



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Civil

**IDENTIFICACIÓN DE “ARCILLAS DISPERSIVAS” EN LOS SUELOS DE LA PRESA
CHOJAMPE 2 DEL PROYECTO PACALORI**

Tesis de graduación previa a la
obtención del título de
Ingeniero Civil.

Autores:

Jorge Eduardo Cabrera Cárdenas C.I. 0104443205

Juan Manuel Delgado Gomezcoello C.I.0104680533

Director:

Ing. Rolando Armas Novoa, MSc. C.I. 0150697522

CUENCA – ECUADOR

2015



RESUMEN

Las arcillas son comúnmente utilizadas para la construcción de estructuras hidráulicas como presas de tierra, ya que estas presentan baja permeabilidad y son aptas para estar en contacto con el agua. Sin embargo, las arcillas de tipo dispersivas son altamente erosionables al entrar en contacto con agua de baja concentración salina, por lo que es de suma importancia la identificación de estos suelos en las obras hidráulicas. El proyecto Plan de Aprovechamiento y Central de Agua de la Provincia de Los Ríos (PACALORI) está constituido por la construcción de 13 presas de tierra homogéneas, con el objetivo de suministrar agua para el riego a más de 100.000 Ha de cultivos agrícolas y control de inundaciones. Así, el objetivo de este trabajo, que se desarrollará en el contexto del proyecto PACALORI, es estudiar el material de préstamo con el que se construirá la presa de tierra homogénea Chojampe 2, aplicando el ensayo de Pinhole y el ensayo del contenido del Total de Sales Disueltas (TSD) para identificar la presencia de arcillas dispersivas y corroborar la correlación que existe entre estos dos métodos. El resultado obtenido en los materiales ensayados (mezclas amarillas, rojas y verdes) mediante el ensayo de Pinhole es el grado de dispersión ND1, correspondiente a suelos NO DISPERSIVOS; así como el resultado del ensayo del Total de Sales Disueltas corroboró al ensayo de "Pinhole", clasificando las muestras de las mezclas rojas y verdes, en la Zona B (No Dispersivo) y la muestra de la mezcla amarilla, en la Zona C (Intermedio).

PALABRAS CLAVES

Arcillas dispersivas, PACALORI, Chojampe 2, sifonamiento, erosión interna, Pinhole, Total de Sales Disueltas, Porcentaje de Sodio.



ABSTRACT

Clay is commonly used in construction of hydraulic structures such as dams because these structures lower permeability and are able to be in contact with water. However, a dispersive type of clay is very susceptible to erosion once it makes contact with water, due to the salt concentration.

For this reason, identification of dispersive soils in hydraulic projects is very important. The exploitation and central water plan for the province of Los Ríos (PACALORI in Spanish) contains 13 dams with homogeneous soil, with the objective of supplying irrigation water for more than 100,000 agricultural hectares and flood control. This project aims to study the soil from the dam containing homogeneous soil Chojampe 2, by performing the Pinhole test and the test of total dissolved salts (TDS) to identify the presence of dispersive clay and confirm the correlation between these two methods.

After performing the Pinhole test and the test of total dissolved salts (TDS), the soil was found to be non-dispersive. The results obtained from the Pinhole test soil (yellow, red and green) fell into the ND1 category, classifying the tested soil as non-dispersive. As well as the results of the test of total dissolved salts classified the samples of the red and green mixture in the B Zone (non-dispersive) and the yellow mixture in the C Zone (intermediate).

KEYWORDS

Dispersive clays, PACALORI, Chojampe 2, piping, internal erosion, Pinhole, Total Dissolved Salts, Percent Sodium.



ÍNDICE

RESUMEN.....	2
ABSTRACT	3
ÍNDICE	4
LISTA DE FIGURAS.....	7
LISTA DE TABLAS.....	8
CLAUSULAS DE DERECHO DE AUTOR.....	9
CLAUSULAS DE PROPIEDAD INTELECTUAL	11
DEDICATORIA	13
AGRADECIMIENTO.....	14
CONTENIDO	15
1 CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	15
1.1 Antecedentes	15
1.2 Justificación.....	16
1.3 Objetivo General.....	16
1.4 Objetivos Específicos	16
2 CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....	17
2.1 Antecedentes históricos	17
2.1.1 Australia, 1964.....	17
2.1.2 México, 1972.....	17
2.1.3 Estados Unidos, 1973.....	18
2.1.4 Grecia, 1977	18
2.1.5 Zimbabwe, 1980	18
2.1.6 Cuba, 1993	18
2.1.7 Argentina, 2004.....	19
2.1.8 Turquía, 2011.....	19
2.2 Proyecto PACALORI	19
2.2.1 Ubicación del Proyecto PACALORI	20
2.2.2 Geología y Geotecnia	20
2.2.3 Presas.....	22



2.3	Fallas catastróficas en presas de tierra	23
2.3.1	Fallas por rebase de la cortina.....	23
2.3.2	Fallas por agrietamiento	24
2.3.3	Falla por deslizamiento de taludes.....	24
2.3.4	Fallas por sismo.....	27
2.3.5	Fallas por licuación	28
2.3.6	Pérdidas por filtración	29
2.4	Arcillas dispersivas	29
2.4.1	Descripción	29
2.4.2	Factores geográficos y climáticos	30
2.4.3	Propiedades geológicas.....	30
2.4.4	Propiedades Físicas	31
2.4.5	Propiedades Químicas.....	31
2.5	Métodos de Identificación.....	32
2.5.1	Ensayo de “Crumb”	33
2.5.2	Ensayo del Doble Hidrómetro	34
2.5.3	Ensayo de “Pinhole”	36
2.5.4	Ensayos Químicos	37
2.5.5	Ecuación empírica	40
3	CAPÍTULO 3: MATERIALES Y MÉTODOS	42
3.1	Descripción de los materiales de préstamo para la construcción de la presa Chojampe 2.....	42
3.2	Descripción de los métodos de identificación de las “arcillas dispersivas”	43
3.2.1	Ensayo del Total de Sales Disueltas: Por ciento de Sodio	43
3.2.2	Ensayo de “Pinhole”.....	44
4	CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIONES	55
4.1	Resultados del ensayo del Total de Sales Disueltas: Por ciento de Sodio.....	55
4.2	Resultados del ensayo de “Pinhole”	58
5	CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	62
5.1	Conclusiones.....	63
5.2	Recomendaciones.....	64



6	BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS	65
7	ANEXOS	66
7.1	Anexo A: Ensayos Químicos	67
7.2	Anexo B: Ensayos Pinhole	68
7.3	Anexo C: Memoria fotográfica	80



LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Ubicación del Proyecto PACALORI. PROMAS.	21
Figura 2.2 Diseño de la presa Chojampe 2. PROMAS.	25
Figura 2.3 Ensayo de Crumb para suelos dispersivos (Hernández & Gómez, 2012).	34
Figura 2.4 Curvas granulométricas obtenidas con el ensayo del Doble Hidrómetro (González Haramboure & Armas Novoa, 2008).	35
Figura 2.5 Dispositivo para el ensayo de “Pinhole”. HUMBOLDT.	37
Figura 2.6 Esquema del aparato utilizado para la obtención del extracto de saturación de la muestra de suelo (González Haramboure & Armas Novoa, 2008).	37
Figura 2.7 Grado de dispersividad de los suelos, en función del “Porcentaje de Sodio” y el Total de Sales Disueltas (TSD) en el agua intersticial (González Haramboure & Armas Novoa, 2008).	39
Figura 2.8 Proceso y criterios para identificación de suelos dispersivos mediante la ecuación empírica (Fan & Kong, 2013).	41
Figura 3.1 Equipo de “Pinhole” con sus partes (ASTM, 1998).	46
Figura 3.2 Formato para recolección de datos del ensayo de “Pinhole” (ASTM, 1998).	52
Figura 3.3 Clasificación para el Criterio C del ensayo de “Pinhole” (ASTM, 1998).	54
Figura 4.1 Contenido de sales disueltas en <i>meq/L</i> en las mezclas de color verde.	56
Figura 4.2 Contenido de sales disueltas en <i>meq/L</i> en las mezclas de color rojo.	56
Figura 4.3 Contenido de sales disueltas en <i>meq/L</i> en las mezclas de color amarillo. ..	57
Figura 4.4 Carta comparativa entre Total de Sales Disueltas (TSD) y Porcentaje de Sodio (P_s).	58



LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 Criterios para evaluar el grado de dispersión usando los resultados del ensayo del Doble Hidrómetro (González Haramboure & Armas Novoa, 2008).....	35
Tabla 2.2 Grado de dispersividad en función del porcentaje de sodio intercambiable (ESP) (González Haramboure & Armas Novoa, 2008).....	38
Tabla 3.1 Características físicas y mecánicas de las mezclas de los materiales del préstamo para la construcción de la presa de Chojampe 2. PROMAS.	42
Tabla 3.2 Criterio A y B de Evaluación para los resultados del ensayo de “Pinhole” (ASTM, 1998).	53
Tabla 4.1 Resultados del análisis químico del agua de poros de las mezclas del material de préstamo para la construcción de la presa Chojampe 2.....	55
Tabla 4.2 Porcentaje del grado de compactación de las muestras antes del ensayo de “Pinhole”	58
Tabla 4.3 Resultados del ensayo de “Pinhole” en el material de préstamo de la presa Chojampe 2.	59
Tabla 4.4 Parámetros de compactación y grado de dispersión del material de préstamo para la construcción de otras presas pertenecientes al Proyecto PACALORI.....	60



CLAUSULAS DE DERECHO DE AUTOR



Universidad de Cuenca
Clausula de derechos de autor

Jorge Eduardo Cabrera Cardenas, autor/a de la tesis "Identificación de Arcillas Dispersivas en los suelos de la presa Chojampe 2 del proyecto PACALORI", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Civil. El uso que la Universidad de Cuenca hiciera de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor/a

Cuenca, 23 de octubre del 2015

Jorge Eduardo Cabrera Cardenas

C.I: 010444320-5



Universidad de Cuenca
Clausula de derechos de autor

Juan Manuel Delgado Gomezcoello, autor/a de la tesis "Identificación de Arcillas Dispersivas en los suelos de la presa Chojampe 2 del proyecto PACALORI", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Civil. El uso que la Universidad de Cuenca hiciera de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor/a

Cuenca, 23 de octubre del 2015



Juan Manuel Delgado Gomezcoello

C.I.: 010468053-3



CLAUSULAS DE PROPIEDAD INTELECTUAL



Universidad de Cuenca
Clausula de propiedad intelectual

Jorge Eduardo Cabrera Cardenas, autor/a de la tesis "Identificación de Arcillas Dispersivas en los suelos de la presa Chojampe 2 del proyecto PACALORI", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 23 de octubre del 2015

Jorge Eduardo Cabrera Cardenas

C.I: 010444320-5



Universidad de Cuenca
Clausula de propiedad intelectual

Juan Manuel Delgado Gomezcoello, autor/a de la tesis "Identificación de Arcillas Dispersivas en los suelos de la presa Chojampe 2 del proyecto PACALORI", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 23 de octubre del 2015

Juan Manuel Delgado Gomezcoello

C.I: 010468053-3



DEDICATORIA

Dedico este triunfo a mis hermanos Alexandra, Andrés y Alicia que a más de ser mis mejores amigos fueron una parte fundamental en mi crecimiento personal y profesional, en ellos encontré los mejores maestros para la vida.

A mis padres Jorge y Rina por el apoyo emocional y amor incondicional que me brindaron en este largo camino.

A mis amigos que son una parte importante en mi vida.

Eduardo.

Dedico este triunfo a mis padres Arturo y Ruth que siempre confiaron y pusieron todas sus expectativas en mí, a pesar de los momentos duros y las barreras que con sacrificio y dedicación pude sortearlas.

A mis hermanos Adrián, Cayo con sus respectivas familias y Vero, que cada día me apoyaron sin dudar y me brindaron fuerzas y constancia.

A mi enamorada Dani, su amor y apoyo sincero han sido un soporte esencial durante el tiempo juntos.

Con todo mi esfuerzo y gratitud.

Juan Manuel.



AGRADECIMIENTO

Agradecemos primero a Dios por brindarnos salud, paciencia y la posibilidad de haber cumplido esta meta tan anhelada; a nuestras familias que han sido el soporte diario en nuestras vidas, apoyándonos constantemente.

Un agradecimiento especial a nuestro querido director de tesis y amigo el Ing. Rolando Armas Novoa por impartirnos sus conocimientos y guiarnos, así como al Ing. Pablo Vélez de LABSCON por confiar en nosotros y apoyarnos con material fundamental para la realización de este trabajo.

Agradecemos a la Dra. Guillermina Pauta por su colaboración en parte de los ensayos realizados, y al Ing. Esteban Pacheco, director de la Escuela de Ingeniería Civil, por su constante apoyo a lo largo de este camino universitario.

Finalmente agradecemos a nuestros amigos y compañeros de estudio, estimados colegas, con quienes hemos compartido el día a día de este largo trayecto, alegrías y tristezas, que nos han servido para unirnos más.

CONTENIDO

1 CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El uso de los suelos arcillosos es común para terraplenes, estructuras hidráulicas, carreteras y otras obras civiles como presas de tierra. Las “arcillas dispersivas” son aquellas que se disgregan fácil y rápidamente en contacto con agua de baja concentración salina (ASTM, 1998). Si las arcillas dispersivas no son identificadas y utilizadas apropiadamente pueden causar serios problemas como el fallo catastrófico de dichas estructuras. Siendo las más propensas al fallo las que están en contacto permanente con el agua (Knodel, 1991).

La erosión por dispersión de estas arcillas está en función de la mineralogía y las propiedades químicas que contiene, así como el tipo y cantidad de sales disueltas en los poros y en el agua que se infiltra. Al entrar en contacto con el agua, las “arcillas dispersivas” pierden cationes, lo que causa una pérdida de fuerza en los enlaces de sus partículas, estas disminuyen su tamaño causando oquedades que llevaran a formar sifonamiento mecánico, causando así el fallo en estructuras (González Haramboure & Armas Novoa, 2008).

Las “arcillas dispersivas” son conocidas por los ingenieros agrónomos desde el siglo XIX, aunque el fenómeno de dispersividad no fue interpretado hasta mediados del siglo XX. La importancia de este fenómeno para la ingeniería civil e hidráulica fue reconocida por primera vez en la década del 60, cuando se investigó en Australia el fallo por sifonamiento de pequeñas presas homogéneas de arcilla (González Haramboure & Armas Novoa, 2008).

En la actualidad la dispersividad del suelo se determina a través de la investigación de campo y de pruebas de laboratorio. La investigación de campo se concentra principalmente en el estudio del sitio de erosión, mientras que las pruebas de laboratorio generalmente requieren análisis de suelos a través del ensayo de “Crumb”,

la prueba del Doble Hidrómetro, el ensayo de “Pinhole”, el ensayo de cationes solubles en el agua y el porcentaje de sodio intercambiable (Fan & Kong, 2013).

El proyecto Plan de Aprovechamiento y Central de Agua de la Provincia de Los Ríos (PACALORI), está constituido por la construcción de 13 presas de tierra homogéneas, con el objetivo de suministrar agua para el riego a más de 100.000 Ha de cultivos agrícolas y control de inundaciones.

1.2 Justificación

Estudiar los materiales de préstamo para la construcción de las presas de tierra homogéneas del proyecto PACALORI, aplicando a los mismos el ensayo de “Pinhole”, ideado en la década de los años 70 del siglo pasado y normado por la American Society for Testing Materials (ASTM) con el código D 4647 y el ensayo químico del Total de Sales Disueltas (TSD) en el agua de poros, es suficiente para identificar la existencia o no de arcillas dispersivas y determinar si dicho suelo es apto para su uso.

Aunque los suelos sobre los que se van a apoyar, o con los que se van a construir, las presas de tierra homogéneas no muestran rasgos de características dispersivas, como es el caso de la vegetación de regímenes semidesérticos, se requiere la certeza de que las mismas no son dispersivas.

1.3 Objetivo General

- El objetivo general de este trabajo es la identificación de arcillas dispersivas en los suelos de la presa Chojampe 2 del proyecto PACALORI, mediante el ensayo de Pinhole para determinar si el suelo es apto para la construcción de presas de tierra.

1.4 Objetivos Específicos

- Analizar la correlación y veracidad de los resultados obtenidos mediante la comparación del ensayo de Pinhole con el ensayo de contenido de sales disueltas en el agua de poros.
- Corroborar la utilidad y eficiencia de expresiones empíricas existentes en la literatura técnica internacional.



- Establecer un antecedente para futuras investigaciones de arcillas dispersivas en el país.

2 CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes históricos

Las “arcillas dispersivas” son conocidas por los ingenieros agrónomos desde el siglo XIX, aunque el fenómeno de dispersión no fue interpretado hasta mediados del siglo XX. La importancia de este fenómeno para la ingeniería civil e hidráulica fue reconocida por primera vez en la década de 1960, cuando se investigó en Australia el fallo por sifonamiento de pequeñas presas homogéneas de arcilla. Desde aquella época, algunas investigaciones han sido realizadas para refinar procesos de identificación de arcillas dispersivas, ya que las mismas no pueden ser identificadas por los ensayos de laboratorio convencionales normados como la clasificación visual, gravedad específica, granulometría, o límites de Atterberg (González Haramboure & Armas Novoa, 2008).

2.1.1 Australia, 1964

Un caso histórico se presentó en una zona de suelos salinos, donde la presa se llenó con agua de alta concentración salina (26 meq/L); la presa se mantuvo estable durante algunos años, aunque se presentaron pequeñas pérdidas por filtración. Tras la finalización de una tubería de 32 km para traer agua de un río de menor concentración iónica (1.2 meq/L), la presa falló por sifonamiento tres días después, debido a la reducción en la concentración de sales (Knodel, 1991).

2.1.2 México, 1972

El dique “La Escondida”, cuando aún se encontraba en construcción el vertedero de excesos, del 8 al 9 de junio ocurrió una lluvia extraordinaria en la región, con un máximo de 227 mm de intensidad en 24 horas, llenando el vaso hasta dos metros abajo de la corona. A las pocas horas el dique de la margen izquierda falló a través de 50 grietas y se vació el embalse. Además en ocho sitios, el sifonamiento fue tan intenso que provocó cortes a través del terraplén (Marsal, Resendiz Nuñez, et al., 1975).



2.1.3 Estados Unidos, 1973

Estudios realizados a partir de 1970, aportaron criterios preliminares para la identificación de estos suelos (arcillas dispersivas) y, en el año 1973, un nuevo ensayo de laboratorio denominado "Pinhole" fue desarrollado para medir de forma directa la erosión coloidal, haciendo pasar agua destilada a través de un agujero de 1.0 mm de diámetro, en una muestra de suelo en estado natural o compactado.

2.1.4 Grecia, 1977

En Grecia, en 1977 se estudió la relación de las propiedades dispersivas de las arcillas con la erosión interna de las capas superiores de una presa de tierra antes del llenado y la selección de materiales arcillosos para ser usados en la construcción de la estructura. Suelos con alto contenido de sodio se encontraron, principalmente, en las zonas donde la capa freática estaba cerca o variaba por encima de la superficie del suelo. No se reportó ningún daño debido al sifonamiento en las presas, pese a las características dispersivas de las arcillas con que fue construida la estructura. Una posible explicación es que las aguas del río tienen un alto contenido de calcio que pudo contribuir a minimizar los efectos de los fenómenos de erosión del agua que se filtra a través de la presa (Hernández & Gómez, 2012).

2.1.5 Zimbabwe, 1980

Una presa sufrió daños debido a la erosión del suelo, el cual no registraba una cantidad de sodio significativa en los ensayos que se llevaron a cabo. Durante una visita a la presa, notaron que el área era rica en depósitos de litio, particularmente mica de litio, y teniendo en cuenta que el orden de reactividad de los metales alcalinos es mayor que la del sodio y la del potasio, inmediatamente se concluyó la causa de la alta dispersividad presentada (Hernández & Gómez, 2012).

2.1.6 Cuba, 1993

Se produce la rotura por sifonamiento mecánico de la presa "Las Cabreras"; el proceso se inició por el efecto de las lluvias. Durante el período de construcción y después de seis años de operación, se produjo un deterioro de su terraplén en forma de cárcavas,



cavidades y túneles, asociándolo a la existencia de suelos dispersivos en la zona (Armas Novoa, Echemendía Martínez, et al., 2000).

2.1.7 Argentina, 2004

En los alrededores de ciertos embalses (Cuesta de Viento y de Ullum, en la provincia de San Juan) se observaron procesos de sifonamiento que no han sido suficientemente estudiados, ni considerados. En el sector de La Laja y El Salado, se buscaba reconocer la existencia de los procesos de sifonamiento y analizar los distintos factores ambientales como la litología, clima y rasgos en la estructura del suelo que han participado en el desarrollo del proceso. En el control de campo se seleccionó una quebrada muy afectada por sifonamiento para el muestreo y el estudio morfométrico (tamaño, profundidad y disposición vertical, horizontal o subhorizontal) de los canales de la erosión. De la quebrada seleccionada se extrajeron dos muestras, una en la porción superior de una ladera y la otra en la base de la misma, para determinar valores de conductividad eléctrica, pH, y el contenido de sales disueltas. Con los valores de calcio, magnesio y sodio se calculó la relación de absorción de sodio (RAS). Dichos resultados arrojaron concentraciones elevadas de sodio, considerando esto como la indicación de arcillas dispersivas, y la generación de un sistema superficial de grietas ya observado (Hernández & Gómez, 2012).

2.1.8 Turquía, 2011

Se investigó el efecto de la solución de cloruro de magnesio, como medida contra la dispersión y el potencial de expansión de los suelos arcillosos. Para ello se llevaron a cabo ensayos de identificación de dispersión sobre tres muestras de suelo de diferentes áreas. Los resultados arrojaron un efecto significativo de la solución de cloruro de magnesio como aditivo de mitigación de la dispersión (Hernández & Gómez, 2012).

2.2 Proyecto PACALORI

El Plan de Aprovechamiento y Control de Agua de la Provincia de Los Ríos – (PACALORI) es un proyecto de aprovechamiento hídrico que sirve para suministrar agua para riego durante la época de estiaje a más de 100.000 Ha. El objetivo del



proyecto es resolver problemas de escasez y dotación de agua para fines agrícolas y mejorar la calidad de vida de los habitantes de la zona.

El diseño planteado incluye la construcción de sistemas de derivación, almacenamiento y distribución de agua; el proyecto cuenta con 13 presas de tierra homogéneas, las mismas que utilizan los materiales de la zona para su construcción. Además dispone de la conformación de lechos naturales y la construcción de trasvases y canales para garantizar el suministro de agua sin interferir con el funcionamiento ecológico del sistema fluvial.

2.2.1 Ubicación del Proyecto PACALORI

El proyecto se encuentra ubicado en el centro de la Provincia de Los Ríos, en la cuenca media del Río Guayas, delimitada por el Río Calabí al Este; al Sur por el Cantón Ventanas, y al oeste por el Río Macul, como se muestra en la Figura 2.1.

La cuenca del Río Guayas se caracteriza por su abundante producción hídrica y conflicto permanente por la mala distribución espacial y temporal del agua. El desequilibrio natural existe en la zona tanto en el tiempo como en el espacio, ya que en el período de invierno, que ocurre entre enero a mayo se produce el 80% de la producción anual de agua y en el período de julio a diciembre el 20% restante. La situación antes expuesta deriva en grandes inundaciones y sequías extremas.

2.2.2 Geología y Geotecnia

La Geología de la zona del proyecto está principalmente conformada por sedimentos cuaternarios levemente consolidados en la Formación Pichilingue y por depósitos aluviales recientes del Pleistoceno. En la parte oeste del área del proyecto, en el Río Macul, se observan también materiales como conglomerados marinos, arenas y arcillas correspondientes a la Formación Balzar del Plioceno.

Con respecto a la morfología: el terreno se presenta ligeramente ondulado, con variaciones de altura pequeñas. Algunos cauces fluviales están encajonados, lo que evidencia una relativa estabilidad profunda en las laderas, mientras que existen ciertos

cauces meandriformes con curvas y canales ubicados en valles amplios, en donde los taludes presentan evidencias de inestabilidad gravitacional superficial.

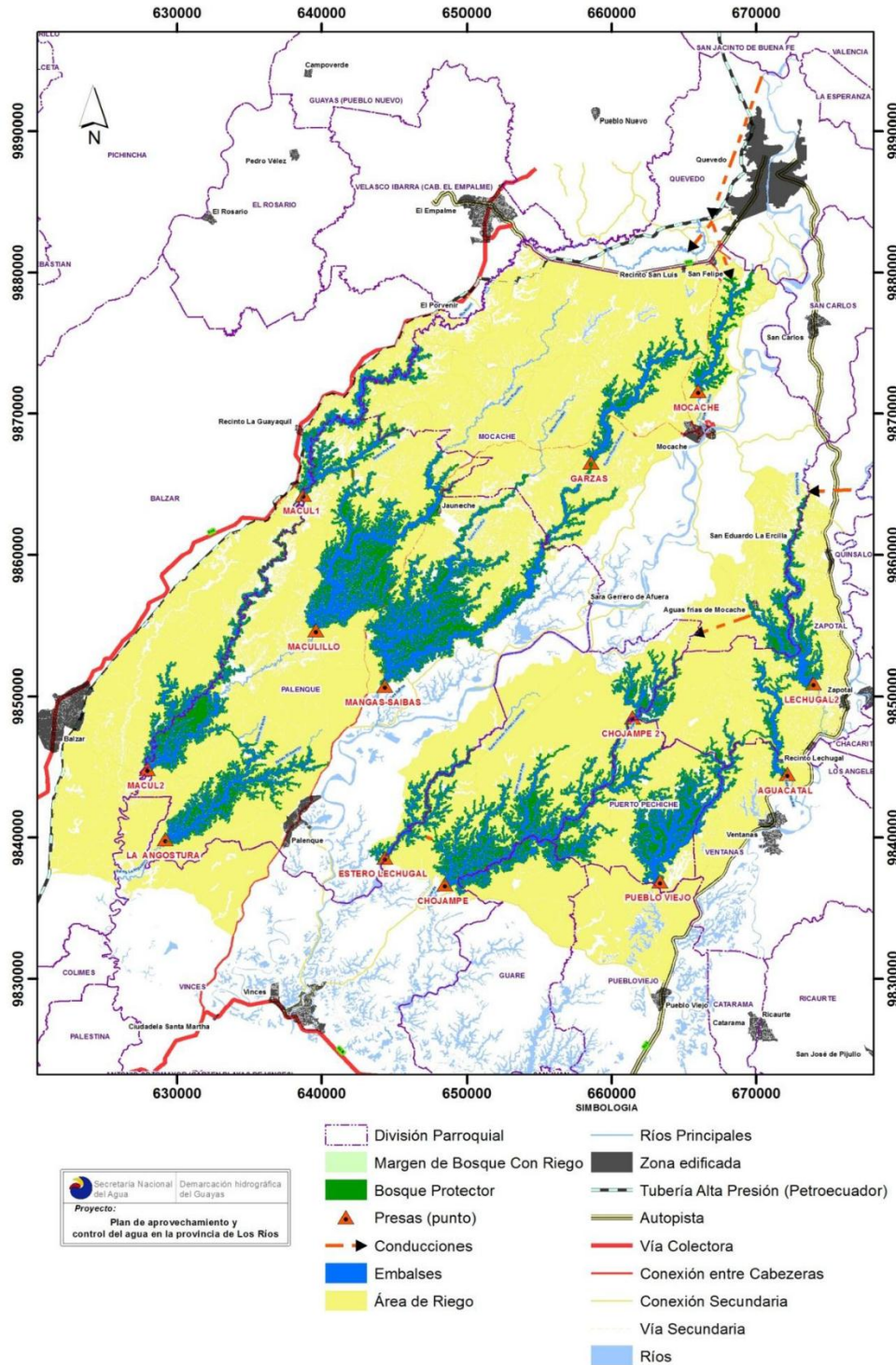


Figura 2.1 Ubicación del Proyecto PACALORI. PROMAS.

En las perforaciones se encontraron estratos predominantemente formados por limos arcillosos, que alternan con arenas finas limosas y estratos de arena mal graduada, que corresponden a depósitos aluviales. Las características de los suelos y la proximidad entre perforaciones permiten conocer la disposición de las capas, las cuales generalmente alternan entre arenas finas y limos arcillosos, con golpes de prueba SPT muy bajos. En el río Macul se encontró estratos de arena compactos pero friables, no cementada, con granulometría fina a gruesa, compuesta principalmente de fragmentos subredondeados a subangulosos de máficos y cuarzo. Por debajo de estas areniscas, las tobas son comunes, por lo que sugieren que las capas de arena ocupan las depresiones y que su origen sea de la llanura aluvial.

Los sedimentos fluviales del Holoceno cubren toda el área de estudio; corresponden a sedimentos fluviales sobre las depresiones; son sedimentos finos a muy finos (arenas finas, limos y arcillas), ligeramente orgánicos, con rasgos de la sedimentación fluvial y lacustre originada por las inundaciones.

Los materiales muy finos son muy plásticos; se observan niveles expansivos. Los suelos son de baja consistencia, poco densos, con tonalidades amarillentas claras a gris oscuras; en este grupo se incluyen los bancos de sedimentos que se observan durante la época de estiaje.

Estos materiales, por su naturaleza y volumen, cubren con las necesidades para la construcción del cuerpo de la presa. Por los altos índices de plasticidad y humedad que presentan, se propone la mezcla de los mismos con diferentes materiales para asegurar los requerimientos de construcción.

2.2.3 Presas

Las presas de tierra se denominan presas de materiales locales, ya que utilizan para su construcción materiales del sitio, reduciendo así costos del proyecto. El diseño de las mismas tiene como objetivo fundamental la seguridad, lo cual garantiza que no se produzcan fallas graves o catastróficas que puedan provocar pérdidas de vidas



humanas y daños materiales. En la Figura 2.2 podemos encontrar a detalle los elementos, características y dimensiones que poseen las presas de tierra homogéneas.

Para el proyecto PACALORI se han diseñado 13 presas de tierra homogéneas (siete en el Traslase 1 y seis en el Traslase 2), las cuales estarán constituidas por suelos limo-arcillosos.

2.3 Fallas catastróficas en presas de tierra

Cuando se habla sobre el fallo catastrófico de una presa de tierra no solo está la preocupación de los inversionistas del proyecto. Este problema también abarcará a las personas que viven aguas abajo de la obra, ya que la rotura de ésta amenaza a la seguridad pública.

En el diseño y construcción de presas de tierra con materiales locales se tiene que garantizar que no se produzcan fallas graves o fallas catastróficas, en su vida útil. Se debe tener en cuenta en cada paso del proceso a lo largo de su diseño y construcción las diferentes fallas que puede tener una presa, las cuales en orden de mayor a menor ocurrencia son: el rebase de la cortina, sifonamiento mecánico, agrietamiento transversal, deslizamiento del talud de aguas abajo, sismos, licuación y pérdidas por filtración (Armas Novoa, 2002).

2.3.1 Fallas por rebase de la cortina

En presas de tierra siempre es catastrófico que el agua rebase la cortina y se escurra por el talud aguas abajo, debido precisamente a la naturaleza erosionable de los materiales que la constituyen. Por esta razón la presa debe estar provista de una estructura auxiliar (vertedero de excesos), que permita el alivio del vaso cuando éste llega a su máxima capacidad, es decir, que esta falla ocurre cuando el vertedero de excesos no cumple con la excedencia del caudal de la máxima crecida; el vertedero de excesos debe ser construido con materiales no erosionables como es el hormigón, o la mampostería para obras de menor tamaño. Según Middlebrooks, 1953, la falla por rebase de la cortina constituye la más frecuente causa de falla catastrófica conocida (Armas Novoa, 2002).



Otra causa que provoca el fallo por rebase de la cortina, si este problema no es atendido a tiempo, es el asentamiento excesivo del cimiento y el terraplén.

2.3.2 Fallas por agrietamiento

Las fallas por agrietamiento causado por asentamientos diferenciales en la cortina de tierra, son mucho más numerosas que las anteriores fallas ya nombradas, ya que posiblemente las fallas de muchas presas que se achacan a otras causas como es el sifonamiento mecánico, empiecen con la aparición de grietas y fisuras pequeñas en la masa de suelo.

El agrietamiento se da cuando el asentamiento diferencial de la masa del suelo genera, en varias zonas, tracción. Estas pueden aparecer paralela o transversales al eje de la cortina y la orientación del plano de la grieta puede ser cualquiera. Las grietas por lo general aparecen de 15 o 20 cm, pero en presas pequeñas pueden ser de 1 o 2 cm. Las más afectadas por las grietas son las presas pequeñas, ya que las presas de mayor tamaño tienen presiones más grandes en el interior y éstas protegen el suelo.

2.3.3 Falla por deslizamiento de taludes

Cuando en una o más superficies continuas de un terraplén y/o de su cimentación el valor medio de los esfuerzos cortantes iguala la resistencia media disponible, ocurre lo que se llama un deslizamiento o falla por cortante. Su manifestación exterior puede ir desde una distorsión más o menos notoria de los taludes hasta un desplazamiento masivo de la cortina o de una porción importante de ella (Marsal, Resendiz Nuñez, et al., 1975).

Se puede decir que este tipo de falla es la más estudiada de todas. Por esta razón este tipo de falla ha comenzado a disminuir; existen tres tipos de fallas por deslizamiento:

- Durante la construcción
- Durante la operación
- Después de un vaciado rápido

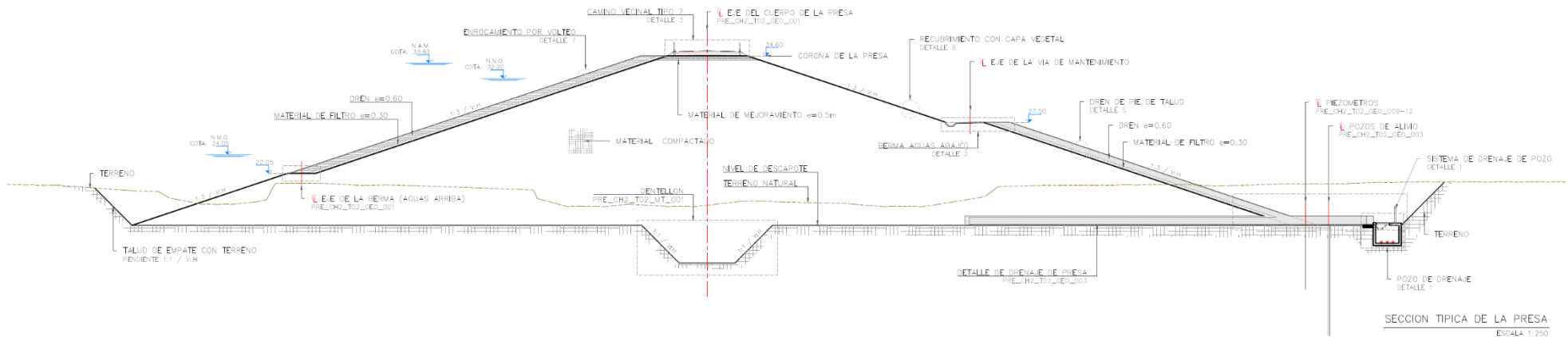


Figura 2.2 Diseño de la presa Chojampe 2. PROMAS.



2.3.3.1 Fallas durante la construcción

Durante el proceso de construcción de una presa las partes poco permeables de la cimentación y del terraplén sufren, por una parte, aumentos sostenidos de esfuerzo cortante y, por otra, incrementos de resistencia. Los incrementos de resistencia se deben a que, por no estar el suelo totalmente saturado, parte de los incrementos de esfuerzo se transforman instantáneamente en esfuerzos efectivos, ya que las presiones de poro se disipan progresivamente (Marsal, Resendiz Nuñez, et al., 1975).

Este tipo de falla es la de menor ocurrencia y también es la menos catastrófica. Las fallas han ocurrido en presas con cimentaciones de suelos arcillosos blandos, presentando su plano de falla en dicho material.

2.3.3.2 Fallas durante la operación

Al llenarse el embalse, los esfuerzos actuantes en la cortina aumentan y el desarrollo del flujo de agua hace incrementar paulatinamente las presiones de poro la base de la cortina, hasta hacerlas máximas cuando se alcanza la condición de flujo establecido (Marsal, Resendiz Nuñez, et al., 1975).

Este tipo de falla es la que ocurre en el tiempo de funcionamiento de las presas; existen dos tipos de fallas: las profundas que afectan a la cimentación y las superficiales que solo afectan a pequeños volúmenes del talud.

2.3.3.3 Falla después de un vaciado rápido

Varios deslizamientos del talud han ocurrido después de haber hecho un vaciado rápido. Después de cierto tiempo de operación de la presa, la cortina ha sido infiltrada y ha alcanzado condiciones de flujo establecido hacia aguas abajo. Si en esas condiciones ocurre un descenso rápido del nivel del embalse, el talud de aguas arriba será sometido a un aumento de las fuerzas que tienden a producir inestabilidad (principalmente por la desaparición del empuje del agua en una porción del paramento mojado) y, en ciertos casos, a incrementos de presión de poro en las zonas impermeables de la cortina (Marsal, Resendiz Nuñez, et al., 1975).

2.3.4 Fallas por sismo

Las presas de tierra por lo general, dependiendo del sismo, suelen recibir daños que podrían ocasionar una falla catastrófica entre las cuales podemos mencionar:

2.3.4.1 Fallas por deslizamientos o distorsiones

Dependiendo de las características mecánicas de la cortina y la cimentación, de la zonificación de los materiales en aquella y de la localización de zonas de debilidad en ésta, los deslizamientos por cortante pueden implicar, desde una ligera distorsión de los taludes del terraplén, hasta la traslación masiva de una gran parte de la cortina. La falla puede ser catastrófica cuando ocurre licuación o pérdida de resistencia de la cimentación ante la acción sísmica. Bajo este tipo de excitación, al empuje hidrostático del embalse se suman las fuerzas de inercia y el empuje hidrodinámico, mientras que las fuerzas resistentes pueden verse reducidas por la pérdida progresiva de resistencia de un material sensible a la carga cíclica (Marsal, Resendiz Nuñez, et al., 1975).

2.3.4.2 Fallas por agrietamiento longitudinal

El agrietamiento longitudinal no obedece a un mecanismo independiente, sino que es un efecto secundario de las fallas o distorsiones de corte. El agrietamiento longitudinal implica riesgos mayores en las presas de corazón impermeable inclinado, pues en ellas tales grietas cortarían el corazón. Si bien en ese tipo de cortinas la vibración desfasada del corazón y los taludes es menos probable, hay otro mecanismo capaz de originar agrietamiento longitudinal: el asentamiento diferencial de la cortina, lo cual es posible, sobretudo en cimentaciones muy deformables. En presas de sección homogénea o con corazón impermeable muy inclinado, un cuarto mecanismo que podría causar agrietamiento longitudinal sería la flexión, producida por la componente horizontal del sismo normal al eje de la cortina (Marsal, Resendiz Nuñez, et al., 1975).

2.3.4.3 Fallas por agrietamiento transversal

La causa más común de agrietamiento transversal durante sismos no es diferente de lo que generan esas grietas bajo peso propio: asentamiento diferencial; la sollicitación responsable directa no será en este caso únicamente el peso propio, sino la combinación de éste y las fuerzas sísmicas. Esta combinación puede causar

compactación diferencial a lo largo del eje o distorsiones de cortante desiguales a lo largo de la corona.

Otras causas de agrietamiento transversal pueden ser la vibración fuera de fase de diversas zonas de la cortina, o de ésta y las laderas; la alternancia de compresión y extensión en el viaje de ondas longitudinales a lo largo de la cortina, y la deflexión horizontal desigual de la cresta (Marsal, Resendiz Nuñez, et al., 1975).

2.3.4.4 Fallas por desbordamiento

Las aceleraciones sísmicas, al actuar sobre el embalse, generan oscilaciones del agua almacenada. Existe la posibilidad de que la amplitud de tales oscilaciones represente un peligro de desbordamiento. Esto es poco probable, en vista de que los períodos de las excitaciones sísmicas son siempre menores que los naturales de los embalses, y que la duración de los sismos no es suficientemente larga para generar una serie de oscilaciones del embalse en fase con las del sismo (Marsal, Resendiz Nuñez, et al., 1975).

2.3.4.5 Falla por rotura de conductos enterrados

Los conductos enterrados que suelen usarse en presas de tierra son generalmente de concreto. Considerando que este material es mucho más rígido y de falla más frágil que los suelos, su rotura puede ocurrir a causas de deformaciones, permanentes o transitorias, que podrían ser inofensivas para el resto de la estructura de la presa. El daño más común en conductos, durante un sismo, es su rotura por elongación, pues ocurre en la zona de extensión de la base o la cimentación del terraplén (Marsal, Resendiz Nuñez, et al., 1975).

2.3.5 Fallas por licuación

El fenómeno de licuación es el proceso que conduce a una pérdida de firmeza o rigidez del suelo; por lo general, los suelos saturados poco cohesivos están relacionados con dicha falla. Algunos efectos de la licuación del suelo son catastróficos, tales como: la falla de taludes y presas, desplomes de edificios y puentes, así como el colapso de muros de contención.

Este fenómeno se debe a la presencia de limos y arenas no plásticas. En el caso de existir el fenómeno de licuación esto conduce a un derrame de los materiales en grandes áreas hasta adoptar taludes irregulares y muy tendidos, que en algunos casos pueden sobrepasar el valor 10:1 (Armas Novoa, 2002).

2.3.6 Pérdidas por filtración

La filtración es el flujo de agua que obedece a la Ley de Darcy, por lo tanto, la red de filtración de una presa de tierra conduce el agua embalsada por lo materiales menos impermeables; sin embargo, no se puede asegurar que un material sea totalmente impermeable. Las presas de tierra tienen el objetivo principal de almacenar agua, por lo tanto, las pérdidas por filtración tienen que ser menores que las permisibles; esta falla es grave pero no catastrófica.

2.4 Arcillas dispersivas

2.4.1 Descripción

Los suelos arcillosos se han considerado altamente resistentes a la erosión debida al flujo de agua; sin embargo, se reconoce la existencia de suelos arcillosos altamente erosionables en la naturaleza. Algunos suelos de arcilla natural son dispersivos en presencia de un flujo de agua relativamente puro, y por lo tanto, son altamente susceptibles a la erosión interna.

La tendencia a la erosión por dispersión en un suelo dado, depende de variables como la mineralogía y propiedades químicas de las arcillas, así como las sales disueltas en el agua en los poros del suelo y en el flujo de agua erosionable. Tal flujo es de movimiento lento y erosiona rápidamente las arcillas, incluso más rápido en comparación con suelos no cohesivos, arenas finas y limos. Los coloides y cationes de las moléculas de arcilla son separados y arrastrados por el flujo de agua a la salida del flujo de filtración, aún con la presencia de un filtro. Esta erosión puede comenzar en una grieta seca, una hendidura por asentamiento, una fractura hidráulica u otro canal de alta permeabilidad en una masa de suelo (Knodel, 1991).



Según la norma ASTM D 4647, que corresponde al ensayo de “Pinhole” para identificación de arcillas dispersivas, éstas son arcillas que se disgregan fácil y rápidamente en agua de baja concentración salina, y sin ayuda mecánica significativa (ASTM, 1998).

2.4.2 Factores geográficos y climáticos

En la naturaleza resulta difícil detectar la presencia de suelos dispersivos. En áreas de topografía irregular la erosión superficial del agua forma angostos canales en forma de espinazos dentados que se profundizan rápidamente y llegan a formarse micro-túneles. Los depósitos de aguas someras producto de la lluvia muestran una turbidez persistente. En las regiones llanas no se observan evidencias superficiales de las arcillas dispersivas, debido a que estas se encuentran ocultas por las capas de humus, materia orgánica u otros materiales, de cuya matriz han sido lavadas las partículas dispersivas. En Cuba, en regiones de la provincia de Camagüey donde existen arcillas dispersivas, la vegetación del suelo es pobre debido a la salinidad del mismo, lo cual también puede ser un indicador de la presencia de material dispersivo (González Haramboure & Armas Novoa, 2008).

Algunos estudios indican que las arcillas dispersivas están asociadas solo con suelos formados en climas áridos o semiáridos y en áreas de suelos alcalinos. Los mismos suelos y problemas de erosión han sido encontrados en climas húmedos en variadas locaciones geográficas. Australia, Tasmania, México, Trinidad, Vietnam, Sudáfrica, Tailandia, Israel, Ghana, Brasil, Venezuela, y algunas partes del sur de Estados Unidos, han experimentado problemas con arcillas dispersivas en proyectos hidráulicos. En Zimbabwe, más del 60% de los suelos han sido identificados como dispersivos (Knodel, 1991).

2.4.3 Propiedades geológicas

Las arcillas dispersivas no han sido asociadas definitivamente con un origen geológico específico, pero la mayoría de ellas han sido halladas en depósitos aluviales, sedimentos lacustres y depósitos de loess. Con frecuencia se ha encontrado, en el



agua de los poros de rocas calizas y esquistos originarios de depósitos marinos, el mismo contenido de sales que en las arcillas dispersivas, y el suelo residual de estas rocas es también dispersivo. En Zimbabwe las arcillas dispersivas han sido asociadas con granitos y rocas areniscas (González Haramboure & Armas Novoa, 2008).

Resulta especulativo afirmar que estas arcillas deban su origen a rocas que estuvieron, en algún tiempo geológico, sumergidas en el mar, donde adquirieron los niveles de sodio que las caracterizan.

Los suelos dispersivos son derivados de rocas con bajo contenido de calcio y magnesio, pero con un alto contenido de sodio, rocas como la albita y la anfibolita. El sodio en los suelos puede ser derivado del envejecimiento natural de ciertos tipos de rocas, de materiales depositados bajo condiciones marinas o salinas, o de disolución, filtración y deposición de sodio en la estratificación del suelo durante procesos geomorfológicos (Hernández & Gómez, 2012).

2.4.4 Propiedades Físicas

Las arcillas dispersivas pueden ser rojas, cafés, grises, amarillas o las combinaciones de los mismos. Suelos negros, obviamente con un alto contenido de materia orgánica, no son dispersivos. Casi todos los suelos de grano fino que han sido ensayados, que son derivados de la meteorización de rocas ígneas y metamórficas no son dispersivos, así como los suelos derivados de piedra caliza (Knodel, 1991).

2.4.5 Propiedades Químicas

La principal diferencia entre las arcillas dispersivas y las que ordinariamente resisten la erosión interna radica en el tipo de cationes disueltos en el agua intersticial, adheridos a la doble capa de difusión de la partícula. En las dispersivas predominan los cationes de sodio (Na^+), mientras que en las ordinarias predominan los cationes de calcio (Ca^{2+}), potasio (K^+) y magnesio (Mg^{2+}).

Los cationes de sodio (Na^+) tienen valencia 1^+ , por lo que la fuerza electrostática que lo fijan a la partícula sólida de arcilla es menor que la que ocurre en el caso de los



cationes de calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}), con valencia 2^+ . Además, se necesita un mayor número de cationes de sodio para satisfacer la carga electrostática de la partícula de arcilla. Por tal razón, los cationes (Na^+) son más propensos a ser arrastrados por el agua, que los cationes (Ca^{2+}) y (Mg^{2+}).

En comparación con el potasio (K^+), los cationes de sodio tienen menor radio, por lo que tienen mayor tendencia hacia la interacción ión-dipolo con las moléculas de agua. Por tanto, aunque los cationes de sodio (Na^+) y potasio (K^+) tienen igual valencia 1^+ , los primeros son arrastrados con mayor facilidad.

Con la salida de los cationes de sodio disminuyen las dimensiones de las partículas de arcilla y las fuerzas que las enlazan, formándose oquedades que facilitan su arrastre. El flujo de agua con bajo contenido de sales, activa y acelera el proceso, incluso con cargas hidráulicas muy bajas, creando pequeños conductos que con el tiempo se convierten en grandes sifones y ocasionan pérdidas de volúmenes de agua e inestabilidad en las masas de suelo. El agua remanente es turbia, cargada con una suspensión coloidal de partículas de arcilla entre las que median fuerzas electrostáticas de repulsión. Los cationes de sodio disueltos no son tan efectivos como los de otros elementos al neutralizar la carga de los coloides, por lo que las partículas de arcilla continúan repeliéndose y la suspensión es estable. En presas de tierra construidas con estas arcillas se origina el “sifonamiento mecánico”, una de las causas de falla catastrófica en este tipo de estructuras (González Haramboure & Armas Novoa, 2008).

2.5 Métodos de Identificación

Los ensayos de laboratorio generalmente más utilizados para identificar arcillas dispersivas son el ensayo de “Crumb”, el ensayo del Doble Hidrómetro, el ensayo de “Pinhole”, el ensayo de sales disueltas en el agua de poros, y el ESP (porcentaje de sodio intercambiable por sus siglas en inglés) (Knodel, 1991).

Mientras varios ensayos dan resultados consistentes para algunos suelos, existen un significativo número de excepciones; por lo tanto en la literatura técnica internacional (Fan & Kong, 2013) se plantea que el uso de un algoritmo que considere las distintas



teorías que influyen en la dispersividad de los suelos es de vital importancia para simplificar la identificación de los mismos.

2.5.1 Ensayo de “Crumb”

El ensayo de Emerson Crumb (ASTM D 6572) fue creado con un procedimiento simple para identificar suelos dispersivos en campo, pero en la actualidad es usado en laboratorio. El ensayo consiste en preparar un espécimen en forma de cubo, de unos 15 mm de arista (1/4” a 3/8”) secado al aire y temperatura ambiente. Se sumerge cuidadosamente en un recipiente con 250 mL de agua destilada.

Pasados 5 a 10 minutos, se observa la tendencia de las partículas de arcilla a formar una suspensión coloidal, enturbiando el agua, como se muestra en la Figura 2.3. La dispersividad de la muestra se valora según la siguiente guía:

- Grado 1: No se observa reacción. La muestra se desmorona y esparce en el fondo del recipiente sin enturbiar el agua.
- Grado 2: Reacción ligera. Débil turbulencia en el agua próxima a la superficie del terrón.
- Grado 3: Reacción moderada. Turbulencia coloidal en suspensión, fácilmente distinguible, y que se esparce por el fondo del recipiente.
- Grado 4: Reacción fuerte. La turbulencia cubre el fondo del recipiente y puede llegar a expandirse en todo el volumen de agua.

El ensayo de desmenuzamiento adolece de un problema de apreciación y en sus resultados influye la pericia de la persona que lo realiza (Knodel, 1991).

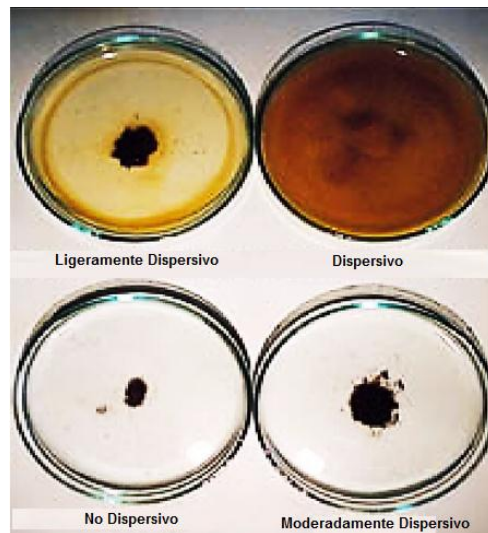


Figura 2.3 Ensayo de Crumb para suelos dispersivos (Hernández & Gómez, 2012).

2.5.2 Ensayo del Doble Hidrómetro

Este ensayo fue desarrollado por G. M. Volk, en 1937, y ha sido muy utilizado por el Servicio de Conservación de Suelos (S.C.S.) de los Estados Unidos desde 1940. Está normado según la ASTM D 4221-99.

Consiste en determinar la distribución por tamaño de las partículas del suelo en cuestión, mediante el Ensayo Normado de Hidrómetro y paralelamente realizar un segundo ensayo de hidrómetro a una muestra idéntica, pero sin agitación mecánica ni dispersante químico. A partir de los resultados de ambos hidrómetros, se calcula el “porcentaje de dispersión” como la razón entre el porcentaje de partículas de 0.005 mm de diámetro, obtenido en el segundo hidrómetro, respecto al de partículas de igual diámetro, obtenido en el primero (González Haramboure & Armas Novoa, 2008). En la Figura 2.4 se grafica las curvas granulométricas para cada ensayo de hidrómetro y sus respectivos porcentajes de finos, para el cálculo del porcentaje de dispersión.

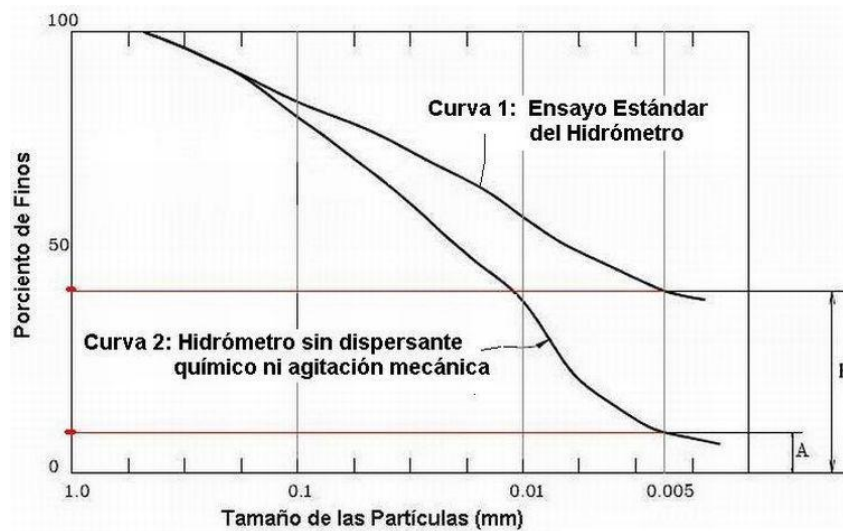


Figura 2.4 Curvas granulométricas obtenidas con el ensayo del Doble Hidrómetro (González Haramboure & Armas Novoa, 2008).

$$\text{Porcentaje de dispersión} = \frac{A}{B} \times 100$$

Donde A y B son los porcentajes de partículas de 0.005 mm de diámetro obtenidas en el segundo y primer hidrómetro, respectivamente.

Tabla 2.1 Criterios para evaluar el grado de dispersión usando los resultados del ensayo del Doble Hidrómetro (González Haramboure & Armas Novoa, 2008).

PORCENTAJE DE DISPERSIÓN (%)	GRADO DE DISPERSIÓN
< 30	No dispersivo
30 a 50	Intermedio
> 50	Dispersivo

La interpretación física del ensayo es cuanto más próxima es la relación $\frac{A}{B}$ a la unidad, mayor capacidad de dispersión tiene el suelo.

Existe una variante del ensayo del doble hidrómetro, conocida como el ensayo del Triple Hidrómetro que incluye un hidrómetro con agua de río. Sin embargo, este ensayo triple no está normado, ni es de uso corriente.

Sherald (1976) señala que: existe una buena correlación entre el ensayo de Doble Hidrómetro con el ensayo de Pinhole; además, de que los suelos con un porcentaje



mayor que el 50% son susceptibles a la dispersión y aquellos con un porcentaje menor que el 15% no son dispersivos.

2.5.3 Ensayo de “Pinhole”

El ensayo de “Pinhole” fue desarrollado por Sherald y otros (1972) para medir directamente la capacidad de dispersión de un suelo de grano fino compactado, por el cual se hace fluir agua a través de un agujero hecho en el espécimen, donde simula el flujo de agua a través de una grieta u otro canal en el núcleo impermeable de una presa.

El método de ensayo inicia con el flujo horizontal de agua destilada a una carga hidráulica de 50 mm (2”) a través de un agujero de 1.0 mm de diámetro y 25.4 mm de longitud perforado en la muestra de suelo. La naturaleza de la solución que emerge de la muestra bajo la carga inicial de 50 mm proporciona el principio de diferenciación entre las arcillas dispersivas y no dispersivas. El flujo de las arcillas dispersivas será visiblemente oscuro y el agujero a través de la muestra se ampliará rápidamente, con un incremento del flujo de agua. El flujo de las arcillas moderadamente dispersivas será visiblemente oscuro, con un constante tamaño del agujero y una tasa de flujo. El flujo de las arcillas no dispersivas será completamente limpio, sin aumento en el tamaño del agujero, ni en la tasa de flujo (ASTM, 1998).

Es importante que la prueba sea hecha en suelos con contenido natural de agua, ya que el secado de la muestra puede afectar las características dispersivas de algunos suelos. Si el material contiene partículas de arena gruesa o grava, deberán ser eliminados mediante un tamiz de 2 mm (No. 10) (Hernández & Gómez, 2012).

El contenido natural de agua debe ser determinado y se debe alcanzar la humedad de compactación, mediante la adición de la cantidad requerida de agua o con un secado gradual a la intemperie si la muestra excede la humedad. Toda el agua añadida deberá ser agua destilada (Knodel, 1991).



Figura 2.5 Dispositivo para el ensayo de “Pinhole”. HUMBOLDT.

2.5.4 Ensayos Químicos

El procedimiento de los ensayos químicos consiste en mezclar la muestra de suelo con agua destilada hasta alcanzar una consistencia cercana a su límite líquido. Luego se extrae una muestra del agua de los poros (extracto de saturación) por medio de vacío, utilizándose un filtro para separar las fases sólida y líquida (Figura 2.6). A este extracto de saturación se le determina, en laboratorio químico, el contenido de los diferentes tipos de cationes presentes.

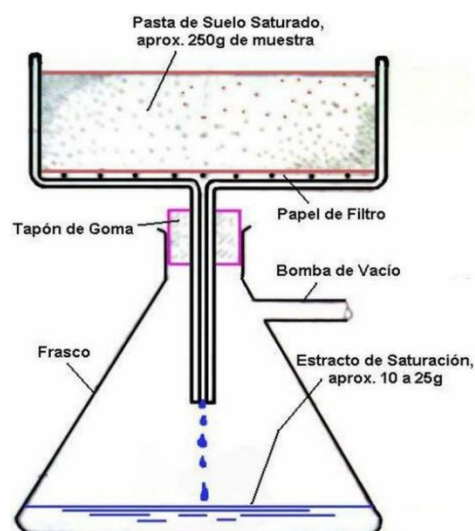


Figura 2.6 Esquema del aparato utilizado para la obtención del extracto de saturación de la muestra de suelo (González Haramboure & Armas Novoa, 2008).



2.5.4.1 ESP (Porcentaje de Sodio Intercambiable)

En la década de los 60' del siglo XX, investigadores australianos reconocieron la presencia de Sodio intercambiable en el agua de los poros de suelo, como factor determinante del carácter dispersivo de los mismos. Para cuantificar su efecto definieron diferentes parámetros, entre ellos, el “porcentaje de Sodio intercambiable” (ESP, por sus siglas en inglés), como:

$$ESP = \frac{Na^+}{CEC} \times 100$$

Donde *CEC* es la “capacidad de intercambio catiónico” que refleja la cantidad de cationes que pueden ser retenidos en el suelo, y Na^+ es la cantidad de cationes de sodio que existen en la muestra de suelo, medidos ambos en *meq/100g*.

Mediante repetidos ensayos determinaron que los suelos con $ESP \geq 10\%$ son susceptibles de tener un contenido de sodio libre, que será lixiviado por el flujo de agua relativamente pura, y los clasificaron como dispersivos.

Los criterios de clasificación de las arcillas, según su dispersividad a través del “porcentaje de sodio intercambiable” (*ESP*), se muestran en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2 Grado de dispersividad en función del porcentaje de sodio intercambiable (ESP) (González Haramboure & Armas Novoa, 2008).

ESP (%)	GRADO DE DISPERSIVIDAD
< 7	No Dispersiva
7 a 10	Intermedia
>10	Dispersiva

2.5.4.2 SAR (Índice de Absorción de Sodio)

Otro parámetro evaluado para cuantificar el efecto del sodio en la dispersividad de las arcillas es el “índice de absorción de sodio” en el agua de los poros (SAR, por sus siglas en inglés).

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}}$$

Donde Na^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} son las cantidades de cationes de sodio, calcio y magnesio contenidos en el agua de los poros (expresadas en meq/L).

Este método no es aplicable si no existen suficientes cationes libres en el agua de los poros, lo cual puede ocurrir en las arcillas dispersivas cuyos cationes de sodio están adheridos a la doble capa de difusión de las partículas. Esto limita enormemente la utilización del parámetro SAR . Igualmente, discordancias entre este método y el del “porcentaje de sodio intercambiable” han ocasionado que ambos sean poco utilizados.

2.5.4.3 P_s (Porciento de Sodio)

Muy difundida entre especialistas agrícolas es la estimación del “porciento de sodio” en el agua intersticial, a partir de un balance de los principales cationes en disolución

$$P_s = \frac{Na^+}{TSD} \times 100$$

Donde:

$$TSD = Na^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+ \quad [meq/L]$$

Y Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+ representan las cantidades de estos cationes en meq/L .

Gráficamente, el grado de dispersividad de los suelos en función del “Porciento de Sodio” y el Total de Sales Disueltas (TSD), se muestra en la Figura 2.7.

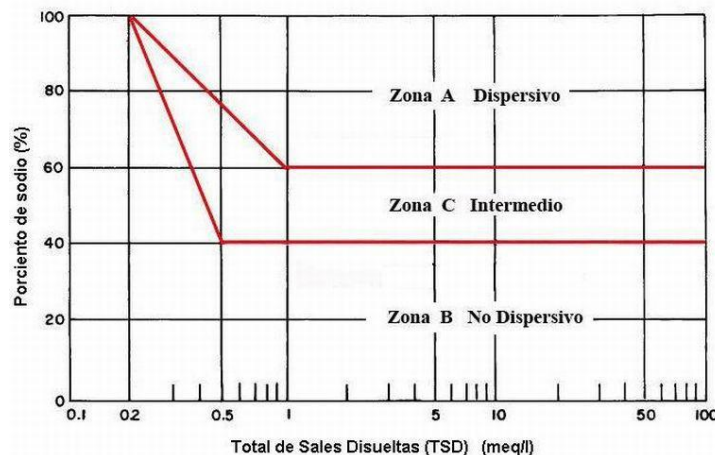


Figura 2.7 Grado de dispersividad de los suelos, en función del “Porciento de Sodio” y el Total de Sales Disueltas (TSD) en el agua intersticial (González Haramboure & Armas Novoa, 2008).



2.5.5 Ecuación empírica

La complejidad del suelo dispersivo y la limitación de conocimientos relevantes han sido una barrera en el uso de algoritmos para la evaluación de la dispersividad del suelo cohesivo hasta la fecha. Fan et al. (2013) basado en la investigación del mecanismo de dispersión del suelo cohesivo, realizó un estudio que se dirige a los factores físicos y químicos que influyen en la dispersión, estableciendo una ecuación empírica y propuso el procedimiento y los criterios para la evaluación de la dispersividad del suelo cohesivo.

La ecuación propuesta fue verificada con la comparación de resultados obtenidos en evaluaciones experimentales publicadas. Este estudio intenta proporcionar un algoritmo con un claro significado físico, un proceso de cálculo simple y los resultados de evaluación confiables, para la identificación de suelos dispersivos.

Fan et al. (2012) estudió la relación entre la dispersividad del suelo y las propiedades físicas, químicas y minerales de 48 muestras de suelo. Los indicadores incluyeron la gravedad específica, contenido de arcillas, límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad, materia orgánica, pH, ESP (porcentaje de sodio intercambiable), P_S (porcentaje de sodio) y el contenido de montmorillonita.

De las conclusiones del estudio Fan et al. (2013) observó que los factores físicos como el contenido de arcillas y los límites de Atterberg, así como los factores químicos, como la concentración de cationes de sodio y el pH, fueron los más influyentes en el comportamiento de la dispersividad del suelo cohesivo. Basándose en el mecanismo de dispersividad y los análisis experimentales matemáticos, las ecuaciones empíricas son las siguientes:

$$F_1 = 4 - 0.01(2W_L + P_C)$$

$$F_2 = 4 - 0.01(2W_L + P_C - P_S)$$

$$F_3 = 4 - 0.01(2W_L + P_C - P_S) + 0.1pH$$

Donde F_n es el valor de dispersividad del suelo, W_L es el límite líquido (%), P_C es el contenido de arcilla (<0.005 mm) (%), P_S es el porcentaje de sodio (contenido de sales solubles en el agua de poros) y pH es la acidez.

El proceso y criterio de evaluación está mostrado en la Figura 2.8 Si el valor de F_1 es satisfactorio para identificar la dispersividad del suelo, no es necesario el cálculo de F_2 y F_3 . Las razones de la dispersión de este tipo de suelos son principalmente las propiedades físicas, por lo tanto puede ser llamada dispersión física. Si el valor de F_1 no es satisfactorio, es necesario calcular la ecuación de F_2 o a su vez de F_3 . Si los valores de F_2 y F_3 son satisfactorios para identificar la dispersión del suelo, las razones de dispersión de este tipo de suelos son principalmente las propiedades químicas, por lo tanto es llamada dispersión química. Ciertamente los cuatro indicadores pueden ser calculados para obtener los valores de F_1 , F_2 y F_3 e identificar la dispersión del suelo. Los resultados de la identificación serán los mismos.

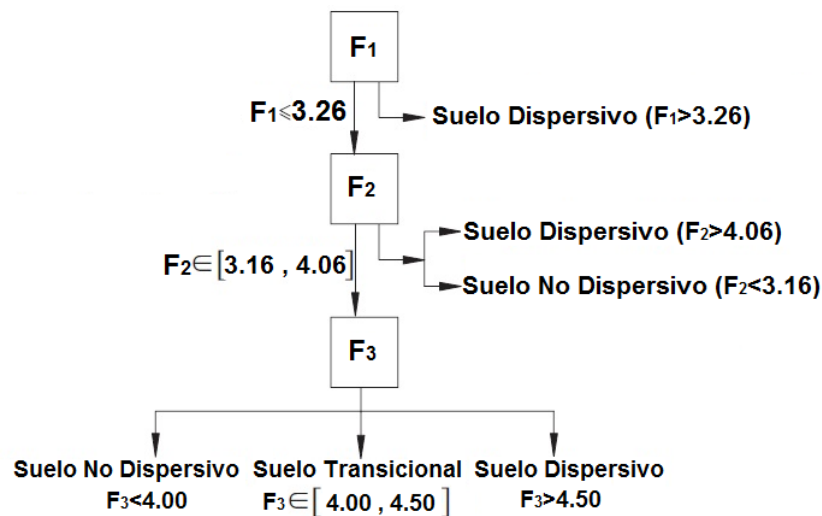


Figura 2.8 Proceso y criterios para identificación de suelos dispersivos mediante la ecuación empírica (Fan & Kong, 2013).

3 CAPÍTULO 3: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción de los materiales de préstamo para la construcción de la presa Chojampe 2.

El material que será estudiado es el material de préstamo para la construcción de la presa Chojampe 2, del proyecto PACALORI; se extrajeron 30 muestras de suelo, de 10 trincheras, a profundidades de: 2 m, 4 m, y 6 m; se realizó la clasificación del suelo por el método AASHTO y por el método SUCS, a las 30 muestras.

Una vez clasificadas las muestras, se hicieron mezclas de los materiales, de acuerdo al valor de su límite líquido: mezclas amarillas, con valores del límite líquido menores a 70%; mezclas rojas, con valores del límite líquido entre 70% y 90%, y las mezclas verdes, con valores entre 90% y 110%.

Los resultados de los ensayos físicos y mecánicos realizados a éstas mezclas se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 3.1 Características físicas y mecánicas de las mezclas de los materiales del préstamo para la construcción de la presa de Chojampe 2. PROMAS.

PARÁMETROS	UNIDADES	MEZCLAS			
		AMARILLAS	ROJAS	VERDES	AMARILLAS + VERDES
Límite líquido	(%)	66.13	82.91	96.68	77.05
Límite plástico	(%)	37.94	45.55	49.35	40.57
Índice plástico	(%)	28.19	37.36	47.32	36.47
Clasificación por el SUCS		MH	MH	MH	MH
Clasificación por la AASHTO		A-7-5 (35)	A-7-5 (50)	A-7-5 (62)	A-7-5 (46)
Humedad óptima	(%)	39.44	38.83	47.39	44.30
Densidad seca máxima	kg/cm ³	1,206	1,123	1,112	1,157
C´ (cohesión efectiva)	kPa	-	29.0	19.5	23.3
Ø´ (ángulo de fricción efectiva)	°	-	17.5	19.5	17.0
C (cohesión total)	kPa	-	0.0	3.0	14.9
Ø (ángulo de fricción total)	°	-	13.2	13.3	12.0
Permeabilidad (k)	cm/s	2.60E-08	5.10E-08	2.50E-07	4.00E-09
Gravedad Específica (G _s)		2.53	2.60	2.62	2.56

3.2 Descripción de los métodos de identificación de las “arcillas dispersivas”

3.2.1 Ensayo del Total de Sales Disueltas: Porcentaje de Sodio

Un parámetro muy utilizado por los especialistas agrícolas es la estimación del “porcentaje de sodio” en el agua intersticial, a partir de un balance de los principales cationes en disolución (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+), tal como se muestra en la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje de Sodio} = \frac{\text{Na}^+}{\text{TSD}} * 100$$

Donde:

$$\text{TSD} = \text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ \quad (\text{meq/L})$$

Una vez determinado el “Total de Sales Disueltas” (TSD) y el “Porcentaje de Sodio”, se representan dichos valores en la gráfica de la Figura 2.7, la cual clasifica los resultados en tres zonas.

En la zona A se sitúan los suelos altamente dispersivos; en la zona B los suelos no dispersivos; y la zona C o zona de transición, se sitúan los suelos con un grado de incertidumbre, es decir, que pueden o no ser suelos dispersivos por su contenido de sodio.

Para encontrar los valores de los cationes en disolución en el agua de poros de los suelos del proyecto PACALORI, se realizó el siguiente procedimiento:

1. Se prepararon tres diferentes mezclas (amarillas, rojas, y verdes) del material de préstamo para la construcción de la presa Chojampe 2, agrupadas según el valor de límite líquido.
2. Se separaron 500 gr. de cada muestra y se llevó a una humedad cercana al límite líquido del material, con agua destilada, dejándolo en reposo durante 24 horas con dicha humedad.
3. Se utilizó una bomba al vacío para extraer el agua de los poros de cada muestra, tal como se muestra en la Figura 2.6.

4. Una vez obtenida el agua de los poros de las muestras, se realizaron los ensayos químicos necesarios para obtener el contenido de Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+ , en *meq/L*.

3.2.2 Ensayo de “Pinhole”

Los criterios para la clasificación mediante el ensayo “Pinhole” se basan en cuatro parámetros: la tasa de flujo que pasa por la muestra, la carga hidráulica aplicada, la turbiedad del efluente de salida y el tamaño final del agujero de la muestra. Mediante estos parámetros se desarrolla el procedimiento del ensayo de la siguiente forma:

Los criterios de clasificación A y B mediante el ensayo de “Pinhole” se muestran en la Tabla 3.2 y el criterio C en la Figura 3.3 son los siguientes:

- Criterio A

D1, D2 – Arcillas dispersivas, que rápidamente erosionan bajo una carga hidráulica de 50 mm (2”).

ND4, ND3 – Arcillas ligera o moderadamente dispersivas, que erosionan lentamente bajo una carga hidráulica de 50 mm (2”) o 180 mm (7”).

ND2, ND1 – Arcillas no dispersivas, con una ligera o nula erosión coloidal bajo una carga hidráulica de 380 mm (15”) o 1020 mm (40”).

- Criterio B

D – Arcillas dispersivas, que erosionan rápidamente bajo una carga hidráulica de 50 mm (2”).

SD – Arcillas ligeramente dispersivas, que erosionan lentamente bajo una carga hidráulica de 180 mm (7”).

ND – Arcillas no dispersivas, que muestran una muy ligera o nula erosión bajo una carga de 380 mm (15”).

Nota: Entre la clasificación A y B se utiliza la siguiente comparación: D = D1, D2, ND4; SD = ND3; y ND = ND2, ND1.

- Criterio C

D1, D2 – Arcillas dispersivas, que erosionan rápidamente bajo una carga de 50 mm (2”).

ND4, ND3 – Arcillas dispersivas, que erosionan lentamente bajo una carga hidráulica de 50 mm (2”), 180 mm (7”), o 380 mm (15”).

ND2, ND1 – Arcillas no dispersivas, con una ligera o nula erosión coloidal bajo una carga de 380 mm (15”).

El equipo de “Pinhole” con sus partes se muestra en la Figura 3.1 y son los siguientes:

- Aparato de “Pinhole”: aunque puede variar el tipo de aparato para el ensayo de Pinhole en los moldes o platos, las medidas de la muestra son 38 mm (1.5”) de longitud, el agujero tiene un diámetro de 1 mm (0.04”) y el agujero por el cono truncado, que sirve para centrar el agujero en la muestra, tiene un diámetro de 1.5 mm (0.059”).
- Tanque de carga constante: para suministrar agua hacia la muestra.
- Probetas graduadas: de 10, 25 y 50 mL de capacidad.
- Mallas de alambre: con agujeros menores que 2 mm (0.08”), cortar en forma circular de manera que encaje en el cilindro en donde se compacta la muestra.
- Aguja: de 1 mm (0.039”) de diámetro.
- Cono truncado: sirve para guiar el agujero de la muestra, de un diámetro de 1.5 mm (0.059”).
- Arena gruesa: Debe ser lavada y tamizada por el tamiz No.10 (de 2 a 6 mm de diámetro).
- Cronómetro: de precisión de 0.1s.
- Equipo de compactación: martillo de compactación de peso 383 gr y altura de caída 10.6 cm.
- Balanza: necesaria para pesar el material requerido para realizar el ensayo.

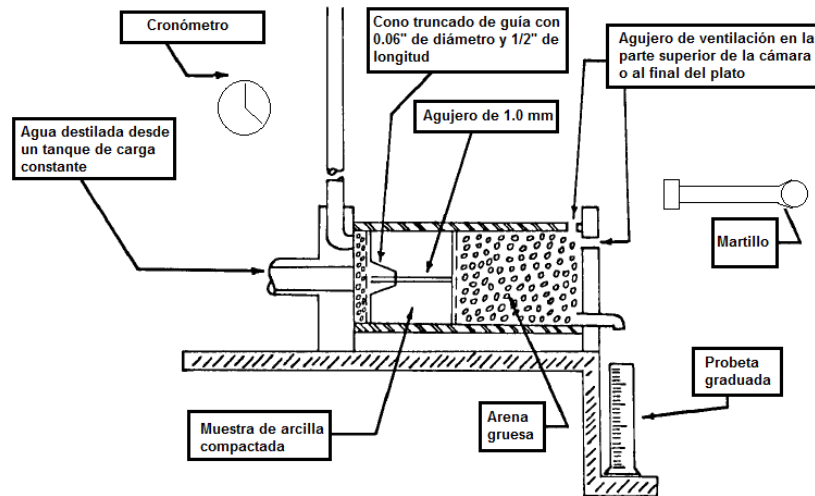


Figura 3.1 Equipo de "Pinhole" con sus partes (ASTM, 1998).

Según la norma ASTM D 4647, el procedimiento para realizar el ensayo es el siguiente:

1. Preparación de la muestra

1.1. *Suelo alterado con contenido natural de agua*

1.1.1. Remover de la muestra todas las partículas de arena y grava mayores a 2 mm (tamiz N°10) de diámetro.

1.1.2. Determinar el contenido de agua, usando el procedimiento del Método D 2216 (contenido de humedad), y ajustar la humedad añadiendo agua o secar al aire, hasta dos por ciento menor del contenido de agua óptimo para la compactación que debe ser usada en la construcción.

1.2. *Suelo alterado, pulverizado y secado al aire*

1.2.1. Remover todas las partículas de arena y grava mayores a 2 mm de diámetro (tamiz No.10).

1.2.2. Añadir agua hasta llevar el suelo a dos por ciento menor del contenido de agua óptimo que será utilizado en la compactación para la construcción.

1.2.3. Compactar el suelo usando el equipo y el procedimiento del Método D 698 (Proctor Estándar).

1.3. *Muestras inalteradas*

- 1.3.1. Moldear o cortar una muestra de 38 mm de longitud, que se ajuste cómodamente en el cilindro del ensayo y colocar la misma, en la parte superior de la malla y grava de filtro.
- 1.3.2. Sellar el perímetro de la parte superior de la muestra con arcilla de moldeo u otro sellante impermeable, para prevenir el flujo de agua entre la muestra y la pared del cilindro del ensayo.

2. Procedimiento del ensayo – Criterio A

2.1. *Muestra Compactada*

- 2.1.1. Compactar la muestra de 38 mm (1.5 pulgadas) en el cilindro del ensayo de Pinhole hasta la parte superior con arena y la malla de alambre, los cuales deben estar previamente instalados en el cilindro.
- 2.1.2. El peso específico seco y el contenido de agua de la muestra compactada deben corresponder a las especificaciones para el propósito de construcción.
- 2.1.3. Cuando se usa la compactación “Harvard” y el equipo de permeabilidad, aproximadamente el 95% del peso específico seco máximo del Proctor Estándar puede ser alcanzado si se compacta la muestra en cinco capas, con 16 golpes cada una, usando un martillo, de 6.8 kg (15 lb), de la compactación Harvard.
- 2.1.4. Insertar el cono truncado centrado con el orificio de 1.5 mm de diámetro en el centro de la parte superior de la muestra, utilizando la presión de los dedos.
- 2.1.5. Insertar la aguja de 1 mm de diámetro por el agujero del cono o forzarla a través de la muestra del suelo.
- 2.1.6. Remover la aguja de la muestra (mientras se retira la muestra se puede rotar cuatro o cinco veces para obtener un agujero de mejor calidad)
- 2.1.7. Cuidadosamente colocar la malla de alambre arriba de la muestra (sin tapar el agujero) y rellenar hasta el tope con arena de filtro.

Nota: La arena deberá ser cuidadosamente colocada y enrasada hasta el tope del cilindro, por lo que se puede asegurar un sello hermético entre el cilindro de prueba y la placa de ensayo.

2.1.8. Ensamblar el plato superior y conectar el tubo de carga. Ensamblar el aparato en la posición horizontal.

Nota: En este paso del ensayo, la válvula de la carga de agua debe estar cerrada.

2.1.9. Iniciar el ensayo con la introducción de agua dentro del aparato; por lo tanto, la carga hidráulica en el nivel del “Pinhole” es 50 mm (2”).

Nota: Si se va a utilizar una tubería flexible para conectar el aparato con el reservorio de agua o el dispositivo de carga hidráulica, cuidar que todas las burbujas sean retiradas de las tuberías cuando se inicie el ensayo.

2.1.10. Tomar el tiempo de inicio del ensayo.

2.1.11. Con una probeta apropiada, comenzar a medir la cantidad de agua que emerge de la muestra. Si no hay caudal cuando el ensayo inicia, pararlo, desarmar el aparato en la parte superior, e insertar nuevamente la aguja para comprobar el agujero (o sellar el primer agujero y realizar uno nuevo).

2.1.12. Las primeras dos o tres medidas de descargas deben ser hechas en unidades de tiempo en segundos, requeridos para recolectar 10 ml del efluente. Subsecuentemente, las medidas pueden consistir en determinar el intervalo de tiempo requerido para recolectar 25, 50, o 100 mL del efluente.

2.1.13. Es también aceptable que se seleccione un intervalo de tiempo, cada 60 segundos, y medir el volumen de efluente recolectado en ese intervalo. Este método permite suficiente sensibilidad para determinar la tasa de cambio de los caudales y observación de la capacidad hidráulica (ejemplo, flujo constante).

2.1.14. Observar la turbiedad del efluente por cada descarga medida, observando a través del lado de la probeta y verticalmente a través de la misma. Registrar la turbiedad del efluente en la probeta como muy turbio, turbio, moderadamente turbio, ligeramente turbio, apenas turbio, o completamente claro.



- 2.1.15. Continuar el ensayo bajo los 50 mm de carga por 5 min. Si al final de los 5 min, el efluente es muy turbio y la tasa de flujo ha incrementado gradualmente de 1.0 a 1.4 mL/s, el ensayo se da por terminado.
- 2.1.16. Desarmar el aparato y extraer la muestra de suelo del cilindro. Romper y cortar la muestra, transversalmente y longitudinalmente, y medir el tamaño del agujero por comparación con la aguja que se utilizó para realizar el mismo.
- 2.1.17. Si el tamaño del agujero final es mayor que el doble de la aguja utilizada, clasificar el suelo como altamente dispersivo, D1.

Nota: De otra manera, si la tasa de flujo y el tamaño del agujero son inconsistentes, el ensayo deberá ser realizado nuevamente.

- 2.1.18. Si el efluente de la carga de 50 mm es ligeramente turbio y la tasa de flujo no excede 1 ml/s al final de los 5 min, continuar con el ensayo 5 min adicionales, para un total de 10 min. Al final de los 10 min, si el efluente sigue siendo turbio, parar el ensayo, desmontar el equipo y determinar el tamaño del agujero, cortando la muestra longitudinalmente. Clasificar el suelo como dispersivo D2 si al final la tasa de flujo es de 1 a 1.4 mL/s de la carga de 50 mm; si el efluente es moderadamente turbio o ligeramente turbio al final de los 10 min y el caudal es de 0.40 a 0.80 mL/s, clasificar el suelo como ND4; caso contrario, aumentar la carga hidráulica a 180 mm. Bajo los 180 mm de carga, si el efluente es ligeramente turbio y la tasa de flujo ha incrementado rápidamente de 1.4 a 2.7 mL/s, parar el ensayo y examinar el diámetro del agujero. Si el diámetro del agujero es igual o mayor que 1.5 o 2 veces el diámetro de la aguja, clasificar el suelo como ligeramente o moderadamente dispersivo, ND3.
- 2.1.19. Si el flujo bajo 180 mm de carga continua siendo un flujo claro o tiene partículas que son poco visibles después de 5 min y el caudal es 0.8 a 1.4 mL/s, incrementar la carga a 380 mm. Después de 5 min bajo 380 mm de carga, si el flujo ha incrementado su turbiedad o el caudal ha incrementado



de 1.8 a 3.2 mL/s, parar el ensayo, medir el tamaño del agujero y clasificar el suelo como ligeramente dispersivo, ND3.

- 2.1.20. Si después de 5 min, el flujo bajo 380 mm de carga es completamente claro y el caudal es 1.0 a 1.8 mL/s, incrementar la carga hidráulica a 1020 mm. Si el flujo bajo 1020 mm de carga después de 5 min muestra una ligera turbiedad desde la parte superior de la probeta o la tasa de flujo excede 3.0 mL/s, clasificar el suelo como no dispersivo, ND2. De otra manera clasificar el suelo como no dispersivo ND1. La tasa de flujo para suelos ND1 bajo 1020 mm de carga es generalmente menor que 3.0 mL/s y el tamaño del agujero al final del ensayo no debe ser muy diferente que el diámetro de la aguja.

3. Criterio B

- 3.1. El procedimiento del criterio B es el mismo que para el criterio A, excepto por las siguientes modificaciones en la clasificación de las características de dispersión de la muestra:

- 3.1.1. Suelos que producen un efluente moderadamente turbio o turbio y un tamaño del agujero mayor a 1.5 veces el diámetro de la aguja, bajo una carga de 50 mm (2"), son clasificados como dispersivos, D.
- 3.1.2. Suelos que producen un efluente ligeramente turbio y un tamaño de agujero igual o mayor que 1.5 veces el diámetro de la aguja, bajo una carga de 180 mm (7") o 380 mm (15"), son clasificados como ligeramente dispersivos, SD.
- 3.1.3. Suelos que no producen turbiedad o un efluente con partículas apenas visibles y un tamaño de agujero menor a 1.5 veces el diámetro de la aguja, bajo una carga de 380 mm (15"), son clasificados como no dispersivos, ND.

4. Criterio C

- 4.1. El procedimiento del criterio C es el mismo al del criterio A, excepto por las siguientes modificaciones en la clasificación de las características dispersivas de la muestra:

- 4.1.1. Suelos que producen un efluente moderadamente turbio y una tasa de flujo de 2.0 a 2.8 mL/s bajo una carga de 180 mm (7") por 5 min de ensayo, son clasificados como ND4.



- 4.1.2. Suelos que producen un efluente ligeramente turbio a claro y una tasa de flujo de 2.4 a 3.2 mL/s, bajo una carga de 380 mm (15”) por 5 min de ensayo, son clasificados como ND3.
- 4.1.3. Suelos que producen un efluente ligeramente turbio a claro y una tasa de flujo de 1.6 a 2.4 mL/s, bajo una carga de 380 mm (15”) por 5 min de ensayo, son clasificados como ND2.
- 4.1.4. Suelos que producen un efluente completamente claro y una tasa de flujo de 1.8 a 1.6 mL/s, bajo una carga de 380 mm (15”) por 5 min de ensayo, son clasificados como ND1.

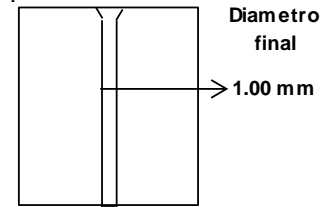
La Figura 3.3 muestra el procedimiento a seguir del Criterio C de clasificación de arcillas dispersivas por el ensayo de Pinhole, el diagrama está en función de los parámetros de clasificación: por el eje horizontal se encuentra el tiempo del ensayo y las cargas hidráulicas a las que debe ser sometida la muestra; por el eje vertical se encuentra el caudal del efluente de salida a través de la muestra, además se sombrea de distintos colores el grado de dispersión al que pertenece el suelo al llegar al rango establecido en la norma ASTM D 4647.

A continuación se presenta el formato utilizado para la recolección de datos del ensayo:



ENSAYO PINHOLE NORMA: ASTM D 4647

PESO MOLDE + SUELO HUMEDO (g)	
PESO MOLDE (g)	
PESO SUELO HUMEDO (g)	
DIAMETRO DEL MOLDE (cm)	
ALTURA INICIAL (cm)	
ALTURA FINAL (cm)	
ALTURA DE LA MUESTRA (cm)	
VOLUMEN DE LA MUESTRA (cm ³)	
HUMEDAD DE LA MUESTRA %	
DENSIDAD SECA (g/cm ³)	



TARRO #		
PESO DEL TARRO + M. HUMED. (g)		
PESO DEL TARRO + MAT. SECA (g)		
PESO DEL TARRO (g)		
%HUMEDAD		
PROMEDIO		

HUMEDAD OPT. PROCTOR ESTANDAR %	
DENSIDAD MAXIMA (g/cm ³)	
% DE COMPACTACION T - 99	

TIEMPO	ALTURA DE AGUA (in)	CUADAL ENTRADA			CAUDAL SALIDA m/s	TURBIEDAD DESDE EL LADO						COMPLEMENTAMENTE CLARO DESE ARRIBA	OBSERVACIONES
		ml	MIN	SEG.		MUY TURBIO	TURBIO	MODERADAMENTE TURBIO	PARCIALMENTE TURBIO	APENAS TURBIO	COMPLEMENTAMENTE CLARO		
5 min	2	10											De 1 a 1,4 ml/s FIN
		10											D1
		25											Altamente dispersivo
		50											Menor 1 ml/s
5 min													De 1 a 1,3 ml/s FIN
													D2
													dispersivo
5 min	7												De 0,4 a 0,8 ml/s
													De 1,4 a 2,7 ml/s FIN
													ND3
5 min	15												Moderado a Poco dispersivo
													De 0,8 a 1,4 ml/s
													De 1,8 a 3,2 ml/s FIN
5 min	40												ND3
													Poco dispersivo
													De 1 a 1,8 ml/s
5 min													Mayor a 3 ml/s FIN
													ND2
													ND1

RESULTADO DEL ENSAYO:

Figura 3.2 Formato para recolección de datos del ensayo de "Pinhole" (ASTM, 1998).



Tabla 3.2 Criterio A y B de Evaluación para los resultados del ensayo de “Pinhole” (ASTM, 1998).

Grado de dispersión	Carga Hidráulica, mm	Tiempo del ensayo, min	Caudal final, mL/s	Turbiedad del caudal al final del ensayo		Tamaño del agujero final, mm
				de un lado	de arriba	
CRITERIO A						
D1	50	5	1.0 - 1.4	Turbio	Muy turbio	≥2.0
D2	50	10	1.0 - 1.4	Moderadamente turbio	Turbio	>1.5
ND4	50	10	0.8 - 1.0	Ligeramente turbio	Moderadamente turbio	≤1.5
ND3	180	5	1.4 - 2.7	Partículas apenas visibles	Ligeramente turbio	≥1.5
	380	5	1.8 - 3.2			
ND2	1020	5	>3.0	Claro	Partículas apenas visibles	<1.5
ND1	1020	5	≤3.0	Perfectamente claro	Perfectamente claro	1.0
CRITERIO B						
D	50	10		Ligeramente turbio a turbio	Muy turbio a moderadamente turbio	≥1.5
SD	180 – 380	5		Partículas apenas visibles	Ligeramente turbio	≥1.5
ND	380	5		Claro	Partículas apenas visibles a claro	<1.5

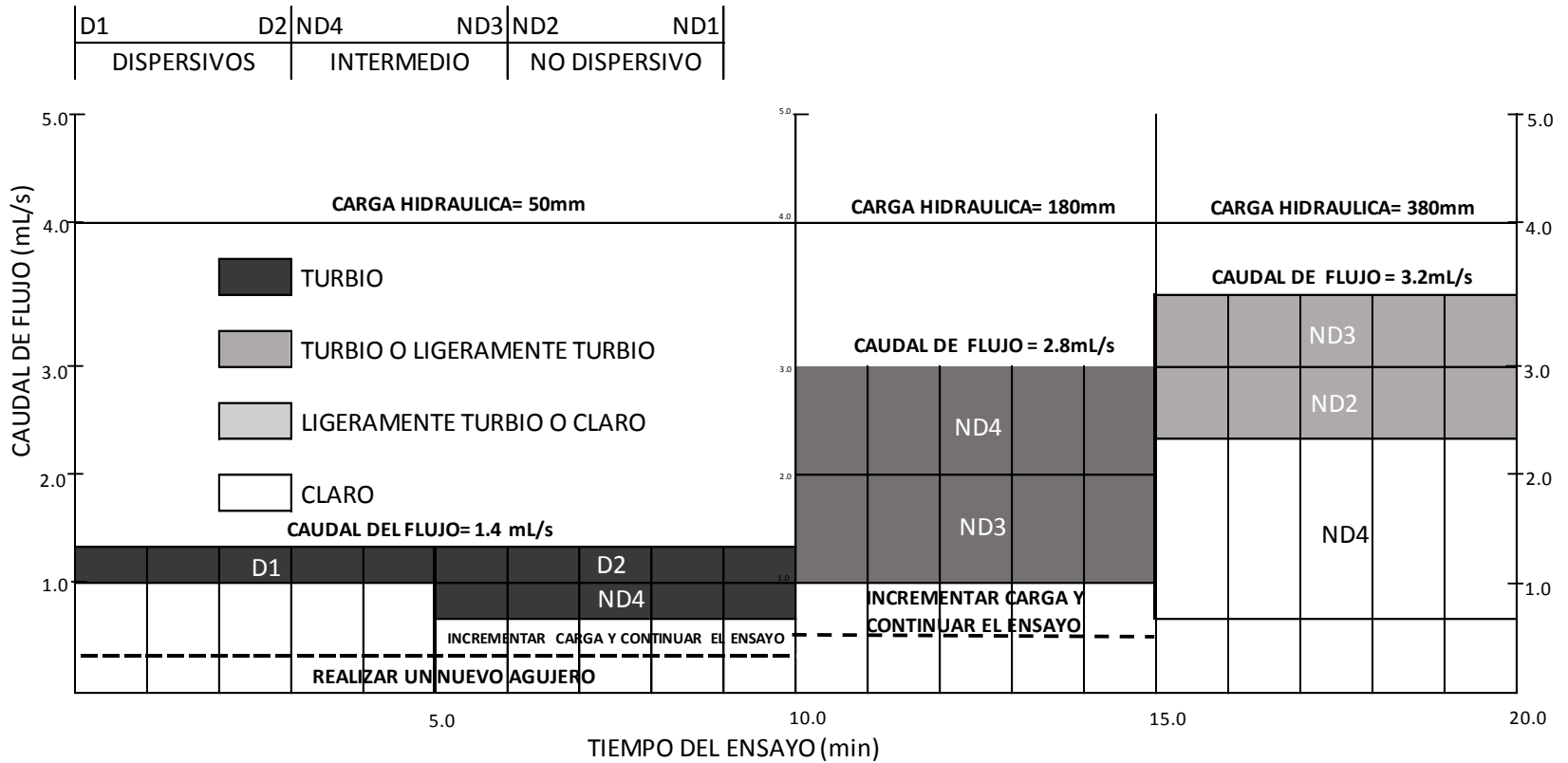


Figura 3.3 Clasificación para el Criterio C del ensayo de “Pinhole” (ASTM, 1998).



4 CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Resultados del ensayo del Total de Sales Disueltas: Porciento de Sodio

Los resultados del análisis del agua de poros de las mezclas del material de préstamo para la construcción de la presa Chojampe 2 se presentan en la siguiente Tabla 4.1 y el las Figuras 4.1, 4.2 y 4.3.

Tabla 4.1 Resultados del análisis químico del agua de poros de las mezclas del material de préstamo para la construcción de la presa Chojampe 2.

PARAMETROS	UNIDADES	MEZCLAS		
		AMARILLAS LL < 70%	ROJAS 70% ≤ LL ≤ 90%	VERDES 90% < LL ≤ 110%
PARAMETROS FISICOS				
Conductividad	us/cm*	138.0	56.9	52.9
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	91.1	37.6	34.9
PARAMETROS QUIMICOS				
Ca ⁺⁺	meq/L	0.26	0.17	0.25
Mg ⁺⁺	meq/L	0.74	0.14	0.07
K ⁺	meq/L	0.13	0.05	0.05
Na ⁺	meq/L	1.17	0.13	0.13
TSD (Total de Sales Disueltas)	meq/L	2.30	0.49	0.50
Ps (Porciento de Sodio)	%	50.87	26.53	26.00

*us/cm = microsiemens por centímetro

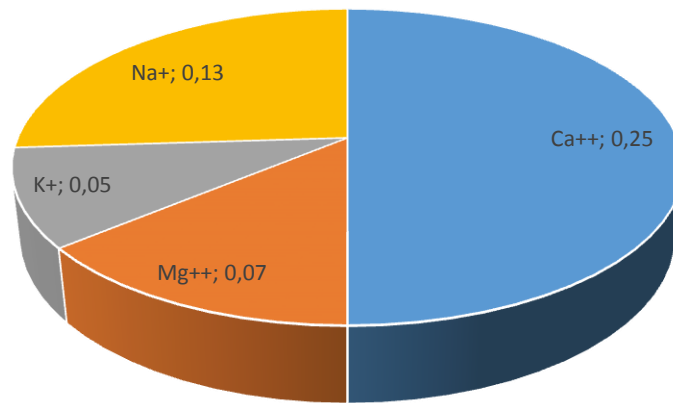


Figura 4.1 Contenido de sales disueltas en meq/L en las mezclas de color verde.

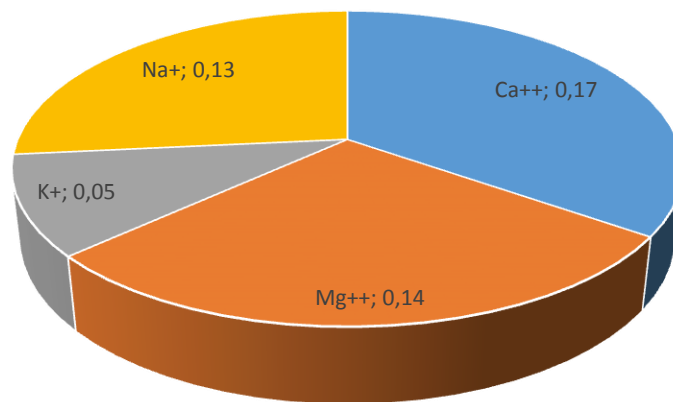


Figura 4.2 Contenido de sales disueltas en meq/L en las mezclas de color rojo.

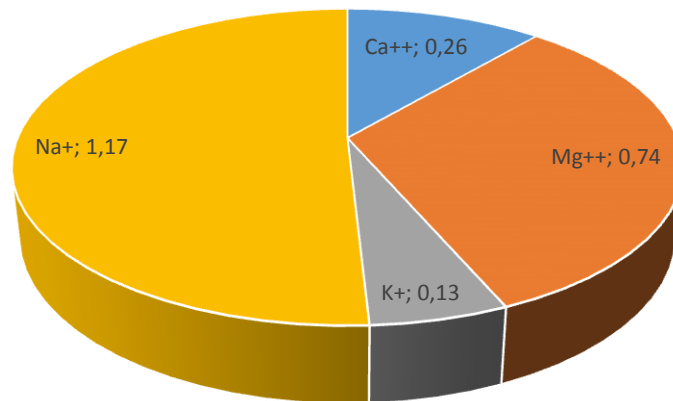


Figura 4.3 Contenido de sales disueltas en meq/L en las mezclas de color amarillo.

Como se puede observar en las Figuras 4.1, 4.2 y 4.3, las mezclas de color verde están compuestas en su mayoría por cationes de calcio, además de un alto porcentaje de cationes de sodio; las mezclas de color rojo están compuestas mayoritariamente por cationes de calcio, además de un porcentaje equitativo entre cationes de sodio y magnesio; finalmente, las mezclas de color amarillo están compuestas en su mayoría por cationes de sodio, seguido de un alto porcentaje de cationes de magnesio.

Los valores obtenidos, en las tres muestras, del Total de Sales Disueltas (TSD) y el Porcentaje de Sodio se plantean en la Figura 4.4, resultando que las muestras de color rojo y verde se encuentran en la Zona B, por lo que se clasifican estos suelos como **NO DISPERSIVOS**, mientras que las muestras de color amarillo se encuentran en la Zona C, de transición que significa que tienen un ligero o moderado riesgo de ser dispersivas.

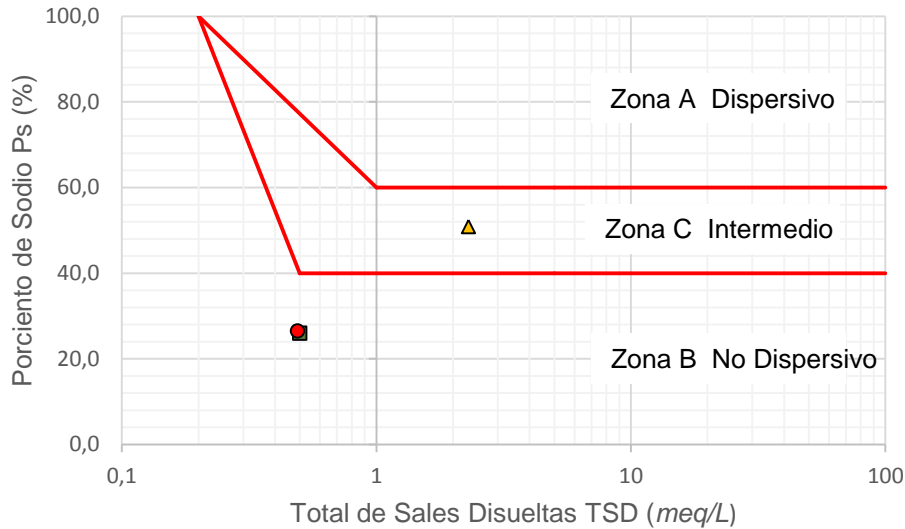


Figura 4.4 Carta comparativa entre Total de Sales Disueltas (TSD) y Porcentaje de Sodio (P_s).

4.2 Resultados del ensayo de “Pinhole”

Las condiciones previas para el ensayo se muestran en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2 Porcentaje del grado de compactación de las muestras antes del ensayo de “Pinhole”.

PARAMETROS DE PROCTOR ESTANDAR	UNIDADES	MEZCLAS			
		AMARILLAS	ROJAS	VERDES	AMARILLAS + VERDES
		LL < 70%	70% ≤ LL ≤ 90%	90% < LL ≤ 110%	
Densidad Seca Máxima	gr/cm ³	1.190	1.132	1.088	1.150
Humedad de la muestra	%	39.31	38.73	47.25	43.61
% de compactación	%	99	93	98	99

Según la norma ASTM D 4647 del ensayo de “Pinhole”, el porcentaje de compactación sugerido para realizar dicho ensayo, debe ser mayor o igual al 95% del valor de “Densidad Seca Máxima” del Proctor Estándar (T-99).

Los resultados del ensayo de “Pinhole” para la identificación de suelos dispersivos de la presa Chojampe 2 se presentan en la Tabla 4.3.



Tabla 4.3 Resultados del ensayo de “Pinhole” en el material de préstamo de la presa Chojampe 2.

	MEZCLAS			
	AMARILLAS	ROJAS	VERDES	AMARILLAS + VERDES
	LL < 70%	70% ≤ LL ≤ 90%	90% < LL ≤ 110%	
Grado de Dispersión según ASTM D 4647	ND1 - Suelo No Dispersivo	ND1 - Suelo No Dispersivo	ND1 - Suelo No Dispersivo	ND1 - Suelo No Dispersivo

Los parámetros en los que se basa el Criterio A para la clasificación de los suelos mediante el ensayo de “Pinhole” fueron similares para las cuatro muestras ensayadas de la presa Chojampe 2: la tasa de flujo que pasó por las muestras no presentó incremento significativo (0.3 a 2.7 mL/s); la carga hidráulica aplicada a todas las muestras fue la máxima que establece este ensayo (1020 mm); el efluente de salida a través de las muestras fue perfectamente claro y el tamaño del agujero, después de finalizar el ensayo, no presentó alteración. Aun cuando el grado de compactación de la muestra de las mezclas de color rojo fue menor al sugerido por la norma ASTM D 4647 (93%), los resultados obtenidos del grado de dispersión fueron los mismos (ND1), por lo que se podría afirmar que dicho parámetro no tuvo incidencia en el suelo ensayado.

La comparación entre los métodos de identificación de arcillas dispersivas: Total de Sales Disueltas en el agua de poros y el ensayo de Pinhole, mostró coincidencia en las muestras de mezclas rojas y verdes, aunque en la muestra de mezclas amarillas presentó una ligera discrepancia, como se muestra en la Figura 4.4.

Los resultados de los ensayos de “Pinhole” para la identificación de arcillas dispersivas para materiales de préstamo para la construcción de otras presas pertenecientes al Proyecto PACALORI se presentan en la Tabla 4.4.



Tabla 4.4 Parámetros de compactación y grado de dispersión del material de préstamo para la construcción de otras presas pertenecientes al Proyecto PACALORI.

PRESAS	PARAMETROS	UNIDADES	MEZCLAS			
			AMARILLAS	ROJAS	VERDES	AMARILLAS + VERDES
			LL < 70%	70% ≤ LL ≤ 90%	90% < LL ≤ 110%	
LA ANGOSTURA	Densidad Seca Máxima	gr/cm ³		1.26		
	Humedad de la muestra	%		32.01		
	% de compactación	%		95		
	Grado de dispersión			ND1		
AGUACATAL	Densidad Seca Máxima	gr/cm ³		1.086		
	Humedad de la muestra	%		40.34		
	% de compactación	%		93		
	Grado de dispersión			ND1		
CHOJAMPE	Densidad Seca Máxima	gr/cm ³		1.205		
	Humedad de la muestra	%		41.32		
	% de compactación	%		97		
	Grado de dispersión			ND1		



ESTERO LECHUGAL	Densidad Seca Máxima	gr/cm ³	1.299	1.206
	Humedad de la muestra	%	36.4	39.15
	% de compactación	%	100	97
	Grado de dispersión		ND1	ND1
LECHUGAL 2	Densidad Seca Máxima	gr/cm ³		1.222
	Humedad de la muestra	%		37.48
	% de compactación	%		96
	Grado de dispersión			ND1
PUEBLO VIEJO	Densidad Seca Máxima	gr/cm ³	1.251	1.047
	Humedad de la muestra	%	39.66	44.77
	% de compactación	%	99	94
	Grado de dispersión		ND1	ND1



5 CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como se conoce de la literatura técnica, para la identificación de las “arcillas dispersivas” existen los siguientes ensayos de laboratorio:

- Ensayo de “Crumb”
- Ensayo de Doble Hidrómetro
- Ensayo del contenido Total de Sales Disueltas: Porcentaje de Sodio
- Ensayo de “Pinhole”
- Ecuaciones Empíricas

De todos estos ensayos, se ha demostrado por instituciones como el United States Bureau of Reclamation (USBR) que los más confiables son el ensayo de “Pinhole” y el ensayo de Total de Sales Disueltas (TSD). Fue por ello que en el objetivo principal de este trabajo, nos planteamos la realización de estos ensayos para identificar la existencia o no de las “arcillas dispersivas” en los materiales de préstamo para la construcción de las presas de tierra homogéneas (13) del proyecto: Plan de Aprovechamiento y Control de Agua de la Provincia de Los Ríos (PACALORI) y en especial el material de préstamo investigado para construcción de la presa **Chojampe 2**.

Los resultados de los ensayos físicos y mecánicos, incluyendo el “Pinhole” y el Total de Sales Disueltas del material de préstamo **Chojampe 2** se muestra en las Tablas 3.1; 4.1; 4.2 y 4.3 y en las Figuras 4.1; 4.2; 4.3 y 4.4. Como se observa en las mismas los materiales de préstamo de la presa **Chojampe 2**, están constituidos por suelos limo arcillosos, clasificados por el sistema SUCS, como MH, y por el AASHTO, como A-7-5, aunque los mismos presentan altos valores del Límite Líquido (66% y 97%) y del Límite Plástico (38% y 49%), que indican alta plasticidad y alta compresibilidad, propia de las “arcillas”, por lo que la clasificación dada (MH) no refleja fielmente el contenido de “arcilla” que poseen dichos suelos.

Por la alta diferencia en el Límite Líquido (propiedad que puede influir en la identificación de las “arcillas dispersivas”, según las Ecuaciones Empíricas) se dividen

las muestras en tres grupos: las amarillas, con $LL < 70\%$; las rojas, con $70\% \leq LL \leq 90\%$ y las verdes, con $90\% < LL < 110\%$. Las muestras correspondientes a cada grupo fueron mezcladas y ensayadas y cuyos resultados se muestran en las Tablas y Figuras mencionadas.

5.1 Conclusiones

Como resultado de este trabajo se puede concluir:

- Los resultados obtenidos en el ensayo de “Pinhole” muestra que el material de préstamo con el que se construirá la presa de tierra homogénea **Chojampe 2** no son dispersivos. En las cuatro muestras ensayadas con el “Pinhole”, resultó el grado de dispersión ND1, que pertenece a un suelo no dispersivo.

En la Tabla 4.4 se observan los resultados del ensayo de “Pinhole” realizado a materiales de préstamo (muy similares) de otras seis presas de tierra homogénea del proyecto PACALORI, que muestran grado de dispersión ND1, o sea que los suelos de estas presas son no dispersivos. Lo anterior nos permite pronosticar que en las 13 presas de tierra homogénea del proyecto PACALORI no existen suelos en los que se presenten fallas catastróficas por sifonamiento en la cortina de las mismas.

- Los resultados obtenidos con el ensayo de Total de Sales Disueltas (TSD) realizados a tres muestras (amarillas, rojas y verdes) del material de préstamo con el que se construirá la presa de tierra homogénea **Chojampe 2**, que se observa en la Tabla 4.1 y en la Figura 4.4 muestran que los suelos ensayados (mezclas rojas y verdes) clasifican en la Zona B (No dispersivos) y la muestra ensayada (mezcla amarilla) clasifica en la Zona C (Intermedio).

Como se mencionó, este método de identificación de “arcillas dispersivas”, aunque no es completamente confiable, sus resultados corroboran la conclusión dada con la aplicación del método de “Pinhole”.

- La utilización de las Ecuaciones Empíricas existentes en la Literatura Técnica requieren de parámetros físicos y químicos (límite líquido, porcentaje de partículas de arcilla, pH y porcentaje de sodio en el agua de poros), que



demandan más tiempo y costos comparados con el ensayo de Pinhole. Por otro lado, no existen en la literatura revisada investigaciones que permitan concluir sobre la aplicación de estos parámetros, físicos y químicos, en la identificación de “arcillas dispersivas”, como si se tiene de la aplicación del ensayo de “Pinhole” en el mundo, el mismo que está normado por la ASTM por el número D 4647 y aceptado por instituciones similares de muchos países.

5.2 Recomendaciones

- Aplicar el ensayo de “Pinhole” en los materiales de préstamo, con los que se construirán el resto de las presas (12) de tierra homogénea del proyecto PACALORI, a fin de aseverar que en ellas no existen “arcillas dispersivas” y, por ende, concluir que en las mismas no se producirá el fallo catastrófico por sifonamiento a través de la cortina de dichas presas.



6 BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

Armas Novoa, R., 2002, Criterios para diseñar presas de tierra: prioridad y secuencia, 12.

Armas Novoa, R., Echemendía Martínez, A., & García Donéstevez, C., 2000, Causa de falla por sifonamiento de la presa Las Cabrerías Caso histórico, La Habana.

ASTM, 1998, Standard Test Method for Identification and Classification of Dispersive Clay Soils by the Pinhole Test, 11.

Fan, H. & Kong, L., 2013, Empirical equation for evaluating the dispersivity of cohesive soil, 989–994.

González Haramboure, Y. & Armas Novoa, R., 2008, Identificación y Estabilización de Suelos Dispersivos: Estado del Arte, 9.

Hernández, J.L. & Gómez, J.A., 2012, *Estudio y Caracterización de Suelos Dispersivos*, Universidad Industrial de Santander, 74.

Knodel, P.C., 1991, *Characteristics and problems of dispersive clay soils*, 18.

Marsal, R.J., Resendiz Nuñez, D., & Mendoza, E., 1975, *Presas de Tierra y Enrocamiento*.



7 ANEXOS



7.1 Anexo A: Ensayos Químicos

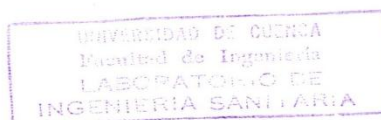
FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO DE SANITARIA

RESULTADOS DE ANALISIS QUIMICO DE AGUA	
Muestra procedencia:	Solución acuosa de arcillas
Tipo de fuente:	05 de Agosto de 2015
Fecha de toma:	05 de Agosto de 2015
Fecha de Análisis:	Sr. Eduardo Cabrera
Análisis solicitado por:	



PARAMETROS	MUESTRA # 1	MUESTRA # 2	MUESTRA # 3	UNIDAD	OBSERVACIONES
PARÁMETROS FÍSICOS					
CONDUCTIVIDAD	52,9	56,9	138,0	microsiemens/ cm	
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	34,9	37,6	91,1	mg/l	por cálculo
PARÁMETROS QUÍMICOS					
Ca ⁺⁺	0,25	0,17	0,26	mEq/l	
Mg ⁺⁺	0,07	0,14	0,74	mEq/l	
K ⁺	0,05	0,05	0,13	mEq/l	
Na ⁺	0,13	0,13	1,17	mEq/l	

Responsable:

Dra. Guillermina Pauta C.
QUIMICO-ANALISTA

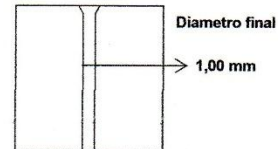


7.2 Anexo B: Ensayos de "Pinhole"

	PROYECTO: PACALORI PRESA : CHOJAMPE 2	
UBICACIÓN: CHOJAMPE 2	HOJA 1 DE 1	
MUESTRAS AMARILLAS 50 % ≤ L.L ≤ 70 %	PROFUNDIDAD: 0,00m - 6,00m	
FECHA: 10 DE SEPTIEMBRE DEL 2015		

ENSAYO PINHOLE NORMA: ASTM D 4647

PESO MOLDE + SUELO HUMEDO (g)	609,7
PESO MOLDE (g)	549,7
PESO SUELO HUMEDO (g)	60,0
DIAMETRO DEL MOLDE (cm)	3,457
ALTURA INICIAL (cm)	6,991
ALTURA FINAL (cm)	3,137
ALTURA DE LA MUESTRA (cm)	3,854
VOLUMEN DE LA MUESTRA (cm ³)	36,183
HUMEDAD DE LA MUESTRA %	39,31%
DENSIDAD SECA (g/cm ³)	1,190



TARRO #	56	238
PESO DEL TARRO + M. HUMED. (g)	77,49	78,5
PESO DEL TARRO + MAT. SECA (g)	69,12	70,64
PESO DEL TARRO (g)	47,83	50,64
%HUMEDAD	39,31%	39,30%
PROMEDIO	39,31%	



HUMEDAD OPT. PROCTOR ESTANDAR %	39,44%
DENSIDAD MAXIMA (g/cm ³)	1,206
% DE COMPACTACION T - 99	99%

TIEMPO	ALTURA DE AGUA (in)	CAUDAL ENTRADA			CAUDAL SALIDA ml/s	TURBIEDAD DESDE EL LADO						COMPLETAMENTE CLARO DESDE ARRIBA	OBSERVACIONES
		ml	MIN	SEG.		MUY TURBIO	TURBIO	MODERADAMENTE TURBIO	PARCIALMENTE TURBIO	APENAS TURBIO	COMPLETAMENTE CLARO		
5 min	2	10		32,2	0,3								De 1 a 1,4 ml/s FIN
		10		34,5	0,3								D1
		25	1	31,1	0,3								Altamente dispersivo
5 min	3	50	3	1,2	0,3								Menor 1 ml/s
													De 1 a 1,3 ml/s FIN
													D2 dispersivo
5 min	7	10		16,1	0,6								De 0,4 a 0,8 ml/s
		10		16,2	0,6								De 1,4 a 2,7 ml/s FIN
		25		39,0	0,6								ND3
		25		39,4	0,6								Moderado a Poco dispersivo
		50	1	18,56	0,6								
5 min	15	10		8,19	1,2								De 0,8 a 1,4 ml/s
		25		20,41	1,2								De 1,8 a 3,2 ml/s FIN
		50		42,56	1,2								ND3
		25		20,43	1,2								Poco dispersivo
5 min	40	10		8,44	1,2								De 1 a 1,8 ml/s
		10		4	2,5								Mayor a 3 ml/s FIN
		25		10,84	2,3								ND2
		50		22,25	2,2								
		25		10,78	2,3								ND1
		50		22,55	2,2								

RESULTADO DEL ENSAYO SUELO NO DISPERSIVO ND1

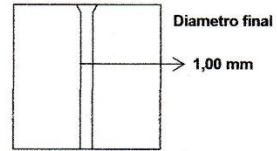

 ING. ROLANDO ARMAS NOVOA



	PROYECTO: PACALORI PRESA : CHOJAMPE 2	
UBICACIÓN: CHOJAMPE 2	HOJA 1 DE 1	
MUESTRAS ROJAS 70 % ≤ L.L ≤ 90 %	PROFUNDIDAD: 0,00m - 6,00m	
FECHA: 10 DE SEPTIEMBRE DEL 2015		

ENSAYO PINHOLE NORMA: ASTM D 4647

PESO MOLDE + SUELO HUMEDO (g)	612,4
PESO MOLDE (g)	552,2
PESO SUELO HUMEDO (g)	60,2
DIAMETRO DEL MOLDE (cm)	3,457
ALTURA INICIAL (cm)	6,638
ALTURA FINAL (cm)	2,555
ALTURA DE LA MUESTRA (cm)	4,083
VOLUMEN DE LA MUESTRA (cm ³)	38,333
HUMEDAD DE LA MUESTRA %	38,73%
DENSIDAD SECA (g/cm ³)	1,132



TARRO #	98	1
PESO DEL TARRO + M. HUMED. (g)	80,1	82,15
PESO DEL TARRO + MAT.SECA (g)	70,85	73,37
PESO DEL TARRO (g)	47,04	50,63
%HUMEDAD	38,85%	38,61%
PROMEDIO	38,73%	

HUMEDAD OPT. PROCTOR ESTANDAR %	38,83%
DENSIDAD MAXIMA (g/cm ³)	1,213
% DE COMPACTACION T - 99	93%



TIEMPO	ALTURA DE AGUA (in)	CAUDAL ENTRADA			CAUDAL SALIDA ml/s	TURBIEDAD DESDE EL LADO					COMPLETAMENTE CLARO DESDE ARRIBA	OBSERVACIONES	
		ml	MIN	SEG.		MUY TURBIO	TURBIO	MODERADAMENTE TURBIO	PARCIALMENTE TURBIO	APENAS TURBIO			COMPLETAMENTE CLARO
5 min	2	10		28,7	0,3								De 1 a 1,4 ml/s D1 Altamente dispersivo
		10		30,7	0,3								Menor 1 ml/s
		25	1	11,2	0,4								De 1 a 1,3 ml/s D2 dispersivo
		50	2	20,8	0,4								De 0,4 a 0,8 ml/s
5 min		50	2	16,9	0,4							De 1,4 a 2,7 ml/s ND3 Moderado a Poco dispersivo	
5 min	7	10		14,9	0,7								De 0,8 a 1,4 ml/s ND3 Poco dispersivo
		25		37,5	0,7								De 1 a 1,8 ml/s
		25		37,7	0,7								Mayor a 3 ml/s ND2
		50	1	17,4	0,6								ND1
5 min	15	10		15,1	0,7								
		10		7,5	1,3								
		25		18,31	1,4								
		25		18,16	1,4								
5 min	40	50		37,66	1,3								
		10		7,65	1,3								
		10		3,82	2,6								
		25		9,37	2,7								
5 min	40	50		19,03	2,6								
		25		9,31	2,7								
		50		19,15	2,6								

RESULTADO DEL ENSAYO SUELO NO DISPERSIVO ND1

Roll

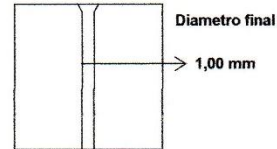
ING. ROLANDO ARMAS NOVOA



	PROYECTO: PACALORI PRESA : CHOJAMPE 2	
UBICACIÓN: CHOJAMPE 2	HOJA 1 DE 1	
MUESTRAS VERDES 90 % ≤ L.L ≤ 110 %	PROFUNDIDAD: 0,00m - 6,00m	
FECHA: 10 DE SEPTIEMBRE DEL 2015		

ENSAYO PINHOLE NORMA: ASTM D 4647

PESO MOLDE + SUELO HUMEDO (g)	608,8
PESO MOLDE (g)	550,3
PESO SUELO HUMEDO (g)	58,5
DIAMETRO DEL MOLDE (cm)	3,457
ALTURA INICIAL (cm)	6,613
ALTURA FINAL (cm)	2,723
ALTURA DE LA MUESTRA (cm)	3,890
VOLUMEN DE LA MUESTRA (cm ³)	36,521
HUMEDAD DE LA MUESTRA %	47,25%
DENSIDAD SECA (g/cm ³)	1,09



TARRO #	222	37
PESO DEL TARRO + M. HUMED. (g)	85,2	84,1
PESO DEL TARRO + MAT. SECA (g)	74,05	72,52
PESO DEL TARRO (g)	50,44	48,02
% HUMEDAD	47,23%	47,27%
PROMEDIO	47,25%	

HUMEDAD OPT. PROCTOR ESTANDAR %	47,39%
DENSIDAD MAXIMA (g/cm ³)	1,11
% DE COMPACTACION T - 99	98%

TIEMPO	ALTURA DE AGUA (m)	CAUDAL ENTRADA			CAUDAL SALIDA ml/s	TURBIEDAD DESDE EL LADO						COMPLETAMENTE CLARO DESDE ARRIBA	OBSERVACIONES	
		ml	MIN	SEG.		MUY TURBIO	TURBIO	MODERADAMENTE TURBIO	PARCIALMENTE TURBIO	APENAS TURBIO	COMPLETAMENTE CLARO			
5 min	2	10		37,8	0,3									De 1 a 1,4 ml/s FIN
		10		38,7	0,3									D1
		25	1	22,0	0,3									Altamente dispersivo
		50	2	53,6	0,3									Menor 1 ml/s
5 min	2	50	2	50,5	0,3								De 1 a 1,3 ml/s FIN	
														D2 dispersivo
5 min	7	10		17,2	0,6									De 0,4 a 0,8 ml/s
		25		40,0	0,6									De 1,4 a 2,7 ml/s FIN
		25		40,0	0,6									ND3
		50	1	20,3	0,6									Moderado a Poco dispersivo
		10		16,56	0,6									De 0,8 a 1,4 ml/s
5 min	15	10		8,93	1,1									De 1,8 a 3,2 ml/s FIN
		25		21,91	1,1									ND3
		50		44,29	1,1									Poco dispersivo
		25		21,85	1,1									
		10		9	1,1									
5 min	40	10		4,41	2,3									De 1 a 1,8 ml/s
		25		11,28	2,2									Mayor a 3 ml/s FIN
		50		22,72	2,2									ND2
		25		11,03	2,3									
		50		22,4	2,2									ND1

RESULTADO DEL ENSAYO SUELO NO DISPERSIVO ND1

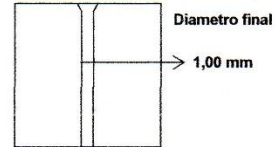

 ING. ROLANDO ARMAS NOVOA



	PROYECTO: PACALORI PRESA : CHOJAMPE 2	
UBICACIÓN: CHOJAMPE 2	HOJA 1 DE 1	
MUESTRAS AMARILLAS+VERDES 50% ≤ L.L. ≤ 70% Y 90% ≤ L.L. ≤ 110%		
FECHA: 06 DE AGOSTO DEL 2015	PROFUNDIDAD: 0,00m - 6,00m	

ENSAYO PINHOLE NORMA: ASTM D 4647

PESO MOLDE + SUELO HUMEDO (g)	610
PESO MOLDE (g)	550,4
PESO SUELO HUMEDO (g)	59,6
DIAMETRO DEL MOLDE (cm)	3,457
ALTURA INICIAL (cm)	6,891
ALTURA FINAL (cm)	3,048
ALTURA DE LA MUESTRA (cm)	3,843
VOLUMEN DE LA MUESTRA (cm ³)	36,079
HUMEDAD DE LA MUESTRA %	43,61%
DENSIDAD SECA (g/cm ³)	1,150



TARRO #	53	82
PESO DEL TARRO + M. HUMED. (g)	84,28	84,08
PESO DEL TARRO + MAT. SECA (g)	73,23	74,02
PESO DEL TARRO (g)	47,86	50,98
% HUMEDAD	43,56%	43,66%
PROMEDIO	43,61%	

HUMEDAD OPT. PROCTOR ESTANDAR %	44,00%
DENSIDAD MAXIMA (g/cm ³)	1,160
% DE COMPACTACION T - 99	99%

TIEMPO	ALTURA DE AGUA (in)	CAUDAL ENTRADA			CAUDAL SALIDA m/s	TURBIEDAD DESDE EL LADO						COMPLETAMENTE CLARO DESDE ARRIBA	OBSERVACIONES
		ml	MIN	SEG.		MUY TURBIO	TURBIO	MODERADAMENTE TURBIO	PARCIALMENTE TURBIO	APENAS TURBIO	COMPLETAMENTE CLARO		
5 min	2	10		34,8	0,3								De 1 a 1,4 ml/s D1 <i>Altamente dispersivo</i>
		10		36,4	0,3								
		25	1	29,9	0,3								
		50	3	0,6	0,3								
5 min	2	50	3	1,8	0,3								De 1 a 1,3 ml/s D2 <i>dispersivo</i> De 0,4 a 0,8 ml/s
5 min	7	10		18,8	0,5								De 1,4 a 2,7 ml/s ND3 <i>Moderado a Poco dispersivo</i>
		10		19,6	0,5								
		25		45,3	0,6								
		25		45,2	0,6								
		50	1	34	0,5								
5 min	15	10		10,78	0,9								De 0,8 a 1,4 ml/s ND3 <i>Poco dispersivo</i>
		25		26	1,0								
		25		26,56	0,9								
		50		54,78	0,9								
		50		50,1	1,0								
5 min	40	25		13,03	1,9								De 1 a 1,8 ml/s Mayor a 3 ml/s ND2 <i>FIN</i>
		50		27,47	1,8								
		25		13,2	1,9								
		50		27,16	1,8								
		10		5,47	1,8								

RESULTADO DEL ENSAYO SUELO NO DISPERSIVO ND1

Rola

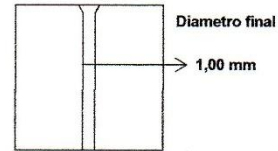
ING. ROLANDO ARMAS NOVOA



	PROYECTO: PACALORI PRESA : ANGOSTURAS	
UBICACIÓN: ANGOSTURAS	HOJA 1 DE 1	
MEZCLA	PROFUNDIDAD: 0,00m - 6,00m	
FECHA: 02 DE SEPTIEMBRE DEL 2015		

ENSAYO PINHOLE NORMA: ASTM D4647

PESO MOLDE + SUELO HUMEDO (g)	610,7
PESO MOLDE (g)	548,1
PESO SUELO HUMEDO (g)	62,6
DIAMETRO DEL MOLDE (cm)	3,457
ALTURA INICIAL (cm)	6,993
ALTURA FINAL (cm)	2,981
ALTURA DE LA MUESTRA (cm)	4,012
VOLUMEN DE LA MUESTRA (cm ³)	37,666
HUMEDAD DE LA MUESTRA %	32,01%
DENSIDAD SECA (g/cm ³)	1,26



TARRO #	233	56
PESO DEL TARRO + M. HUMED. (g)	94,23	91,43
PESO DEL TARRO + MAT.SECA (g)	83,64	80,86
PESO DEL TARRO (g)	50,57	47,83
%HUMEDAD	32,02%	32,00%
PROMEDIO	32,01%	

HUMEDAD OPT. PROCTOR ESTANDAR %	32,00%
DENSIDAD MAXIMA (g/cm ³)	1,330
% DE COMPACTACION T - 99	95%

TIEMPO	ALTURA DE AGUA (in)	CAUDAL ENTRADA			CAUDAL SALIDA ml/s	TURBIEDAD DESDE EL LADO						COMPLETAMENTE CLARO DESDE ARRIBA	OBSERVACIONES		
		ml	MIN	SEG.		MUY TURBIO	TURBIO	MODERADAMENTE TURBIO	PARCIALMENTE TURBIO	APENAS TURBIO	COMPLETAMENTE CLARO				
5 min	2	10		33,0	0,3									De 1 a 1,4 ml/s FIN	
		10		33,1	0,3									D1	
		25	1	18,4	0,3										Altamente dispersivo
Menor 1 ml/s															
5 min	2	50	2	40,1	0,3									De 1 a 1,3 ml/s FIN	
		50	2	41,6	0,3									D2	
															dispersivo
De 0,4 a 0,8 ml/s															
5 min	7	10		21,3	0,5									De 1,4 a 2,7 ml/s FIN	
		10		21,9	0,5									ND3	
		25		55,2	0,5										Moderado a Poco dispersivo
		25		55,6	0,4										
		50	1	50,4	0,5										De 0,8 a 1,4 ml/s
5 min	15	10		12,3	0,8									De 1,8 a 3,2 ml/s FIN	
		25		30,4	0,8									ND3	
		25		31,0	0,8										Poco dispersivo
		50	1	1,1	0,8										
		50	1	0,3	0,8										De 1 a 1,8 ml/s
5 min	40	25		16,1	1,6									Mayor a 3 ml/s FIN	
		25		15,9	1,6									ND2	
		50		31,7	1,6										
		50		31,9	1,6										
		10		6,4	1,6										ND1

RESULTADO DEL ENSAYO SUELO NO DISPERSIVO ND1

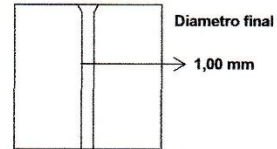
ING. ROLANDO ARMAS NOVOA



	PROYECTO: PACALORI PRESA : AGUACATAL	
UBICACIÓN: AGUACATAL	HOJA 1 DE 1	
MUESTRAS ROJAS 70 % ≤ L.L ≤ 90 %	PROFUNDIDAD: 0,00m - 6,00m	
FECHA: 01 DE AGOSTO DEL 2015		

ENSAYO PINHOLE NORMA: ASTM D 4647

PESO MOLDE + SUELO HUMEDO (g)	609,2
PESO MOLDE (g)	550,2
PESO SUELO HUMEDO (g)	59
DIAMETRO DEL MOLDE (cm)	3,457
ALTURA INICIAL (cm)	7,024
ALTURA FINAL (cm)	2,900
ALTURA DE LA MUESTRA (cm)	4,124
VOLUMEN DE LA MUESTRA (cm ³)	38,718
HUMEDAD DE LA MUESTRA %	40,34%
DENSIDAD SECA (g/cm ³)	1,086



TARRO #	34	17
PESO DEL TARRO + M. HUMED. (g)	70,67	69,33
PESO DEL TARRO + MAT.SECA (g)	64,95	63,77
PESO DEL TARRO (g)	50,76	50,00
%HUMEDAD	40,31%	40,38%
PROMEDIO	40,34%	

HUMEDAD OPT. PROCTOR ESTANDAR %	41,81%
DENSIDAD MAXIMA (g/cm ³)	1,167
% DE COMPACTACION T - 99	93%

TIEMPO	ALTURA DE AGUA (in)	CAUDAL ENTRADA			CAUDAL SALIDA ml/s	TURBIEDAD DESDE EL LADO						COMPLETAMENTE CLARO DESDE ARRIBA	OBSERVACIONES	
		ml	MIN	SEG.		MUY TURBIO	TURBIO	MODERADAMENTE TURBIO	PARCIALMENTE TURBIO	APENAS TURBIO	COMPLETAMENTE CLARO			
5 min	2	10		21,0	0,5								De 1 a 1,4 ml/s D1 <i>Altamente dispersivo</i>	
		10		22,8	0,4									
		25		58,3	0,4									Menor 1 ml/s
		50	2	7,6	0,4									
5 min		50	2	8,0	0,4								De 1 a 1,3 ml/s D2 <i>dispersivo</i>	
5 min	7	25		31,4	0,8								De 0,4 a 0,8 ml/s De 1,4 a 2,7 ml/s ND3 <i>Moderado a Poco dispersivo</i>	
		10		12,8	0,8									
		25		31,6	0,8									
		25		32,5	0,8									
5 min	15	25		18,62	1,3								De 0,8 a 1,4 ml/s De 1,8 a 3,2 ml/s ND3 <i>Poco dispersivo</i>	
		25		18,4	1,4									
		25		18,25	1,4									
		25		18,35	1,4									
		25		18,35	1,4									
5 min	40	25		9,12	2,7								De 1 a 1,8 ml/s Mayor a 3 ml/s ND2 ND1	
		50		19,31	2,6									
		25		9,56	2,6									
		25		9,47	2,6									
		50		18,59	2,7									

RESULTADO DEL ENSAYO SUELO NO DISPERSIVO ND1

RAA

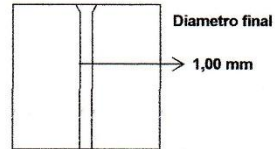
ING. ROLANDO ARMAS NOVOA



	PROYECTO: PACALORI PRESA : CHOJAMPE	
UBICACIÓN: CHOJAMPE	HOJA 1 DE 1	
MUESTRAS ROJAS 70% ≤ L.L. ≤ 90%		
FECHA: 11 DE AGOSTO DEL 2015	PROFUNDIDAD: 0,00m - 6,00m	

ENSAYO PINHOLE NORMA: ASTM D 4647

PESO MOLDE + SUELO HUMEDO (g)	614,7
PESO MOLDE (g)	552
PESO SUELO HUMEDO (g)	62,7
DIAMETRO DEL MOLDE (cm)	3,457
ALTURA INICIAL (cm)	6,662
ALTURA FINAL (cm)	2,739
ALTURA DE LA MUESTRA (cm)	3,923
VOLUMEN DE LA MUESTRA (cm ³)	36,830
HUMEDAD DE LA MUESTRA %	41,32%
DENSIDAD SECA (g/cm ³)	1,205



TARRO #	214	94
PESO DEL TARRO + M. HUMED. (g)	85,36	89,76
PESO DEL TARRO + MAT. SECA (g)	75,18	78
PESO DEL TARRO (g)	50,57	49,51
% HUMEDAD	41,37%	41,28%
PROMEDIO	41,32%	

HUMEDAD OPT. PROCTOR ESTANDAR %	42,00%
DENSIDAD MAXIMA (g/cm ³)	1,237
% DE COMPACTACION T - 99	97%



TIEMPO	ALTURA DE AGUA (in)	CAUDAL ENTRADA			CAUDAL SALIDA ml/s	TURBIEDAD DESDE EL LADO						COMPLETAMENTE CLARO DESDE ARRIBA	OBSERVACIONES
		ml	MIN	SEG.		MUY TURBIO	TURBIO	MODERADAMENTE TURBIO	PARCIALMENTE TURBIO	APENAS TURBIO	COMPLETAMENTE CLARO		
5 min	2	10		50,6	0,2								De 1 a 1,4 ml/s FIN
		10		48,3	0,2								D1
		25	2	22,8	0,2								Altamente dispersivo
		50											Menor 1 ml/s
5 min	2	50	4	19,1	0,2								De 1 a 1,3 ml/s FIN
													D2 dispersivo
5 min	7	10		18,7	0,5								De 0,4 a 0,8 ml/s
		10		19,1	0,5								De 1,4 a 2,7 ml/s FIN
		25		47,5	0,5								ND3
		25		46,6	0,5								Moderado a Poco dispersivo
		50	1	35,19	0,5								De 0,8 a 1,4 ml/s
5 min	15	10		11,35	0,9								De 1,8 a 3,2 ml/s FIN
		25		27,65	0,9								ND3
		50		56,56	0,9								Poco dispersivo
		25		27,37	0,9								De 1 a 1,8 ml/s
		50		56,5	0,9								Mayor a 3 ml/s FIN
5 min	40	10		6,38	1,6								ND2
		25		14,84	1,7								
		50		30,85	1,6								
		50		30,91	1,6								
		50		30,84	1,6								ND1

RESULTADO DEL ENSAYO SUELO NO DISPERSIVO ND1

Rolando

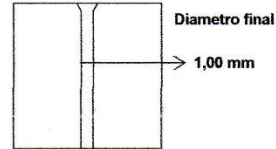
ING. ROLANDO ARMAS NOVOA



	PROYECTO: PACALORI PRESA : ESTERO LECHUGAL	
UBICACIÓN: ESTERO LECHUGAL	HOJA 1 DE 1	
MUESTRAS AMARILLAS 50 % ≤ L.L ≤ 70 %	PROFUNDIDAD: 0,00m - 6,00m	
FECHA: 29 DE JULIO DEL 2015		

ENSAYO PINHOLE NORMA: ASTM D 4647

PESO MOLDE + SUELO HUMEDO (g)	612,7
PESO MOLDE (g)	549,6
PESO SUELO HUMEDO (g)	63,2
DIAMETRO DEL MOLDE (cm)	3,457
ALTURA INICIAL (cm)	6,980
ALTURA FINAL (cm)	3,180
ALTURA DE LA MUESTRA (cm)	3,800
VOLUMEN DE LA MUESTRA (cm ³)	35,676
HUMEDAD DE LA MUESTRA %	36,40%
DENSIDAD SECA (g/cm ³)	1,299



TARRO #	85	40
PESO DEL TARRO + M. HUMED. (g)	72,92	73,85
PESO DEL TARRO + MAT. SECA (g)	66,25	67,53
PESO DEL TARRO (g)	47,92	50,17
%HUMEDAD	36,39%	36,41%
PROMEDIO	36,40%	

HUMEDAD OPT. PROCTOR ESTANDAR %	36,60%
DENSIDAD MAXIMA (g/cm ³)	1,297
% DE COMPACTACION T - 99	100%

TIEMPO	ALTURA DE AGUA (m)	CAUDAL ENTRADA			CAUDAL SALIDA ml/s	TURBIEDAD DESDE EL LADO						COMPLETAMENTE CLARO DESDE ARRIBA	OBSERVACIONES		
		ml	MIN	SEG.		MUY TURBIO	TURBIO	MODERADAMENTE TURBIO	PARCIALMENTE TURBIO	APENAS TURBIO	COMPLETAMENTE CLARO				
5 min	2	10		28,2	0,4									De 1 a 1,4 ml/s FIN	
		10		28,7	0,3									D1	
		25	1	19,2	0,3									Altamente dispersivo	
		50	3	12,8	0,3									Menor 1 ml/s	
5 min	2	50	3	10,0	0,3									De 1 a 1,3 ml/s FIN	
														D2 dispersivo	
5 min	7	10		22,8	0,4									De 0,4 a 0,8 ml/s	
		25	1	8,4	0,4									De 1,4 a 2,7 ml/s FIN	
		25	1	10,4	0,4									ND3	
		50	2	40,2	0,3									Moderado a Poco dispersivo	
		10		37,35	0,3										De 0,8 a 1,4 ml/s
5 min	15	25		26,69	0,9									De 1,8 a 3,2 ml/s FIN	
		25		35,47	0,7									ND3	
		25		37,6	0,7										Poco dispersivo
		50	1	21,25	0,6										De 1 a 1,8 ml/s
		10		17,82	0,6										Mayor a 3 ml/s FIN
5 min	40	25		13,75	1,8									ND2	
		50		27,75	1,8										ND1
		25		13,07	1,9										
		50		27,93	1,8										
		25		13,78	1,8										

RESULTADO DEL ENSAYO SUELO NO DISPERSIVO ND1

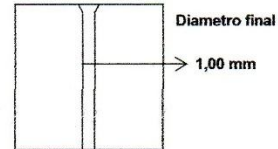

 ING. ROLANDO ARMAS NOVOA



	PROYECTO: PACALORI PRESA : ESTERO LECHUGAL	
UBICACIÓN: ESTERO LECHUGAL	HOJA 1 DE 1	
MUESTRAS ROJAS 70 % ≤ L.L ≤ 90 %	PROFUNDIDAD: 0,00m - 6,00m	
FECHA: 30 DE JULIO DEL 2015		

ENSAYO PINHOLE NORMA: ASTM D4647

PESO MOLDE + SUELO HUMEDO (g)	615,9
PESO MOLDE (g)	554,1
PESO SUELO HUMEDO (g)	61,8
DIAMETRO DEL MOLDE (cm)	3,460
ALTURA INICIAL (cm)	6,668
ALTURA FINAL (cm)	2,751
ALTURA DE LA MUESTRA (cm)	3,917
VOLUMEN DE LA MUESTRA (cm ³)	36,829
HUMEDAD DE LA MUESTRA %	39,15%
DENSIDAD SECA (g/cm ³)	1,206



TARRO #	60	49
PESO DEL TARRO + M. HUMED. (g)	78,75	82,31
PESO DEL TARRO + MAT. SECA (g)	70,56	73,11
PESO DEL TARRO (g)	49,64	49,61
%HUMEDAD	39,15%	39,15%
PROMEDIO	39,15%	

HUMEDAD OPT. PROCTOR ESTANDAR %	39,20%
DENSIDAD MAXIMA (g/cm ³)	1,244
% DE COMPACTACION T - 99	97%

TIEMPO	ALTURA DE AGUA (in)	CAUDAL ENTRADA			CAUDAL SALIDA ml/s	TURBIEDAD DESDE EL LADO					COMPLETAMENTE CLARO DESDE ARRIBA	OBSERVACIONES	
		ml	MIN	SEG.		MUY TURBIO	TURBIO	MODERADAMENTE TURBIO	PARCIALMENTE TURBIO	APENAS TURBIO			COMPLETAMENTE CLARO
5 min	2	10		46,1	0,2								De 1 a 1,4 ml/s FIN
		10		46,1	0,2								D1
		25	2	10,8	0,2								Altamente dispersivo
		50	4	1,7	0,2								Menor 1 ml/s
5 min	2	50	4	2,6	0,2								De 1 a 1,3 ml/s FIN
													D2
5 min	7												dispersivo
													De 0,4 a 0,8 ml/s
		10		27,4	0,4								De 1,4 a 2,7 ml/s FIN
		25	1	7,3	0,4								ND3
		25	1	7,7	0,4								Moderado a Poco dispersivo
5 min	15	10		26,5	0,4								De 0,8 a 1,4 ml/s
		50	2	21,59	0,4								De 1,8 a 3,2 ml/s FIN
		10		15,56	0,6								ND3
		25		38,88	0,6								Poco dispersivo
		25		38,19	0,7								
5 min	40	25		38,3	0,7								De 1 a 1,8 ml/s
		50	1	19,18	0,6								Mayor a 3 ml/s FIN
		25		20,72	1,2								ND2
		25		20,5	1,2								
		50		43,22	1,2								
		50		43,5	1,1								
		10		8,25	1,2								ND1

RESULTADO DEL ENSAYO SUELO NO DISPERSIVO ND1

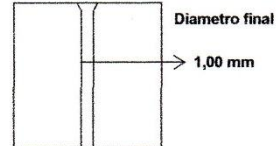
ING. ROLANDO ARMAS NOVOA



	PROYECTO: PACALORI PRESA : LECHUGAL 2	
UBICACIÓN: LECHUGAL 2	HOJA 1 DE 1	
MUESTRAS AMARILLAS+VERDES 50% ≤ L.L. ≤ 70% Y 90% ≤ L.L. ≤ 110%		
FECHA: 12 DE AGOSTO DEL 2015	PROFUNDIDAD: 0,00m - 6,00m	

ENSAYO PINHOLE NORMA: ASTM D 4647

PESO MOLDE + SUELO HUMEDO (g)	611,3
PESO MOLDE (g)	548,8
PESO SUELO HUMEDO (g)	62,5
DIAMETRO DEL MOLDE (cm)	3,457
ALTURA INICIAL (cm)	6,868
ALTURA FINAL (cm)	2,906
ALTURA DE LA MUESTRA (cm)	3,962
VOLUMEN DE LA MUESTRA (cm ³)	37,197
HUMEDAD DE LA MUESTRA %	37,48%
DENSIDAD SECA (g/cm ³)	1,222



TARRO #	71	18
PESO DEL TARRO + M. HUMED. (g)	84,83	83,97
PESO DEL TARRO + MAT. SECA (g)	75,39	74,78
PESO DEL TARRO (g)	50,2	50,26
% HUMEDAD	37,48%	37,48%
PROMEDIO	37,48%	

HUMEDAD OPT. PROCTOR ESTANDAR %	38,00%
DENSIDAD MAXIMA (g/cm ³)	1,270
% DE COMPACTACION T - 99	96%



TIEMPO	ALTURA DE AGUA (in)	CAUDAL ENTRADA			CAUDAL SALIDA ml/s	TURBIEDAD DESDE EL LADO						COMPLETAMENTE CLARO DESDE ARRIBA	OBSERVACIONES
		ml	MIN	SEG.		MUY TURBIO	TURBIO	MODERADAMENTE TURBIO	PARCIALMENTE TURBIO	APENAS TURBIO	COMPLETAMENTE CLARO		
5 min	2	10		24,1	0,4								De 1 a 1,4 ml/s FIN
		10		24,1	0,4								D1
		25		57,3	0,4								Altamente dispersivo
		50	2	32,0	0,3								Menor 1 ml/s
5 min	2	10		33,3	0,3								De 1 a 1,3 ml/s FIN
		25	1	8,97	0,4								D2 dispersivo
5 min	7												De 0,4 a 0,8 ml/s
		10		16,4	0,6								De 1,4 a 2,7 ml/s FIN
		10		15,9	0,6								ND3
		25		40,6	0,6								Moderado a Poco dispersivo
		25		41,5	0,6								
5 min	15	50	1	23,44	0,6								De 0,8 a 1,4 ml/s
		10		9,6	1,0								De 1,8 a 3,2 ml/s FIN
		10		9,78	1,0								ND3
		25		23,82	1,0								Poco dispersivo
5 min	40	25		23,5	1,1								De 1 a 1,8 ml/s
		50		48,47	1,0								Mayor a 3 ml/s FIN
		25		11,94	2,1								ND2
		25		11,91	2,1								
		50		24,12	2,1								
5 min	40	50		24,2	2,1								
		10		5	2,0								ND1

RESULTADO DEL ENSAYO SUELO NO DISPERSIVO ND1

RAN

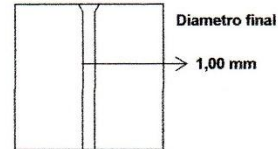
ING. ROLANDO ARMAS NOVOA



	PROYECTO: PACALORI PRESA : PUEBLO VIEJO	
UBICACIÓN: PUEBLO VIEJO	HOJA 1 DE 1	
MUESTRAS AMARILLAS 50 % ≤ L.L ≤ 70 %	PROFUNDIDAD: 0,00m - 6,00m	
FECHA: 23 DE JULIO DEL 2015		

ENSAYO PINHOLE NORMA: ASTM D 4647

PESO MOLDE + SUELO HUMEDO (g)	612,8
PESO MOLDE (g)	549,8
PESO SUELO HUMEDO (g)	63,0
DIAMETRO DEL MOLDE (cm)	3,457
ALTURA INICIAL (cm)	6,868
ALTURA FINAL (cm)	3,028
ALTURA DE LA MUESTRA (cm)	3,840
VOLUMEN DE LA MUESTRA (cm ³)	36,051
HUMEDAD DE LA MUESTRA %	39,66%
DENSIDAD SECA (g/cm ³)	1,251

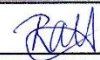


TARRO #	42	33
PESO DEL TARRO + M. HUMED. (g)	71,7	69,11
PESO DEL TARRO + MAT. SECA (g)	65,61	62,95
PESO DEL TARRO (g)	50,29	47,38
%HUMEDAD	39,75%	39,56%
PROMEDIO	39,66%	


HUMEDAD OPT. PROCTOR ESTANDAR %	39,95%
DENSIDAD MAXIMA (g/cm ³)	1,261
% DE COMPACTACION T - 99	99%

TIEMPO	ALTURA DE AGUA (m)	CAUDAL ENTRADA			CAUDAL SALIDA ml/s	TURBIEDAD DESDE EL LADO						COMPLETAMENTE CLARO DESDE ARRIBA	OBSERVACIONES	
		ml	MIN	SEG.		MUY TURBIO	TURBIO	MODERADAMENTE TURBIO	PARCIALMENTE TURBIO	APENAS TURBIO	COMPLETAMENTE CLARO			
														ml/s
5 min	2	10		39,19	0,3								De 1 a 1,4 ml/s FIN	
		10		39,56	0,3								D1	
		25	1	28,60	0,3									Altamente dispersivo
		50	2	52,37	0,3									Menor 1 ml/s
5 min	2	50	2	53,06	0,3								De 1 a 1,3 ml/s FIN	
													D2	
													dispersivo	
													De 0,4 a 0,8 ml/s	
5 min	7	10		17,07	0,6								De 1,4 a 2,7 ml/s FIN	
		25		42,28	0,6								ND3	
		25		43,56	0,6								Moderado a Poco dispersivo	
		25		43,84	0,6									
		25		42,75	0,6									De 0,8 a 1,4 ml/s
5 min	15	25		22,66	1,1								De 1,8 a 3,2 ml/s FIN	
		25		23,13	1,1								ND3	
		25		23,45	1,1								Poco dispersivo	
		25		23,13	1,1									
		25		22,93	1,1									
5 min	40	25		12,00	2,1								De 1 a 1,8 ml/s	
		25		11,60	2,2								Mayor a 3 ml/s FIN	
		50		23,66	2,1								ND2	
		50		23,85	2,1									
		10		4,78	2,1									ND1


RESULTADO DEL ENSAYO SUELO NO DISPERSIVO ND1


 ING. ROLANDO ARMAS NOVOA





PROYECTO: PACALORI
PRESA : PUEBLO VIEJO



UNIVERSIDAD DE CUENCA
desde 1867

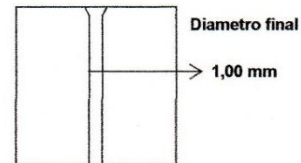
UBICACIÓN: PUEBLO VIEJO **HOJA 1 DE 1**

MUESTRAS ROJAS 70 % ≤ L.L ≤ 90 % **PROFUNDIDAD: 0,00m - 6,00m**

FECHA: 22 DE JULIO DEL 2015

ENSAYO PINHOLE NORMA: ASTM D 4647

PESO MOLDE + SUELO HUMEDO (g)	609,2
PESO MOLDE (g)	552,2
PESO SUELO HUMEDO (g)	57,0
DIAMETRO DEL MOLDE (cm)	3,457
ALTURA INICIAL (cm)	7,362
ALTURA FINAL (cm)	3,357
ALTURA DE LA MUESTRA (cm)	4,005
VOLUMEN DE LA MUESTRA (cm ³)	37,600
HUMEDAD DE LA MUESTRA %	44,77%
DENSIDAD SECA (g/cm ³)	1,047




TARRO #	97	89
PESO DEL TARRO + M. HUMED. (g)	72,43	72,80
PESO DEL TARRO + MAT. SECA (g)	65,74	65,83
PESO DEL TARRO (g)	50,78	50,28
%HUMEDAD	44,72%	44,82%
PROMEDIO	44,77%	

HUMEDAD OPT. PROCTOR ESTANDAR %	45,01%
DENSIDAD MAXIMA (g/cm ³)	1,116
% DE COMPACTACION T - 99	94%

TIEMPO	ALTURA DE AGUA (in)	CAUDAL ENTRADA			CAUDAL SALIDA	TURBIEDAD DESDE EL LADO						OBSERVACIONES		
		ml	MIN	SEG.		m/s	MUY TURBIO	TURBIO	MODERADAMENTE TURBIO	PARCIALMENTE TURBIO	APENAS TURBIO		COMPLETAMENTE CLARO	COMPLETAMENTE CLARO DESDE ARRIBA
5 min	2	10		33,8	0,3									De 1 a 1,4 ml/s FIN
		10		35,9	0,3									D1
		25	1	28,4	0,3									Altamente dispersivo
		50	2	34,3	0,3									Menor 1 ml/s
5 min		50	2	47,3	0,3								De 1 a 1,3 ml/s FIN	
5 min	7	25		52,8	0,5									De 1,4 a 2,7 ml/s FIN
		25		47,1	0,5									ND3
		25		46,2	0,5									Moderado a Poco dispersivo
		25		45,5	0,5									De 0,8 a 1,4 ml/s
		10		18,83	0,5									De 1,8 a 3,2 ml/s FIN
5 min	15	25		29,1	0,9									ND3
		25		29,1	0,9									Poco dispersivo
		25		29,38	0,9									De 1 a 1,8 ml/s
		25		29,22	0,9									Mayor a 3 ml/s FIN
		25		29,72	0,8									ND2
5 min	40	25		14,63	1,7									ND1
		25		14,59	1,7									
		50		30,44	1,6									
		50		31,25	1,6									
		25		15,87	1,6									

RESULTADO DEL ENSAYO SUELO NO DISPERSIVO ND1


ING. ROLANDO ARMAS NOVOA

7.3 Anexo C: Memoria fotográfica

	PROYECTO: PACALORI PRESA : CHOJAMPE 2	
UBICACIÓN: CHOJAMPE 2	HOJA 1 DE 1	
MUESTRAS AMARILLAS 50 % ≤ L.L ≤ 70 %	PROFUNDIDAD: 0,00m - 6,00m	
FECHA: 10 DE SEPTIEMBRE DEL 2015		



MEMORIA FOTOGRAFICA



Agujero de la muestra después del ensayo.



Agujero de la muestra antes del ensayo.

	<p>PROYECTO: PACALORI PRESA : CHOJAMPE 2</p>	
<p>UBICACIÓN: CHOJAMPE 2</p>	<p>HOJA 1 DE 1</p>	
<p>MUESTRAS ROJAS 70 % ≤ L.L ≤ 90 %</p>	<p>PROFUNDIDAD: 0,00m - 6,00m</p>	
<p>FECHA: 10 DE SEPTIEMBRE DEL 2015</p>		

MEMORIA FOTOGRAFICA



Efluente al final del ensayo visto desde el lado.



Efluente al final del ensayo visto desde arriba.



PROYECTO: PACALORI
PRESA : CHOJAMPE 2



UBICACIÓN: CHOJAMPE 2

HOJA 1 DE 1

MUESTRAS VERDES 90 % ≤ L.L ≤ 110 %

PROFUNDIDAD: 0,00m - 6,00m

FECHA: 10 DE SEPTIEMBRE DEL 2015

MEMORIA FOTOGRAFICA



Dispositivo de Pinhole durante el ensayo.



Preparación de la muestra.

	PROYECTO: PACALORI PRESA : CHOJAMPE 2	
UBICACIÓN: CHOJAMPE 2	HOJA 1 DE 1	
MUESTRAS AMARILLAS+VERDES 50% ≤ L.L. ≤ 70% Y 90% ≤ L.L. ≤ 110%		
FECHA: 06 DE AGOSTO DEL 2015	PROFUNDIDAD: 0,00m - 6,00m	



MEMORIA FOTOGRAFICA



Efluente al final del ensayo visto desde arriba.





Agujero de la muestra después del ensayo.

	PROYECTO: PACALORI PRESA : AGUACATAL	
UBICACION: AGUACATAL MUESTRAS ROJAS $70 \% \leq L.L \leq 90 \%$	HOJA 1 DE 1 PROFUNDIDAD: 0,00m - 6,00m	
FECHA: 01 DE AGOSTO DEL 2015		

MEMORIA FOTOGRAFICA





Dispositivo de Pinhole durante el ensayo.

	PROYECTO: PACALORI PRESA : CHOJAMPE	
UBICACIÓN: CHOJAMPE	HOJA 1 DE 1	
MUESTRAS ROJAS 70 % ≤ L.L ≤ 90 %	PROFUNDIDAD: 0,00m - 6,00m	
FECHA: 11 DE AGOSTO DEL 2015		

MEMORIA FOTOGRAFICA





Agujero de la muestra después del ensayo.

	PROYECTO: PACALORI PRESA : ESTERO LECHUGAL	
UBICACION: ESTERO LECHUGAL	HOJA 1 DE 1	
MUESTRAS AMARILLAS 50 % ≤ L.L ≤ 70 %	PROFUNDIDAD: 0,00m - 6,00m	
FECHA: 29 DE JULIO DEL 2015		

MEMORIA FOTOGRAFICA



Agujero de la muestra antes
y después del ensayo.

	PROYECTO: PACALORI PRESA : ESTERO LECHUGAL	 UNIVERSIDAD DE CUENCA <small>desde 1867</small>
UBICACION: ESTERO LECHUGAL	HOJA 1 DE 1	
MUESTRAS ROJAS 70 % ≤ L.L ≤ 90 %	PROFUNDIDAD: 0,00m - 6,00m	
FECHA: 30 DE JULIO DEL 2015		



MEMORIA FOTOGRAFICA



Efluente al final del ensayo
visto desde arriba.





Efluente al final del ensayo
visto desde el lado.

	PROYECTO: PACALORI PRESA : LECHUGAL 2	
UBICACIÓN: LECHUGAL 2	HOJA 1 DE 1	
MUESTRAS AMARILLAS+VERDES 50%≤ L.L.≤ 70% Y 90%≤ L.L.≤ 110%		
FECHA: 12 DE AGOSTO DEL 2015	PROFUNDIDAD: 0,00m - 6,00m	

MEMORIA FOTOGRAFICA



Agujero de la muestra después del ensayo.

	PROYECTO: PACALORI PRESA : PUEBLO VIEJO	
UBICACION: PUEBLO VIEJO	HOJA 1 DE 1	
MUESTRAS AMARILLAS 50 % ≤ L.L ≤ 70 %	PROFUNDIDAD: 0,00m - 6,00m	
FECHA: 23 DE JULIO DEL 2015		

MEMORIA FOTOGRAFICA



Agujero de la muestra después del ensayo.



PROYECTO: PACALORI
PRESA : PUEBLO VIEJO



UBICACION: PUEBLO VIEJO

HOJA 1 DE 1

MUESTRAS ROJAS $70 \% \leq L.L \leq 90 \%$

PROFUNDIDAD: 0,00m - 6,00m

FECHA: 22 DE JULIO DEL 2015

MEMORIA FOTOGRAFICA



Agujero de la muestra después del ensayo.