

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

**BIBLIOTECA CENTRAL-USAC
DEPOSITO LEGAL
PROHIBIDO EL PRESTAMO EXTERNO**

INVESTIGACIÓN DE DIFERENTES AGENTES DISPERSANTES EN EL
ANÁLISIS MECÁNICO POR EL MÉTODO DEL HIDRÓMETRO
(Bouyoucos)

T E S I S

PRESENTADA ANTE LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

POR

SALVADOR CASTILLO ORELLANA

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO

INGENIERO AGRÓNOMO

EN EL GRADO ACADÉMICO DE
LICENCIADO EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

No. 76

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 1969

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
BIBLIOTECA
DEPARTAMENTO DE TESIS-REFERENCIA

DL
01
7(905)

RECTOR DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS

Lic. Edmundo Vásquez Martínez

JUNTA DIRECTIVA

Decano:	Ing. Agr. René Castañeda Paz
Vocal 1o:	Ing. Agr. Edgar Leonel Ibarra
Vocal 2o:	Ing. Agr. Antonio Anibal Sandoval
Vocal 3o:	Lic. Fernando S. Tirado
Vocal 4o:	Br. Emilio Escamilla Escamilla
Vocal 5o:	P.A. Oscar González
Secretario:	Ing. Agr. Fernando Luna Orive

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

Decano:	Ing. Agr. Marco Tulio Urizar
Examinador:	Ing. Agr. Mario Molina Llardén
Examinador:	Ing. Agr. Jorge Augusto Carranza
Examinador:	Ing. QQ. Mario Erick Braeuner R.
Secretario:	Ing. Agr. René Castañeda Paz.

Guatemala, Septiembre de 1969.

P R E S E N T A C I O N.

Honorable Junta Directiva:

Honorable Tribunal Examinador:

Tengo el honor de presentar a vuestra consideración, en cumplimiento del último requisito previo a optar el Título de INGENIERO AGRONOMO, el presente trabajo de tesis titulado:

INVESTIGACION DE DIFERENTES AGENTES DISPERSANTES
EN EL ANALISIS MECANICO POR EL METODO DEL HIDRO-
METRO (Bouyoucos).

El presente trabajo se ciñe exclusivamente al método del Hidrómetro cuyo iniciador fué G.J. Bouyoucos y tiene por objeto comparar en análisis biométrico la acción dispersante que ejercen 5 agentes químicos sobre las partículas del suelo (arcilla, limo y arena) sometidos a 3 distintos tiempos de agitación.

A través de la exposición del tema se presentan cuadros de los resultados de las determinaciones físicas de laboratorio y así mismo, el correspondiente análisis estadístico.

La finalidad que atañe al presente estudio es saber hasta donde sea posible cual de los agentes químicos ejercen mayor efecto dispersante en alguno de los 3 tiempos estipulados.

Con mis más sincero respeto espero aprobeis el presente trabajo, permitiéndome presentaros mis mejores muestras de distinguida consideración.

Salvador Castillo Orellana

Guatemala, 26 de Septiembre de 1969.

Señor Decano de la
Facultad de Agronomía
Ing. Agr. René Castañeda Paz
Presente.

Señor Decano:

Atentamente nos dirigimos a usted, para manifestarle que hemos asesorado al Br. Salvador Castillo Orellana y tenido bajo consideración su trabajo de Tesis, titulado "INVESTIGACION DE DIFERENTES AGENTES DISPERSANTES EN EL ANALISIS MECANICO POR EL METODO DEL HIDROMETRO (Bouyoucos).

Al haber concluido dicho trabajo de Tesis de grado para optar el título de INGENIERO AGRONOMO; consideramos que reúne los requisitos para su aprobación.

Sin otro particular, nos es grato suscribirnos de usted con muestras de consideración.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. QQ. Mario Erick Braeuner R.
ASESOR

Ing. Agr. Edgar Leonel Ibarra Arriola
ASESOR.

DEDICATORIA.

- A la memoria de mis abuelos General é Ingeniero José María Orellana P.
Mercedes F. de Orellana.
- A la memoria de mi Madre: Leonor Orellana F. (Q.E.P.D.)
- A mi Esposa: Josefina Ruíz de Castillo
- A mis Hijos: Nora María Castillo Ruíz
Salvador Alejandro Castillo Ruíz.
- A mi Hermano: Dr. Juan José Castillo Orellana, Esposa é hija.
- A mis Tíos: Coronel é Ing. Juan de Dios Aguilar de León, Esposa y familia.
Dr. José Luis Aguilar de León é hijo.
- A mi Madre política: Sra. Josefina Medina v. de Ruíz
- A mis Cuñados: Dr. Mario Ruíz Medina, Esposa é hijos
Profesor Angel Ruíz Medina, Esposa e hijos.
Profesor Luis R. Ruíz Medina, Esposa é hijos
Sr. José María Orellana Riera, Esposa é hijos.

DEDICO ESTA TESIS

A nuestra Casa de Estudios: Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

A: Todos mis ex-Catedráticos

A: Mis compañeros de estudio y amigos

A los Ingenieros:

Mario E. Braeuner R.
René Castañeda Paz
Rodolfo Perdomo M.
Eduardo D. Goyzueta V.
Edgar Leonel Ibarra A.
Mario A. Martínez G.
Luis Roberto Osorio M.
Fernando Luna Orive
Bruno Busto Brol
Luis Roberto Martínez G.
Aníbal Palencia Ortiz
Marco Tulio Urizar
Marco Antonio Curley
Oswaldo Porres
Carlos Fernando Estrada C.
Leopoldo Sandoval
Efraín Bran M.
Jorge Luis Juárez.

Al Departamento de Suelos del I.A.N.; hoy Dirección General de Investigaciones del Ministerio de Agricultura.

C O N T E N I D O.

	Página
I.- INTRODUCCION	1.
II.- REVISION DE LITERATURA	4
III.- METODOS Y MATERIALES	10
1) Procedimientos Físicos	10
2) Procedimientos Químicos	15
I) Métodos de la Pipeta	15
II) Métodos del Hidrómetro	15
3) METODO DEL HIDROMETRO	17
4) Preparación del material y equipo para trabajo...	21
5) Material	21
6) Equipo	25
7) Descripción del Procedimiento que se siguió.....	26
8) Cálculos analíticos del método	29
9) Clase textural	30
CUADRO No. 1.-	31
CUADRO NO. 2.-	32
CUADRO No. 3.-	34
CUADRO No. 4.-	35
CUADRO No. 5.-	35
CUADRO No. 6.-	36
CUADRO No. 7.-	37

IV. - RESULTADOS Y DISCUSION	38
V. - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	46
VI. - LITERATURA CITADA.....	54
LITERATURA CONSULTADA.....	56.

I.- I N T R O D U C C I O N

La actividad en el campo cada vez creciente, la investigación y experimentación agrícola y los múltiples problemas relacionados con el suelo, han venido trazando nuevos horizontes y mejores métodos de cultivo, así como también, han dado al agricultor una agricultura más tecnificada al agregar a los conocimientos del hombre; hechos antes desconocidos.

El análisis mecánico de suelos es uno de los tantos pasos dados por los investigadores que han contribuido a desenmascarar una pequeña parte de las incógnitas propias del suelo y de la relación suelo-planta.

Varios son los métodos descubiertos que se han estudiado en cuanto a su aplicabilidad, rapidéz y exactitud; habiéndose me asignado para el presente trabajo el método del hidrómetro cuyo iniciador fué G.J. Bouyoucos por su simplicidad y rapidéz en comparación a los otros métodos. Mas adelante describiré someramente algunos de ellos y más a fondo el empleado en este estudio.

Para la realización de la presente tesis recolecté 5 muestras de suelos en distintas zonas del país, procurando que su grado textural variáse de arcilloso a franco-arenoso, habiendo descartado la puramente arenosa por sus partículas que carecen de agregación y son nada o poco afectadas por la acción de los dispersantes químicos.

Las partículas de arena en su mayoría están formadas por minerales basálticos y cuarcíticos; siendo este último, o sea el cuarzo, el que Brewer (1) denominó el esqueleto del suelo, en sus conceptos macropedológicos y fabric porfiropéptico en su aspecto micropedológico. Tales muestras fueron sometidas siguiendo el método estipulado (Hidrómetro) a un solo tiempo de remojo, de 15 horas; 3 tiempos de agitación y a la acción por separado de cada uno de los agentes químicos.

Los objetivos perseguidos fueron dos: el primero fué enfocado desde el punto de vista puramente químico o sea el aumento del potencial electrocinético y los efectos dispersantes sobre los agentes cementantes del suelo (sexquióxidos de Al y Fe; carbonatos de Ca y Mg; Materia Orgánica y el coloide del suelo propiamente dicho, las arcillas); con el fin de ver hasta donde era factible decir cual de los agentes ejercía mayor acción dispersante en las muestras de suelo, en el menor tiempo posible de agitación, ya que en un laboratorio las determinaciones analíticas de corto tiempo, sencillez y mayor exactitud, son los siempre buscados y utilizados por los técnicos. El segundo fué enfocado bajo el punto de vista de aplicación práctica del método. Una vez determinado el mejor agente dispersante en el tiempo más apropiado de agitación, podríamos decir con mayor certeza el grado textural del suelo.

Hago hincapié que al efectuar los Análisis Mecánicos, los hice sobre las 5 muestras en condiciones naturales; es decir, sin eliminar los agentes cementantes que favorecen el grado de agregación de las partículas primarias del suelo, los cuales se oponen a una su- puesta completa dispersión. Es bien sabido que al destruir la Mate- ria Orgánica por métodos adecuados (oxidación con H_2O_2 6 vol. y pep- tización de la muestra con NaOH), se obtiene una mejor dispersión del limo y las arcillas; pero en el presente trabajo se deseaba saber la acción efectiva de los dispersantes en condiciones naturales del sue- lo; ya que el eliminar los agentes cementantes lleva demasiado tiempo. Dicho paso se requiere en casos de investigación; pero no en vías de servicio al público en donde los análisis a corto tiempo son los requeridos.

II.- REVISION DE LITERATURA:

Generalidades del Suelo:

Antes de entrar de lleno en la descripción del método de análisis mecánico estudiado en esta tesis, es conveniente hacer una ligera referencia sobre el cuerpo natural denominado suelo.

La Edafología, de Edafos que significa tierra de soporte para las plantas, es la ciencia que estudia al suelo y su relación con las plantas y productividad potencial de éstas; es decir su concepto es más amplio y práctico aunque no menos científico.

Se denomina suelo a la capa superficial más o menos gruesa que cubre la corteza terrestre. Es un cuerpo vivo y dinámico por sus cambios físicos y químicos, dotado de actividad biológica y sirve de soporte y alimentación para las plantas, teniendo en mente que el agua y el aire tienen que estar en condiciones adecuadas.

Otros autores lo denominan substracto; pero los científicos Lyon y Buckman (2) prefieren denominarlo Regolita, pues tal vocablo hace resaltar claramente que es un manto de materiales no consolidados, fragmentarios que cubren la roca subyacente, cuyo espesor es variable y que en la superficie se nota la actividad de la meteorización.

La acción de los factores formadores del suelo (Materia Orgánica) Clima-Actividad biológica-Topografía-Edad) conducen a la formación de una masa organizada con componentes minerales y orgánicos.

Al verificar un corte de esta capa o masa se observa un arreglo de capas superpuestas y orientadas horizontalmente, al corte en su formación tridimensional se le denomina perfil y a cada capa individual horizontes que son propios y característicos de los suelos que no han sido manipulados. Bien sabido es que tales horizontes, se llaman en términos generalizados: Horizonte "A" de color oscuro que le imparte cierta proporción de materia orgánica; que luego de ser trabajado constituye el suelo superficial o capa arable denominado horizonte "Ap". Muchos de los suelos carecen de tal horizonte por efectos de la erosión. Horizonte "B" cuyo espesor es más apreciable, su cambio de color es notorio, bastante edafizado pero con menos contenido en porcentaje de materia orgánica; y en donde se observan los cambios de transición y los fenómenos de eluviación. Finalmente el Horizonte "C" que constituye el material original o roca madre; habiendo expresado Docuchaiev (citado en 3) que ésta, expuesta a la acción meteorizante del clima, es degradada en su naturaleza, lo que se manifiesta en la composición textural-estructural-color, etc. del suelo. A tal horizonte se le denomina hoy día "R".

El suelo, tal como se le conoce comunmente para que esté en condiciones óptimas para el desarrollo vegetal debe de estar constituido por cuatro componentes esenciales: Material Mineral: forma

la parte sólida del suelo y constituye fragmentos minerales mezclados con distintas proporciones de materia orgánica. Tal parte mineral del suelo representa el 45% de la composición volumétrica del suelo. Agua: retenida por fuerzas variables en los intersticios (teoría de la doble capa difusa; bipolaridad del agua, cohesión capilaridad) y cuyo movimiento es en todas direcciones. Su presencia en el suelo es de suma importancia, pues pone en disolución los elementos nutricionales y con la materia orgánica y el bióxido de carbono regula el pH del suelo. El agua representa un 25% del volumen total de éste. Aire: otro de los cuatro componentes, incluye en sí mismo nitrógeno, oxígeno, carbono y otros gases, siendo el primero el más importante y cuyo papel primordial lo juega con las plantas a través de las bacterias nitrificantes; forma al igual que el agua el 25% de la composición total del suelo. Materia Orgánica: es la acumulación de residuos animales y vegetales en estado activo de descomposición. Su estado es transitorio, es atacado por la microflora y exige una renovación continua. Existe en un 5% de la composición volumétrica del suelo. El manto orgánico está sujeta a una actividad constante de los procesos de "descomposición", "transformación" y "resíntesis"; diferenciándose de esta manera, los conceptos de Kubiéna (citado en 4) de: "humus bruto", "moder" y "mull"; siendo este último la materia orgánica mineralizada (N-P-S-Ca-Mg.) propia de la gé-

nesis del suelo. No hay que olvidar los valiosos y recientes estudios hechos por la Doctora Rusa Kononova (14) en cuanto a su clasificación morfogénica y su fraccionamiento en ácidos húmicos, fúlvicos, urónicos e himatomelánicos; y la acción fisiológica de éstos, respecto al vegetal en cuanto al papel que juegan las vitaminas, proteínas, enzimas, etc.

Por otra parte y la que más concierne a este trabajo es el estudio de las partículas minerales del suelo que varían en tamaño y que separadas constituyen las fracciones o separados de suelo.

Tales partículas se agrupan de acuerdo al diámetro y doy a continuación dos clasificaciones de importancia:

Clasificación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norte América.

<u>Fracción:</u>	<u>Límite de Diámetros mm</u>
Grava	2 - 1
Grava Gruesa	1 - 0.5
Arena Mediana	0.50 - 0.25
Arena Fina	0.25 - 0.10
Arena muy Fina	0.10 - 0.05
Limo	0.05 - 0.002
Arcilla	< 0.002 -

Clasificación de la Sociedad de la Ciencia de Suelos.

Arena gruesa	2.0	- 0.2
Arena fina	0.2	- 0.02
Límo	0.02	- 0.002
Arcilla	< 0.002	-

Dentro de la importancia que cada una de estas fracciones tiene en el suelo, la de mayor interés es la arcilla. Los procesos mecánicos y químicos de la meteorización; o sean los pasos de desintegración, descomposición y resíntesis de las rocas y sus minerales, conduce a la formación del estado coloidal (arcillas) (4).

Así pues, los minerales arcillosos constituyen una parte importante como resultado de la meteorización. Son filosilicatos laminares con estructura atómica tridimensional, de gran plasticidad y tienen la propiedad de intercambiar iones adsorvidos (iones planares); por lo que esta porción micelar también se le denomina "cambiadore" constituyendo el proceso llamado "capacidad de cambio del suelo".

Por su sucesión de sus láminas o paquetes pueden ser:

- a) relación 1:1 ó bilaminares; c. mpuestos de una capa de tetraedros de sílice y otra de octaedros de aluminio.
- b) de relación 2:1 ó trilaminares; compuestos de una sucesión de láminas de tetraedros de Si. y octaedros de Al. y otra de Si.

- c) de relación 2:2 ó tetralaminares; las formadas en arreglo sucesivo de las láminas mencionadas.
- d) Alofánicas que carecen de arreglo cristalográfico (4).

III.- MÉTODOS Y MATERIALES.

Métodos de Dispersión:

Varios son los procedimientos estudiados sobre la dispersión mecánica de los suelos. Dicho en otras palabras, métodos dedicados a encontrar la textura del suelo o sea la proporción de las partículas individuales llamados también "separados de suelo", los cuales contribuyen a una de las características primordiales de la capa terrestre. Tales partículas juntas forman como se dijo ya, la textura del suelo, clasificándose de acuerdo a su tamaño, desde las relativamente gruesas, como la grava y arena gruesa, hasta aquellas como las arcillas que están en un estado muy fino de subdivisión (microscópicas); siendo pues la arena-limo-arcilla, los tres componentes primordiales desprendidos de la Regolita (capa original del suelo).

Antes de entrar a tratar el método que se me asignó, creo conveniente describir someramente algunos de los otros procedimientos para dar una idea sobre los trabajos e intereses sobre la textura del suelo.

Los métodos pueden ser: Por procedimientos físicos y procedimientos químicos.

1) Procedimientos Físicos:

Son aquellos en cuyos procedimientos no intervienen agentes químicos como dispersantes del suelo. Entre ellos podemos

mencionar: a) El uso de tamices. * Tal método consiste en un juego de tamices sucesivos colocados o adaptados uno a continuación de otro en orden decreciente de acuerdo a sus espacios en las mallas. Determinado peso de suelo se vierte en el primer tamiz al cual se le coloca su tapadera y por constante agitación el suelo va pasando de un tamiz a otro, quedando en cada uno de ellos el suelo, cuyo tamaño de partículas corresponde a la medida del tamiz. En esta forma quedan por separado las arenas, -el limo-arcilla-. Sus ventajas son: su rápida determinación, el fraccionamiento de partículas dentro la clasificación misma de arenas-limo y arcilla- (aunque esta última fracción generalmente son partículas microscópicas) y que es un procedimiento relativamente barato. Sus limitaciones son: desgaste de los tamices, irregularidad de las partículas y separar partículas menores de 0.05 mm. de diámetro. b) Procedimiento de Atterberg. * Consiste en una probeta, la cual se llena con determinado volumen de agua peso de suelo, se agita y a determinado tiempo se abre una llave colocada a cierta altura dejando escapar en

* Datos proporcionados por el ex-Catedrático de Edafología, Ingeniero QQ. Mario Erick Braeuner.

determinado tiempo parte del líquido que acarrea suelo. Se pone a secar este suelo y el procedimiento se repite varias veces hasta obtener los distintos tamaños de partículas de suelo, expresados en porciento en relación al peso inicial.

c) Procedimiento de Elutriadores. * Elutriador de Schoene:

Consistente en un recipiente periforme en el cual se introduce un determinado peso de suelo, haciendo pasar por su interior agua a una indicada velocidad. Se recupera el suelo acarreado o extraído del recipiente por el agua y se pone a secar. La operación se repite varias veces aumentando cada vez la velocidad del agua y como lógico es las partículas más pesadas saldrán de último. En igual manera las distintas fracciones de partículas se expresan en porciento sobre el peso inicial de la muestra de suelo. d) Elutriador de Copecky* Consiste en una serie de elutriadores de distintas formas y volúmenes, siendo el primero de la serie el de mayor volumen y de forma esférica; y el último el menor en volumen y de forma cilíndrica. Al contrario del elutriador de Schoene aquí el agua corre a una velocidad constante, siendo cada uno de los elutriadores por su forma y volumen los que alteran la velocidad del agua en circulación quedando en cada uno de

* Datos proporcionados por el ex-Catedrático de Edafología; Ingeniero QQ. Mario Erick Braeuner.

de ellos determinado tamaño de partículas de suelo, las cuales se expresan en porcentaje. En resumen la elutriación está basada en el paso de corrientes de agua a diferentes velocidades que tienden a separar las partículas del suelo de acuerdo a su tamaño y a su velocidad de asentamiento. El material más fino emerge, el más pesado se vá al fondo. Baver (citado en 11) y otros autores señalaron las desventajas de estos métodos: 1) Es difícil mantener el líquido a velocidad uniforme y constante a través de las secciones de los elutriadores; 2) Partículas $< 20\mu$ no se pueden fraccionar por el difícil control del flujo a muy baja velocidad; 3) Se requiere de una temperatura constante del equipo y de la corriente del agua; e) Procedimiento por centrifugación.* Consiste en una centrífuga en cuyos tubos se coloca una solución preparada de azúcar o glicerina la cual tiene que ser atravesada por las partículas de una suspensión de suelo. Ello se basa en el principio de Marshall quién tomó en cuenta: distancia por atravesar de las partículas, radio, densidad de las partículas y velocidad de centrifugación en R.P.M. Tal método descarta primero las arenas por lo que es válido únicamente para el

* Datos proporcionados por el ex-Catedrático de Edafología; Ingeniero QQ. Mario Erick Braeuner.

limo y arcillas; f) Balanza de Odén.* Todo objeto sumergido en el seno de un líquido está sujeta al principio de Arquímedes y si el líquido es una suspensión de suelo también está sujeta a la densidad y al empuje de las partículas en su caída libre.

Basado en tales principios, dicha balanza tiene sujeta en un extremo del fiel un dispositivo de forma triangular y en el otro extremo un platillo. El objeto triangular se introduce dentro de una probeta con suspensión de suelo bien agitada, conforme van asentándose las partículas, el fiel se inclina y por un contacto eléctrico (electrohimán) un perdigón cae en el platillo colocado al otro extremo del fiel y nivela la balanza. La operación se repite sucesivamente de acuerdo al asentamiento de partículas de suelo dentro del líquido de la probeta.

Odén con sus ensayos y su experiencia hizo una tabla para efectuar la clasificación textural, basado en el tamaño de partículas y en el número de perdigones caídos al platillo de la balanza.

* Datos proporcionados por el ex-Catedrático de Edafología; Ingeniero QQ. Mario Erick Braeuner.

Aunque estos procedimientos contradicen a la ley de Stockes, como veremos más adelante, no es de dudar su importancia que tuvieron o aún pueden tener bajo el punto de vista de investigación.

2) Procedimientos Químicos:

Estos procedimientos aunque de igual importancia que los físicos, son de mayor exactitud puesto que entra en juego los agentes dispersantes químicos cuya acción es directa sobre las partículas primarias (Arcilla-limo y Arena) y sobre las secundarias (agregados formados por las primarias por efecto de cementación).

Dichas partículas secundarias o agregados secundarios del suelo están encadenados por decirlo así, por medio de los agentes cementantes siendo los principales: 1) cierta clase de arcillas propiamente dichas; 2) La materia Orgánica; y 3) los hidróxidos de aluminio y hierro. Los dispersantes químicos reaccionan sobre estos agentes cementantes sobre todo en cuanto a la materia orgánica se refiere; puesto que en el caso de ciertas arcillas no queda otro recurso que efectuar una dispersión por agitación vigorosa.

Entre los métodos más conocidos podemos mencionar:

I) Método de la Pipeta: II) Método del Hidrómetro.

Este primer procedimiento como su título lo expresa se basa en la toma de muestra de suspensión de suelo por medio de una pipeta volumétrica de determinado volumen, siendo las de uso más corriente las de 10 y 25 ml. La suspensión de suelo se encuentra dentro de una probeta, en donde se introduce la pipeta, previa agitación de la muestra, a determinada profundidad en donde la concentración de partícula será igual a la suma de concentraciones parciales de partículas cuyas velocidades de caída sean menores que la mencionada profundidad (altura) dividida por el tiempo expresado en cm/seg. En esa toma de muestra se encontrará determinado peso de suelo seco, el cual corresponderá a determinado porcentaje de partículas del suelo.

Los pasos subsiguientes se continúan en igual forma variando únicamente el tiempo de la toma de muestra (alícuota).

Sus limitaciones son:

- 1.- Su tardanza en comparación al método del hidrómetro.
- 2.- Efectuar una cuidadosa y constante succión.
- 3.- Usar un factor de corrección por cantidad de agentes dispersante.
- 4.- La suspensión de suelo no debe ser mayor de 0.2%.

El Método fué reconocido internacionalmente siendo sus autores G.W. Robinson en Wales; Krauss en Alemania y Jennings. Thomas y Gardner en U.S.A., quienes independientemente lo desarrollaron (7), (8).
(9).

La descripción de este método al igual que los anteriores se hizo muy superficialmente, pese a su importancia y a su similitud con el método que se me asignó para el presente trabajo, en cuanto al uso de dispersantes químicos y a las leyes a que ambos están sujetos. (Tales leyes o principios se describirán más adelante al entrar de lleno al Método del Hidrómetro, Bouyoucos).

3) Método del Hidrómetro. (Bouyoucos)

En esta etapa entro de lleno al trabajo que se me encomendó para el desarrollo de la presente tesis. El autor del mencionado método fué George John Bouyoucos (5) (6) quién fué distinguido con el título de Profesor Emeritus of Soil Science.

El método del hidrómetro es conocido también con el nombre de Bouyoucos en honor al apellido del Autor, quién lo desarrolló en el año 1927; siendo comúnmente usado con resultados satisfactorios, tanto en laboratorios científicos destinados a la investigación como aquellos comerciales. Es considerado como el método oficial de la "American Society for Testing Materials y por el U.S. Bureau of Public Roads". Siendo ampliamente usado por varias casas industriales interesadas en saber el tamaño de las partículas del suelo y otros materiales como la sílica. La popularidad adquirida de este método se debe a su sencillez, rapidéz y exactitud. al extremo que con ligeras nociones de manipuleo, poca práctica y experiencia, puede obtener resul-

tados satisfactorios dentro de los límites permisibles. Sin embargo, poco después de su invención, dicho método fué criticado por Keen (10) quién dijo que no solamente era un procedimiento empírico sino que poco cuantitativo; y que ambos puntos merecían especial consideración: primero que la densidad de la suspensión no era uniforme; y segundo que el volumen del hidrómetro disturbaba la caída de las partículas.

Posteriormente Bouyoucus y Richter (citado en 5) hicieron correcciones debido al factor temperatura la cual afectaba las lecturas del hidrómetro; asimismo, el hidrómetro fué modificado en su forma y dimensión, basados en la densidad de las partículas del suelo de 2.65, y la ecuación de Fisher-Odén (citado en 5) $P_s = P_w + \frac{W}{L} (1 - \frac{P_w}{P_r})$; en donde: P_s = densidad de la suspensión; P_w = densidad del medio de dispersión; P_r = densidad del suelo; W = peso de la muestra de suelo; y L = volumen de suspensión.

Las medidas del hidrómetro fueron hechas pués en el tipo Bouyoucos que vino a sustituir el hidrómetro llamado "Streamline". Su forma más fusiforme se adaptó mejor a la figura del cilindro de sedimentación y su calibración fué hecha a una profundidad efectiva en unidades Bouyoucos (gramos por litro de suspensión de suelo de gravedad específica 2.65). La determinación del tamaño de los separa-

dos fué hecha por modificación de la ASTM. * aplicando la ley de Stokes (citado en 11 - 12)

$$V = \frac{2}{9} \frac{(dp - d) \cdot gr^2}{n}$$
 en donde: V = velocidad de caída de las partículas en cm/seg.; dp = densidad de las partículas en gr/cc.; d = densidad del fluido o medio en gr/cc.; g = aceleración debida a la gravedad cm/seg².; r = radio efectivo de las partículas en cm.; n = viscosidad del fluido o medio en Dinseg/cm². Stokes como científico también se interesó en los problemas relacionados con la sedimentación y velocidad de caída de las partículas en un medio de suspensión; de determinado volumen y a determinada altura; para enunciar su ecuación ya mencionada, asumió los siguientes puntos:

- a) Las partículas en el medio deben ser mayores en relación a las partículas del fluido (moléculas de agua) ya que si son igual o menores, se establece un fuerte movimiento Browniano. Las partículas deben ser mayor de 100 Å (0.01 μ);
- b) las partículas deben ser rígidas y lisas; esto casi no se cumple en los suelos; pero Stokes supuso una partícula considerada como esfera y del mismo material, que caería a la misma velocidad, en el mismo medio, con un radio igual al de la partícula tratada; denominado "Radio Efectivo";

* American Society of Testing Materials. Procedures for testing Soils pp 19-29 ASTM. 1916 Race St. Phyladelphia 3. 1944.

- c) No debe haber deslizamiento entre las partículas y el medio. Esto sí cumple puesto que cada partícula está rodeada de una película delgada de agua y por la atracción electrostática entre las partículas y el medio se impide el deslizamiento; efectuándose un asentamiento casi ideal;
- d) El volumen del líquido (medio) debe ser mucho mayor comparado con el volumen del material usado; para lograr una caída libre;
- e) La velocidad de caída no debe exceder límites críticos, con el objeto de que la viscosidad del medio sea la única resistencia que se oponga a la caída libre de las partículas;

A los puntos anteriores el autor encontró 5 limitaciones que contravienen su Ley; "Limitaciones de la ley de Stockes".

- a) Las diferentes formas de las partículas de un mismo tamaño, conduce a un cierto error; prácticamente no hay una forma de eliminar tal error;
- b) Puesto que la velocidad de caída de una partícula en el medio es inversamente proporcional a la viscosidad del medio, cualquier cambio de temperatura hará variar la viscosidad del medio y por consiguiente la velocidad de asentamiento de las partículas. Luego se requiere que durante la determinación mecánica (el proceso de asentamiento y cambio de densidad)

la temperatura se mantenga lo más constante posible;

- c) Los cambios de temperatura provocan corrientes de convección a lo largo de las paredes del recipiente alterando la caída y velocidad de las partículas en su asentamiento;
- d) Los golpes o movimientos al recipiente (movimientos de vibración) producen corrientes en varias direcciones (laterales, ascendentes, descendentes) con lo cual no se sabe si las partículas que se han asentado son de un solo tamaño o de varios; y
- e) Las partículas de suelo tienen diferente densidad por su constitución química, mineralógica y grado de hidratación. Debe tomarse la muestra con su densidad promedio.

4) Preparación del material y equipo para el trabajo

Con la idea de poder preparar lo mejor posible mi trabajo para observar el efecto de los dispersantes sobre las diferentes muestras y poder llegar a un punto final más o menos concluyente, elaboré la preparación del material a usar procurando evitar toda clase de errores tanto de manipuleo como en el material y equipo que se usó, de lo cual hago mención más adelante.

5) Material:

- A) Muestras: Se me asignó un número no mayor de 8 muestras, ni menor de 3; habiendo optado por el promedio, 5 por ser este número de

muestras una cantidad apropiada para manipularlas, por el número de repeticiones y porque la parte estadística acordó este número de muestras, como el más adecuado para los cálculos y conclusiones.

Referente a la gama textural se procuró por más o menos obtener muestras desde arcillosa a franca, puesto que es imposible conseguir ejemplos de suelos verdaderamente representativos de las distintas clases texturales. Se pensó en trabajar con una muestra modelo (arcilla pura o de cualquier otra clase textural cuyos porcentajes de los tres separados principales fueran conocidos) para usarla como muestra-cheque; pero se encontró con el factor tiempo como limitante, puesto que había que pedirla a los U.S.A.; habiendo pues adoptado por trabajar con muestras dentro de los límites texturales ya mencionados, (arcilloso a franco) descartándose el arenoso por no ser afectada por los dispersantes químicos, ya que las arenas carecen de cargas electronegativas que entran en juego con los agentes cementantes.

Las muestras que fueron semetidas a tal trabajo procedieron de:

Muestra No. 1: De consistencia arcillosa al tacto, color rojizo, pH, 5.65 y con 0.36% de materia orgánica. Fué tomada en Mariscos, Izabal, sobre suelos Guapinol.

Muestra No. 2: De Consistencia Franco arcillosa a arcillosa al tacto, color negro, pH 6.30 y 8.53% de materia orgánica. Fué tomada en la Democracia, Escuintla, de suelos Camantulul.

Muestra No. 3: De consistencia más o menos franca al tacto, color gris-parduzco, pH 8.32 y con 1.26% de materia orgánica. Fué tomada en el Jícaro, Progreso, sobre suelos de los Valles no diferenciados.

Muestra No. 4: De consistencia más o menos franca al tacto, color gris-parduzco, pH 8.03 y con 12.21% de materia orgánica. Fué tomada en el mismo lugar que la muestra anterior (Muestra No.3), sobre los mismos suelos.

Muestra No. 5: De consistencia Franco arcillosa a arcillosa al tacto, color gris-oscuro, pH 7.27 y con 6.52% de materia orgánica. Fué tomada en Sábana Grande, El Rodeo, Escuintla. Con respecto a ésta muestra se hace saber que se tomó en cuenta más que todo por el problema que presentaba de floculación. Tal factor no se investigó en relación a los agentes cementantes que ocasionan tal fenómeno; pero a juzgar por el pH de la muestra probablemente se debe a los iones floculantes de Ca. y Mg; así como, al alto contenido de materia orgánica; habiéndose concretado a lo estipulado por el trabajo o sea observar la acción de el mejor agente de dispersión. El trabajo, "re-

lación agente dispersante agentes cementantes" puede quedar para otro trabajo investigativo de tesis, relacionado siempre con el análisis mecánico.

B) Dispersantes: El mantenimiento de una dispersión estable depende de la completa hidratación de las partículas del suelo no solamente por medio del agua, sino que también por la acción directa de los agentes dispersantes. Estos elevan el potencial electrocinético de modo que las partículas coloidales se repelan entre sí, produciendo un efecto de constante rechazo que hace que el material se mantenga disperso en el medio acuoso. Esto se logra reemplazando los cationes polivalentes absorbidos a los paquetes laminares de los coloides por sodio o litio. (13).

Los agentes químicos dispersantes que usé en el presente trabajo, fueron:

Agente No. 1: Oxalato de Sodio, al grado de solución saturada después de calentado al punto de ebullición.

Agente No. 2: Hexamentafosfato de Sodio, al 5%. Se le conoce comercialmente con el nombre de Calgón.

Agente No. 3: E.D.T.A. sal tetrasódica al 1% del ácido etilendiamino tetracético.

Agente No. 4: Mezcla de Oxalato de Sodio al grado de solución saturada (dispersante No. 1) con el Hidróxido de Sodio 1N, en

relación uno a uno (1:1)

Agente No. 5: Mezcla de Oxalato de Sodio al mismo grado de saturación (dispersante No. 1.) con ciliato de sodio con 19° Bommé en proporción uno a uno. (1:1).

6) Equipo:

Hidrómetro: Se usó uno solo. El utilizado corrientemente en las determinaciones mecánicas de suelos en el laboratorio del Instituto Agropecuario Nacional (I.A.N.) Tal Hidrómetro es del tipo "Taylor", calibrado en unidades Bouyoucos a 68°C (gramos de material en suspensión por litro). Las dimensiones del Hidrómetro son: 27.50 cm. de longitud total; 13.50 cm. solamente el vástago, el cual tiene divisiones que corren de 0 a 60 unidades, divididas en 10 unidades.

Termómetro: Se utilizó un termómetro de inmersión parcial cuya lectura está dada en °F.

Probetas: Se utilizaron 30 probetas o cilindros de sedimentación de 1130-1205 ml. especiales para tal determinación. Se optó por trabajar con 30 probetas, puesto que eran 5 muestras sometidas a 3 tiempos distintos de agitación con cada uno de los dispersantes; bajo estas condiciones se prepararon 3 grupos de 5; es decir para los 2-5 y 10 minutos estipulados de agitación, respectivamente, que hacían un total de 15 muestras analizadas por la mañana y 15 muestras analizadas por la tarde.

Como los análisis se efectuaron en duplicado el trabajo mecánico fué de 6 días, más el tiempo utilizado en las repeticiones para corroborar lecturas y resultados.

Aparatos dispersantes: Se utilizaron 5 aparatos agitadores conectados en serie para que trabajaran todos al mismo tiempo y el lapso de agitación fuera igual para todas las muestras. El número de revoluciones no se midió, pero se calcula que osciló entre 14.000 a 16.000 R.P.M.

Vasos de precipitación de 250 ml. (Beakers): Dichos recipientes se usaron para dejar en remojo las muestras juntamente con los dispersantes, durante las 15 horas estipuladas.

Pipetas: Se hizo uso de una pipeta volumétrica para medir exactamente la alícuota de 10 ml. agregada a las muestras de cada uno de los dispersantes.

7) Descripción del procedimiento que se siguió:

Se pesaron 50 gr. de suelo secado al aire y tamizado a 2 mm.; para ello se usó una balanza de torsión bastante sensible y exacta. La misma balanza fué usada para efectuar todas y cada una de las pesadas para evitar errores en la cantidad de muestras. Los 50 gr. de suelo se trasladaron cuidadosamente a un beakers de 250 ml. y se agregó aproximadamente 200 ml. de agua destilada, más la alícuota de 10 ml. del dispersante.

Los 10 ml. del agente dispersante fueron siempre agregados con la misma pipeta volumétrica habiendo tenido el cuidado de lavarla con agua destilada y enjuagarla, previamente con cada cambio de dispersante.

Los 50 gr. de suelo fueron dejados en remojo durante 15 horas es decir de las 5 p.m. a las a.m. del día siguiente. Después del tiempo de remojo ya mencionado, los 50 gr. de suelo fueron trasladados con todo cuidado a las copas de los aparatos dispersantes para su agitación. Este paso fué uno de los que más cuidadosamente se trabajó; como se contaba con 5 aparatos de agitación, éstos se instalaton en serie para conectarlos y desconectarlos todos al mismo tiempo y lograr así hacerlos andar y pararlos simultáneamente, para que las muestras fueran agitadas exactamente y por igual durante los 2-5 y 10 minutos estipulados. Para evitar confusiones de las muestras, a éstas se les numeró de 1 a 5 en el orden anteriormente descrito y por consiguiente, las copas también fueron numeradas de 1 a 5; no así los aparatos de agitación puesto que las copas fueron enganchadas a éstos al verdadero azar. Se optó por conectar las copas de agitación alternadamente y al azar para prevenir los errores que pudieran suscitar por los siguientes factores: a) El desgaste de las hélices no es nunca parejo.

b) Las velocidades de rotación de cada aparato son diferentes entre sí. c) Algunos aparatos tenían más uso que otros. d) Por fluctuaciones de corriente (los aparatos más nuevos siempre responden más rápidamente y sufren menos calentamiento, lo cual influye en el factor velocidad ya mencionado). e) Diseño de las copas (Estas en su interior poseen varillas paralelas entre sí y a su vez paralelas a la pared interna del vaso en dirección perpendicular al fondo. Dichas varillas se encontraban en algunas copas en un número de 3 y en otras de 4, variando éstas entre sí en su espesor. Con el ideal de evitar que la misma muestra fuera sometida a estos factores se pensó en agitarlas como se dijo yá, en una forma al azar.

Una vez agitadas las muestras, los 50 gr. de suelo fueron trasladados cuantitativamente a las probetas de sedimentación, haciendo uso de una pizeta para bajar de las paredes y trasladar hasta la última partícula de suelo. Inmediatamente las probetas fueron enrazadas con agua destilada hasta la marca de 1130 ml. con el hidrómetro sumergido.

En este otro paso para evitar confundir las muestras, los cilindros de análisis mecánico (probetas de sedimentación), fueron igualmente numerados de 1 a 5.

Los pasos subsiguientes se hicieron, siguiendo la técnica pa-

ra análisis mecánico por el método del hidrómetro de Bouyoucos (15) es decir: a) Se agitó la muestra en suspensión por espacio de 1 minuto exacto; sosteniendo el cilindro con una mano y tapando la boca con la otra sin desparramar la suspensión de suelo. b) Rápidamente se colocó la probeta sobre una superficie firme y a los 40 segundos exactos se efectuó la primera lectura del hidrómetro. Se tuvo sumo cuidado en introducir y estabilizar el hidrómetro para efectuar dicha lectura; así como, tomar la temperatura cuidadosamente para las correcciones correspondientes a la lectura del hidrómetro. y c) Se dejó la muestra en completo reposo y a las 2 horas exactas se efectuaron nuevamente las segundas lecturas, tanto del hidrómetro, como de temperatura.

8) Cálculos analíticos del método:

- a) Se obtuvo el factor dividiendo 100 entre el peso de la muestra en base seca (50 gr.); o bien dividiendo 200 entre el peso de la muestra que salió del horno para obtener la base seca (10 gr.).
- b) Se efectuó la corrección de la lectura del hidrómetro por efecto de la temperatura de la suspensión de suelo; restando la temperatura que marcó el termómetro de la temperatura a la cual está calibrado el hidrómetro (68°F.). Cada grado de di-

ferencia afecta al hidrómetro en 0.2 de su lectura, obteniendo así la "lectura corregida" por suma o substracción.

c) Factor x primera lectura corregida = % Limo y Arcilla.

d) Factor x segunda lectura corregida = % de Arcilla.

e) (% de Limo y Arcilla) - (% de Arcilla) = % de Limo.

f) (100) - (% de Limo y Arcilla) = % Arena.

g) % Arcilla + % de Limo + % de Arena = 100%,

Nota: No se tomó en cuenta el error de lectura del hidrómetro por densidad de los dispersantes, pues 10 ml. no afectaron en casi nada las lecturas.

9) Clase textural:

El porcentaje de las tres porciones o partículas primarias del suelo, determinan la textura del suelo; la cual se obtuvo por medio del "Triángulo Textural" de U.S.D.A.

Cuadro No. 1.-

Resultados del Análisis Mecánico en porcentajes de arcilla, limo y arena; y clase textural, según las determinaciones con : CALGON (Hexametáfosfato de Sodio).

Muestra	Tiempo Agitación Minutos	% Arcilla	% Limo	% Arena	U.S.D.A. Clase Textural
1	2	37.77	31.33	30.90	Franco Arcilloso
1	5	37.98	32.70	29.32	Franco Arcilloso
1	10	39.24	31.12	29.64	Franco Arcilloso → Arcilla
2	2	11.73	29.26	59.01	Franco Arenoso
2	5	15.01	33.80	51.19	Franco
2	10	16.40	32.79	50.81	Franco
3	2	7.10	16.37	76.53	Franco Arenoso
3	5	9.29	15.43	75.28	Franco Arenoso
3	10	10.01	16.58	73.41	Franco Arenoso
4	2	10.67	31.62	57.71	Franco Arenoso
4	5	13.88	29.70	56.42	Franco Arenoso
4	10	15.04	32.14	52.82	Franco Arenoso → Franco
5	2	6.60	23.42	69.98	Franco Arenoso
5	5	8.64	28.66	62.70	Franco Arenoso
5	10	12.74	30.70	56.56	Franco Arenoso → Franco

Medias de dos determinaciones.

Cuadro No. 2.-

Resultados del Análisis Mecánico en porcentajes de Arcilla, Limo y Arena; y clase textural, según las determinaciones con : OXALATO DE SODIO.-

Muestra	Tiempo Agitación Minutos	% Arcilla	% Limo	% Arena	U.S.D.A. Clase Textural
1	2	36.18	31.65	32.17	Franco Arcilloso
1	5	37.87	31.23	30.90	Franco Arcilloso
1	10	38.72	30.90	30.38	Franco Arcilloso
2	2	11.10	29.63	59.27	Franco Arenoso
2	5	15.64	29.01	55.35	Franco Arenoso
					Franco Arenoso →
2	10	18.54	29.26	52.20	Franco
3	2	9.18	16.16	74.66	Franco Arenoso
3	5	10.33	16.37	73.30	Franco Arenoso
3	10	11.16	14.91	73.93	Franco Arenoso
4	2	11.96	31.49	56.55	Franco Arenoso
4	5	15.30	29.69	55.01	Franco Arenoso
4	10	16.33	31.75	51.92	Franco Arenoso →
					Franco
5	2	F L O C U L O			
5	5	F L O C U L O			
5	10	F L O C U L O			

Medias de dos determinaciones.

Cuadro No. 3.-

Resultados del Análisis Mecánico en porcentajes de Arcilla, Limo, Arena; y Clase Textural, según las determinaciones con: E.D.T.A. SAL TETRASODICA.-

Muestra	Tiempo Agitación Minutos	% Arcilla	% Limo	% Arena	U.S.D.A. Clase Textural
1	2	17.94	51.69	30.37	Franco Limoso
1	5	18.55	52.32	29.13	Franco Limoso
1	10	20.89	50.43	28.68	Franco Limoso → Franco
2	2	10.09	31.53	58.38	Franco Arenoso
2	5	12.86	31.83	55.31	Franco Arenoso
3	2	6.26	16.06	77.68	Arena Franca
3	5	4.28	20.75	74.97	Arena Franca → Franco Arenoso
3	10	8.76	16.37	74.87	Arena Franca → Franco Arenoso
4	2	8.36	33.42	58.22	Franco Arenoso
4	5	9.90	34.06	56.04	Franco Arenoso
4	10	10.15	29.95	59.90	Franco Arenoso
5	2	F L O C U L O			
5	5	F L O C U L O			
5	10	F L O C U L O			
Media de dos determinaciones					

Cuadro No. 4.-

Resultados del Análisis Mecánico en porcentajes de Arcilla, Limo y Arena; y Clase Textural, según las determinaciones con: MEZCLA OXALATO DE SODIO + HIDROXIDO DE SODIO (1:1)

Muestra	Tiempo Agitación Minutos	% Arcilla	% Limo	% Arena	U. S. D. A. Clase Textural
1	2	36.29	31.43	32.28	Franco Arcilloso
1	5	37.13	32.07	30.80	Franco Arcilloso
1	10	37.66	34.08	28.26	Franco Arcilloso
2	2	13.87	28.00	58.13	Franco Arenoso
2	5	15.01	30.64	54.35	Franco Arenoso
2	10	17.91	31.66	50.34	Franco
3	2	8.35	16.89	74.76	Franco Arenoso
3	5	10.32	15.44	74.24	Franco Arenoso
3	10	10.43	18.57	71.00	Franco Arenoso
4	2	15.43	29.82	54.75	Franco Arenoso
4	5	16.45	29.57	53.98	Franco Arenoso
4	10	18.64	28.92	52.44	Franco Arenoso → Franco
5	2	8.53	25.81	65.66	Franco Arenoso
5	5	9.44	30.13	60.43	Franco Arenoso
5	10	8.53	38.66	52.81	Franco Arenoso → Franco

Medias de dos determinaciones.

Cuadro No. 5.-

Resultados del Análisis Mecánico en porcentajes de Arcilla, Limo Arena; y Clase Textural, según las determinaciones con: MEZCLA OXALATO DE SODIO + SILICATO DE SODIO 19^oB (1:1).

Muestra	Tiempo Agitación Minutos	% Arcilla	% Limo	% Arena	U.S.D.A. Clase Textural
1	2	25.85	41.04	33.11	Franco ----- Franco Arcilloso
1	5	31.86	37.24	30.90	Franco Arcilloso
1	10	31.76	39.66	28.58	Franco Arcilloso
2	2	12.61	32.66	54.73	Franco Arenoso
2	5	17.15	33.93	48.92	Franco
2	10	21.19	33.04	45.77	Franco
3	2	7.09	18.25	74.66	Franco Arenoso
3	5	9.50	15.95	74.55	Franco Arenoso
3	10	12.10	18.14	69.76	Franco Arenoso
4	2	13.50	32.01	54.49	Franco Arenoso
4	5	15.94	33.45	50.61	Franco
4	10	20.31	32.39	47.30	Franco
5	2	6.26	22.06	71.68	Franco Arenoso
5	5	9.55	26.04	64.41	Franco Arenoso
5	10	13.12	31.50	55.08	Franco Arenoso

Medias de dos determinaciones

Cuadro No. 6.-

COEFICIENTES DE VARIACION (%) ENTRE DETERMINACIONES DE ARCILLA Y LIMO EN UNA MISMA MUESTRA; CON LOS DISPERSANTES Y TIEMPOS QUE SE INDICAN.

Dispersante Tiempo (min.)	A R C I L L A				L I M O			
	2	5	10	Media	2	5	10	Media
Calgón (exametafosfato de Sodio)	4.97	3.54	4.41	4.23	3.96	3.55	3.84	3.78
Oxalato de Sodio	5.40	3.49	1.50	3.66	3.46	2.72	2.77	3.00
E.D.T.A. sal tetrasódica.	35.72	46.51	39.93	40.92	16.48	19.95	22.90	19.92
Oxalato + Hidróxido de Sodio (1:1)	4.81	5.66	5.47	5.34	3.19	2.64	3.49	3.14
Oxalato + Silicato de Sodio (1:1)	2.86	2.55	1.91	2.31	2.40	3.57	1.95	2.70

Cuadro No. 7.-

COEFICIENTES DE CORRELACION ENTRE LAS DETERMINACIONES DE ARCILLA Y LIMO (ABAJO DE DIAGONAL), CON CINCO DISPERSANTES.-

Dispersante	Calgon	Oxalato de Sodio	E.D.T.A. sal Tetrasódica	Oxalato + Hidróxido de Sodio	Oxalato + Silicato de Sodio.
Calgón (Hexametáfosfato de Sodio)		0.97*	0.97*	0.97*	0.99*
Oxalato de Sodio	.45		.94*	.98*	.96*
E.D.T.A. Sal Tetrasódica.	.55	.59		.93*	.96*
Oxalato + Hidróxido de Sodio (1:1)	.76*	.52	.87*		.98*
Oxalato + Silicato de Sodio (1:1)	.60	.54	.91*	.86*	

----- A R C I L L A -----

----- L I M O -----

* Significativo .05 de probabilidad.

IV.- RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados de las determinaciones del análisis mecánico mediante los diferentes agentes dispersantes, se muestran en los cuadros No. 1, No. 2, No. 3, No. 4 y No. 5.- El análisis estadístico de los resultados de tales determinaciones también se muestra en los cuadros No. 6 y No. 7. Los datos del análisis de partículas están expresados en porciento de arcilla, limo y arena; siendo tales cifras la media de dos determinaciones. En los mencionados cuadros también se indica la clase textural correspondiente a cada muestra según dichas determinaciones; siguiendo la clasificación del **triángulo textural** del Departamento de agricultura de los Estados Unidos.*

Es notorio para el caso del calgón (Hexametafosfato de Sodio); cuadro No. 1, que para cada una de las muestras a diferente tiempo de agitación hay una tendencia a una mejor dispersión al aumentar el porciento de arcilla; es decir, que la tendencia está en relación directa con el aumento del tiempo de agitación; presentando así una variación en la clase textural para cada una de las muestras. Se observa que para la muestra No. 1 la clase textural fué Franco Arcilloso con 2 minutos de agitación habiéndose desplazado hacia el límite de la zona de arcilla con 10 minutos de agitación. El mismo fenómeno se observó con las muestras No. 2, No. 4 y No. 5; exceptuando la muestra No. 3 cuya clase textural permaneció en Franco Arenoso, aunque

* Soil Survey Staff, 1951, Soil Suvery Manual, Agriculture Handbook 18, USDA, 209.

el porcentaje de arcilla, como ya se indicó conserva la tendencia de aumentar conforme se incrementa el tiempo de agitación, En cuanto al limo se refiere, las muestras presentan una tendencia irregular de aumentar el porcentaje de esta fracción en razón directa al tiempo de agitación. Las muestras No. 1 y No. 2 presentan mejor dispersión de limo con 5 minutos de agitación; así, las muestras No. 3 y No. 4 cuyo porcentaje de limo reporta mas bajo para los 5 minutos de agitación.

Es de hacer notar que para el caso de estas dos muestras como se comporta en su dispersión prácticamente igual con 2 y 10 minutos de agitación; pero son más confiables los datos obtenidos con 10 minutos de agitación pues de inmediato se nota el mejor efecto dispersante de la agitación mecánica; tanto en ésta fracción como en el complejo argílico. En la muestra No. 5 se observa un comportamiento proporcional a los tiempos de agitación; es decir, el limo, al igual que como se describió para la arcilla, aumenta su contenido en porcentaje.

Para el caso del Oxalato de Sodio; cuadro No. 2 el comportamiento de dispersión es igual que para el dispersante anterior (calgón); vale decir, que prevalece la tendencia de aumentar el porcentaje de arcilla en razón directa al mayor tiempo de agitación. Nótese que con este agente químico los porcentajes de arcilla de las muestras No. 2, No. 3 y No. 4 presentan un ligero incremento cuantitativo; no así para la muestra No. 1 que reporta datos ligeramente más bajos. En

cuanto a la porción limo se refiere; ésta presenta, para cada una de las muestras, la tendencia general de no variar en sus porcentos; pero habiendo subido los porcentos de arcilla es lógico que los porcentos de la fracción limo se reportenlevemente más bajos que con el dispersante anterior (calgón). No obstante, nótese que a pesar de haberse reportado un alza en los porcentos de arcilla en las muestras ya indicadas (No. 2, No. 3 y No. 4), la clase textural muestra un menor efecto de dispersión puesto que se observa una tendencia menos marcada a desplazarse hacia las zonas de textura más fina. Obsérvese lo dicho principalmente con la muestra No. 1, y con las muestras No. 2 y No. 4 con los dispersantes químicos hasta ahora discutidos (calgón y Oxalato de Sodio). Además, se corrobora tal observación con la muestra No. 5 que para este agente (Oxalato de Sodio) presentó el fenómeno de floculación.

En cuanto al E.D.T.A. sal tetrasódica se refiere, se observó un comportamiento diferente e irregular en cada una de las muestras de suelo. Los datos mostrados en el cuadro No. 3 son el promedio de dos determinaciones cuyos resultados mostraron una marcada diferencia; lo cual se observa: a) en el descenso de la fracción coloidal mas fina (arcilla); b) Al no haberse efectuado una dispersión constante y similar en los duplicados, es natural observar el incremento en la fracción limo que indudablemente no logró fraccionarse de la arcilla y; c) La clase textural sufrió un notorio cambio para las muestras No. 1

y No. 3. La tendencia de aumentar el porcentaje de arcilla en razón directa al tiempo de agitación es igual que para los otros agentes químicos; pero en menor grado de dispersión. El E.D.T.A. al igual que el Oxalato de Sodio, no logró dispersar la muestra No. 5, que en igual forma floculó. La gran variabilidad en los resultados observados con este dispersante, también se muestran en el cuadro No. 6 en donde la variación media entre determinaciones sobre una misma muestra es de 40.92% y de 19.92% para arcilla y limo respectivamente.

Al discutir la mezcla de Oxalato de Sodio con Hidróxido de Sodio; cuadro No. 4, en la generalidad de las muestras se observa un comportamiento similar con el Oxalato de Sodio simple (cuadro No. 2), Comparativamente los porcentos de arcilla y limo para ambos dispersantes son prácticamente iguales; a excepción de la muestra No. 4 que para la mezcla de Oxalato e Hidróxido de Sodio reporta la fracción de arcilla un poco mas elevada. La clase textural igualmente deja ver que los efectos de dispersión son prácticamente iguales; sin embargo, la mezcla de estos dos dispersantes (Oxalato e Hidróxido de Sodio), presentó una mejor dispersión para la muestra No. 2 la que con 10 minutos de agitación reportó un cambio definitivo textural de Franco Arenoso a Franco. Es de hacer notar que con dicha mezcla química se efectuó la dispersión de la muestra No. 5 sin problemas visibles de floculación; pero comparando los porcentos de arcilla obtenidos con

el calgón (cuadro No. 1) es notorio que para esta mezcla de dispersantes la tendencia de dispersión no es proporcional al incremento del tiempo de agitación; observándose que el porcentaje de arcilla es mas alto para los 5 minutos de agitación, y mas bajo e igual para los 2 y 10 minutos de agitación. Véase que en esta muestra No. 5 el calgón tiene su mejor efecto dispersante con 10 minutos de agitación, en que el porcentaje de arcilla se reporta mas alto.

Analizando el último de los dispersantes estudiados, la mezcla de Oxalato de Sodio con Silicato de Sodio 19^oB.; cuadro No. 5, de inmediato se observa el comportamiento proporcional de dispersión al mayor tiempo de agitación en cada una de las muestras. El porcentaje de arcilla para las muestras No. 2, No. 3 y No. 4 es mayor con esta dispersante que el porcentaje obtenido con los dispersantes mostrados en los cuadros No. 1, No. 2 y No. 4; correspondiendo el más alto porcentaje de arcilla para los 10 minutos de agitación; lo que puede además notarse con la clase textural en donde se observa que las muestras No. 2 y No. 4 pasan a ser de textura Franca con 5 y 10 minutos de agitación. Para el caso de la muestra No. 1 el porcentaje de arcilla bajó considerablemente con los tres tiempos de agitación, reportándose una textura Franca para 2 minutos de agitación y Franco Arcillosa para 5 y 10 minutos en comparación con el calgón que como se dijo ya tiende a arcilla con los 10 minutos de dispersión mecánica. La mezcla química que compone este quinto agente, al igual que el calgón

y la mezcla de Oxalato e hidróxido de Sodio, efectuó la dispersión de la muestra No. 5; siendo el porcentaje de arcilla, para este último dispersante muy bajo para los 2 minutos de agitación y correspondiendo el más alto valor de tal porción coloidal para 10 minutos de agitación.

En el cuadro No. 6 se muestran los porcentajes de variación entre determinaciones sobre una misma muestra de suelo, observados con los dispersantes. Como ya se indicó, con el uso de E.D.T.A. sal tetrasódica, se observa la máxima variación, indicando ello resultados muy erráticos aún sobre las mismas muestras. Los restantes dispersantes presentan variaciones más o menos similares entre sí y no tan grandes como la indicada anteriormente; siendo aparente que en general y cualquiera que haya sido el tiempo de agitación, los dispersantes menos variantes fueron el oxalato de sodio y la mezcla Oxalato con Silicato de Sodio, tanto en las determinaciones de limo como de arcilla. En estos dos dispersantes también es aparente la tendencia de que a mayor tiempo de agitación, menor es la variación entre determinaciones. El calgón y la mezcla de Oxalato + Hidróxido de Sodio, presentan variaciones ligeramente mayores que los dos dispersantes considerados en el párrafo anterior; y además no exhiben la tendencia indicada con respecto al tiempo de agitación.

En el cuadro No. 7 se muestran los coeficientes de correlación en las determinaciones de limo y arcilla, observados entre pares de

dispersantes. Para las determinaciones de arcilla todos los coeficientes son estadísticamente significativos, siendo esto evidencia de que en general, las determinaciones del porcentaje de arcilla son similares cualquiera que sea el dispersante.

Sin embargo, lo anterior no se puede aplicar al caso de las determinaciones de limo, pues no habiendo correlación entre algunos dispersantes, ello indica que las determinaciones de limo varían según el dispersante utilizado y esto puede conducir a clasificar una muestra en diferentes clases texturales, las que corresponden a las obtenidas con oxalato de sodio se pueden considerar diferentes de las obtenidas con los restantes dispersantes.

Los porcentajes de limo dispersado con la mezcla Oxalato e Hidróxido de Sodio son similares a los obtenidos con Calgón y E.D.T.A. sal tetrasódica; sin embargo, los observados con estos dos últimos dispersantes no son similares. Por otra parte, las dispersiones con la mezcla Oxalato + Silicato de Sodio, dan resultados de limo similares a los obtenidos con la mezcla Oxalato + Hidróxido y con E.D.T.A. sal tetrasódica.

Es de hacer notar para el caso del calgón; cuadro No. 6, que el coeficiente de variación fué más estable con 5 minutos para este mismo dispersante; y en relación al Oxalato de Sodio y a la mezcla de Oxalato y Silicato de Sodio 19⁰B, la media de variación fué un poco mas alta. Siendo el Calgón un dispersante bastante aceptable por

las pruebas a (investigaciones) que ha sido sometido en varios centros de investigación; tal fenómeno pudo haberse debido a la influencia de la temperatura cuya variación entre la primera y segunda lectura produjo corrientes de convección que alteraron la caída libre de las partículas, Además teniendo la muestra No. 1 un pH ácido es de esperar la presencia de sesquióxidos de aluminio y hierro y por su color rojo la abundancia de compuestos libres ferruginosos (hematita) bastante meteorizadas (posiblemente un latosol) cuya reacción química con el hexametáfosfato de sodio fué tal que dió un coeficiente medio de variación de 4.23%.

V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al anunciar las conclusiones en el presente capítulo, se hacen en base tanto a los resultados del análisis estadístico, como al comportamiento que tuvieron los cinco dispersantes sobre las cinco muestras de suelos que fueron sometidas por separado a la acción química de los agentes y a la acción mecánica de los tres tiempos de agitación. Como el presente trabajo se hizo buscando resultados cuyos fines fueran rápidos y prácticos, algunas recomendaciones están enfocadas hacia una investigación más profunda y otras están dadas en base la experiencia del autor.

Como es bien sabido, es indispensable la eliminación de los agentes floculantes para aquellos casos que exigen una completa separación de las partículas primarias del suelo. Los agentes floculantes del suelo por su comportamiento físico y químico se oponen a la dispersión y estos tienden a la formación de agregados del suelo; o bien flóculos en un medio de dispersión. Los agentes floculantes son: Los Hidróxidos de aluminio y hierro, la materia orgánica, los cationes de calcio y magnesio y el complejo argílico propiamente dicho. Posiblemente también podrían considerarse los compuestos de manganeso; así como los fosfatos de aluminio y hierro presentes en pH menores de 5.5 y los fosfatos tricálcicos presentes en pH mayores de 7.5 cuyo estudio se enfoca bajo el fraccionamiento de los fosfatos del suelo y su contenido podría relacionarse con la clase textural, ya que la arcilla

como fracción cambiadora del suelo es la responsable del intercambio iónico y de la fijación de nutrientes. Hoy día el fraccionamiento de la materia orgánica está cobrando interés y podría relacionarse asimismo con la textura del suelo para investigar cual de los ácidos (Fúlvicos - Húmicos - Himatomelánicos - pardos - grises- urónicos y huminas) es el más responsable en la floculación o agregación del suelo; dicho en otras palabras, cual de ellos se opone a la dispersión.

Queda aclarado pues, que en el presente trabajo de tesis las muestras fueron sometidas a la acción de los dispersantes sin haber eliminado los compuestos floculadores. Por lo tanto queda pendiente una serie de investigaciones en lo que al análisis mecánico de los suelos de Guatemala se refiere.

1.- El E.D.T.A. sal Tetrasódica, resultó ser el dispersante de más alto coeficiente de variación y el de menor efecto dispersante para cada una de las muestras en los tres tiempos de agitación. Por simple observación de los datos, este dispersante no es recomendable para los fines prácticos de un análisis mecánico. No obstante se recomienda estudiar más detenidamente los efectos del E.D.T.A. sobre una gama de suelos que incluyan texturas diferentes a las ya estudiadas, así como investigar la relación entre este dispersante y los agentes floculantes para poder descartar definitivamente dicho compuesto químico como dispersante de suelos en el análisis de partículas.

2.- Para suelos de textura fina (Franco Arcillosos y Arcillosos), el calgón (Hexametáfosfato de sodio) es el dispersante que ejerció los mejores efectos de dispersión; correspondiendo el porcentaje más alto de arcilla para los 10 minutos de agitación.

Para los suelos de textura fina puede quedar establecido el uso de calgón con 10 minutos de agitación. En relación a este dispersante se desea hacer mención de algunas experiencias no contempladas en este trabajo y hacer algunas recomendaciones.

- a) En los análisis mecánicos rutinarios se ha observado en muestras arcillosas mejores resultados con calgón que con el oxalato de sodio, siendo ambos dispersantes los más comúnmente usados en el laboratorio.
- b) En varios casos de muestras que presentan el problema de floculación con otros dispersantes; se ha obtenido la dispersión de las mismas con calgón, tal como sucedió con la muestra No. 5 en este trabajo. (cuadro No. 1.).
- c) Para otros casos de floculación se ha obtenido mejores resultados con calgón al 10% y con alícuota de 20 ml; recomendando dejar en reposo la suspensión de suelo por 24 o más horas con el objeto de observar la presencia de pequeños flóculos en la parte superior de la suspensión; ello automáticamente indica que la dispersión no fué satisfactoria y el porcentaje de arcilla y limo no es confiable para la clasificación tex-

tural de la muestra.

- d) Para casos de floculación más fuerte se ha usado la mezcla de calgón al 10% con hidróxido de sodio 1N en relación 1:1, con la cual el autor ha logrado la dispersión por mas de 24 horas de dichas muestras, las cuales han floculado con los agentes estudiados.

Por lo tanto se recomienda:

- a) Efectuar estudios más a fondo sobre el comportamiento del calgón preparado al 10% con alícuota de 20 ml sobre muestras de diferente clase de suelos analizando los resultados estadísticamente.
- b) Efectuar un estudio del Calgón a varias concentraciones sobre una variedad de muestras, y en especial aquellos que presenten el problema de floculación.
- c) Investigar el comportamiento de la mezcla de calgón al 10% con hidróxido de sodio 1N; sobre una gama representativa de muestras. Para esta mezcla igualmente pueden incluirse muestras problemas respecto al fenómeno de floculación.

3.- Para muestras de suelos cuya textura no sea arcillosa; queda dudoso el uso del oxalato de sodio en comparación con el calgón; pues si bien por una parte se observó con el oxalato de sodio el incremento de la fracción de arcilla, por otra parte en cambio se notó que la clase textural no se desplazó hacia texturas más fi-

nas, como sucedió con el calgón.

Como consecuencia y en vista de que el oxalato de sodio es un dispersante bastante usado se recomienda investigar más detenidamente dicho agente químico para poder decir con precisión el efecto de este dispersante sobre muestras de textura no arcillosa, comparativamente con el calgón.

- 3.1 Para muestras que presentan el fenómeno de floculación, el oxalato de sodio no ejerce efectos satisfactorios de dispersión. Por lo tanto, no se recomienda el uso de tal agente en muestras de suelos que tienden a flocular.
- 4.- La mezcla de oxalato de sodio e hidróxido de sodio en la generalidad de las muestras se comporta muy similar al oxalato de sodio simple. Sin embargo la presencia del hidróxido de sodio deja ver un mejor efecto dispersante tanto en muestras con alto contenido de materia orgánica, como la muestra No. 2 cuyo porcentaje del complejo orgánico es de 8.53; así como en muestras que presentan el problema de flocular, como la muestra No. 5. Luego, para análisis rutinarios de partículas se recomienda preferentemente dicha mezcla en vez del oxalato de sodio simple.
- 5.- La mezcla de oxalato de sodio y silicato de sodio 19^oB para la generalidad de las muestras resultó ser un buen dispersante. Los porcentajes de arcilla para muestras de texturas francas fueron los más altos; reportando a su vez el coeficiente de variación

mas bajo tanto para arcilla como para limo, con 10 minutos de agitación.

Por lo tanto, es perfectamente recomendable el uso de este dispersante para los fines prácticos del análisis mecánico y con excepción de muestras arcillosas puede usarse sobre una gran gama de suelos.

En vista de que la mezcla de oxalato de sodio y silicato de sodio tuvo un comportamiento satisfactorio, inclusive para la muestra No. 5 que presenta el problema de floculación, puede recomendarse el uso de tal dispersante ante la mezcla de oxalato e hidróxido y oxalato simple.

Por el comportamiento de dicha mezcla, se recomienda investigar si tales efectos de dispersión se deban mas que a la acción del sodio, a la presencia de los silicatos cuyos efectos posiblemente pudieran radicar en la substitución isomórfica del sílice por el aluminio en la composición íntima del arreglo cristalográfico de las arcillas.

- 6.- Concluyentemente se recomienda 10 minutos como el mejor tiempo de agitación mecánica.
- 7.- Como únicamente se contempló un tiempo de 15 horas para la digestión o remojo de las muestras, es recomendable estudiar otros tiempos mayores y menores para observar que efectos pudiera presentar en la dispersión del suelo; lógicamente tiempos menores y

con mejores resultados, serían los más aceptables para ahorrar tiempo en tal determinación.

- 8.- Ante el problema de la floculación, una investigación especial debe efectuarse con tales muestras; tanto de pH ácido, como de pH alcalino y con alto contenido de materia orgánica. En tales muestras aunque los mejores y mas indicados dispersantes se comporten bien; siempre queda una incógnita respecto a una dispersión satisfactoria, toda vez no se haya investigado y eliminado el factor que produce la floculación.
- 9.- La muestra No. 5 que proviene de un material de cenizas volcánicas (andosoles), hace notar la necesidad de estudiar por separado la dispersión de este tipo de suelos, en donde por regla general abundan las arcillas amorfas (alofanas).
10. Como consecuencia de lo anterior en lo que respecta al análisis mecánico de materiales alofanos, debe investigarse tanto los efectos de dispersión de los agentes químicos ya mencionados, como los de otros agentes tales como las sales de litio y lantano; ya que la penetrabilidad de los dispersantes parece ser limitada por la presencia de alofana que tiende a formar pseudolimos.
11. Para finalizar no debe dejarse al margen de la investigación el análisis mecánico en relación a otros aspectos de la ciencia del suelo.

- a) La relación textura y respuesta de nutrientes (fertilizantes) del suelo.
- b) La relación textura y capacidad intercambio iónico de los suelos.
- c) La relación textura y fijación de nutrientes.
- d) La relación textura y porcentaje de saturación de bases.
- e) La relación y enmiendas de acuerdo al pH.
- f) La relación textura y Materia Orgánica.
- g) La relación textura e infiltración y retención de agua.
- h) La relación textura y erosión del suelo.

Ello contribuirá mejor a la conservación y mejoras del suelo en pro de un rendimiento mayor por unidad de area.

R. J. R. M.

VI .- LITERATURA CITADA:

- 1.- BREWER, R. Fabric and mineral analysis of soil, London, John Wiley & Sons 1964 470p.
- 2.- LYON, T.L. y BUCKMAN, H.O. Edafología, naturaleza y propiedad del suelo, 2a. Ed. Compañía Editorial Continental S.A., 479p.
- 3.- BUCKMAN, H.O. y Brady N.C. Naturaleza y propiedad de suelos. Trad. por R. Salorol Barcelo: México, Uthea, 1966 590p.
- 4.- FASSBENDER, H. W. 1968. Guía para el curso de química de suelos. Turrialba, Costa Rica, C.A., CEI-IICA. (Mimeografiado).
- 5.- CHEN, C.T. y HUA, M. 1947. Mechanical analysis of Soil by means of common hydrometer. Soil Science. 64: 389-398.
- 6.- BOUYOUCOS, G.J. 1927 The hydrometer as a new method for mechanical analysis of Soils. Soil Science. 23: 343-350.
- 7.- ROBINSON, G.W. 1922 A new method for mechanical analysis of Soils and other dispersions. Jour. Agr. Sci. 12: 306-321.
- 8.- KRAUSS, G. 1923. Uber cine neue Methode der mechanischen Bodenanalyse, USW. Internalt. Mitt. Bodenk. 13: 147-160.
- 9.- JENNINGS, D.S. THOMAS, M.D. and GARNER, M. 1922. A new method of mechanical analysis of Soils. Soil, Sci. 14: 485-499.
- 10.- KEEN, B.A. 1928. Some comments on the hydrometer method for Studying Soils. Soil. Sci. 33: 248-251.
- 11.- KILMER, U.J. and ALEXANDER, L. T. 1949. Methods of Mechanical analysis of Soils. Soil Science 68: 15-24.
- 12.- DAY, P.R. 1953. Experimental confirmation of hydrometer theory. Soil Sci. 75: 181-186.
- 13.- GAVANDE, S.A. Los sólidos del suelo (copias del curso de Física de Suelos) Turrialba, Costa Rica, CEI-IICA. s.f.

- 14.- KONONOVA, N. M. Soil Organic Matter 2nd Edition Oxford, Pergamon Press, 1967, 544p.
- 15.- BOUYOUCOS, G.J. 1962. Hydrometer method improved for marking particles size analysis of Soils. Soil Sci. 54: 464-465.

LITERATURA CONSULTADA:

Es mi deseo dejar estas referencias encontradas en la revisión de mi literatura, para facilitar las referencias bibliográficas a quienes deseen consultar sobre el particular, en análisis mecánico de los suelos.-

- a) ALESANDER, L.T. 1930 The dispersion and mechanical analysis of certain Soils high in seqioxides. Internalt Soc. Soil Sci. Proc., Sup. 2:72-76
- b) BAVER, L.D. 1930, The effect of organic matter upon several physical properties of soils. Jour. Amer. Soc. Agron. 22:703-708.
- c) BAVER, L.D. 1940 Soil Physics. New York and London.
- d) BOUYOUCOS, G. J. 1930. Rapid determination of colloidal content and mechanical analysis of soils Bul 9 Rpt. Ann. Meeting Amer. Soil Survey Assoc. 10:197-205.
- e) BEALE, O.W. 1939 Dispersion of lateritic Soils and the effect of organic matter on mechanical analysis. Soils Sci. 48:475-481.
- f) BODMAN, G.B. 1928 The hydrogen peroxide-hydrochloric acid treatment of Soils as a method of dispersion in mechanical analysis. Soil Sci. 26:459-470.
- g) BOUYOUCOS, G. J. 1929. The ultimate natural structure of Soils. Soils. Soil Sci. 28:27-37.
- h) ROBINSON, G. W. 1924. The form of mechanical composition curves of Soils, clay and other granular substance. Jour Agr. Sci. 14:626-633.
- i) THOREEN, R.C. 1933. Comments of the hydrometer method of mechanical analysis, Pub. Roads 14:93-105.
- j) BOUYOUCOS, G. J. 1934. A comparison between the pipette method and the hydrometer method for making mechanical analysis of Soils. Soil Sci. 38.335-345.
- k) BRIGGS, L. J. MARTIN, F.O., and PEARS, J. R. 1904. The centrifugal method of mechanical Soil analysis. U.S. Dept. Agr. Bur Soils Bul 24.-

- l) HOPKINS, C. G. 1899. A plea for scientific basis for the division of Soil particles in mechanical analysis. US Dept. Agr. Div. Chem. Bul. 56: 64-66.
- m) Methods of analyzing sediment samples 1941 Report 4. St. Paul U.S. Engin. Dist. Sub-Office, Hydraulic Lab., Univ. Iowa City, Iowa.
- n) Methods of the mechanical analysis of soils and of the determination of the moisture in Soils in the field 1896 U.S. Dept. Agr. Soils Bul 4.
- o) OLMSTEAD, L. B., ALEXANDER, L. T., and MIDDLETON, H.E. 1930. A pipette method of mechanical analysis of Soils based on improved dispersion procedure. U. S. Dept. Agr. Tech. Bul. 170.
and LAKIN H. W. 1931. The determination of clay and Colloid in Soils by means of sepecific gravitu balance. Amer. Soil Survey Assoc. Bul 12:161-166.
- p) ROBINSON, C. W. 1922. Note on the mechanical analysis of humus Soils Jour. Agr. Sci. 12:287-291.
- q) TROUGE E., et. al. 1937. Procedure of special type of mechanical and minerological Soils analysis. Soils Sci. Soc. Amer. Proc. (1936) 1:101-112.
- r) TYNER, E. H. 1940. The use of sodium metaphosphate for dispersion of soils for mechanical analysis. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. (1939) 4:106-113.
- s) WINTERS, E. Jr., and HARLAND, M. B. 1930. Preparation of Soil Samples for pipette analysis. Jour. Amer. Soc. Agron. 22:771-780.