

Modelo matemático para determinar el índice de inestabilidad de suelos arcillosos en laderas aprovechables para transporte carrozable, Huaraz – Ancash

Mathematical model to determine the index of instability in clay soils for road slopes, Huaraz – Ancash

Claudia Tarazona R.¹

Recibido: Agosto 2015 - Aprobado: Diciembre 2015

RESUMEN

Las laderas de suelo arcilloso y sus características no permiten comportarse de una manera resistente a los agentes geodinámicos, generando una inestabilidad por factores geológicos, de igual manera, la manifestación externa de los procesos genera serias dificultades en la sostenibilidad del tránsito, e inseguridad física en las personas y vehículos que por ella transitan, por ello la necesidad de cuantificar estas características para así mismo poder establecer a futuro una solución o mejora a estos tipos de suelos para carreteras y de la eficacia de la evaluación mediante modelos matemáticos, determinar la solución técnica ingenieril a plantear. El Modelo Matemático desarrollado tuvo en cuenta la variable endógena Desplazamiento (I) y las variables exógenas, Contenido de humedad (W), Permeabilidad (K), Densidad (ρ) y Sobrecarga (SC), conllevando a la siguiente ecuación de regresión lineal.

$$I = K_1 + K_2(w) + K_3(K) + K_4\left(\frac{1}{\rho}\right) + K_5(SC)$$

En donde la técnica de verificación con pre prueba y post prueba, se realizó mediante la participación de grupos de control y grupos experimentales antes y después de la aplicación del modelamiento lineal formulado, evaluado y procesado, obteniéndose como resultado un desplazamiento total de la ladera, de 0.16m en 3.5 meses, significando que la ladera tomada como muestra presenta un Índice de Inestabilidad Lento.

Palabras clave: Modelo matemático; ladera, índice de inestabilidad; desplazamiento; suelos arcillosos; variables.

ABSTRACT

The slopes of clayey soil and its characteristics do not allow behave in a tough way to geodynamic agents, generating instability by geological factors, similarly, the external manifestation of processes creates serious difficulties in the sustainability of transit, and physical insecurity people and vehicles by her passing, so the need to quantify these features so it can establish in the future a solution or improvement to these types of soils for roads and with the effectiveness of evaluation using mathematical models we can to determine the technical solution to propose. The mathematical model developed, used the endogenous variable displacement (I) and exogenous variables, Moisture content (W), permeability (K), density (ρ) and overload (SC), leading to the following linear regression equation.

$$I = K_1 + K_2(w) + K_3(K) + K_4\left(\frac{1}{\rho}\right) + K_5(SC)$$

The verification technique with pre-test and post-test, was performed by involving control groups and experimental before groups and after application of the formulated linear modeling, evaluated and processed, resulting in a total displacement of the slope, 0.16 m at 3.5 months, meaning that the slope sampled presents a Slow Instability Index.

Keyword: Mathematical model; slope; instability index; displacement; clay soils; variables.

¹ Egresada. UPG de la FIGMMG – UNMSM Email: claudia_softar@hotmail.com

Cuantificación y propuesta de medidas de reducción de gases de efecto invernadero en la construcción de una línea de transmisión de 220 kv. Cajamarca – Carhuamayo

I. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación, pretende obtener valores cuantitativos del índice de inestabilidad de laderas de suelos arcillosos basados en monitoreos permanentes de las variables independientes consideradas en el modelamiento matemático obtenido a través del software Econometric Views 7.

Las propiedades físicas de los suelos arcillosos, como el contenido de humedad, la permeabilidad, la densidad, así como las cargas externas que actúan sobre esta como la sobrecarga o carga de servicio, van a influir decisivamente en las condiciones de estabilidad de una ladera (Braja, 1994).

La forma $I \rightarrow f(w, K, \rho, SC)$, representa el origen del algoritmo de regresión lineal del modelo lineal antedicho. El contexto del análisis de regresión lineal, contempla el criterio de variación o no, del comportamiento de la variable dependiente (índice de inestabilidad) en referencia al comportamiento de las variables independientes participantes (contenido de humedad, permeabilidad, densidad y sobre carga), por tanto si el Índice de inestabilidad no varía o se mantiene constante, las variables independientes serán nulas y por tanto no habrá regresión, así mismo si el Índice de inestabilidad varía, las variables independientes no serán nulas y por tanto habrá regresión, basamento estadístico fundamental para probar las hipótesis formuladas, en concordancia a procedimientos establecidos de contrastación, previo análisis estadístico de supuestos aplicables a las variables independientes participantes y por bondad de ajuste de los coeficientes de regresión obtenidos, que permite la evaluación de la ecuación lineal, traducida en lo bien que los resultados se ajustan a la regresión (Córdoba, 2009).

El software Econometric Views 7 permitió calcular la forma funcional o modelo eficaz y eficientemente. El análisis estadístico, con fines de evaluación de los coeficientes del modelo lineal, promovido por el software da cuenta de un análisis sofisticado de bases de datos y consecuente generación de pronósticos y simulaciones eficientes. Consiguientemente la seguridad de la obtención de algoritmos o modelos lineales consistentes estadísticamente (Nolazco, 2014).

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Los datos fueron tomados de la carretera de acceso a El Pinar del Tramo 0+840 a 0+980 en la localidad de Huaraz del departamento de Ancash durante los meses Febrero y Diciembre, desde el 02 de febrero hasta el 21 de Diciembre del año 2015, obteniéndose un total de 47 datos, los cuales 32 fueron empleados para la construcción del modelo matemático (pre prueba) y 15 para su comprobación (post prueba).

En seguida se señala la siguiente caracterización al respecto.

- Muestra: Carretera de Acceso a El Pinar.
- Característica de la muestra: Probabilística intencionada.
- Unidad de análisis: Inestabilidad de los suelos arcillosos del tramo 0+840 a 0+980.

- Variables: Inestabilidad, contenido de humedad, permeabilidad, densidad y sobre carga.

2.1 Diseño de la Investigación

2.1.1 Modelo Teórico

Algoritmo Matemático

Modelo basado en la Ley de Regresión Universal formulada por Francis Galton (1889).

$$Y_i = \beta_0 + \sum_1^n (\beta_{jn} x X_{in}) + \epsilon_i$$

Donde:

- Y_i = Variable dependiente o de respuesta.
- X_{in} = Variables independientes o explicativas.
- B_0 = Constante.
- B_{jn} = Coeficientes de regresión.
- ϵ_i = Término de error.

Modelamiento Matemático

Teniendo en cuenta la variable endógena Desplazamiento (I) y las variables exógenas o independientes, Contenido de humedad (W), Permeabilidad (K), Densidad (ρ) y Sobrecarga (SC), se tiene. $I \rightarrow f(w, K, \rho, SC)$

Conllevando a la siguiente ecuación de regresión lineal.

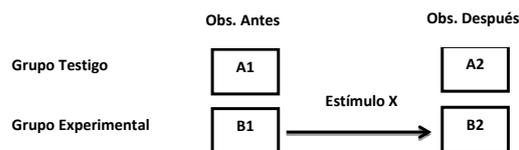
$$I = K_1 + K_2(w) + K_3(K) + K_4\left(\frac{1}{\rho}\right) + K_5(SC)$$

Donde:

- I = Índice de Inestabilidad
- w = Contenido de Humedad
- K = Permeabilidad
- ρ = Densidad
- SC = Sobrecarga

2.1.1 Modelamiento Físico

Técnica de verificación con pre prueba y post prueba, mediante la participación de grupos de control y grupos experimentales antes y después de la aplicación del modelamiento lineal formulado, evaluado y procesado (Rodríguez, 1994).



Donde:

- Pre-Prueba: Datos de Campo antes del empleo de la Fórmula.

- Estimulo y testigo: Fórmula y resultados de la aplicación de la fórmula.
- Post-Prueba: Datos de Campo en condición de ser comparados con los resultados usados en la fórmula.

1.2 Técnicas e Instrumentos de Investigación

La obtención de los valores de las variables cuantitativas, en este caso representados por los parámetros físicos, se realizó mediante ensayos de laboratorio y según el estudio de conteo de tráfico, por tipo de vehículo y por sentido.

1.3 Técnicas Estadísticas de Análisis y Procesamiento de Datos

El procesamiento de la información comprende la siguiente síntesis (Córdoba 2009).

Modelo Lineal	Evaluación de Formulación	Evaluación de la Aplicación
Regresión Lineal	Correlación (R)	Prueba de Hipótesis
	Varianza del Error (σ^2)	Ho: Hipótesis Nula
	Correlación Global ($S u_2 u_3$)	Ha: Hipótesis Alterna
	Bondad de Ajuste (R^2)	Distribución t-Student (Pvalue< α) Distribución F-fisher (Pvalue< α)

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

- El modelamiento matemático empleando 32 datos para la elaboración de la fórmula mediante el operador Eviews 7, presenta el siguiente algoritmo de ajuste, líneas debajo:
- El Índice de Inestabilidad hallado mediante el modelamiento matemático en un periodo experimental de 3.5 meses resultó de 0.16m.
- Teniéndose en cuenta los resultados obtenidos o valores experimentales logrados a nivel de post prueba (15 valores), comparados con los valores aplicados durante la toma de datos correspondientes al periodo 14-09-2015 al 21-12-2015 del tramo 0+840 a 0+980 de la carretera de acceso a El Pinar, se tiene (Tabla N° 1).
- Valores representativos que evidencian un alto grado de correlación ($R = 0.995$) o asociación entre los valores experimentales o modelados con los valores aplicados, dando cuenta de la eficiencia del algoritmo de ajuste lineal múltiple obtenido. La referencia teórica da cuenta del grado de asociación obtenido, así como correspondiente repercusión analítica (Figura N° 1).

$$I = -0.08.0227 + 0.002389(w) + 9.014148(K) + 0.058063\left(\frac{1}{p}\right) - 1.02 \times 10^{-05}(SC)$$

Tabla N° 1. Correlación entre Datos en Campo vs Valores Experimentales

Nª Muestra	Contenido de Humedad (w) %	Sobrecarga (SC) Tn/día	Permeabilidad (K) cm/seg	Densidad (p) gr/cm3	Densidad (1/p) gr/cm3	Desplazamiento (l) m	Desplazamiento modelo (l) m
1	15.80	843.09	0.00316	1.7947	0.5572	0.00987	0.00972
2	12.90	492.01	0.00297	1.8630	0.5568	0.00275	0.00347
3	16.84	896.04	0.00319	1.7910	0.5583	0.01247	0.01201
4	20.31	934.28	0.00338	1.7680	0.5656	0.02366	0.02205
5	15.73	785.03	0.00315	1.7923	0.5579	0.00908	0.01011
6	20.33	950.50	0.00342	1.7680	0.5656	0.02379	0.02230
7	15.30	763.57	0.00306	1.7516	0.5709	0.00822	0.00928
8	10.85	541.49	0.00217	1.2422	0.8050	0.00583	0.00648
9	14.97	747.10	0.00300	1.7138	0.5835	0.00804	0.00879
10	15.78	844.16	0.00316	1.7980	0.5562	0.00911	0.00961
11	16.26	867.64	0.00308	1.7293	0.5783	0.01204	0.01109
12	13.86	691.70	0.00277	1.5868	0.6302	0.00744	0.00742
13	15.74	785.53	0.00314	1.8020	0.5549	0.00845	0.00993
14	14.41	719.15	0.00288	1.6497	0.6062	0.00774	0.00805
15	15.82	844.16	0.00316	1.7970	0.5565	0.00988	0.00975
Promedio						0.01056	0.01067
Correlación						0.99500	

Fuente: Elaboración Propia.

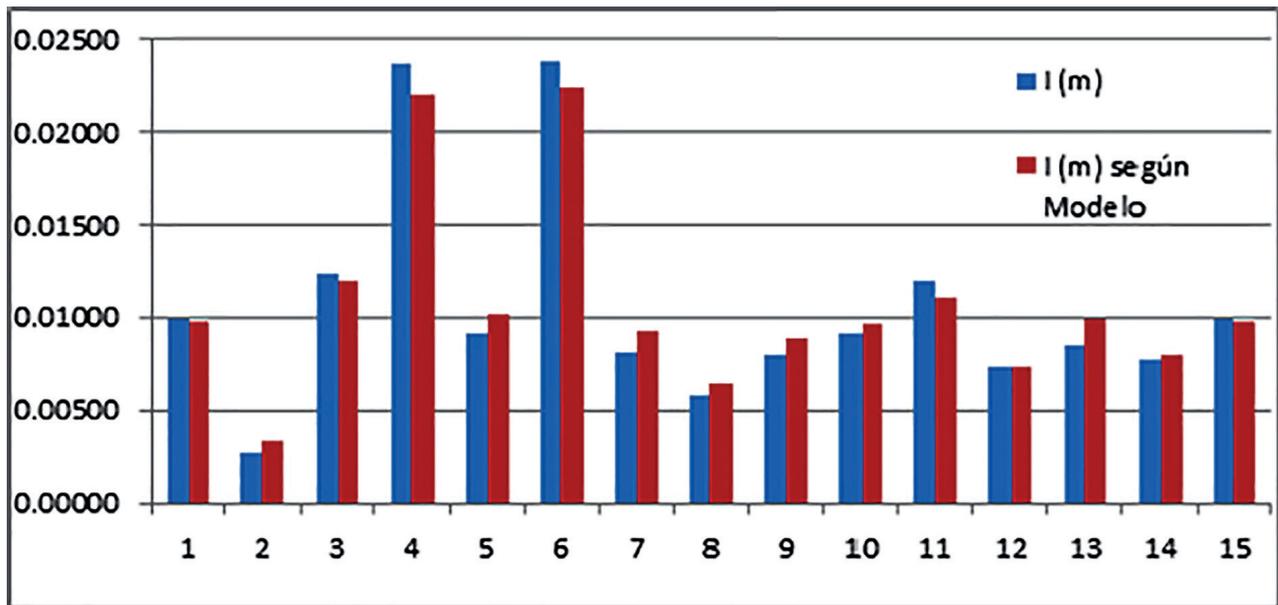


Figura N° 1: Ilustración de Resultados Pre prueba vs Post prueba

3.1 Discusión de resultados

- La dinámica en laderas pueden variar entre desplazamientos extremadamente lentos que son valores menores a 0.016 m/año que son imperceptibles sin instrumentos y representan en general un riesgo muy bajo de pérdidas materiales o humanas; y hasta desplazamientos extremadamente rápidos, valores mayores a 5 m / seg que tienen gran influencia sobre el poder destructivo correspondientes a catástrofes de gran violencia que representan en general un riesgo alto de pérdidas materiales o humanas. La presente investigación reporta un desplazamiento de 0.05m/mes, encontrándose dentro de los parámetros de la clasificación Lenta cuyos valores son entre 0.0013 m/mes a 1.3m/mes.
- El Eviews 7, es un programa de análisis y cálculo estadístico de todo modelo lineal de ajuste de información significativa, complementariamente desarrolla un análisis depurado de la base de datos, propiciando pronósticos y estimaciones eficientes. Su relativa limitante de permitir hasta 04 variables independientes en el análisis y solución de la ecuación de regresión múltiple, da cuenta de la incorporación de factores o supuestos estadísticos (análisis de parsimonia), con fines de evaluar los coeficientes de regresión obtenidos, que en la presente investigación son valores diferentes de cero dando cuenta de la influencia de las variables independientes sobre la variable dependiente.
- Los factores de evaluación de los coeficientes de regresión obtenidos, conforme a la siguiente descripción, promueven un singular análisis concerniente a los supuestos estadísticos típicos, bondad de ajuste y test de hipótesis, así se tiene lo siguiente (Tabla N° 2).

Tabla N° 2. Factores de evaluación de Coeficientes de Regresión

Supuesto Estadístico	Bondad de Ajuste	Test de Hipòtesis
Multicolinealidad <0.80	Coeficiente de determinación $R^2 = 0.98847$	Nivel mínimo de significación (T-statistic). Pvalue<0.05
Heterocedasticidad (corregido por el HAC)		Nivel mínimo de significación (F-statistic). Pvalue<0.05
Autocorrelación (corregido por el HAC)		

Fuente: Elaboración Propia.

- El algoritmo de ajuste lineal, cumple con los requisitos asignables al caso, en lo concerniente a los supuestos estadísticos considerados, esto es Multicolinealidad moderada (correlación entre variables regresoras), resultante de una condición aceptable. Heterocedasticidad y Autocorrelación corregidos automáticamente por el HAC u ordenador de Newey – West del software, en relación a la consideración de los errores estándares robustos generadas durante la obtención de la información.
- Los coeficientes de regresión de los modelos matemáticos procesados por el Eviews 7, que fueron tomados en periodos semanales, fueron sometidos a evaluaciones de significación estadística, para fines de predicción interés de la investigación, lo cuales son los siguientes (Tabla N° 3).

Tabla N° 3. Valores de los Coeficientes de Regresión

Constante	Coef. De Regresión W (%)	Coef. De Regresión K (cm/seg)	Coef. De Regresión p (gr/cm³)	Coef. De Regresión SC (Tn/día)
-0.080227	0.002389	9.01415	0.058063	-1.02x10-05

Fuente: Elaboración Propia.

- La variación de las variables independientes, es decir su incremento o reducción, influirán de sobre manera en la inestabilidad de las laderas de suelos arcillosos, en donde el orden de influencia sería el siguiente (Tabla N° 4).

Tabla N° 4. Orden de Influencia en la Inestabilidad de las Laderas

Orden	Variable
I	Densidad
II	Permeabilidad
III	Contenido de humedad
IV	Sobre carga

Fuente: Elaboración Propia.

IV. CONCLUSIONES

- El modelo matemático que se empleó para determinar el Índice de Inestabilidad de los suelos arcillosos en laderas aprovechables para transporte carrozable, se basaron en la forma funcional de regresión lineal calculados mediante el EconometricViews 7.
- Por la apreciada similitud de los coeficientes de las ecuaciones de ajuste lineal obtenidos, es posible desarrollar evaluaciones estadísticas a los coeficientes de correlación resultantes en el escenario de la eficacia y eficiencia matemática.
- La medición y análisis de comportamiento de las variables participantes, se desarrolló teniendo en cuenta los gráficos de control de medición de los parámetros, destacando que no se evidencia una «causa especial».

- El desplazamiento total de la ladera en 3.5 meses es de 0.16m, el cual en un año se tendría un desplazamiento aproximado de 0.55m, significando que la ladera del tramo 0+840 a 0+980 de la carretera de acceso a El Pinar presenta un Índice de Inestabilidad Lento.

V. AGRADECIMIENTOS

El agradecimiento a los docentes de la UPG de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica - FIGMMG de la UNMSM por el apoyo, enseñanzas y consejos para el desarrollo de la presente investigación, de igual manera al Mag. Daniel Lovera por la orientación para el desarrollo del presente artículo de investigación.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Braja, D. (1994). «Fundamentos de Ingeniería Geotécnica». California: State University.
2. Córdoba, M. (2009.) Estadística Descriptiva e Inferencial. (5° Ed). Perú: PUCP
3. Nolzco, J. (2014). «Econometría con E-views». Universidad de Chile: Departamento de Economía.
4. Rodríguez, M. (1994). «Teoría y Métodos de Investigación Científica». Lima. Ed. San Marcos, 5ta. Edición.