

FROM FUNDAMENTALS TO APPLICATIONS IN
GEOTECHNICS

This page intentionally left blank

From Fundamentals to Applications in Geotechnics

Proceedings of the 15th Pan-American Conference on Soil
Mechanics and Geotechnical Engineering, 15–18 November 2015,
Buenos Aires, Argentina

Edited by

Diego Manzanal

CONICET-UBA-UNPSJB, Argentina

and

Alejo O. Sfriso

Universidad de Buenos Aires (UBA), Argentina

IOS
Press

Amsterdam • Berlin • Washington, DC

© 2015 The authors and IOS Pres.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, without prior written permission from the publisher.

ISBN 978-1-61499-602-6 (print)

ISBN 978-1-61499-603-3 (online)

Publisher

IOS Press BV

Nieuwe Hemweg 6B

1013 BG Amsterdam

Netherlands

fax: +31 20 687 0019

e-mail: order@iospress.nl

Distributor in the USA and Canada

IOS Press, Inc.

4502 Rachael Manor Drive

Fairfax, VA 22032

USA

fax: +1 703 323 3668

e-mail: iosbooks@iospress.com

LEGAL NOTICE

The publisher is not responsible for the use which might be made of the following information.

PRINTED IN THE NETHERLANDS

Preface

The Argentinean Geotechnical Engineering Society (SAIG) is pleased to present the proceedings of the 15th Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (XV PCSMGE), held in Buenos Aires (Argentina) from 15th to 18th November 2015.

From the first Pan-American Conference in Mexico in 1959, Pan-American Conferences have been held every four years in different countries in the Americas: Brazil in 1963, Venezuela in 1967, Puerto Rico in 1971, Argentina in 1975, Peru in 1979, Canada in 1983, Colombia in 1987, Chile 1991, Mexico in 1995, Brazil in 1999, the USA in 2003, Venezuela in 2007, and Canada in 2011.

This time, PCSMGE XV – Buenos Aires 2015 has coincided with another three important events for geo-professionals: the 8th South American Conference on Rock Mechanics, the 6th International Symposium of Deformation Characteristics of Soils and the XXII Argentinean Congress of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (CAMSIG XXII).

This meeting has brought together international experts, researchers, academics, professionals and geo-engineering companies in a unique opportunity to exchange ideas and discuss current and future practices in the areas of soil mechanics, rock mechanics, and their applications in civil, mining and environmental engineering.

The Proceedings are divided into nine technical sessions covering the modern trends and classical topics of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. They collect the articles accepted for publication after anonymous peer-review. Four hundred and forty five articles were submitted, and after the peer-review process, 405 were accepted for publication. The articles cover significant advances in the areas of Transportation Geotechnics, In-situ testing, Geo-engineering for Energy and Sustainability, Numerical Modeling in Geotechnics, Foundations & Ground improvement, Unsaturated Soil Behavior, Embankments, Dams and Tailings, Excavations and Tunnels, and GeoRisks. The proceedings are complemented by the book “Geotechnical Synergy in Buenos Aires 2015” which includes the Casagrande Lecture, the Mercer Lecture, 3 plenary lectures, 9 keynote lectures and 6 panelists’ contributions, authored by eminent researchers and professionals in the field and covering a wide spectrum of issues from fundamentals to applications in geotechnics. This collection of papers will surely represent an essential reference for academics, researchers and practitioners.

The Conference was organized under the auspices of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE) and the International Society of Rock Mechanics (ISRM). On behalf of the Organizing Committee, the editors would like to express their gratitude for the contribution of the members of the National and International Advisory Committee and all the sponsors and institutions who generously contributed to and supported the success of the Buenos Aires Conferences 2015.

Finally, we would like to extend our thanks to all the authors who submitted papers to the conference and to the reviewers who invested significant effort and dedicated some of their valuable time to enhancing the quality of these contributions. We would also like to acknowledge the work and the support of the Session Chairs.

We hope that these Proceedings will strengthen the unity between academics, researchers and geo-practitioners from the Americas that was evident at the Conference, and we trust that it will be considered an essential reference volume in the field of our profession.

Diego Manzanal

Alejo O. Sfriso

Buenos Aires, 15–18 November 2015

Conference Organization

Organizing Committee - XV PCSMGE – Buenos Aires 2015

Chairman: Alejo O. Sfriso

Secretary: Diego Manzanal

Treasurer: Mauro Codevilla

Core Organizing Committee

- Alberto Dal Farra
- Juan Manuel Fernández Vincent
- Pablo Torres
- Ricardo Barletta
- Ricardo Rocca
- Víctor Rinaldi

Organizing Committee

- Arnaldo Barchiesi
- Augusto Leoni
- Emilio Redolfi
- Franco Francisca
- Gustavo Mosquera
- Jorge Laiún
- Luciano Oldecoop
- Malisa Pardini
- Marcelo Zeballos
- Marcos Montoro
- Mariana Mendiguren
- Martín Boefer
- Nilo Cesar Consoli (Brazil)
- Oscar Moreno
- Pablo Giordano
- Pedro Agustín Covassi
- Ricardo Schiava
- Roberto Flores
- Roberto Quental Coutinho (Brazil)
- Sandra Orlandi
- Sergio Augusto Barreto da Fontoura (Brazil)
- Sergio Heredia
- Sergio Reyes
- Silvia Angelone
- Sussumu Niyama (Brazil)
- Virginia Sosa

Advisory Committee

- Eduardo Núñez
- Eugenio Mendiguren
- Hugo Vercelli
- Juan José Goldemberg
- Oscar Vardé

International Advisory Committee

- Adrián Rodríguez-Marek (USA)
- Antonio Bobet (USA)
- Arcesio Lizcano (Colombia)
- Arsenio Negro (Brazil)
- Bernardo Caicedo (Colombia)
- Celso Romanel (Brazil)
- Claudia Zapata (USA)
- Dante Fratta (USA)

- Ennio Marques Palmeira (Brazil)
- Fernando Marinho (Brazil)
- Fernando Schnaid (Brazil)
- Gonzalo Montalva (Chile)
- Guillermo Narsilio (Australia)
- J. Abraham Díaz-Rodríguez (México)
- J. Carlos Santamarina (USA)
- Jean Michel Pereira (France)
- Jorge Zornberg (USA)
- Juan de Dios Alemán Velásquez (Mexico)
- Juan Manuel Pestana Nascimento (USA)
- Katia Bicalho (Brazil)
- Laureano Hoyos (USA)
- Leonardo José do Nascimento Guimarães (Brazil)
- Manuel Pastor (Spain)
- Marcelo Sánchez (USA)
- Marcio de Souza Soares de Almeida (Brazil)
- Marcio Muniz de Farias (Brazil)
- Pedro Arduino (USA)
- Ramón Verdugo (Chile)
- Roberto Azevedo (Brazil)
- Walter Paniagua (Mexico)

Conference Advisory Committee ISSMGE

- Roger Frank, President ISSMGE
- Neil Taylor, Secretary ISSMGE
- Paul W Mayne, VP North America
- G. Auvinet Guichard, former VP North America
- Jarbas Milititsky, VP South America
- Roberto Terzariol, Former VP South America
- Giovanni Cascante, Former Secretary PCSMGE

Steering Committee SAIG

- President (2011–2015): Alejo Oscar Sfriso
- Secretary (2011–2015): Mariana Mendiguren
- Treasurer (2011–2015): Mauro Codevilla
- President (2015–2017): Roberto Terzariol
- Secretary (2015–2017): Diego Manzanal
- Treasurer (2015–2017): Julio Capdevilla

Session Chairs:

1A – Transportation Geotechnics

- Claudia Zapata – USA
- Bernardo Caicedo – Colombia
- Silvia Angelone – Argentina
- Marcio Muniz de Farias – Brazil

1B – In Situ Testing

- Fernando Schnaid – Brazil
- Dante Fratta – USA
- Pablo Torres – Argentina
- Marcio de Souza Soares de Almeida – Brazil

1C – Geo-Engineering for Energy and Sustainability

- Marcelo Sánchez – USA
- Guillermo Narsilio – Australia
- José Alvarellos – Spain
- Leonardo Guimaraes – Brazil

1D – Numerical Modelling in Geotechnics

- Arcesio Lizcano – Canada
- Pedro Arduino – USA
- Ricardo Schiava – Argentina

1E – Foundations & Ground Improvement

- Nilo Consoli – Brazil
- Walter Paniagua – Mexico
- Juan M Fernández Vincent – Argentina

1F – Unsaturated Soils

- Fernando Marinho – Brazil
- Luciano Oldecop – Argentina
- Laureano Hoyos – USA
- Katia Vanessa Bicalho – Brazil

1G – Embankments, Dams and Tailings

- Marcelo Zeballos – Argentina
- Juan de Dios Alemán Velásquez – Mexico
- Ennio Marques Palmeira – Brazil
- Ramón Verdugo – Chile

1H – Excavations and Tunnels

- Antonio Bobet – USA
- Arsenio Negro – Brazil
- Martín Boefer – Argentina
- Jorge Laiún – Argentina

1I – Geo-Risks

- Adrián Rodríguez-Marek – USA
- Arnaldo Barchiesi – Argentina
- Gonzalo Montalva – Chile

Peer-Reviewers of Buenos Aires Conferences 2015

Abdelkareem Alzo'ubi

Abel Jacinto

Adam Bezuijen

Adinele Guimaraes

Adrián Rodríguez-Marek

Agustin Adami

Alan Luttenegger

Alejandro Kerguelen

Alejandro Pujol

Alejandro Verri

Alejo O. Sfriso

Alessandra Conde De Freitas

Alexandra Ossa López
 Alexandre Gomes
 Alfonso Mariano Ramos
 Alfredo López
 Alvaro Gutierrez
 Alvaro Pereira
 Américo Fernandez
 Andrew Cho
 Andrzej Niemunis
 Anna d'Onofrio
 Anna Peixoto
 Antonio Bobet
 Antonio Gomes Correia
 Antonio Lloret
 Antônio Thomé
 Apollonia Gasparre
 Aravind Pedarla
 Arcesio Lizcano
 Ariel Abad
 Ariel di Rado
 Arnaldo Barchiesi
 Arsenio Negro
 Asal Bidarmaghz
 Augusto Jose Leoni
 Aurea Perucho
 Beatrice Baudet
 Belayneh Desta
 Bernardo Caicedo
 Bernardo Castellanos
 Briardo Pacheco
 Carlos Carranza-Torres
 Carlos Grandas
 Carlos Jaramillo
 Carol Murillo
 Carola Sanhueza
 Celso Romanel
 Cesar Pasten
 Christian Ledezma
 Christian Mendoza
 Christophe Dano
 Claudia Medina
 Claudio Fernando Mahler
 Cristina de Santiago
 Crysthian Purcino
 Dante Fratta
 David Airey
 Deb Mishra
 Diego Lo Presti
 Diego Manzanal

Diego Turello
 Dipanjan Basu
 Edgar Bard
 Edgar Rodriguez Rincón
 Edmundo Rogerio Esquivel
 Eduardo Botero Jaramillo
 Eduardo Capdevila
 Eduardo Luis Martin
 Eduardo Nuñez
 Emilio Redolfi
 Enmanuel Carvajal Diaz
 Ennio Marques Palmeira
 Enrique Asanza
 Erinaldo Hilário Cavalcante
 Ernesto Abril
 Erol Tutumuer
 Esteban Saez
 Estefanía Muñoz
 Eugenio Mendiguren
 Ezequiel Zielonka
 Federico Paz
 Federico Pinto
 Federico Pisano
 Fernando Lopez
 Fernando Mantaras
 Fernando Marinho
 Fernando Martinez
 Fernando Schnaid
 Francisco Arroyo
 Francisco Mingorance
 Francisco Ruz
 Franco M. Francisca
 Freddy Lopez
 Gabriele Della Vecchia
 Gastón Quaglia
 Gerardo Botasso
 Germán Van de Velde
 Gilson Gitirana, Jr.
 Gonzalo Martín Aiassa
 Gonzalo Montalva
 Goran Vukotic
 Gregg Fiegel
 Guillermo Narsilio
 Guillermo Zavala
 Haitao Yu
 Haitham Dawood
 Hasan Kazmee
 Hebe Barber
 Heinrich Heinz, Jr.

Heraldo Giacheti
 Herve Di Benedetto
 Hesham El Naggar
 Hugo Bianchetto
 Ignacio Ezama
 Ignacio Maldonado
 Ignacio Vernengo
 Iñaki García Mendive
 Jaeho Lee
 James B. Nevels, Jr.
 Jan Bohac
 Jarbas Milititsky
 Javier Buraschi
 Javier González
 Jayhyun Kwon
 Jean Michel Pereira
 Jerónimo Caffaro
 Joaquín Cáñchero
 John Mccartney
 Jorge Juan Marcuzzi
 Jorge Laiún
 Jorge Ramoneda
 José Ale Véliz
 José Alvarellos
 José Antonio Schiavon
 José Estaíre
 José Fernandez Merodo
 José Fernando Thomé Jucá
 Jose Segovia
 Juan Carlos Rojas Vidovic
 Juan De Dios Alemán Velásquez
 Juan Felix Rodriguez
 Juan José Clariá
 Juan José Goldemberg
 Juan Manuel Fernandez Vincent
 Juan Muñoz
 Juan Pablo Ibañez
 Juliane Marques
 Julio Alfredo Capdevila
 Katia Vanessa Bicalho
 Kevin Gaspard
 Ku Taeseo
 Kyle Rollins
 Laureano Hoyos
 Leonardo Guimaraes
 Lucas Festugato
 Luciano Oldecop
 Lúcio Flávio de Souza Villar
 Lucio Gerardo Cruz

Luis Alberto Torres Cruz
 Luis Felipe Prada
 Luis Lemos
 Luis Valenzuela
 Luis Vallejo
 Luiz Sozio
 Macarena Ayarza
 Mahdi Disfani
 Mahdi Taiebat
 Mahsa Hedayati
 Manuel Ocampo
 Manuel Pastor
 Marcela Gonzalez
 Marcello Teixeira
 Marcelo Eberhardt
 Marcelo Sanchez
 Marcelo Zeballos
 Márcia M. Dos Anjos Mascarenh
 Marcio Muniz de Farias
 Marco Terzariol
 Marcos Barreto de Mendonça
 Marcos Carniglia
 Marcos Emanuel Calvente
 Marcos Massao Futai
 Marcos Montoro
 Maria Claudia Barbosa
 María Cristina Herrera
 Maria Do Socorro São Mateus
 María Elizabeth Pardini
 Maria Gardoni
 María Pía Cruz
 Maria Teresa Zandarin
 Mariana Mendiguren
 Mariano Balbi
 Marina Casaux
 Marlisio O. Cecilio
 Martín Boefer
 Martín Sanchez
 Mary Ellen Large
 Matías Calvente
 Matthew Coop
 Mauricio Abramento
 Mauricio Ehrlich
 Mauricio Giambastiani
 Mauro Codevilla
 Mauro Poblete
 Mehran Mazari
 Michéle Dal Toé Casagrande
 Michelle Akin

Miguel Jaramillo
 Miguel Martins Stickle
 Miguel Pando
 Miguel Soto
 Monica Prezzi
 Muhammad Safdar
 Murad Abu-Farsakh
 Nancy Whiting
 Natalio Figueroa
 Negar Tavafzadeh
 Nicolás Espinoza
 Nicolas Estrada
 Nilo Consoli
 Noemí Graciela Maldonado
 Norberto Jorge Cerutti
 Norma Patricia Lopez Acosta
 Orencio Vilar
 Oscar Cordo
 Oscar Giovanon
 Oscar Moreno
 Oscar Taiba
 Osvaldo Ledesma
 Otavo Santos
 Pablo Abbona
 Pablo Cuellar
 Pablo Mira McWilliams
 Pablo Torres
 Patricia Hennig Osmari
 Paul Mayne
 Paula Vettorelo
 Paulo Albuquerque
 Paulo Orostegui
 Paulo Teixeira da Cruz
 Pedro Arduino
 Pedro Arrúa
 Pedro Covassi
 Pedro D. Marques Priett
 Priscilla Paniagua Lopez
 Rafael Baltodano
 Ramiro Verastegui Flores
 Ramón Verdugo
 Raydel Lorenzo
 Renato Cabral Guimarães
 Renato Cunha
 Ricardo Barletta
 Ricardo Bergan Born
 Ricardo Nicolau
 Ricardo Rocca

Ricardo Schiava
 Riccardo Corti
 Richards Regueiro
 Robb Moss
 Roberto Flores
 Roberto Morandi
 Roberto Terzariol
 Rodney Collins
 Rodrigo Molina
 Rodrigo Murillo
 Rodrigo Salgado
 Sabatino Cuomo
 Sadaf Khosravifar
 Sandra Orlandi
 Sandro Machado
 Sebastián S. Fernandez
 Sedat Cetin
 Sergio A. Reyes
 Sergio Diaz
 Sergio Fontoura
 Sergio Sepúlveda
 Shunyi Christopher Chen
 Silvia Angelone
 Sílvio Romero de Melo Ferreira
 Stephen Lane
 Stuart Colls
 Sudip Basack
 Svetlana Melentijevic
 Tacio de Campos
 Tae Sup Yun
 Tatsuya Ishikawa
 Thomas Brandon
 Tiago Dias
 Tomás Laria
 Víctor Rinaldi
 Virginia Sosa
 Vitor Pereira Faro
 Waldemar Hachich
 Walter Paniagua
 Werner Bilfinger
 William Fuentes
 William Lawson
 Willy Alvarenga Lacerda
 Xavier Vera Grunauer
 Xinbao Yu
 Xiong Zhang
 Yazen Khasawneh
 Yolanda Alberto Hernande

Contents

Preface	v
<i>Diego Manzanal and Alejo O. Sfriso</i>	
Conference Organization	vii

Part 1

Section A. Transportation Geotechnics

Application of Soil-Enzyme for Stabilization of Soils in Paving	3
<i>José Adriano Cardoso Malko, Rubens Brazetti, Michèle Dal Toé Casagrande and Ben-Hur de Albuquerque e Silva</i>	
Comportamiento del Balasto Contaminado con Arena Mediante Ensayos Triaxiales de Gran Tamaño	11
<i>José Estaire y María Santana</i>	
Rigid Pavements Rehabilitation Through Rubblizing Technology. Bearing Capacity Evaluation in the National Route N° A-008 (Santa Fe Province, Argentina)	19
<i>Jorge Ramoneda, Fabricio Gerbaudo, Jose M. Bucciarelli and Raúl Yaryez</i>	
Mapa Geotécnico y Mapas de Riesgo de Suelos de la Región Oriental del Paraguay	30
<i>Lisa Lugo y Norma Cantero</i>	
Desempeño de un Tramo Experimental de Pavimento con Capa de Base de Suelo Modificado con Ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar y Cal	38
<i>Leonardo Behak, Marcos Musso, Gustavo Piñeiro y Federica Selves</i>	
Measurement and Numerical Modeling of the Mechanical Damping of Impact Forces by a Ballast Layer	46
<i>Delphine Jacqueline, Eric Dimnet, Sahar Hemmati and Gratien Vincelas</i>	
Laboratory Testing of Clays to Obtain Effective Strength Envelopes for IH-35E Design-Build Project in North Texas	55
<i>Oswaldo Bravo, Deepak K. Neupane and Steven M. Levorson</i>	
Innovative Technologies for the Control of Soil Compaction: Review of the State of the Art and Experiences in Chile	63
<i>Felipe Herrera, Raúl Espinace and Juan Palma</i>	
Estabilización de Subrasante Loésica con Silicato de Sodio Líquido	71
<i>María Pía Cruz, Italo Martín, Carlos Arnaudo y Nicolás Vigilante</i>	
Analysis of Compaction for Fine Clay Soils Using a New One-Dimensional Compaction Equipment	79
<i>William Ovalle, Bernardo Caicedo and Cristhian Mendoza</i>	

Estudos Experimentais de um Solo Aditivado com Cimento Portland para Aplicação em Camadas de Pavimentos <i>Guilherme Bravo de Oliveira Almeida, Michéle Dal Toé Casagrande e Erinaldo Hilario Cavalcante</i>	87
Geotechnical Behaviour of Unpaved Roads: Understanding the CBR Test <i>Bernardo Caicedo and Cristhian Mendoza</i>	95
Behaviour of Granular Materials for Pavements in a Hollow Cylinder Apparatus <i>Bernardo Caicedo, Manuel Ocampo and Luis Vallejo</i>	101
Behaviour of Geocell Reinforced Sub-Ballast Under Cyclic Loading <i>M. Mahdi Biabani, Buddhima Indraratna and Sanjay Nimbalkar</i>	109
Measurement of Shear Modulus Using Bender Elements and Resonant-Column <i>Cláudio Pereira, António Gomes Correia, Cristiana Ferreira, Jaime Santos and João Santos</i>	120
Case Study: Geotechnical Studies for Qatar Roadways <i>Khaled Al-Akhras and Abdulla Al-Meraikhi</i>	130
Compaction Interpreted in the Framework of Unsaturated Soil Mechanics <i>Bernardo Caicedo, Julián Tristanco, Luc Thorel and Serge Leroueil</i>	138
Control de Calidad de Pavimentos Relevamiento del Acceso al Puerto de M'Bopicuá <i>Álvaro Gutiérrez, Juan Pablo González, Javier Belsito y Diego Oromí</i>	146
Fluência em Geotêxtil Não Tecido de Poliéster Utilizando o Método SIM <i>Lucas Deroide do Nascimento, Thiago Rocioli Barbosa, Jefferson Lins da Silva e Clever Aparecido Valentin</i>	154
New Model for Improved Rutting Prediction in Unbound Aggregate Layers for Mechanistic-Empirical Pavement Design <i>Debakanta Mishra, Liang Chern Chow and Erol Tutumluer</i>	162
Effects of Ballast Degradation on Shear Strength Behavior from Large-Scale Triaxial Tests <i>Yu Qian, Erol Tutumluer, Youssef M.A. Hashash and Jamshid Ghaboussi</i>	170
Behavior of Subgrade Granular Soils Under Dinamyc Loads: Permanent and Resilient Deformation <i>Marina Cauhape Casaux, María Sol Tadeo, Silvia Angelone and Fernando Martínez</i>	180
High Rockfill Embankment for the Extension of an Airport Main Runway <i>Jorge Cañizal, Jorge Castro, Almudena Da Costa, César Sagaseta and Pedro Sola</i>	188
Evaluation of Structural Indices Inferred from Nondestructive Deflection Tests on Pavements <i>Gloria Beltran and Miguel Romo</i>	196

Effect of Water Salinity and Leaching on the Compressibility of Sabkha Soil Under a Road Embankment <i>Belkacem Moussai and Ali Messad</i>	204
Avaliação do Emprego de Misturas de Solo e Resíduo de Polimento de Porcelanato para Pavimentação <i>Silvia Cristina Justo Fernandes Nobre de Araujo e Carina Maia Lins Costa</i>	212
Falencias en el Diseño Dejadas al Descubierto por Múltiples Fallas de Estructuras de Contención Durante el Fenómeno de La Niña en Colombia <i>Jose Manuel Alvarez Lugo</i>	220
Estimativa da Umidade Ótima e do Peso Específico Seco Máximo para Solos Granulares Compactados <i>R.A dos Santos, B.P. Rocha e A.L. Christoforo</i>	228
Estabilización de Suelos Blandos con Geosintéticos <i>Carlos Moreno, Sandra Perez y Nestor Sifuentes</i>	236
Caracterización de Concretos Asfálticos Elaborados con Residuos de Demolición y Construcción (RCD) <i>Alexandra Ossa y José Luis García</i>	244
Costos de los Deslizamientos en Proyectos de Carreteras <i>Juan Montero O.</i>	252
Evaluación de Metodologías de Diseño de Sobrecarpetas Basada en Criterios del Cuenco de Deflexiones en la Ciudad de Bogotá <i>Orlando Elias Gomez Maldonado y Carol Andrea Murillo</i>	260
Geotechnical Investigation for Regional Connector Transit Corridor Project in Los Angeles, California <i>S.H. Jason Choi, Debanik Chaudhuri, Martin B. Hudson and William H. Hansmire</i>	268
Site Response Analysis for Seismic Design for Regional Connector Transit Corridor Project in Los Angeles, California <i>Debanik Chaudhuri, Martin B. Hudson, S.H. Jason Choi and William H. Hansmire</i>	280
Large Scale Laboratory Testing to Evaluate Axial Load Capacity of Sheet Piles for Bridge Abutments <i>Matthew B. Sylvain, Miguel A. Pando, Matthew J. Whelan, Vincent O. Ogunro, Youngjin Park and Thomas Koch</i>	290
Evaluation of Railway Track Substructure Using Ground Penetrating Radar Coupled with Time Domain Reflectometry <i>Abdullah Alsabhan, Dante Fratta and James Tinjum</i>	298
The Evaluation of Permanent Deformation of One Fine-Grained Soil Undergoing Drying and Wetting <i>Natalia Perez, Paul Garnica, Delwyn G. Fredlund and Daniel Lavariega</i>	306
Stochastic Solution to the Subgrade Resilient Modulus: Monte Carlo Approach <i>Daniel C. Rosenbalm and Claudia E. Zapata</i>	314

Problems Associated with Railroads on Shrink-Swell Soils <i>Dong Wang, Marcelo Sánchez and Jean-Louis Briaud</i>	322
Caracterización de Suelos Dispersivos en la Región Occidental del Paraguay Zona Ruta Nacional N°9 <i>Carlos Cruz, Atilio Perazzo, Norma Cantero y Lisa Lugo</i>	331

Section B. In Situ Testing

Estudo Experimental de Solo Reforçado com Fibra de Coco Utilizando Ensaios de Placa de Grande Magnitude para Aplicação em Obras Geotécnicas <i>J.G. Sotomayor e M.D.T. Casagrande</i>	341
Behavior of Plate Load Test in Sedimentary Soil in São Paulo/Brazil <i>Paulo José Rocha Albuquerque, Leandro Tomio Noguchi and Alexsander Silva Mucheti</i>	349
Plate-Load-Tests on Soil from the Barreiras Formation in Maceió-Al – Case Study <i>J.A.F. Marques, R.F. Marques and D.L. Ramos</i>	357
Non-Destructive Control Methodology for Micropiles Based on Low Strain Dynamic Load Test <i>R. Matias Calvente, Pierre Breul, Miguel Angel Benz, Roland Gourves, Claude Bacconnet and Philippe Gotteland</i>	365
Evaluating Installation Disturbance from Helical Piles and Anchors Using Compression and Tension Tests <i>Alan J. Lutenegeger and Cristina de H.C. Tsuha</i>	373
Monitoreo de Hincado de Pilotes a Través del Equipo PDA – Nuevo Muelle del Puerto de Paíta, Perú <i>Luis Machado</i>	382
Pile Set-Up for Individual Soil Layers Along Instrumented Test Piles in Clayey Soil <i>Nafiul Haque, Murad Abu-Farsakh and Qiming Chen</i>	390
Post-Grouted Drilled Shaft Behavior <i>Carlos F. Gerbaudo, Marcelo E. Zeballos, Guillermo Gerbaudo, Esteban Zecchin and Luis Figliozzi</i>	398
CPT-Based Soil Type Classification in a Platinum Tailings Storage Facility <i>Luis Alberto Torres-Cruz</i>	406
Continuous Flight Auger (CFA) Piles – A Review of the Execution Process and Integrity Evaluation by Low Strain Test <i>Felipe C. Bungenstab and Jorge W. Beim</i>	414
New Capacitive Sensor for In-Situ Soil Moisture Estimation <i>Amir Orangi and Guillermo A. Narsilio</i>	422
Influence of Angular Thrust in the Measurement of Torque in the SPT-T <i>Thiago Teixeira de Castro Piovan and Anna Silvia Palcheco Peixoto</i>	430

A Case Study of the Long-Term Deformation of Peat Beneath an Embankment Structure	438
<i>Mohan Acharya, Michael Hendry and Tom Edwards</i>	
Tube Suction Test to Evaluate Moisture Susceptibility of Lightly Stabilised Granular Materials	446
<i>Mathanraj Theivakularatnam and Carthigesu T. Gnanendran</i>	
Penetration Tests in Shallow Layered Unsaturated Pyroclastic Soil Deposits of Southern Italy	454
<i>Sabatino Cuomo and Vito Foresta</i>	
Development and Applications of a Portable Erosion Test Device	462
<i>Tariqul Anwar, Jie Huang and Drew W. Johnson</i>	
Liquefaction Flow Behavior of Guamo Sand	470
<i>Omar Javier Jimenez Jiménez and Arcesio Lizcano Peláez</i>	
Ensayos de Pilotes Estáticos y Dinámicos en la Nueva Facultad de Enfermería	478
<i>Álvaro Gutiérrez, Valentina Cornelius, Mariano Neme y Adrián Peluffo</i>	
Comparison of Laboratory and Field Techniques to Measure Shear Wave Velocity in Texcoco Lake Clay	485
<i>Efraín Ovando-Shelley, Miguel Rodríguez, Osvaldo Flores-Castrellón and Mario Flores-Guzmán</i>	
Contenções com Paredes Diafragmas Análise Crítica de Métodos de Cálculo	493
<i>Fernanda A.G. Küpper e Faíçal Massad</i>	
Geotechnical Investigation to Assess the Variability of the Subsoil in the Area of the Naval Cluster of Porto de Suape/PE	501
<i>Debora Feijó Victor, Filipe Carnib Freire and Roberto Quental Coutinho</i>	
Influence of Variable Rates of Penetration on Silt Behavior and Its SBT Classification	509
<i>Priscilla Paniagua and Steinar Nordal</i>	
Unified Approach on the Interpretation of Piezocone Test Data in a Tropical Soil Site	517
<i>R.A. dos Santos, B.P. Rocha, G.F. Napa-García and H.L. Giacheti</i>	
Comparação de Dois Métodos para a Determinação dos Parâmetros de Resistência ao Cisalhamento dos Solos	525
<i>Rodrigo Paulo De Abreu, Miryan Yumi Sakamoto, Rodolfo Joaquim Contessi, Mônica Carvalho Generini de Oliveira, Luiz Henrique Guesser e Rafael Augusto Dos Reis Higashi</i>	
Ángulo de Fricción Equivalente y Estimación de Parámetros de Resistencia con SPT y CPT	533
<i>Alvaro Jaime Gonzalez-Garcia</i>	
Estudo da Correlação Entre os Ensaios Sondagem a Percussão (SPT) e Penetrômetro Portátil Barra Mina (BM)	541
<i>Daniele Arcanjo, Viviane Ramos e Juliane Marques</i>	

Measurement of Elastic Rebound and Final Set Through a New Field Apparatus <i>Jose Renato M.S. Oliveira, Marcelo R.L. Silva, Luiz Antonio V. Carneiro and Juliana A. Lukiantchuki</i>	549
Geotechnical and Geophysical Exploration in Archaeological Heritage: Initial Assessment at Huaca de la Luna <i>Guillermo Zavala, Saulo López, Miguel Pando, Jorge Zegarra, Ricardo Morales, Santiago Uceda, Benjamín Castañeda and Rafael Aguilar</i>	557
Comparison Between Dynamic and Static Load Tests for Bridge Foundations <i>Silvana Fava Marchezini, Renato Pinto da Cunha, Wilson Conciani and Luiz Carlos De Figueiredo</i>	565
Pruebas de Integridad a Gran Escala en Pilas de Cimentación del Muelle Multipropósitos C, en el Puerto de Montevideo, Uruguay <i>J. Guillermo Clavellina Miller, Rogelio Monroy Salgado, Álvaro Gutiérrez, Camilo Álvarez, Florent Andre y Juan Paulín Aguirre</i>	572
Triaxial Extension Tests Show an Incresase in Shear Strength of Soil with Grass Roots <i>Manoel Isidro de Miranda Neto and Claudio Fernando Mahler</i>	580
Auscultación Geotécnica y Control de Cimentaciones, en Construcciones Singulares. Determinación del Módulo de Deformación a Escala Natural <i>Luis Tissera Bracamonte</i>	588
Determination of Soil Physical Indices in the Field Using the Electrical Conductivity <i>João Marcos Vaillant and Osório José Santos</i>	597
Measured Long Term Settlements of a Fill on Very Soft Soil Under One Dimensional Conditions – The Terra Encantada Case <i>Sandro Sandroni and Michel Tassi</i>	605
Optimización del Diseño de Pilas de Cimentación con Pruebas de Carga en las Rocas Sedimentarias de Monterrey Nuevo León <i>Claudia Pineda, Walter I. Paniagua Z y José A Segovia P.</i>	611
Innovative Application of Mechanical ND In-Situ Tests for Generating Foundation and Pavement Structural Design Parameters <i>John Mukabi</i>	626
El Ensayo de Integridad por Perfil Térmico, un Nuevo Método para Evaluación de Integridad de Cimentaciones Profundas <i>Gina Beim, Jorge Beim y Sandre Cyrre Lima</i>	634
Correlating In-Situ Test Results for Dubai and Abu Dhabi Biogenic Calcareous Sands <i>Daniela Porcino, Vito Nicola Ghionna and Zaira Zimmitti</i>	642

Section C. Geo-Engineering for Energy & Sustainability

Parametric Sensitivity Study of Energy Piles Under Cyclic Thermo-Mechanical Loading <i>Rajni Saggu and Tanusree Chakraborty</i>	653
Estudo de Emissões de Gases em Colunas de Solo Simulando Camadas de Cobertura Oxidativa de Aterro Sanitário <i>Leila Barros Araujo, Magdalena Duarte Costa e José Fernando Thomé Jucá</i>	664
Mechanical Modeling of Gas Hydrate Bearing Sediments Using an Elasto-Plastic Framework <i>Xuerui Gai and Marcelo Sanchez</i>	672
Compressibility and Creep in Dry and Wet Crushable Sand <i>Carlos Ovalle, Christophe Dano and Pierre-Yves Hicher</i>	680
Estimating Uncertainty of the Design Length of Borehole Ground Heat Exchangers <i>Olga Mikhaylova, Ian W. Johnston and Guillermo A. Narsilio</i>	688
Elastoplastic Modelling of the Wellbore Stability on a Carbonate Rock <i>Nubia A. Gonzalez-Molano, Pablo E. Vargas-Mendoza, Jose Maria Segura-Serra and M.R. Lakshmikantha</i>	696
Geothermal Energy in Loess: A Detailed Numerical Case Study for Cordoba <i>Guillermo A. Narsilio, Franco Francisca, Hugo Ferrero, Asal Bidarmaghz, Carlos Serrano, Magali E. Carro Perez, Nikolas Makasis and Evelyn Delacoste</i>	704
Temporal Analysis of Side Effects Produced by Foam Agents in the Soil Excavated with Earth Pressure Balance (EPB) <i>Alvaro Pedraza, Moez Selmi, Zyed Mesticou, Philippe Dubujet, Mariem Kacem and Carol Murillo</i>	712
Multivariable Regression of Thermal Conductivity in Rocks <i>Yeon Jong Jeong, Tae Sup Yun and Kwang Yeom Kim</i>	722
Geotechnical and Geophysical Properties of Deep Marine Sediments Recovered from the Gas Hydrate Occurrence Regions in Ulleung Basin, East Sea, Korea <i>Hak-Sung Kim and Gye-Chun Cho</i>	729
Geomechanical Behaviors of Hydrate-Bearing Sediments in the Ulleung Basin <i>Ah-Ram Kim, Gye-Chun Cho, Se-Joon Kim and Joo-Yong Lee</i>	737
Shear Strength of Waste-Wood Biochar and Biochar-Amended Soil Used for Sustainable Landfill Cover Systems <i>Bala Yamini Sadasivam and Krishna R. Reddy</i>	745
Underground Coalgasification: Moving Towards Commercialisation <i>V. Sarhosis, A. Koj, D. Nowak, K. Kapusta, K. Stanczyk and H.R. Thomas</i>	753

Assessment of Reservoir Conditions and Engineering Factors Influencing Coal Bed Methane Recovery in the South Wales Coalfield <i>Lee James Hosking, Hywel Rhys Thomas, Vasilis Sarhosis, Neil Price and Aleksandra Koj</i>	761
Leakage Analysis Through Composite Liners in Landfills <i>Marcos A. Montoro, Franco M. Francisca and Manuel A. Juarez</i>	769
Sistema de Información Geofísica y Geotécnica de Suelos Marinos del Golfo de México <i>Diego Cruz, Marcelino López, Francisco A. Flores, Prócoro Barrera, Eduardo Rojas, Rita Torres, Dinorah Monroy, Juan M. Hernández y Sergio Renovato</i>	777
Theoretical and Experimental Correlation Between Thermal Conductivity and Dielectric Permittivity of Soils <i>Henok Hailemariam, Dinesh Shrestha, Frank Wuttke and Norman Wagner</i>	785
Thermo-Mechanical Analysis of Energy Piles Through Numerical and Centrifuge Tests <i>Alessandro F. Rotta Loria, Alice Di Donna and Lyesse Laloui</i>	793
Effect of Carbon Dioxide Adsorption on Permeability and Mechanical Strength of Coal Powders <i>Gi-Jun Lee and Tae-Hyuk Kwon</i>	801
Seismic Monitoring of Microbial Plugging for Microbial Enhanced Oil Recovery <i>Dong-Hwa Noh and Tae-Hyuk Kwon</i>	807
Construction and Demolition Waste (CDW) Used in Reinforced Soil Mixtures for Pavement Applications <i>Tiago Betinardi Silva, Igor Bolotti Arrais, Juliana Azoia Lukiantchuki, Christopher Fonseca da Silva and Jeselay Hemetério Cordeiro dos Reis</i>	814
Analysis of Offshore Wind Turbine Rigid Monopile Foundation <i>Bipin Kumar Gupta and Dipanjan Basu</i>	822
Sustainability Assessment of Mechanically Stabilized Earth Walls <i>Mina Lee and Dipanjan Basu</i>	830
Runoff Behavior of Pervious Sidewalk Block <i>Dawa Seo, Tae Sup Yun and Kwang Soo Youm</i>	838
Geotechnical and Chemical Characterization of Recycled Construction and Demolition Waste (RCDW) for Pavements <i>Juliana Azoia Lukiantchuki, José Renato Moreira da Silva de Oliveira and Jeselay Hemetério Cordeiro dos Reis</i>	845
Coupled Thermo-Hydro-Mechanical Evaluation of a Full Scale Heat Experiment <i>Abel Carlos Jacinto and Alberto Ledesma</i>	853
Avaliação da Condutividade Hidráulica para Diferentes Tipos e Concentrações de Solução de Nanoferro Aplicado em um Solo Argiloso <i>Cleomar Reginatto, Iziquiel Cecchin, Antonio Thomé, Karla Heineck e Krishna R. Reddy</i>	861

Temperature Effects on Surface Texture of Geomembranes <i>Nazli Yesiller, Derek Manheim, James Hanson, Kevin Kopp and Gregg Fiegel</i>	867
Biorremediação In Situ de Biodiesel Através da Atenuação Natural, Bioestimulação e Bioventilação <i>Iziquiel Cecchin, Cleomar Reginatto, Antonio Thomé, Luciane Colla e Fernando Schnaid</i>	875
Effect of Temperature on the Interface Shear Resistance Between Precompressed Bentonite Backfill-Blocks of a Nuclear Waste Repository in Finland <i>Gowthaman Sinnathamby, Leena Korkiala-Tanttu and Henry Gustavsson</i>	883
Frost Heave and Thaw Settlement Estimation of a Frozen Ground <i>Gowthaman Sinnathamby, Henry Gustavsson, Leena Korkiala-Tanttu, Carles Pérez Cervera and Mirva Koskinen</i>	891
Prediction of Excess Pore Water Pressure During Undrained Heating of Clays <i>Ismaail Ghaaowd and John S. McCartney</i>	899
Analysis of Indirect Tension in Woven Geotextile Through Non-Standardized Test <i>José Luiz Ernandes Dias Filho, Brunner Rabello Frazão Corrêa, Paulo Cesar Almeida Maia and Gustavo de Castro Xavier</i>	907
Changes in Geotechnical Properties of Urban Soils During Carbonation <i>Ehsan M. Jorat, Ben W. Kolosz, Saran P. Sohi, Elisa Lopez-Capel and David A.C. Manning</i>	912
Anisotropic Features on the Thermal Conductivity of a Deep Argillaceous Formation <i>Enrique Romero, Núria Sau, Analice Lima, Hervé Van Baelen, Xavier Sillen and Xiangling Li</i>	919
Soil-Solid Waste Theoretical Settlement Estimation for a Sanitary Landfill in Costa Rica <i>Rafael Baltodano-Goulding, Paola Vidal-Rivera and Irene Rivera-Vasquez</i>	927
Oil and Gas Geomechanics: Initial State of Stresses <i>Eva Lopez-Puiggene, Jose Alvarelllos-Iglesias, Jose Maria Segura-Serra, Nubia A. Gonzalez-Molano, Pablo E. Vargas Mendoza, Enric Ibañez-Martinez and M.R. Lakshmikantha</i>	935
Shear Strength and Local Deformation of Methane Hydrate Bearing Sand with Fines <i>Masyuki Hyodo, Shintaro Kajiyama, Yukio Nakata and Norimasa Yoshimoto</i>	943
Analysis of Particle Breakage of a River Sand Under Different Strength Conditions <i>Maria Santana, José Estaire and Diego Manzanal</i>	951

Section D. Numerical Modelling in Geotechnics

Experimental and Numerical Simulations of Cyclic Oedometric Compression Test with the Material Point Method and the Subloading Cam Clay Model <i>Raydel Lorenzo, Renato Cunha, Manoel P. Cordão Neto and Oisy Menendez</i>	961
Efeito da Compatibilidade de Deformações Solo-Reforço em Muros de Solo Reforçado com Geossintéticos <i>Julio Fernandes Gonçalves, Fernando Henrique Martins Portelinha e Marcos Massao Futai</i>	969
Numerical Simulation of a Cyclically Loaded Granular Soil Using the Discrete Element Method <i>Eduardo Luis Martín, Francisco Zabala and Luciano Oldecop</i>	977
Numerical Simulations of Crosshole and Downhole Seismic Measurements as Quality Control Tool for Jet Grout Columns <i>J.C. Galindo Guerreros, S. Mackens, E. Niederleithinger and Th. Fechner</i>	985
Stability of a Slope to the Filling of a Reservoir, Understanding the Behavior of a Fractured Rock Mass <i>Edgar Montiel and Natalia Parra</i>	993
An Evolving Memory Surface for Modelling the Cyclic Behaviour of Granular Soils <i>Riccardo Corti, Andrea Diambra, David Nash and David Muir Wood</i>	1001
Effects of Surcharge Location on Serviceability of Mechanically Stabilized Earth Abutments <i>Ben Leshchinsky, Spencer Ambauen and Yonggui Xie</i>	1009
A Behavior Model for a Rockfill; An Application to Settlements Calculations for “La Yesca” Dam <i>Carmelino Zea, Rigoberto Rivera, Jorge B. Guillén and Humberto Marengo</i>	1017
Um Modelo Elastoplástico Unidimensional para Representar a Compressibilidade do Solo Estruturado de Brasília (Brasil) <i>Cristhian Mendoza, Márcio Muniz de Farias e Robinson Zuluaga</i>	1025
Time-History Modification and Spectral Matching Oriented to Dynamic Geotechnical Analysis <i>Juan Carlos Ayes Zamudio and Francisco Alonso Flores Lopez</i>	1033
Site Response Analysis (SRA): A Practical Comparison Among Different Dimensional Approaches <i>Francisco Alonso Flores Lopez, Juan Carlos Ayes Zamudio, Carlos Omar Vargas Moreno and Alejandro Vázquez Vázquez</i>	1041
Aplicação de Ameaça Sísmica na Previsão da Resposta Dinâmica de uma Barragem de Terra <i>Jorge López Vázquez e Celso Romanel</i>	1049

Liquefaction Analysis Using Pore Pressure Generation Models During Earthquakes	1057
<i>Omar Vargas, Ricardo Ortiz and Francisco Flores</i>	
Equivalent Interface Properties to Model Soil-Facing Interactions with Zero-Thickness and Continuum Element Methodologies	1065
<i>Ivan P. Damians, Yan Yu, Antonio Lloret, Richard J. Bathurst and Alejandro Josa</i>	
Finite Element Analysis of Pile Installation and Setup of Full-Scale Load Tests	1073
<i>Murad Abu-Farsakh and Firouz Rosti</i>	
Stability of Thin Shell with Infill Gravity Structures Against Lateral Loads	1081
<i>Nikita Ya. Tsimbelman, Andrey I. Mamontov, Tatiana I. Chernova and Ömer Bilgin</i>	
Generation of 3D Soil/Asphalt Porosity Patterns for Numerical Modelling	1089
<i>Andrea Chiarelli, Andrew R. Dawson and Alvaro Garcia</i>	
Modelación Flujo Mecánica de Inestabilidad de un Talud	1097
<i>G. Zarazaga y R. Schiava</i>	
Numerical Studies of Stone Columns Installation in Very Soft Soils	1105
<i>Marcio S.S. Almeida, Bruno T. Lima, Magnos Baroni, Mario V. Riccio and Maria C.F. Almeida</i>	
Soil Dewatering Modeling in an Spatially Variable Soil Mass	1113
<i>Gian Franco Napa-García and Vanessa Almeida De Godoy</i>	
About the Pore Pressure Influence in the Failure Processes and Localization Analysis of Partially Saturated Soil Based on a Gradient Poroplastic Theory	1121
<i>Javier L. Mroginski and Guillermo Etse</i>	

Part 2

Comparison of Single-Phase and Two-Phase Modeling of Leachate Distribution in Bioreactor Landfills	1129
<i>Krishna R. Reddy and Rajiv K. Giri</i>	
Modelo Constitutivo “ISA” para Arenas: Superficie de Fluencia en el Espacio de Deformación Intergranular	1137
<i>William Fuentes y Theodoros Triantafyllidis</i>	
Interacción Suelo-Estructura en Pilotes Cargados Lateralmente Mediante Elementos de Viga Embebidos en Sólidos	1145
<i>Diego F. Turello, Federico Pinto y Pablo J. Sánchez</i>	
Dynamic Response of Vertical Sand Drains in a Zone with Seismic Amplification	1153
<i>José León González Acosta</i>	

Compaction-Induced Stress: Numerical Modeling <i>S.H. Mirmoradi and M. Ehrlich</i>	1161
Simulación Numérica de Placas Ancladas en Suelos Residuales Misioneros <i>Bogado Gustavo Orlando, Hugo Orlando Reinert, Daniel Antonio Bressan y Karen Paola Schmidgall</i>	1169
Numerical Prediction of Temporary Dewatering in Unconfined Aquifers <i>Daniel Velez and Celso Romanel</i>	1177
Prediction of Seismic Response and Damage Mitigation for Pile-Supported Wharf Structures <i>Andriani I. Panagiotidou, Antonios Vytiniotis and Andrew J. Whittle</i>	1184
Geometrically Nonlinear Fully Coupled Model for the Consolidation of Soft Partially Saturated Soils <i>H. Ariel Di Rado, Pablo A. Beneyto, Javier L. Mroginski and J. Emilo Manzollilo</i>	1192
Estabilidade de Taludes de Solo Reforçado Considerando Métodos Simplificados e Rigorosos <i>Paula Lodo Zuccolo, Flávia Silva Aranega e Jefferson Lins da Silva</i>	1200
A Numerical Study of Poroelastic Geomechanical Processes During Fluid Injection in Confined Geological Reservoirs <i>Kamelia Atefi Monfared and Leo Rothenburg</i>	1207
Application of a Generalized Plasticity Constitutive Model to a Saturated Pyroclastic Soil of Southern Italy <i>S. Cuomo, D. Manzanal, M. Moscariello, M. Pastor and V. Foresta</i>	1215
Interaction Behavior of the Bearing Members of Steel Grid Soil Reinforcement <i>Md. Jahid Iftekhar Alam and S.R. Lo</i>	1223
A Critical State Based Constitutive Model for the Triaxial Response of Ballast Incorporating Particle Breakage <i>Buddhima Indraratna, Qideng Sun and Sanjay Nimbalkar</i>	1232
Determinação de Esforços na Parede de poços Cilíndricos de Grande Diâmetro Escavados Pelo Método Sequencial Através de Métodos Numéricos <i>Paloma Teles Cortizo e Pêrsio Leister de Almeida Barros</i>	1240
Ground Volume Loss Prediction and Rail Settlement Control Method for Tunneling Subway Underneath Wu-Guang High-Speed Railway <i>Yi Zhao and Taiyue Qi</i>	1248
A Hybrid DEM-FDM Approach for Load-Deformation Analysis of Stone Columns <i>Ngoc Trung Ngo, Buddhima Indraratna and Cholat Chaiyachitkarn</i>	1256
Modelación Numérica de Flujos de Detritos Basado en la Teoría de Aguas Someras <i>Mario Germán Trujillo-Vela, Jorge Alberto Escobar-Vargas y Alfonso Mariano Ramos Cañón</i>	1265

Estudo Numérico da Influência da Execução de uma Laje Vinculada no Topo de Uma Estrutura de Contenção	1273
<i>Leonardo Oliveira, Yuri Costa e Carina Costa</i>	
Prediction of Permanent Settlements of Foundations on Bío Bío Sand Subjected to High-Cyclic Loading	1285
<i>Matías Cuitiño, Mauro Poblete, Torsten Wichtmann and Theodoros Triantafyllidis</i>	
Simulação Numérica do Comportamento ao Arrancamento de Estacas Tubulares Vazadas	1293
<i>Stivens Sanabria, Aldo Duránd, Rodrigo Martins, Fernando Saboya e Sérgio Tibana</i>	
High-Cycle Accumulation Model with EAS Elements	1301
<i>Andrzej Niemunis, Carlos Grandas-Tavera and Jan-Erik Fitz</i>	
Predicción de Asentamientos Debidos al Hundimiento Regional en la Zona del Antiguo Lago de Texcoco	1309
<i>Renata Gonzalez, Alexandra Ossa y Efraín Ovando</i>	
Mechanical Characterization of a Hydraulic Fill Sand and FEM Simulation of Cellular Cofferdams at Carena Project	1317
<i>Gonzalo Rellán, Iñaki García Mendive, Ignacio Ezama, Federico Paz Walther, Ignacio Vernengo Lezica, Mauro Codevilla, Diego Manzanal and Alejo Oscar Sfriso</i>	
Evolución de la Respuesta Sísmica de Una Estructura Subterránea en la Ciudad de México	1325
<i>Laura Sierra, Eduardo Botero y Alexandra Ossa</i>	
Simulação do Ensaio de Fluência por Compressão Uniaxial Estática Pelo Método dos Elementos Discretos	1333
<i>Juliana Meza e Celso Romanel</i>	
Simulations of Vertical Flow Through a MSW Landfill Using a One-Dimensional Approach	1341
<i>V. Ottoni, C.F. Mahler, M.Th. Van Genuchten and E.M.B.D. Pontedeiro</i>	
Estimativa de Parâmetros de Modelo Hiperbólico Tensão-Deformação para um Solo Tropical	1349
<i>Manoel Isidro de Miranda Neto e Claudio Fernando Mahler</i>	
Rheology and Micromechanical Analysis of Granular Media Composed of Platy Particles: A Step Toward the DEM Simulation of Clayey Soils	1357
<i>Mauricio Boton, Nicolas Estrada, Emilien Azéma, Farhang Radjaï and Arcesio Lizcano</i>	
Behavior of Buried Pipes: Numerical Simulation vs Experimental Test	1365
<i>Stephane do N. Santos, Denise M.S. Gerscovich and Bernadete R. Danziger</i>	
Fast Moving Landslides Simulation by Cellular Automata	1373
<i>Silvia Garcia, Jorge López-Molina and Miguel Romo</i>	

- Comparison of an Equivalent Linear and a Nonlinear Soil Model for the Identification of Soil Dynamic Properties 1380
Vicente Mercado, Mourad Zeghal, Waleed El-Sekelly and Tarek Abdoun
- Interaction Between a Crusher, a MSE Wall and Stockpile at Mine in Peru 1388
Erick Lino, Osvaldo Ledesma and Alejo Sfriso

Section E. Foundation & Ground Improvement

- Centrifuge Modeling of Rocking Foundations on Sand 1399
Panagiota Kokkali, Tarek Abdoun and Ioannis Anastasopoulos
- Mechanical Behavior of a Clayey Soil with the Insertion of Fine Crushed Polyethylene Terephthalate 1407
N.S.L. Louzada, I.M.R. Martinez and M.D.T. Casagrande
- Experimental Study on Deformation of Improved Soil Used as Seismic Strengthening Material of Existing Pile Foundations 1415
Koichi Tomisawa and Makoto Kimura
- Caracterización de Suelos Granulares Gruesos 1423
Gabriel Pérez Quiroga y Joaquín Cánchero
- Evaluation of the Shear Strength of Binary Granular Mixtures Using Direct Shear Tests Mixture Theory 1432
Luis E. Vallejo and Sebastian Lobo-Guerrero
- Normalização da Resistência à Compressão Simples de Mistura Areia com Cimento em Função do Tempo de Cura 1440
Sergio Marques, Nilo Cesar Consoli, Lucas Festugato and Gonçalo Sonaglio
- Estudo Experimental de Misturas de Solo Arenoso e Cinza de Bagaço de Cana-de-Açúcar e Cinza de Casca de Arroz para Aplicação em Obras Geotécnicas 1448
S.H.T. Santos e M.D.T. Casagrande
- Contribuciones para la Rehabilitación de Cimentaciones Superficiales con Pilotes Auto-Perforante en Suelo Tropical 1456
Cristhian C. Mendoza, Renato Pinto Da Cunha, Max Barbosa y Bernardo Caicedo
- Foundation's Performance Improved by Fracture Grouting 1464
Juan Manuel Fernandez Vincent
- Descripción de Pruebas de Laboratorio para la Determinación de Propiedades Reológicas y Mecánicas de Morteros Especiales 1472
R. Ortiz, S. Olguín y J. Chávez
- A Comparison Between Results of the MSD Method and Finite Element Modeling for Prediction of Undrained Settlement of Circular Shallow Foundations 1480
Siavash Mahvelati Shams Abadi, Arash M. Hosseini and Mohammad Mahdi Shahrabi

Estudio Experimental Sobre Arenas Reforzadas con Geogrillas <i>Danny Useche Infante, Gonzalo Aiassa Martinez, Pedro Arrua y Marcelo Eberhardt</i>	1488
Cap-Stiffness on Behaviour of Rigid Passive Piles <i>Wei Dong Guo</i>	1496
Slopes Stabilization Using Mixture of Soil and Dimension Stone Waste Chemically Stabilized with Portland Cement <i>Neemias Dias, Patrício Pires, Mateus Yin and Rômulo Ribeiro</i>	1504
Evaluation of Bearing Capacity Calculation Methods of Geocell-Reinforced Soil <i>J.O. Avesani Neto, B.S. Bueno and M.M. Futai</i>	1512
Compressibilidade das Argilas da Grande Vitória, ES, Brasil <i>Vitor G. Batisti, Kátia V. Bicalho, Ester S. Santana e Isis C. Depolli</i>	1520
Bearing Capacity of a Column-Reinforced Soil Foundation Under Inclined Loading <i>María Alicia Arévalos Burró and Samir Maghous</i>	1528
Study in Laboratory of Secondary Compresibility Parameters and Their Relationship whith Results from Field <i>O. Moreno, C.M. Rubio and M.C. Moreno</i>	1536
Efecto de Sistemas de Desplazamiento en el Comportamiento de Pilotes Perforados en Arenas <i>Oswaldo Rosales, Federico Pinto y Mario Terceros</i>	1544
Estudo da Resistência e dos Parâmetros de Comportamento Mecânico de Uma Areia Cimentada Reforçada com Fibras <i>Jorge Hernán Flórez Gálvez, Lucas Festugato, Nilo Cesar Consoli, Vitor Pereira Faro e Eduardo Braun</i>	1552
Evaluating the Durability of Lightly Stabilized Granular Base Materials Subjected to Wet-Dry Cycles Using Different Element Testings <i>Mathanraj Theivakularatnam and Carthigesu T. Gnanendran</i>	1560
Execução de Estacas em Solos Laceríticos <i>Paulo Sérgio Barbosa Abreu, Luciano Décourt e João Mathias de Souza Filho</i>	1568
A Case Study of Bearing Capacity of Bored Piles in Weak Rocks Based on Static Load Tests <i>Luiz Guilherme de Mello, Bilfinger Werner and Fernando Perez</i>	1575
Comportamiento Mecánico de un Suelo Dispersivo con Adición de cal y Cemento Portland <i>Rubén Alejandro Quiñónez Samaniego, Nilo Cesar Consoli, Néstor Masamune Kanazawa Villalba, Guilherme Venson y Eduardo Pasche</i>	1583
Axial Load Capacity of Model Piles in Sand <i>Larissa de Brum Passini, Fernando Schnaid and Rodrigo Salgado</i>	1591

Soft Soil Geotechnical Properties in a Case Study of a Large Alluvial Soft Soil Improvement in Latin America <i>Diego G. Yanez, Faïçal Massad and Mario R.B. Correa</i>	1599
Investigation of Mechanical Properties of Fibre-Reinforced Grouts for Micropile Application <i>Maged Abdraham and M. Hesham El Naggar</i>	1607
Influence of Clogging on the Performance of Stone Column Improved Soft Ground <i>Sudip Basack, Firman Siahaan, Buddhima Indraratna and Chalachat Rujikiatkamjorn</i>	1615
Determination of Optimum Lime Content for Volcanic Expansive Clays <i>A.Y. Al-Taie, M.M. Disfani, R.P. Evans, A. Arulrajah and S. Horpibulsuk</i>	1623
Resilient Modulus Lime-Treated Expansive Subgrade <i>Tamer Elkady, Ahmed Al-Mahbashi and Mosleh Al-Shamrani</i>	1631
Effect of Intermittent Wetting on the UCS of Lime-Treated Expansive Soils <i>Tamer Elkady, Abdullah Shaker, Arif A. Baig and Mosleh Al-Shamrani</i>	1639
Geotechnical Challenges of the Biggest Mining Project in Argentina <i>Gonzalo Rellán, Iñaki García Mendive, Gastón Quaglia, Ariel Abad, Juan Natalio Figueroa and Alejo Oscar Sfriso</i>	1646
Triaxial Tests on Artificially Cemented Fraser River Sand in a Very Loose Condition <i>Olavo F. Santos Jr. and Dharma Wijewickreme</i>	1654
Modelagem Numérica de Estacas em Solo Melhorado sob Ação de Cargas Laterais <i>Ricardo Bergan Born, Vitor Pereira Faro e Nilo Cesar Consoli</i>	1662
Remedial Measures for a Building with Pile Foundations in Subsiding Soil <i>Luciano Décourt and Akira Koshima</i>	1670
Estabilización de Suelos Arcillosos Mediante la Dosificación de la Ceniza del Cuesco de la Palma Africana <i>Leonel E. Cotes y Carol A. Murillo</i>	1678
Juan Manuel de Rosas Water Treatment Plant. Design and Dynamic Testing of Precast Piles <i>Oscar A. Vardé, Rodolfo Aradas and Rodolfo E. Guidobono</i>	1686
Study of Shallow Foundation Load Transfer on Improved Ground with Compaction Piles <i>Marina Amorim, Alexandre Gusmão, Roberto Coutinho and Gilmar Maia</i>	1694
The Use of the Expander Body with Full Displacement Piles in Medium Dense to Dense Sandy Soils <i>Mario A. Terceros Herrera and Mario Terceros Arce</i>	1702

Geographic Information System: Methodological Proposal for the Development of Foundation Maps Based on SPT Investigation <i>Juliana Vieira dos Santos, Stephanie Thiesen and Rafael dos Reis Higashi</i>	1713
Prediction of Bearing Capacity of Bored Piles in Sands. Theoretical x Empirical Formulas <i>Luciano Décourt</i>	1721
Diseño Geotécnico y Estructural de Sistemas de Fundación para Estructuras Industriales Ubicadas en la Cuenca del Lago de Valencia, Venezuela <i>Edinson Guanchez</i>	1726
Centrifuge Modeling of Lateral Soil-Pipe Interaction <i>Marcela P.P. Guimarães, Pablo C. Trejo, Jose Renato M.S. Oliveira, Juliana A. Lukiantchuki, Marcio S.S. Almeida and Maria C.F. Almeida</i>	1734
Comportamiento Geotécnico en Laboratorio de Suelos Blandos Reforzados con Maderos Horizontales <i>Luis Alberto Cáceres Cárdenas, Walter Piracoca Ávila y Eriben Galvis Hernández</i>	1742
Instalação de Fundações Profundas, Utilizando Hidrojateamento, em Solos Argilosos <i>David Lourenço e Fernando Schnaid</i>	1750
Pressure Assessment in Piles Under Lateral Load <i>Rodrigo Hernández Carrillo and Félix Hernández Rodríguez</i>	1758
Construcción del Dique de Abrigo del Nuevo Puerto de Açú, Brasil Cimentación de Cajones <i>Fernando Rodríguez Ballesteros, Ma Fátima Rodríguez de Segovia y Francisco Esteban Lefler</i>	1766
A New Teaching Concept for Axially Loaded Piles <i>Tiago Gerheim Souza Dias and Adam Bezuijen</i>	1774
Evaluation of the Relation Between Unconfined Compressive Resistance and Flat Base Rod Resistance for a Sand-Cement Mixture <i>M.M. Rizzon, D.F. Alves and N.C. Consoli</i>	1782
Previsão da Capacidade de Carga e Recalque de Uma Fundação por Estacas Tipo Hélice Contínua <i>Oswaldo Freitas Neto, Igor Natan Santana Guimarães, Bruno Da Mota Costa e Erinaldo Hilário Cavalcante</i>	1788
Effect of Curing Temperature on Tensile Strength of Sand – Coal Fly Ash – Lime Blends <i>Carina Silvani, Eduardo Braun, Guilherme Borges Masuero and Nilo Cesar Consoli</i>	1796
Juan M. de Rosas Water Treatment Plant Interaction Between Deep Foundations and Adjacent Infrastructure on Soft Clays <i>Oscar Alberto Vardé, Luiz Guilherme De Mello, Rodolfo Aradas and Rodolfo Eduardo Guidobono</i>	1804

Estudio Comparativo del Comportamiento de Pilas Circulares Ante Carga Lateral <i>Félix Sosa y Sergio Martínez</i>	1812
Comparison of Strength Characteristics of Gorgan Loessial Soil Improved by Nano-Silica, Lime and Portland Cement <i>S. Mohsen Haeri, Arash M. Hosseini, Mohammad Mahdi Shahrabi and Saman Soleymani</i>	1820
Análise Microestrutural da Bioprecipitação de CaCO_3 Induzida em um Solo Laterítico Compactado <i>Claudia Maricela Gómez Muñetón, Yamile Valencia González e José Camapum de Carvalho</i>	1828
Evaluation of Excess Pore Pressures Around Piles Driven into Clayey Soils <i>Pedro C.R. Silva, Façal Massad and Werner Bilfinger</i>	1835
Liquefaction Mitigation by Soil Improvement with Vibro Stone Columns <i>Enmanuel Carvajal Díaz, Goran Vukotić and Daniel Martínez Oviedo</i>	1843
The Occurrence of Residual Stresses in Helical Piles <i>José A. Schiavon, João M.S.M. dos Santos Filho, Cristina de H.C. Tsuha and Luc Thorel</i>	1851
Comparative Analysis of Analytical and Numerical Calculation Methods for Soil Improvement by Rigid Inclusions <i>Rodrigo Gómez Pérez and Svetlana Melentijevic</i>	1859
Mejora de Explanadas Mediante la Compactación Dinámica Profunda. Materiales de Uso y Capacidad de Carga <i>Luis Tissera Bracamonte</i>	1867
Laboratory Study of the Pressurized Grouting in Sand <i>Qiong Wang, Shanyong Wang, Scott William Sloan and Daichao Sheng</i>	1877
Influence of Pile Shape on Resistance to Lateral Loading <i>Kyle Rollins and Guillermo Bustamante</i>	1885
Load-Settlement Curve of Continuous Flight Auger Piles <i>Alexandre Duarte Gusmão and Karla Patrícia Souza de Oliveira</i>	1893
An Alternative Solution for the Effect of Embankment Submersion on Settlement Prediction in Soft Clays <i>Raphael F. Carneiro, Denise M.S. Gerscovich and Bernadete R. Danziger</i>	1901
Smart Framework for Predicting Drilled Shaft Capacity Based on Data Mining Techniques and GIS Data <i>A.K. Alzo'ubi, Modafar Ati and Farid Ibrahim</i>	1909
A Critical Comparison of a Foundation on Continuous Flight Auger Piles: Global Safety Factor and Partial Factors Design Approach <i>W.S. Andrade, B.R. Danziger, A.C. Freitas and M.P. Pacheco</i>	1916
Análisis de la Estabilidad de Perforaciones para Pilas <i>Walter I. Paniagua Z. y Cecilia Hernández G.</i>	1924

- Effect of Compressive Load on Uplift of Pile Group in Clay: Theoretical Analysis 1933
Anumita Mishra and Nihar Ranjan Patra
- Numerical Modeling of Geogrid Reinforced Soil on Shallow Foundations of Low Bearing Capacity for Buildings 1941
Vladimir Aquise and Cesar Torres
- Madero Office: Fundaciones con Barretas y Contenciones Premoldeadas 1949
Alfredo A. Lopez, Gastón Quaglia y Alejo O. Sfriso
- Aspectos Geotécnicos de la Torre Única de Comunicaciones 1957
Eduardo Capdevila, Roberto Flores, Ricardo Barletta y Miguel Vasquez
- In-Service Behavior of Soil Underlying Shallow Wind Turbine Generator Foundation 1965
Mehmet Yilmaz, Jongwan Eun, James M. Tinjum and Dante Fratta
- Section F. Unsaturated Soils**
- Development of a Soil Matric Suction Direct Measurement Probe 1975
Germán Rodari, Francisco Zabala, Luciano Oldecop and Rubén Rodari
- Rate Effects in Constant Rate of Strain Compression Tests on Unsaturated Soils to High Pressures 1983
Woongju Mun and John S. McCartney
- Instrumentação e Monitoramento de um Talude de Solo Arenoso não Saturado no Centro-Oeste Paulista 1991
Mariana Alher Fernandes e Oswaldo Augusto Filho
- Evaluación de Propiedades Físicas e Hidráulicas de los Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas de la Región de Popayán, Colombia 1999
O. Hernández, M.P. Cordão Neto y B. Caicedo
- Effect of Matric Suction on Shrinkage Induced Pressure Exhibited by Two North Texas Expansive Clays 2007
Raju Acharya, Aravind Pedarla, Tejo Vikash Bheemasetti, Aritra Banerjee and Anand Puppala
- Effect of Suction on Dynamic Properties of Unsaturated Poorly Graded Sand at Small- to Mid-Shear Strain Amplitudes 2015
Alejandro Pino, Laureano Hoyos, Anand Puppala and Aravind Pedarla
- Variação dos Parâmetros de Resistência de um Solo Residual de Gnaisse Obtido em Ensaio de Cisalhamento Direto sob Condições Inundadas e Não Inundadas 2023
Cesar Schmidt Godoi, Fábio Krueger da Silva, Marciano Maccarini e Rafael Augusto dos Reis Higashi
- Behavior of Collapsible Loess Saturated with NAPL in Confined Compression Tests 2031
Franco M. Francisca, Marcos A. Montoro, Emilio R. Redolfi, Gustavo Pesca Pinto and Lisandro Capdevila

Behavior of a Compacted Residual Soil at a Quasi-Saturated State <i>Genaro Gonzalo Carnero Guzmán and Fernando A.M. Marinho</i>	2039
Influência da Distribuição Granulométrica nos Parâmetros da Equação de van Genuchten <i>Kátia V. Bicalho e Fernanda V. Gonçalves</i>	2047
Estudo Comparativo da Evaporação de Solos não Saturados Através de Métodos Empíricos em duas Regiões da França <i>Larissa C. Araújo, Kátia V. Bicalho e Bruno T. Dantas</i>	2055
Influence of the Compaction Process in the Shear Strength of a Volcanic Soil <i>Livaniel Viveros, Julio Colmenares and Juan García</i>	2063
Study of Suction-Water Content Calibrations for the Whatman No. 42 Filter Paper <i>Kátia V. Bicalho, Anita C. Chrystello, Kamila F. Cupertino, Jean-Marie Fleureau and Antonio G. Correia</i>	2071
Coupling Pore-Size Distribution and Volumetric Strains to Predict Soil-Water Characteristic Curves <i>Hiram Arroyo, Eduardo Rojas, María de la Luz Pérez-Rea, Jaime Horta and José Arroyo</i>	2078
Influence of Desiccation Cracks on Soil Resistance <i>Catalina Lozada, Bernardo Caicedo and Luc Thorel</i>	2086
Medición del Cambio Volumétrico Total en Ensayos Triaxiales Utilizando Imágenes Digitales <i>Germán Rodari, Lucas Garino, Luciano Oldecop y Francisco Zabala</i>	2094
Experimental Study of the Cracking Mechanisms of Clay During Drying <i>Jean-Marie Fleureau, Xin Wei, Lamine Ighil-Ameur, Mahdia Hattab and Katia Vanessa Bicalho</i>	2101
Study on the Behavior of a Collapsible Soil Under Constant Matric Suction Loading Implementing an Unsaturated Framework <i>S. Mohsen Haeri, Saeed Saberi, Majid Beigi and Amir Akbari Garakani</i>	2109
Effect of Non Saturation on the Strength and Stiffness of a Compacted Clayey Sand <i>João Martins and António Gomes Correia</i>	2117
Elasto-Plastic Behavior of Sandy Soil Under Cyclic Loading Conditions <i>Md. Jahid Iftekhar Alam, C.T. Gnanendran and S.R. Lo</i>	2125
The Influence of Suction on the Unconfined Shear Strength of a Compacted Residual Soil <i>O.M. Oliveira and F.A.M. Marinho</i>	2133
Shear Modulus G_0 and Its Correlations with Matric Suction, Unconfined Compression Strength and Tensile Strength of an Unsaturated Residual Soil <i>M.F.B. Motta, T.M.P. de Campos, G.P. Bernardes and A. Viana da Fonseca</i>	2142

Suction-Controlled Cyclic Triaxial System for Measurement of Dynamic Properties of Unsaturated Soils <i>Ganna Suprunenko and Majid Ghayoomi</i>	2150
Volume Evaluation Due to Wetting in a Collapsible Soil Used in a Housing Development in the Semi-Arid Region of Pernambuco State – Brazil <i>Klayde Janny da Silva Verissimo, Moacy Silva Torres, Rayanne Godê de Brito Ferreira, Marta Lúcia Rolim de Almendra Freitas and Silvio Romero de Melo Ferreira</i>	2158
Assessment of Biogas Distribution at the Base of Passive Methane Oxidation Biosystems <i>Bahar Ahou Ghalandari, Alexandre R. Cabral and Serge Leroueil</i>	2166
Características de los Suelos no Saturados del Tropico Humedo Peruano <i>Arnaldo Carrillo-Gil y Arnaldo Carrillo-Acevedo</i>	2174
Effect of Grain Size Distribution on the Hydraulic Properties of Unsaturated Granite Sand <i>M.J. Siahdashti, Jean Côté and Philippe Sirois</i>	2180
A Thermomechanical Model for Partially Saturated Soils. Application to an Engineering Barrier for the Storage of High Level Nuclear Waste <i>Sergio Samat</i>	2188
Soil-Water Characteristic Curve of a Dual Porosity Waste Rock from Coal Mine <i>M.C. Barbosa, A. Borghetti Soares and B.P. Triane</i>	2196
Shear and Compression Wave Velocities of an Unsaturated Sandy Soil <i>Giovana B. Georgetti, Orencio M. Vilar and Laureano R. Hoyos</i>	2204
New Device for Experimental Determination of the Soil-Water Retention Surface <i>Gastón Quaglia, Michael Plaisted and Jorge Zornberg</i>	2212
Uso de Dispositivo Dieléctrico Para Monitoreo de Tefra Volcánica Parcialmente Saturada en Área Metropolitana de San Salvador, El Salvador <i>José Alexander Chavez, José Landaverde, Lesly Mendoza y Reynaldo Lopez</i>	2220
Natural Soil Modified with Polymer for use in Landfill Systems <i>Luz Marti, Mauro Codevilla, Teresa M. Pique and Diego Manzanal</i>	2228
Mechanical Behavior of a Reconstituted Granite-Gneissic Soil Submitted to a Replicated Lightning <i>T. de S. Carnavale, T.M.P. de Campos, A.R.M.B. de Oliveira and H.J.A. Martins</i>	2236
Numerical Simulations of a Landslide Triggering Experiment <i>G.A. Siemens, R.A. Beddoe and W.A. Take</i>	2244

Correlations Between Results of the Diametrical Compression Test (Brazilian Test), Direct Shear Test, Unconfined Compression Test for a Compacted Residual Soil	2252
<i>Lúcio Flávio de Souza Villar, Vinícius Queiroga Fortes Ribeiro, Daniel de Araújo Carneiro and William de Faria Silva</i>	
Analysis of the Hydro-Mechanical Behaviour of Volcanic Ash Slopes Submitted to Rainfall	2260
<i>Alessio Ferrari, Lyesse Laloui, Chao Li and John Eichenberger</i>	
Sobre el Comportamiento de los Suelos Potencialmente Activos Estabilizados para su Uso en la Ingeniería Vial	2268
<i>José M. Cosentino, Oscar Rico, Alejandro García, Guillermo del Río, Ma. Emilia Medina, Ezequiel Cotorruelo, Sebastián Cristaldo, Alejandro Romero y Juan Esteban Waldbillig</i>	
A Case Study on Expansive Clays on Comodoro Rivadavia City	2276
<i>S. Orlandi, D. Manzanal, A. Ruiz, M. Avila and V. Graf</i>	
Behavior of LNAPL in Soils with Multimodal Pore-Size Distribution	2284
<i>Miguel Alfaro Soto and Hung Kiang Chang</i>	

Part 3

Section G. Embankments, Dams & Tailings

Rapid Assessment Method for Stability and Piping of Mississippi Levees	2295
<i>Meindert Van, Mike Sharp, Erik Vastenburger and Wim Kanning</i>	
Numerical Analysis and Modeling of the Symbola Dam Preliminary Design Study, Komotini, Northern Greece, and the Study of Instrumentation and Structural Health Monitoring Application for Damage Prediction	2303
<i>Georgios Voulgaridis</i>	
Centrifuge Modeling of Downdrag Induced Bending Moments on Batter Piles	2311
<i>Panagiota Kokkali, Anthony Tessari and Tarek Abdoun</i>	
Utilização de Resíduo de Beneficamento de Rocha Ornamental em Adição a Materiais Utilizados em Terraplenagem	2319
<i>T.A. Silva, C.C.B. Costa, D.O. Joaquim, N.C.N. Dias, R.S.O. Silva, R.M. Gonçalves e P.J.M. Pires</i>	
Levee Stability and the Interaction Between a Stiff Embankment and a Very Soft Subsoil	2327
<i>C. Zwanenburg, J.A.M. Teunissen, D.A. de Lange and M.A. Van</i>	
Behavior and Stability of Cohesive Dike Cover Layers	2335
<i>Martin Achmus, Martin Pohl and Helmut Temmler</i>	
Dry Stacking of Filtered Tailings in the Andean Region of South America – An Engineered and Environmentally Friendly Solution	2343
<i>Carlos Cacciuttolo Vargas and Agustín Holgado Bloch</i>	

An Amended Calculation Method for the Additional Stress of High Filling Canals	2354
<i>Fei Yu, Jing Yu, Shanxiong Chen, Yu Zhang, Jian Li and V.O. Ojekunle</i>	
Centrifuge Modeling of Consolidation and Dynamic Loading of Fine-Grained Mine Tailings	2362
<i>Nonika Antonaki, Tarek Abdoun, Inthuorn Sasanakul, Maria V. Sanin and Humberto Puebla</i>	
Mine Waste Rock and Riverbed Materials at High Pressures. Applications for High Waste Rock Dumps and High Tailings Dams Design	2370
<i>Edgar Bard, José Campaña, Luis Valenzuela, Abraham Figueroa and Paola Marilao</i>	
Geotechnical Instrumentation in Tailings Sand Dams	2378
<i>José Illanes, Jaime Urquidi, Abraham Figueroa, José Campaña and Fernando Morales</i>	
Influencia de la Granulometría en la Permeabilidad del Concreto Asfáltico para Presas	2386
<i>Alberto Gaxiola, Alexandra Ossa, Osvaldo Flores y José Gonzalez</i>	
Numerical Simulation of Blast Response of Cemented Paste Backfills	2394
<i>Gonzalo Suazo and Andy Fourie</i>	
Particle-Size Segregation in Tailings Sand Dams	2402
<i>Abraham Figueroa, Eloy Santos, Claudio Sconagmillo, Luis Valenzuela and Andrés Tascon</i>	
Recent Trends for Design of Filters in Earth and Rockfill Dams, Including Geotextiles Criteria	2410
<i>Norma Patricia López-Acosta, Jorge Bricio Guillén and Gabriel Auvinet</i>	
Construcción de Dique en Talud en el Futuro Superpuerto de Açú, Brasil	2418
<i>Ramiro Gómez Escoubès, Marcelo J. Devincenzi Fabetti y Santiago Peña Fernández</i>	
Modulus of Elasticity Estimation with One Dimensional Consolidation Test	2426
<i>Esra N. Tanriseven, Hasan A. Bilgin and Sebnem H. Duzgun</i>	
Control de Calidad de Terraplenes en Uruguay	2434
<i>Daniel Hasard, Álvaro Gutiérrez y Pablo Chimenceji</i>	
Pb, Zn, Cd, Cu, Cr and Ni Fractioning from a Soil Profile Collected in Old Deposit of Mining Waste – Ribeira Valley (Brazil)	2442
<i>Mariana Consiglio Kasemodel, Valéria Guimarães Silvestre Rodrigues, Jacqueline Zanin Lima and Joel Barbujiani Sígolo</i>	
Permeability and Consolidation Parameters in Tailings Treated with Seawater	2450
<i>José Campaña, Edgar Bard, Carlos Carmi and Luis Valenzuela</i>	
Settlement Monitoring on Camboinhas Experimental Embankment, Rio de Janeiro	2458
<i>Fernando Duarte Azevedo, Alberto de Sampaio Ferraz Jardim Sayão and Sandro Salvador Sandroni</i>	

Metodología de Ensayo para la Verificación del Material Autosellante en las Juntas de Tracción del Aprovechamiento Hidroeléctrico Punta Negra <i>María Turcumán, Sergio Yazzar, Gustavo Vázquez, Ariana Olivares, Rocío García y Maciel Perez</i>	2465
Verificación de los Parámetros de Diseño Geotécnico de la presa del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón Durante su Etapa Constructiva <i>Roy Ruiz, Darío Calderón y Eduardo Avilés</i>	2473
Evaluation of Primary and Secondary Deformations and Particle Breakage of Tailings <i>Riaz Bhanbhro, Juan Rodriguez, Tommy Edeskär and Sven Knutsson</i>	2481
Análisis de las Propiedades Físicas, Mecánicas y Micro-Estructurales de un Limo Arcilloso para ser Empleado en la Construcción de Presas de Tierra <i>Julián Buriticá García y André Pacheco de Assis</i>	2489
Análisis del Comportamiento de Presas Construidas con Núcleos de Arcilla Compactadas en la Rama Súper Húmeda <i>Julián Buriticá García y André Pacheco de Assis</i>	2497
Shear Strength Parameters of a Heap Leach Material <i>Luciano A. Oldecop, Rubén Rodari, Francisco Zabala and Oscar Mazuelos</i>	2505
Seismic Analysis of Tailings Dam N°4 Lima, Perú <i>Bruno Valverde, Boris Castillo and Jeferson Menacho</i>	2513
Seismic Analysis of a CFRD Dam Using the Material Point Method <i>Francisco Zabala, Luciano Oldecop and Rubén Rodari</i>	2521
Consideraciones Geotécnicas en Presas Mexicanas para Reducir su Riesgo <i>Raúl Flores-Berrones, Felipe I. Arreguín-Cortés y Rodrigo Murillo-Fernández</i>	2529
Effects of Water Erosion in Road Embankments <i>Paula Cieri Aceituno, Marcelo E. Zeballos, Ricardo J. Rocca and Pedro Huerta Soaje</i>	2537
Análisis de Estabilidad Sísmica del Nuevo Depósito de Jales de la Unidad Minera Buenavista del Cobre. Cananea, Sonora <i>Eduardo Botero, Osvaldo Flores y Mario Flores</i>	2545
Análise Sísmica e Hidro-Mecânica de Uma Barragem de Terra Zonada no Peru <i>Perlita Esaine Barrantes e Celso Romanel</i>	2553
Algunos Criterios a Considerar en el Diseño de Presas de Hardfill <i>Juan Manuel Mayoral, Damián Vital, Miguel Pedro Romo, Humberto Marengo y Amós Francisco Díaz Barriga</i>	2561
Automatic Learning for Patterning the Behavior of Rockfill Materials <i>Silvia García, Miguel Romo and Jorge López-Molina</i>	2569

- Determinación de la Resistencia a la Fricción en la Interfaz de Geomembranas, para su Aplicación en Depósitos de Residuos Mineros (Relaves) 2577
Angela Menz y Gonzalo Jara

- Numerical Analysis for New Generation of Concrete Face Rockfill Dams – Settlement of 315 m CFRD in Narrow Valley 2585
Ebrahim Mokhtarpour, Paulo T. Cruz and Fernando A.M.T. Marinho

Section H. Excavations & Tunnels

- Swelling Pressure of a Shale Against a Stiff Tunnel Support 2597
Gholamreza Mesri, Mohammad C. Pakbaz and Cai Wang

- Experience for Diaphragm and Cut-Off-Walls Using Trench Cutter Technology in the Americas 2607
Franz-Werner Gerressen

- Centrifuge Test to Evaluate Internal Strut Loads in Shallow Underground Retaining Structures 2615
Adrienne Hill, Jill Getchell and Majid Ghayoomi

- Construcción de la Obra de Toma de la Central Termoeléctrica Ensenada de Barragán 2623
F. Martinuzzi y J. Paulín-Aguirre

- Influence of Mineralogy and Microstructure on the Mechanical Behavior of a Gneissic Residual Soil 2630
Marlísio Oliveira Cecilio Jr. and Marcos Massao Futai

- Comparison of Numerical Modeling and Measured Data for a Tunnel Built in Soft Rocks 2638
Leidy E. Bejarano and Manuel J. Mendoza

- Design and Performance of a Deep Excavation Sharing a Common Wall with a Metro Station in Service 2646
Liang Zhou, Zhong-jie Zhang, Ming-guang Li, Jian-hua Wang and Jin-jian Chen

- Highlights of Numerical Analysis for Tunnels in Soft Soils 2654
José-Luis Rangel-Nuñez, Fabian López-Bautista and Enrique Ibarra-Razo

- Estabilidad de Frente en Excavaciones Verticales de Piques en los Suelos Finos del Norte de Santiago de Chile 2662
Wagner Martin, Alejandra Villouta y Rodrigo Torres

- Free Surface Effects for Ground Vibration and Effective Burden by Using Abrasive Waterjet System 2677
G.W. Joo, T.M. Oh and G.C. Cho

- Crossing of Line H Under Line D, Buenos Aires Metro. Logistical Challenges, Construction and Design 2685
Jorge Gabriel Laiun, Ezequiel Alejandro Zielonka and Alejo Oscar Sfriso

Obras Geotécnicas en el Paseo La Galería, Asunción, Paraguay <i>Alfredo Alberto Lopez, Mauro Codevilla, Julio Hernández, Gonzalo Rellán, Francisco Javier Arroyo, René Matías Calvente y Alejo Oscar Sfriso</i>	2693
Comparación de un Análisis Numérico Tridimensional de Desplazamientos en Una Excavación Profunda de Forma Circular con Otra de Forma Rectangular <i>José Carlos Solís Tito y Ignacio Fructuoso Solís Quispe</i>	2701
Sustainability Assessment of Mechanically Stabilized Earth Walls <i>Mina Lee and Dipanjan Basu</i>	2709
Production, Performance and Maintenance Time Observations in Mixed Soil-Rock EPB Drives <i>Claudia González, Marcos Arroyo and Antonio Gens</i>	2717
Granular Mechanics of the Active Lateral Earth Pressure Against Translating Rigid Walls <i>Calixtro Yanqui</i>	2725
The Vista Tower Buenos Aires. Case of Deep and Complex Excavation in Urban Area <i>Tomas Alejandro Laria, Jorge Gabriel Laiun and Alejo Oscar Sfriso</i>	2733
Study of Tunnel Face Stability in Soil: A Comparison of Methods <i>Matheus Rocha, Maria das Graças De Almeida Gardoni, André Pacheco De Assis and Vinícius de Sousa Costa</i>	2741
Diseño de Sistema de Estabilización de una Excavación Circular de 80 m de Diámetro y 42 m de Profundidad, en Rellenos Heterogéneos y Tobas, en Ciudad de México <i>Alfredo Cirion Arana y Juan Paulín Aguirre</i>	2748
Diseño y Construcción de Una Excavación a 42 m de Profundidad en la Zona de Transición de la CD de México, con Base en Anclas Activas Temporales de Hasta 250 t <i>J. Guillermo Clavellina Miller, Juan Paulín Aguirre, Rogelio Monroy Salgado y José de Jesús González Santiago</i>	2756
Excavaciones de Túneles, Tratadas con Inyecciones de Cemento. Ensayos de Control de Cemento en Suelo (C/S), Aplicados en Columnas con Jet Grouting <i>Luis Tissera Bracamonte</i>	2764
Análisis por Desempeño de Excavaciones en Suelos Tobáceos <i>Juan Manuel Mayoral y Damián Vital</i>	2774
Análise de Métodos de Cálculo para Dimensionamento do Atirantamento em Rocha <i>Lucas Horochoski e Alessandro C. Morales Kormann</i>	2782
Stresses in Lining of a Circular Tunnel from Field Measurements and Analytical Solution <i>Marco A. Pérez Ángeles, Gabriel Y. Auvinet Guichard and Juan F. Rodríguez Rebolledo</i>	2790

Estudo do Uso de Fibra de Cana-de-Açúcar para Fins de Melhoramento de Solo	2798
<i>Adinele Gomes Guimarães, Nívea Adriana Dias Pons e Ana Carolina Moraes Rangel</i>	
Utilizing Lightweight Material in Reinforced Earth Walls	2806
<i>Shahriar Mirmirani, Peter Wu and Daniel Calatrava</i>	
Aplicación de dos Modelos de Cálculo para el Diseño de Pantallas Continuas en el Metro de Madrid y Análisis de sus Desplazamientos	2814
<i>Carola Sanhueza Plaza y Carlos Oteo Mazo</i>	
Stability of Supported Vertical Cuts in Granular Soils Against Deep Failure	2822
<i>Mehdi Veiskarami and Sina Fadaie</i>	
Ancoragens Passivas. Detalhes (I)	2830
<i>Sandra Ferreira e Raül Sarra Pistone</i>	
Ancoragens Passivas. Casos de Obra (II)	2838
<i>Sandra Ferreira e Raül Sarra Pistone</i>	
Section I. Geo-Risks	
Risk-Based Design and Evaluation of Earth Structures	2849
<i>Ramanuja Chari Kannan</i>	
Comportamiento y Remediación de un Deslizamiento Coluvial en el Ecuador	2860
<i>Xavier Vera-Grunauer, Oscar Gonzalez, Jenny Ramirez, Ignacio Ochoa, Diego Cobos y Janet Lojano</i>	
Failure Mechanism Associated with Hydrostatic Pressure in Deep Seated Landslides on the Eastern Slopes of the Aburrá Valley	2868
<i>Óscar Echeverri Ramírez, Fabián Hoyos Patiño, Marisol Salvá Ramírez and Alejandro Velásquez Pérez</i>	
Aplicação de Métodos Probabilísticos na Previsão Espacial de Escorregamentos Deflagrados por Chuvas – Estudo de Caso: Pajarito, Medellín, Colômbia	2876
<i>Eduardo Montoya Botero, Hernán Eduardo Martínez Carvajal e Edwin Fabian Garcia Aristizábal</i>	
Predicción de la Reología de Flujos en la Cordillera Oriental Argentina	2884
<i>Maria Alejandra Gonzalez y Natalia Solis</i>	
Risk Estimation in Urban Buildings by Landslides Triggered by Earthquakes and Rainfall (Medellin-Colombia)	2892
<i>Cesar Hidalgo and Johnny Vega</i>	
Influencia de la Variabilidad Espacial de los Parámetros Mecánicos e Hidráulicos en la Estabilidad de Taludes	2900
<i>Estefanía Muñoz, Manoel Cordão-Neto y Andrés Ochoa</i>	
Numerical Computation of Avalanches of Unstable Rock Masses	2908
<i>Sonia Fanelli and Eric Dimnet</i>	

Análisis Probabilístico de Amenaza de Deslizamiento en la Cuenca Thola Pujro, Cordillera Tunari, Cochabamba, Bolivia <i>Christian Boris Camacho Peña y Ronald Garcia Zurita</i>	2916
Sistema Contra Caída de Rocas para la Gestión de Riesgos <i>Carlos Aranda y César Torres</i>	2924
Influência da Declividade na Classificação de Risco de Deslizamento de Terra Baseado no Método AHP em Vitória, ES, Brasil <i>G.V. Ferrão, K.V. Bicalho, R. Castro Junior, F. Bortoloti e R. Sarmento</i>	2932
Análise Espacial da Estabilidade de Encostas Visando a Implantação de Vias com o Uso do Shalstab – Aplicação em Sub-Bacias do Rio Tubarão <i>Gean Paulo Michel, Vicente Mafra, Rodolfo Joaquim Contessi e Rafael Augusto Dos Reis Higashi</i>	2940
Mapa de Riesgo Geotécnico con Fines de Urbanismo en la Vía de Mérida-Jají, Estado Mérida <i>Norly Belandria, Francisco Bongiorno, Daniel Rivas y Sol Moreno</i>	2948
Evaluación de Susceptibilidad de Fenómenos de Remoción en Masa Usando Redes Neuronales Artificiales, Para la Ciudad de Tunja Boyacá <i>Javier Alcides Soto Monroy y Omar Javier Jiménez Jiménez</i>	2957
Evaluation of Ground Motion Prediction Equations (GMPEs) for Chile Subduction Zone <i>Nicolás Bastías, Gonzalo A. Montalva, Felipe Leyton, Esteban Saez, Francisco Ruz and Pedro Troncoso</i>	2965
Deep Characterization of the Santiago Basin for Seismic Site-Response Evaluation Using Seismic Noise Cross-Correlation <i>César Pastén, Miguel Saez, Felipe Leyton and Sergio Ruiz</i>	2973
The Benefit of Spatial Correlation for Non-Redundant Lifelines <i>R.E.S. Moss and J.C. Hollenback</i>	2981
Determinación de Curvas de Vulnerabilidad de Viviendas Ante Procesos de Remoción en Masa en la Ciudad de Bogotá <i>Nelson Perico García y Guillermo Ávila Álvarez</i>	2988
Proyecto de Caracterización Dinámica del Subsuelo para la Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Tunja <i>Leonardo Guio, Felipe Reyes, Miguel Sanchez y Omar Jimenez</i>	2995
Stability Analysis of Sea Cliffs in the Coastal Zone of Baía Formosa/Rio Grande do Norte State – Brazil <i>Olavo F. Santos Jr., Carlos De Souza Jr., Ada Cristina Scudelari, Osvaldo De Freitas Neto, Venerando Amaro and Slobodan Mickovski</i>	3003
Análise Probabilística da Estabilidade de Talude de Solo Reforçado com Geotêxtil <i>Paula Lodo Zuccolo, Jefferson Lins Da Silva e Isabela Domingos Cardoso</i>	3011

Natural Disasters Analysis Based on IDF Equations <i>Ilza Machado Kaiser, Anna Silvia Palcheco Peixoto and Geórgia Jorge Pellegrina</i>	3019
Geomorphological and Geotechnical Analysis of Landslides Induced by the Maule Earthquake 2010 in the Arauco Peninsula, Chile <i>Sebastian Moya, Sergio A. Sepúlveda, Alejandra Serey, Gonzalo Montalva, Freddy Yugsi, Paulo Oróstegui, Manuel García, José Quiroz and César Pastén</i>	3027
Estudio de la Respuesta Sísmica del Área Urbana de la Ciudad de Mendoza y Alrededores <i>Arnaldo M. Barchiesi, Camilo A. Mancipe H., Francisco Mingorance, Juan I. Corazza, Anna D'Onofrio, Francesco Silvestri, Diego Esposito, Augusto Penna, Lorenza Evangelista y Marco Mucciarelli</i>	3034
Evaluación de Aluviones en Busca Arenas Licuables en el Cauce de un Río a Partir de Tomografías Sísmicas y Geología de Superficie <i>Oscar Mazuelos y Alfredo Rodríguez</i>	3042
Relación Lluvia-Deslizamientos para la Ciudad de Bogotá. Simulación Dirigida por Datos <i>Alfonso Mariano Ramos Cañón, Luis Felipe Prada-Sarmiento, Mario Germán Trujillo-Vela, Juan Pablo Macías, Ana Carolina Santos R. y Carolina Urquijo</i>	3050
Análisis de Estabilidad de Taludes para la Generación de un Mapa de Probabilidad de Amenaza ante Deslizamientos en la Zona de Pampahasi, La Paz – Bolivia <i>Viscarra Agreda Fabiana</i>	3058
Criterio Probabilístico para Denotar la Capacidad de Carga <i>Carlos Tupayachi</i>	3066
Mapeamento Geotécnico de Áreas de Risco da Bacia do Itacorubi <i>Miryan Yumi Sakamoto, Rodrigo Paulo de Abreu, Rodolfo Joaquim Contessi, Mônica Carvalho Generini De Oliveira, Luiz Henrique Guesser e Rafael Augusto dos Reis Higashi</i>	3073
The Seismic Failure of the Port of Iquique's Wharf: Field Study and Main Observations <i>Esteban Sáez, Kyle Rollins, Kevin Franke, Alix Becerra and Christian Ledezma</i>	3081
Avaliação do Perigo de Deslizamentos Ocasionados por Chuvas pelo Uso de Autômatos Celulares <i>George Fernandes Azevedo, Hernán Eduardo Martínez Carvajal e Newton Moreira de Souza</i>	3089
Seismic Hazard Assessment for Sites of Large Structures in the Southeast Region of Brazil <i>Tania Bustamante, Celso Romanel and Maria Cascão</i>	3097

V _s -Kappa Consistent Input Ground Motions for Site Response Analyses. Case Studies in Concepción and San Pedro, Chile <i>Ashly Cabas, Adrian Rodriguez-Marek and Gonzalo A. Montalva</i>	3105
Estimativa Espacial da Profundidade do Solo com Aplicação em Estabilidade de Taludes <i>George Fernandes Azevedo, Eduardo Montoya Botero, Hernán Eduardo Martínez Carvajal, Newton Moreira de Souza e Edwin Fabian Garcia Aristizábal</i>	3113
Evaluation of the Variability of Mechanical Parameters of Some Formations from East of Medellín <i>Melissa Parra and Cesar Hidalgo</i>	3121
Slope Stability Study with Sliding Risk in the Municipality Camaragibe/Pernambuco – Brazil <i>Joany S.L. Albuquerque Magalhães and Roberto Quental Coutinho</i>	3127
Urbanization Convenience Zoning Based on Geomorphology <i>José Alexander Chavez and Jiří Šebesta</i>	3135
Physically-Based Modeling of Runoff and Soil Erosion in Slopes with Mountain Tracks <i>Sabatino Cuomo, Maria Della Sala and Mariarosaria Pierri</i>	3143
Undrained Response of Sand Containing Non-Plastic Fines <i>Yolanda Alberto-Hernandez and Ikuo Towhata</i>	3151
Cloud-Based Alert System for Aggressive Natural Disasters <i>Louis-Martin Losier, Felipe Fink Graef, Etienne Desgagné, Fábio Hochleitner and Laura de Oliveira Fernandes Moraes</i>	3159
The Oso, Washington, USA Landslide: Lessons Learned Through Field Reconnaissance and Data Collection <i>Jean Benoit, Jeffrey R. Keaton, Joseph Wartman, Scott Anderson, John Delachapelle, Robert Gilbert and David R. Montgomery</i>	3167
Wave-Induced Settlement Behavior of Caisson Breakwater on Sand <i>Tae-Hyung Kim, Je-Man Lee and Jae-Ho Lee</i>	3175
Elaboração do Mapa Geotécnico Preliminar e Análise das Áreas Suscetíveis a Deslizamentos Rasos do Município de Antônio Carlos, SC <i>Luiz Henrique Guesser e Rafael Augusto dos Reis Higashi</i>	3183
Evaluation of Regional Subsidence and Soil Fracturing in Mexico City Valley <i>Gabriel Auvinet Guichard, Edgar Méndez-Sánchez and Moisés Juárez Camarena</i>	3191

Section J. Miscellaneous Papers

Geosynthetic Reinforcement of Buried Flexible Pipes <i>Juán José Clariá and Francis Morella Moreno Guillén</i>	3201
---	------

Physical Tests of Grain Contacts in Silica Sand: Static Fatigue <i>Zhijie Wang and Radoslaw L. Michalowski</i>	3209
Arena de Sílice de Ramadillas y su Utilización en la Explotación no Convencional de Gas Natural (Shale Gas) <i>Mauro Poblete F., Karen Salgado R. y Oscar Jeréz</i>	3217
Caracterização Mineralógica e Geotécnica de Itabiritos das Minas da Samarco Mineração S.A., Minas Gerais, Brasil <i>Fabiana Lara Ribeiro, Eduardo Marques, Roberto Azevedo, Samuel Carneiro, Vitor Reis, Eduardo Cândido e Adelmo Cardoso</i>	3225
Learning Outcomes and Activities for Courses on Deep Foundations and Earth Retention Systems <i>Gregg L. Fiegel</i>	3232
Uso del Sistema de Clasificación de Terreno para British Columbia para el Mapeo Geológico-Geotécnico de Superficie en Obras Civiles <i>Gonzalo Jara y Carlos Sierra</i>	3240
Characterization of Gypsum Concretion in Loess: Some Geotechnical Considerations <i>María Pía Cruz</i>	3248
A Review of Large Triaxial Tests on Coarse Rockfill Samples <i>Carlos Ovalle, Edgar Bard, Christophe Dano, Pierre-Yves Hicher, Leonardo Dorador, José Campaña, Carolina Palma and Gonzalo Acuña</i>	3256
Pit Slope Recovery – Águas Claras Mine <i>Felipe Gobbi, Anderson Fonini, Daniel Tobler, Gilvan Sá, Carlos Farias, Célio Gomes, Bruno Denardin and Rodrigo Flach</i>	3264
Subject Index (English Keywords)	3273
Subject Index (Spanish/Portuguese Keywords)	3283
Author Index	3289

Relación lluvia-deslizamientos para la ciudad de Bogotá. Simulación dirigida por datos

Alfonso Mariano RAMOS CAÑÓN^a, Luis Felipe PRADA-SARMIENTO^a y Mario Germán TRUJILLO-VELA^{a,1}, Juan Pablo MACÍAS^b, Ana Carolina SANTOS R.^b, Carolina URQUIJO^a

^a*Instituto Geofísico. Pontificia Universidad Javeriana*

^bINGFOCOL Ltda.

Resumen. La ciudad de Bogotá por estar localizada sobre la cordillera de los Andes, es frecuentemente afectada por deslizamientos. Estos procesos son ocasionados principalmente en la temporada de lluvias. Esto marca la importancia de determinar qué parámetros derivados de la lluvia (e.g., intensidad, lluvia antecedente, lluvia diaria) están mejor relacionados con la ocurrencia de deslizamientos. Para este propósito se utilizó una técnica derivada de la estadística multivariada conocida como análisis discriminante lineal (LDA). La aplicación de este tipo de análisis condujo a obtener las funciones matemáticas simples que representan la probabilidad de ocurrencia de deslizamientos de tierra. Las funciones también permiten identificar las variables más relevantes derivadas de los registros de las precipitaciones relacionadas con la generación de deslizamientos. Utilizando datos históricos de precipitación, a partir de una geomorfología y climatología homogéneas se realizó una prueba de concepto mediante el uso de la metodología propuesta en un área de 9 km² en la parte sur de Bogotá. Para hacer uso del LDA fue necesario agrupar los deslizamientos en categorías. Cada una de estas categorías de agrupación representa los deslizamientos ocurridos en condiciones geomorfológicas similares. Además tuvo que ser generado sintéticamente otro conjunto de eventos de lluvia que no ocasionaran deslizamientos. Los resultados de la prueba de concepto muestra que las precipitaciones parámetros como la intensidad normalizada precipitaciones I_{MAP} , precipitación diaria normalizado R_{MAP} y días lluviosos normales RDN tienen la mejor correlación estadística con los deslizamientos observados en la zona de análisis.

Palabras clave. Relación lluvia-deslizamientos, análisis discriminante lineal.

1. Introducción

Los deslizamientos son fenómenos recurrentes que causan daños a propiedades privadas, bienes públicos y la vida de personas, por lo que se están haciendo grandes esfuerzos para establecer sistemas de alerta temprana capaces de predecir su ocurrencia [1]. Estos acontecimientos son detonados por varias causas como, intervención antrópica, socavación, excavación, expansión radicular, minería, sismos, rotura de

¹ Corresponding Author: Mario Germán Trujillo-Vela, carrera 7 No. 42-27 Bogotá D.C., Colombia; E-mail: mario.trujillo@javeriana.edu.co

tuberías, y principalmente por las lluvias. La determinación de condiciones de lluvia que detonan deslizamientos se puede hacer a partir de la experiencia de los evaluadores del riesgo geotécnico, quienes a partir de registros históricos y las características básicas de la lluvia proponen umbrales a partir de los cuales se pueden desencadenar deslizamientos, como intensidad-duración, lluvia antecedente, lluvia diaria, entre otros [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8]. Estos parámetros de lluvia comúnmente son impuestos para regiones determinadas que muchas veces pueden exceder los 1000 km².

Realizar dicha imposición no es la mejor opción, herramientas de la estadística multivariada como el *análisis discriminante lineal* permiten determinar cuál de múltiples parámetros de lluvia es el que mejor se relaciona con deslizamientos en una zona establecida. El análisis discriminante permite obtener una función lineal que separa y agrupa los datos en n categorías, denominada como la función discriminante. La función obtenida contiene los parámetros de lluvia con su respectivo peso, indicando que parámetro tiene mayor importancia en cuanto el coeficiente sea más grande. En este trabajo se caracterizan registros de lluvia y deslizamientos con el fin de encontrar relaciones entre estos dos procesos naturales. Finalmente se hace uso del análisis discriminante lineal para determinar cuáles de los 97 parámetros de lluvia estudiados, se relaciona mejor con los deslizamientos ocurridos en la ciudad de Bogotá, Colombia.

2. Base de datos

Con el fin de elaborar la base de datos de deslizamientos se utilizó información consignada en el Instituto Distrital de Gestión del Riesgo y Cambio Climático (IDIGER). Donde se encontró información de 2208 deslizamientos ocurridos en toda la ciudad de Bogotá entre los años 1996 y 2013 (Figura 1). Del total de deslizamientos reportados se extrajo la información más relevante como: fecha, hora y ubicación del evento, tipo de movimiento, volumen de material deslizado, pendiente del terreno, descripción geológica de la zona, tipo de material geológico deslizado, la posible causa del evento, tipo de cobertura.

En la Figura 1 se presenta la ubicación de Bogotá con un área urbana de 307.36 km², donde se muestran la distribución espacial de los 2208 deslizamientos reportados desde Enero de 1996 hasta Abril de 2013. El mapa tiene las 20 localidades con el fin de fijar zonas más afectadas por deslizamientos. En la Figura 1 también se puede ver tan solo 9 de todas las estaciones meteorológicas que hay en Bogotá.

La Figura 2a presenta como criterio de clasificación el tipo de material con que se presentó el proceso de remoción en masa. Se observa que la mayoría de los movimientos con un 52% de los reportes corresponden al tipo de material tipo suelo. En la Figura 2b se agrupan los procesos de remoción en masa dependiendo de la clasificación del movimiento registrada en el informe. El 36% de los eventos registrados fueron clasificados como deslizamientos, indicando que no hay especificidades en el movimiento ocurrido que permitan caracterizarlo en las demás categorías. El 38% de los movimientos que se presentan en Bogotá son en forma de flujos, el 17% se refiere a los movimientos donde se tienen bandas de corte definidas y el 10% son en forma de caiga.

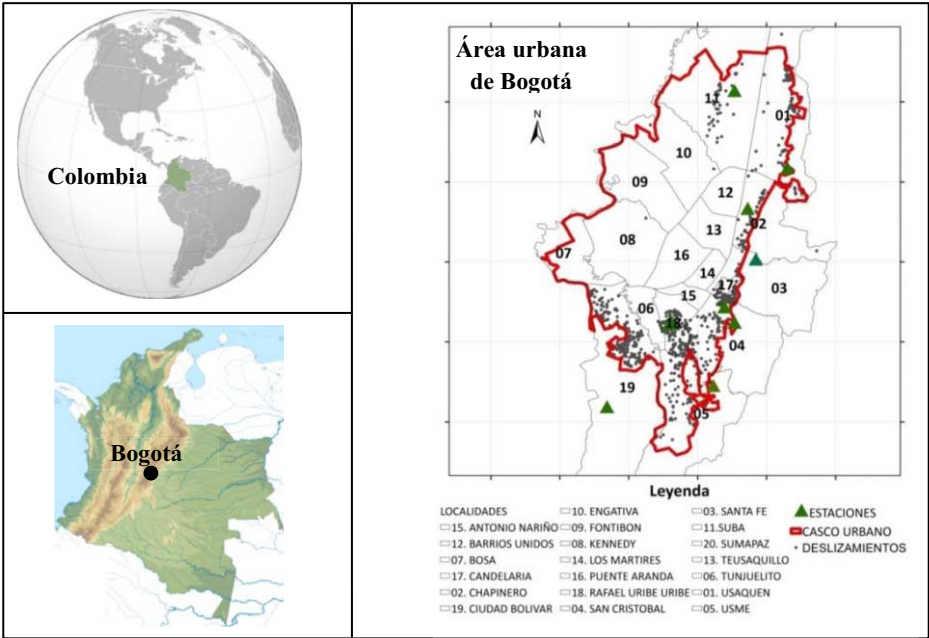


Figura 1. Mapa de Bogotá con puntos de deslizamientos y estaciones.

La Figura 2c muestra los procesos de remoción en masa en función de las posibles causas que generaron el evento. La mayoría de los registros (39%) de los registros muestran que la posible causa del movimiento ha sido la lluvia. Esta estadística permite afirmar que la lluvia es el factor detonante más importante de eventos de remoción en masa en el perímetro urbano de la ciudad.

En la Figura 2d se presenta como criterio de clasificación el tipo de cobertura que fue registrada en el lugar donde ocurrió el deslizamiento. Es importante poner dos tipos de coberturas en contraste. La primera, es el porcentaje de deslizamientos correspondientes a las coberturas antrópicas (12%), muchas veces carentes de las técnicas ingenieriles. La segunda son las coberturas vegetales (gramíneas, arbustos, árboles) que representan el 22% de los registros, sin embargo, es importante aclarar que las coberturas dominadas por árboles tan solo representan el 1% de los procesos de remoción en masa. Con estos registro, al igual que en Zhou et al. [9] se puede evidenciar que, cuando el suelo está cubierto con árboles se genera la menor cantidad de deslizamientos.

La Figura 2e presenta los ángulos de inclinación de talud. La mayor cantidad de procesos de remoción en masa se presentan en ángulos de inclinación mayores a los 40°, para ángulos menores de 40° la frecuencia es menor al 6% (Figura 2e). Dai y Lee [10] reportan una mayor frecuencia de generación de procesos de remoción en masa en función del ángulo de inclinación entre 30° y 40° para Hong Kong. Zhou et al. [9] muestra una mayor frecuencia de deslizamientos en ángulos de inclinación entre 20° y 35° para la isla de Lantau en Hong Kong (Figura 2e).

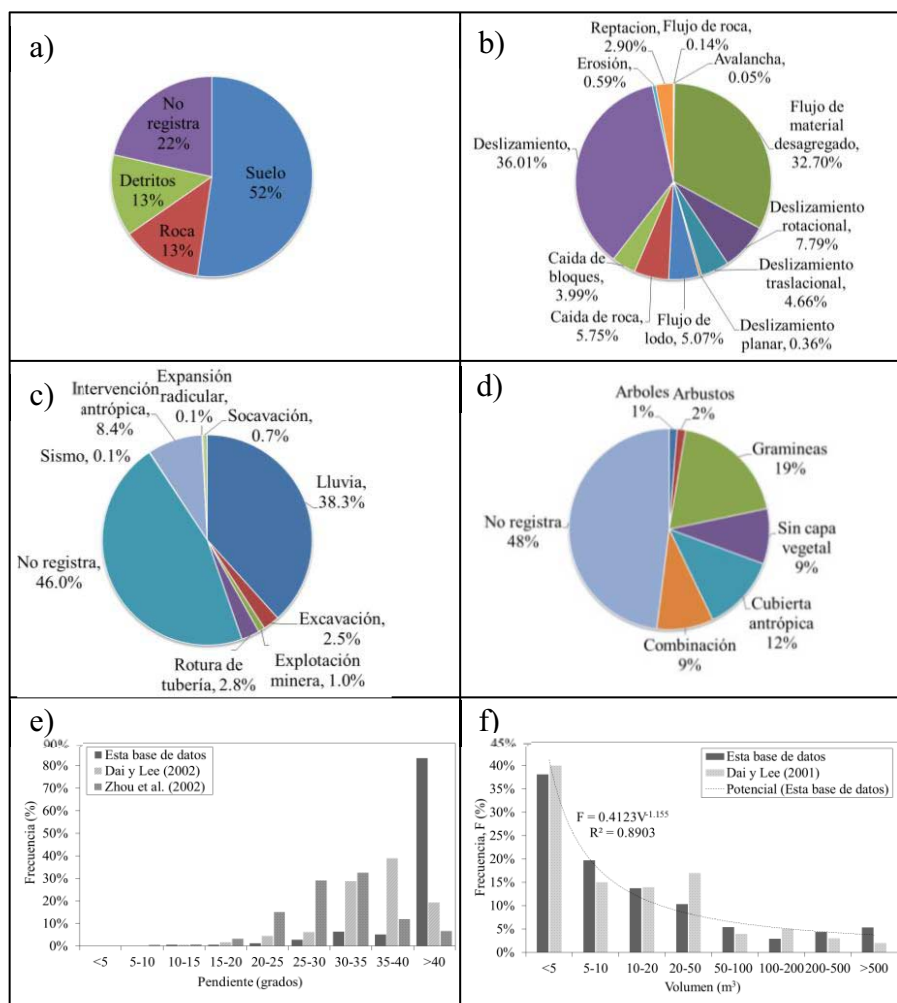


Figura 2. Estadísticas obtenidas del catálogo de eventos de remoción en masa. a Descripción general del tipo de material movido. b Tipo de procesos de remoción en masa generados en Bogotá. c Posible causa que desencadenó el movimiento. d Tipo de cobertura que predomina en la zona del movimiento. e Ángulos de inclinación del talud en función de la frecuencia relativa de eventos de remoción en masa. f volumen de material movido en función de la frecuencia relativa de eventos de remoción en masa.

La Figura 2f muestra la magnitud del proceso de remoción en masa en función del volumen de material deslizado. El 82% de los movimientos en masa contienen volúmenes de material inferior a 50 m³, el restante 18% son movimientos que tienen volúmenes mayores a 50 m³ (Figura 2f). Dai y Lee [11] reportan que el volumen de las fallas van desde 0,1 hasta 100.000 m³ y la representación del porcentaje de deslizamientos en función del volumen también está regida de forma semejante con una ley de potencia al igual que Brardinoni y Church [12].

La Figura 2 muestra la relación que existe entre los deslizamientos y la lluvia. Primero porque la mayoría de los movimientos presentan un comportamiento en forma de flujo (Figura 2b), lo que indicaría la importancia del agua en la detonación del mismo, y

segundo, explícitamente la Figura 2c muestra que un gran porcentaje de los movimientos son causado posiblemente por la lluvia. Además, Ramos-Cañón et al., [13] muestra una relación entre las lluvias y deslizamientos de tierra. En promedio, la precipitación máxima de Bogotá tiene lugar en los periodos de marzo a mayo y de noviembre a diciembre y coincide con el mayor número de deslizamientos presentados en estos mismos meses [13].

3. Análisis discriminante lineal

En este trabajo se ha venido resaltando la importancia que tiene la lluvia como generador de deslizamientos, ahora es cuando se debe proponer a un procedimiento que permita establecer cuales parámetros de lluvia pueden ser relacionados con los deslizamientos ocurridos en Bogotá. Algunos autores como Baeza y Corominas [14] y Dai y Lee [11] han empleado un método de estadística multivariada llamado *análisis discriminante lineal (LDA)* para encontrar cuales parámetros de lluvia describen mejor a los deslizamientos. El LDA es un procedimiento que permite clasificar objetos a partir de un grupo de variables independientes, en uno o varios conjuntos de categorías mutuamente excluyentes [15, 16, 17]. Aquí se realiza el LDA con el fin de determinar el tipo de variable de lluvia que se relaciona con los deslizamientos y el umbral de la función discriminante. Esto se hace para una pequeña área de 9 km², en la zona más afectada de la ciudad de Bogotá, asegurando que la climatología y la geomorfología del área seleccionada no presentan cambios considerables en estos dos aspectos.

Para realizar el LDA se agrupan los deslizamientos en tres categorías, en donde cada agrupación contiene de forma implícita información geológica de cada tipo de movimiento. Los criterios de agrupación en orden de importancia son: el tipo de deslizamiento (TD), pendiente (S), tipo de geología (TG), tipo de material geológico (TM) y el nivel de amenaza (NA). Además, el modelador podría hacer agrupaciones dependiendo de otros parámetros relacionados a la tipología y geometría de los deslizamientos. El cálculo del índice de agrupación (IA) para cada deslizamiento se propone como la combinación lineal de las características anteriormente mencionadas de la siguiente manera.

$$IA = p_1 \cdot TD + p_2 \cdot TG + p_3 \cdot TM + p_4 \cdot S + p_5 \cdot NA$$

donde p_i es el peso asignado a cada una de las categorías con base en el criterio y experticia del modelador. La combinación lineal de las variables numéricas con el peso de la categoría permite obtener índices de agrupación que varían entre cero y uno para los deslizamientos ($0 \leq IA \leq 1$). Una vez se tengan las agrupaciones de deslizamientos con características homogéneas, es necesario generar patrones de lluvia que no hayan ocasionado deslizamientos en una cantidad igual de patrones que se tiene deslizamiento.

El análisis discriminante lineal se hace de forma separada para cada uno de los índices de agrupación de los eventos reales de ocurrencia de deslizamiento. Es decir, se requiere generar tres tablas independientes donde se une a los deslizamientos y no deslizamientos de categoría IA1, deslizamientos y no deslizamientos de categoría IA2, deslizamientos y no deslizamientos de categoría IA3. Los parámetros de lluvia utilizados para realizar el análisis discriminante se muestran en la Tabla 1. Donde se

tienen MAP, R_{MAP} , I_{MAP} , RDN, N_{365} , P_1 , y A_d desde 1 hasta 90 días, para un total de 97 parámetros de lluvia.

Tabla 1. Definiciones los umbrales de precipitación usadas para realizar el análisis discriminante.

Variable	Descripción	Unidades*	Referencia
A_d	Lluvia antecedente. Lluvia total acumulada medida antes del deslizamiento, en un periodo determinado en días [A_d]. En este trabajo se tiene $1 \leq d \leq 90$.	[mm - d]	[3, 5, 17]
R	Lluvia diaria. Cantidad total de lluvia para el día del evento de deslizamiento [R].	[mm]	[4, 6, 7]
MAP	Precipitación media anual.	[mm]	[19]
R_{MAP}	Lluvia diaria normalizada. Se define como la cantidad total de lluvia para el día del evento de deslizamiento dividida entre la precipitación media anual [R/MAP].	[mm]	[4, 5, 6, 7, 8]
I	Intensidad de lluvia.	[mm/h]	[2, 20, 21, 22, 23, 24]
I_{MAP}	Intensidad de lluvia normalizada. Se define como la división de la intensidad de lluvia entre la precipitación media anual [$I_{MAP}=I/MAP$]	[1/h]	[25, 26, 27, 28, 29, 30]
RDN	Días lluviosos normales. Se definen como la relación entre la precipitación media anual y el número medio de días de lluvia en un año [$RDN=MAP/RD_y$]	[mm/h]	[28, 31]
N_{365}	Número medio de días de lluvia en un año. Es el Promedio multianual de la cantidad de días al año que llueve en una región o para este caso en una estación de precipitación.	[d]	[32]
P_1	Precipitación del día precedente. Es la cantidad de precipitación medida el día anterior al deslizamiento	[mm]	[18]

* h=horas, d=días, mm=milímetro

Con el LDA se obtiene la función discriminante con los coeficientes (c_i) para cada parámetro de lluvia que, como se muestra de forma reducida a continuación:

$$D = c_1P_1 + c_2MAP + c_3R_{MAP} + c_4I + c_5I_{MAP} + c_6N_{365} + c_7RDN + c_8A_1 + c_9A_2 + c_{10}A_3 + \dots + c_{97}A_{90}$$

Para reducir la ecuación anterior se procedió a dejar solamente las variables que tuvieran mayor relevancia en la ecuación discriminante. A medida que el coeficiente discriminante de una variable hidrológica es más pequeña (i.e., $c_i \leq 10^{-1}$), esta variable no tiene importancia dentro de la función discriminante, ya que la relevancia de las variables independientes está directamente asociada con el orden de magnitud de los coeficientes discriminantes c_i [16, 17, 33].

Tabla 2. Resultados del análisis discriminante y los umbrales de la función discriminante.

Función discriminante lineal (LDF)	Valores medios de LDF	Desviación de LDF
$D_3 = 4.833 R_{MAP} + 27.802 I_{MAP} + 3.690 RDN$	$\bar{D}_3 = 1.0532$	$\sigma_{D_3} = 0.5196$
$D_2 = -5.542 R_{MAP} + 17.196 I_{MAP} + 4.546 RDN$	$\bar{D}_2 = 1.1165$	$\sigma_{D_2} = 0.5940$
$D_1 = 1.775 R_{MAP} - 364.335 I_{MAP} + 7.004 RDN$	$\bar{D}_1 = 0.2182$	$\sigma_{D_1} = 2.1419$

De esta selección de las variables de lluvia con mayores pesos en los coeficientes para cada uno de los índices de agrupación geológica coinciden en los tres grupos como se muestra en la Tabla 2, que son R_{MAP} , I_{MAP} , RDN. Las funciones discriminantes lineales

descritas en la Tabla 2 tiene la capacidad de agrupar de acuerdo con las variables de entrada R_{MAP} , I_{MAP} y RDN, la probabilidad de ocurrencia de un tipo de deslizamiento según el índice de agrupación, o la no ocurrencia de deslizamientos.

4. Conclusiones

La ocurrencia de deslizamientos en el segundo periodo de lluvias tiene un rezago respecto a la precipitación media mensual multianual, en donde la mayor cantidad de movimientos en masa se presenta tiempo después de la ocurrencia de los valores más altos de precipitación en la ciudad. La variación del régimen de lluvias de Bogotá, certifica que los parámetros de lluvia asociados a los deslizamientos no pueden ser aplicados a toda la ciudad, ya que el régimen de lluvias puede cambiar considerablemente de una estación a otra con apenas algunos miles de metros de distancia. Por esto, debe hacerse análisis zonificados en la ciudad para relacionar de forma más precisa los eventos de lluvia con los eventos de deslizamientos.

El análisis discriminante lineal permite encontrar exitosamente los parámetros de lluvia que mejor se relacionan con la ocurrencia de los deslizamientos, por medio de los pesos de cada uno de los parámetros. Así, se puede obtener una función discriminante que permite separar nuevos registros de los parámetros que mejor se relacionan con los deslizamientos, de modo que se puede determinar si ocurre o no deslizamientos en una zona. Con la metodología presentada en este trabajo es posible determinar la ocurrencia o no de deslizamientos con la probabilidad de ocurrencia o no del mismo.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Pontificia Universidad Javeriana por el soporte económico bajo proyecto de investigación No 6143 “Determinación de niveles umbrales de lluvia que generan deslizamientos en Bogotá

Referencias

- [1] A. Rosi, S. Segoni, F. Catani, y N. Casagli, Statistical and environmental analyses for the definition of a regional rainfall threshold system for landslide triggering in Tuscany (Italy), *Journal of Geographical Sciences*, **22(4)**(2012), 617–629.
- [2] N. Caine, The rainfall intensity: duration control of shallow landslides and debris flows, *Geografiska Annaler, Series A. Physical Geography*, (1980), 23–27.
- [3] M. T. J. Terlien, *Modelling Spatial and Temporal Variations in Rainfall-triggered Landslides: The Integration of Hydrologic Models, Slope Stability Models and Geographic Information Systems for the Hazard Zonation of Rainfall-triggered Landslides with Examples from Manizales (Colombia)*, International Institute for Aerial Survey and Earth Sciences (ITC), 1996.
- [4] T. Glade, Establishing the frequency and magnitude of landslide-triggering rainstorm events in New Zealand, *Environmental Geology*, **35(2-3)** (1998), 160–174.
- [5] A. Pasuto y S. Silvano, Rainfall as a trigger of shallow mass movements. A case study in the Dolomites, Italy, *Environmental Geology*, **35(2-3)** (1998):184–189.
- [6] E. J. Gabet, D. W. Burbank, J. K. Putkonen, B. A. Pratt-Sitaula y T. Ojha, Rainfall thresholds for landsliding in the Himalayas of Nepal, *Geomorphology*, **63(3)** (2004), 131–143.
- [7] I. Chivatá Cárdenas, Using multinomial and imprecise probability for non-parametric modelling of rainfall in Manizales (Colombia), *Ingeniería e Investigación*, **28(2)**(2008), 22–29.

- [8] R. M. Mateos, I. García-Moreno y J. M. Azañón, Freeze–thaw cycles and rainfall as triggering factors of mass movements in a warm Mediterranean region: the case of the Tramuntana Range (Majorca, Spain), *Landslides*, **9**(3) (2012), 417–432.
- [9] C. H. Zhou, C. F. Lee, J. Li, y Z. W. Xu, On the spatial relationship between landslides and causative factors on Lantau Island, Hong Kong, *Geomorphology*, **43**(3) (2002), 197–207.
- [10] F. C. Dai, y C. F. Lee, Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong, *Geomorphology*, **42**(3) (2002), 213–228.
- [11] F. C. Dai, y C. F. Lee, Frequency–volume relation and prediction of rainfall-induced landslides, *Engineering geology*, **59**(3)(2001), 253–266.
- [12] F. Brardinoni y M. Church, Representing the landslide magnitude–frequency relation: Capilano River basin, British Columbia, *Earth surface processes and landforms*, **29**(1) (2004), 115–124.
- [13] A. M. Ramos-Cañón, L. F. Prada-Sarmiento, M. G. Trujillo-Vela, J. P. Macías y A. C. Santos-R, Linear discriminant analysis to describe the relationship between rainfall and landslides in Bogotá, Colombia, *Landslides*, (2015), 1–11.
- [14] C. Baeza y J. Corominas, Assessment of shallow landslide susceptibility by means of multivariate statistical techniques, *Earth surface processes and landforms*, **26**(12) (2001), 1251–1263.
- [15] D. Morrison, On the interpretation of discriminant analysis, *Journal of Marketing Research*, **6**(1969), 156–163.
- [16] T. W. Anderson, *An introduction to multivariate statistical analysis*. John Wiley, Edition 3, 721 p., 2003.
- [17] G. Baecher y J. Christian, *Reliability and statistics in geotechnical engineering*, John Wiley, Chichester, England, 1st edition, 2003.
- [18] J. D. Arango Gartner, *Relaciones lluvias–deslizamientos y zonificación geotécnica en la comuna dos de la ciudad de Manizales*, Master's thesis, Universidad Nacional de Colombia-Sede Manizales, 2000.
- [19] G. Guidicini y O. Iwasa, Tentative correlation between rainfall and landslides in a humid tropical environment. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology-Bulletin de l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur*, **16**(1)(1977), 13–20.
- [20] E. Akcali, H. Arman, S. Firat, L. Saltbas y Z. Gunduz, Rainfall threshold for the initiation of landslides in Trabzon province of Turkey. *International Journal of Engineering and Applied Science (IJEAC)*, **2**(4) (2010), 14–26.
- [21] R. Ahmad, Developing early warning systems in Jamaica: rainfall thresholds for hydrological hazards, *National Disaster Management Conference, Ocho Rios*. St Ann, Jamaica, (2003), pages 9–10.
- [22] S. Au, Rain-induced slope instability in Hong Kong, *Engineering Geology*, **51**(1)(1998), 1–36.
- [23] S. H. Cannon y J. E. Gartner, Wildfire-related debris flow from a hazards perspective, *In Debris-flow Hazards and Related Phenomena*, (2005), 363–385.
- [24] M. Brunetti, S. Peruccacci, M. Rossi, S. Luciani, D. Valigi y F. Guzzetti, Rainfall thresholds for the possible occurrence of landslides in Italy, *Natural Hazards and Earth System Science*, **10**(3)(2010), 447–458.
- [25] P. Paronuzzi, A. Coccolo y G. Garlatti, Eventi meteorici critici e debris flows nei bacini Montani del Friuli, *La Acqua, Sezione I-Memorie*, (1998), 39–50.
- [26] P. Aleotti, A warning system for rainfall-induced shallow failures. *Engineering Geology*, **73**(3)(2004), 247–265.
- [27] M. Bacchini y A. Zannoni, Relations between rainfall and triggering of debris-flow: case study of Cancia (Dolomites, Northeastern Italy), *Natural Hazards and Earth System Science*, **3**(1/2)(2003), 71–79.
- [28] F. Guzzetti, S. Peruccacci, M. Rossi, y C. P. Stark, Rainfall thresholds for the initiation of landslides in central and southern Europe, *Meteorology and Atmospheric Physics*, **98**(3–4)(2007), 239–267.
- [29] R. K. Dahal y S. Hasegawa, Representative rainfall thresholds for landslides in the Nepal Himalaya, *Geomorphology*, **100**(3)(2008), 429–443.
- [30] W. Zhou y C. Tang, Rainfall thresholds for debris flow initiation in the Wenchuan earthquake-stricken area, southwestern China, *Landslides*, (2013), 1–11.
- [31] J. Mathew, D. G. Babu, S. Kundu, K. V. Kumar y C. Pant, Integrating intensity–duration–based rainfall threshold and antecedent rainfall-based probability estimate towards generating early warning for rainfall-induced landslides in parts of the Garhwal Himalaya, India, *Landslides*, (2013), 1–14.
- [32] R.C. Wilson y A.S. Jayko, Preliminary maps showing rainfall thresholds for debris-flow activity, San Francisco Bay Region, California. *US Geological Survey Open-File Report 97-745 F*, 1997.
- [33] D. Morrison, On the interpretation of discriminant analysis, *Journal of Marketing Research*, **6**(1969), 156–163.