

Caracterización Físicoquímica de Suelos Expansivos en La Chorrera

Laboratorio de Análisis Industriales y Ciencias Ambientales y Laboratorio de Geotecnia, , Centro Experimental de Ingeniería, Universidad Tecnológica de Panamá



En los últimos años, Panamá ha experimentado un auge urbanístico e ingenieril que ha conducido al estudio y caracterización frecuente de los suelos. Para este fin se implementan análisis químicos y físicos recopilados en diversos manuales de ensayos reproducidos por asociaciones como la ASTM (American Society for Testing Materials), AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) que se utilizan como referencia para la confección de normas y leyes en distintos países.

Las normas nacionales con respecto al uso urbano de suelos, sólo exigen la determinación de los parámetros pH y materia orgánica, lo que representa una limitante significativa al momento de caracterizar suelos con fines ingenieriles, ya que se obvian aspectos que pueden contribuir a la prevención de la destrucción y deterioro de edificaciones construidas en suelos expansivos.

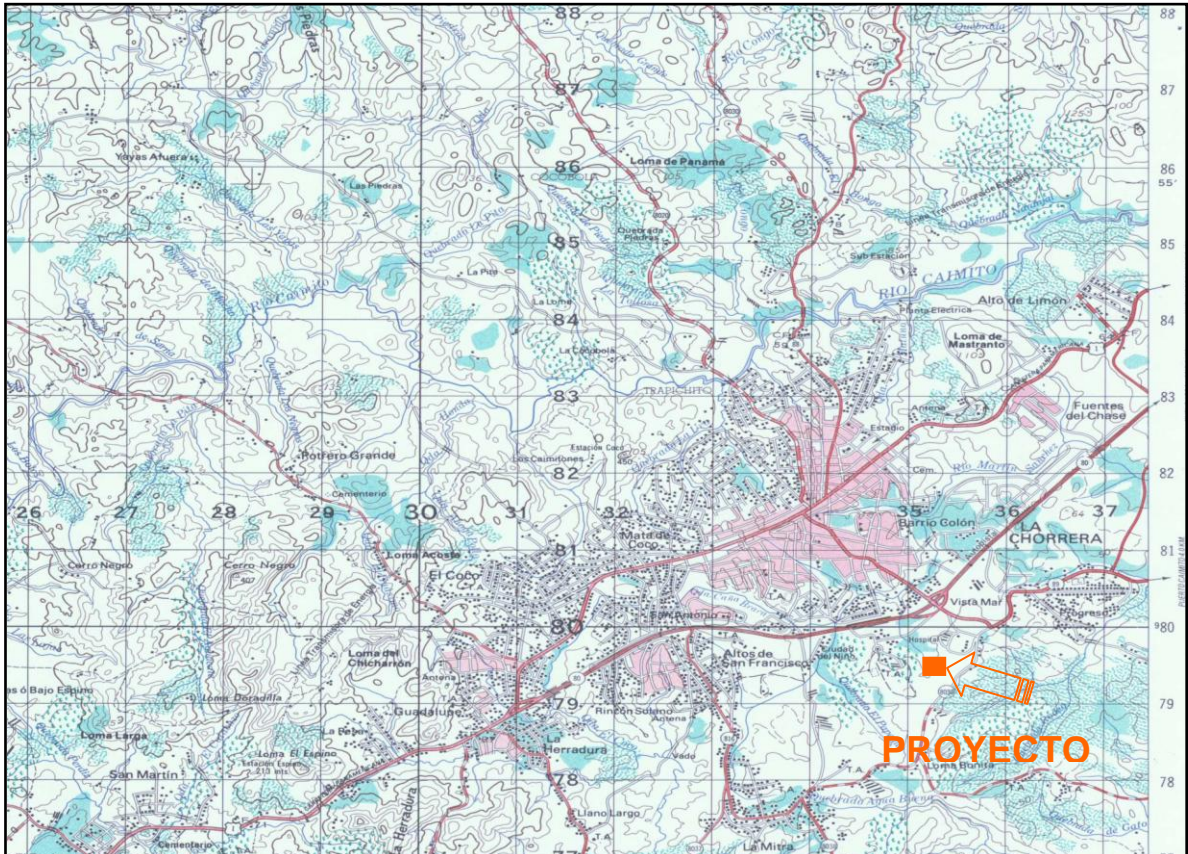
En este trabajo se presenta la caracterización química y física de suelos expansivos de la región de Panamá Oeste, mediante la determinación de parámetros importantes como: sulfatos, cloruros, materia orgánica, pH, resistividad, intercambio catiónico, salinidad, sólidos totales disueltos (TDS), conductividad, succión total y superficie específica del suelo; estos dos últimos procedimientos implementados por primera vez en el Laboratorio de Análisis Industriales y Ciencias Ambientales.

Entre los objetivos trazados se encuentran aportar al desarrollo edafológico de nuestro país mediante ensayos que dictaminan parámetros físicos y químicos del suelo, además de determinar la composición química y mineralógica de las muestras de suelos expansivos de Panamá Oeste. Los mismos surgen por la necesidad de un estudio

profundo de los mismos para así caracterizarlos y una vez caracterizados tomar acciones que puedan contribuir a la disminución de los efectos expansivos de estos tipos de suelo.

Muestreo

Las muestras utilizadas en la investigación fueron extraídas de campo por el personal del laboratorio de geotecnia del Centro Experimental de Ingeniería de la Universidad Tecnológica de Panamá, la localización de donde proceden las muestras se sitúa en



barrio Balboa, corregimiento el progreso, distrito de la Chorrera, provincia de Panamá. La ubicación de estos puntos podemos ubicarla en la **Figura 1.** y **Figura 2.**

Figura 1. Ubicación geográfica del proyecto



Figura 2. Ubicación gráfica de las muestras extraídas en campo, en las posiciones H-8 y H-16, se localizan las muestras estudiadas.

Métodos

Tomando en cuenta la complejidad de la matriz llamada *suelo* por contener las tres principales fases de la materia y por también albergar organismos y microorganismos que son causantes de variaciones químicas en el suelo que a su vez interfieren en la precisión y exactitud de los análisis, los mismos se presentarán de la siguiente manera:

- Determinación de pH del suelo
- Conductividad, salinidad y sólidos totales disueltos
- Determinación de Cloruros
- Determinación de Sulfatos
- Determinación de Materia Orgánica
- Resistividad Eléctrica
- Capacidad de intercambio catiónico
- Difracción de Rayos X
- Superficie Específica (implementado)
- Succión total (implementado)

Determinación de pH

El pH del suelo se determina para obtener información que nos ayuda a interpretar la solubilidad de algunos elementos que componen los minerales de nuestra importancia con lo que podemos determinar la difusión de los mismos y cómo dependiendo del pH

obtenido tomamos en cuenta o no este parámetro para actividades futuras a realizar en el suelo estudiado.

También los datos obtenidos serán almacenados para confeccionar una base de datos con valores en diferentes parámetros de interés para así tener una hipótesis del comportamiento del suelo en determinada área de nuestro país.

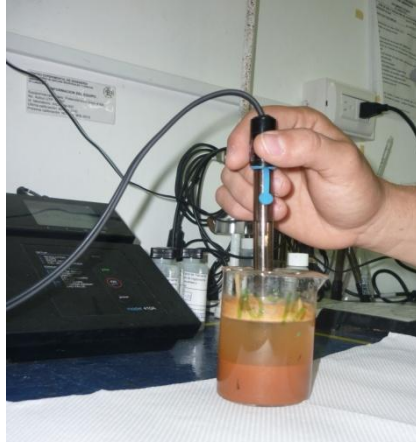


Figura 3. Imagen de la determinación de pH de la muestra H-16.

Determinación de materia orgánica

La determinación de la materia orgánica es un dato que aporta confianza al valor del pH en el suelo ya que los mismos tienen relación entre sí, además de obtener una hipótesis del contenido de materia orgánica que puede contener un suelo con características expansivas.

La materia orgánica aporta representativamente al pH por su descomposición, en un proceso denominado humificación donde se obtiene como productos ácidos orgánicos y demás compuesto de naturaleza orgánica que contribuyen a la acidez del suelo.

Los datos obtenidos serán reportados en la data para poseer información previa al tratar un suelo expansivo del área estudiada.



Figura 4. Crisoles previamente tarados conteniendo las muestras H-8 y H-16 para la determinación de la materia orgánica.

Determinación de cloruros

El objetivo del método referido en la Norma AASHTO: T 291-94 (1996) es utilizado para cuantificar a través de procedimientos de valoración y titulación el contenido de ion cloruro soluble en aguas ocluidas en los espacios intersticiales de las muestras, el mismo se realiza con el fin de obtener valores numéricos del contenido de cloruros de los suelos de la región, para así discernir si los suelos expansivos de la región de La Chorrera poseen características inertes o desfavorables a las edificaciones próximas a la zona, y así añadir esta caracterización química a la tabla de resultados.

El proceso de determinación del ion cloruro se lleva a cabo por medio de reacciones químicas entre el ion cloruro y una solución de nitrato de plata donde el cloruro reacciona con los iones de plata antes que con cualquier especie de cromato de plata, debido a la menor solubilidad del cloruro de plata. El indicador de cromato de potasio reacciona con el exceso de iones de plata para formar un precipitado de cromato de plata de color rojo y así detener la titulación, el procedimiento del método descrito se divide en dos partes, donde la primera señala como preparar la muestra recibida de campo para la realización del ensayo y la segunda que detalla el procedimiento de la determinación de ion cloruro con nitrato de plata.

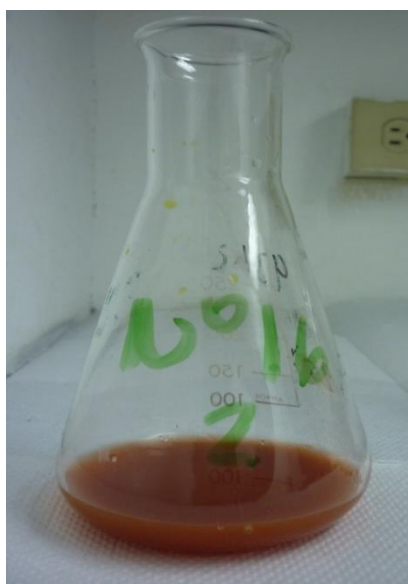


Figura 5. Color ladrillo indicativo del punto final en la titulación de la determinación de cloruro en las muestras.

Determinación de sulfatos

La finalidad de este procedimiento referido a la norma ASTM C 1580-05 es describir el sistema analítico para la extracción y la determinación cuantitativa de sulfato por espectrofotometría en muestras de suelos expansivos, ya que este es otro parámetro a determinar en la investigación para así contribuir a la caracterización química de las muestras procedentes de la chorrera y de esta manera construir un criterio que dictamine si los niveles de sulfato que contiene el suelo, afecta o no afecta a las cimentaciones localizadas en el área o cerca de ella. El fundamento teórico del análisis es la reacción del $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ con el sulfato presente en la muestras desplazándolo y formándose BaSO_4 que posteriormente se determina por técnica turbidimétrica medida en el espectrofotómetro.



Figura 6. Agitación automatizada de la alícuota de de la suspensión de suelo extraída antes de introducirla al espectrofotómetro.

Determinación de superficie específica por método de azul de metileno

A la hora de clasificar o caracterizar muestras de suelos, la mayoría de las veces se toma como referencia el comportamiento de los materiales granulares, pero esta clasificación o caracterización se le deben implementar parámetros que no son considerados en el estudio geotécnico del suelo, los mismos podrían complementar y contribuir de manera significativa a la clasificación de los suelos. Es por eso que en las muestras analizadas hacemos relevancia en este parámetro de superficie específica, ya que a la hora de clasificar las muestras de suelo con llevan a la confusión, además como objetivo principal de nuestra investigación es la caracterización química.

Decidí incluir este parámetro dentro de los resultados, porque considero que el mencionado promueve a un mejor entendimiento del comportamiento de los suelos expansivos.

La superficie específica se define como la relación entre la superficie de una partícula (A_p) y su masa (m). Resultando una medida independiente y complementaria al análisis granulométrico. Su valor determina el balance entre fuerzas capilares, eléctricas y gravimétricas actuantes sobre las partículas. Esta afecta la permeabilidad y controla la adsorción y retardación durante la difusión química.

Existen diferentes técnicas para la determinación de la superficie específica y se dividen en tres grupos: 1. La absorción de moléculas de una solución; 2. Absorción de moléculas en estado gaseoso, como por ejemplo nitrógeno, vapor de agua o dióxido carbono y 3. Técnicas basadas en propiedades termodinámicas. Analizando los diferentes grupos de técnicas llegamos a la conclusión que el grupo con el principio más efectivo para determinar este parámetro en nuestras muestras de naturaleza expansiva es el grupo que determina la superficie específica por adsorción de moléculas de una solución, utilizando la técnica de adsorción de azul de metileno. Esta es una técnica sencilla, económica y conveniente para cualquier laboratorio.

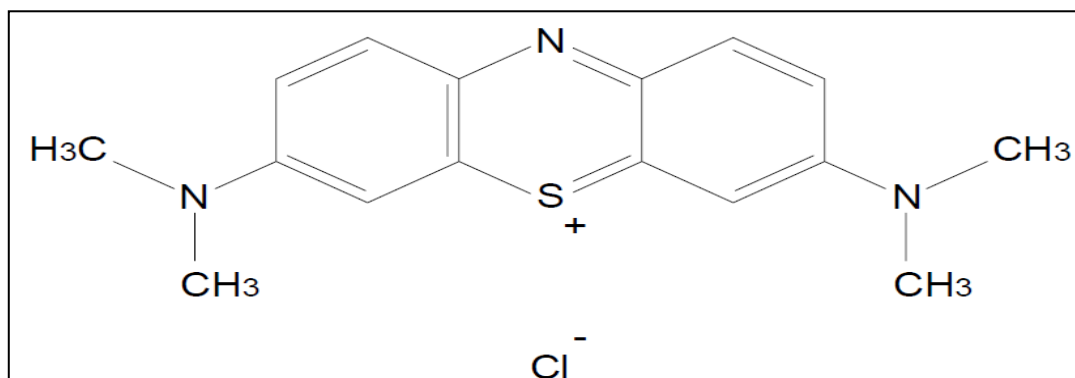


Figura 7. Estructura planar del catión de azul de metileno ($C_{16}H_{18}N_3S^+$) de acuerdo al estándar DIN58981, la máxima superficie cubierta por un catión es de 130\AA^2 .

El catión de azul de metileno (AM) tiene una forma prismática de dimensiones $17\text{\AA} \times 7,6\text{\AA} \times 3,25\text{\AA}$ como lo observamos en la **Figura 6.**, por lo tanto la superficie máxima cubierta por un catión de AM es aproximadamente 130\AA^2 . Los cationes de una solución acuosa de cloruro azul de metileno (peso molecular $319,87\text{ g/mol}$;) Son absorbidos por las cargas negativas de la superficie de las arcillas, donde la superficie específica es determinada con la cantidad de AM adsorbido por la muestras y esto se revelará utilizando la capilaridad de un papel filtro cuantitativo para detectar el exceso de catión AM.

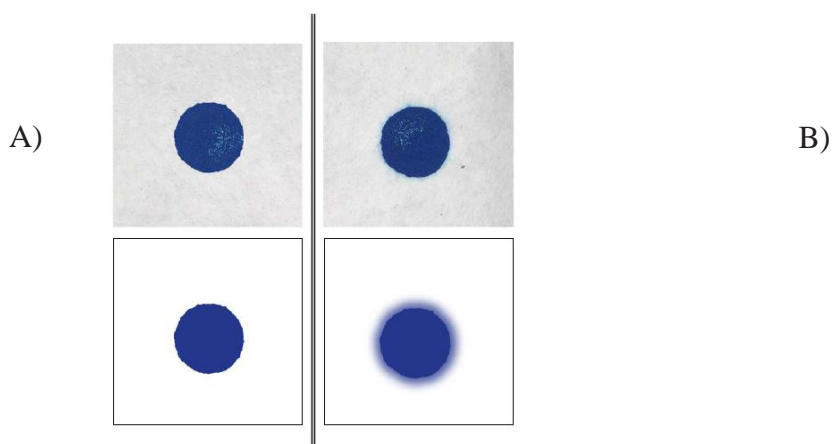


Figura 8. A) fotografía y esquema gráfico de una gota de la suspensión mineral antes del punto final. B) fotografía y esquema de la gota después del punto final rodeada por un halo azul que indica el exceso de azul de metileno.



Figura 9. Titulación con la solución de azul de metileno a la suspensión de las muestras de suelo.

Determinación de capacidad de intercambio catiónico

La determinación de intercambio catiónico es una herramienta muy útil a la hora de clasificar de forma cualitativa la identidad y composición de los suelos ya que algunos de los minerales más conocidos y estudiados tienen valores de capacidad de intercambio catiónico tabulados, por consiguiente con ayuda de esta tabla y los valores obtenidos de la capacidad de intercambio catiónico de nuestras muestras podremos revelar la identidad de los minerales presentes en las mismas y así estudiar las características de este mineral y la influencia en el comportamiento de nuestras muestras de suelos.

Además otra de las características importantes de la realización de esta prueba de capacidad de intercambio catiónico es que interviene en los procesos de floculación y dispersión de arcillas, procesos asociados a la naturaleza expansiva de los suelos y por lo tanto en el desarrollo de estructuras y estabilidad de agregados.

La capacidad de intercambio catiónico se define como la propiedad que poseen las partículas sólidas de suelo en realizar procesos reversibles con iones contenidos en una fase acuosa expuesta al contacto con las partículas de suelos que adsorben estos iones débilmente para neutralizar sus desequilibrios eléctricos, La teoría del proceso de intercambio catiónico para naturaleza de nuestras muestras de suelos de características expansivas con composición arcillosa se basa en la doble capa eléctrica de su estructura con un contacto entre el sólido y la fase líquida utilizada como un condensador plano.

El método que se utilizó para obtener los resultados de intercambio catiónico está referenciado al libro de química de suelos M.L Jackson donde se describe un método sencillo que se fundamenta en medir la cantidad total de cargas negativas por unidad de

peso del material, utilizando soluciones de ácido acético y acetato de amonio para realizar los ensayos de cationes metálicos canjeables totales e hidrógeno canjeable. La suma total de estos dos parámetros constituye la capacidad de intercambio catiónico reportada y tabulada.

Determinación de succión total en suelos

La succión total o potencial de succión en edafología es un parámetro poco utilizado en Panamá para la clasificación y caracterización de suelos, este parámetro reproduce información valiosa de la fuerza de unión entre la parte sólida del suelo y su fase líquida, expresada en unidades de presión, en el cual se considera a la succión total del suelo como una fuerza que se opone al movimiento de las moléculas de agua, tradicionalmente sus unidades eran expresadas en atmósferas, pero en la actualidad se utiliza la unidad de Kilopascales para describir este fenómeno.

Existe cierta proporcionalidad entre el valor de la succión total y el contenido de humedad relativa, lo que hace importante conocer, que el suelo al alcanzar el estado de capacidad máxima, la mayor parte del agua se encuentra muy retirada de la fase sólida produciendo como consecuencia la anulación del potencial de succión; además otro estado de interés es el momento en que el potencial de succión es igual a la presión atmosférica influyendo a las fuerzas de empuje y sujeción de las moléculas, ya que las mismas se anulan por igualdad de magnitud y signos opuestos, de modo que esas moléculas de agua permanecerían retenidas indefinidamente, alcanzando el punto de capacidad de retención.

El principio del método de ensayo proviene de la norma ASTM D 5298-03, en el cual se realiza la determinación de la succión total a través de la correlación existente entre la humedad relativa y la succión total, en la determinación se utiliza un papel filtro cuantitativo previamente pesado que se coloca dentro de un recipiente hermético junto con la muestra por un lapso de 7 días para dar tiempo suficiente al alcance del equilibrio dentro del mismo, donde participan la presión de vapor de agua intersticial en la muestra, la presión de vapor de agua en los poros del papel filtro y la presión parcial del vapor de agua en el aire dentro del recipiente; Luego de transcurrido los 7 días se efectúa la determinación del peso del papel filtro después del equilibrio, por consiguiente por medio de la diferencia gravimétrica se computa el valor de la humedad relativa necesario para extrapolar la correlación, y así obtener el valor de la succión total; nuestro parámetro de interés.

Una vez obtenido este valor, obtendremos una representación del movimiento de las moléculas de agua dentro de los poros de las partículas sólidas del suelo, ya que el agua como compuesto forma parte de las influencias o modificaciones que aportan al comportamiento físico y químico del suelo, además de intervenir en procesos donde el suelo suele participar con otras materias que están en contacto físico con él.

En suelos salinos un gran porcentaje de su succión total se debe a la succión osmótica, en cambio en los suelos no salinos la mayor parte de la succión total se debe a la succión del agua; Lo cual es nuestro caso, ya que nuestras muestras de suelo no presentan salinidad, lo que nos facilita el estudio de la difusión del agua en nuestras muestras de suelo, además de conocer que todo este proceso de retención está asociado a la presencia de coloides, sobre todos los minerales de arcillas, parte de estudio de las

muestras de suelos investigadas. Es así como los suelos arcillosos retienen más agua que los arenosos por las presencia de coloides en ellos, pero no solo interviene la cantidad de arcilla en el suelo sino la calidad de la misma, las arcillas con mayor actividad de retención de agua son las esmectitas o grupo de la montmorillonita, mientras que las de poca actividad retienen menor cantidad, caso que sucede con el grupo de la illita y grupo de la caolinita, estas dos últimas suspicazmente componentes de las muestras estudiadas.



Figura 10. Envase hermético donde se realiza el equilibrio de la presiones de vapor de agua, a la derecha los anillos inertes que sostienen el papel filtro.

Determinación de la resistividad de suelos

En el campo de la ingeniería es de suma importancia conocer la locomoción de los electrones a través del suelo, ya que el mismo por su contenido variable de humedad, sales y materia orgánica en descomposición es el electrolito más complejo de todos los que se pueden estudiar; además la corriente eléctrica busca siempre recorridos de menor resistencia lo que aporta complejidad al estudio de este electrolito, por esta razón el flujo de electrones busca su mejor transporte utilizando canalizaciones y estructuras metálicas enterradas, además de otras estructuras que contienen en su interior metales que sirven de estructura base en edificaciones, por consiguiente la mayor probabilidad de producción de corrosión se experimenta donde la corriente de electrones sale de la estructura recorrida, provocando una disolución anódica, es por esta razón que se previenen afectaciones mecánicas, económicas y de seguridad realizando mediciones de resistividad de suelo, obteniendo un monitoreo del flujo de electrones dentro de este complejo electrolito, igualmente por medio de la resistividad del suelo se predice la agresividad del mismo en términos de corrosión, por lo tanto para eludir la corrosión de las estructuras enterradas se debe conocer cómo medir la resistividad del suelo o terreno.

La unidad de resistividad que se utilizó en el trabajo de investigación fue Ohm-cm (Ω -cm), donde la resistividad de un suelo determinado es igual numéricamente a la resistencia que ofrece el terreno contenido en un cubo de 1 cm de arista, que se mide entre las caras opuestas del cubo.

El suelo generalmente es un medio heterogéneo en donde se dan muchas variaciones en la velocidad de corrosión de los metales, el mismo se debe a que un suelo natural contiene elementos como: arena, arcilla, cal y humus, los mismos pueden estar mezclados en el suelo en diferentes proporciones que darán lugar a distintos grados de agresividad. Es por esto que es muy importante conocer la composición de las muestras antes de someterlas a estudios de resistividad. Por lo general los suelos arcillosos (tendencia de nuestras muestras), son en algunas condiciones agresivos en términos de corrosión.

La resistividad de suelo es un parámetro relacionado a otros factores, como el porcentaje de humedad, pH y potencial redox, por lo que tomamos también en cuenta estos parámetros dentro del trabajo, para obtener una mejor conclusión del poder corrosivo de las muestras, compuestas por de minerales arcillosos.



Figura 11. Caja de material inerte con las medidas estipuladas en el método, a la derecha los electrodos utilizados para la confección del circuito.

Determinación de minerales por difracción de rayos X.

A la hora de descifrar el contenido mineralógico de las muestras decidimos utilizar la técnica de difracción de rayos X, técnica utilizada para determinar cualitativamente y cuantitativamente el contenido mineral; la misma lleva más de 90 años de existencia en la determinación de estructuras cristalinas de muchos minerales comúnmente utilizando la ley Bragg que nos ayuda a disminuir su complejidad, donde su sistema de medición se basa en que toda sustancia con un orden interno produce un diagrama de difracción de rayos X único, si hubiera más de una sustancia en el mismo cristal, cada uno mostraría su diagrama independiente de los otros.

Para que cumpla la ley de Bragg se hace polvo la muestra y el haz de rayos X incide dentro de ella, en donde los cristales con los que el haz forma un ángulo concreto difracten estos rayos y a su vez reproduzcan el diagrama del mineral.

Por esto en la determinación de los minerales dentro de la muestras pasaron por un proceso antes de aplicarles el haz de rayos X; Este proceso comenzó secando la muestra y tamizándola por el tamiz No. 50, luego se pulverizó con un mortero de agatar para obtener un grano más fino y se confeccionó la placa introducida en el difractómetro de

rayos X que utiliza un tubo de cobre, de voltaje de 40 KV y corriente de 80 mA; El equipo reprodujo un difractograma en el cual se mostraron los 5 minerales más representativos de las muestras y sus porcentajes dentro de ellas, y así poder confirmar si las muestras contienen minerales arcillosos, que son de gran importancia en la investigación.



Figura 12. Difractor de Rayos X utilizado en funcionamiento.



Figura 13. Confección de la placa de mineral arcilloso introducida en el difractómetro.

Resultados, Análisis de resultados y Conclusiones

Tabla No. 1

Resultados de pH, Conductividad, Salinidad y TDS

Muestras	Análisis	A	B	C
H-8	pH	4,58	4,50	4,42
	Conductividad (μS)	17,2	16,1	17,2
	Salinidad (%)	0,0	0,0	0,0
	TDS (mg/L)	9,0	7,0	8,0
H-16	pH	5,41	5,29	4,88
	Conductividad (μS)	21,5	19,6	20,3
	Salinidad (%)	0,0	0,0	0,0
	TDS (mg/L)	10,0	9,0	10,0

Tabla No.1 En la tabla ilustrada se aprecian los valores de los resultados obtenidos en las pruebas de pH, Conductividad, Salinidad y TDS de las muestras H-8 y H-16. Las letras (A, B, C) señalan que se realizaron triplicados a cada muestra y las mismas se utilizan para diferenciar un triplicado de otro.

En la tabla No. 1 se puede apreciar los valores obtenidos de cuatro parámetros de los diez determinados a las dos muestras H-8 y H-16, en la misma se puede observar que los valores de pH en ambas muestras son bajos creando un ambiente ácido, indicando que al contacto físico con un material cerámico presente en edificaciones como lo son el cemento portland y el concreto con pH por encima de 11 esto puede iniciar reacciones de neutralización produciendo moléculas de agua que pueden introducirse en los espacios intersticiales de estos materiales debilitando las propiedades físicas del material produciendo deterioro en las estructuras compuestas por los materiales expuestos a estos suelos, Además de los valores de pH se presentan datos de conductividad bajos que nos señalan que en las muestras H-8 y H-16 hay poca concentración de electrolitos, por consiguiente estas muestras no afectarían de manera significativa las edificaciones y cimentaciones por medio de la conductividad, de igual manera no se presenta salinidad dentro de las mismas lo que indica poca probabilidad de ruptura de concreto o cemento por la absorción de sales que establecen áreas anódicas y catódicas, que acumulan productos de corrosión en el hierro y acero utilizado en los refuerzos de edificaciones.

Tabla No. 2

Valores de las determinaciones de Cloruros, Sulfatos y Materia Orgánica

Muestras	Análisis	A	B	C
H-8	Cloruros (%)	≤ 0,005	≤ 0,005	≤ 0,005
	Sulfatos (%)	0,0012	0,0012	0,0013
	Materia Orgánica (%)	2,52	2,55	2,49
H-16	Cloruros (%)	≤ 0,005	≤ 0,005	≤ 0,005
	Sulfatos (%)	0,0029	0,0028	0,0029
	Materia Orgánica (%)	3,52	3,48	3,51

En la tabla se presentan los valores de las determinaciones de Cloruros, Sulfatos y Materia orgánica de las muestras H-8 y H-16. Las letras (A, B, C) señalan que se realizaron triplicados a cada muestra y las mismas se utilizan para diferenciar un triplicado de otro.

En el bloque de datos presentados se corrobora la ausencia de salinidad en las muestras estudiadas, ya que aquí observamos que el contenido de cloruros (anión importante y constituyente de muchas sales presentes en el suelo) es menor a 0,005, el cual es casi despreciable para aportar características químicas a las muestras, por consiguiente con estos bajos niveles de cloruros no se pueden reproducir reacciones de cristalización de sales, que afectan ejerciendo presión al material cerámico en contacto físico con las muestras de suelo; de igual manera los niveles de ion sulfato solubles en los suelos estudiados se reportan en porcentajes y esto se debe a que en las referencias bibliográficas el nivel de riego destructivo de los mismos se clasifica en una escala de 0.2 % a 0.5%, donde este rango expresa los niveles que atacan al concreto desde moderadamente severos a muy severos, lo que no es el caso de ninguna de las dos muestras estudiadas, ya que los valores reproducidos por las mismas no inciden dentro del rango presentado, lo que nos permite saber que no habrá desgastes destructivos en obra civiles por concentraciones de sulfatos.

Los valores de materia orgánica contenidos en las muestras no presentan riesgos de cambios de volumen significativos en el suelo por degradación bacteriana de la materia orgánica presentes en ellas, además por el bajo contenido de materia orgánica no se originaron complejos organominerales, provenientes de la unión de productos coloidales húmidos con minerales arcillosos que puedan determinar la textura y estructura de las muestras, esto nos indicó también, que no aportará a la disminución de la densidad del suelo, ni aumentó la capacidad de retención de agua las muestras, corroborando la permeabilidad de estas muestras, donde predominan los minerales arcillosos que aportan esta característica a las mismas, además la materia orgánica debido a su poca concentración no contribuye a la aireación de los suelos arcillosos, ni a la estabilidad de agregados contenidos en las muestras, lo que me hace concluir que debido a los niveles bajos de materia orgánica los agregados pueden tender a inestabilidades dimensionales y químicas, que desarrollan propiedades y

comportamientos en las muestras que pueden ser de carácter deletéreo en las construcciones localizadas en las zonas estudiadas.

Tabla No. 3

Datos obtenidos en los análisis de Capacidad de intercambio catiónico, superficie específica y succión total de suelos

Muestras	Análisis	A	B	C
H-8	Capacidad de intercambio catiónico (meq/100g)	13,99	14,34	14,87
	Superficie específica (m ² /g)	68,50	68,62	68,58
	Resistividad de suelos (Ω.cm)	228,38	249,23	224,41
	Succión total de suelos (kPa)	3498,65	2379,03	3886,13
H-16	Capacidad de intercambio catiónico (meq/100g)	15,77	15,86	15,93
	Superficie específica (m ² /g)	71,03	73,0	72,54
	Resistividad de suelos (Ω.cm)	124,62	85,62	101,59
	Succión total de suelos (kPa)	6188,71	4323,15	5351,70

Tabla No.3 En la tabla se presentan los obtenidos en la determinación de la capacidad de intercambio catiónico, succión total de suelos, superficie específica y resistividad de suelos de las muestras H-8 y H-16. Las letras (A, B, C) señalan que se realizaron triplicados a cada muestra y las mismas se utilizan para diferenciar un triplicado de otro.

Los valores presentados en la **tabla No. 3** confirman la presencia de minerales arcillosos en las muestras, lo que también pudimos observar en las señales reproducidas por el difractor de rayos X, esta presencia la corroboramos por medio de referencia bibliográficas con tablas adjuntas que tabulan valores de los parámetros determinados para minerales inorgánicos particulares, en el cual los valores determinados a nuestras muestras inciden en los rangos de los minerales arcillosos, observando esta incidencia mayormente en los valores de intercambio catiónico donde los mismos revelan la presencia de la Caolinita y Halloysita presente en las dos muestras, los cuales son minerales arcillosos con capacidades de expansión media, que a largo plazo puede causar un daño estructural de moderado a severo según las condiciones físicas y naturales a las que puede ser expuesta la obra influenciando la intensidad del daño.

En la teoría investigada las muestras que presentan niveles de superficie específica mayores de 70 m²/g se reconocen como suelos que contienen comportamiento expansivo, esto nos indica que nuestras muestras poseen características expansivas bajas pero presentes que pueden afectar a los materiales rígidos en contactos con el suelo, que a través de este ensayo se realiza una confirmación general de esta particularidad, pudiendo proveer información valiosa para el (SUCS) que actualmente en el mismo no se reconoce.

Los valores reproducidos del ensayo de succión total en el suelo nos indica que la muestras tienen capacidad de succión de agua elevada, lo que puede provenir de la baja salinidad de las muestras aumentando la difusión de agua dentro de las mismas, también puede proceder del contenido de minerales arcillosos en las muestras, ya que los mismo para la neutralización de cargas son capaces de absorber moléculas de agua en sus capas laminares, pero observando que esta retención no se hace de forma permanente sino temporal, porque las muestras no presentan una humedad alta que disminuya la resistividad de suelo, parámetro descrito en la **tabla No. 3** que por medio de citas bibliográficas se clasificaron los valores de grado de agresividad escaso, porque los mismos inciden en el rango de resistividad de (100 – 1000) Ω .cm.

Conclusiones

Se determinaron muchos parámetros químicos de las muestras, que ayudaron a señalar dentro de la investigación su composición química y mineralógica de las mismas, llegando a la conclusión de que en estas áreas de La Chorrera donde se extrajeron las muestras, no se percibe un daño estructural que provenga de las concentraciones de Cloruros y Sulfatos dentro de ellas, ya que sus niveles son bajos, afirmando que la mayor parte de los desgastes y grietas que se podrán observar en estas edificaciones, serán procedentes del comportamiento físico de las muestras de suelo aunado con un pH de suelo bajo que contribuye a disminuir la resistencias de las construcciones al comportamiento físico particular que se deriva la composición mineralógica de las muestras, donde en las muestras pude distinguir diferentes tipos de minerales arcillosos como la caolinita, halloysita y esmectitas, dos de ellas de características expansivas bajas (caolinita y halloysita), mientras que la esmectita presenta características expansivas de rendimiento medio, reproduciendo estos datos cualitativos por medio de un difractor de rayos X y comprobando la presencia de estos minerales arcillosos, a través de técnicas sencillas como la superficie específica, succión total y capacidad de intercambio catiónico.

Se Implementaron técnicas de análisis, sencillas y eficaces no utilizadas comúnmente en Panamá era otro de mis objetivos, el cual fue alcanzado introduciendo dos nuevos métodos para determinar parámetros de suelo dentro del Laboratorio de Análisis Industriales y Ciencias Ambientales (LABAICA) del Centro Experimental de Ingeniería de la Universidad Tecnológica de Panamá, los mismos fueron: Determinación de superficie específica con solución de azul de metileno y Determinación de succión de suelos por medio del equilibrio de presiones de vapor de agua, estos son métodos prácticos sin exigencias instrumentales complicada, pudiéndolos desarrollar en laboratorios de instrumentación básica, conveniente para la generalización de estos métodos alrededor del país, para que sirvan de referencia a la hora de clasificar suelos y así complementar lo estipulado en el REP-04; también es importante mencionar que la introducción de estos parámetros a LABAICA es el primer paso de un proceso de de

acreditación y validación por medio de patrones certificados, lo que podría ser parte de investigaciones futuras que aporten al desarrollo del laboratorio.