

Humedad natural de los suelos en el área de la planta Ferroníquel Minera S.A.

Mandela D. Christian

Instituto Superior Minero Metalúrgico (Cuba).

Resumen: Se analizó el comportamiento de la humedad natural de los suelos, a partir de la influencia que sobre este índice tienen las precipitaciones en la zona de explotación de la planta Ferroníquel Minera S.A. en Moa. Para el análisis de las precipitaciones se cuenta con los datos correspondientes a cinco pluviómetros distribuidos de forma irregular que tienen influencia en el área de estudio. Los resultados del análisis de varianza demostraron que los acumulados promedios de precipitaciones en cada pluviómetro presentaron diferencias significativas, sin embargo, sí mostraron diferencias entre los acumulados promedios mensuales, que permiten definir los meses más lluviosos y menos lluviosos.

Palabras clave: precipitaciones, pluviómetro, suelo laterítico

Natural soil moisture in the area of the Ferroníquel Minera S.A. plant

Abstract: The behavior of natural soil moisture was analyzed, based on the influence of precipitation on this index in the area where the Ferroníquel Minera S.A. plant operates in Moa. For the analysis of precipitation, data from five irregularly distributed rain gauges that influence the study area were used. The results of the analysis of variance showed that the average accumulated rainfall at each rain gauge showed significant differences. However, there were differences between the monthly accumulated averages, which allow us to identify the wettest and least wettest months.

Key words: precipitation, rain gauge, lateritic soil

Introducción

El volumen de precipitaciones registrado en la región de Moa es clave para la formación de los yacimientos ferroniquelíferos, ya que estos son el resultado de un proceso de intemperismo intenso donde el agua juega un papel trascendental. Estas condiciones de abundantes precipitaciones, intensa evaporación, altas temperaturas y continuas fluctuaciones del nivel freático de las aguas subterráneas debido a la recarga local o regional que experimentan las mismas, someten a estos suelos a diferentes ciclos de secado y humedecimiento en el año.

Los suelos tienen su origen en los macizos rocosos preexistentes que constituyen la roca madre, sometida a la acción ambiental disgregadora de la erosión en sus tres facetas: física, química y biológica. Todo ello da lugar a fenómenos de disgregación y transformación de la roca creándose el perfil de meteorización. Cuando el suelo permanece *in situ* sin ser transportado se le conoce como suelo residual y cuando ha sido transportado se denomina suelo transportado (González de Vallejo, 2002).

Los suelos del área de estudio constituyen todo el material a extraer donde se construye la planta Ferroníquel Minera S.A., los cuales tienen un espesor variable

aproximadamente de 30 metros (Informe Ferroníquel). Pertenecen a los materiales de la corteza de meteorización laterítica, específicamente a la zona saprolítica del perfil laterítico; según sus principales propiedades físico-mecánicas estos se clasifican en: limos arcillosos plásticos (MH), arenas limosas (SM) y gravas arcillosas (GM).

Arenas limosas con gravas (SM) y gravas limosas con arenas (GM)

En general, estos tipos de suelos se distinguen por el predominio indistintamente de la grava o la arena, pues sus otras características son similares, como la matriz con alta plasticidad, los pesos específicos altos, entre otras. El contenido de algunas gravas y las arenas son relictos de las serpentinitas, así, en ocasiones, están representados por perdigones de hidróxido de hierro y en menor medida por cuarzo.

Limo arcilloso plástico (MH)

En partes son simplemente limos plásticos (arcillosos), en otras, son con arena o arenosos. Pero, como promedio son limos arcillosos plásticos con arena. Los valores promedios de su granulometría son grava 3 %, arena 15 %, limo 51 %, arcilla 32 %, coloide 18 %. La plasticidad es alta con límite líquido 70 %, límite plástico 41 % e índice de plasticidad 29 %. Poseen un peso específico de los suelos muy alto con valor de 3,51. En sus condiciones naturales poseen: humedad 54,8 %, los pesos específicos húmedo y seco son 17,0 kN/m³ y 11,3 kN/m³. En general, son de baja resistencia al esfuerzo cortante, aunque como es lógico para los diferentes esquemas de ensayos sus parámetros mejoran, aunque muy ligeramente, desde el estado saturado al húmedo (natural o con humedad óptima) y desde el rápido al lento.

Estos suelos por su composición arcillosa son hinchables, pero por la gran humedad que comúnmente presentan, así como por su contenido de limos y arenas determinan que en sus condiciones naturales su hinchamiento tanto libre como controlado, estén algo compensados. Puede apreciarse que en su condición compactada según la humedad óptima, son un poco hinchables, con valor promedio de 0,097 MPa.

Por su consolidación son suelos deformables con módulo de deformación menor que 20 MPa, para todo el diapasón de cargas ensayadas. Estos materiales compactados según el Próctor estándar mejoran sus pesos específicos, para lo que habría que secarlos un 13,0 % aproximadamente. Así con humedad óptima de 42,2 %, los pesos específicos

húmedo y seco son de 18,1 kN/m³ y 12,8 kN/m³, respectivamente. De igual manera mejoran las características resistentes y de la consolidación, no ocurriendo así con el hinchamiento el cual se hace más desfavorable.

Aunque no es de interés para la presente investigación, sí se debe mencionar que las rocas existentes corresponden a serpentinitas, de color verde oscuro o pardusco, que aparecen agrietadas, fisuradas. Estas serpentinitas son distinguidas como brechosas medias, brechosas finas y como esquistas. El predominio de distribución en el área de estudio está en correspondencia con el orden mencionado.

Para analizar el comportamiento de la humedad natural de los suelos descritos, a partir de la influencia que sobre este índice tienen las precipitaciones, se dan a continuación los principales resultados aportados por la investigación en el área de la planta Ferroníquel Minera S.A.

Análisis de la pluviometría en el área de estudio. Interpretación de los resultados estadísticos

Para el análisis de las precipitaciones se cuenta con los datos correspondientes a cinco pluviómetros distribuidos de forma irregular que tienen influencia en el área de estudio.

Al realizar el análisis de varianza para comprobar si existen diferencias significativas en la cantidad de precipitaciones por pluviómetros se obtiene que F calculada (Fisher) es menor que el valor crítico de F, lo que manifiesta que no hay diferencias significativas entre los acumulados promedios de los pluviómetros pues su comportamiento es similar para toda la serie.

La Figura 1 muestra la distribución promedio de la lluvia anual de la serie temporal donde se observa que el año de más precipitaciones fue el 2007 y el que menos acumuló fue el 1989.

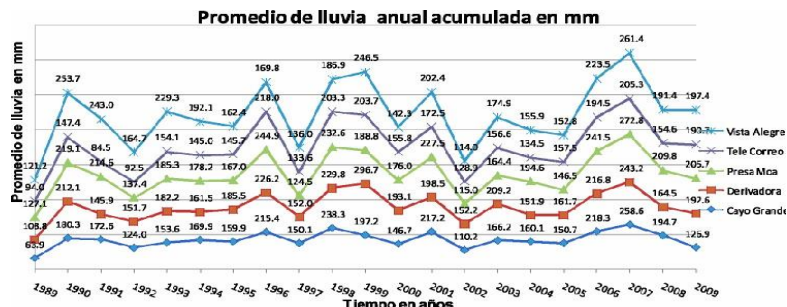


Figura 1. Distribución de las precipitaciones promedio de la serie 1989-2009 por cada pluviómetro.

Cada pluviómetro presenta coeficientes de estacionalidad lo cual significa que la serie ya se encuentra estacionalmente ajustada por lo que se definen diferentes periodos húmedos y secos que estarán en dependencia de la época del año en que se encuentren y por tanto existirá mayor o menor precipitación.

Sin embargo, al realizar el análisis de varianza para los acumulados mensuales como F calculada es mayor que el valor crítico de F se rechaza la hipótesis, es decir la cantidad de agua acumulada por meses durante los 21 años no es la misma como promedio. En este caso se hace necesario detectar los meses son provocan esta diferencia.

Al analizar la lluvia acumulada en el periodo de 1989-2009 se comprueba que los meses de mayor acumulados corresponden a noviembre, octubre y diciembre y con menos acumulados de lluvias los meses de abril y julio.

Análisis del comportamiento espacio temporal de la humedad natural de los suelos

La humedad natural es un parámetro que es variable en el tiempo. Su comportamiento espacio temporal depende entre otros factores de la composición granulométrica, los índices de poros, agrietamiento, espesores de la capa de suelos, profundidad del manto freático.

Una característica de los suelos naturales es que los poros entre partículas sólidas están ocupados por cantidades variables de agua y aire, sobre todo en la parte superior y en el caso específico de la minería a cielo abierto por los cortes que facilitan la extracción del mineral. La variabilidad espacio temporal de la humedad natural se debe además de

la composición granulométrica y el valor del índice de poros, a los ciclos de secados y humedecimiento que experimentan los suelos por las condiciones climáticas (lluvia y evaporación).

Si el clima determina condiciones propicias para el secado, el agua se evaporará de los poros haciendo que la succión aumente respecto a la distribución hidrostática, más rápido en la superficie que en la profundidad. El gradiente de succión hará que el vapor extraído de los meniscos sea transportado por difusión molecular hacia la superficie, lo cual completa el mecanismo de secado, estableciéndose un flujo capilar desde el nivel freático hacia la capa superficial donde ocurre la evaporación (Carmenate, 2006).

En el trabajo de Rodríguez (2002) se realiza un estudio hidrogeológico de la región de Moa donde se llega a la conclusión de que el nivel freático, contenido de humedad y el grado de saturación de la corteza laterítica y las rocas ultrabásicas es variable en el espacio y en el tiempo. En la zona de Moa, de forma interanual, se establecen dos ciclos de variación del nivel freático del agua en las rocas ultrabásicas y el corte laterítico.

Estas fluctuaciones son más suaves en el corte laterítico debido a su alta porosidad, que para el tipo de suelo limo arcilloso que aparece en el área de estudio oscila entre 1,04 y 3,05, para un valor medio de 2,15; lo que confiere un mayor coeficiente de almacenamiento de agua. La subida del nivel freático en profundidad permite el ascenso capilar del agua y con ello el humedecimiento del corte laterítico (capa saprolítica).

Como muestra la Figura 2, los valores de humedad de los suelos son altos, en el área de estudio los mayores contenidos (50, 60, 70 %) se localizan hacia el NNE y NNW y hacia el extremo más SE y los valores más bajos (35,40 %).

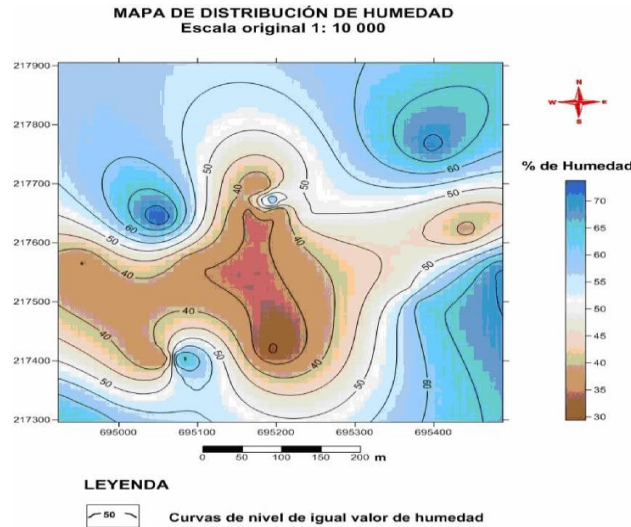


Figura 2. Mapa de distribución de humedad.

Esta distribución espacial de las humedades está condicionada por la tectónica; hacia las zonas de mayor por ciento de humedad se concentra la mayor densidad de fracturas (Figura 3), donde la dirección del agrietamiento es predominantemente NE y NW con un ángulo de buzamiento de 85° aproximadamente, siendo estas discontinuidades la vía de circulación de las aguas hacia las rocas donde se encuentra el manto acuífero.

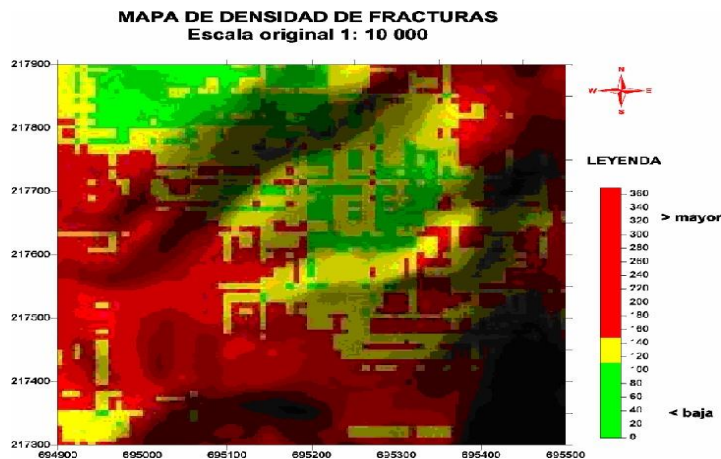


Figura 3. Mapa de densidad de fracturas (Cortesía de Quality Cuba S.A.)

Estas zonas también se caracterizan por presentar un intenso desarrollo de la red fluvial de diversos órdenes que suministran el agua que mantiene un elevado valor de humedad en la zona debido a la granulometría fina que caracteriza al suelo y a sus valores de índice de poros. Otro factor que incide en esta distribución de humedad es la profundidad a la que se encuentra el manto freático localizado a pocos metros (aproximadamente a

los 10 m) en las zonas de humedad alta y a 18 m en las zonas de valores bajos de humedad.

Los mayores valores de humedad natural están asociados a los menores espesores de suelos (10-12 m) y los valores menores de humedad natural a los mayores valores de espesores de suelos (30-32 m).

Valoración de la relación de la pluviometría con la humedad natural de los suelos en el área de la planta Ferroníquel Minera S. A. en períodos húmedos y secos

Durante una lluvia o inundación, la succión en superficie se hace nula y la capa superficial seca absorbe el agua líquida debido al gradiente de succión. Se establece entonces un frente mojado que avanza hacia abajo y es una de las causas que provoca el alto índice de humedad de los suelos en el área de estudio (Carmenate, 2006). Esta característica reafirma que la humedad natural del suelo es un índice que varía con el tiempo, a lo largo del mismo ella no se mantiene igual, disminuye o aumenta, de ahí que se consideren los suelos húmedos o secos en dependencia del por ciento de humedad, sin perder de vista de que los suelos nunca serán totalmente secos, es imposible eliminar todo su contenido de agua, es por eso que el término más empleado es suelos parcialmente saturados o no saturados. Este comportamiento en el tiempo de la humedad natural depende de la intensidad y duración de los procesos de meteorización y erosión, de la composición granulométrica, de la porosidad y de la superficie específica de los granos.

En el área de estudio se valora este índice de humedad dentro del periodo lluvioso y se observan cambios en el índice en correspondencia con el tiempo y la cantidad de precipitaciones ocurridas.

De manera general, al valorar la influencia de la humedad natural de los suelos con la pluviometría se infiere que existe una relación directa entre el alto porcentaje de humedad que presentan los mismos en el área de estudio y los altos acumulados de lluvias, influencia que viene dada por la composición granulométrica, que se caracteriza por el predominio de las partículas finas y por los elevados índices de poros que le confiere una alta porosidad al material y por tanto la existencia de por cientos considerables de humedad residual (6 %).

Conclusiones

Los resultados del análisis de varianza demuestran que los acumulados promedios de precipitaciones en cada pluviómetro del área de estudio no presentan diferencias significativas, sin embargo, sí existen diferencias marcadas entre los acumulados promedios mensuales, que permiten definir los meses más lluviosos y menos lluviosos.

Los suelos del área de estudio constituyen todo el material a extraer donde se construye la planta Ferroníquel Minera S.A., los cuales tienen un espesor variable aproximadamente de 30 metros. Pertenecen a la zona saprolítica del perfil laterítico y según sus principales propiedades físico-mecánicas, estos se clasifican en: limos arcillosos plásticos (MH), arenas limosas (SM) y gravas arcillosas (GM).

Los mayores espesores de suelos que se desarrollan en la zona corresponden a los limos arcillosos, con un alto valor promedio de humedad (54,8 %) que los clasifica como suelos muy húmedos, aumentando esta con la profundidad.

Existe una relación directa con tendencia lineal entre las precipitaciones y el valor de humedad natural de los suelos. A mayor acumulado de precipitación mayor valor de humedad natural en el área de estudio.

Recomendaciones

Realizar estudios de la interfase agua-aire y de permeabilidad saturada de los suelos del área de estudio por presentar una composición granulométrica fina y alta porosidad que pueden hacer que la altura capilar sea significativa.

Realizar determinaciones de los valores de humedad natural de los suelos del área de estudio durante los periodos secos en el laboratorio para conocer el comportamiento de la misma, ya que los resultados que se tienen de estos periodos son empíricos.

Referencias bibliográficas

CARMENATE, J. 2006: Influencia de la interfaz agua-aire en la estabilidad de taludes de los suelos lateríticos *in situ* de la región de Moa. Tesina de DEA.

COLECTIVO DE AUTORES. 1984: Análisis de Varianza VH. Editorial Pueblo y Educación, La Habana, Cuba, p.270.

GONZÁLEZ DE VALLEJO, L. I. 2002: Investigaciones *in situ* en Ingeniería geológica. Pearson educación, Madrid.

RODRÍGUEZ, R. 2002: Estudio experimental de flujo y transporte de cromo, níquel y manganeso en residuos de la zona minera de Moa (Cuba). Influencia del comportamiento hidromecánico. PhD Thesis, University Polytechnic of Catalonia (UPC), Barcelona, España. 1-465. Publicada en <http://www.tdcat.cesca.es/TDCat-0731102-084652/>

*

Trabajo tutorado por la M. Sc. Amalia Beatriz Riverón y el M. Sc. Marcos Medina Arce.