

## Determinación de los parámetros dinámicos en depósitos sedimentarios de Ocaña Norte de Santander, mediante métodos geofísicos

Determination of dynamic parameters in sedimentary deposits, using geophysical methods in Ocaña Norte de Santander

Esp. **Ciro Andrey Martínez Ovallos<sup>1</sup>**, MSc. **Romel J. Gallardo Amaya<sup>2</sup>**, Ph.D. **Nelson Afanador García<sup>3</sup>**.

<sup>1</sup>Grupo de investigación GIGMA, Universidad Francisco de Paula Santander, Colombia, [camartinezo@ufps.edu.co](mailto:camartinezo@ufps.edu.co), <https://orcid.org/0000-0002-9760-1528>

<sup>2</sup>Grupo de investigación GIGMA, Universidad Francisco de Paula Santander, Colombia, [rjgallardo@ufps.edu.co](mailto:rjgallardo@ufps.edu.co), <https://orcid.org/0000-0002-4740-4841>.

<sup>3</sup>Grupo de investigación CERG, Universidad Francisco de Paula Santander, Colombia, [nafanador@ufps.edu.co](mailto:nafanador@ufps.edu.co), <https://orcid.org/0000-0001-5463-2036>.

Como citar: C. A. Martínez-Ovallos, R. J. Gallardo-Amaya y N. Afanador-García, "Determinación de los parámetros dinámicos en depósitos sedimentarios de Ocaña Norte de Santander, mediante métodos geofísicos", *Revista Ingenio*, vol. 15, n°1, pp.51-57, 2018, doi: <https://doi.org/10.22463/2011642x.3139>.

Fecha de recibido: 22 de julio de 2017  
Fecha aprobación: 29 de noviembre de 2017

### RESUMEN

#### Palabras claves:

Constantes elásticas, formación sedimentaria, geofísica, MASW, refracción sísmica.

Las propiedades dinámicas determinan el comportamiento elástico de los suelos, y su cálculo es de interés en el estudio de la interacción-suelo estructura. En la ciudad de Ocaña se desconoce el valor de estas propiedades, por lo cual se desarrollaron un conjunto de ensayos geofísicos para la medición de ondas primarias y posterior cálculo de las propiedades que permitirían hacer un mejor análisis dinámico del suelo. Inicialmente se seleccionaron los sitios para la realización de los ensayos de Refracción sísmica y Análisis Multicanal de Ondas Superficiales. Posteriormente se inició la etapa de procesamiento con el software SeisImager/2D y SeisImager/SW2D para determinar el valor de la velocidad de onda P y S. Mediante fórmulas de la teoría de elasticidad se determinaron las propiedades dinámicas del suelo y finalmente se realiza un análisis estadístico de los resultados, se pudo determinar que la mayor parte de la ciudad de Ocaña se encuentra constituida por una formación geológica de origen sedimentario, compuesta por materiales areno-arcillosos y arcillo-limosos de alta plasticidad. Los valores promedio en estos materiales son: módulo de rigidez entre 135,98MPa y 242,19MPa, módulo de elasticidad entre 709,51MPa y 364,71MPa y coeficiente de Poisson entre 0,393 y 0,467.

### ABSTRACT

#### Key words:

Elastic constants, sedimentary formation, geophysics, MASW, seismic refraction.

The dynamic properties determine the elastic behavior of soils, and their calculation is of interest in the study of the soil-structure interaction. In the city of Ocaña, the value of these properties is unknown, so a set of geophysical tests were developed for the measurement of primary waves, and subsequent calculation of the properties that would allow a better dynamic analysis of the soil. Initially, the sites were selected to carry out the Seismic Refraction and Multichannel Analysis of Surface Waves tests. Subsequently, the processing stage was started with the SeisImager / 2D and SeisImager / SW2D software, to determine the value of the P and S wave velocity. Through formulas of the theory of elasticity, the dynamic properties of the soil were determined, and finally a Statistical analysis of the results. It was possible to determine that most of the city of Ocaña is made up of a geological formation of sedimentary origin, composed of sandy-clayey and clayey-silty materials of high plasticity. The average values, in these materials, for the modulus of rigidity is between 135.98MPa and 242.19MPa, a modulus of elasticity between 709.51MPa and 364.71MPa, and a Poisson's ratio between 0.393 and 0.467.

### 1. Introducción

Colombia yace sobre dos zonas de subducción importantes, la placa nazca y caribe, situadas paralelamente a las costas colombianas [1-2], que se relaciona con zonas de mayor actividad sísmica como lo son: Santander, Nariño, Norte de Santander, Risaralda, Caldas, Quindío y el norte el Choco [3]. Además, en la norma sismo resistente colombiana, la ciudad de Ocaña se clasifica en un nivel de amenaza sísmica intermedia [4]. Lo anterior denota la importancia de entender el comportamiento del suelo cuando se somete a las cargas

generadas durante los sismos, pues bajo estas condiciones el suelo posee una respuesta que, dada la anisotropía de este, no puede ser analizado desde un punto de vista estático [5], pues la respuesta del suelo está asociada a los parámetros dinámicos del suelo, adquiriendo un comportamiento dinámico, que depende de los parámetros dinámicos del suelo [6].

Históricamente Ocaña ha sido receptor de población, llegando hasta una cifra del 0,30% del total nacional [7], el

#### Autor para correspondencia

Correo electrónico: [camartinezo@ufps.edu.co](mailto:camartinezo@ufps.edu.co) (Esp. **Ciro Andrey Martínez Ovallos**)



La revisión por pares es responsabilidad de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña  
Artículo bajo la licencia CC BY-NC-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>)

crecimiento de la población conlleva un crecimiento físico, necesario no solo para viviendas sino para albergar nuevas actividades especializadas que abastecen a un mercado más grande [8]. Dependiendo de las características de la ciudad este crecimiento se refleja con un incremento de la densidad de construcción, optando por edificaciones más altas que alberguen un mayor número de habitantes. Los terrenos donde se desarrollan estas edificaciones requieren de estudios que brinden información necesaria acerca del comportamiento de los suelos y el análisis de la interacción suelo-estructura, este análisis parte de los parámetros dinámicos del suelo... onda p y ondas, (tres o cuatro en inglés) los cuales se establecen en la ciudad mediante correlaciones basadas en los resultados del ensayo de SPT a partir de ecuaciones empíricas planteadas por autores como:[9-10-11], en condiciones probablemente diferentes a las de la ciudad de Ocaña; Y aunque puedan dar una idea del valor de la velocidad de onda cortante, de los parámetros dinámicos del suelo, existe una alta probabilidad de imprecisión en ellos, y esto es debido a que en la ciudad no se cuenta hasta el momento con procedimientos ni equipo especializado que permita su obtención directa.

La medición de las ondas se puede realizar mediante métodos geofísicos. El método de refracción sísmica consiste en la medición del tiempo de viaje de la primera onda detectada, (onda de compresión u onda P) en una serie de puntos separados a intervalos regulares a lo largo de una línea de referencia ubicada sobre la superficie de la tierra. Dicha línea se conoce como línea de inspección, y en cada punto de la misma se encuentra un dispositivo receptor de señales llamado geófono. Las ondas detectadas en cada receptor son originadas a partir de una fuente de energía de tipo impulsiva en una ubicación estratégica conocida con el nombre de punto de disparo, pudiendo utilizar una explosión o el impacto de un objeto sobre el terreno [12]. Y en el caso del ensayo de términos generales, la adquisición de datos para el Multichannel Analysis of Surface Waves - MASW no es muy diferente de los procedimientos comunes adoptados en los estudios de refracción, en realidad es más sencillo porque, por ejemplo, solo se requiere un disparo ofensivo. Dos aspectos triviales para considerar relacionan la posible saturación del trazo (recorte) y la atenuación del ruido incoherente por medio de un apilamiento vertical (es decir, la suma de trazas de disparos múltiples) [13].

La formación algodonal corresponde a una formación geológica característica de la geología de Ocaña, y representa casi la totalidad de la superficie del perímetro urbano, y sobre ella están las principales zonas con potencial de expansión en la ciudad, es por ello que con el desarrollo de este artículo se pretende establecer los valores característicos de las propiedades dinámicas de los materiales que componen esta formación, mediante la aplicación de los métodos geofísicos de Refracción Sísmica y MASW.

## 2. Metodología

Para lograr la estimación de valores característicos de los parámetros dinámicos en los materiales que componen la formación geológica (Algodonal) y conforman la geología del municipio de Ocaña Norte de Santander, se realizaron ensayos de Refracción Sísmica y MASW localizados en la zona Sur, suroriente y Centro occidente de la ciudad.

### 2.1 Ubicación y características de los sitios

Los sitios de estudio corresponden a terrenos dentro del perímetro urbano de la ciudad donde aflora la formación algodonal, que poseen una extensión suficiente para el armado y montaje de los equipos de adquisición y cuya pendiente no es muy pronunciada, adicionalmente se realizaron varias visitas durante la semana a fin de establecer los días con menor flujo de vehículos y peatones. En la figura 1 se aprecia la ubicación detallada de los sitios de estudio, los cuales se efectuaron sobre la formación algodonal la cual es una formación geológica conformada por rocas sedimentarias poco consolidadas y altamente meteorizadas que afloran en la mayor parte de la superficie del área urbana de la ciudad de Ocaña y sobre esta formación se efectuaron ensayos de refracción sísmica y MASW.

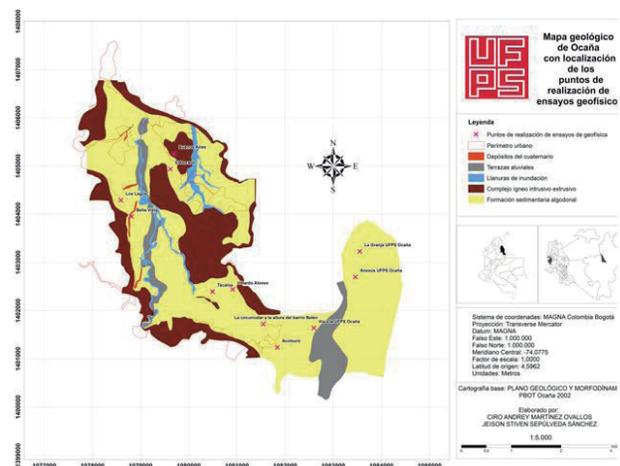
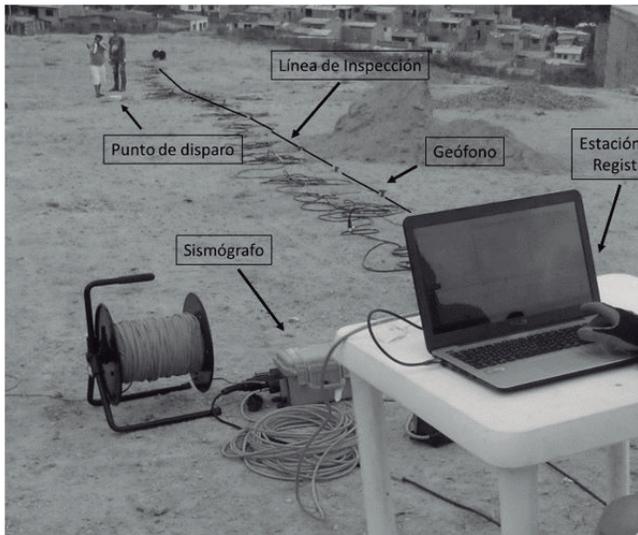


Figura 1. Imagen satelital con la ubicación de los sitios de estudio.

### 2.2 Adquisición y procesamiento

Los métodos geofísicos empleados para la determinación de onda de compresión (ondas P) y ondas de corte (ondas S) fueron Refracción sísmica y MASW respectivamente, haciendo uso de un Geode ultra-lite, de la empresa GEOMETRICS con 24 canales y geófonos de 14,5 Hz, adicionalmente se hizo uso de un mazo de 6 libras, Cable sísmico, trigger, convertidor, cable de interface, cable de poder y batería de 12 v. La figura 2 muestra un esquema general del montaje del equipo, el diseño de las líneas de adquisición en todas las zonas y para

ambos métodos tuvo las mismas características, una longitud de 46 metros, un total de 24 geófonos con una separación de 2 metros. Dispuesto el montaje de las líneas para cada sitio, se configuró el software Geometrics Seismodule Controller con los parámetros definidos de la tabla 1 y la tabla 2.



**Figura 2.** Montaje del equipo para líneas de refracción sísmica y MASW.

**Tabla 1.** Parámetros de adquisición para refracción sísmica.

Parámetros	Datos
Apilamiento	Auto apilado
Numero de golpes	3 a 5 Golpes
Punto de disparo	-2, 15, 31, 48 m
Intervalo de muestreo	0.250 m
Tiempo de registro	1 s
Tiempo de retardo	0.1 s
Filtrado de datos	No

**Tabla 2.** Parámetros de adquisición para MASW 2D.

Parámetros	Datos
Apilamiento	Auto apilado
Numero de golpes	3 a 5 Golpes
Punto de disparo	Entre geófonos
Intervalo de muestreo	0.250 m
Tiempo de registro	1 s
Tiempo de retardo	0.1 s
Filtrado de datos	No

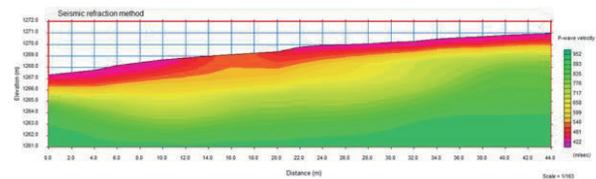
El procesamiento de los datos se realizó con el software SeisImager de la empresa Geometrics, con los módulos de Pickwin (Pick First Breaks or Dispersion Curves) y Plotrefa (refraction Analysis) para Refracción sísmica, y los módulos Pickwin y WaveEq (Surface Wave Analysis) para MASW 2D.

### 3. Resultados y discusión

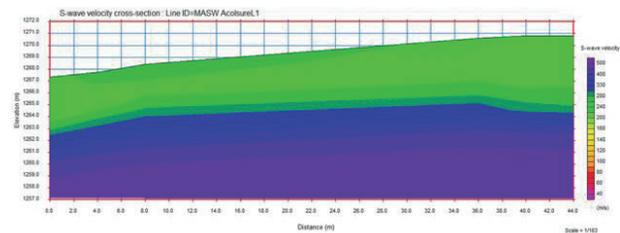
A continuación se indica el procedimiento que se llevó a cabo para la determinación de los perfiles de velocidad de onda S y onda P, el cálculo de la densidad y finalmente los parámetros dinámicos.

#### 3.1 Perfiles de velocidad de onda P y Onda S

Una vez realizados el proceso de adquisición y procesamiento se obtuvieron los perfiles de velocidades, tanto de onda P (VP) como de onda S (VS), con los respectivos porcentajes de error, producto del proceso de iteración para todos los sectores de estudio. Las figuras 3 y 4 muestran los perfiles de velocidad de onda P y onda S respectivamente, obtenidos para un sector en la zona sur de la ciudad.



**Figura 3.** Perfil de velocidad de onda P, Sector de Alcolsure.



**Figura 4.** Perfil de velocidad de onda S, Sector de Alcolsure.

#### 3.2 Parámetros Dinámicos

Los parámetros dinámicos corresponden a un conjunto de valores que describen de forma aproximada el comportamiento elástico del suelo, entendiendo que este último debido a su naturaleza isotrópica, no posee el mismo comportamiento de materiales rígidos, continuos y homogéneos, por lo cual, los valores que corresponden a estos parámetros se establecen a partir de un conjunto de condiciones iniciales, incluyendo el estado de esfuerzos al cual se encuentra sometido, y de cambiar estas condiciones, los valores correspondientes cambian de igual manera [14], por lo cual su investigación y cuantificación a través de los métodos geofísicos resulta un área de aplicación interesante y permite ampliar los alcances de la geofísica de los ambientes urbanos [15].

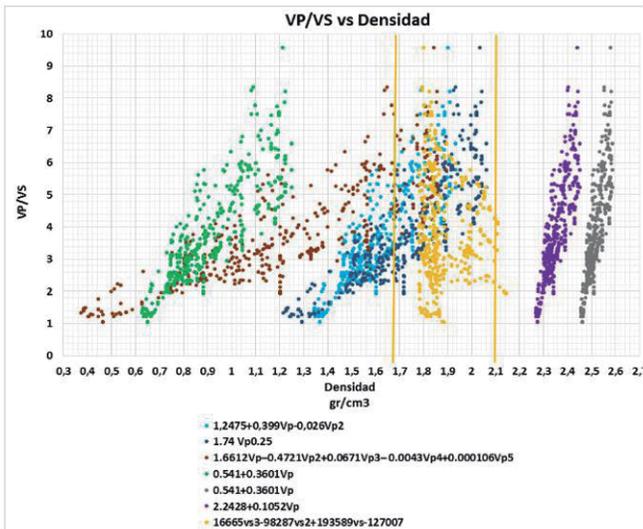
Las ondas elásticas (ondas P y S para este caso), al propagarse por el medio (suelo) producen cambios locales en esfuerzo y deformación, y la relación matemática entre estas dos variables permite el cálculo de las constantes elásticas o parámetros dinámicos. [16].

### 3.3 Densidad

El valor de la densidad es necesario para el cálculo de módulo de Rigidez, y de este último depende el módulo de Young, por ende fue necesario su estimación, que se realizó a partir de ecuaciones que corresponden a la relación de Nafe-Drake para una amplia variedad de tipos de rocas sedimentarias y cristalinas [17]. Muchas de las mediciones para estas relaciones corresponden en su mayoría al norte de California [18]. Adicionalmente se calculó una fórmula de correlación a partir de ensayos de densidad realizados en diferentes zonas de la ciudad, los valores obtenidos se muestran en la figura 5. Los puntos en color amarillo corresponden a los datos obtenidos con el uso de la correlación generada a partir de valores de los ensayos realizados en los diferentes sectores donde aflora la formación geológica estudiada.

### 3.4 Coeficiente de Poisson, Módulos de Rigidez y Modulo de Young

Para cada una de las zonas que hicieron parte de la investigación se seleccionan 4 puntos representativos en 15, 25 y 28 y 30 metros y se realizó el cálculo de las propiedades dinámicas para las diferentes profundidades y sitios, en la tabla 3 se indican los resultados obtenidos.



**Figura 5.** Grafica de la relación de VP/VS con respecto a la densidad.

**Tabla 3.** Parámetros de adquisición para refracción sísmica.

Prof. (m)	VP (m/s)	VS (m/s)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	G (kN/m <sup>2</sup> )	E (KPa)	$\mu$
10,00	1565,45	336,08	1,98	271,93	802,64	0,48
9,00	1565,39	336,08	1,98	271,92	802,63	0,48
8,00	1554,01	258,96	1,85	161,36	479,47	0,49
7,00	1554,01	258,96	1,85	161,36	479,47	0,49
6,00	1436,43	241,05	1,83	139,10	413,27	0,49
5,00	1391,62	241,05	1,83	138,83	412,18	0,48
4,00	1391,62	230,59	1,82	127,04	377,52	0,49
3,00	1363,09	229,04	1,82	125,18	371,90	0,49
2,00	827,02	230,10	1,82	123,36	359,72	0,46
1,00	358,14	219,62	1,82	110,00	263,70	0,20
0,00	301,03	219,62	1,82	109,71	204,28	0,07

### 3.5 Variaciones Porcentuales

Hasta ahora se ha analizado el comportamiento individual de los datos, ya sea por zonas de estudio o abarcando todos estos datos en un mismo grupo de datos al que llamamos formación algo donal, ahora, es importante ver la variación de cada zonas con respecto al grupo total de datos, siendo esto un indicador de la consistencia de los datos en la formación algo donal. En las tablas 4 y 5.

### 3.6 Correlaciones

A partir de los datos obtenidos en los diferentes ensayos se plantearon las correlaciones que se muestran en las tablas 6 a 10, estas correlaciones están dadas en función de la velocidad de onda S, que en general es un parámetro que se puede conocer con algunos ensayos sencillos como el SPT.

**Tabla 4.** Variaciones Porcentuales de los parámetros dinámicos para el material conglomerático.

Conglomerado			Variaciones Porcentuales con respecto a la Formación Algo donal			
Zona Sur	Zona Sur-Oriente	Zona Centro-Occidente	Formación Algo donal	Zona Sur	Zona Sur-Oriente	Zona Centro Occidente
<b>Resumen Vp</b>						
692,38	648,8	545,3	646,4	-7,1%	-0,4%	15,6%
<b>Resumen Vs</b>						

692,							15,6
38	648,8	545,3	646,4	-7,1%	-0,4%		%
<i>Resumen Vs</i>							
254,							2,1
8	226,7	236,3	241,28	-5,6%	6,1%		%
<i>Resumen σ</i>							
0,41	0,4	0,3	0,39	-4,6%	-5,4%		18,6
<i>Resumen G</i>							
145,							1,8
2	125,4	133,5	135,9	-6,8%	7,7%		%
<i>Resumen E</i>							
408,							16,8
7	345,1	303,6	364,7	%	5,4%		%

**Tabla 5.** Variaciones Porcentuales de los parámetros dinámicos para el material Arcillolita.

Arcillolita		Variaciones Porcentuales con respecto a la Formación Algodonal				
Zona Sur	Zona Sur-Oriente	Zona Centro-Occidente	Formación Algodonal	Zona Sur	Zona Sur Oriente	Zona Centro Occidente
<i>Resumen Vp</i>						
1309,2	1372,9	1542,8	1438,5	8,9%	4,6%	-7,5%
<i>Resumen Vs</i>						
341,1	278,6	312,8	313,1	-8,9%	11,0%	0,1%
<i>Resumen σ</i>						
0,45	0,48	0,48	0,47	4,48%	-2,2%	-1,6%
<i>Resumen G</i>						
274,9	191,6	247,97	242,9	-13,2%	21,1%	-2,1%
<i>Resumen E</i>						
789,6	565,51	729,31	709,5	-11,3%	20,3%	-2,8%

**Tabla 6.** Ecuaciones de corrección de los parámetros dinámicos para la zona sur - Conglomerado.

Conglomerado		
VAR	Ecuación	R <sup>2</sup>
VP	$V_s(-6E-07V_s^3 + 0,0005V_s^2 - 0,15V_s + 17,8)$	0,3286
ρ	$1E-09V_s^3 + 5E-06V_s^2 - 0,0018V_s + 1,9463$	0,9951

σ	$-5E-08V_s^3 + 4E-05V_s^2 - 0,013V_s + 1,6654$	0,1679
G	$0,0035V_s^2 - 0,6604V_s + 82,242$	0,9241
E	$0,0105V_s^2 - 2,2943V_s + 294,63$	0,9091

**Tabla 7.** Ecuaciones de corrección de los parámetros dinámicos para la zona sur - Arcillolita.

Arcillolita		
Parámetro	Ecuación	R <sup>2</sup>
VP	$V_s 17,466e^{-0,005V_s}$	0,4794
ρ	$-4E-08V_s^3 + 4E-05V_s^2 - 0,0112V_s + 2,7743$	0,9935
σ	$-3E-06V_s^2 + 0,0015V_s + 0,2797$	0,7913
G	$0,0006V_s^2 + 1,0433V_s - 157,5$	0,9722
E	$-0,0021V_s^2 + 5,4205V_s - 804,23$	0,9477

**Tabla 8.** Ecuaciones de corrección de los parámetros dinámicos para la zona sur oriente - Conglomerado.

Conglomerado		
VAR	Ecuación	R <sup>2</sup>
VP	$V_s(5E-05V_s^2 - 0,0291V_s + 7,0572)$	0,1856
ρ	$3E-08V_s^3 - 2E-05V_s^2 + 0,0037V_s + 1,5016$	0,9981
σ	$2E-06V_s^2 - 0,0011V_s + 0,5643$	0,0323
G	$0,0024V_s^2 - 0,0478V_s + 4,4184$	0,9998
E	$0,0094V_s^2 - 1,4618V_s + 168,33$	0,9325

**Tabla 9.** Ecuaciones de corrección de los parámetros dinámicos para la zona sur oriente - Arcillolita.

Arcillolita		
VAR	Ecuación	R <sup>2</sup>
VP	$V_s(-4E-05V_s^2 + 0,0115V_s + 4,6695)$	0,4163
ρ	$2E-10V_s^3 + 6E-06V_s^2 - 0,0021V_s + 1,9662$	0,9974
σ	$-5E-07V_s^2 + 0,0002V_s + 0,4666$	0,4082
G	$0,0024V_s^2 + 0,0012V_s - 2,5102$	0,9996
E	$0,0021V_s^{2,0271}$	0,9996

**Tabla 10.** Ecuaciones de corrección de los parámetros dinámicos para la zona centro occidente - Conglomerado.

Conglomerado		
VAR	Ecuación	R <sup>2</sup>
VP	$V_s(-4E-05V_s^2 + 0,0149V_s + 0,9956)$	0,0126
ρ	$4E-08V_s^3 - 2E-05V_s^2 + 0,0051V_s + 1,3951$	0,9996

$\sigma$	$3E-06V_s^{2,0507}$	0,1509
G	$0,0023V_s^2 + 0,0082V_s - 1,8619$	0,999
E	$0,0105V_s^2 - 2,3448V_s + 247,61$	0,5775

**Tabla 11.** Ecuaciones de corrección de los parámetros dinámicos para la zona centro occidente – Arcillolita.

Arcillolita		
VAR	Ecuación	R <sup>2</sup>
VP	$V_s(3E-07V_s^3 - 0,0002V_s^2 + 0,0287V_s + 7,1999)$	0,5736
$\rho$	$-4E-08V_s^3 + 4E-05V_s^2 - 0,0111V_s + 2,7465$	0,9959
$\sigma$	$-0,0001V_s + 0,5172$	0,4359
G	$0,0024V_s^2 - 0,0171V_s + 1,9522$	0,9992
E	$0,008V_s^{1,9783}$	0,9983

**Tabla 12.** Ecuaciones de corrección de los parámetros dinámicos para la formación algodonal - Conglomerado.

Conglomerado		
VAR	Ecuación	R <sup>2</sup>
VP	$vs(3E-05vs^2 - 0,0225vs + 6,0599)$	0,1059
$\rho$	$2E-08vs^3 - 9E-06vs^2 + 0,0019vs + 1,6342$	0,9953
$\sigma$	$0,0499vs^{0,3602}$	0,0165
G	$0,0029vs^2 - 0,3086vs + 37,238$	0,9636
E	$0,0104vs^2 - 2,1068vs + 245,65$	0,8392

**Tabla 13.** Ecuaciones de corrección de los parámetros dinámicos para la formación algodonal - Arcillolita.

Arcillolita		
VAR	Ecuación	R <sup>2</sup>
VP	$vs 13,008e^{-0,003vs}$	0,4927
$\rho$	$-3E-08vs^3 + 3E-05vs^2 - 0,0095vs + 2,5969$	0,9946
$\sigma$	$-2E-06vs^2 + 0,001vs + 0,3531$	0,5349
G	$0,0028vs^{1,9713}$	0,9916
E	$0,0112vs^{1,9174}$	0,9843

#### 4. Conclusiones

En las diferentes zonas de estudio que comprendieron el alcance del proyecto, se identificó que la formación algodonal se compone por dos tipos de materiales, el primero corresponde a una capa denominada Conglomerado, integrada por arenas, gravas y arcilla, y que presenta valores de onda P entre 239,39 m/s y 944,58 m/s y de ondas S entre 156,36 m/s y los 379,5 m/s, Respecto a la segunda capa, se

denomina “Pan de jabón”, y se compone de arcillas y limos, consolidados los cuales presentan velocidades de onda P entre 947,23 m/s y 1972,44 m/s y de onda S entre 165,72 y 487,39 m/s

Con base en el análisis estadístico, es posible afirmar que, el intervalo de velocidad en los cuales oscila las velocidades de onda P y onda S, son consistentes con el total de valores, adicionalmente los valores de los parámetros dinámicos, también se pueden expresar a través de un rango de valores típicos, puesto que los porcentajes de variaciones porcentuales para el promedio de valores no superan el 18,55 % para el conglomerado y el 13,19% para el “Pan de jabón”, lo que quiere decir, que efectivamente se puede hablar de un comportamiento común en la formación algodonal y con base en esto se plantearon las fórmulas de correlación para los diferentes parámetros, y se observa que principalmente en el módulo de corte y módulo de Young se obtuvieron los porcentajes de error más bajos.

Adicionalmente es posible apreciar que los coeficientes de las correlaciones mejoran en cuanto se incrementa la profundidad, es decir, cuando los valores de las velocidades son más altas, esto se puede deber al hecho de que el primer material, al estar expuesto, tiene un mayor grado de meteorización, y así mismo de anisotropía, que se refleja en la variabilidad de los datos, y en datos del coeficiente de Poisson negativos.

Finalmente, es importante destacar que los resultados obtenidos son un indicador promedio de los posibles resultados que pueden obtenerse sobre la formación algodonal, y no sustituyen los ensayos que deben desarrollarse como parte de los estudios previos para el desarrollo de un proyecto u obra de ingeniería.

#### 5. Referencias

- [1] Somoza, R. & Ghidella, M. “Convergencia en el margen occidental de América del Sur durante el Cenozoico: subducción de las placas de Nazca, Farallón y Aluk” Revista de la Asociación Geológica Argentina, vol. 60 (4), pp. 797-809, 2005.
- [2] Monsalve, H. & Mora H. “Esquema geodinámico regional para el noroccidente de Suramérica (modelo de subducción y desplazamientos relativos).” Boletín de Geología, vol. 27(1), pp. 25-53, 2005.
- [3] Guerrero, A. & Sánchez, R. “Construcción base de datos de escenarios de tsunami para el Pacífico colombiano.” Boletín Científico CIOH, vol. 34, pp. 27-47, 2016. Doi: <https://doi.org/10.26640/22159045.425>
- [4] Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, 2010.

- [5] Oviedo, J. & Duque, M. “Sistemas de control de respuesta sísmica en edificaciones”, Revista EIA, vol. 6, pp. 105-120, 2006.
- [6] Lin, C. Wang, J. & Tsai, C. “Dynamic parameter identification for irregular buildings considering soil-structure interaction effects”, Earthquake Spectra, vol. 24(3), pp. 641-666, 2008. Doi: <https://doi.org/10.1193/1.2946439>
- [7] Tovar Ordóñez, P. “Análisis de la cooperación técnica para el desarrollo en materia de estabilización socioeconómica de la población desplazada en Ocaña (Norte de Santander), Colombia. Caso de estudio: USAID-NRC-Acción Social, Periodo 2002 – 2008”, (Tesis de pregrado), Facultad de Relaciones Internacionales, Unv. Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario, Bogotá, 2011.
- [8] Salom Parets, A. “Las limitaciones al crecimiento poblacional y espacial establecidas por la normativa territorial y urbanística”, Ins. Nacional de Admin. Publica, Madrid, 2011.
- [9] Ohta, Y. & Goto, N., “Empirical shear wave velocity equations in terms of characteristic soil indexes.”, Earthquake engineering & structural dynamics, vol. 6(2), pp.167-187, 1978.Doi: <https://doi.org/10.1002/eqe.4290060205>
- [10] Imai, T. & Yoshimura, Y. “Elastic wave velocity and soil properties in soft soil.”, Tsuchito-Kiso, vol 18(1), pp. 17-22, 1970.
- [11] Ohba, S. and Toriumi, I. “Dynamic response characteristics of Osaka Plain”, In Proceedings of the annual meeting AIJ (in Japanese), vol. 12, 1970.
- [12] Lopez, J. Mejia, J. and Vega, N. “Aplicación del método de refracción sísmica para la determinación de velocidades de ondas P”, (Tesis de pregrado), Universidad del Salvador, San Salvador, 2017.
- [13] Dal Moro, G. “Surface wave analysis for near surface applications.”, Elsevier, 2014.
- [14] Martínez, C. & Sepúlveda, J. “Determinación de los parámetros dinámicos en los materiales de la formación algodonal en Ocaña norte de Santander, mediante métodos geofísicos”, (Tesis de pregrado), Universidad Francisco de Paula Santander, Ocaña, 2017.
- [15] Rojas, S. “Sísmica de refracción y de microtemores para caracterización de parámetros dinámicos superficiales en Caracas”, (Tesis de pregrado), Universidad Simón Bolívar, Caracas, 2014.
- [16] Rosales, C. “Sobre el comportamiento sísmicos de los depósitos de suelos del área de Cañaveralejo”, (Tesis de pregrado), Universidad del Valle, Cali, 2001.
- [17] Pizarro, G. Arecco, M., Ruiz, F. & Ghidella “Modelado 3d Por Inversión Gravimetrica De Cuencas Off Shore De Argentina 3d Modeling For Gravimetric Inversion Of Offshore Basins Of Argentina” Geoacta, vol. 40(2), pp. 11-27, 2016.
- [18] Brocher, T. “Empirical Relations between Elastic Wavespeeds and Density in the Earth’s Crust.” Bulletin of the Seismological Society of America, vol. 95(6), pp. 2081-2092,2005.Doi: <https://doi.org/10.1785/0120050077>