

ARTÍCULO ORIGINAL

EFFECTO EN LA CONSISTENCIA DE UN SUELO CONTAMINADO POR PETRÓLEO EN ZONA DE VENTA DE LA CIUDAD DE JULIACA

EFFECT ON THE CONSISTENCY OF OIL CONTAMINATED SOIL IN A SALES ZONE IN THE CITY OF JULIACA

Silvia Leonor Ingaluque Arapa^{1*}, <https://orcid.org/0000-0001-5492-3538>, Edwin James Medina Alvarez^{2*}, <https://orcid.org/0000-0002-5537-3053>, Efrain Parillo Sosa^{3*}, <https://orcid.org/0000-0001-7567-039X>

¹Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Universidad Nacional del Altiplano Puno, Perú, ²Escuela Posgrado, Universidad Nacional del Altiplano Puno, Perú, ³Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Universidad Andina Néstor Cáceres Velázquez Puno, Perú.

RESUMEN

El trabajo de investigación tiene por objetivo evaluar el efecto que presenta el petróleo en la consistencia de un suelo en zona de venta de la ciudad de Juliaca, para ello se realizaron ensayos para obtener el límite líquido y plástico en el "Laboratorio de Mecánica de Suelos" de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional del Altiplano - Puno, con un suelo extraído del ROBHI Grifos S.R.Ltda. ubicado en la periferia de la ciudad de Juliaca, en la autopista Juliaca - Caracoto; el diseño corresponde a una investigación experimental, para ello se optó por el diseño de bloque completo al azar incluyendo el submuestreo; se obtuvieron muestras de suelo contaminados con petróleo (Diesel DB-5 S-50 UV) en las proporciones de 0 %, 1 %, 2 %, 4 % y 8 % del peso seco, haciendo un total de 5 tratamientos, con 3 puntos de muestreo (Bloques, unidades o calicatas) y 5 submuestras o repeticiones, haciendo un total de 75 unidades experimentales; producto de la investigación se determinó que existe diferencia altamente significativa (p_{valor} igual 0,00000), de los valores del límite líquido y plástico, para un suelo contaminado con tratamientos de 0 %, 1 %, 2 %, 4 % y 8 % de petróleo, corroborado con las pruebas estadísticas de ANOVA donde se obtuvo un valor F igual a 452,94 y 191,86, respectivamente; los cuales son mayores al valor $F_{n-t, \alpha}^{t-1} = 0,176$ de la tabla estadística, consecuentemente el petróleo afecta los valores de consistencia del suelo analizado.

Palabras clave: Contaminación, consistencia, límite líquido, límite plástico, petróleo y suelo.

ABSTRACT

The objective of the research work is to evaluate the effect of oil on the consistency of a soil in a sales area in the city of Juliaca, for this purpose, tests were carried out to obtain the liquid and plastic limit in the "Soil Mechanics Laboratory" of the Professional School of Civil Engineering of the National University of the Altiplano – Puno, with soil extracted from ROBHI Grifos S.R.Ltda. located on the outskirts of the city of Juliaca, on the Juliaca - Caracoto highway, the design corresponds to an experimental investigation, for which a randomized complete block design was chosen, including subsampling; soil samples contaminated with oil (Diesel DB-5 S-50 UV) were obtained in proportions of 0%, 1%, 2%, 4% and 8% of the dry weight; making a total of 5 treatments, with 3 sampling points (blocks, units or pits) and 5 subsamples or replicates, for a total of 75 experimental units; the research product determined that there is a highly significant difference (p_{value} equal to 0.00000), of the liquid and plastic limit values, for a contaminated soil with 0%, 1%, 2%, 4% and 8% oil treatments, corroborated with the ANOVA statistical tests where an F value equal to 452,94 and 191,86, respectively, were obtained, which are greater than the $F_{n-t, \alpha}^{t-1} = 0,176$ value of the statistical table, consequently, the oil affects the consistency values of the analyzed soil.

Keywords: Contamination, consistency, liquid limit, plastic limit, oil and soil.

Autor para correspondencia singaluque@unap.edu.pe
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5492-3538>

Downloadable from : <http://revistas.unap.edu.pe/epg>

Av. Floral N° 1153, Ciudad Universitaria, Pabellón de la Escuela de Posgrado, tercer piso oficina de Coordinación de investigación. Teléfono (051) 363543



INTRODUCCIÓN

El suelo contaminado se considera como una amenaza severa para el medio ambiente pudiendo afectar a la salud humana (Yong 2001), la entrada de contaminantes en el suelo se produce a través de muchas vías, el vertido deliberado de sólidos o residuos líquidos son los tipos más visibles (Van der Perk 2014), la actual causa principal de contaminación por petróleo es producto de su extracción industrial y excesivo consumo que provocan el deterioro progresivo e irreversible del medio ambiente (Barois *et al.* 2018), la contaminación del suelo por petróleo es un contrariedad ambiental mundial; según la Organización de Países Exportadores de Petróleo, más de 100 000 barriles de petróleo en promedio se derraman cada año en los EEUU afectando grandes extensiones de tierra (Vidonish *et al.* 2016), En el Perú el petróleo ha sido extraído de la Amazonía por más de cuarenta años (Rosell-Melé *et al.* 2018), son muchas las formas de contaminación por petróleo, por ejemplo existen los inadecuados procesos de transporte, fugas en pozos, eliminación inadecuada y derrames accidentales (Moldes *et al.* 2011); también se incluyen a fuentes de infraestructura antigua y estaciones abandonadas, vertederos de desechos, descargas de aguas residuales entre otros (Raymond *et al.* 2017), estos aspectos son originados por el error humano durante el proceso de producción y separación (Khosravi *et al.* 2013), a pesar de los mejores esfuerzos existen fugas y derrames de los productos derivados del petróleo dando lugar a las variaciones en características geotécnicas o variabilidad en los suelos alterados (Al-Aghbari *et al.* 2011). Según el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental del Ministerio del Ambiente (2016), una de las etapa más críticas es el transporte de hidrocarburos, así pues, principalmente el petróleo e hidrocarburos de petróleo, son los principales contaminantes del medio ambiente (Karlapudi *et al.* 2018), la contaminación del petróleo y sus derivados pueden causar graves daños siendo preponderante la investigación de las propiedades geotécnicas en suelos

contaminados con petróleo (Khamsehchiyan *et al.* 2007).

Sobre el particular, se realizaron experimentos respecto a la influencia de la contaminación por petróleo en las propiedades geotécnicas en muestras de suelo contaminadas con 3 %, 6 % y 9 % de petróleo (Nasehi *et al.* 2016); estudios del comportamiento de la compresibilidad de suelo arcilloso contaminado con petróleo en 2 %, 4 %, 6 % y 8 %, (Ijimdiya & Igboro 2012); también estudios comparativos del efecto del petróleo y la gasolina sobre las propiedades de arenas, con 0 %, 5 % y 10 % de petróleo (Al-Aghbari *et al.* 2011); programa de ensayos de laboratorio para establecer las causas en la contaminación del petróleo en algunas de sus propiedades geotécnicas de muestras de suelo arenoso y arcillosos como CL, SM y SP preparando muestras contaminadas con 2 %, 4 %, 8 %, 12 % y 16 % de contenido de petróleo (Khamsehchiyan *et al.* 2007), trabajo relacionados al esfuerzo cortante y comportamiento de tensión-deformación de suelos contaminados (David-Suits *et al.* 2006); experimentos del comportamiento de consolidación de suelos contaminados con glicerol y etanol (Estabragh *et al.* 2014); extensos programa de laboratorio para promover una mayor comprensión de la influencia de contaminantes derivados del petróleo sobre las características geotécnicas de los suelos, específicamente en propiedades de la plasticidad del suelo, contaminadas con 2 %, 4 %, 6 %, 12 %, 16 %, y 20 % de petróleo (Khosravi *et al.* 2013), además de estudios sobre arena alterada con petróleo (Abousnina *et al.* 2015).

Adicionalmente a ello, se realizaron estudios sobre el comportamiento del esfuerzo cortante en suelos contaminadas en 0 %, 3 %, 6 % y 10 % de biodiesel (Mousavi 2017); estudios de contaminación por hidrocarburos y su influencia en la composición granulométrica de un suelo arcilloso (Trzciński *et al.* 2015); estudio sobre la incorporación de arenas contaminadas con petróleo para fabricación de materiales cementosos (Mneina *et al.* 2018), estudios de

contaminación de suelos con derivados del petróleo como gasolina y diésel (Martines & Lopez 2016), experimentos en un suelo cohesivo contaminado con 5 %, 10 % y 15% de gasolina (Estabragh *et al.* 2018), experimentos en suelos arcillosos contaminados con petróleo, a diferentes cantidades de petróleo de 0 a 20 % en peso seco del suelo (Safehian *et al.* 2018); estudios sobre la evaluación de la presencia de hidrocarburos totales del petróleo y sus efectos en las propiedades de un suelo urbano (Castellanos *et al.* 2015); usos del aceite como agente contaminante para la verificación de variaciones en las características mecánicas de los suelos (Serrano *et al.* 2013); investigaciones sobre las consecuencias por la contaminación de petróleo crudo en las características geotécnicas de los suelos costeros (Khomehchiyan *et al.* 2006); trabajo respecto a características mecánicas de un suelos arcilloso que contaminado por 5 %, 10 %, 15 % y 30 % de petróleo (Galindo & Rueda 2012), y finalmente se tiene una investigación sobre características físicas y mecánicas de un suelo arcilloso de baja plasticidad contaminado con aceite residual (Huaquisto 2014).

En este contexto se tiene como objetivo de la investigación evaluar el efecto que presenta el petróleo en la consistencia de un suelo contaminado por petróleo en zona de venta de la ciudad de Juliaca.

MÉTODOS

Ámbito o lugar de estudio

La investigación fue realizada en la ciudad de Juliaca, distrito de Juliaca, provincia de San Román, departamento de Puno; específicamente en ROBHI Grifos S.R.Ltda. ubicado en la periferia de la ciudad de Juliaca, en la autopista Juliaca - Caracoto en las coordenadas geográficas de 15°33'21,0" en Latitud Sur y 70°06'23,0" en Longitud Oeste.

Descripción de métodos

a) Periodo de estudio o frecuencia de muestreo

La extracción de materiales y ensayos de laboratorio fueron realizados del mes de octubre de 2022 a enero de 2023, respectivamente.

b) Descripción detallada de los materiales, insumos e instrumentos utilizados en la ejecución de la investigación.

La investigación realizada corresponde a un diseño experimental; se consideró como materiales al suelo y petróleo; éste último se mezcló con el suelo en proporciones de 0 %, 1 %, 2 %, 4 % y 8 % del peso seco de la muestra; en tal sentido, el número de tratamientos fue de 5, cabe precisar que los tratamientos son determinados por los factores que se desean investigar, es potestad del investigador decidir cuántos factores se incluyen en la investigación (Melo *et al.* 2020). Se ha considerado 3 bloques; representado por la cantidad de calicatas donde se extrajeron las muestras de suelo las cuales fueron sometidas a los 5 tratamientos, el uso de bloques estratifica las unidades experimentales en grupos homogéneos, o unidades experimentales que son parecidas (Kuehl 2001). Un aspecto fundamental del diseño de experimentos es el número de repeticiones, a fin de obtener la máxima información y posibilitar la construcción de estadísticas reales para el análisis de los datos (Gutiérrez & De la Vara 2008), para la investigación se realizó 5 submuestras o repeticiones por cada tratamiento, así se garantizó una variedad de unidades experimentales por tratamiento; en resumen en la investigación se realizaron 5 tratamientos con 3 bloques, y de cada bloque con 5 submuestras o repeticiones, haciendo un total de 75 unidades experimentales.

Para la obtención de datos se hizo uso de las pruebas o ensayos de laboratorio para el análisis de la consistencia del suelo contaminado con petróleo (Tabla 1), las cuales fueron realizadas en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la carrera profesional

de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional del Altiplano Puno.

Tabla 1. *Ensayos realizados en la investigación*

Ensayo	Normativa Internacional	Normativa Nacional	Equipos utilizados
Límite Líquido	ASTM D4318-98	NTP 339,129.1999	MTC E 110 Aparato del límite líquido (o de Casagrande).
Límite Plástico	ASTM D4318-98	NTP 339,129.1999	MTC E 111 Espátula, Recipiente para Almacenaje, Balanza, con aproximación a 0,01 g., Horno o Estufa, Tamiz N° 40

c) Variables analizadas

Para la investigación se considera como variable independiente al suelo con 5 tratamientos de petróleo (0 %; 1 %; 2 %, 4 % y 8 %), y las variables dependientes corresponden a los valores de consistencia del suelo contaminado representado por el límite líquido y plástico (%).

d) Prueba estadística aplicada

Se consideró 75 unidades experimentales como fuente de datos, motivo por el cual se realizó la prueba de normalidad mediante la prueba de Kolmogórov-Smirnov, que es una prueba de bondad de ajuste que es ampliamente utilizada para probar la normalidad de los datos muestrales, siendo particularmente útil en procesos físicos (Steinskog *et al.* 2007), y con el apoyo del paquete estadístico Minitab Versión 18, encontrando que p_{valor} es igual a 0,082 y 0,357, para los resultados del límite líquido y plástico, respectivamente; los cuales son mayores a 0,05; aceptando de esta manera la hipótesis nula, concluyendo que los resultados de laboratorio del límite líquido y plástico provienen de una distribución normal; consecuentemente, se aplicó la prueba estadística paramétrica (Flores-Ruiz *et al.* 2017).

En ese sentido, para la realización del experimento se optó por el diseño bloque completo al azar incluyendo el submuestreo, a

fin de controlar el error experimental, el modelo estadístico utilizado es el siguiente (Ibáñez 2009):

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} + \delta_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} : Es la variable respuesta de la k-ésima muestra (subunidad) de la j-ésima unidad experimental sujeta al i-ésimo tratamiento.

μ : La media general poblacional o constante común.

τ_i : Es el verdadero efecto del i-ésimo tratamiento

β_j : Es el verdadero efecto del j-ésimo bloque

ε_{ij} : Es el efecto verdadero de la j-ésima unidad experimental sujeta al i-ésimo tratamiento

δ_{ijk} : Es el verdadero efecto aleatorio del error muestral en la k-ésima subunidad, de la j-ésima unidad experimental sujeta al i-ésimo tratamiento.

Para la prueba estadística se eligió a la prueba de Análisis de Varianza (ANOVA), a fin de establecer si existe diferencia o variaciones del valor del límite líquido y plástico para un suelo contaminado con tratamientos del 0 %, 1 %, 2 %, 4 % y 8 % de petróleo en zona de venta de la ciudad de Juliaca, para ello el valor de significancia “ p_{value} ” debe ser menor a 0,05; adicionalmente, se realizó la prueba de Tukey a fin de realizar la comparación de medias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización del suelo natural

El suelo natural que fue extraído de la zona de estudio, corresponde a un suelo de arena arcillosa (SC), para el estrato de 0,00 m a 1,50 m; con

contenido de grava de 34,73 %, 24,44 % y 33,39 %; de arena de 47,19 %, 57,76 %, 47,49 %; % que pasa malla N° 200 de 18,08 %, 17,80 %, 19,12 %; para las calicatas A, B y C, respectivamente (Tabla 2).

Tabla 2 . Caracterización del suelo natural

Propiedades	Calicata A	Calicata B	Calicata C
Contenido de Humedad %	2,86	2,59	2,41
Límite Líquido %	35,70	38,31	37,03
Límite Plástico %	20,20	19,30	19,80
Índice de Plasticidad %	15,50	19,01	17,23
% de Grava	34,73	24,44	33,39
% de Arena	47,19	57,76	47,49
% que pasa malla N° 200	18,08	17,80	19,12
Clasificación del suelo SUCS	SC	SC	SC
Nombre del grupo de suelo SUCS	Arena Arcillosa		

Estadísticos Descriptivos

Respecto al límite líquido, se consideró 3 bloques, unidades o calicatas, 5 tratamientos y 5 repeticiones; obteniendo 75 unidades experimentales o resultados; para las calicatas A,

B y C; se obtuvo un valor promedio de límite líquido de 37,52 %, 38,05 %, 38,33 %, 39,88 % y 41,51 % para los tratamientos del: 0 %, 1 %, 2 %, 4 %, y 8%, de contenido de petróleo (Diesel DB-5 S-50 UV), respectivamente (Tabla 3).

Tabla 3 . Estadísticos descriptivos de límite líquido bloque, unidad o calicata A, B y C

Descripción	T(0 %)	T(1 %)	T(2 %)	T(4 %)	T(8 %)
Media	37,52 %	38,05 %	38,33 %	39,88 %	41,51 %
Error típico	0,33 %	0,25 %	0,25 %	0,27 %	0,37 %
Desviación estándar	1,28 %	0,97 %	0,98 %	1,03 %	1,43 %
Rango	4,40 %	2,89 %	3,09 %	3,93 %	4,80 %
Mínimo	35,51 %	36,56 %	36,80 %	38,00 %	39,42 %
Máximo	39,91 %	39,45 %	39,89 %	41,93 %	44,22 %
Suma	562,86 %	570,68 %	575,02 %	598,13 %	622,63 %
Cuenta	15	15	15	15	15

Fuente: Análisis de datos – Estadísticos Descriptivos MS Excel.

De los resultados obtenidos se aprecia que mayor porcentaje de petróleo en el suelo existe un incremento del valor del límite líquido; sobre el particular, de la regresión lineal realizada con el

MS Excel, se puede apreciar esta tendencia, obteniendo un coeficiente de determinación $R^2=0,9858$ (Figura 1).

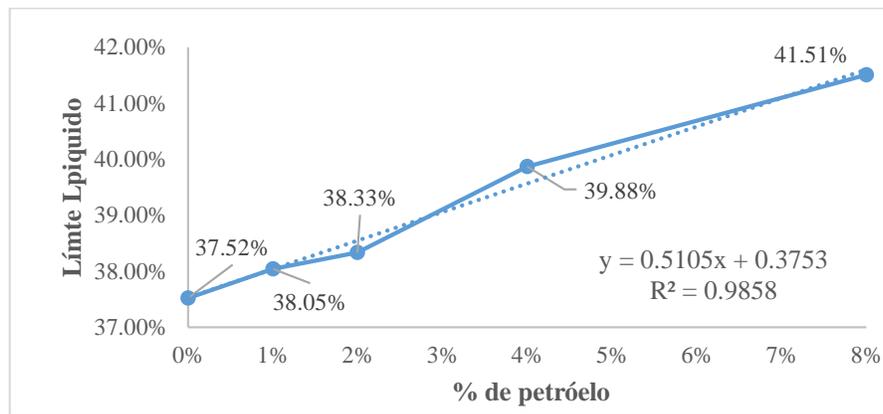


Figura 1. Variación de los valores promedios del límite líquido

Para el límite plástico, se manera similar se consideró 3 bloques, unidades o calicatas, 5 tratamientos y 5 repeticiones; obteniendo 75 unidades experimentales o resultados; para las calicatas A, B y C; se obtuvo un valor promedio

de límite plástico de 19,84 %, 20,12 %, 20,83 %, 21,03 % y 20,57 % para los tratamientos del: 0 %, 1 %, 2 %, 4 %, y 8 %, de contenido de petróleo (Diesel DB-5 S-50 UV), respectivamente (Tabla 4).

Tabla 4 . Estadísticos descriptivos de límite plástico bloque, unidad o calicata A, B y C

Descripción	T(0 %)	T(1 %)	T(2 %)	T(4 %)	T(8 %)
Media	19,84 %	20,12 %	20,83 %	21,03 %	20,57 %
Error típico	0,11 %	0,07 %	0,10 %	0,12 %	0,11 %
Desviación estándar	0,44 %	0,28 %	0,40 %	0,48 %	0,43 %
Rango	1,60 %	1,10 %	1,50 %	1,40 %	1,50 %
Mínimo	19,10 %	19,50 %	20,20 %	20,30 %	20,00 %
Máximo	20,70 %	20,60 %	21,70 %	21,70 %	21,50 %
Suma	297,60 %	301,80 %	312,50 %	315,40 %	308,50 %
Cuenta	15	15	15	15	15

Fuente: Análisis de datos – Estadísticos Descriptivos MS Excel.

De los resultados obtenidos se aprecia que a mayor porcentaje de petróleo existe un incremento del valor del límite plástico hasta el 4 % de contenido de petróleo; no obstante, para un contenido de petróleo del 8 % el valor del límite

plástico decrece; sobre el particular, de la regresión cuadrática realizada con el MS Excel, se puede apreciar esta tendencia $R^2=0,9369$ (Figura 2).

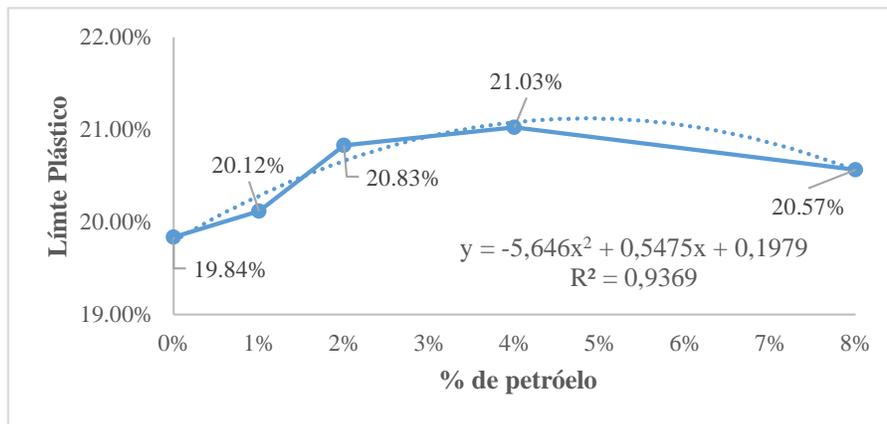


Figura 2. Variación de los valores promedios del límite plástico

Prueba de hipótesis

Para la verificación de la hipótesis se hizo uso de la prueba estadística “ANOVA”, para ello se

tomó en cuenta valores del límite líquido (Tabla 5), para el diseño de bloque completo al azar incluyendo el submuestreo.

Tabla 5 . Resumen de datos de límite líquido para el cálculo de diseño por bloques completos al azar con submuestreo

Bloques o Unidades (Calicatas)	Subunidades o Submuestras (Repeticiones)	Tratamientos (%)					Yj
		T(0 %)	T(1 %)	T(2 %)	T(4 %)	T(8 %)	
A	1	0,3572	0,3707	0,3789	0,3963	0,3942	9,7583
	2	0,3644	0,3684	0,3701	0,3925	0,4031	
	3	0,3828	0,3831	0,3851	0,3980	0,4223	
	4	0,3971	0,3936	0,3987	0,4101	0,4422	
	5	0,3754	0,3869	0,3797	0,3915	0,4160	
Total, Bloque/Unidad		1,8769	1,9027	1,9125	1,9884	2,0778	
B	1	0,3834	0,3689	0,3722	0,3866	0,3955	9,7658
	2	0,3991	0,3821	0,3816	0,4008	0,4125	
	3	0,3551	0,3717	0,3970	0,4193	0,4351	
	4	0,3764	0,3850	0,3839	0,4023	0,4144	
	5	0,3661	0,3847	0,3843	0,3927	0,4151	
Total, Bloque/Unidad		1,8801	1,8924	1,9190	2,0017	2,0726	
C	1	0,3703	0,3656	0,3680	0,3800	0,3956	9,7691
	2	0,3825	0,3759	0,3765	0,3924	0,4082	
	3	0,3647	0,3929	0,3914	0,4092	0,4292	
	4	0,3772	0,3945	0,3989	0,4108	0,4231	
	5	0,3769	0,3828	0,3839	0,3988	0,4198	
Total, Bloque/Unidad		1,8716	1,9117	1,9187	1,9912	2,0759	
Yi		5,6286	5,7068	5,7502	5,9813	6,2263	29,2932

Se realizó la construcción de la tabla ANOVA para el diseño de bloques completamente al azar con submuestreo (Tabla 6) con la ayuda del MS Excel corroborados programa estadístico Minitab Versión 18, el valor del estadístico F obtenido es de 452,94 valor mayor al $F_{n-t,\alpha}^{t-1} = 0,176$ de la

tabla estadística; consecuentemente, se rechaza la hipótesis nula H_0 y acepta la hipótesis alterna H_1 , entonces $H_1 : \tau_i \neq 0$; vale decir existe diferencia entre del valor del límite líquido para un suelo contaminado con tratamientos del 0 %, 1 %, 2 %, 4 % y 8 % de petróleo en zona de venta de la

ciudad de Juliaca, esta diferencia es altamente significativa, dado que el p_{valor} o nivel de significancia es igual a 0,00000, el cual es mucho

menor que 0,05; considerando un nivel de confianza del 95 %.

Tabla 6 . ANOVA para diseño de bloques completamente al azar con submuestreo – Límite líquido

Factor de Variación	GL	Suma de Cuadrados SC	Cuadrados medios CM	Estadístico F	Significancia
Bloques	2	0,000002	0,000001	0,139929	0,869649
Tratamientos	4	0,015863	0,003966	452,938929	0,000000
Error Experimental EE	8	0,000070	0,000009	0,056736	0,999894
Error muestreo EM	60	0,009260	0,000154		
Total	74	0,025195			

Asimismo, se realizó el análisis estadístico para los resultados del límite plástico (Tabla 7), con el

diseño de bloque completo al azar incluyendo el submuestreo.

Tabla 7 . Resumen de datos de límite plástico para el cálculo de diseño por bloques completos al azar con submuestreo

Bloques o Unidades (Calicatas)	Subunidades o Submuestras (Repeticiones)	Tratamientos (%)					Yj
		T(0%)	T(1%)	T(2%)	T(4%)	T(8%)	
A	1	0,2020	0,2030	0,2040	0,2170	0,2120	
	2	0,2070	0,2040	0,2170	0,2160	0,2110	
	3	0,1940	0,2010	0,2110	0,2030	0,2010	
	4	0,1950	0,2010	0,2080	0,2070	0,2020	
	5	0,1950	0,2020	0,2030	0,2060	0,2010	
Total, Bloque/Unidad		0,9930	1,0110	1,0430	1,0490	1,0270	5,1230
B	1	0,1930	0,1950	0,2080	0,2030	0,2000	
	2	0,1910	0,1970	0,2020	0,2030	0,2050	
	3	0,2020	0,2030	0,2050	0,2140	0,2030	
	4	0,2010	0,2040	0,2130	0,2150	0,2040	
	5	0,2040	0,2060	0,2120	0,2140	0,2150	
Total, Bloque/Unidad		0,9910	1,0050	1,0400	1,0490	1,0270	5,1120
C	1	0,1980	0,2000	0,2060	0,2130	0,2070	
	2	0,1990	0,2010	0,2100	0,2100	0,2070	
	3	0,1980	0,2000	0,2080	0,2120	0,2060	
	4	0,1980	0,2010	0,2090	0,2100	0,2060	
	5	0,1990	0,2000	0,2090	0,2110	0,2050	
Total, Bloque/Unidad		0,9920	1,0020	1,0420	1,0560	1,0310	5,1230
Yi		2,9760	3,0180	3,1250	3,1540	3,0850	15,3580
							Yij

De la construcción de la tabla ANOVA para el diseño de bloques completamente al azar con submuestreo (Tabla 8) con la ayuda del MS Excel y corroborados programa estadístico Minitab Versión 18, el valor del estadístico F obtenido es de 191,86 valor mayor al $F_{n-t, \alpha}^{t-1} = 0,176$ de la tabla estadística; consecuentemente, se rechaza la hipótesis nula H_0 y acepta la hipótesis alterna H_1 ,

entonces $H_1 : \tau_i \neq 0$; vale decir existe diferencia entre del valor del límite plástico para un suelo contaminado con tratamientos del 0 %, 1 %, 2 %, 4 % y 8 % de petróleo en zona de venta de la ciudad de Juliaca, esta diferencia es altamente significativa, dado que el p_{valor} o nivel de significancia es igual a 0,00000, el cual es mucho menor que 0,05; considerando un nivel de confianza del 95 %.

Tabla 8. ANOVA para diseño de bloques completamente al azar con submuestreo – Límite plástico

Factor de Variación	GL	Suma de Cuadrados SC	Cuadrados medios CM	Estadístico F	Significancia
Bloques	2	0,000003	0,000002	0,850615	0,431286
Tratamientos	4	0,001456	0,000364	191,855888	0,000000
Error Experimental EE	8	0,000015	0,000002	0,097666	0,999193
Error muestreo EM	60	0,001165	0,000019		
Total sub unidad	74	0,002639			

Adicionalmente, se realizó la prueba de Tukey, porque es más precisa cuando los tratamientos tienen igual número de repeticiones, además de ser más rigurosa que la prueba de Duncan (Ibáñez 2009), para ello, se hizo uso del programa estadístico Minitab Versión 18, para un nivel confianza del 95 %, para los valores del límite líquido (Tabla 9) se puede advertir 1 grupo de tratamiento con resultados similares que son los tratamientos del 0 %, 1 % y 2 %; es decir el valor de límite líquido es inferior a los tratamientos del 4 % y 8 %; también se encontró que, los valores

promedio del límite líquido para los tratamientos de 4 % y 8 % de contenido de petróleo tienen valores de 41,5087 % y 39,8753 % que son los más altos y a la vez significativamente diferentes entre sí y entre los tratamientos del 0 %, 1 % y 2 %; asimismo, los tratamientos de 0 %, 1 % y 2 % de contenido de petróleo cuentan con valores de límite líquido de 37,5240 %, 38,0453 % y 38,3347 %, que son los valores más bajos y a la vez similares, pero significativamente diferentes a los tratamientos 4 % y 8 %.

Tabla 9 . Comparaciones por parejas de Tukey para los tratamientos de Límite Líquido

Tratamiento	N	Media	Agrupación
T (8 %)	15	0,415087	A
T (4 %)	15	0,398753	B
T (2 %)	15	0,383347	C
T (1 %)	15	0,380453	C
T (0 %)	15	0,375240	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Respecto a la prueba de Tukey para los tratamientos de límite plástico (Tabla 10), se pudo advertir 2 grupos de tratamiento con resultados similares que son los tratamientos del 4 % y 2 %; 2 % y 8 %; es decir el valor de límite plástico son inferiores a los tratamientos del 0 % y 1 %; también se aprecia valores promedio del límite plástico para los tratamientos de 4 % y 2 % de contenido de petróleo de 21,0267 % y 20,8333 % que son los más altos y a la vez similares entre sí;

asimismo, los valores de los tratamientos de 2 % y 8 % de contenido de petróleo muestran valores intermedios con cantidades de 20,8333 % y 20,5667 % los cuales son similares entre sí; finalmente, los tratamientos de 0 % y 1 % de contenido de petróleo cuentan con valores de 19,8400 % y 20,1200 %, que son los más bajos ya la vez significativamente diferentes a los tratamientos 2 %, 4 % y 8 %.

Tabla 10 . Comparaciones por parejas de Tukey para los tratamientos de Límite Plástico

Tratamiento	N	Media	Agrupación
T (4 %)	15	0,210267	A
T (2 %)	15	0,208333	A B
T (8 %)	15	0,205667	B
T (1 %)	15	0,201200	C
T (0 %)	15	0,198400	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

En la investigación se pudo corroborar que ante tratamientos de incremento de contenido de productos derivados del petróleo para un suelo contaminado artificialmente; las propiedades se ven alteradas conforme también lo advirtieron: Ijimdiya & Igboro (2012), Abousnina *et al.* (2015); Mousavi (2017), Martínez & Lopez (2016); Safehian *et al.* (2018); Castellanos *et al.* (2015); Serrano *et al.* (2013) y Khamehchiyan *et al.* (2006); los cuales encontraron diferencias entre diversas propiedades del suelo originario con un suelo adicionado con contaminantes derivados del petróleo.

Ahora bien, Nasehi *et al.* (2016) encontraron que para un suelo arcilloso (CL) y un suelo limoso (ML) contaminado con 3 %, 6 % y 9 % de petróleo, los valores del límite líquido y plástico aumentaron con un mayor contenido del mencionado contaminante; asimismo, en la investigación realizada por Al-Aghbari *et al.* (2011) respecto a mezclas de arenas de Tipo A y B con petróleo y gasolina en cantidades del 0 %, 5 % y 10 % en peso seco; el valor del límite líquido se incrementó con el aumento del porcentaje de contaminantes en ambas arenas, siendo mayor el valor cuando se usó el petróleo como contaminante situación similar se presentó para el caso de los valores de límite plástico, en esta investigación se ha encontrado que a mayor contenido de petróleo el valor del límite líquido aumenta; de igual manera para el límite plástico aumenta su valor pero hasta un 4% de contenido

de petróleo, y para un contenido del 8% de petróleo dicho valor decrece.

Asimismo, en la investigación realizada por Khamehchiyan *et al.* (2007) para suelos arcillosos y arenosos como CL, SM y SP; se encontró que los valores del límite líquido y plástico disminuyen con el incremento el petróleo crudo; estos resultados son diferentes con los obtenidos en la presente investigación, donde para porcentajes del 0 %, 1 %, 2 %, 4 % y 8 % de contaminación de petróleo (Diesel DB-5 S-50 UV) los valores del límite líquido aumentaron, y para porcentajes del 0 %, 1 %, 2 %, 4 % del mencionado contaminante los valores de límite plástico también aumentaron, existiendo un decrecimiento para el valor del 8% de petróleo (Diesel DB-5 S-50 UV); la diferencia principal de los resultados de deben al tipo de contaminante, el petróleo crudo y el Diesel DB-5 S-50 UV son diferentes, motivo por el cual los resultados no son compatibles.

También, Khosravi *et al.* (2013) investigaron arcillas limpias contaminadas con 2 %, 4 %, 6 %, 12 %, 16 %, y 20 % de petróleo; los resultados arrojaron que a medida que el contenido de petróleo aumenta hasta el 12 % el valor de límite plástico disminuye, y desde el 16 % de petróleo su valor se incrementa; estos resultados son contrarios a los obtenidos en esta investigación, donde se encontró que hasta un 4 % de contenido de petróleo el valor del límite plástico aumenta y para un valor del 8 % de contaminante su valor disminuye. Estabragh *et al.* 2018 encontraron que

para un suelo cohesivo contaminado con 5 %, 10 % y 15 % de gasolina, el valor de límite líquido y límite plástico aumentan hasta un 10 % del mencionado contaminante; disminuyendo su valor para un 15 % de gasolina; estos resultados guardan relación con la investigación, donde se encontró que el comportamiento del suelo en su valor del límite plástico aumenta hasta un 4 % y disminuye en un 8 % de contaminante del petróleo; no obstante para el límite líquido el comportamiento encontrado fue diferente existiendo una relación directamente proporcional en el valor hasta un 8 % de contenido de petróleo, la diferencia de los resultados se debe principalmente debido al tipo de contaminante y suelo usado en los experimentos.

Galindo & Rueda (2012), en la investigación sobre suelos arcillosos contaminados por derrames superficiales de hidrocarburos en 5 %, 10 %, 15 % y 30 %, encontraron que el valor del límite líquido y plástico aumentaron con el incremento del contaminante; estos resultados guardan en parte relación con los obtenidos en la presente investigación, donde para el 0 %, 1 %, 2 %, 4 % y 8 % de contenido de petróleo como agente contaminante, se encontró que el valor del límite líquido se incrementa; y para el caso del límite plástico existe un incremento sólo hasta un 4 %, existiendo un decrecimiento para un 8 % de contenido de petróleo.

Finalmente, Huaquisto (2014) en un suelo arcilloso de baja plasticidad, encontró que los valores del límite líquido y límite plástico disminuyeron con el incremento de aceite residual en porcentajes del 0 % al 10 %, estos resultados no guardan relación con lo obtenidos en la presente investigación, donde se obtuvo que a mayor contenido petróleo como agente contaminante mayor es el valor del límite líquido, de igual manera para el límite plástico pero solo hasta el 4 % de contenido de petróleo y para un 8 % el valor del límite plástico disminuye.

CONCLUSIONES

De la evaluación realizada a un suelo clasificado como areno arcillosos (SC) proveniente de una zona de venta de petróleo de la ciudad de Juliaca, se ha encontrado que existe diferencia altamente significativa ($p_{\text{valor}} \text{ igual } 0,00000$) entre del valor del límite líquido y plástico de un suelo contaminado con tratamientos del 0 %, 1 %, 2 %, 4 % y 8 % de petróleo (Diesel DB-5 S-50 UV), corroborado con la prueba estadística ANOVA donde se obtuvo un valor $F=452,94$ y $191,86$, respectivamente, el cual es mayor al $F_{n-t,\alpha}^{t-1} = 0,176$ de la tabla estadística, consecuentemente el petróleo afecta los valores de consistencia del suelo analizado.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento a la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Altiplano, por aceptar y publicar el presente trabajo de investigación a nivel doctoral.

REFERENCIAS

- Abousnina, R. M., Manalo, A., Shiau, J., & Lokuge, W. 2015. Effects of Light Crude Oil Contamination on the Physical and Mechanical Properties of Fine Sand. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 24(8), 833–845. <https://doi.org/10.1080/15320383.2015.1058338>
- Al-Aghbari, M., Dutta, R., & Mohamedzeini, Y. 2011. Effect of diesel and gasoline on the properties of sands — a comparative study. *International Journal of Geotechnical Engineering*, 5(1), 61–68. <https://doi.org/10.3328/IJGE.2011.05.01.61-68>
- Al-Aghbari, M. Y., Dutta, R. K., & Mohamedzeini, Y. E. A. 2011. Effect of diesel and gasoline on the properties of sands - A comparative study. *International Journal of Geotechnical Engineering*, 5(1), 61–68. <https://doi.org/10.3328/IJGE.2011.05.01.61-68>

- Barois, I., Contreras, S., Hernández, B., De los Santos, M., Martínez, F., & García, D. 2018. *El suelo y el petróleo: Estudio de caso de biorremediación en pasivo ambiental de Papantla, México*. Instituto de Ecología A.C.
- Castellanos, M. L., Isaza, R. J., & Torres, J. M. 2015. Avaliação de hidrocarbonetos totais de petróleo (TPH) em solo urbano em Maicao, Colômbia. *Revista Colombiana de Química*, 44(3), 11–17. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v44n3.55605>
- David Suits, L., Sheahan, T., Ratnaweera, P., & Meegoda, J. 2006. Shear Strength and Stress-Strain behavior of Contaminated Soils. *Geotechnical Testing Journal*, 29(2), 12686. <https://doi.org/10.1520/GTJ12686>
- Estabragh, A. R., Babalar, M., Javadi, A. A., & Afsari, E. 2018. Impacts of heating and surfactant treatments on the geotechnical properties of a cohesive soil. *International Journal of Mechanical Sciences*, 144, 909–918. <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2017.11.047>
- Estabragh, A. R., Beytollahpour, I., Moradi, M., & Javadi, A. A. 2014. Consolidation behavior of two fine-grained soils contaminated by glycerol and ethanol. *Engineering Geology*, 178, 102–108. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2014.05.017>
- Flores-Ruiz, E., Miranda-Novales, M., & Villasis-Keever, M. 2017. El protocolo de investigación VI: cómo elegir la prueba estadística adecuada. *Estadística inferencial. Revista Alergia México*, 64(3), 364–370. <https://doi.org/https://doi.org/10.29262/ram.v64i3.304>
- Galindo, N., & Rueda, C. 2012. *Caracterización mecánica de suelos arcillosos afectados por derrames superficiales en hidrocarburos en concentración por porcentajes en peso: 5, 10, 15 y 30*. Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, Escuela de Ingenierías, Facultad de Ingeniería Civil. <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/2190>
- Gutiérrez, H., & De la Vara, R. 2008. *Análisis y Diseño de Experimentos*. 2da Edición. Mc Graw Hill.
- Huaquisto, S. 2014. *Efecto del aceite residual de la maquinaria pesada en los factores físico mecánicos del suelo*, Universidad Nacional del Altiplano Puno, Escuela de Posgrado. <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3273648>
- Ibáñez, V. 2009. *Métodos Estadísticos*. Puno, Perú: Editorial Universitaria - Escuela de Posgrado UNA Puno.
- Ijimdiya, T. S., & Igboro, T. 2012. The compressibility behavior of oil contaminated soils. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 17 Y, 3653–3662.
- Karlapudi, A. P., Venkateswarulu, T. C., Tammineedi, J., Kanumuri, L., Ravuru, B. K., Dirisala, V. ramu, & Kodali, V. P. 2018. Role of biosurfactants in bioremediation of oil pollution-a review. *Petroleum*, 4(3), 241–249. <https://doi.org/10.1016/j.petlm.2018.03.007>
- Khamehchiyan, M., Hossein Charkhabi, A., & Tajik, M. 2006. The effects of crude oil contamination on geotechnical properties of Bushehr coastal soils in Iran. *Geological Society of London*, 214, 1–6.
- Khamehchiyan, M., Hossein Charkhabi, A., & Tajik, M. 2007. Effects of crude oil contamination on geotechnical properties of clayey and sandy soils. *Engineering Geology*, 89(3–4), 220–229. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2006.10.09>
- Khosravi, E., Ghasemzadeh, H., Sabour, M. R., & Yazdani, H. 2013. Geotechnical properties of gas oil-contaminated kaolinite. *Engineering Geology*, 166, 11–16. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2013.08.0>

04

- Kuehl, R. 2001. Diseño de Experimentos - Principios estadísticos de diseño y análisis de investigación, 2da Edición . Thomson Learning.
<https://doi.org/10.1198/tech.2001.s589>
- Martines, V. &, & Lopez, F. 2016. Effects of Hydrocarbon Pollutants on the Physical and Chemical Properties of Clay Soil. *Terra*, 19, 9–17.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57319102>
- Melo, O., López, L., & Melo, S. 2020. Diseño de experimentos: métodos y aplicaciones. Universidad Nacional de Colombia.
<https://doi.org/10.36385/fcbog-4-0>
- Ministerio del Ambiente, M., & Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, O. 2016. La fiscalización ambiental en el Perú (2011 - 2015). Ambiente En Acción, Fortaleciendo los cimientos del derecho a un ambiente sano, 220.
- Mneina, A., Soliman, A. M., Ahmed, A., & El Naggat, M. H. 2018. Engineering properties of Controlled Low-Strength Materials containing Treated Oil Sand Waste. *Construction and Building Materials*, 159, 277–285.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.10.093>
- Moldes, A. B., Paradelo, R., Rubinos, D., Devesa-Rey, R., Cruz, J. M., & Barral, M. T. 2011. Ex situ treatment of hydrocarbon-contaminated soil using biosurfactants from *Lactobacillus pentosus*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(17), 9443–9447.
<https://doi.org/10.1021/jf201807r>
- Mousavi, S. E. 2017. Shear strength behavior in the interface of contaminated soil with bio-diesel oil and geosynthetics. *Transportation Geotechnics*, 10 (December 2016), 62–72.
<https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2016.12.003>
- Nasehi, S. A., Uromeihy, A., Nikudel, M. R., & Morsali, A. 2016. Influence of Gas Oil Contamination on Geotechnical Properties of Fine and Coarse-Grained Soils. *Geotechnical and Geological Engineering*, 34(1), 333–345.
<https://doi.org/10.1007/s10706-015-9948-7>
- Raymond, T., King, C. K., Raymond, B., Stark, J. S., & Snape, I. 2017. Oil Pollution in Antarctica. In *Oil Spill Science and Technology: Second Edition*. Elsevier Inc.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809413-6.00014-X>
- Rosell-Melé, A., Moraleda-Cibrián, N., Cartró-Sabaté, M., Colomer-Ventura, F., Mayor, P., & Orta-Martínez, M. 2018. Oil pollution in soils and sediments from the Northern Peruvian Amazon. *Science of the Total Environment*, 610–611, 1010–1019.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.208>
- Safehian, H., Rajabi, A. M., & Ghasemzadeh, H. 2018. Effect of diesel-contamination on geotechnical properties of illite soil. *Engineering Geology*, 241, 55–63.
<https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2018.04.020>
- Serrano, M., Torrado, L., & Pérez, D. 2013. *Impact of Oil Spills on the Mechanical Properties of Sandy Soils*. 11(12), 233–244.
- Steinskog, D. J., Tjøtheim, D. B., & Kvamstø, N. G. 2007. A cautionary note on the use of the Kolmogorov-Smirnov test for normality. *Monthly Weather Review*, 135(3), 1151–1157. <https://doi.org/10.1175/MWR3326.1>
- Trzeciński, J., Williams, D. J., & Zbik, M. S. 2015. Can hydrocarbon contamination influence clay soil grain size composition. *Applied Clay Science*, 109–110, 49–54.
<https://doi.org/10.1016/j.clay.2015.03.014>
- Van der Perk, M. 2014. Soil and Water Contamination. In *Soil and Water Contamination: 2nd Edition*. Taylor & Francis Group.
<https://doi.org/10.1201/b16029>
- Vidonish, J. E., Zygourakis, K., Masiello, C. A., Sabadell, G., & Alvarez, P. J. J. 2016.

Thermal Treatment of Hydrocarbon-Impacted Soils: A Review of Technology Innovation for Sustainable Remediation. *Engineering*, 2(4), 426–437. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2016.04.005>

Yong, R. N. 2001. Geoenvironmental engineering: contaminated soils, pollutant fate and mitigation. In *Igarss 2014* (Issue 1). <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>

N°	Tipologías	Autor	Aportes %
1	Conceptualización - Ideas, formulación o evolución de los objetivos y metas generales de la investigación.	S.L. Ingaluque A.	70
		E.J. Medina A.	20
		E. Parillo S.	10
2	Curación de datos - Actividades de gestión para anotar (producir metadatos), depurar datos y mantener los datos de la investigación (incluido el código de software, cuando sea necesario para interpretar los propios datos) para su uso inicial y su posterior reutilización.	S.L. Ingaluque A.	80
		E.J. Medina A.	10
		E. Parillo S.	10
3	Análisis formal - Aplicación de técnicas estadísticas, matemáticas, computacionales u otras técnicas formales para analizar o sintetizar datos de estudio.	S.L. Ingaluque A.	40
		E.J. Medina A.	40
		E. Parillo S.	20
4	Adquisición de fondos - Adquisición del apoyo financiero para el proyecto que conduce a esta publicación	S.L. Ingaluque A.	100
		E.J. Medina A.	0
		E. Parillo S.	0
5	Investigación - Realización de una investigación y proceso de investigación, realizando específicamente los experimentos, o la recolección de datos / evidencia.	S.L. Ingaluque A.	80
		E.J. Medina A.	20
		E. Parillo S.	0
6	Metodología - Desarrollo o diseño de la metodología y creación de modelos.	S.L. Ingaluque A.	60
		E.J. Medina A.	20
		E. Parillo S.	20
7	Administración del proyecto - Responsabilidad de gestión y coordinación de la planificación y realización de la actividad de investigación.	S.L. Ingaluque A.	100
		E.J. Medina A.	0
		E. Parillo S.	0
8	Recursos - Suministro de materiales de estudio, reactivos, materiales, pacientes, muestras de laboratorio, animales, instrumentación, recursos informáticos u otras herramientas de análisis.	S.L. Ingaluque A.	100
		E.J. Medina A.	0
		E. Parillo S.	0
9	Software - Programación, desarrollo de software, diseño de programas informáticos, implementación del código informático y de los algoritmos de apoyo, pruebas de los componentes de código existentes.	S.L. Ingaluque A.	0
		E.J. Medina A.	0
		E. Parillo S.	0
10	Supervisión - Responsabilidad de supervisión y liderazgo en la planificación y realización de actividades de investigación, lo que incluye la tutoría externa al equipo central.	S.L. Ingaluque A.	70
		E.J. Medina A.	20
		E. Parillo S.	10
11	Validación - Verificación, ya sea como parte de la actividad o por separado, de la replicabilidad / reproducción general de los resultados / experimentos u otros productos de la investigación.	S.L. Ingaluque A.	70
		E.J. Medina A.	20
		E. Parillo S.	10
12	Visualización - Preparación, creación o presentación del trabajo publicado, específicamente la visualización / presentación de datos.	S.L. Ingaluque A.	60
		E.J. Medina A.	20
		E. Parillo S.	20
13	Redacción - borrador original - Preparación, creación o presentación del trabajo publicado, específicamente la redacción del borrador inicial (se incluye la traducción sustantiva).	S.L. Ingaluque A.	60
		E.J. Medina A.	30
		E. Parillo S.	10
14	Redacción - revisión y edición - Preparación, creación o presentación del trabajo publicado por los miembros del grupo de investigación original, específicamente revisión crítica, comentario o revisión - se deben incluir las etapas previas o posteriores a la publicación.	S.L. Ingaluque A.	60
		E.J. Medina A.	30
		E. Parillo S.	10