.

GEOMINAS es una revista multidisciplinaria cuya especialidad son las geociencias, siendo sus temas prioritarios los geológicos, mineros, geotécnicos, de recursos naturales, ordenación territorial, energía, ecología y ambiente.

GEOMINAS publica artículos, ensayos, entrevistas y comunicaciones originales, con primacía en las áreas prioritarias de la revista. El contenido de las publicaciones es de la entera responsabilidad de sus autores, y de ninguna manera del boletín, ni de FUNDAGEOMINAS, ni de la Escuela de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Oriente.

Los autores han aceptado que sus aportes a **GEOMINAS** no han sido publicados ni enviados a otros órganos de difusión de cualquier tipo.



COMISIÓN DE ARBITRAJE

Raquel Alfaro Fernandois
(Universidad de Chile, Chile)

Ángel Andara
(Universidad de Los Andes, Venezuela)

Américo Briceño
(Universidad de Oriente, Venezuela)

Pío Callejas
(Instituto de Cerámica y Vidrio, España)

Jesús A. Ruiz Careaga
(Benemérita Universidad de Puebla, México)

Carlos Grús
(Universidad de Oriente, Venezuela)

Joseph M. Mata Perello
(Universitat Politècnica de Catalunya, España)

Vicente Mendoza
(Consultor independiente, Venezuela)

Enrique Orche García
(Universidad de Vigo, España)

Julio Pérez
(Universidad de Oriente, Venezuela)

David Pérez H.
(Consultor independiente, Venezuela)

René Pravia López
(Universidad de Oriente, Venezuela)

Jean Pasquali Z.
(Instituto de Cs. De la Tierra, Universidad Central de Venezuela)

Alfonso Quaglia
(Inter-Rock, S. A., Venezuela)

Miguel Ángel Rivas
(Consultor independiente, Venezuela)

Edixon Salazar
(Universidad de Oriente, Venezuela)

Guillermo Tinoco M.
(Fundageominas, Venezuela)

Horacio Vera M.
(Universidad de Oriente, Venezuela)

CONTENIDO

TABLE OF CONTENTS

Volumen 36, N° 45, abril 2008

Geofísica

Modelo de velocidad unidimensional para el sur de Perú a partir de datos de sismos locales: Una mejora para la precisión en la localización.

One-dimensional velocity model for southern Peru from local earthquakes data: An improvement for precision in localization.

J. C. Villegas, H. Tavera.

Ambiente

Diseño de una metodología que permita la selección de localizaciones geológicas para la ejecución de proyectos de inyección profunda de desechos con metales pesados contenidos en fosas petroleras.

Design of a methodology that allows the selection of geological localizations for the execution of deep well injections projects of slurry wastes with heavy metals contained in oil pits.

K. González, A. J. Andara, E. R. Ortiz.

Empleo de las zeolitas para remediación biológica de suelos contaminados de petróleo.

Using of zeolites for biological remediation of oil contaminated soils.

N. N. Tereshenko, S. V. Lushnikov, A. B. Bobina.

Diagnóstico ambiental en la cuenca media del río La Piña, San Francisco de Asís, municipio Raúl Leoni, estado Bolívar.

Environmental diagnosis in half basin of La Piña river, San Francisco de Asís, Raul Leoni municipality, Bolivar state.

R. Pérez, L. Carrera, V. Mora.

Evaluación de los sistemas de drenaje, control de erosión y arrastre de sedimentos en las minas Los Barrancos y San Isidro. Municipio Raúl Leoni. Estado Bolívar.

Evaluation of drainage systems, control of erosion and drag sediments in Los Barrancos and San Isidro mines. Ciudad Piar. Raul Leoni municipality. Bolivar state.

M. Muñoz, J. Abud, L. Araya

Yacimientos metálicos

La mineralización de oro y plata e terrenos de afinidad continental de Cuba SW (Guaniguanico, Pinos y Guamuhaya).

Gold and silver mineralization in continental terrains of SW Cuba (Guaniguanico, Pinos y Guamuhaya).

J. M. López K., R. G. Pérez V., S. D. Redwood, C. E. Nelson.

Agronomía

Evaluación de variables de rendimiento y calidad en el banco de germoplasma de batata (*Ipomea batatas* (L.) Lam) del INIA-Anzoátegui.

Evaluation of yield and quality variability in sweet potato (Ipomea batatas (L.) Lam) germoplasm bank of INIA, Anzoategui state, Venezuela.

L. C. Vaccarino A., E. Ortega-Cartaya†

Geotecnia

Evaluación geotécnica preliminar y estabilidad de la rampa San Rafael-El Placer.

Preliminary geotechnical evaluation and stability of San Rafael ramp-El Placer.

H. Vera M.

Geología estructural

Estilos estructurales presentes en el subsuelo al sur de Quiriquire, norte del estado Monagas, Venezuela.

Subsurfaces structural styles present in south Quiriquire area, north of Monagas, Venezuela.

F. Martínez, G. Tovar, L. Castillo.

Economía minera

Modelos matemáticos para la predicción de los precios del petróleo y del oro.

Mathematical models for oil and gold prices prediction.

Ángel R. P. Paulo G. C.

Responsabilidad social empresarial minera

El proyecto Las Cristinas continúa la construcción de nuevo ambulatorio Las Claritas.

Las Cristinas project continues construction of Las Claritas new ambulatory.

Proyecto Las Cristinas-Cristallex

Bajo la tutela de Rusoro Mining. Grupo Agapov con proyectos de infraestructura y programas socioproductivos. Promotora Minera de Guayana desarrolla inversión social en El Callao.

Under tutelage of Rusoro Mining. Grupo Agapov with infrastructure projects and social productive programs. Promotora Minera de Guayana develops social investment in El Callao.

Promotora Minera de Guayana-Grupo Agapov.

En el marco de la responsabilidad social empresarial. Proyecto Las Cristinas continúa inversión social en Santo Domingo, Las Claritas, Nuevas Claritas, Santa Lucía de Inaway, Arimatepuy y Santa María del Granzón.

Within corporate social responsibility framework. Las Cristinas project continues social investment in Santo Domingo, Las Claritas, Nuevas Claritas, Santa Lucia de Inaway, Arimatepuy and Santa Maria del Granzón.

Proyecto Las Cristinas-Cristallex

Entrevista

Se requiere un seguimiento estrecho y la adopción de una política nacional relativa al cambio climático.

A close monitoring and the adoption of a national policy relative to climatic change is required.

Juan Carlos Sánchez

MODELO DE VELOCIDAD UNIDIMENSIONAL PARA EL SUR DE PERU A PARTIR DE DATOS DE SISMOS LOCALES: UNA MEJORA PARA LA PRECISIÓN EN LA LOCALIZACIÓN

ONE-DIMENSIONAL VELOCITY MODEL FOR SOUTHERN PERU FROM LOCAL EARTHQUAKES DATA: AN IMPROVEMENT FOR PRECISION IN LOCALIZATION

Juan Carlos Villegas¹ Hernando Tavera²

Recibido: 10-12-07; Aprobado: 22-1-08.

RESUMEN

En el presente estudio se analiza la estructura de la corteza en el sur de Perú a partir de la inversión de los tiempos de arribo de las ondas sísmicas. La metodología utilizada corresponde a la inversión no linealizada de rayos haciendo uso del algoritmo Velest. La base de datos utilizada corresponde a las réplicas del sismo ocurrido en la región sur de Perú el 23 de junio del 2001 (8,2 Mw), las cuales fueron registradas por una Red Sísmica Local compuesta por nueve estaciones durante un periodo de 22 días. La inversión se realiza con 811 arribos de ondas P y S, correspondientes a 217 sismos, probando para tal fin, diferentes modelos de velocidad inicial con distintos espesores de capas. Posteriormente, se evalúa el comportamiento de la velocidad de ondas en cada uno de los modelos iniciales a fin de obtener otro mejor definido, que luego es utilizado en la relocalización a fin de considerar el que proporcione menor error en la localización y reducción del rms. Finalmente, el modelo de velocidad obtenido consta de 7 capas con velocidades que van desde $V_p = 4,58$ km/s para la primera capa, hasta 7,77 km/s para la última. Este modelo también ha permitido identificar cambios de velocidad importantes, que podrían estar asociados a discontinuidades como son Conrad y Mohorovicic. Por otro lado, los resultados de la relocalización de sismos muestran una mejor distribución de los hipocentros en profundidad y una reducción del 85% para los valores de rms.

Palabras clave: Inversión, sismos locales, sur de Perú, tiempos de arribo.

ABSTRACT

In the present study the structure of the crust in south of Peru is analyzed from travel time data inversion of seismic waves. The methodology corresponds to the non-linear ray-path inversion using the Velest algorithm. The data used belongs to the aftershocks sequence of June 23rd, 2001 south region earthquake (Mw=8.2), which were recorded by a local seismic network composed by nine stations during a period of 22 days. 811 P-wave and S-wave arrival times from 217 local earthquakes were inverted, testing for such aim, different initial velocity models with different thickness for each layer. Then, the behavior of the velocity P-wave is evaluated in each one of the initial models, in order to obtain a better model defined, which is then used for relocating the data, considering the one that provides minor error in the location and rms reduction. Finally, the velocity model obtained consist of seven layers with velocities ranging from $V_p=4.58$ km/s for the to layer, up to 7.77 km/s for the last one. This model also has identified significant velocity changes, which could be associated to discontinuities as Conrad and Mohorovicic. On the other hand, the relocation results shows a better distribution in depth and a reduction of 85% for the rms values

Key words: Arrival times, inversion, local earthquakes, southern Peru.

INTRODUCCIÓN

El sur de Perú está localizado en una región tectónicamente compleja y de alta actividad sísmica con origen en el proceso de subducción de la placa de Nazca bajo la sudamericana a una velocidad de 8-10 cm por año (DeMets, 1980). Según su historia sísmica, en esta región han ocurrido grandes sismos como el de Moquegua en 1604 (M=8,4), el de Tacna en 1868 (M=8,6), y los de Arequipa en 1958 (M=7,3), 1960 (M=7,5), 1979 (M=6,9), 1999 (M=6,1) y recientemente el del 23 de junio del 2001 (M=8,2). Este último sismo produjo un gran número de réplicas las cuales fueron registradas por una red sísmica local instalada por el Instituto Geofísico del Perú (IGP). Estas réplicas se distribuyen en un área de aproximadamente 150 x 350 km a lo largo de la zona de subducción (Antayhua et. al 2002), haciendo de esta región por los datos disponibles, un lugar apropiado para realizar estudios de tomografía local.

Desde el punto de vista geoestructural, la región sur de Perú está constituida por cuatro zonas paralelas a la fosa Perú-Chile (Mégard, 1978): la cadena costanera, que está

recortada transversalmente por los valles de Tambo, Osmore, Locumba, Sama y Caplina; el piedemonte del Pacífico, cuya morfología corresponde al dominio de las grandes pampas (La Joya, Clemesí, Pedregal, La Yarada, etc); la Cordillera Occidental, formada por elevaciones paralelas a la línea de costa con una cobertura volcánica Cenozoica y finalmente el Altiplano, formado por una serie de cuencas planas cuya altitud promedio es 4.000 m.s.n.m. Del mismo modo, la constante actividad volcánica durante el Cuaternario se evidencia por la intensa interacción de las placas.

Otras expresiones en superficie, las constituyen los sistemas de fallas que también han dado origen a sismos de magnitud moderada como las fallas de la Planchada (PL), Marcona (MA), Ayacucho (AY), Chulibaya (CH), Ausangate (AU), Viscachani (VI), Huambo-Cabanaconde

¹ Ing° Geof°. Dirección de Sismología CNDG. Instituto Geofísico del Perú.

² PhD, Ing° Geof°. Dirección de Sismología CNDG. Instituto Geofísico del Perú. e-mail: hjtavera@geo.igp.gob.pe

(HC), Incapuquio (IN) y la falla de Chololos (CH), ver figura 1.

En general, la ocurrencia de sismos en el Perú ha permitido mejorar los procedimientos para el cálculo de los parámetros hipocentrales con menor error dependiendo directamente del tipo de modelo de velocidad usado para tal fin. Sin embargo, la falta de suficiente información geológica (perforaciones) y geofísica (líneas sísmicas) del interior de la tierra, dificulta la formulación de modelos de velocidad adecuados para cada región del Perú.

En el presente estudio, se pretende definir un modelo de velocidad unidimensional de referencia, que refleje mejor las características de propagación de las ondas sísmicas en el interior de la Tierra y a la vez sirva de referencia para realizar futuros estudios de sísmicidad, tectonismo y tomografía tridimensional.

RED SÍSMICA LOCAL Y ADQUISICIÓN DE DATOS

El sismo del 23 de junio de 2001 produjo un gran número de réplicas, motivo por el cual, el Instituto Geofísico del Perú instaló una red sísmica local compuesta por 9 estaciones sísmicas de banda ancha con registradores del tipo Reftek de tres componentes (N-S, E-W y Z) (Figura 1, Tabla I). Dicha red operó por un período de 21 días (del 28 de junio al 19 de julio del 2001), tiempo durante el cual se registraron aproximadamente 1.250 réplicas.

La selección de los datos correspondientes a las réplicas consistió en el análisis de las señales, lectura de fases y correlación de los tiempos de arribo de las ondas P y S. Posteriormente, para llevar a cabo el cálculo del modelo de velocidad 1-D, se realizó la selección de la base de datos considerando los siguientes criterios: eventos que presenten al menos 6 arribos claros de ondas P y S, una raíz media cuadrática (*rms*) menor a 5 segundos y errores en la horizontal y vertical menores a 2 y 5 km, respectivamente. De acuerdo a estos criterios la nueva base de datos quedó compuesta por 811 arribos de ondas P y S, correspondientes a 217 eventos distribuidos uniformemente en la región de estudio.

Para la localización inicial de estos sismos se utilizó el programa HYPO71 (Lee y Lahr, 1975), un modelo de velocidad unidimensional compuesto por cuatro capas (Woollard, 1975) y una razón de $V_p/V_s = 1,78$ obtenida por Antayhua et. al, (2002) usando la misma base de datos. Con respecto a

las magnitudes, éstas no excedieron de 7,5 Mw, encontrando que la mayoría de los eventos presentan registros dentro de un rango de 2,5 y 5,0 Mw.

En la figura 2a, se muestra la distribución espacial de los eventos sísmicos utilizados en el presente estudio (217) y en ella se observa que la sísmicidad se distribuye en mayor proporción entre la fosa y la línea de costa y en menor sobre el continente. Se distingue tres agrupaciones de sísmicidad: en el grupo I se concentra el mayor número de eventos que se distribuyen alrededor del evento principal siguiendo una tendencia hacia el SE; el grupo II presenta menor proporción de eventos sobre la fosa Perú-Chile siguiendo la misma distribución que el grupo anterior, y finalmente el grupo III, presenta eventos de baja magnitud con cierta tendencia en dirección SSE alcanzando como límite la frontera entre Arequipa y Moquegua. En esta zona finaliza el proceso complejo de ruptura del sismo ampliamente descrito por Tavera et al, (2002). Todas estas agrupaciones y tendencias de sísmicidad permitieron conocer el área de ruptura del sismo del 23 de junio del 2001 (Tavera et. al 2002). Asimismo, en la figura 2b, se observa la distribución de los eventos en profundidad, notando que la mayoría de éstos se encuentran entre la fosa y la línea de costa llegando hasta una profundidad de 60 km aproximadamente, para luego seguir la tendencia lineal de acuerdo al plano de subducción en el Sur de Perú (Tavera et. al, 2002)

MODELOS DE VELOCIDAD

Un factor fundamental para resolver el problema inverso es la selección del modelo de velocidad inicial. En el presente estudio se utiliza los modelos propuestos por Woollard (1975) y Grange (1984) para la región sur de Perú y obtenidos a partir de estudios de sísmicidad local. Actualmente, estos modelos son usados para realizar estudios de sísmicidad y localización de sismos que ocurren en la región sur de Perú. Asimismo, con la finalidad de obtener un modelo de velocidad más confiable y cubrir un mayor rango de modelos de ensayo, se evaluaron los modelos propuestos para otras regiones por Dorbath (1991), Lindo (1993), y Ocola (1975).

CÁLCULO DEL MODELO DE VELOCIDAD 1-D

Muchos estudios demuestran que la precisión en la localización de los sismos puede ser mejorada usando un modelo de velocidad apropiado para la

zona de estudio y esto se puede obtener, por ejemplo, a partir de la inversión de los tiempos de arribo de las ondas sísmicas. La metodología empleada en el presente estudio corresponde al método de inversión no lineal propio del programa Velest (Kissling, 1995), el cual sigue un procedimiento de "ensayo y error" para diferentes modelos de velocidad, parámetros de control y localización de sismos. Así, el programa calcula el trazado de rayos desde la fuente hasta el receptor hallando los rayos directos y refractados que atraviesan el modelo de velocidad. Dicho cálculo se obtiene mediante la inversión total de la matriz de mínimos cuadrados amortiguados, debido a que la solución del problema inverso es no lineal, ésta se obtiene realizando múltiples iteraciones (Kissling, 1994), cuyo número es elegido por el usuario en cada ejecución del algoritmo Velest. Cabe mencionar que el programa no calcula ni diseña la geometría de las capas, lo que hace es ajustar el valor de velocidad de las capas que se introducen en el modelo inicial.

PROCEDIMIENTO DE INVERSIÓN Y RELOCALIZACIÓN DE SISMOS

Modelo a partir de la inversión de los tiempos de arribo

Para llevar a cabo el proceso de inversión se cuenta con una base de datos compuesta por un total de 217 sismos y 811 lecturas de arribos de ondas P y S. Como estación sísmica de referencia se escogió la estación de San Gregorio (SGRO), debido a que se encuentra en el centro de la red local y es la que mayor número de eventos registró durante el período de adquisición de datos. Los modelos de velocidad iniciales fueron los propuestos por Woollard (1984), Grange (1975), Dorbath (1991), Lindo (1993), y Ocola (1975).

Para llevar a cabo el cálculo del modelo de velocidad 1-D se realizaron 5 iteraciones para cada modelo de velocidad inicial, luego se fueron examinando y seleccionando los parámetros de control (número de iteraciones, ajustes por topografía, ajustes en los tiempos de retardo, etc.) apropiados para la base de datos y para el problema inverso en sí. Posteriormente, para simular los gradientes de velocidad vertical y distinguir posibles heterogeneidades y/o cambios de velocidad en los modelos iniciales, se fue incrementando el número y espesor de las capas sin variar los valores de velocidad cubriendo así un gran rango de distribuciones geométricas de

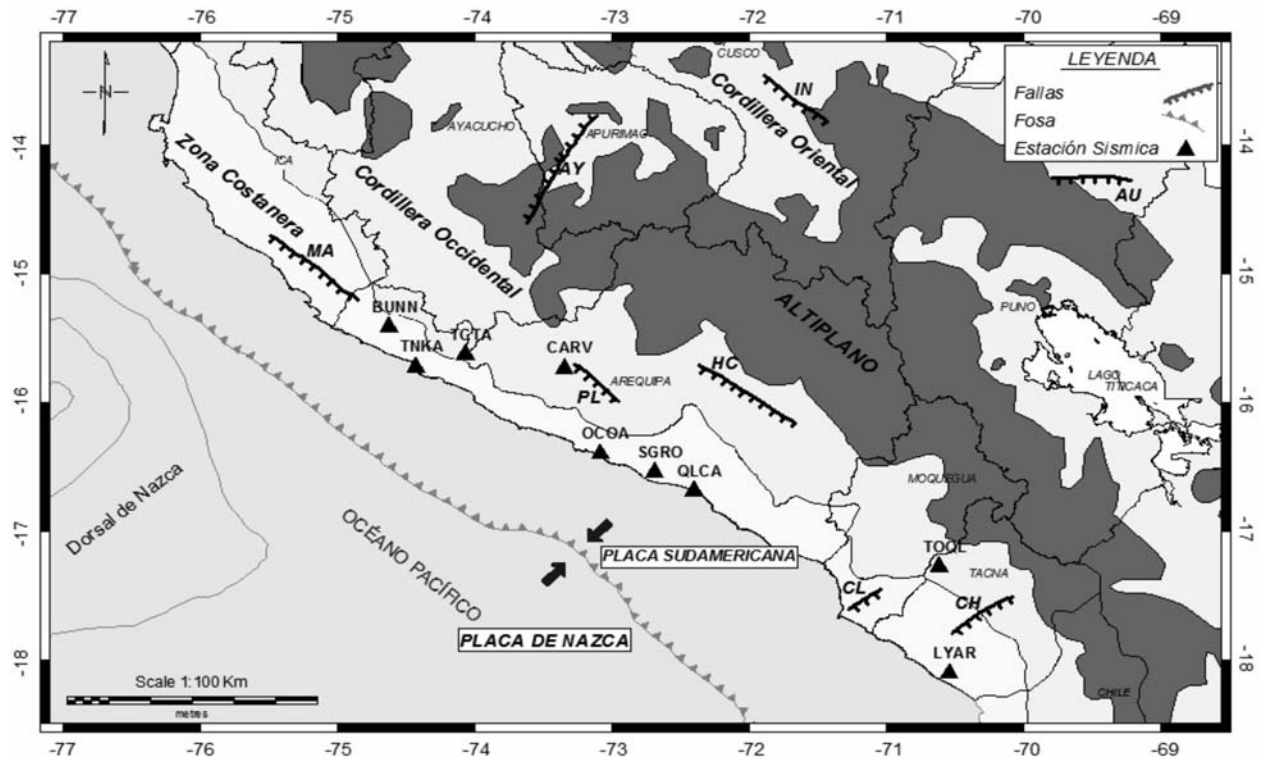


Figura 1. Contexto geodinámico de la región Sur de Perú, con las principales unidades morfoestructurales, sistemas de fallas, la fosa oceánica y la dorsal de Nazca. Los triángulos representan las estaciones de la red sísmica temporal instalada por el IGP para el registro de las réplicas del sismo del 23 de junio del 2001.

velocidad. Este procedimiento se repitió en múltiples ocasiones para cada modelo, verificando y uniendo aquellas capas que converjan en valores de velocidad similar logrando así reducir el número de capas hasta llegar a un modelo de velocidad mejor definido. Con los modelos de velocidad obtenidos se procedió a evaluar la localización de los sismos con la finalidad de seleccionar el modelo que presente menor error para los parámetros hipocentrales de cada sismo y valores de *rms* menores que los obtenidos con el modelo de velocidad inicial.

En la figura 3a se muestran los modelos de velocidad de ondas P iniciales usados en el proceso de inversión y en la figura 3b, los modelos de velocidad obtenidos después de la inversión. En este último se observa un mejor agrupamiento de las capas y la convergencia de las velocidades en los modelos resultantes que permiten mostrar una tendencia favorable hacia el modelo de velocidad final (línea gruesa).

Finalmente, el modelo de velocidad de onda P consta de 7 capas bien definidas que van hasta una profundidad de 70 km (Figura 3b). Así, el valor de velocidad para la primera de un kilómetro de espesor es de 4,58 km/s, para la segunda que va hasta los 5 km de profundidad presenta una velocidad de 5,56 km/s; la tercera desde 5 hasta 15 km tiene una velocidad de 5,97 km/s; la cuarta con profundidades desde 15 km hasta 25 km tiene una velocidad de 6,12 km/s, la quinta desde los 25 hasta 35 km tiene una velocidad de 6,56 km/s; la sexta desde 35 a 50 km presenta una velocidad de 6,8 km/s y finalmente, la séptima capa para

Tabla I. Coordenadas geográficas de las estaciones sísmicas de la Red Sísmica Local instalada por el IGP para el monitoreo de réplicas.

Estación	Código	Latitud S°	Longitud O°	Altura m.s.n.m.
Bella Unión	BUNN	15,444	74,646	234
Tocota	TCTA	15,659	74,091	1.006
Tanaka	TNKA	15,754	74,452	182
Caravelí	CARV	15,763	73,372	1.879
Quilca	QLCA	16,717	72,426	106
Ocoña	OCOA	16,429	73,109	48
San Gregorio	SGRO	16,570	72,715	161
La Yarada	LYAR	18,135	70,568	363
Toquepala	TOQL	17,307	70,643	2.586

profundidades mayores a 50 km presenta una velocidad de 7,77 km/s.

El modelo de velocidad obtenido, a diferencia de los propuestos por Woollard (1975) y Grange (1984), ha permitido identificar cambios de velocidad en las capas superficiales e intermedias que han ayudando a entender mejor la distribución de velocidades de ondas P en la zona de estudio. Se ha logrado identificar una capa de baja velocidad en la parte superior asociada a la geología superficial local compuesta por inter-estratificaciones de sedimentos y productos volcánicos de reciente edad geológica. El cambio de velocidad entre la tercera y cuarta capa explicaría el límite que divide a la corteza granítica de la basáltica, usualmente llamada discontinuidad de Conrad. El cambio de velocidad entre la quinta y sexta capa estaría asociado a la discontinuidad de Mohorovicic, lo cual estaría de acuerdo con los resultados

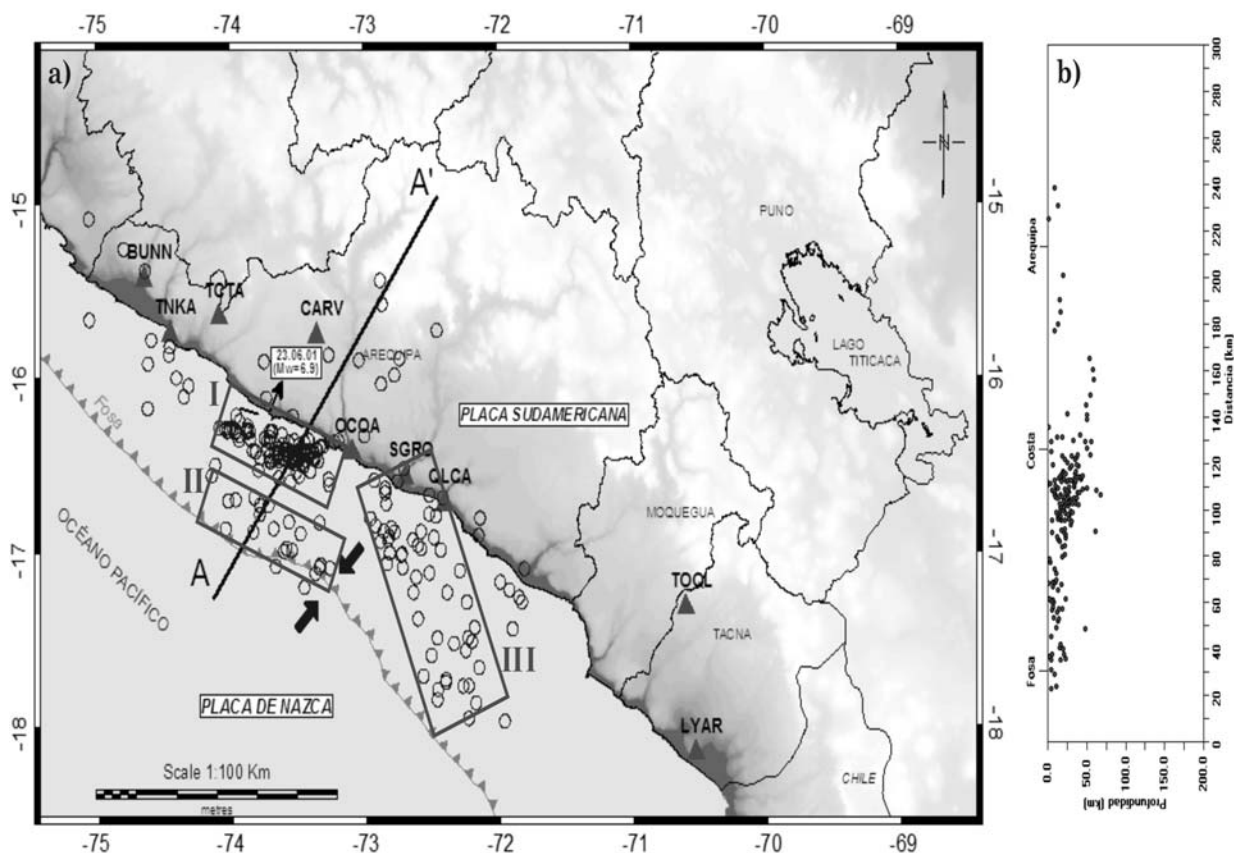


Figura 2.a). Distribución espacial de las réplicas del sismo del 23 de junio del 2001, donde se muestra hasta tres agrupaciones de sismicidad. b) Perfil de sismicidad siguiendo la sección A - A'.

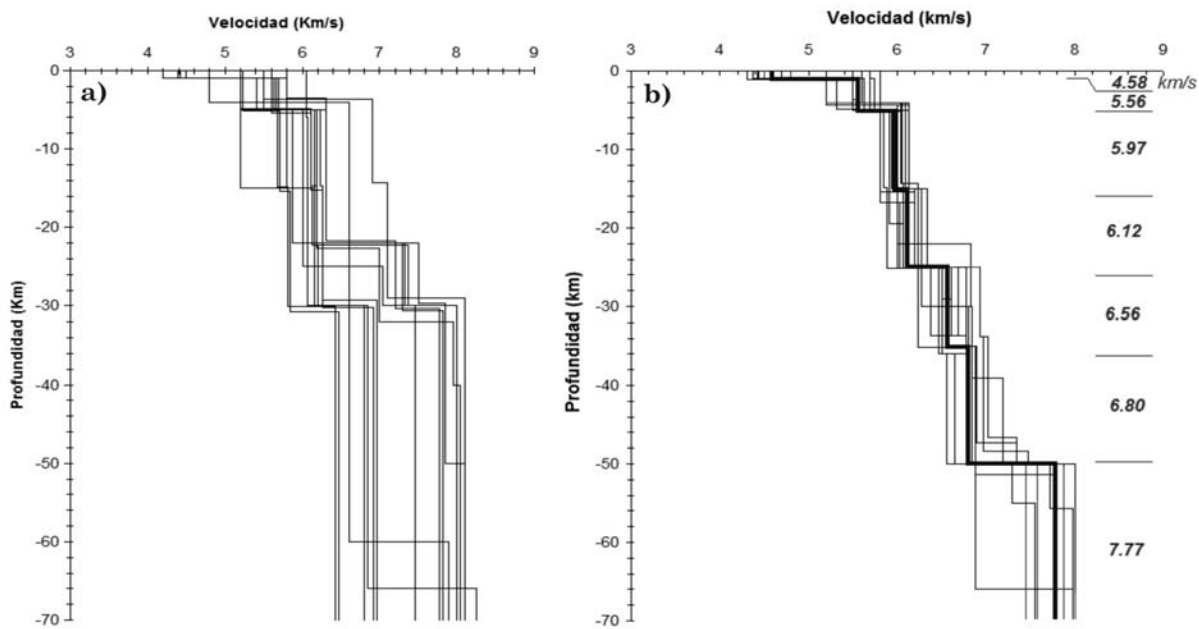


Figura 3.a). Modelos de velocidad inicial usados en el proceso de inversión. b) Modelos de velocidad final obtenidos después de la inversión. La línea gruesa indica el modelo de velocidad final.

obtenidos por Manrique y Tavera (2002).

Por otro lado, la relocalización de los sismos utilizados en este estudio usando el modelo de velocidad final, ha permitido reducir los valores finales del *rms* en un 85% respecto a los iniciales. Asimismo, el promedio de los errores en el tiempo de origen, latitud, longitud y profundidad, se redujeron en promedio en 0,5s, 2,0 km, 2,0 km y 4,0 km, respectivamente.

Finalmente, el modelo de velocidad obtenido satisface los siguientes requerimientos: a) la localización de los sismos y los valores de velocidad después de cada iteración no cambiaron significativamente; b) el valor de *rms* final para todos los eventos muestra una reducción significativa con respecto a los valores iniciales; c) el modelo de velocidad 1-D obtenido es razonable desde un punto de vista geológico y no infringe la información a *priori*. Por otro lado, la desviación estándar en los resultados de las inversiones se considera que está dentro de los márgenes de los errores de localización, además los valores de *rms* no cambiaron significativamente de una iteración a otra. Así queda definida la estabilidad de la solución.

Relocalización de la sismicidad local

Con el fin de verificar si el modelo de velocidad obtenido en el presente estudio mejora la localización de sismos se ha procedido a relocalizarlos, considerando los mismos parámetros de control y funciones de peso que se usaron en la localización inicial. En la figura 4 se muestra la distribución espacial de los 217 eventos relocalizados, los cuales se muestran mejor agrupados respecto a la localización inicial, manteniendo las mismas agrupaciones de sismicidad que se describieron anteriormente (Figura 2). De la misma manera, la sección en profundidad muestra una mejor distribución de los hipocentros, con mejor ajuste y tendencia en relación al plano de subducción.

Por otro lado, los valores de la raíz media cuadrática (*rms*) para las 217 relocalizaciones, usando el modelo de velocidad final (Figura 5) decrecen con respecto a los valores de *rms* iniciales, notándose que en su distribución prevalece el rango de valores entre 0 y 1 s (Línea sólida), mientras que, con el modelo anterior se tenían valores desde 0 hasta 1,8 s (Línea discontinua). De todo lo anterior se puede decir que el modelo de velocidad 1-D obtenido resuelve bien la localización de sismos en el área de estudio y por lo tanto, puede ser usado para futuros estudios de sismicidad y localización de sismos.

CONCLUSIONES

Obtener un modelo de velocidad para la región sur de Perú a partir de datos de una red sísmica local usando la teoría de inversión, permitirá obtener mejor precisión en la localización de sismos y por ende mejorar los resultados de futuros estudios de sismicidad y/o facilitar la elaboración de sismogramas sintéticos. Así, en el presente estudio, utilizando una base de datos proveniente de una red sísmica local y estableciendo modelos de velocidad inicial, se llevó a cabo el proceso de inversión mediante el programa *Veltest* para el cálculo de un modelo de velocidad. Los resultados de las inversiones de los modelos iniciales han permitido identificar cambios de velocidad importantes en la región sur de Perú, obteniendo así un modelo de velocidad final de onda P que consta de 7 capas las cuales se detalla a continuación: una primera capa de 1 km de espesor con una velocidad de 4,58 km/s, la segunda que llega hasta los 5 km de profundidad y tiene una velocidad de 5,56 km/s, la tercera que va hasta los 15 km de profundidad y tiene una velocidad de 5,97 km/s, la cuarta que va hasta los 25 km de profundidad con un ligero

incremento de velocidad que llega a 6,12 km/s, la quinta que va hasta los 35 km de profundidad y tiene una velocidad de 6,56 km/s, la sexta que llega hasta los 50 km de profundidad y tiene una velocidad de 6,8 km/s y finalmente la séptima capa con profundidades mayores a 50 km tiene una velocidad de 7,77 km/s.

Finalmente, el modelo de velocidad obtenido en el presente estudio resuelve mejor la localización de los sismos, dado que los errores en la localización utilizando este modelo, disminuyen con respecto a los errores usando el modelo inicial. Por otro lado, la relocalización de los eventos muestra un mejor ajuste de los hipocentros en el perfil de profundidad, notando que estos se alinean mejor al plano de subducción en el sur de Perú. Por lo tanto, el modelo de velocidad obtenido puede ayudar a mejorar las rutinas de localización de sismos y a su vez proporciona un mejor conocimiento de la distribución de velocidad de la onda P en el sur de Perú.

BIBLIOGRAFÍA

- Antayhua, Y., Tavera, H., Salas, H., Bernal, I., Rodríguez, S., Millones, J., Jiménez, C., Zamudio, Y. (2002). **Análisis espacial de las réplicas del sismo de arequipa del 23 de Junio de 2001 a partir de datos de una red sísmica local**. En Tavera, H. (Ed): *El Terremoto de Arequipa del 23 de Junio del 2001, Instituto Geofísico del Perú*, 47-58.
- De Mets, C., Gordon, R., Aarhus, A., y Stein, S. (1980). **Geophysical Journal International**, V101, 425-478.
- Dorbath, L., Dorbath, C., Jimenez, E. y Rivera, L. (1991). **Seismicity and tectonics deformation in the eastern cordillera and the sub-andean zone of central Peru**. *Journal of South American Earth Sciences.*, 4, 13-24.
- Grange, F., (1984). **Etude sismotectonique détaillée de la subduction lithosphérique au sud Pérou**. These pour Docteur, Univ. Scientifique et medicate de Grenoble, 300 pp.
- Kissling, E., Ellsworth, W.L., Eberhart-Phillips, D. and Kradolfer, U., (1994). **Initial reference models in local earthquake tomography**. *J. Geophys. Res.* 99, 19635-19646.
- Kissling, E., (1995). **Veltest Users Guide**, Internal report Institute of Geophysics, ETH Zurich, 26 pp.
- Lee, W.H.K., and Lahr, J.C., (1975). **Hypo71. A computer program for determining hypocenter, magnitude and first motion pattern of local earthquakes**. U. S. Geol. Surv., Open-File Rep., 75-311, 113 pp.
- Lindo, R. (1993). **Seismotectonique des andes du Perou central: Apport des donnes sismologiques de haute precision**. Ph.D. Thesis, Universite Louis-Pasteur, Strasbourg, France. 74 pp.
- Ocola, L.; Aldrich, L.; Gettrust, J.; Meyer, R. and Ramirez, J. (1975). **Project Nariño I: Crustal. Structure under Southern Colombian Norteen Ecuador Andes from Seismic refraction data**. *Bull seism soc. am.* vol. 65 no.6, 1681-1695.
- Manrique M. Tavera (2003). **Estimación del espesor de la corteza continental en centro y Sur de Perú a partir de fases PmP**. *Compendio de Trabajos de Investigación. CNDG Sismología. IGP. v. 4 (2003). 53-64.*
- Megard, F. (1978). **Etude géologique des Andes du Pérou central**. Mem. ORSTOM No 86, 310 pp.
- Tavera, H., Buforn, E., Bernal, I. (2002). **The Arequipa (Peru) earthquake of June 23, 2001**. *Journal of seismology* 6: 279-283 pp.
- Thurber, C. (1985). **Nonlinear earthquake location: Theory and examples**. *Bull. Seismol. Soc. Amer.*, 75, 779-790.
- Woollard, G. (1975). **The interrelationships of crustal and upper mantle parameter values in the Pacific.**, *Rev. Geophys.*, 13, 1, 87-137.

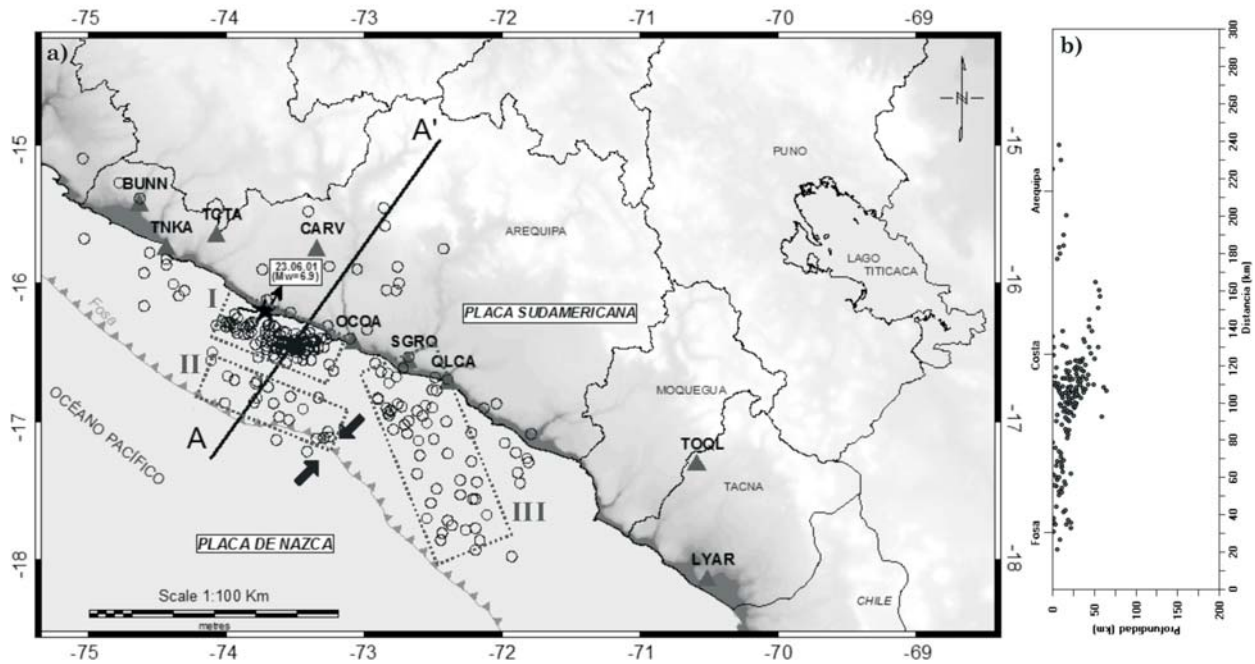


Figura 4.a). Distribución espacial de los 217 sismos relocados usando el modelo de velocidad obtenido en el presente estudio. Los rectángulos con línea discontinua corresponden a las agrupaciones que se describieron en la localización inicial. b) Perfil de sismicidad (A - A'), donde se observa un mejor ajuste de los hipocentros.

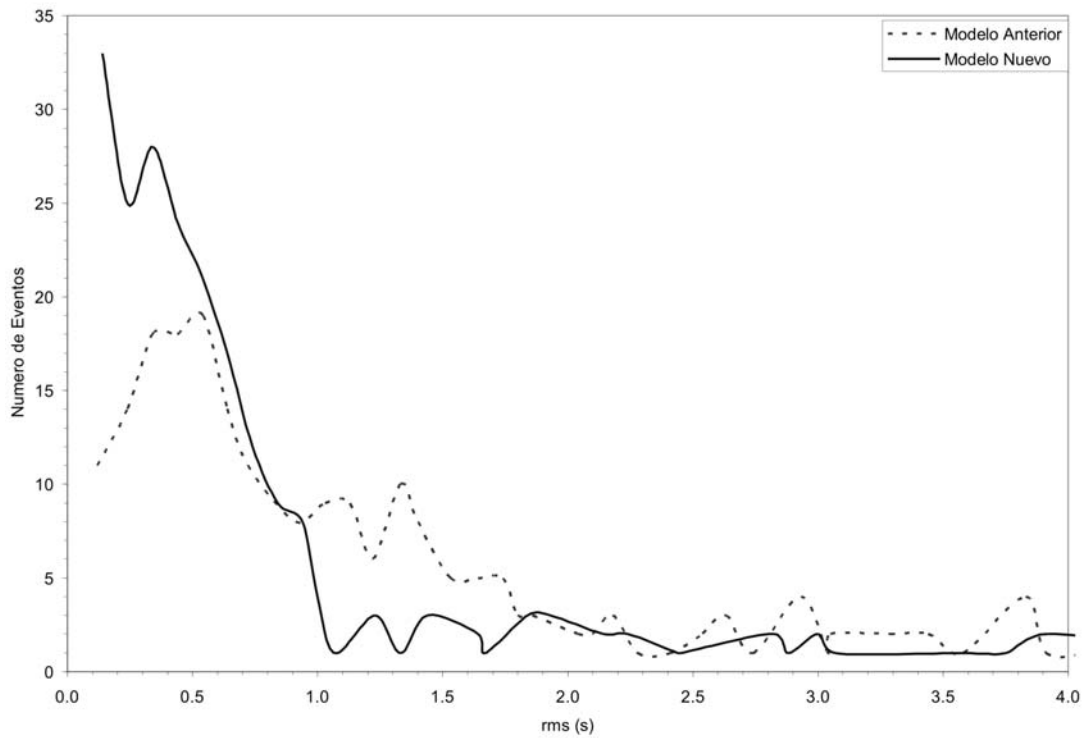


Figura 5. Distribución de los valores de rms resultante usando el modelo de velocidad anterior (línea discontinua) y el nuevo modelo de velocidad (línea continua).



Normas para la presentación de trabajos

- ✕ Los originales de los trabajos deben ser enviados a la Comisión Directiva de **GEOMINAS**, Final Av. Sucre, Calle San Simón, Campus La Sabanita, Escuela de Ciencias de la Tierra, Universidad de Oriente, Sede de FUNDAGEOMINAS. La Sabanita, Ciudad Bolívar, Venezuela, o a través de revistageominas@gmail.com ó fundag@cantv.net
- ✕ Los trabajos deben estar escritos en español, portugués o inglés en cualquier versión Word® para Windows®. Las imágenes se deben anexar en formato BMP, PCX, PNG, JPG, GIF o TIF; en escala de grises con resolución no menor de 300 ppp. Los artículos deberán ser presentados en cualquier medio de almacenaje electrónico para PC's o por los correos electrónicos señalados.
- ✕ La extensión máxima de los trabajos será de 12 páginas tamaño carta con margen superior, inferior y derecho de 3 cm e izquierdo de 4 cm, escritos en Arial tamaño 12, a un espacio y medio. La extensión señalada incluye tablas, gráficos, figuras, mapas e imágenes. Los trabajos no contendrán declaraciones de carácter político.
- ✕ Al inicio del artículo debe aparecer el título del mismo; debe señalarse el área temática a que pertenece el trabajo; el nombre de su(s) autor(es) con su(s) dirección(es) de trabajo, teléfono(s), fax(es), dirección(es) de correo electrónico; el artículo deberá contar con resumen en español y *abstract* en inglés, de extensión no mayor de 200 palabras; ambos deben describir brevemente, en un sólo párrafo, el objetivo y los más relevantes métodos, resultados y conclusiones del trabajo; deben incluirse 5 palabras claves en español y en inglés. Los trabajos deberán contar con, por lo menos, las siguientes secciones: Introducción, Planteamiento del problema o hipótesis, Metodología, Resultados, Discusión, Conclusiones, Referencias.
- ✕ Todas las ilustraciones, mapas, gráficos, tablas y figuras, deben contar con sus respectivos títulos. Las figuras se identificarán posterior a las mismas y se deberán numerar en arábigos. Las tablas se deberán identificar previo a las mismas y se deberán numerar en romanos. Los mapas deberán mostrar con claridad lo que se desea, por lo que se seleccionará la escala adecuada. Las fotografías deben ser de fuertes contrastes, acompañadas de una explicación o descripción del motivo de la misma. Absténgase de anexar imágenes o fotos borrosas pues no serán publicadas.
- ✕ Los motivos que contengan signos matemáticos deben presentarse con claridad e identificarlos perfectamente; definiéndolos donde aparezcan por primera vez, en las ilustraciones del texto. Las ecuaciones o fórmulas deberán ser enviadas como imágenes en cualquiera de los formatos señalados.
- ✕ Las citas y referencias deben obedecer a lo siguiente: Las citas deberán indicar el apellido del primer autor seguido por el del segundo autor o por *et al.* si se tratase de más de dos autores, y el año de publicación. Por ejemplo: (Herrero, 2002) o (Herrero y Montes, 2001) o (Vera *et al.*, 2000). Toda cita debe estar vinculada con referencia que se listará en la sección final del artículo denominada "Referencias". Tal lista se elaborará en orden alfabético de autores y deberá ceñirse a los siguientes ejemplos:
Libros:
Mendoza S, V. (2000). *Evolución geotectónica y recursos minerales del Escudo de Guayana en Venezuela (y su relación con el Escudo Sudamericano)*, Caracas: Minera Hecla venezolana, C. A.
Artículos en publicaciones periódicas:
Austin, G. S. (2000, Junio). Dimension Stone, *Mining Engineering*, 52(6), 38.
Artículos o capítulos en libros compilados u obras colectivas:
Barker, J. M., Austin, G. S. (1994). Piedra decorativa, En D. D. Carr (Comp.), *Industrial Minerals and Rocks*, (6a. ed.), USA: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. (pp 367, 372, 374-378).
Ponencias y publicaciones derivadas de eventos:
Herrero, J, Paúlo, A., Tinoco, G. (1997). La Ley de Minas del estado Bolívar y su Reglamento: Instrumentos Jurídicos para el Inversionista y Desarrollo Regional, Ponencia presentada en el VIII Congreso geológico venezolano, Porlamar, Venezuela.
Trabajos y tesis de grado:
Katsamatsas, C., Saavedra, S. (2000). Evaluación geológica-geotécnica del material de préstamo propiedad de la Alcaldía del Municipio Autónomo Heres, ubicado en Marhuanta, Trabajo de Grado no publicado, Universidad de Oriente, Ciudad Bolívar.
Trabajos de ascenso en el escalafón docente y similares:
Carretero (1994). Estudio geotécnico de las arenas utilizadas como agregado del concreto en el área de Ciudad Bolívar, Trabajo de ascenso no publicado, Universidad de Oriente, Ciudad Bolívar.

Entrevistas publicadas en medios impresos:

León, M. (2000, Agosto 27). Vía férrea unirá comercialmente al país. (Entrevista a Álvarez, R.), *El Universal*. 2-1.

Fuentes de tipo legal:

Ley de Minas del Estado Bolívar, (1997, julio 29). Gaceta Oficial del Estado Bolívar, N° 33 (Extraordinario), septiembre 8, 1997.

Folletos, boletines, hojas informativas y similares:

Salas, J. F. (2000, diciembre). Estudio integrado de interpretación sísmica 3D con facies clásticas. *Geominas (Revista de la Escuela de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Oriente)*, (28)28, p. 23-26.

Fuentes electrónicas:

Grimson, B (1995, junio). La producción de piedra desde la cantera a la baldosa, Australia: Asociación de Industria de Piedra Australiana, Disponible: <http://www.infotile.com.au/services/techpapers/prodston.html>

- ✘ Una vez recibidos los trabajos serán revisados por los especialistas que constituyen la Comisión de Arbitraje, los mismos podrán ser devueltos para ser mejorados o completados. En caso de ser rechazados no serán incluidos en la edición programada. No serán devueltos los originales a sus autores.
- ✘ Los autores deberán sugerir tres posibles árbitros con sus respectivas direcciones, número de fax y dirección de correo electrónico.

Items de arbitraje de los trabajos recibidos

- ✘ **Título:** ¿Incluye información de lo que trata el artículo? ¿Su longitud es apropiada?
- ✘ **Resumen:** ¿Es éste una representación concisa del artículo? ¿Tiene el formato adecuado? ¿Presenta los métodos, resultados y conclusiones? ¿Su extensión es apropiada (máximo 250 palabras)?
- ✘ **Palabras claves:** ¿Son adecuadas al artículo? ¿Cuál añadiría que fuese relevante?
- ✘ **Introducción:** ¿Presenta una descripción del tema central? ¿Establece claramente los objetivos del trabajo?
- ✘ **Metodología:** ¿Son los métodos empleados claramente descritos? ¿Son el diseño experimental y los métodos, los más apropiados para alcanzar los objetivos? ¿Es posible duplicar la investigación con los elementos expuestos en esta sección? ¿Son apropiados los métodos estadísticos utilizados?
- ✘ **Resultados:** ¿Son presentados de manera adecuada y coherente? ¿Representa una descripción demasiado detallada de las tablas y figuras?
- ✘ **Tablas:** ¿Son todas necesarias o duplican la información presentada en el texto o en las figuras? ¿Puede alguna de ellas ser transformadas en figuras para resumir o facilitar la comprensión de los datos? ¿Están estas demasiado recargadas de información? ¿Son los encabezados una buena descripción de ellas?
- ✘ **Figuras:** ¿Son todas necesarias o representan una duplicación de los datos presentados en los resultados o en las tablas? ¿Es toda la información presentada legible? ¿Aportan información importante o son irrelevantes para la presentación de los resultados? ¿Son los encabezados una buena descripción de ellas?
- ✘ **Discusión:** ¿Existen errores de interpretación de los datos presentados? ¿Es relevante toda la discusión? ¿Hay aspectos importantes de los resultados que no son discutidos? ¿Se repite información de la sección resultados? ¿Se hacen afirmaciones no sustentadas por los datos u otros autores?
- ✘ **Conclusiones:** ¿Representan conclusiones lógicas del trabajo basadas en la discusión o son una repetición de los resultados?
- ✘ **Referencias:** ¿Existe correspondencia entre las referencias citadas en el texto y esta sección? ¿Las referencias citadas son todas necesarias o se puede prescindir de alguna(s) de ella(s)? ¿Es la revisión bibliográfica vigente y concisa?
- ✘ **Extensión del artículo:** ¿Puede éste ser acordado sin perder calidad o información relevante?
- ✘ **Pertinencia:** ¿Es un trabajo original? ¿Representa el artículo un aporte al conocimiento científico? ¿Es el tema adecuado para el boletín GEOMINAS?
- ✘ **Calidad:** ¿En general, el estilo del manuscrito tiene calidad para ser publicado? ¿Podiera mejorarse en alguna forma?
- ✘ **Verdicto:** El trabajo es: PUBLICABLE SIN MODIFICACIONES, PUBLICABLE CON CORRECCIONES, NO PUBLICABLE.



FUNDACIÓN DE AMIGOS Y EGRESADOS DE LA ESCUELA DE
INGENIERÍA GEOLÓGICA Y MINAS DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE

**CONSULTORA AMBIENTAL (MINAMB RCA-052)
IAMIB (RECON: CNS-001)**



GEOLOGÍA

*Levantamientos geológicos,
geofísicos, geoquímicos
Cartografía geológica
Estudios geomorfológicos
Erosión de suelos
Procesos sedimentológicos
Análisis petrológicos,
mineralógicos y petrográficos
Ensayos de laboratorio*

GEOTECNIA

*Investigaciones
hidrológicas/geotécnicas
Levantamientos topográficos y
geodésicos
Perforación y sondeos
Suelos y fundaciones
Proyectos, diseños y cálculos
estructurales y vialidad
Ensayos de suelos*

MINERÍA

*Investigaciones mineras
Diseños de minas
Planificación minera
Gerencia de proyectos mineros
Mecánica de rocas
Diseño y control de voladuras
Estudios de factibilidad técnico-
económicos
Valuación de minas*

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

*Procesamiento, interpretación e
información sobre recursos
naturales
Planificación de recursos
Estudios y trámites ambientales
Recuperación de áreas intervenidas*

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS DE AGUAS

*Dureza, alcalinidad total, elementos
alcalinos, clóruros, sólidos
suspendidos, sólidos totales, pH,
oxígeno disuelto, demanda
bioquímica de oxígeno, etc.*

ANÁLISIS DE MINERALES EN ROCAS, SUELOS, SEDIMENTOS Y AGUAS

*Determinación de elementos
químicos, humedad, pérdida por
ignición, gravedad específica,
densidad aparente*

ANÁLISIS PARA DETERMINAR ORO EN:

*Rocas, suelos, arenas,
alimentación de molinos, pulpas,
colas, soluciones cianuradas*

ANÁLISIS DE MERCURIO EN:

*Arenas, sedimentos, agua, orina y
sangre*

Calle San Simón, campus universitario "J. N. Perfetti". Escuela de
Ciencias de la Tierra de la Universidad de Oriente, frente a la plaza "J. N.
Perfetti". Ciudad Bolívar. Estado Bolívar. Venezuela. e-mail:

Nuestro propósito: Recursos y servicios

