



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL**  
**FACULTAD REGIONAL RAFAELA**  
**Departamento Ingeniería Civil**

ASIGNATURA  
**PROYECTO FINAL**

**ÉVALUACIÓN DE LA ESTABILIZACIÓN  
DE SUELOS FINOS CARACTERÍSTICOS  
DE LA CIUDAD DE RAFAELA CON LA  
INCORPORACIÓN DE ADITIVOS  
QUÍMICOS**

AUTOR  
**FEDERICO HERNÁNDEZ**

RAFAELA (SF), mayo de 2021.



**EVALUACIÓN DE LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS  
FINOS CARACTERÍSTICOS DE LA CIUDAD DE  
RAFAELA CON LA INCORPORACIÓN DE  
ADITIVOS QUÍMICOS**

PROYECTO FINAL

ELABORADO POR

**FEDERICO HERNÁNDEZ**

BAJO LA DIRECCIÓN DE

ING. CIVIL **RUBÉN ROSETTI**



**EVALUACIÓN DE LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS  
FINOS CARACTERÍSTICOS DE LA CIUDAD DE  
RAFAELA CON LA INCORPORACIÓN DE  
ADITIVOS QUÍMICOS**

Ing. Civil Rubén ROSETTI  
Director



**EVALUACIÓN DE LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS  
FINOS CARACTERÍSTICOS DE LA CIUDAD DE  
RAFAELA CON LA INCORPORACIÓN DE  
ADITIVOS QUÍMICOS**

TRIBUNAL DE EVALUACIÓN

Ing. Civil \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Jurado

Ing. Civil Hugo Félix  
Begliardo

Jurado Presidente

Ing. Civil \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Jurado





## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por guiarme, inspirarme y darme fuerzas para continuar en este proceso de alcanzar uno de mis anhelos más deseados.

A mis padres Carlos y Gabriela, gracias por su amor, sus consejos y por el esfuerzo dedicado en todos estos años han logrado que llegue hasta aquí y convertirme en lo que soy.

Al Ingeniero Rubén Rosetti, por su tiempo, dedicación y su entrega durante los últimos años de la carrera, enseñándome y transmitiéndome todos sus conocimientos.

A la Facultad Regional de Rafaela por brindarme todos los recursos y herramientas que fueron necesarios para llevar a cabo la investigación.

A Carlos Trias, por la contribución del producto ensayado y el aporte de sus conocimientos sobre el mismo.



## PRÓLOGO

La presente investigación consistió en determinar el comportamiento que poseen los suelos característicos de Rafaela con la incorporación de tres proporciones (10%, 20% y 30%) de un estabilizante iónico.

El aditivo químico empleado en esta investigación es elaborado por un laboratorio químico de la ciudad de Buenos Aires, el cual distribuye sus productos en toda Argentina y países limítrofes. El estabilizante en mención es un macro polímero natural que reacciona con la partícula de arcilla disminuyendo su capacidad de adsorción de agua, lo que conlleva a un incremento en su resistencia y durabilidad.

Para el desarrollo de esta tesis primero se obtuvieron las muestras representativas de Rafaela. Posteriormente se analizó el suelo en el Laboratorio de Civil de la Facultad Regional de Rafaela, con base en normas vigentes.

El estudio se centra en dos tipos de muestras examinando las variaciones que sufren en sus propiedades mecánicas una vez incorporado el agente estabilizante.

Al concluir los ensayos realizados, se presentan cuadros comparativos y tablas donde se reflejan los cambios generados por dicho estabilizante.



## ÍNDICE

### **CAPÍTULO 1 - INTRODUCCIÓN**

1.1 PROBLEMÁTICA ACTUAL.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	2
1.2.1 Objetivo general.....	2
1.2.2 Objetivos específicos .....	2
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	2
1.4 ALCANCE.....	2
1.5 ANTECEDENTES.....	3

### **CAPÍTULO 2 - MARCO TEÓRICO**

2.1 INTRODUCCIÓN.....	5
2.2 SUELO .....	5
2.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS .....	6
2.3.1 Origen del suelo.....	6
2.3.2 Tamaño de las partículas del suelo.....	6
2.4 PROPIEDADES ÍNDICES.....	8
2.4.1 Contenido de humedad.....	8
2.4.2 Consistencia .....	8
2.5 CLASIFICACIÓN DE SUELOS .....	9
2.5.1 Sistema de clasificación AASHTO .....	9
2.5.2 Sistema de clasificación SUCS .....	11
2.6 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS SUELOS.....	13
2.7 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE SUELOS DE RAFAELA.....	13
2.7.1 Loess .....	15
2.7.2 Comportamiento de la arcilla.....	15
2.8 ESTABILIZACIÓN DE LOS SUELOS .....	17
2.8.1 Estabilización química con polímeros .....	17

### **CAPÍTULO 3 - UBICACIÓN Y METODOLOGÍA**

3.1 INTRODUCCIÓN.....	25
3.2 TIPO INVESTIGACIÓN.....	25
3.3 POBLACIÓN Y MUESTRAS.....	25
3.3.1 Unidad de estudio .....	25
3.3.2 Población .....	25
3.3.3 Muestras .....	25
3.4 UBICACIÓN Y EXTRACCIÓN DE LAS MUESTRAS .....	27

3.4.1 Muestra 1:.....	27
3.4.2 Muestra 2:.....	29
3.5 TAREAS EJECUTADAS EN LABORATORIO .....	30
3.5.1 Clasificación del suelo.....	30
3.5.1.1 Tamizado del suelo por vía húmeda .....	30
3.5.1.2 Consistencia del suelo .....	32
3.5.1.2. a. Límite líquido.....	32
3.5.1.2. b. Límite plástico .....	34
3.5.1.3 Clasificación del suelo mediante método SUCS.....	36
3.5.1.4 Clasificación del suelo mediante método AASHTO .....	36
3.5.2 Compactación Proctor.....	38
3.5.3 Compresión simple .....	41
3.5.4 Ensayo CBR .....	44
3.5.5 Permeabilidad.....	47
3.6 METODOLOGÍA PARA INCORPORAR EL AGENTE ESTABILIZADOR .....	50
3.6.1 Datos de seguridad.....	50
3.6.2 Propiedades físicas y químicas del estabilizante.....	51
3.6.3 Procedimiento.....	51
<b>CAPÍTULO 4 - ANÁLISIS Y RESULTADOS</b>	
4.1 INTRODUCCIÓN.....	55
4.2 RESULTADOS DE LA MUESTRA 1 .....	55
4.2.1 Humedad natural y análisis granulométrico.....	55
4.2.2 Consistencia .....	56
4.2.3 Proctor Estándar T-99.....	57
4.2.4 Compresión simple .....	58
4.2.5 Ensayo CBR .....	59
4.2.6 Permeabilidad.....	61
4.3 RESULTADOS DE LA MUESTRA 2 .....	62
4.3.1 Humedad natural y tamizado por vía húmeda.....	62
4.3.2 Consistencia .....	63
4.3.3 Proctor Estándar .....	64
4.3.4 Compresión simple .....	65
4.3.5 CBR.....	66
4.3.6 Permeabilidad.....	67
<b>CAPÍTULO 5 - DISCUSIONES</b>	
5.1 LÍMITES DE ATTERBERG.....	69

5.2 PROCTOR ESTÁNDAR.....	69
5.3 ENSAYO C.B.R .....	70
5.4 ENSAYO COMPRESIÓN SIMPLE.....	70
5.5 ENSAYO PERMEABILIDAD .....	71
<b>CAPÍTULO 6 - CONCLUSIONES</b>	
6.1 SUELO NATURAL.....	73
6.2 SUELO MÁS ADITIVO.....	73
6.3 MUESTRA 1 MÁS ADITIVO .....	74
6.4 MUESTRA 2 MÁS ADITIVO .....	74
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>77</b>
<b>ANEXO A – HUMEDAD NATURAL Y LAVADO POR TAMIZ N°200.....</b>	<b>79</b>
ANEXO A-1 - MUESTRA 1.....	81
ANEXO A-2 - MUESTRA 2.....	85
<b>ANEXO B – LÍMITES DE CONSISTENCIA.....</b>	<b>89</b>
ANEXO B-1 - MUESTRA 1.....	91
ANEXO B-2 - MUESTRA 2.....	97
<b>ANEXO C – CLASIFICACIÓN H.R.B Y S.U.C.S.....</b>	<b>103</b>
ANEXO C-1 - MUESTRA 1.....	105
ANEXO C-2 - MUESTRA 2.....	115
<b>ANEXO D – ENSAYO COMPACTACIÓN PROCTOR T-99.....</b>	<b>125</b>
ANEXO D-1 - MUESTRA 1.....	127
ANEXO D-2 - MUESTRA 2.....	133
<b>ANEXO E – ENSAYO COMPRESIÓN SIMPLE.....</b>	<b>139</b>
ANEXO E-1 - MUESTRA 1.....	141
ANEXO E-2 - MUESTRA 2.....	157
<b>ANEXO F – ENSAYO CBR.....</b>	<b>173</b>
ANEXO F-1 - MUESTRA 1.....	175
ANEXO F-2 - MUESTRA 2.....	185
<b>ANEXO G – ENSAYO DE PERMEABILIDAD.....</b>	<b>195</b>
ANEXO G-1 - MUESTRA 1.....	197
ANEXO G-2 - MUESTRA 2.....	203
<b>ANEXO H – ENSAYOS COMPLEMENTARIOS.....</b>	<b>209</b>
ANEXO H-1 - MUESTRA 1.....	211
ANEXO H-2 - MUESTRA 2.....	217





## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1:</b> Camino rural cercano a Rafaela.....	1
<b>Figura 2.1:</b> (a) esquema muestra de suelo; (b) fases del suelo.....	5
<b>Figura 2.2:</b> Esquema transporte y sedimentación partículas de suelo.....	6
<b>Figura 2.3:</b> Límites de Atterberg.....	8
<b>Figura 2.4:</b> Estratigráfica suelo Rafaela.....	15
<b>Figura 2.5:</b> Partícula de arcilla.....	16
<b>Figura 2.6:</b> Doble capa difusa.....	16
<b>Figura 2.7:</b> Partículas de arcilla - suelo natural.....	18
<b>Figura 2.8:</b> Partículas de arcilla - suelo estabilizado.....	18
<b>Figura 3.1:</b> Ubicación Muestra 1.....	27
<b>Figura 3.2:</b> Ubicación Muestra 2.....	29
<b>Figura 3.3:</b> Saturación del suelo.....	31
<b>Figura 3.4:</b> Lavado por tamiz 0,075 mm (N°200).....	31
<b>Figura 3.5:</b> Pasante Tamiz 0,075 mm (N°200).....	31
<b>Figura 3.6:</b> Pasante Tamiz 2 mm (N°10), Tamiz 4,25 mm (N°40) y Tamiz 0,15 mm (N°100).....	31
<b>Figura 3.7:</b> Copa Casagrande.....	33
<b>Figura 3.8:</b> Pasante Tamiz N°40.....	33
<b>Figura 3.9:</b> Pasta de suelo.....	33
<b>Figura 3.10:</b> Pasta en la copa.....	33
<b>Figura 3.11:</b> Mueca.....	33
<b>Figura 3.12:</b> Cierre de 12.7mm.....	33
<b>Figura 3.13:</b> Diagrama de Fluidez.....	34
<b>Figura 3.14:</b> Mezcla de suelo tomado del LL.....	35
<b>Figura 3.15:</b> Enrollado de la muestra.....	35
<b>Figura 3.16:</b> Cilindros 3 mm.....	35
<b>Figura 3.17:</b> Fisuras.....	35
<b>Figura 3.18:</b> Modelo Carta de Plasticidad.....	36
<b>Figura 3.19:</b> Diagrama modelo para diferenciar los grupos.....	37
<b>Figura 3.20:</b> Mezcla de suelo.....	39
<b>Figura 3.21:</b> 25 golpes con el pisón.....	39
<b>Figura 3.22:</b> Escarificado.....	39
<b>Figura 3.23:</b> Enrasado.....	39
<b>Figura 3.24:</b> Extracción.....	39
<b>Figura 3.25:</b> Muestra.....	39

<b>Figura 3.26:</b> Densidad seca máxima – Humedad.....	40
<b>Figura 3.27:</b> Probeta .....	42
<b>Figura 3.28:</b> Encabezado .....	42
<b>Figura 3.29:</b> Compresión simple.....	42
<b>Figura 3.30:</b> Fisuras .....	42
<b>Figura 3.31:</b> Preparación muestras. ....	43
<b>Figura 3.32:</b> Reposo de las muestras.....	43
<b>Figura 3.33:</b> Molde + muestra. ....	43
<b>Figura 3.34:</b> Sumersión en agua. ....	43
<b>Figura 3.35:</b> Compactación en molde CBR .....	45
<b>Figura 3.36:</b> Colocación en agua y registro primera lectura.....	45
<b>Figura 3.37:</b> Drenaje .....	45
<b>Figura 3.38:</b> Penetración.....	45
<b>Figura 3.39:</b> Esfuerzo-Deformación.....	46
<b>Figura 3.40:</b> Compactación .....	48
<b>Figura 3.41:</b> Ajuste piezas molde .....	48
<b>Figura 3.42:</b> Molde permeámetro .....	48
<b>Figura 3.43:</b> Saturación.....	48
<b>Figura 3.44:</b> Nivel de agua .....	49
<b>Figura 3.45:</b> Extracción muestra.....	49
<b>Figura 3.46:</b> Aditivo químico.....	51
<b>Figura 3.47:</b> Almacenamiento .....	52
<b>Figura 3.48:</b> Adición .....	52
<b>Figura 4.1:</b> Comparación de los resultados de Límite Líquido; muestra 1. ....	57
<b>Figura 4.2:</b> Comparación de los resultados de Límite Plástico; muestra 1.....	57
<b>Figura 4.3:</b> Comparación de los resultados Índice de Plasticidad; muestra 1.....	57
<b>Figura 4.4:</b> Comparación resultados de Resistencia a la compresión; muestra 1.....	58
<b>Figura 4.5:</b> Comparación de la curva tensión-deformación; muestra 1.....	59
<b>Figura 4.6:</b> Comparación CBR; muestra 1.....	60
<b>Figura 4.7:</b> Comparación V.S.R para la penetración de 2.54mm.; muestra 1. ....	61
<b>Figura 4.8:</b> Comparación V.S.R para la penetración de 5.08mm.; muestra 1. ....	61
<b>Figura 4.9:</b> Comparación coeficiente de permeabilidad; muestra 1. ....	62
<b>Figura 4.10:</b> Comparación resultados de Límite Líquido; muestra 2.....	64
<b>Figura 4.11:</b> Comparación de los resultados de Límite Plástico; muestra 2.....	64
<b>Figura 4.12:</b> Comparación de los resultados Índice de Plasticidad; muestra 2. ....	64
<b>Figura 4.13:</b> Comparación resultados resistencia a la compresión; muestra 2. ....	65
<b>Figura 4.14:</b> Comparación curva resistencia a la compresión; muestra 2.....	65

<b>Figura 4.15:</b> Comparación Carga-Penetración CBR; muestra 2. ....	67
<b>Figura 4.16:</b> V.S.R. para la penetración 2,54 mm.; muestra 2 .....	67
<b>Figura 4.17:</b> V.S.R para la penetración 5,08 mm.; muestra 2. ....	67
<b>Figura 4.18:</b> Comparación coeficiente de permeabilidad; muestra 2. ....	68
<b>Figura 5.1:</b> Reposo de muestras para ensayo límites.....	69
<b>Figura 5.2:</b> Reposo de muestras para ensayo de compactación. ....	69
<b>Figura 5.3:</b> Muestras sumergidas en agua. ....	70
<b>Figura 5.4:</b> Muestra 1 al cabo de 1 hora sumergida. ....	71
<b>Figura 5.5:</b> Muestra 1 al 30% sumergida 48 horas. ....	71
<b>Figura 5.6:</b> Muestra 2 al cabo de 48 horas sumergida.....	71
<b>Figura 5.7:</b> Muestra 2 al 30% sumergida 48 horas. ....	71



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2.1:</b> Límites de separación de tamaño del suelo .....	7
<b>Tabla 2.2:</b> Juego de tamices.....	7
<b>Tabla 2.3:</b> Sistema de clasificación AASHTO.....	10
<b>Tabla 2.4:</b> Sistema unificado de clasificación de suelos. ....	12
<b>Tabla 2.5:</b> Datos OSN.....	14
<b>Tabla 2.6:</b> Valores de plasticidad antes y después aplicado el producto, DPV Mendoza.....	19
<b>Tabla 2.7:</b> Valores de densidad y humedad antes y después aplicado el producto, DPV Mendoza.....	20
<b>Tabla 2.8:</b> Valores del ensayo CBR antes y después aplicado el producto, DPV Mendoza.....	20
<b>Tabla 2.9:</b> Densidad y humedad in situ, DPV Mendoza. ....	20
<b>Tabla 2.10:</b> Densidad y humedad in situ luego de la prueba, DPV Mendoza. ....	20
<b>Tabla 2.11:</b> Cuadro comparativo de ensayos de clasificación, Proctor, V.S.R e hinchamiento y compresión, DVN Santa Fe.....	21
<b>Tabla 2.12:</b> Cuadro comparativo de ensayos de V.S.R e hinchamiento.....	22
<b>Tabla 2.13:</b> Propiedades de las muestras, Universidad Autónoma de Nueva León ....	22
<b>Tabla 2.14:</b> Resultados de los ensayos, Universidad Autónoma de Nueva León.....	23
<b>Tabla 3.1:</b> Especímenes para Muestra 1.....	25
<b>Tabla 3.2:</b> Especímenes para Muestra 2. ....	26
<b>Tabla 3.3:</b> Información; Muestra 1 .....	28
<b>Tabla 3.4:</b> Información; Muestra 2 .....	29
<b>Tabla 3.4:</b> Información; Muestra 2 (continuación) .....	30
<b>Tabla 3.5:</b> Planilla modelo para Límite Líquido. ....	34
<b>Tabla 3.6:</b> Planilla modelo para Límite Plástico. ....	35
<b>Tabla 3.7:</b> Ejemplo de cálculo analítico Línea A .....	36
<b>Tabla 3.8:</b> Planilla modelo para el análisis granulométrico e identificación H.R.B.....	37
<b>Tabla 3.9:</b> Proctor Estándar y Modificado para suelos finos .....	38
<b>Tabla 3.10:</b> Proctor Estándar .....	38
<b>Tabla 3.11:</b> Planilla modelo para el cálculo de Dh y Ds y agua a incorporar .....	40
<b>Tabla 3.12:</b> Planilla modelo de valores de Ds y Humedad.....	40
<b>Tabla 3.13:</b> Factor de corrección h/d .....	41
<b>Tabla 3.14:</b> Clasificación y Usos de suelos según valor de CBR .....	44
<b>Tabla 3.15:</b> Planilla modelo para el cálculo del Valor Soporte Relativo.....	46
<b>Tabla 3.16:</b> Valores típicos de conductividad hidráulica de suelos saturados .....	47

<b>Tabla 3.17:</b> Planilla modelo de lecturas de tiempo y variación del nivel de agua .....	49
<b>Tabla 3.18:</b> Ficha datos de seguridad.....	50
<b>Tabla 3.19:</b> Porcentajes de adición del estabilizante. ....	52
<b>Tabla 4.1:</b> Análisis granulométrico; muestra 1 .....	55
<b>Tabla 4.2:</b> Tabla comparativa límites Atterberg; muestra 1.....	56
<b>Tabla 4.3:</b> Tabla comparativa clasificación e índice de grupo; muestra 1. ....	56
<b>Tabla 4.4:</b> Tabla comparativa Densidad máxima y Humedad Optima; muestra 1.....	57
<b>Tabla 4.5:</b> Tabla comparativa resistencia a la compresión; muestra 1.....	58
<b>Tabla 4.6:</b> Valor Soporte Relativo; muestra 1. ....	59
<b>Tabla 4.7:</b> Valor Soporte Relativo; muestra 1 + 10% producto.....	59
<b>Tabla 4.8:</b> Valor Soporte Relativo; muestra 1 + 20% producto.....	60
<b>Tabla 4.9:</b> Valor Soporte Relativo; muestra 1 + 30% producto.....	60
<b>Tabla 4.10:</b> Coeficiente permeabilidad; muestra 1.....	61
<b>Tabla 4.11:</b> Análisis Granulométrico; muestra 2. ....	62
<b>Tabla 4.12:</b> Tabla comparativa límites Atterberg; muestra 2. ....	63
<b>Tabla 4.13:</b> Cambios debido a límites de consistencia; muestra 2.....	63
<b>Tabla 4.14:</b> Comparación resultados Proctor Estándar T-99; muestra 2.....	65
<b>Tabla 4.15:</b> Comparación resultados resistencia a la compresión; muestra 2.....	65
<b>Tabla 4.16:</b> Valor Soporte Relativo; muestra 2. ....	66
<b>Tabla 4.17:</b> Valor Soporte Relativo; muestra 2 + 10% producto.....	66
<b>Tabla 4.18:</b> Valor Soporte Relativo; muestra 2 + 20% producto.....	66
<b>Tabla 4.19:</b> Valor Soporte Relativo; muestra 2 + 30% producto.....	66
<b>Tabla 4.20:</b> Valores de permeabilidad; muestra 2.....	68

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 Problemática actual

Según datos del Consejo Vial Federal (2012), Argentina cuenta con una red vial de aproximadamente 500.000 km conformada de la siguiente manera:

- Red Primaria: 39.518 km.
- Red Secundaria o Red Vial Provincial: 178.000 km.
- Red Terciaria: 285.000 km.

Donde solo 61.000 km de la totalidad entre los caminos primarios y secundarios se encuentran pavimentados, 37.000 km se encuentran mejorados y los restantes conformados por caminos de tierra al igual que la mayoría de los caminos terciarios.

Estos últimos no solo presentan gran importancia en la comercialización agrícola-ganadera, sino que representan una mejor calidad de vida para los habitantes de las comunidades rurales. Sin embargo, en ciertas ocasiones, producto del mal estado de estos, resulta un inconveniente transitarlos.

Actualmente, los encargados del mantenimiento de estos caminos están bajo el control de municipio o comunas según el convenio establecido por la provincia.

La ciudad de Rafaela, ubicada en el centro – oeste de la Provincia de Santa Fe, representa una de las ciudades más importantes que conforman la cuenca Santa Fe Centro, una de las principales zonas productora de leche del país, donde se desarrollan gran cantidad de tambos y empresas lácteas.

Es aquí, donde los caminos terciarios se convierten en el eslabón principal que permiten un continuo progreso para el sector primario. En el cual resulta un gran desafío mantener la conservación de estos para garantizar una transitabilidad permanente (Figura 1.1).



**Figura 1.1:** Camino rural cercano a Rafaela (Fuente: Revista Clarín, 2019)

En los últimos años, se ha establecido una política de estado para la mejora y mantenimiento de la infraestructura vial donde requiere la intervención conjunta de la Nación, las provincias y comunas, más la participación de productores con el fin de obtener beneficios concretos frente a esta problemática.

La estabilización iónica de suelos para uso vial posee beneficios y antecedentes que la convierten en una opción válida al momento de pensar en una solución al problema planteado. (AAC, 2018).

Actualmente se encuentran en el mercado una extensa gama de productos químicos empleados para la estabilización de suelos que difieren entre sí en su composición química y funcionalidad, si bien el objetivo es el mismo es importante conocer estas características como así también el tipo de suelo a tratar.

En base a esto, la presente investigación tiene como finalidad evaluar la eficacia que tiene la incorporación de un estabilizante a base de polímeros para la estabilización de suelos característicos de la ciudad de Rafaela.

Mediante una serie de ensayos de laboratorio se obtendrán las propiedades iniciales de los suelos en estudio y se compararán estas con los resultados de los ensayos a realizar para el suelo estabilizado con el producto químico.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

Determinar la capacidad de estabilización de suelos de Rafaela con la incorporación (10%, 20% y 30%) de agentes iónicos.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

1. Determinar las características físicas y mecánicas del suelo en estudio.
2. Recopilar información e identificar el tipo de suelo a estabilizar según el S.U.C.S y A.A.S.H.T.O, determinando sus características físicas y comportamiento mecánico.
3. Realizar ensayos en laboratorio de consistencia, compactación, CBR, compresión simple y permeabilidad con diferentes proporciones del agente estabilizador (10%, 20% y 30%).
4. Interpretación de los ensayos realizados.
5. Analizar los valores obtenidos y evaluar el comportamiento observado.

## **1.3 Justificación**

La justificación de esta investigación está fundamentada en poder generar una alternativa de desarrollo vial en zonas rurales a través de la implementación del producto químico para la estabilización de suelos característicos de Rafaela. El análisis de esta técnica nos permitirá conocer los cambios que produce la incorporación del aditivo en las propiedades físico mecánicas de dichos suelos.

## **1.4 Alcance**

El desarrollo de la presente investigación comenzó con la búsqueda de la información necesaria para determinar los tipos de suelos, los porcentajes empleados en la mezcla y la cantidad de ensayos de laboratorio a realizar. Seguidamente se inició con la caracterización de dos suelos para su posterior análisis. Cabe resaltar que la investigación solo abarca la incorporación del producto químico en porcentajes de 10%, 20% y 30% respecto al peso de agua a incorporar a los suelos que fueron identificados como suelo tipo A-4 y tipo A-7-6 según método de clasificación AASHTO. Estos factores fueron limitantes al momento de obtener y presentar los resultados obtenidos.

Los alcances corresponden a la determinación de los valores de límites de Atterberg, humedad óptima y densidad máxima, valor soporte relativo, resistencia a la compresión confinada y el coeficiente de permeabilidad de dichos suelos en su estado natural y con la incorporación del aditivo en sus distintos porcentajes.



## 1.5 Antecedentes

En este proyecto de investigación nos apoyamos en trabajos, tesis e investigaciones que fueron relevantes para su desarrollo.

(Ravines M. A., 2010), en su tesis “Pruebas con un producto enzimático como agente estabilizador de suelos para carreteras”, realizó estudios con el aditivo de nombre Permazyme 22X aplicado, en distintos rangos de proporción, a una mezcla de suelos que dio como resultado un suelo de clasificación CL (SUCS) y A-2-6 (AASHTO). Con las pruebas realizadas pudo concluir que existe una mejoría en los resultados de las pruebas CBR, con un aumento de hasta el 200% en el material con aditivo con respecto al material sin aditivo y que los mejores resultados se dieron en aquellas probetas en la cuales se trabajó con la mayor concentración de aditivo y con la condición de 72 horas de secado antes de su curado.

(Palomino Terán, 2016), en su tesis “Capacidad portante (CBR) de un suelo arcilloso, con la incorporación del estabilizador Maxxseal 100”, tuvo como objetivo determinar la capacidad portante de un suelo arcilloso con incorporación de 2%, 4% y 6% del estabilizador Maxxsel 100. Cuya investigación fue experimental, en la cual evaluó el comportamiento de dicho producto aplicado en un suelo que corresponde a la clasificación tipo A-7-6 (AASHTO) y de tipo CL (SUCS), concluyendo que a medida que se incrementa el porcentaje del producto incorporado en dicho suelo aumenta la capacidad portante del mismo y el aumento del límite plástico y límite líquido producen una disminución en el índice de plasticidad.

(Bada, 2016), en su tesis denominada “Aplicación del aditivo químico CON-AID para atenuar la plasticidad del material granular del tramo de la carretera Tauca – Bambas (km73 + 514 – km132 + 537) de la Ruta Nacional pe – 3na.” tuvo como objetivo mejorar las propiedades de una mezcla de suelo conformado por 75% de un material granular y un 25% de suelo fino, que dio como resultado un suelo tipo A-2-6 (AASHTO) y tipo CL (SUCS). En la cual realizó ensayos en muestras sin aditivo y muestras equivalentes a 1, 0.9, 1.1 y 1.5 litros del producto CON-AID por 30m<sup>3</sup> de material respectivamente, concluyendo que los resultados del ensayo CBR presentan una mejoría para el suelo ensayado con la aplicación del producto.

(Rivera, Botasso, et.al., s.f), en su estudio de investigación denominado “Capas de suelo-cemento-estabilizante químico para el mejoramiento de caminos rurales. Bases para su análisis”, donde buscan corroborar la potencialidad de empleo de las mezclas suelo-cemento-aditivo químico y establecer, una vez corroborado esto, cuál es el proceso constructivo óptimo relacionado. El suelo empleado en el estudio es de tipo A-4 según HRB; con  $D_{s_{m\acute{a}x}} = 1.47$  gr./cm<sup>3</sup>,  $H_{opt} = 24.6\%$  y  $VSR = 17.7\%$ . Del cual realizó ensayos a una muestra incorporando 1.5% de cemento, una muestra con incorporación de una cantidad específica de un aditivo químico, una muestra con la mezcla de suelo-aditivo químico + cemento y una muestra con la mezcla de suelo-cemento-aditivo químico. Con dicho análisis, pudo concluir que el mezclado de suelo, cemento y aditivo químico en forma simultánea se obtienen resultados por encima de los que se obtendrían con el empleo de cada material por separado.

(Staffolani, Serra y Poletti, s.f), en su trabajo denominado “Estabilización de suelo con agentes estabilizadores químicos (CON-AID) – Consolidación de 720 cuadras en Pilar”, tuvo como objetivo consolidar las calles de un barrio de la localidad de Pilar, donde se identificó al suelo como tipo A-4 (AASHTO) y se analizaron muestras del mismo antes y después de su construcción. Se realizaron ensayos de clasificación, Proctor y CBR los cuales, estos últimos, arrojaron valores muy satisfactorios en comparación con el suelo patrón.



# CAPÍTULO 2

## MARCO TEÓRICO

### 2.1 Introducción

En el presente capítulo se manifiesta la información previa requerida para realizar la investigación correspondiente.

Con la intención de brindar al lector conocimiento de los suelos en estudio se detalla brevemente su definición desde el punto de vista ingenieril, los tipos de suelo, las propiedades de éstos y los métodos de clasificación más usuales.

Consecuentemente, estos conceptos nos indicarán el comportamiento de los suelos de Rafaela, las propiedades a mejorar e interpretar los resultados obtenidos.

### 2.2 Suelo

“El suelo se define como el agregado no cementado de granos minerales y materia orgánica descompuesta (partículas sólidas) con líquido y gas en los espacios vacíos entre las partículas sólidas” (Das, 2015, p.1).

Básicamente se considera al suelo como un sistema discontinuo conformado por tres fases: sólido (partículas de suelo); líquido (agua); gaseoso (aire) (Figura 2.1). Estas pueden ir variando según las condiciones en el cual este se encuentre.

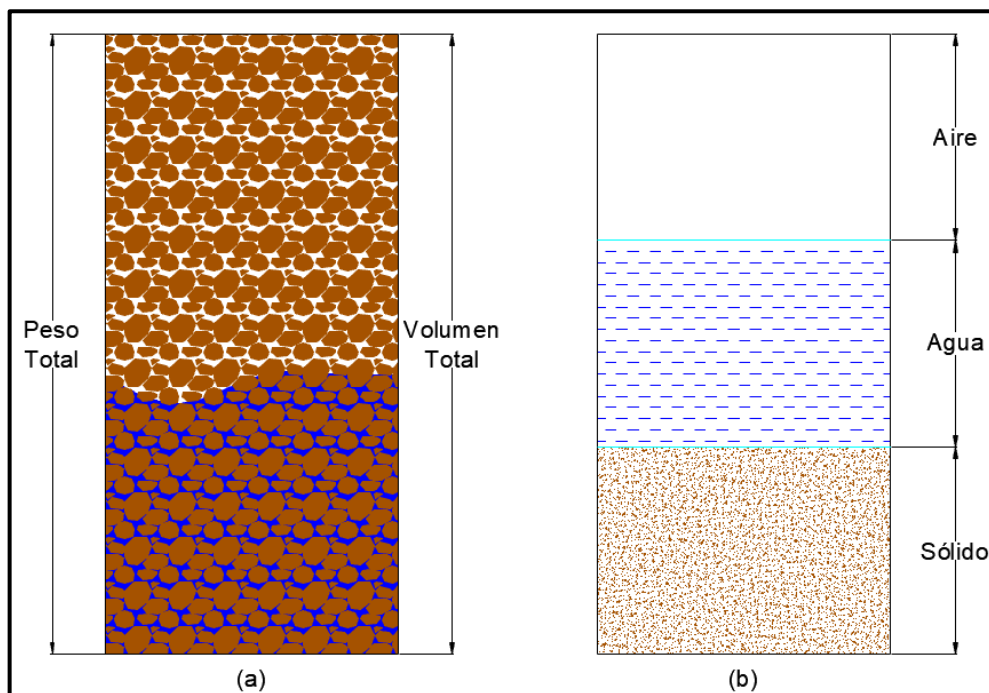


Figura 2.1: (a) esquema muestra de suelo; (b) fases del suelo. (Fuente: Elaboración propia, basada en Das, 2015, p.50)

Por esto, en toda obra ingenieril, se hace indispensable contar con conocimientos previos acerca de cuál será el comportamiento del suelo frente el proyecto planteado.

Este comportamiento dependerá principalmente de las características físico mecánicas del suelo además de otros factores derivados del proyecto en sí (ubicación, uso, nivel freático, etc.).

Mediante ensayos normalizados pueden medirse las características de estos y poder estimar el comportamiento que tendrán en nuestra obra civil.

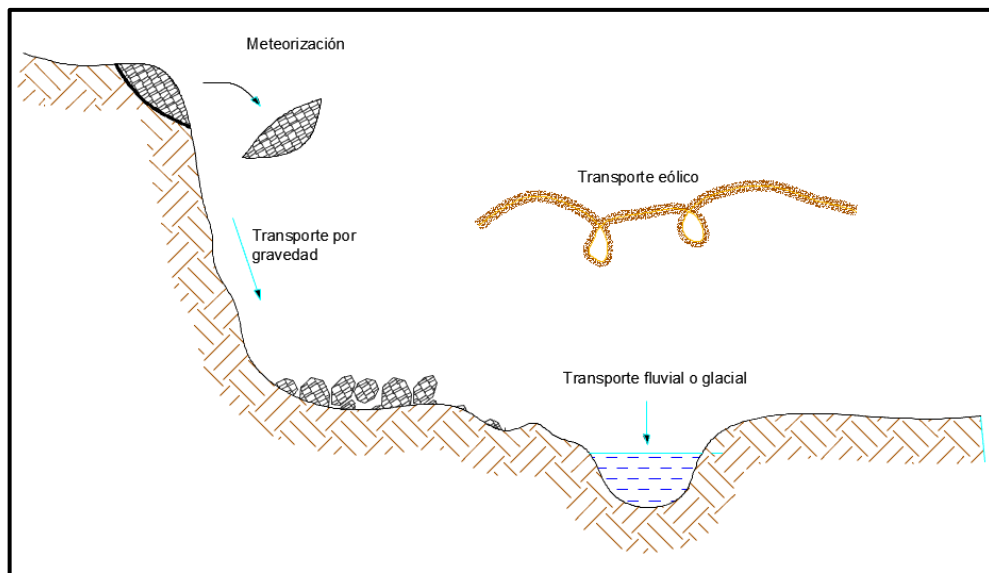
## 2.3 Características de los suelos

### 2.3.1 Origen del suelo

“Los granos minerales que forman la fase sólida de un agregado del suelo son el producto de la intemperización y la erosión de la roca” (Das, 2015).

La formación del suelo es un proceso continuo en el cual intervienen diferentes agentes que modifican la composición de la roca. El tipo de suelo dependerá del tipo de roca afectada y los factores que actúan en este proceso.

Independientemente del tipo de roca, el proceso de meteorización además de permanecer en los alrededores del lugar, puede ser transportado por el viento, el agua, el hielo o la gravedad hacia otros lugares (Figura 2.2).



**Figura 2.2:** Esquema transporte y sedimentación partículas de suelo. (Fuente: Elaboración propia, basada en Nadeo y Leoni, s.f.)

### 2.3.2 Tamaño de las partículas del suelo

Según el tamaño predominante de las partículas del suelo, este se puede dividir en cuatro grandes grupos: grava, arena, limo y arcilla.

En la Tabla 2.1 se presentan las delimitaciones en el tamaño para identificar a los mismos según distintas organizaciones.

Para separar las fracciones de un suelo en sus diferentes tamaños se emplean tamices con distintas aberturas.

En la Tabla 2.2 se muestran las distintas aberturas de los tamices, donde el número de tamiz indica el número de mallas por pulgada lineal. La abertura más fina le corresponde a 0.075 mm (tamiz N°200), estableciendo un correcto análisis granulométrico para tamaños superior a este.

Los suelos en estudio corresponden a limos y arcillas, es decir aquellos con un tamaño predominante menor a 0.075mm. Requiriendo un análisis por lavado en dicho tamiz para continuar con la correspondiente clasificación como se verá en el capítulo siguiente.

**Tabla 2.1: Límites de separación de tamaño del suelo (Fuente: Das, 2015)**

<b>Tamaño de grano (mm)</b>				
<b>Nombre de la organización</b>	<b>Grava</b>	<b>Arena</b>	<b>Limo</b>	<b>Arcilla</b>
Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT)	>2	2 a 0.06	0.06 a 0.002	<0.002
Departamento de Agricultura de E.U. (USDA)	>2	2 a 0.05	0.05 a 0.002	<0.002
Asociación Americana de Carreteras Estatales y Oficiales del Transporte (AASHTO)	76.2 a 2	2 a 0.075	0.075 a 0.002	<0.002
Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (Cuerpo de Ingenieros del Ejército de E.U., Oficina de Reclamación de E.U., Sociedad Americana para Pruebas y Materiales)	76.2 a 4.75	4.75 a 0.075	Finos (p.ej., limos y arcillas) <0.075	

**Tabla 2.2: Juego de tamices**

<b>Tamiz A.S.T.M</b>	<b>Abertura de malla [mm]</b>
3 "	75 [mm]
2 1/2"	63 [mm]
2 "	50 [mm]
1 1/2 "	37,5 [mm]
1 1/4 "	31,5 [mm]
1 "	25 [mm]
3/4 "	19 [mm]
1/2 "	12,5 [mm]
3/8 "	9,5 [mm]
N° 4	4,75 [mm]
N° 8	2,36 [mm]
N° 10	2 [mm]
N° 16	1,18 [mm]
N° 30	0,600 [mm]
N° 40	0,425 [mm]
N° 50	0,300 [mm]
N° 100	0,150 [mm]
N° 140	0,106 [mm]
N° 200	0,075 [mm]

## 2.4 Propiedades índices

Las características de los suelos permiten diferenciarlos uno de otros. El conjunto de estas características (tamaño, forma, densidad, granulometría, humedad, saturación, plasticidad) se las denomina propiedades índices.

### 2.4.1 Contenido de humedad

En una muestra de suelo, al valor expresado en porcentaje de la relación entre la masa de agua contenida en dicha muestra ( $M_w$ ) y la masa de suelo seco ( $M_s$ ) se la denomina humedad, contenido de humedad o humedad natural (Ecuación 1).

$$H[\%] = \frac{M_w}{M_s} \times 100 \quad (1)$$

El comportamiento del suelo se verá afectado por la cantidad de agua contenido en él.

### 2.4.2 Consistencia

Como los suelos en estudio corresponden a suelos finos con presencia de arcilla, se hace indispensable estudiar su comportamiento en los diferentes estados que estos se puede encontrar según su contenido de humedad.

En 1900, Albert Atterberg observó este comportamiento y desarrolló un método muy utilizado para describir la consistencia de las partículas de suelo con diferentes contenidos de humedad (Das, 2015).

En base a esto, estableció tres límites en función a los cuatro estados en los cuales puede ser dividido el suelo: sólido, semisólido, plástico y líquido (Figura 2.3).

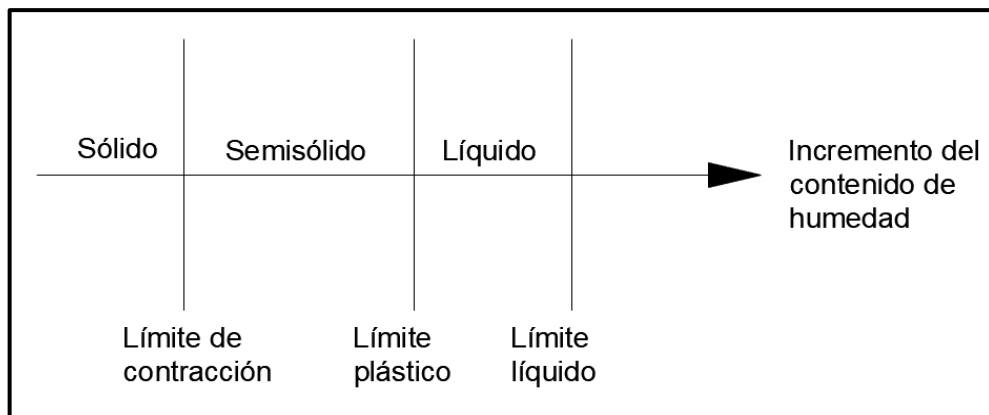


Figura 2.3: Límites de Atterberg. (Fuente: Das, 2015, p.64)

#### Límite de contracción

A medida que el contenido de humedad decrece en una masa de suelo, este se va comprimiendo de tal manera que reduce gradualmente su volumen. Habrá un punto en el cual no habrá disminución de volumen, en este momento al contenido de humedad expresado en porcentaje se lo denomina límite de contracción o retracción (LC).

#### Límite plástico

Se define límite plástico (LP) de un suelo al contenido de humedad en el cual este pasa de estado sólido a comportarse como un plástico.

Este valor se determina con un método sencillo que consta en formar cilindros de 3 mm de diámetro con una masa de suelo en estado plástico. Si al formar estos cilindros la masa presenta grietas o fisuras estamos en presencia de este límite y su contenido de humedad expresado en porcentaje nos indica el valor del mismo.

### **Límite líquido**

El contenido de humedad en una masa de suelo en el cual se lleva a cabo la transición entre el estado plástico al estado líquido se lo denomina límite líquido (LL).

Este valor es obtenido mediante el empleo de la copa de Casagrande. Utilizando el aparato calibrado y llevando a cabo procedimientos normalizados, detallados en el Capítulo 3, se define el límite líquido como el contenido de humedad que corresponde a los 25 golpes (ejecutados en la copa de Casagrande) requeridos para realizar un cierre de 12.7 mm de una muesca (realizada previamente en la masa de suelo) medida desde los bordes inferiores de la misma.

### **Índice de plasticidad**

La diferencia entre el límite líquido (LL) y el límite plástico (LP) de un suelo se denomina índice de plasticidad (IP) (Ecuación 2).

$$IP = LL - LP \quad (2)$$

Este valor indica la dimensión del intervalo de la variación del contenido de humedad con el cual el suelo se mantendrá en el estado plástico.

Un valor bajo del IP indica que el suelo es muy sensible frente a cambios de humedad. Este pasará de estado semisólido a líquido con un pequeño incremento en el contenido de humedad.

En cambio, los suelos con valores elevados de IP requieren gran cantidad de agua para pasar de estado semisólido a líquido.

## **2.5 Clasificación de suelos**

Actualmente, existen dos métodos principales de clasificación que categorizan y agrupan a aquellos suelos con características similares. Se trata del American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), comúnmente utilizado en vialidad, y el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), preferentemente empleado por ingenieros geotécnicos. Para obtener mejores resultados se utilizaron ambos métodos, los cuales se detallan a continuación.

### **2.5.1 Sistema de clasificación AASHTO**

El sistema de clasificación de AASHTO (Norma ASTM D-3282; método AASHTO M145) se introdujo en 1929 como el Sistema de Clasificación de Administración de Carreteras, con el fin específico para clasificar los suelos utilizados en la construcción de vías.

La norma de Vialidad Nacional (VN-E4-84) define lo siguiente:

“Este sistema de clasificación de suelos, para obras de ingeniería, está basado en el comportamiento de los suelos utilizados en obras viales. Los suelos de similares capacidades portantes y condiciones de servicio, fueron agrupados en 7 grupos básicos, desde el A-1 al A-7” (Tabla 2.3).

Tabla 2.3: Sistema de clasificación AASHTO. (Fuente: VN-E4-84, s.f, p.23.)

Clasificación	Materiales granulares (35% o menos pasa por el tamiz N° 200)						Materiales limoso arcilloso (más del 35% pasa el tamiz N° 200)					
	A-1		A-3	A-2-4			A-4	A-5	A-6	A-7	A-7-5	A-7-6
A-1-a	A-1-b	A-2-4		A-2-5	A-2-6	A-2-7						
Porcentaje que pasa:												
N° 10 (2mm)	50 máx	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N° 40 (0,425mm)	30 máx	50 máx	51 mín	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N° 200 (0,075mm)	15 máx	25 máx	10 máx	35 máx			36 mín					
Características de la fracción que pasa por el tamiz N° 40												
Límite líquido	-		-									
Índice de plasticidad	6 máx		NP (1)									
Constituyentes principales	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Grava y arena arcillosa o limosa			Suelos limosos					Suelos arcillosos
Características como subgrado	Excelente a bueno			Pobre a malo								
(1):	No plástico											
(2):	El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor al LL menos 30											
	El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que LL menos 30											



Dentro de estos se diferencian 2 grupos basados en la distribución de sus partículas. Se considera un material granular (grava o arena) a aquellos suelos donde el 35% o menos de sus partículas pasan a través del tamiz IRAM 0.075 mm (N° 200), y corresponden a los grupos A-1, A-2 y A-3, diferenciando a estos según el porcentaje retenido por el tamiz IRAM 2 mm (N° 10) y el tamiz IRAM 0.425 mm (N° 40).

En cambio, si el pasante de suelo por dicho tamiz es mayor al 35% estamos en presencia de suelos finos (limo o arcilla) comprendido por los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7, donde los valores de límite líquido e índice de plasticidad los delimitan con sus correspondientes sub-grupos.

Los suelos que se atribuyen en esta investigación son los pertenecientes a suelos finos, donde se buscarán aquellos con similitudes a los grupos A-4 y A-7.

Además, mediante la Ecuación 3 se define el índice de grupo (IG) en base a la granulometría, límite líquido e índice plástico del suelo:

$$IG = (F - 35) * [0.2 + 0.005 * (LL - 40)] + 0.01 * (F - 15) * (IP - 10) \quad (3)$$

Donde:

F = porcentaje de material que pasa por el tamiz 0.075 milímetros (N°200), expresado como número entero. Este porcentaje se expresa en función del material que pasa por el tamiz IRAM 75 mm (3”).

LL = límite líquido

IP = índice plástico

Este valor se basa en evaluaciones realizadas por distintas organizaciones con el objetivo de obtener una referencia sobre el comportamiento de los materiales cuando son empleados en sub-rasantes, sub-bases o capas de bases.

Dependiendo de las características del suelo se obtendrán distintos valores del Índice de Grupo. No hay valor límite superior obtenido con la Ecuación 3, pudiéndose comparar suelos que correspondan al mismo grupo, no así en suelos de diferentes categorías.

De tal forma, se considera al valor del Índice de Grupo inversamente proporcional al Valor Soporte del suelo. Es decir, si nuestro material arroja un Índice de Grupo de 0 se considera la mismo como un buen material de sub-rasante, caso contrario, si el valor determinado para el Índice de Grupo es mayor o igual a 20 indica un material malo de sub-rasante.

Generalmente, los suelos granulares tienen un Índice de Grupo comprendido entre 0 y 4, los correspondientes a suelos limosos entre 8 y 12, y para los suelos arcillosos su valor varía de 11 a 20 o más.

### **2.5.2 Sistema de clasificación SUCS**

En 1948, fue Casagrande quien propuso este sistema de clasificación de suelo, utilizado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EE.UU. para la construcción de obras militares durante la Segunda Guerra Mundial.

Interesados por su gran utilidad, el Cuerpo de Ingenieros en conjunto con el United States Bureau of Reclamation, en 1952, efectuaron modificaciones en dicho sistema, dando origen al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S).

Actualmente, es uno de los métodos más utilizados por los ingenieros geotécnicos basándose en los métodos normalizados por la American Society of Testing Material (ASTM).

La clasificación de los suelos mediante este sistema quedó representada de forma sencilla en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4: Sistema unificado de clasificación de suelos. (Fuente: Das, 2015)

DIVISIONES PRINCIPALES		Símbolos del grupo	NOMBRES TÍPICOS	IDENTIFICACIÓN DE LABORATORIO		
<b>SUELOS DE GRANO GRUESO</b> Más de la mitad del material retenido en el tamiz número 200	Gravas limpias (sin o con pocos finos)	GW	Gravas, bien graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.	Cu= $D_{60}/D_{10}>4$ Cc= $(D_{30})^2/D_{10} \times D_{60}$ entre 1 y 3		
	Gravas con finos (apreciable cantidad de finos)	GP	Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.	No cumplen con las especificaciones de granulometría para GW.		
	Gravas con finos (apreciable cantidad de finos)	GM	Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo.	Límites de Atterberg debajo de la línea A o IP<4.		
	Gravas con finos (apreciable cantidad de finos)	GC	Gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcilla.	Límites de Atterberg sobre la línea A con IP>7.		
	Arenas limpias (pocos o sin finos)	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.	Cu= $D_{60}/D_{10}>6$ Cc= $(D_{30})^2/D_{10} \times D_{60}$ entre 1 y 3		
	Arenas con finos (pocos o sin finos)	SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.	Cuando no se cumplen simultáneamente las condiciones para SW.		
	Arenas con finos (apreciable cantidad de finos)	SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.	Límites de Atterberg debajo de la línea A o IP<4.		
	Arenas con finos (apreciable cantidad de finos)	SC	Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla.	Límites de Atterberg sobre la línea A con IP>7.		
	<b>SUELOS DE GRANO FINO</b> Más de la mitad del material pasa por el tamiz número 200	Limos y arcillas: Límite líquido menor de 50	ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limosas o arcillosas, o limos arcillosos con ligera plasticidad.	Los límites situados en la zona rayada con IP entre 4 y 7 son casos intermedios que precisan de símbolo doble.	
		Limos y arcillas: Límite líquido mayor de 50	CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas.		
Limos y arcillas: Límite líquido mayor de 50		OL	Limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad.			
Limos y arcillas: Límite líquido mayor de 50		MH	Limos inorgánicos, suelos arenosos finos o limosos con mica o diatomeas, limos elásticos.			
Limos y arcillas: Límite líquido mayor de 50		CH	Arcillas inorgánicas de plasticidad alta.			
Limos y arcillas: Límite líquido mayor de 50		OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada; limos orgánicos.			
<b>Suelos muy orgánicos</b>		PT	Turba y otros suelos de alto contenido orgánico.			

De la cual, primeramente, surge una división en dos grupos derivadas del tamaño de sus partículas y corresponde a:

- Suelos de granos gruesos: aquellos suelos donde el 50% de sus partículas queda retenida en el tamiz IRAM 0.075 mm (N° 200). A su vez, se representan con el prefijo G (suelo de grava o grava), aquellos donde el 50% de la fracción gruesa queda retenida en el tamiz IRAM 4.75 mm (N°4). Caso contrario, se indican con la letra S (suelo arenoso o arena).

Estos símbolos están seguidos por una segunda letra que corresponde a la gradación: cuando esta es buena y con poca o nula presencia de finos se identifica con la letra W (well); si esta es pobre, uniforme o discontinua con poco o ningún fino se representa con la letra P (poor); y para los casos donde exista presencia de limo o arcilla se incorpora la letra C o M respectivamente.

- Suelo de granos finos: corresponden a los suelos en el cual el 50% de su masa pasa por el tamiz IRAM 0,075 mm (N° 200). Conjuntamente, se los divide en 3 grupos: arcillas inorgánicas (C), limos inorgánicos (M), limos y arcillas orgánicos (O) y turba (Pt).

De igual manera que los anteriores, estos vienen acompañado de una segunda letra indicando el nivel de plasticidad. Se nombran aquellos suelos con límite plásticos menor al 50% con la letra L (Low), y con la letra H (High) aquellos cuyo límite líquido supera dicho valor.

## 2.6 Propiedades mecánicas de los suelos

A los fines de esta investigación las propiedades que se tendrán en cuenta serán:

- Resistencia.
- Cambios de volumen por variación de humedad.
- Impermeabilidad.
- Compresibilidad.

La cuantificación de estas propiedades mediante ensayos normalizados, indicarán las modificaciones o no que produce el agente estabilizador al suelo en cuestión.

## 2.7 Características generales de suelos de Rafaela

Según Rocca, Redolfi, & Terzariol (2006):

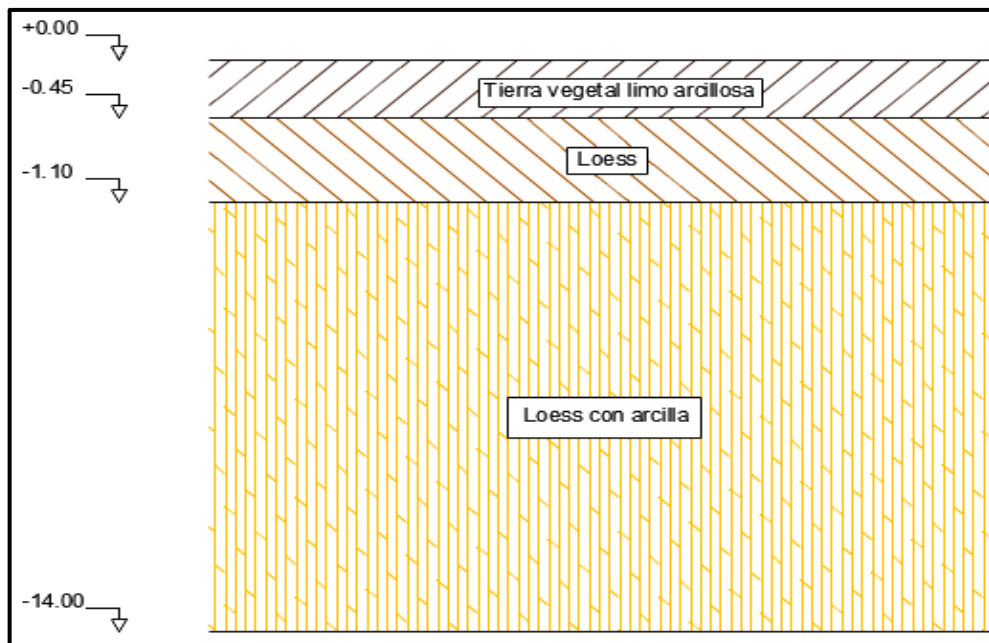
*“Los suelos loessicos de Argentina constituyen el principal depósito de su tipo en Sudamérica, cubriendo más de 600.000 km<sup>2</sup> de superficie. Son suelos de origen eólico, que pueden conservar su estructura generada al depositarse (loess primario) o sufrir retransporte o alternación in-situ (loess secundario o loessoides). Los depósitos recientes son principalmente primarios, ML y CL-ML, mientras que los más antiguos, son suelos arcillosos y limosos subsaturados, CL a CH. Los comportamientos geotécnicos extremos van desde ser suelos colapsables, en el caso de los primarios y la de depósitos preconsolidados por desecación en el caso de los loessoides secundarios...”*

Según (Boidi, 2005) estudios realizados por Obras Sanitarias de la Nación (OSN) en el año 1927, describen los distintos estratos que componen al subsuelo de Rafaela hasta una profundidad de 117 m (Tabla 2.5).

**Tabla 2.5: Datos OSN. (Fuente: Boidi, 2005)**

<b>Datos</b>	
<b>Pozo N°:</b>	1 de OSN
<b>Lat Sur:</b>	31° 14' 54"
<b>Long O:</b>	61° 29' 06"
<b>Cota (msnm):</b>	99,00 m
<b>Hoja IGM:</b>	3160-19-3
<b>Profundidad estudio</b>	117 m
<b>Descripción de los estratos</b>	
<b>0.00 - 0.45</b>	Tierra vegetal limo arcillosa
<b>0.45 - 1.1</b>	Loess
<b>1.1 - 14.00</b>	Loess con arcilla
<b>14.00 - 22.00</b>	Loess con nódulos calcáreos
<b>22.00 - 29.75</b>	Loess
<b>29.75 - 34.00</b>	Loess con nódulos calcáreos
<b>34.00 - 50.50</b>	Loess calcáreo
<b>50.50 - 52.70</b>	Tosca
<b>52.70 - 59.00</b>	Loess muy arcilloso
<b>59.00 - 65.00</b>	Loess arcilloso
<b>65.00 - 68.00</b>	Arcilla calcárea
<b>68.00 - 70.00</b>	Calcáreo arcilloso
<b>70.00 - 82.50</b>	Arena cuarzosa ligeramente calcárea
<b>72.50 - 81.70</b>	Arena verdosa
<b>81.70 - 86.90</b>	Arcilla
<b>86.90 - 91.50</b>	Arcilla verde
<b>91.50 - 93.00</b>	Arcilla verde con partículas calcáreas
<b>93.00 - 117.00</b>	Arena ligeramente arcillosa

De los cuales conciernen para esta investigación los primeros estratos (Figura 2.4).



**Figura 2.4:** Estratigrafía suelo Rafaela (Fuente: Elaboración propia, basada en Boidi 2005).

En base a estos datos se puede caracterizar a los suelos de la ciudad de Rafaela como suelos finos loésicos conformados principalmente por fracciones limosas con presencia de arcillas.

Se explica a continuación algunas características de este tipo de suelo y el comportamiento de las arcillas en estos.

### 2.7.1 Loess

El loess es un depósito eólico que consta de limo. La distribución de tamaño de grano de loess es bastante uniforme y la cohesión se deriva generalmente de un revestimiento de arcilla sobre las partículas de sedimento de tamaño de limo, lo que contribuye a una estructura estable del suelo en un estado insaturado (Das, 2015).

En Argentina, el comienzo de la sedimentación loessoides ha sido relacionada con una fase la orogenia andina del Mioceno Tardío (cerca de 10 Ma, millones de años) que, al modificar la cordillera de los Andes, generó una barrera a los vientos húmedos del Pacífico, reteniendo la humedad en su vertiente occidental chilena. Estos son los depósitos antiguos que se encuentran en el subsuelo profundo. Los depósitos más recientes corresponden al Pleistoceno Tardío/Holoceno y constituyen los loess primarios (Rocca, Redolfi, & Terzariol, 2006).

### 2.7.2 Comportamiento de la arcilla

Se define a las arcillas como el suelo fino granular, o la porción fina granular de un suelo que puede presentar un comportamiento plástico dentro de un intervalo de contenido de humedad más o menos amplio, y que tiene una considerable resistencia al corte cuando se seca al aire. Este término ha sido utilizado para designar el conjunto de partículas de un suelo menores de  $2\ \mu\text{m}$  ( $5\ \mu\text{m}$  en algunos casos), pero existe suficiente evidencia que, desde el punto de vista de la ingeniería, las propiedades descritas en esta definición normalmente son más importantes que el solo tamaño de las partículas para la caracterización de los materiales arcillosos. Las propiedades de las arcillas dependen principalmente del tipo de minerales que las componen y de los cationes intercambiables que contienen (Grim, 1962).

A diferencia de los suelos granulares, donde las fuerzas gravitacionales vencen a las restantes, en los suelos finos predominan las fuerzas de Van Der Waals. Esto cobra consideración en los casos donde el tamaño de las partículas es menor a dos micrones.

Cada partícula de arcilla se halla cargada negativamente (Figura 2.5), cuya intensidad depende de la mineralogía de la misma. Estas cargas que rodean su superficie producen manifestaciones físicas y químicas denominada capacidad de cambio o de intercambio.

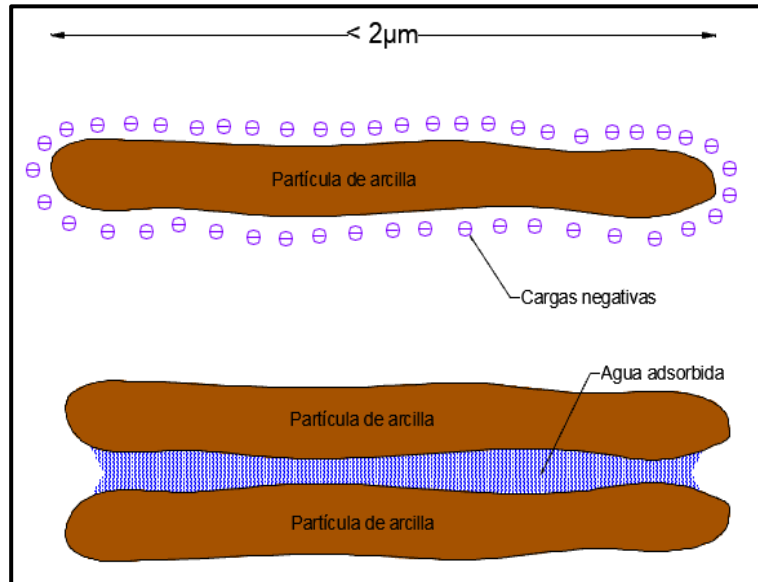


Figura 2.5: Partícula de arcilla.

Cuando la partícula entra en contacto con el agua, esta al ser un dipolo, los polos positivos se adhieren fuertemente a la superficie de la arcilla. Este fenómeno se lo denomina doble capa eléctrica o doble capa difusa, y resulta muy difícil de eliminar. Cuanto mayor es la carga en las partículas de arcilla, mayor será la distancia de interacción con las moléculas de agua (Figura 2.6).

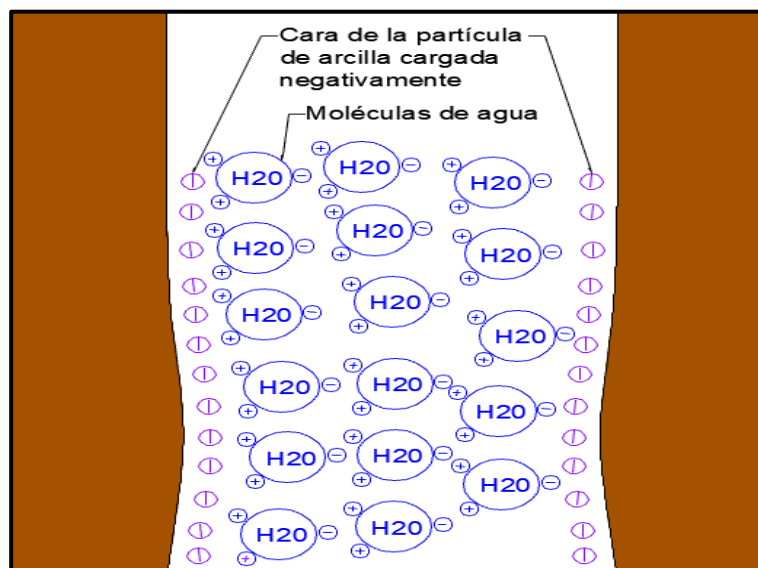


Figura 2.6: Doble capa difusa.

Esta transferencia de cargas entre las partículas de arcilla y las moléculas de agua genera una repulsión en la estructura del suelo dando como resultado la dispersión del mismo.

De tal forma, que se hace necesario neutralizar o estabilizar esta peculiaridad que exhiben los suelos con cierto contenido de arcilla.

## **2.8 Estabilización de los suelos**

Según (AAC, 2018) la estabilización del suelo es una técnica empleada para el mejoramiento de sus propiedades físicas o mecánicas.

Existen tres tipos de estabilización, la mecánica, la física y la físico-química.

- La mecánica tiene como finalidad el agrupamiento de sus partículas mediante la aplicación de una fuerza mecánica.
- La física le otorga un cambio en la granulometría mediante el agregado de materiales granulares.
- La química mejora las propiedades del suelo por adición de un agente estabilizante. En esta última, los agentes empleados más comunes son cal, cemento o productos químicos.

Con el progreso de la tecnología se han perfeccionado los productos químicos utilizados en la estabilización de suelos con diferentes destinos según las propiedades a mejorar.

La Asociación Argentina de Carreteras (AAC, 2018) define:

*“En su aspecto genérico los estabilizadores iónicos son productos que actúan como agentes de intercambio iónico sobre los suelos que poseen una gran actividad química entre sus capas (mayoritariamente arcillas) y que en presencia de agua generan un aumento notable de su volumen, disminuyendo como consecuencia directa su capacidad portante.”*

Si bien hay una extensa variedad de estos productos, se pueden diferenciar en 3 grupos que dependen de su composición química:

- Polímeros.
- Aceites sulfonados
- Encimas

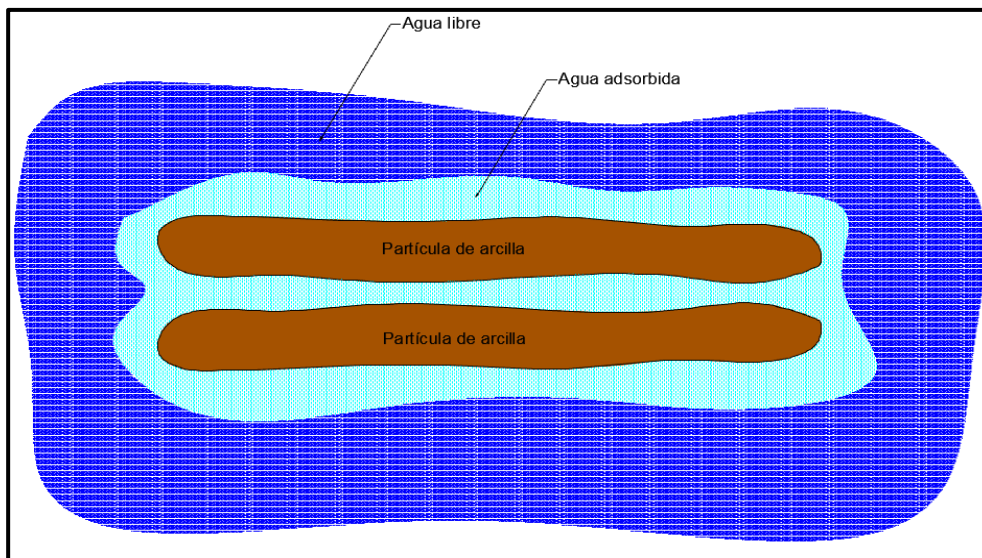
Incumbiendo en esta investigación aquellos productos cuya composición química es a base de polímeros.

### **2.8.1 Estabilización química con polímeros**

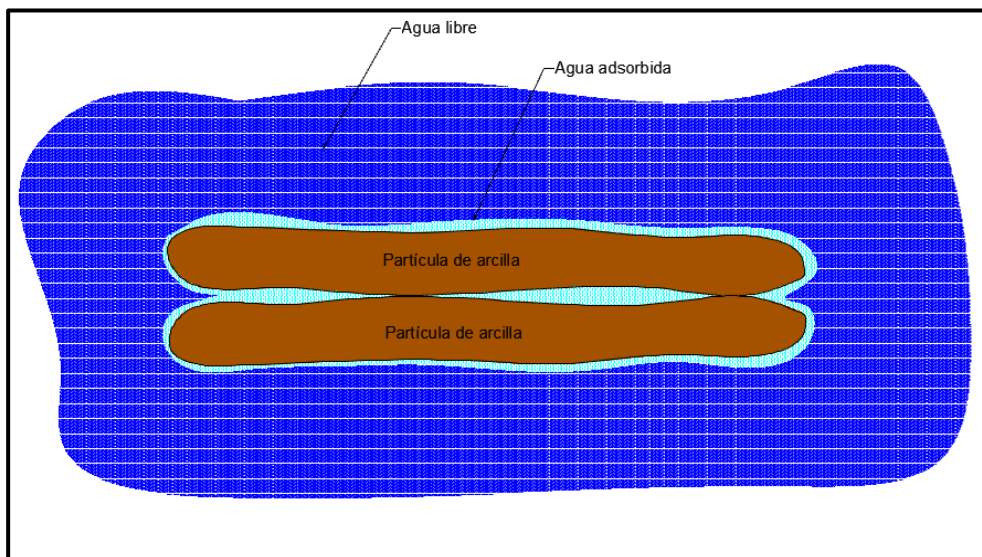
Según (AAC, 2018, p.75) el uso de este tipo de productos genera que las partículas de arcilla queden rodeadas por iones de su misma carga, disminuyendo la doble capa eléctrica, por lo que el “agua pelicular” que conforma el sistema arcilla-agua se convierte en “agua superficial” y como tal, se elimine por evaporación o compactación.

Los polímeros actúan como agentes catalíticos de intercambio iónico sobre la fracción activa de las arcillas reduciendo el potencial electrostático de las partículas, quitándoles la capacidad para absorber agua. Con el objetivo que al final el suelo tenga una mayor capacidad de carga y una estabilización permanente (Ravines M. A., 2010).

El proceso de intercambio iónico ocurre después de la compactación. Una vez concluido este proceso, que dependerá del tipo de suelo, las partículas de arcilla se acomodan íntimamente unas con otras (Figura 2.7 y Figura 2.8).



**Figura 2.7:** *Partículas de arcilla - suelo natural.*



**Figura 2.8:** *Partículas de arcilla - suelo estabilizado.*

El acercamiento de las partículas de arcilla conlleva a una disminución del agua adsorbida en dichas partículas, quedando en la superficie del suelo como agua libre. Esta comenzará a eliminarse mediante la recompactación (debido al tránsito) y por la evaporación.

Beneficiando al suelo con las siguientes características:

- Incremento de la capacidad de soporte.
- Estabilización permanente de los suelos.
- Reducción de la reabsorción de agua.
- Reducción de la pérdida del material granular.
- Control del desprendimiento de polvo.
- Caminos transitables en épocas lluviosas.
- Menor mantenimiento.
- Mayor resistencia al desgaste.
- Reducción de costos fijos de reparación.
- Menores costos de aplicación en relación a los tratamientos tradicionales.
- Reducción de la utilización de agua para riego.



Se optó por la elección del producto químico que define lo siguiente:

*“Químicamente es un macropolímero vegetal modificado para actuar como mejorador mecánico, físico y químico en los caminos sin pavimentar, estabilizando en forma permanente los mismos mejorando las características estructurales del terreno”.*

El polímero, a través de la acción de sus componentes modifica la estructura plana de las arcillas a una estructura cuasi globular. Esta transformación en su estructura altera la capa de agua contenida en la superficie de la partícula disminuyendo su espesor y permitiendo un escurrimiento del agua tanto descendentes como las de ascenso freático.

Tiene efecto en casi todo tipo de suelo y en general, en todo aquel material que posea un determinado contenido de arcilla.

Los suelos tratados con el producto adquieren una densidad mayor, la cual se incrementa debido al tránsito. Además, evita la filtración de agua, manteniendo sus propiedades mecánicas.

En base a estudios realizado por los fabricantes del polímero se concluye lo siguiente:

“Existe una reducción en el espesor del agua adsorbida de cada partícula de arcilla debido a las reacciones químicas producidas por el polímero”.

“En la mayoría de los casos, existe una disminución en los valores correspondiente al límite líquido (valor que oscila entre 10% y 30%, dependiendo el tipo de suelo) y el límite plástico, por consiguiente, una reducción en el Índice de plasticidad”.

“Con el tiempo, se observa un incremento en la densidad del suelo y una disminución en el contenido de humedad”.

“Respecto al valor soporte (CBR), se obtienen incrementos de 100% para suelos de buena calidad (A-4 y A-5) y hasta 300% para suelos de menor calidad (A-6 y A-7)”.

Estas conclusiones, aportadas por el fabricante, se respaldan con valores de ensayos realizados en diferentes laboratorios. Se muestran a continuación los valores obtenidos por los mismos.

### **Tramo de prueba Mendoza: (1998)**

La Dirección Provincial de Vialidad de Mendoza realizó ensayos en un tramo de prueba en la Ruta Nacional N°51 Departamento Lavalle, Mendoza. El tipo de suelo en cuestión es de tipo A-4 según HRB (arcilloso con moderada plasticidad) donde se obtuvieron las siguientes diferencias entre el suelo sin estabilizar y luego de aplicado el producto.

#### 1) Ensayos comparativos en laboratorio:

##### a) Plasticidad (Tabla 2.6):

**Tabla 2.6:** *Valores de plasticidad antes y después aplicado el producto, DPV Mendoza.*

Sin el producto		Con el producto	
Plasticidad		Plasticidad	
LL =	25%	LL =	24,9%
LP =	17%	LP =	18,4%
IP =	8%	IP =	6,5%

b) Densidad y humedad (Tabla 2.7):

**Tabla 2.7:** Valores de densidad y humedad antes y después aplicado el producto, DPV Mendoza.

Ensayos realizados en laboratorio							
Fecha 13/02/1998				Fecha 16/02/1999			
Densidad y Humedad del suelo(promedio) natural				Densidad y Humedad del suelo(promedio) con el producto			
DH	DS	DR%	H	DH	DS	DR%	H
1715	1624	89,1	5,3	2005	1703	93,5	19

c) Valor soporte (CBR) (Tabla 2.8):

**Tabla 2.8:** Valores del ensayo CBR antes y después aplicado el producto, DPV Mendoza.

Sin el producto		Con el producto	
Valor soporte		Valor soporte	
Condición	T 99	Condición	T 99
Seco	22%	Seco	22%
Embebido	522%	Embebido	522%
Hinchamiento	3%	Hinchamiento	3,90%

2) Ensayos en tramos de prueba (in-situ) : (Tabla 2.9 y Tabla 2.10)

**Tabla 2.9:** Densidad y humedad in situ, DPV Mendoza.

Fecha 16/02/1998; Ds máx referencia = 1823 kg/m3							
Densidad y Humedad del suelo(promedio) verificados in situ luego de la prueba							
Profundidad = 5 cms				Profundidad = 10 cms			
DH	DS	DR%	H	DH	DS	DR%	H
2018	1788	97	13,4	2020	1789	98	13,02

**Tabla 2.10:** Densidad y humedad in situ luego de la prueba, DPV Mendoza.

Fecha 16/02/1998; Ds máx referencia = 1823 kg/m3							
Densidad y Humedad del suelo(promedio) verificados in situ luego de la prueba							
Profundidad = 15 cms				Profundidad = 20 cms			
DH	DS	DR%	H	DH	DS	DR%	H
1983	1747	96	13,5	1930	1698	93	13

La mencionada institución concluye lo siguiente (DPV Mendoza, 1998):

*“En el plan de seguimiento del tramo de prueba realizado en la R.P 51 del Departamento Lavalle, con el producto estabilizador iónico se han realizado determinaciones de densidad con el equipo densímetro nuclear, las que muestran una evolución con el tiempo, en el sentido positivo”.*

### Tramo de prueba Santa Fe: (2011)

Se muestra a continuación un cuadro comparativo (Tabla 2.11) de los ensayos realizado por la Dirección de Vialidad Nacional de Santa Fe a un suelo A-4 utilizado para la construcción de banquetas en la provincia de Santa Fe:

**Tabla 2.11:** Cuadro comparativo de ensayos de clasificación, Proctor, V.S.R e hinchamiento y compresión, DVN Santa Fe.

Fecha 08/03/2011				
Ensayo	Suelo A-4 solo	Suelo A-4 con estabilizante	Exigencia según pliego	Resultado obtenido
<b>Clasificación</b>				
L. líquido	25,4	28,43	Sin exigencia	
L. Plástico	25	20,09	Sin exigencia	
I. Plasticidad	5,4	8,34	Sin exigencia	
H.R.B	A-4 (4)	A-4 (4)	Sin exigencia	
<b>Proctor</b>				
D. Máxima	1,804	1,744	Sin exigencia	
H. Optima	18,40%	18,20%	Sin exigencia	
<b>V.S.R</b>				
Hinchamiento	1	0,55	reduc. min 50%	44%
% Estándar	12,30%	20%	aumento min 45%	62,50%
<b>Rotura a la compresión</b>				
Probeta 1	7,50Kg/cm <sup>2</sup>	15,00 Kg/cm <sup>2</sup>	aumento min 50%	100%
Probeta 2	7,50Kg/cm <sup>2</sup>	14,00 Kg/cm <sup>2</sup>	aumento min 50%	87,71%
Probeta 3	8,50Kg/cm <sup>2</sup>	14,00 Kg/cm <sup>2</sup>	aumento min 50%	64,50%
Promedio	7,33Kg/cm <sup>2</sup>	14,33 Kg/cm <sup>2</sup>	aumento min 50%	82,86%

Se utilizó estabilizador químico con una dosificación de 10 cm<sup>3</sup> cada 1000 según las indicaciones detalladas por Vialidad Nacional.

### Evaluación del desempeño del polímero por laboratorio de la ciudad de La Plata

En un laboratorio de la ciudad de La Plata se desarrollaron ensayos comparativos con el propósito de evaluar la eficacia de las tecnologías actuales para la estabilización de caminos. Para esto, se evaluó el desempeño de la probeta patrón (con suelo proveniente de

la Patagonia) y de la probeta tratada con el producto.

El suelo empleado, proveniente de la Patagonia, fue clasificado como un suelo A-2-4 (H.R.B), se realizó el ensayo CBR a dos muestras, una con suelo solo (patrón), y otra con la incorporación del aditivo, de acuerdo a lo siguiente:

- Patrón: suelo solo y método normalizado con humedad prefijada.
- Con aditivo: suelo con aditivo, compactado y curado al aire durante 48 hs., luego sumergido en agua.
- La dosis de aditivo empleada fue de 100 cm<sup>3</sup> cada 1000 cm<sup>3</sup> de suelo compactado a densidad máxima.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes (Tabla 2.12):

**Tabla 2.12:** Cuadro comparativo de ensayos de V.S.R e hinchamiento.

	Suelo Patrón	Suelo con aditivo
Humedad de moldeo	12,1%	14,8%
Humedad de ensayo	22,3%	19,6%
V.S.R	12,3%	36,4%
Hinchamiento	1,0%	0,6%

En base a los valores obtenidos de los ensayos el laboratorio concluye lo siguiente: “Para las condiciones enunciadas, las probetas tratadas registran un incremento del V.S.R del 36.5% y una reducción del hinchamiento del 40%”.

#### **Universidad Autónoma de Nueva León (2015)**

En la Tabla 2.13 se muestran las propiedades de dos tipos de muestras extraídas por la Universidad Autónoma de Nueva León con el fin de evaluar la calidad de estos materiales para su uso vial.

**Tabla 2.13:** Propiedades de las muestras, Universidad Autónoma de Nueva León.

	Muestra 1	Muestra 2
% de partículas mayores a 3" (75 mm)	0	0
% que pasa la malla N°4	93	91
% que pasa la malla N°40	93	89
% que pasa la malla N°200	92	84
Peso volumétrico seco suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1220	1143
Humedad óptima	21	20,3

Se realizaron ensayos de Límites de Atterberg y CBR a las muestras sin estabilizar y muestras estabilizadas. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 2.14.

**Tabla 2.14:** Resultados de los ensayos, Universidad Autónoma de Nueva León.

Ensayo	Muestra 1		Muestra 2	
	Natural	Estabilizado	Natural	Estabilizado
Límite líquido	45,0%	46,0%	42,0%	43,0%
Límite plástico	18,0%	20,5%	19,1%	20,9%
Índice plástico	27,0%	25,5%	22,9%	22,1%
Contracción lineal	12,5%	10,7%	10,7%	9,6%
Valor soporte relativo	1,1%	3,4%	1,0%	4,0%
Expansión	5,0%	3,6%	2,1%	1,7%



## CAPÍTULO 3

### UBICACIÓN Y METODOLOGÍA

#### 3.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo primeramente se presentan la ubicación y tipo de suelo referidos en esta investigación según la información mencionada anteriormente.

Seguido de esto se citan los procedimientos según normas vigentes para los ensayos de clasificación, resistencia, permeabilidad y compresión simple.

Por último, se detallan brevemente las pautas que se tuvieron en cuenta para realizar los ensayos mencionados al suelo con la incorporación del producto.

#### 3.2 TIPO INVESTIGACIÓN

Exploratoria.

#### 3.3 POBLACIÓN Y MUESTRAS

##### 3.3.1 Unidad de estudio

Suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela para evaluar su comportamiento al incorporar el aditivo químico.

##### 3.3.2 Población

Material extraído de Cantera 1 y Cantera 2

##### 3.3.3 Muestras

Se considera al material extraído de la Cantera 1 como “Muestra 1” (Suelo A-4) conformada por 57 especímenes de suelo con el peso necesario para realizar cada uno de los ensayos como se detalla en la Tabla 3.1.

*Tabla 3.1: Especímenes para Muestra 1.*

Tipo	Cantidad	Ensayo	Peso
Muestra 1 Patrón	1	Tamizado del suelo por vía húmeda	200 gr
	3	Límite líquido y límite plástico	50 gr
	5	Compactación Proctor Estándar	2300 gr
	2	Compresión simple	2300 gr
	3	Ensayo CBR	6000 gr
	1	Permeabilidad	2300 gr
Muestra 1 + 10% aditivo	3	Límite líquido y límite plástico	50 gr
	5	Compactación Proctor Estándar	2300 gr
	2	Compresión simple	2300 gr
	3	Ensayo CBR	6000 gr

	1	Permeabilidad	2300 gr
Muestra 1 + 20% aditivo	3	Límite líquido y límite plástico	50 gr
	5	Compactación Proctor Estándar	2300 gr
	2	Compresión simple	2300 gr
	3	Ensayo CBR	6000 gr
	1	Permeabilidad	2300 gr
Muestra 1 + 30% aditivo	3	Límite líquido y límite plástico	50 gr
	5	Compactación Proctor Estándar	2300 gr
	2	Compresión simple	2300 gr
	3	Ensayo CBR	6000 gr
	1	Permeabilidad	2300 gr

Para el material correspondiente a la cantera 2, denominado “Muestra 2” (Suelo A-7-6), también se emplearon las mismas cantidades de especímenes que la Muestra 1, como se detalla en la Tabla 3.2.

**Tabla 3.2: Especímenes para Muestra 2.**

Tipo	Cantidad	Ensayo	Peso
Muestra 2 Patrón	1	Tamizado del suelo por vía húmeda	200 gr
	3	Límite líquido y límite plástico	50 gr
	5	Compactación Proctor Estándar	2300 gr
	2	Compresión simple	2300 gr
	3	Ensayo CBR	6000 gr
	1	Permeabilidad	2300 gr
Muestra 2 + 10% aditivo	3	Límite líquido y límite plástico	50 gr
	5	Compactación Proctor Estándar	2300 gr
	2	Compresión simple	2300 gr
	3	Ensayo CBR	6000 gr
	1	Permeabilidad	2300 gr
Muestra 2 + 20% aditivo	3	Límite líquido y límite plástico	50 gr
	5	Compactación Proctor Estándar	2300 gr



	2	Compresión simple	2300 gr
	3	Ensayo CBR	6000 gr
	1	Permeabilidad	2300 gr
Muestra 2 + 30% aditivo	3	Límite líquido y límite plástico	50 gr
	5	Compactación Proctor Estándar	2300 gr
	2	Compresión simple	2300 gr
	3	Ensayo CBR	6000 gr
	1	Permeabilidad	2300 gr

### 3.4 UBICACIÓN Y EXTRACCIÓN DE LAS MUESTRAS

#### 3.4.1 Muestra 1:

El suelo en cuestión se extrajo de una pequeña cantera (Cantera 1) ubicada en la zona sur de Rafaela (Figura 3.1). El mismo fue utilizado como relleno para elevación de los terrenos de un barrio en construcción y como material constructivo para la ejecución de la red vial del mismo.



**Figura 3.1:** Ubicación Muestra 1. (Fuente: Google Maps)

Primeramente, se identificó a los suelos mediante observación de su textura, color y manipuleo, asegurando que correspondan a suelos finos.

En la siguiente tabla (Tabla 3.3) se presentan datos de la ubicación de la cantera 1 (latitud, longitud), la profundidad de la misma (cuando se extrajo la muestra) y observaciones en su color y textura.

**Tabla 3.3: Información; Muestra 1**

<b>Muestra 1 (Suelo A-4)</b>		
Latitud	31° 16' 9,8" S	
Longitud	61° 28' 87,2" W	
Profundidad	-2,00m	
Color	Pardo amarillento oscuro en húmedo	
Suelo en estado cuasi seco	Suave similar al talco o harina. Los terrones son duros o firmes pero se rompen con facilidad bajo presiones. Suelo pulverizable	
Suelo en estado húmedo	Esferas húmedas pueden ser manipuladas sin romperse y no se pega. Cuando se seca adquiere dureza.	
Observaciones	Material fino con presencia de toscas	

### 3.4.2 Muestra 2:



Se muestra en la Figura 3.2 la ubicación de la Cantera 2, donde se extrajo la Muestra 2. La misma se encuentra en la zona sur este de la ciudad donde se realiza la ampliación de un barrio residencial.



Figura 3.2: Ubicación Muestra 2. (Fuente: Google Maps)

De igual manera que la muestra 1, se tomaron los datos en la etapa de extracción del mismo mostrados en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4: Información; Muestra 2

Muestra 2 (Suelo A-7-6)		
Latitud	31° 15' 0,73" S	
Longitud	61° 27' 18,7" W	
Profundidad	-1,00m	
Color	Marrón oscuro	

**Tabla 3.4:** Información; Muestra 2 (continuación)

Textura en suelo seco	Los terrones son duros o firmes no se rompen con facilidad bajo presiones.	
Textura en suelo húmedo	Esferas húmedas difícil de manipular, se pega. Cuando se seca adquiere dureza.	
Observaciones	Presencia de vegetales	

### 3.5 TAREAS EJECUTADAS EN LABORATORIO

Luego de la extracción de las muestras y previo a los ensayos, se pasó cada una de estas por el tamiz I.R.A.M 4.75 mm (N°4), obteniendo una cantidad necesaria de suelo para realizar todos los ensayos sin necesidad de retomar a nuevas extracciones, con el fin de evitar discrepancias entre muestras de un mismo suelo.

Los ensayos realizados a las distintas muestras se llevaron a cabo en el Laboratorio de Ingeniería Civil de la Facultad Regional de Rafaela.

Para la ejecución de los mismos se tuvo en cuenta las normas I.R.A.M (empleadas por dicho laboratorio) y complementándose con las especificaciones dadas por la Norma de Ensayo de Vialidad Nacional.

A continuación, se describen los diferentes ensayos realizados para los dos tipos de suelos sin adición del agente estabilizante.

#### 3.5.1 Clasificación del suelo

##### 3.5.1.1 Tamizado del suelo por vía húmeda

El objetivo de este ensayo es separar las partículas finas y gruesas del suelo mediante el lavado por tamiz 0,075 mm (N°200).

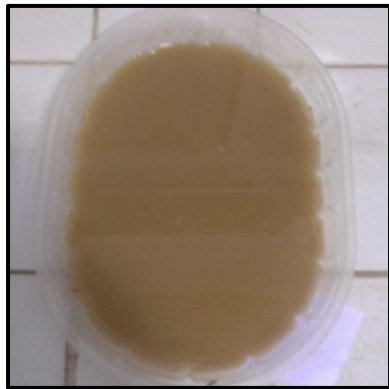
Se siguieron los lineamientos de la norma I.R.A.M 10.507 y la norma de ensayo VN-E1-65.

a) Equipamiento:

- Balanza digital con precisión de 1 centígramo.
- Estufa de secado de muestras de temperatura hasta  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- Tamices: 2 mm (N°10); 4.25 mm (N°40); 0.075 mm (N°200).
- Bandejas, pesa filtro.

b) Procedimiento:

- Se pesaron aproximadamente 200 gr. de una muestra del suelo extraído con precisión de 0.1 gr.
- Se colocó dicho suelo en estufa, a  $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , durante 24 horas.
- Pasadas 24 hs., se retiró la muestra, se dejó enfriar y se tomó su peso.
- Se colocó el suelo de peso conocido en un recipiente estanco, se lo llenó de agua y se lo dejó durante 1 hora aproximadamente (Figura 3.3).
- Luego se pasó el suelo por el tamiz 0.075 mm (N°200) y mediante un chorro de agua suave se lavó el mismo a tal punto de que el agua escurrida salga clara (Figura 3.4).
- El material retenido se llevó a estufa a  $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , durante 24 horas.
- Se retiró la muestra, se dejó enfriar y se tomó su peso (Figura 3.5).
- Inmediatamente, se pasó por el juego de tamices 2 mm (N°10); 4.25 mm (N°40); 0,15 mm (N°100) y se pesaron las fracciones retenidas (Figura 3.6).



**Figura 3.3:** Saturación del suelo.



**Figura 3.4:** Lavado por tamiz 0,075 mm (N°200).



**Figura 3.5:** Pasante Tamiz 0,075 mm (N°200).



**Figura 3.6:** Pasante Tamiz 2 mm (N°10), Tamiz 4,25 mm (N°40) y Tamiz 0,15 mm (N°100).

### 3.5.1.2 Consistencia del suelo

En 1900, Atterberg desarrolló un método que permite obtener los límites entre estos estados, explicado en el capítulo 2. Estos límites son propiedades índices de los suelos, utilizados para su identificación y clasificación (AASHTO y SUCS). Dos de estos límites se desarrollan a continuación.

#### 3.5.1.2. a. Límite líquido

El objetivo de este ensayo es determinar el contenido de humedad que contiene una masa de suelo cuando se encuentra entre el estado plástico para pasar al estado líquido o semilíquido.

Se basó en las instrucciones dadas por la Norma IRAM N° 10.501 y la Norma de Ensayo VN-E2-65, de Vialidad Nacional.

a) Equipamiento:

- Balanza digital con precisión de 1 centigramo.
- Estufa de secado de muestras de temperatura hasta 110 °C ± 5 °C.
- Tamiz: 4.25 mm (N°40).
- Bandejas, pesa filtro.
- Copa de Casagrande con acanalador (Figura 3.7) (según características en base a Norma VN-E2-65).
- Espátula.
- Capsula para mezclado.

b) Procedimiento:

- A una muestra de suelo que previamente fue secada al aire, se tamizó por el tamiz I.R.A.M 4.25 mm (N°40) (Figura 3.8).
- Se tomaron 50 gramos aproximadamente del suelo tamizado, se mezclaron con agua hasta obtener una pasta homogénea sin grumos (Figura 3.9).
- Se colocó la pasta en la copa de Casagrande de manera que el espesor en el centro sea de 1 cm. (Figura 3.10).
- Se generó una ranura (con el acanalador) en el centro de la copa de forma normal al eje de rotación del aparato (Figura 3.11).
- Se accionó la manivela a razón de 2 golpes por segundo y se contaron los golpes necesarios al producirse un cierre de la muesca de 12.5mm (1/2") (Figura 3.12).
- Se tomó una porción de la pasta, donde se efectuó el cierre, se lo colocó en un pesa filtro de peso conocido y se anotó el peso.
- Se secó el material en estufa a temperatura de 105 °C ± 5 °C durante 24 hs y se tomó el peso seco.
- Se repitieron estas operaciones dos veces más, variando el contenido de humedad y procurando que los números de golpes realizados estén comprendidos entre 10 y 40.
- Los mismos fueron anotados en una planilla (Tabla 3.5)
- Con estos valores, se realizó una gráfica que contiene el contenido de humedad en % en el eje de las ordenadas, en escala natural y en el eje de las abscisas los números de golpes realizado con el aparato, en escala logarítmica. Donde el valor del LL le corresponde al valor de la ordenada correspondiente a los 25 golpes (Figura 3.13).
- Además, se tuvo en cuenta el método acelerado que propone la Norma I.R.A.M N°10.501 para aquellos casos donde los golpes realizados estaban comprendidos entre 20 y 30 para la unión de los bordes. Donde el valor del LL queda expresado en la Ecuación 4:

$$LL=H \left( \frac{N}{25} \right)^{0,12} \quad (4)$$



Figura 3.7: *Copa Casagrande.*



Figura 3.8: *Pasante Tamiz N°40.*



Figura 3.9: *Pasta de suelo.*



Figura 3.10: *Pasta en la copa.*



Figura 3.11: *Mueca.*



Figura 3.12: *Cierre de 12.7mm.*

Tabla 3.5: Planilla modelo para Límite Líquido.

Límite Líquido	Nº de Golpes	30	26	20
	Pf. Nº	40	23	14
	P Pf [gr]	6,5	6,0	6,5
	P Pf + Sh [gr]	54,5	60,5	63,0
	P Pf + Ss [gr]	44,0	48,0	50,0
	Humedad [%]	28,00	29,76	29,89
	Limite Líquido	28,95	29,90	28,92
	LL Promedio	29,26		

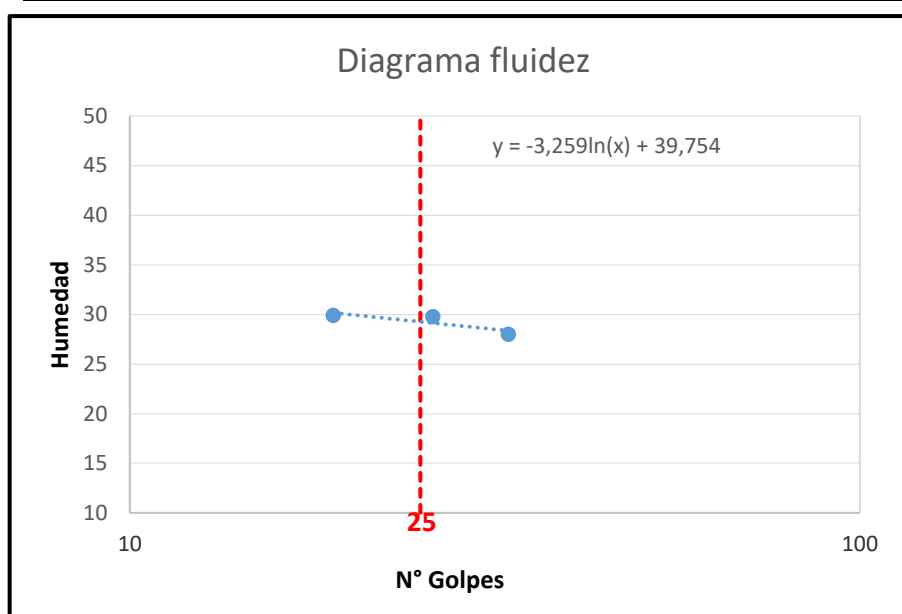


Figura 3.13: Diagrama de Fluidez

### 3.5.1.2. b. Límite plástico

El objetivo de este ensayo es determinar el contenido de humedad que contiene una masa de suelo cuando se encuentra entre el estado semisólido y el estado plástico.

Se seguirán los lineamientos dados por la Norma IRAM Nº 10.501 y la Norma de Ensayo VN-E3-65, de Vialidad Nacional.

a) Equipamiento:

- Balanza digital con precisión de 1 centigramo.
- Estufa de secado de muestras de temperatura hasta  $110\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ .
- Pesa filtro.
- Espátula.
- Vidrio plano de 30 x 30 cm., o mármol o cerámico de las mismas dimensiones.

b) Procedimiento:

- A una porción de la mezcla preparada para el límite líquido se le hizo perder humedad dejándola reposar por unos minutos (Figura 3.14).



- Se enrolló la masa sobre la placa hasta obtener cilindros de 3 mm de diámetro con presencia de fisuras (Figura 3.15, Figura 3.16 y Figura 3.17).
- Se colocaron dichos cilindros en tara y se obtuvo el peso húmedo.
- Se llevaron las muestras a estufa a temperatura de  $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 24 hs. y se tomó el peso seco.



Figura 3.14: Mezcla de suelo tomado del LL.

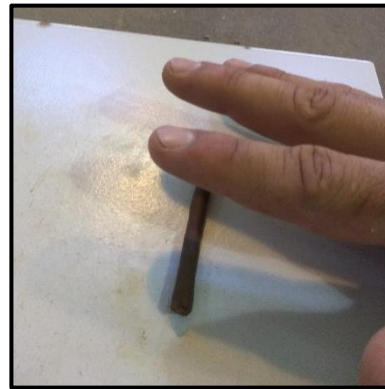


Figura 3.15: Enrollado de la muestra.



Figura 3.16: Cilindros 3 mm.



Figura 3.17: Fisuras.

Los valores obtenidos se volcaron en planillas como lo muestra la siguiente tabla (Tabla 3.6).

Tabla 3.6: Planilla modelo para Límite Plástico.

<b>Límite Plástico</b>	<b>Pf. N°</b>	22	14	28
	<b>P Pf [gr]</b>	6,5	6,5	6,5
	<b>P Pf + Sh [gr]</b>	29,0	33,5	32,5
	<b>P Pf + Ss [gr]</b>	25,0	28,0	27,5
	<b>Limite Plástico</b>	21,62	25,58	23,81
	<b>LP Promedio</b>	23,67		

### 3.5.1.3 Clasificación del suelo mediante método SUCS

Se realizó la clasificación de acuerdo a Norma I.R.A.M 10.509.

Para la misma se tuvieron en cuenta los resultados del ensayo de granulometría por vía húmeda y los valores correspondientes a la consistencia del suelo.

Teniendo en cuenta la Tabla 2.5 del Capítulo 2, y aprovechando la versatilidad que brinda el programa Excel se elaboró un gráfico (Figura 3.18) con el fin de identificar al suelo rápidamente. La misma está acompañada de los cálculos correspondiente (Tabla 3.7).

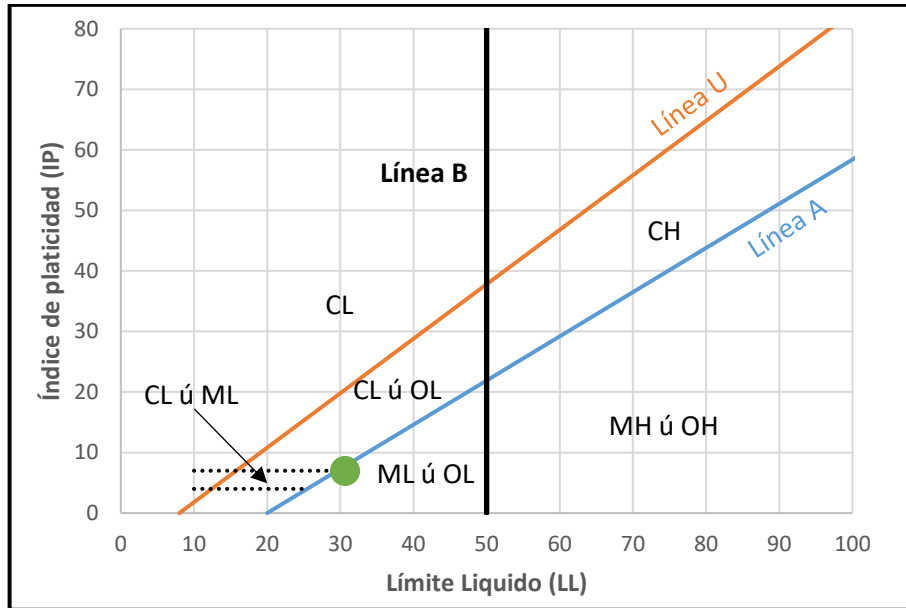


Figura 3.18: Carta de Plasticidad (Fuente: Elaboración propia; basada en H.R.B)

Tabla 3.7: Ejemplo de cálculo analítico Línea A.

<b>Índice de Plasticidad</b>	5,31	8,03	5,97
<b>IP Promedio</b>	6,44		
<b>Línea A</b>	6,53	7,23	6,51
<b>Línea A Promedio</b>	6,76		
<b>Clasificación S.U.C.S.</b>	ML-OL		

### 3.5.1.4 Clasificación del suelo mediante método AASHTO

De la misma manera que el método anterior se realizaron planillas de cálculo en la mencionada herramienta Excel (Tabla 3.8 y Figura 3.19), siguiendo lo detallado en el apartado 2.4 Capítulo 2.

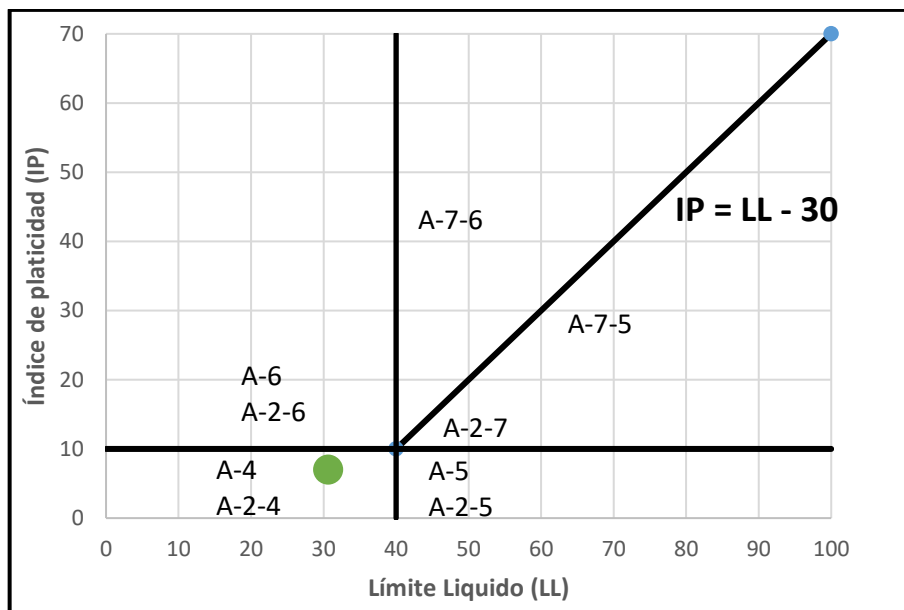


Figura 3.19: Diagrama modelo para diferenciar los grupos (Fuente: Elaboración propia; basada en H.R.B)

Tabla 3.8: Planilla modelo para el análisis granulométrico e identificación H.R.B.

<b>Peso inicial [gr]:</b>	198,5	
<b>Retenido Tamiz 0,075 mm [gr]</b>	5,0	
<b>Tamiz</b>	Retenido	
	grs.	%
<b>4,76 mm (Nº 4)</b>	0,0	0,00
<b>2,0 mm (Nº 10)</b>	0,0	0,00
<b>0,42 mm (Nº 40)</b>	1,0	0,50
<b>0,150 mm (Nº 100)</b>	1,0	0,50
<b>0,075 mm (Nº 200)</b>	3,0	1,51
<b>Pasa tamiz 0,075 mm (Nº 200)</b>	193,5	97,48
<b>Total</b>	198,5	100,00
<b>Índice de Grupo:</b>	6	
<b>Clasificación según H.R.B</b>	A-4	
<b>(Según Norma de Ensayo VN - E4 - 84)</b>		

### 3.5.2 Compactación Proctor

El siguiente ensayo es utilizado para determinar el peso unitario seco máximo en función del grado humedad, empleando una determinada energía de compactación.

Existen dos tipos de ensayos (Tabla 3.9) donde la diferencia entre ambos es la energía de compactación entregada y el volumen de suelo empleado; el ensayo Proctor Estándar (ASTHO T-99) y el ensayo Proctor Modificado (ASTHO T-180).

**Tabla 3.9:** *Proctor Estándar y Modificado para suelos finos.*

ENSAYO	MOLDE mm	PESO PISÓN kg	ALTURA CAÍDA EN cm	N° CAPAS	N° GOLPES
I	101,6	2,5	30,5	3	25
II	101,6	4,53	45,7	5	25
III	101,6	2,5	30,5	3	35

En nuestro caso se realizó la compactación de suelos empleando el ensayo I de la Tabla 3.7, por corresponder a suelos finos (Tabla 3.10).

**Tabla 3.10:** *Proctor Estándar.*

CAPAS	GOLPES	PISÓN	Ø MOLDE
3	25	2,5 kg	101,6 mm

- a) Equipamiento:
- Balanza digital con precisión de 1 centígramo.
  - Estufa de secado de muestras de temperatura hasta  $110\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ .
  - Bandejas, pesa filtro, espátulas.
  - Molde cilíndrico de acero de  $\text{Ø } 101.6\text{ mm}$  y  $30.5\text{ mm}$  de altura más base y anillo de extensión.
  - Pisón de compactación de  $2.5\text{ kg}$ . y  $30.5\text{ cm}$  de caída.
  - Extractor de muestras.
- b) Procedimiento:
- Se colocó en estufa a temperatura de  $105\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$  durante 24 hs., una porción de suelo pasante por Tamiz I.R.A.M  $4.75\text{ mm}$  ( $\text{N}^{\circ}4$ ), aproximadamente  $200\text{ gr.}$ , y se tomó el peso seco.
  - Se efectuaron los cálculos correspondientes para obtener la cantidad de agua a agregar para cada uno de los 5 puntos (Tabla 3.11).
  - Se tomaron  $2300\text{ gramos}$  del suelo tamizado por Tamiz I.R.A.M  $4.75\text{ mm}$  ( $\text{N}^{\circ}4$ ), y de manera uniforme se añadió el contenido de humedad calculado aproximado (Figura 3.20).
  - Se ajustó el molde (de peso y volumen conocido) conjuntamente con la base y el anillo de extensión.
  - Se llena el molde un poco más de un tercio con dicho suelo y se lo apisonó con 25 golpes distribuidos uniformemente sobre la capa del mismo (Figura 3.21).
  - Se realizó la misma operación para la segunda y tercera capa, escarificando previamente la superficie de contacto entre estas (Figura 3.22).
  - Se retiró el anillo de extensión y se enrasó la superficie (Figura 3.23).
  - Se tomó el peso del molde con el suelo compactado.

- Utilizando el extractor, se retiró la muestra del molde (Figura 3.24).
- De la muestra extraída, se toma una porción representativa (preferentemente del centro). En un pesafiltro, de tara conocida, se colocó dicha muestra, se tomó su peso húmedo y se llevó a estufa a temperatura de  $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 24 hs., para determinar el contenido de humedad correcto (Figura 3.25).
- Se repitieron estos procedimientos cuatro veces más incorporando la humedad de cálculo.
- Estos valores se llevaron a la planilla (Tabla 3.12) correspondiente y se dibujó la gráfica de Densidad del Suelo Seco – Humedad (Figura 3.26). Donde el valor máximo de la curva, corresponderá en ordenadas a la densidad seca máxima y en abscisas al contenido de humedad óptimo.



Figura 3.20: Mezcla de suelo.



Figura 3.21: 25 golpes con el pisón.



Figura 3.22: Escarificado.



Figura 3.23: Enrasado.



Figura 3.24: Extracción.



Figura 3.25: Muestra.

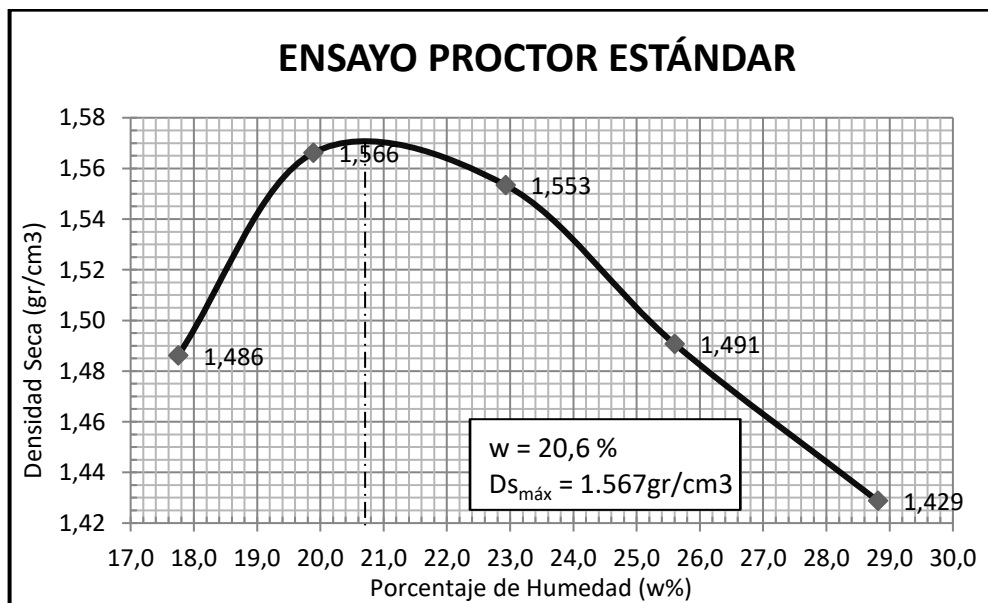
Tabla 3.11: Planilla modelo para el cálculo de Dh y Ds y agua a incorporar.

Punto N°	% Aprox. de agua	Peso del Cilindro + Sh (gr)	Tara del Cilindro (gr)	Peso Suelo Húmedo Sh (gr)	Volumen del Cilindro (cm3)	Densidad Húmeda (gr/cm3)	Densidad Seca (gr/cm3)
1	156,0	5120	3475	1645	940	1,750	1,486
2	218,0	5240	3475	1765	940	1,878	1,566
3	281,0	5270	3475	1795	940	1,910	1,553
4	343,0	5235	3475	1760	940	1,872	1,491
5	405,0	5205	3475	1730	940	1,840	1,429

Tabla 3.12: Planilla modelo de valores de Ds y Humedad.

Punto N°	Pesa Filtro N°	P.F. + Sh (gr)	P.F. + Ss (gr)	Tara del Pesa Filtro (gr)	Agua (gr)	Suelo Seco (gr)	% de Humedad
1	3	305,0	260,0	6,5	45,0	253,5	17,75
2	7	332,0	278,0	6,5	54,0	271,5	19,89
3	2	258,5	211,5	6,5	47,0	205,0	22,93
4	8	320,5	256,5	6,5	64,0	250,0	25,60
5	34	234,5	183,5	6,5	51,0	177,0	28,81

Figura 3.26: Densidad seca máxima – Humedad.



### 3.5.3 Compresión simple

El objetivo de este ensayo es determinar de forma aproximada la resistencia a la compresión. Los resultados de este ensayo proporcionan valores razonables si se trata de suelos cohesivos donde la resistencia al corte esta originado por la fricción y cohesión.

Los resultados de los ensayos son presentados en planillas y se procedió al cálculo de la compresión simple y deformación unitaria.

La deformación unitaria ( $\varepsilon$ ) queda expresada de la siguiente manera (Ecuación 5):

$$\varepsilon = \left( \frac{\Delta L}{L_0} \right) \quad (5)$$

Donde:

- $L_0$ : Altura inicial de la probeta
- $\Delta L$ : Variación altura de la probeta ( $\Delta L = L_f - L_0$ )
- $L_f$ : Altura final de la probeta

La tensión resultante del ensayo queda definida por la Ecuación 6:

$$\sigma = \left( \frac{P}{A'} \right) ; A' = \left( \frac{A_0}{1-\varepsilon} \right) \quad (6)$$

Donde:

- P: Carga axial aplicada
- A': Área corregida
- $A_0$ : Área inicial ( $\pi \times D^2 / 4$ )

Para contemplar la relación entre la altura y diámetro de la probeta se multiplicó al valor de la resistencia unitaria a la compresión por un factor de corrección establecido en la Tabla 3.13.

**Tabla 3.13:** Factor de corrección h/d. (Fuente: Norma de ensayo VN-E33-67)

Relación altura - Diámetro de la probeta	Factor de corrección
2,00	1,00
1,75	0,98
1,50	0,96
1,25	0,93
1,00	0,87

a) Equipamiento:

- Balanza digital con precisión de 1 centigramo.
- Estufa de secado de muestras de temperatura hasta  $110^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ .
- Bandejas, pesa filtro, espátulas.
- Molde cilíndrico de acero de  $\varnothing$  101.6 mm y 30.5 mm de altura más base y anillo de extensión.

- Pisón de compactación de 2.5 kg y 30.5 cm de caída.
  - Extractor de muestras.
  - Dial extensómetro, con precisión de 0.1 mm.
  - Aro dinamométrico de acero.
  - Prensa de ensayo con accionamiento manual.
- b) Procedimiento:
- Para la confección de las probetas se siguieron los pasos descritos en el apartado 3.3.3 “Compactación Proctor” empleando la humedad óptima para cada caso.
  - Se extrajo la muestra del cilindro.
  - Se tomaron las medidas de volumétricas de la probeta y su peso (Figura 3.27).
  - Para aquellos casos donde sus caras no existían perpendicularidad se procedió a encabezar sus bases empleando material de yeso en una capa delgada y dejándolo endurecer lo suficiente para que este no fluya ni se fracture durante el ensayo. (Figura 3.28).
  - Se colocó la probeta en la máquina para ensayo de compresión y se realizó el ensayo de compresión tomando lecturas de deformación cada 10 kg de carga hasta la rotura (Figura 3.29).
  - Se tomó nota del ángulo formado por la fisura (Figura 3.30).



**Figura 3.27:** *Probeta.*



**Figura 3.28:** *Encabezado.*



**Figura 3.29:** *Compresión simple.*



**Figura 3.30:** *Fisuras.*



Como parte complementaria, se realizaron pruebas para demostrar el comportamiento del suelo estabilizado en presencia de agua (Ver Capítulo 5). Se optó por llevar a cabo el siguiente procedimiento:

- 1) Preparación: se confeccionaron 2 probetas cilíndricas por cada tipo de muestra, de igual manera que las realizadas para compresión simple, empleando el molde cilíndrico con las mismas características al utilizado en el ensayo Proctor T-99 (Figura 3.31).
- 2) Reposo: Se dejó reposar las probetas, sin que estas pierdan humedad envolviendo las mismas con bolsas de nylon, durante 7 días. (Figura 3.32).
- 3) Sumersión en agua: Pasado el tiempo de reposo, se colocó la muestra en un cilindro de contención, se tomó el peso del mismo sin la muestra y con la misma. Luego, se procedió a colocar dicho molde con la probeta en agua, durante 3 días, con el fin de saturar con agua la muestra. (Figura 3.33).
- 4) Secado de la muestra: Pasado los días sumergidas en agua, se retiraron dichas muestras, y se tomó el peso de estas. Luego, se dejaron reposar en ambiente por 3 días. (Figura 3.34).
- 5) Ensayo: Finalmente, ya secadas las muestras en el ambiente, se procedió a realizar el ensayo a compresión simple y con los resultados se realizaron las gráficas para cada ensayo como el inciso anterior.



Figura 3.31: Preparación muestras.



Figura 3.32: Reposo de las muestras.



Figura 3.33: Molde + muestra.



Figura 3.34: Sumersión en agua.

### 3.5.4 Ensayo CBR

La finalidad de este ensayo es determinar la capacidad portante de los suelos compactados. Mide valores de resistencia al corte del suelo bajo las condiciones de humedad óptima y densidad máxima seca obtenidas en el ensayo de compactación.

El valor obtenido del CBR se usa principalmente en el diseño de suelos para ser utilizados como materiales de subrasantes, base y sub bases de pavimentos. El mismo queda definido por la carga unitaria correspondiente a 0,1" o 0,2" de penetración, expresada en porcentaje (Ecuación 7).

$$V.S.R = \left( \frac{\text{carga unitaria del ensayo}}{\text{carga unitaria patrón}} \right) \quad (7)$$

En la Tabla 3.14 da calificaciones representativas para estos valores.

**Tabla 3.14:** Clasificación y Usos de suelos según valor de CBR (Fuente: Joseph E. Bowles, Pág. 191).

N° CBR	Clasificación general	Usos	Sistema de clasificación	
			S.U.C.S	A.A.S.H.TO
0 - 3	Muy pobre	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A-5, A-6, A-7
3 - 7	Pobre a regular	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A-4, A-5, A-6, A-7
7 - 20	Regular	Sub-Base	OL, CL, ML, SC, SM, SP	A-2, A-4, A-6, A-7
20 - 50	Bueno	Base, Sub-Base	GM, GC, SW, SM, SP, GP	A-1b, A2-5, A-3, A2-6
> 50	Excelente	Base	GW, GM	A-1a, A2-4, A-3

El procedimiento se llevó a cabo según lo detallado en la Norma de Ensayo VN-E6-84, de Vialidad Nacional.

a) Equipamiento:

- Moldes cilíndricos para CBR.
- Plato perforado con vástago.
- Pesas de 2.27 kg.
- Trípode de material inoxidable.
- Prensa de ensayo con accionamiento manual.
- Pistón de penetración de 49.53 mm de diámetro.
- Aro dinamométrico de acero.
- Dial extensómetro, con precisión de 0.1 mm.

b) Procedimiento:

Este ensayo cuenta con 3 partes:

b.1) Ensayo de compactación CBR.

- Con la humedad óptima de compactación (obtenida en el ensayo Proctor), se prepararon 6 kg de muestra con dicha humedad.
- En los 3 moldes CBR, se compactó dicha muestra en 5 capas de 56 golpes cada una (Figura 3.35).
- De cada molde, se retiró una muestra para obtener el contenido de humedad y se determinaron los valores de densidad.

b.2) Ensayo de hinchamiento.

- Se invirtieron los moldes, quedando un espacio en la parte superior.
- Se colocó papel de filtro en ambas caras, la placa de expansión y la sobrecarga.
- Se llevaron las muestras a la pileta con agua, donde se efectuó la primera lectura.
- Luego se registraron lecturas cada 24 hs. durante 4 días (Figura 3.36).

b.3) Ensayo de penetración - carga.

- Pasado los 4 días, se retiraron los moldes del agua, se sacaron las sobrecargas y se dejaron drenar durante 15 minutos (Figura 3.37).
- Luego se llevaron a la prensa, donde se efectuó el ensayo de penetración aplicando el pistón de 48.53 mm a una velocidad de 0.05 pulg/min, registrando las lecturas de carga para cada muestra (Figura 3.38).
- Con los valores, se dibujaron 3 curvas de esfuerzo – deformación. Ubicando el valor de esfuerzos en el eje de las ordenadas, y en abscisas los valores de penetración (Tabla 3.15 y Figura 3.39).



**Figura 3.35:** Compactación en molde CBR.



**Figura 3.36:** Colocación en agua y registro primera lectura.



**Figura 3.37:** Drenaje.



**Figura 3.38:** Penetración.

Tabla 3.15: Planilla modelo para el cálculo del Valor Soporte Relativo.

Penetración [mm]		0	0,64	1,27	1,91	2,54	5,08	7,62	10,16	12,7	VSR [%]
Factor de Cálculo K						0,07	0,04	0,03	0,032	0,028	
Molde 1	Lectura dial	0	1	3	4,5	6,5	14,5	24,5	33,5	45	2,43
	Lectura corregida					22,1	49,3	83,3	113,9	153,0	
	Lectura corregida x factor					1,63	2,43	3,24	3,66	4,35	
Molde 2	Lectura dial	0	1,5	3	4,5	6,5	14,5	24,5	34	44	2,43
	Lectura corregida					22,10	49,30	83,30	115,60	149,60	
	Lectura corregida x factor					1,63	2,43	3,24	3,71	4,25	
Molde 3	Lectura dial	0	3	5,5	7,5	10	17,5	24	29,5	35	2,93
	Lectura corregida					34,0	59,5	81,6	100,3	119,0	
	Lectura corregida x factor					2,51	2,93	3,17	3,22	3,38	

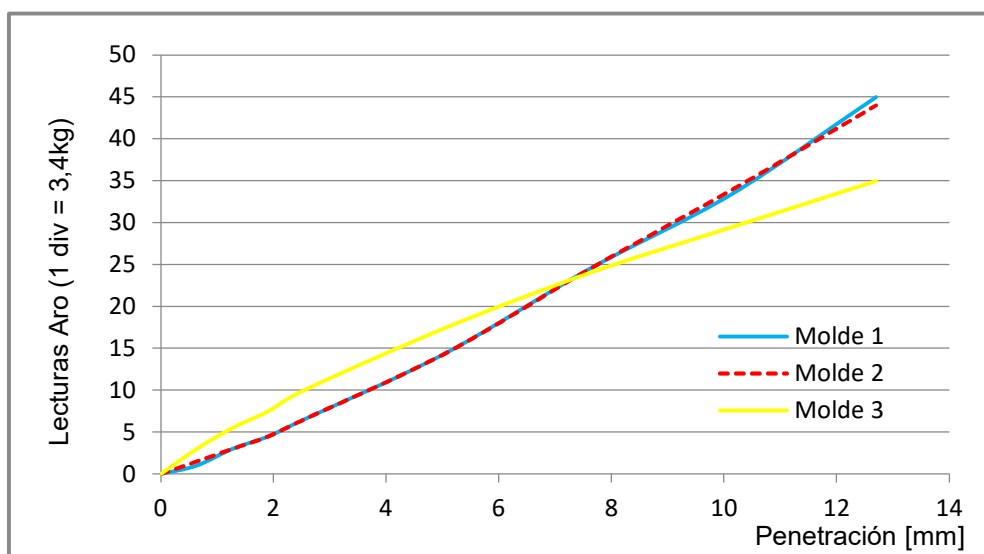


Figura 3.39: Esfuerzo – Deformación.

### 3.5.5 Permeabilidad

La ejecución de este ensayo permite obtener valores aproximados del coeficiente de permeabilidad de suelos pocos permeables. Si bien, los valores obtenidos resultan ser pocos confiables, se consideran válidos dentro del proyecto que permiten identificar las modificaciones respecto a las propiedades iniciales del suelo en estudio.

Consiste básicamente en medir el tiempo de descenso del agua entre dos marcas indicadas en un tubo calibrado. Es muy importante la elección del diámetro del tubo para que el tiempo de filtración no sea menor de 10 segundos ni mayor a 1 hora.

El coeficiente de permeabilidad "K" queda expresado con la Ecuación 8:

$$K = \frac{a \cdot L}{A \cdot t} \cdot \ln \frac{h_1}{h_2} \quad (8)$$

Donde:

- K = Coeficiente de permeabilidad, en [cm/seg]
- a = Sección transversal del tubo calibrado, en [cm<sup>2</sup>]
- L = Longitud de la muestra de suelo, en [cm]
- A = Sección transversal de la muestra de suelo, en [cm<sup>2</sup>]
- t = Tiempo transcurrido durante el experimento, en [seg]
- h<sub>1</sub> = Altura inicial del agua en el tubo calibrado, en [cm]
- h<sub>2</sub> = Altura final del agua en el tubo calibrado, en [cm]
- ln = Logaritmo neperiano

En la Tabla 3.16 se muestran valores típicos del coeficiente de permeabilidad para distintos tipos de suelo en estado saturados.

**Tabla 3.16:** Valores típicos de conductividad hidráulica de suelos saturados (Fuente: Das, 2015 – Pág. 121)

Tipo de suelo	k (cm/seg)
Grava Limpia	100 - 1
Arena Gruesa	1 - 0.01
Arena Fina	0.01 - 0.001
Arcilla Limosa	0.001 - 0.00001
Arcilla Limosa	<0.000001

Siguiendo los lineamientos de la Norma I.R.A.M 10.530.

a) Equipamiento:

- Permeámetro de nivel variable.
- Tubos calibrados de distinto diámetro.
- Cronómetro.
- Calibre.
- Regla graduada.
- Balanza.
- Bomba de vacío.

b) Procedimiento:

- Con la humedad óptima de compactación (obtenida en el ensayo Proctor), se prepararon 2300 gr. de muestra con dicha humedad.

- En el molde de permeabilidad, se compactó dicha muestra en 3 capas de 25 golpes cada una.
- Se pesó el molde con el suelo, y conociendo el peso del molde se calculó la masa de suelo utilizada (Figura 3.40).
- Se colocaron 2 discos de papel de filtro en ambas caras, conjuntamente con un disco de acero perforados (Figura 3.41).
- Se ajustó el cilindro con las bases y la tapa del permeámetro, asegurando un cierre hermético (Figura 3.42).
- Se abrió la llave de paso superior del molde, y se dejó pasar agua con el fin de retirar el aire atrapado (corroborando que no haya pérdidas de agua).
- Se dejó pasar agua a la muestra por 72 hs. para lograr la saturación de la misma (Figura 3.43).
- Transcurrido el tiempo de saturación, se comenzó con el ensayo; se tomó la altura inicial del nivel del agua.
- Se cerró la canilla para el pasaje de agua, y se tomó el tiempo inicial.
- Luego, se tomaron las distintas medidas del nivel de agua durante una hora (cada 2 o 3 minutos) (Figura 3.44 y Tabla 3.17).
- Terminado el ensayo se tomó una muestra del suelo y se llevó a estufa a temperatura  $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  para el conocimiento del contenido de humedad (Figura 3.45).



**Figura 3.40:** Compactación.



**Figura 3.41:** Ajuste piezas molde.



**Figura 3.42:** Molde permeámetro.



**Figura 3.43:** Saturación.



Figura 3.44: Nivel de agua.



Figura 3.45: Extracción muestra.

Tabla 3.17: Planilla modelo de lecturas de tiempo y variación del nivel de agua.

<b>Tiempo</b>	<b>Altura Final</b>	<b>Coefficiente de Permeabilidad</b>
(t)	(h2)	(k)
[seg]	[mm]	[cm/seg]
60	180,6	2,76165E-07
180	179,9	4,15053E-07
360	179,6	2,76933E-07
540	179,4	2,15512E-07
720	179,1	1,96434E-07
900	178,8	1,85034E-07
1080	178,6	1,69709E-07
1200	178,4	1,66717E-07
1500	177,9	1,61385E-07
1800	177,4	1,57896E-07
2100	177,1	1,47406E-07
2400	176,6	1,46616E-07
2700	176,1	1,46046E-07
3600	175	1,35593E-07

### 3.6 METODOLOGÍA PARA INCORPORAR EL AGENTE ESTABILIZADOR

#### 3.6.1 Datos de seguridad

Con la necesidad y derecho de conocer los riesgos e identidad del producto químico se solicitó información acerca de los posibles efectos a los que se está expuesto durante la manipulación del mismo (Tabla 3.18).

Tabla 3.18: Ficha datos de seguridad.

<b>COMPONENTES</b>
Macropolímero vegetal
<b>INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA</b>
<b>Toxicidad agua</b> <b>Ingestión:</b> DL50, Rata: > 5000 mg/kg <b>Absorción por piel:</b> DL50, Conejo: > 5000 mg/kg <b>Corrosión o irritación cutánea:</b> Ligera irritación <b>Lesiones o irritación ocular graves:</b> No irrita a los ojos <b>Sensibilización</b> <b>Piel:</b> No se produce reacciones alérgicas en pruebas realizadas sobre el hombre. <b>Toxicidad genética:</b> Los estudios de toxicidad genética in Vitro han dado resultados negativos.
<b>ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD</b>
<b>Estabilidad / Inestabilidad:</b> Estable en las condiciones de almacenaje recomendadas. <b>Condiciones a evitar:</b> el producto es estable. No sufrirá polimerización <b>Materiales incompatibles:</b> No se conocen materiales que sean incompatibles
<b>MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS</b>
<b>Medios de extinción:</b> Niebla o agua pulverizada. Extintores de polvo químico. Extintores de anhídrido carbónico. Espuma. <b>Procedimientos de lucha contra incendio:</b> Mantener a las personas alejadas. Aislar el área. Utilizar agua pulverizada para enfriar los recipientes expuestos al fuego. <b>Productos de combustión peligrosos:</b>
<b>INFORMACIÓN REGLAMENTARIA</b>
Este producto no es considerado peligroso según la Norma de Comunicación de Peligros de la OSHA (29CFR 1910,1200). El mismo se encuentra dentro de los precursores en la fabricación de drogas, armas químicas y municiones.
<b>OTRAS INFORMACIONES</b>
Sistema de clasificación de peligros: <b>Salud:</b> 1 <b>Inflamabilidad:</b> 0 <b>Peligro físico:</b> 0 <b>Riesgos específicos:</b> -

En base a esto, se indican 3 efectos potenciales sobre la salud que pueden presentarse durante su uso:



- Contacto con los ojos: puede irritar a los ojos de forma transitoria. No es probable que produzca lesión en la córnea.
- Contacto cutáneo: No es probable que por una exposición prolongada o repetida se irrite la piel de modo significativo.
- Inhalación: una exposición excesiva puede irritar el tracto respiratorio superior (nariz y garganta)

“La inhalación de los vapores o nieblas puede producir dolor de cabeza, náuseas e irritación nasal, de garganta y pulmones”.

En caso de sufrir algunos de estos efectos se recomiendan los siguientes procedimientos para primeros auxilios:

- Contacto con los ojos: lavar los ojos concienzudamente con agua durante algunos minutos.
- Contacto cutáneo: lavar la piel con abundante agua y jabón.
- Inhalación: trasladar a la persona al aire libre. Si respira practique respiración artificial. Si respira con dificultad, suministrar oxígeno por personal capacitado. Avisar a un médico o trasladar a un centro hospitalario.

De modo que para prevenir las causas citadas se emplearon guantes de látex, gafas de seguridad y mascarilla cubre boca purificadora de aire durante la manipulación del producto.

### 3.6.2 Propiedades físicas y químicas del estabilizante

Se describe al producto empleado como un líquido viscoso de color marrón pardo de solubilidad acuosa total (Figura 3.46).



Figura 3.46: Aditivo químico.

### 3.6.3 Procedimiento

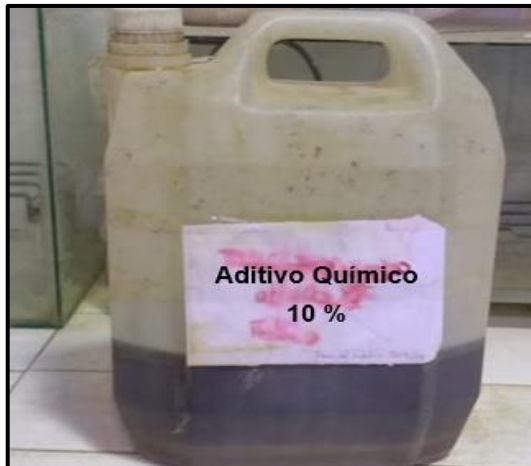
La evaluación del agente estabilizante se realizó para las incorporaciones del mismo en 3 niveles. En concordancia con los fabricantes del producto se tomaron los dosajes al 10%, 20% y 30% del aditivo en relación con el peso del agua necesaria para obtener la humedad óptima para compactar.

Para esto, se realizó la disolución acuosa del aditivo en peso en una cantidad total de 3 kg para cada dosaje a emplear, con el fin de aprovechar su totalidad como lo muestra la Tabla 3.19.

**Tabla 3.19:** Porcentajes de adición del estabilizante.

	Cantidad a incorporar del aditivo [Kg]	Cantidad a incorporar de agua [Kg]	Peso total de la dosificación [Kg]
Dosaje al 10%	0,30 [Kg]	2,70 [Kg]	3,00 [Kg]
Dosaje al 20%	0,60 [Kg]	2,40 [Kg]	3,00 [Kg]
Dosaje al 30%	0,90 [Kg]	2,10 [Kg]	3,00 [Kg]

Las mismas fueron almacenadas en bidones cerrados e identificados con su correspondiente etiqueta (Figura 3.47).



**Figura 3.47:** Almacenamiento.

Además, se dejó secar el suelo con el objetivo de que el agua a incorporar sea una cantidad mayor a 5% del peso de la muestra a estabilizar (Figura 3.48).



**Figura 3.48:** Adición.

El tiempo de reacción del producto con las partículas del suelo varía entre unas 5 a 10 horas cuando estas entran en contacto, según las especificaciones del fabricante. Sin embargo, la variación depende del tipo de suelo a tratar y la cantidad de producto adicionado, lo que implica una tarea compleja en determinar el tiempo exacto para el cual las partículas de suelo permanecen estabilizadas.

Según esto, primeramente, se comenzó dejando reaccionar al producto con el suelo 24 horas antes de ser ensayado. No obstante, se observó que se obtienen mejores resultados si el tiempo transcurrido es de 48 horas, en el cual pasado estas horas los resultados son invariables o con pequeñas variaciones.

En efecto, para esta investigación, antes de realizar los ensayos correspondientes al suelo estabilizado con el producto, una vez aplicado el mismo, se dejó reposar durante 48 horas para permitir la reacción química entre el agente y las partículas de arcilla.



## Capítulo 4

# ANÁLISIS Y RESULTADOS

### 4.1 INTRODUCCIÓN

Se presentan en este capítulo los resultados de los ensayos mencionados anteriormente para las muestras analizadas.

### 4.2 RESULTADOS DE LA MUESTRA 1

#### 4.2.1 Humedad natural y análisis granulométrico

Se determinó que la humedad natural del material extraído de la cantera 1, es de 26,04% (Ver Anexo A-1).

En la Tabla 4.1 se muestran los distintos porcentajes pasantes por cada tamiz obtenidos mediante el análisis granulométrico.

Tabla 4.1: Análisis granulométrico; muestra 1.

	<b>Muestra M1</b>	
Peso inicial [gr]:	198,5	
Retenido Tamiz 0,075 mm [gr]	5,0	
Tamiz	Retenido	
	grs.	%
4,76 mm (Nº 4)	0,0	0,00
2,0 mm (Nº 10)	0,0	0,00
0,42 mm (Nº 40)	1,0	0,50
0,150 mm (Nº 100)	1,0	0,50
0,075 mm (Nº 200)	3,0	1,51
Pasa tamiz 0,075 mm (Nº 200)	193,5	97,48
Total	198,5	100,00
Índice de Grupo:	<b>7</b>	
Clasificación según H.R.B (Según Norma de Ensayo VN - E4 - 84)	<b>A-4</b>	

Con los datos del análisis granulométrico y resultados de límite de consistencia (que se muestran más adelante) se clasificó a la Muestra 1 como un suelo A-4 (según clasificación H.R.B); un suelo limo de baja plasticidad (ML, según clasificación S.U.C.S); y un Índice de Grupo igual a 7. (Ver Planillas Anexo C-1).

Analizando los métodos de clasificación e Índice de Grupo, el material correspondiente a la muestra 1, pertenece a un suelo compuesto mayormente por limo, con moderada cantidad de partículas de arcilla.

Por lo general, el suelo en cuestión, tiene un buen comportamiento en obras viales, usualmente utilizado en terraplenes, debido a la estabilidad que brinda la cohesión entre sus partículas finas.

Sin embargo, como se mencionó en capítulos anteriores, la disminución o pérdida de sus propiedades ocurre con la intervención del agua. Lo cual conlleva al tratamiento del suelo mediante métodos de estabilización para garantizar la durabilidad en sus propiedades.

En estos suelos es muy usual la ejecución de un estabilizado físico, donde la incorporación de agregados de mayor tamaño a las partículas de limo permite corregir la curva granulométrica.

#### 4.2.2 Consistencia

Se determinó los valores de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del suelo patrón y las muestras de suelo con la incorporación del aditivo en porcentajes de 10%, 20% y 30% (Ver planillas Anexo B-1).

En la Tabla 4.2 se muestran los resultados obtenidos de cada ensayo.

**Tabla 4.2:** *Tabla comparativa límites Atterberg; muestra 1.*

<b>Muestra 1</b>				
<b>Límites de Atterberg</b>	<b>Suelo Patrón</b>	<b>Suelo + 10% del aditivo</b>	<b>Suelo + 20% del aditivo</b>	<b>Suelo + 30% del aditivo</b>
<b>Límite Líquido [%]</b>	30,66%	29,26%	28,93%	26,82%
<b>Límite Plástico [%]</b>	23,67%	22,82%	22,96%	21,61%
<b>Índice de Plasticidad [%]</b>	6,99%	6,44%	5,97%	5,21%

A causa de los cambios de límite líquido e índice plástico se volvió a identificar el suelo con los distintos métodos de clasificación.

No hubo cambios según la clasificación H.R.B manteniéndose en un suelo A-4, esto es debido a que un suelo con un comportamiento superior, no solo requiere de cambios en los límites de consistencia sino una mejor distribución en su granulometría.

No obstante, se produjo un cambio con el método de clasificación S.U.C.S pasando de un suelo ML a CL-ML, al incorporar un 30% del producto.

Respecto del índice de grupo su valor fue disminuyendo en la unidad, de un valor de 7 para el suelo patrón a un valor de 6, 5, 4 para el 10%, 20% y 30% del aditivo.

**Tabla 4.3:** *Tabla comparativa clasificación e índice de grupo; muestra 1.*

<b>Muestra 1</b>				
	<b>Suelo Patrón</b>	<b>Suelo + 10% del aditivo</b>	<b>Suelo + 20% del aditivo</b>	<b>Suelo + 30% del aditivo</b>
<b>Clasificación H.R.B</b>	A-4	A-4	A-4	A-4
<b>Clasificación S.U.C.S</b>	ML	ML	ML	CL-ML
<b>Índice de grupo</b>	7	6	5	4

Se realizó un cuadro comparativo con los resultados obtenidos correspondientes para el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad como se observan en las Figuras 4.1, 4.2 y 4.3 respectivamente.

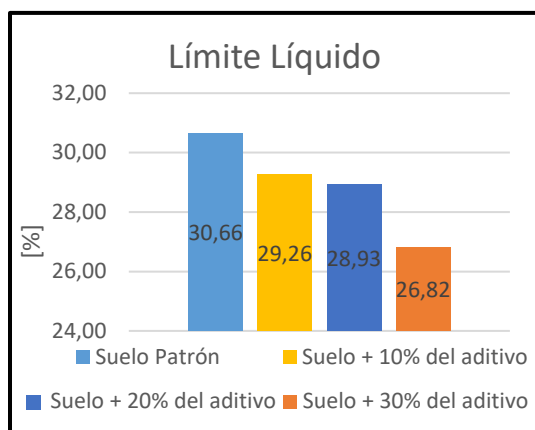


Figura 4.1: Comparación de los resultados de Límite Líquido; muestra 1.

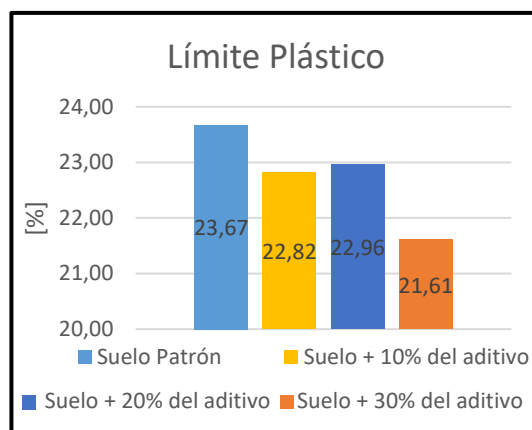


Figura 4.2: Comparación de los resultados de Límite Plástico; muestra 1.

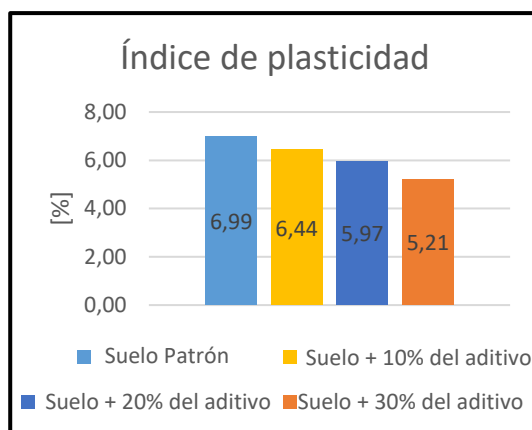


Figura 4.3: Comparación de los resultados Índice de Plasticidad; muestra 1.

La variación entre el límite líquido y límite plástico para los distintos porcentajes, produjo una disminución del Índice de Plasticidad. Se puede apreciar una disminución casi lineal decreciente con el aumento de la cantidad de producto incorporado.

Obteniéndose mejores resultados con la incorporación del 30% del producto. Donde se alcanza una disminución de 14% del LL; un 9,5% del LP; y una disminución de 34% para el IP.

#### 4.2.3 Proctor Estándar T-99

Finalizados los ensayos de compactación, se realizó la Tabla 4.4, donde se reflejan los valores obtenidos. (Ver planillas Anexo D-1).

Tabla 4.4: Tabla comparativa Densidad máxima y Humedad Óptima; muestra 1.

Muestra 1				
Proctor T-99 Estándar	Suelo Patrón	Suelo + 10% del aditivo	Suelo + 20% del aditivo	Suelo + 30% del aditivo
Densidad Máxima	1,571 gr/cm <sup>3</sup>	1,577 gr/cm <sup>3</sup>	1,555 gr/cm <sup>3</sup>	1,577 gr/cm <sup>3</sup>
Humedad Óptima	20,70%	21,40%	22,00%	21,20%

Al respecto, no se obtuvo un incremento en la densidad máxima seca del suelo según lo indicado en las especificaciones mencionadas por los fabricantes del producto. Si bien, existen algunas variaciones entre ellos, se hace difícil concretar un cumplimiento en el comportamiento del producto frente a este apartado.

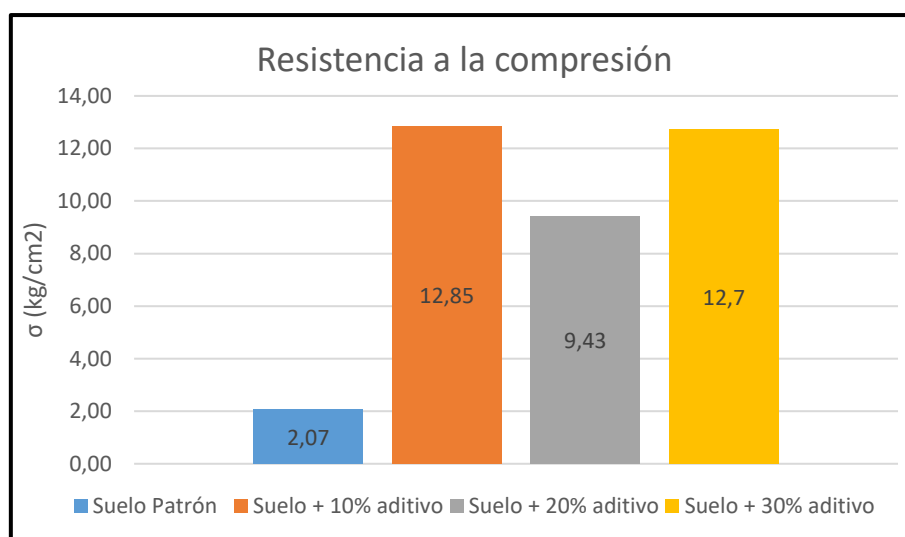
#### 4.2.4 Compresión simple

Con los valores obtenidos de Humedad Óptima y Densidad Máxima se elaboraron probetas cilíndricas para realizar el ensayo de compresión simple.

A continuación, en la Tabla 4.5 se muestran los valores obtenidos para los casos en estudio y en el Figura 4.4 se comparan estos resultados (Ver Planillas Anexo E-1).

**Tabla 4.5:** Tabla comparativa resistencia a la compresión; muestra 1.

Muestra 1				
Resistencia a la compresión	Suelo natural	Suelo + 10% del aditivo	Suelo + 20% del aditivo	Suelo + 30% del aditivo
	2,07 Kg/cm <sup>2</sup>	12,85 Kg/cm <sup>2</sup>	9,68 Kg/cm <sup>2</sup>	12,70 Kg/cm <sup>2</sup>



**Figura 4.4:** Comparación resultados de Resistencia a la compresión; muestra 1.

Para el caso de la resistencia a la compresión de la muestra 1, se observa que el aumento de esta no depende de la cantidad a incorporar del producto. Mas bien, se mantienen los valores iguales para los distintos porcentajes adicionados, a excepción del segundo caso donde la resistencia disminuye respecto de las demás.

En la Figura 4.5 se comparan las curvas de tensión – deformación para los ensayos realizado. Se debe tener en cuenta que, para este tipo de suelo, si se requiere aumentar únicamente esta propiedad, con la incorporación del 10% del producto, se consigue un aumento en la resistencia de casi el 500% respecto a su valor inicial.



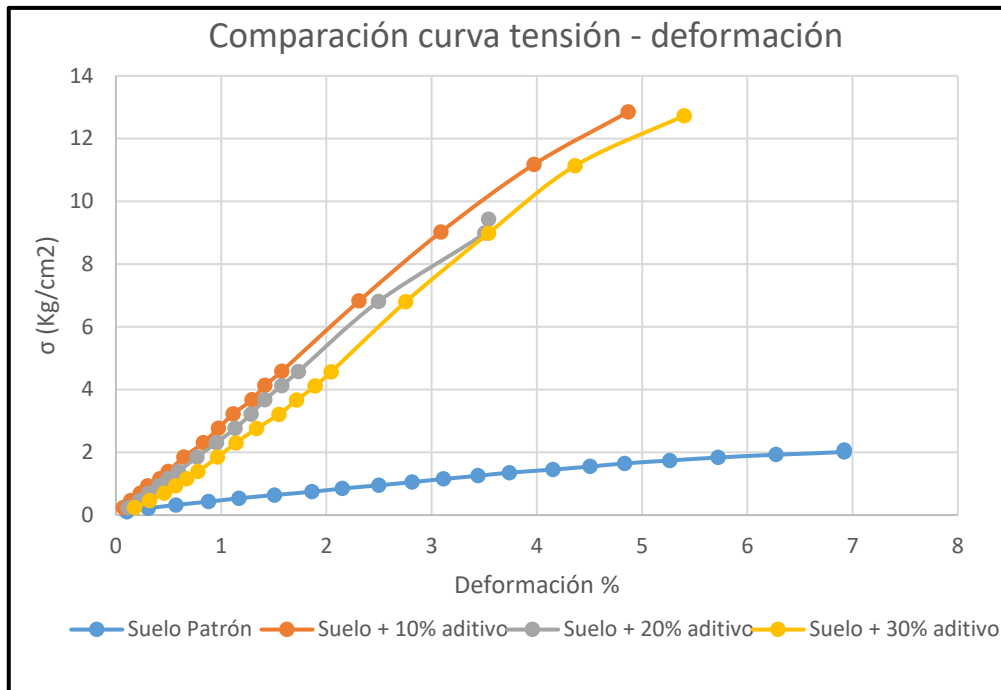


Figura 4.5: Comparación de la curva tensión-deformación; muestra 1.

#### 4.2.5 Ensayo CBR

Obtenida la humedad óptima de compactación para el suelo patrón y para adición de las distintas proporciones del producto se procedió a determinar el Valor Soporte e hinchamiento otorgados por el ensayo CBR.

Estos valores se pueden observar en la Tabla 4.6, 4.7, 4.8 y 4.9 correspondiendo a los valores del suelo patrón y al suelo con 10%, 20% y 30% de producto incorporado, respectivamente.

En el Anexo F-1 se presentan las planillas correspondientes a cada ensayo.

Tabla 4.6: Valor Soporte Relativo; muestra 1.

<b>Suelo Patrón</b>	<b>Penetración [mm]</b>	2,54	5,08
	<b>Factor de Cálculo K</b>	0,07	0,05
	<b>Lectura dial</b>	6,50	14,50
	<b>Lectura corregida</b>	22,10	49,30
	<b>Lectura corregida x factor</b>	1,63	2,43
	<b>VSR [%]</b>	<b>2,43</b>	
	<b>Hinchamiento</b>	<b>0,574</b>	

Tabla 4.7: Valor Soporte Relativo; muestra 1 + 10% producto.

<b>Suelo + 10% del aditivo</b>	<b>Penetración [mm]</b>	2,54	5,08
	<b>Factor de Cálculo K</b>	0,07	0,05
	<b>Lectura dial</b>	7,50	16,50
	<b>Lectura corregida</b>	25,50	56,10
	<b>Lectura corregida x factor</b>	1,88	2,76
	<b>VSR [%]</b>	<b>2,76</b>	
	<b>Hinchamiento</b>	<b>0,0171</b>	

Tabla 4.8: Valor Soporte Relativo; muestra 1 + 20% producto.

<b>Suelo + 20% del aditivo</b>	<b>Penetración [mm]</b>	2,54	5,08
	<b>Factor de Cálculo K</b>	0,07	0,05
	<b>Lectura dial</b>	18,50	41,50
	<b>Lectura corregida</b>	62,90	141,10
	<b>Lectura corregida x factor</b>	4,64	6,94
	<b>VSR [%]</b>	6,94	
	<b>Hinchamiento</b>	0,223	

Tabla 4.9: Valor Soporte Relativo; muestra 1 + 30% producto.

<b>Suelo + 30% del aditivo</b>	<b>Penetración [mm]</b>	2,54	5,08
	<b>Factor de Cálculo K</b>	0,07	0,05
	<b>Lectura dial</b>	33,00	62,00
	<b>Lectura corregida</b>	112,20	210,80
	<b>Lectura corregida x factor</b>	8,28	10,37
	<b>VSR [%]</b>	10,37	
	<b>Hinchamiento</b>	0,00	

En la Figura 4.6 se representan las curvas de carga – penetración para los correspondientes ensayos. Notándose un incremento brusco para las proporciones del 20% y 30% y apreciándose un leve aumento del suelo estabilizado con el 10% del producto.

A su vez, se puede observar en la Figura 4.7 y 4.8 el aumento de la carga para los valores de penetración de 2.54 y 5.08 mm. (Valores considerados para el cálculo del Valor Soporte Relativo), respectivamente.

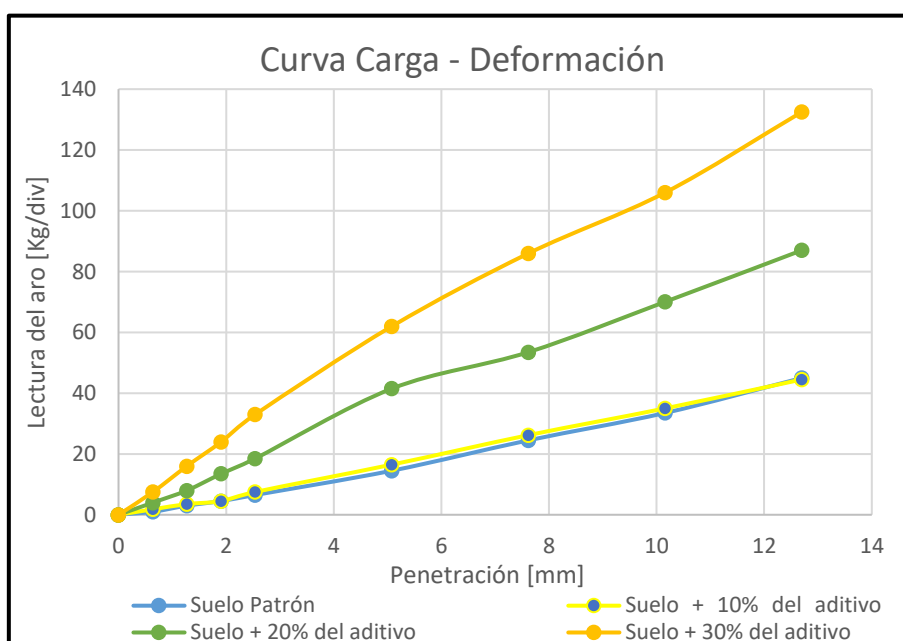
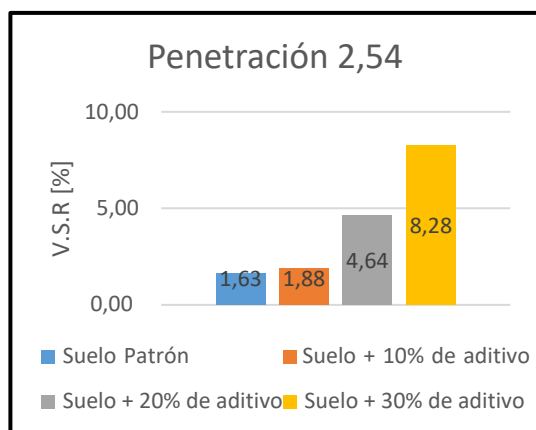
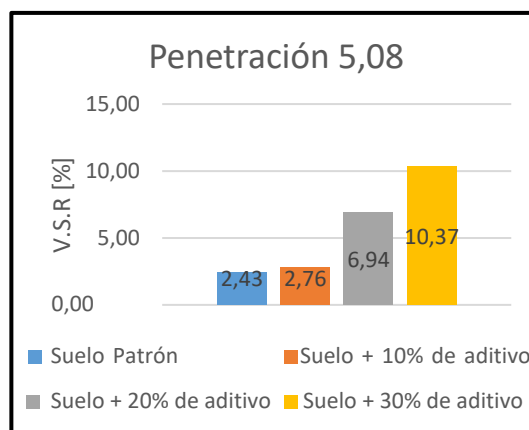


Figura 4.6: Comparación CBR; muestra 1.



**Figura 4.7:** Comparación V.S.R para la penetración de 2.54mm.; muestra 1.



**Figura 4.8:** Comparación V.S.R para la penetración de 5.08mm.; muestra 1.

Claramente, se puede apreciar que mediante la incorporación del producto al 30% el valor soporte del suelo aumenta aproximadamente un 400% para la carga de penetración de 2.54.

Para tal caso, según la Tabla 3.12, se optimiza el suelo pasando de un suelo muy pobre a un suelo regular. Adquiriendo los valores requeridos para ser utilizado como subbase en un paquete estructural.

#### 4.2.6 Permeabilidad

Con los valores obtenidos del ensayo de compactación, se procedió a realizar las muestras para este ensayo. (Ver Planillas de Anexo G-1)

Se representan estos valores de forma comparativa entre el suelo natural y las muestras estabilizadas. Donde claramente se observa la disminución del coeficiente de permeabilidad a medida que aumenta el porcentaje incorporado del producto (Tabla 4.10).

**Tabla 4.10:** Coeficiente permeabilidad; muestra 1.

Muestra 1				
Permeabilidad	Suelo Patrón	Suelo + 10% de aditivo	Suelo + 20% de aditivo	Suelo + 30% de aditivo
<b>K [cm/seg]</b>	2,00E-07	1,18E-07	7,14E-08	4,02E-08

En la Figura 4.9 puede apreciarse la atenuación del coeficiente de permeabilidad del suelo natural y para el suelo estabilizado con sus distintos dosajes.

Por tratarse de un suelo fino, el mismo se encuentra dentro de los parámetros que lo definen como un suelo de baja permeabilidad.

No obstante, si se quisiera mejorar esta propiedad de tal forma de impermeabilizar el suelo, la incorporación del 10% del producto reduce un 40% dicho valor, un 64% para el 20% incorporado y alcanzando casi un 80% de la reducción si se estabiliza el suelo al 30% del producto.

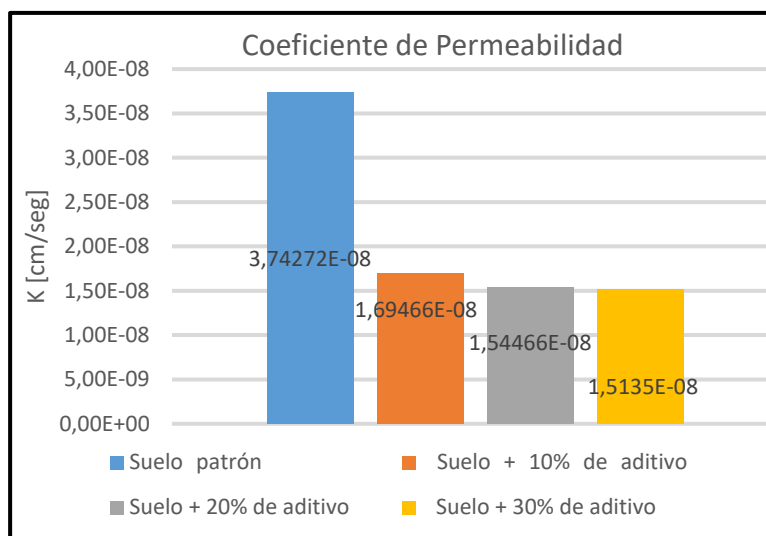


Figura 4.9: Comparación coeficiente de permeabilidad; muestra 1.

### 4.3 RESULTADOS DE LA MUESTRA 2

Este tipo de suelo se lo encuentra en la mayoría de las canteras o lugares de acopio del suelo donde frecuentemente las empresas toman un préstamo para la ejecución de obras viales. Por tal razón, ha sido interés para esta investigación evaluar las propiedades de este tipo de suelo, de tal manera de aprovechar su uso en las obras mencionadas garantizando resistencia y durabilidad.

#### 4.3.1 Humedad natural y tamizado por vía húmeda

Los resultados obtenidos para el cálculo de la humedad natural de la muestra 2, determinaron un contenido de agua de 23,32% en su masa. (Ver Anexo A-2).

En la Tabla 4.11 se muestran los distintos porcentajes pasantes por cada tamiz obtenidos mediante el análisis granulométrico por vía húmeda.

Tabla 4.11: Análisis Granulométrico; muestra 2.

		<b>Muestra 2</b>	
Peso inicial [gr]:		198,5	
Retenido Tamiz 0,075 mm [gr]		5,0	
Tamiz	Retenido		
	grs.	%	
4,76 mm (Nº 4)	0,0	0,00	
2,0 mm (Nº 10)	0,0	0,00	
0,42 mm (Nº 40)	0,1	0,05	
0,150 mm (Nº 100)	0,4	0,20	
0,075 mm (Nº 200)	1,5	0,77	
Pasa tamiz 0,075 mm (Nº 200)	193,5	98,98	
Total	195,5	100,00	
Índice de Grupo:		<b>25</b>	
Clasificación según H.R.B (Según Norma de Ensayo VN - E4 - 84)		<b>A-7-6</b>	

Al igual que la muestra 1, no se realizaron comparaciones granulométricas del suelo, ya que el producto no modifica el tamaño de las partículas sino la interacción entre ellas.

Con estos datos y los correspondientes a los ensayos de consistencia se identificó a la muestra 2 como un suelo A-7-6, según el método de clasificación H.R.B (Ver Planillas Anexo C-2).

Aplicando la Ecuación 2 mencionada en el Capítulo 2, se obtuvo un Índice de Grupo de 25, tratándose así de un material muy pobre para su empleo como subrasante, según lo mencionado en capítulos anteriores.

Conjuntamente, empleando el método S.U.C.S, se identificó al suelo como una arcilla de baja plasticidad (CL) (Ver Planillas Anexo C-2).

#### 4.3.2 Consistencia

Se determinó el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad para la muestra de suelo patrón y para los distintos porcentajes de 10%, 20% y 30% (Ver Planillas Anexo B-2).

En la Tabla 4.12 se muestran los resultados obtenidos de cada ensayo.

**Tabla 4.12:** *Tabla comparativa límites Atterberg; muestra 2.*

<b>Muestra 2</b>				
<b>Límites de Atterberg</b>	<b>Suelo Patrón</b>	<b>Suelo + 10% de aditivo</b>	<b>Suelo + 20% de aditivo</b>	<b>Suelo + 30% de aditivo</b>
<b>Límite Líquido [%]</b>	47,73%	37,89%	38,68%	36,27%
<b>Límite Plástico [%]</b>	26,57%	24,57%	26,09%	23,85%
<b>Índice de Plasticidad [%]</b>	21,06%	13,32%	12,59%	12,42%

Debido a los cambios de límite líquido e índice plástico se volvió a identificar el suelo con los distintos métodos de clasificación.

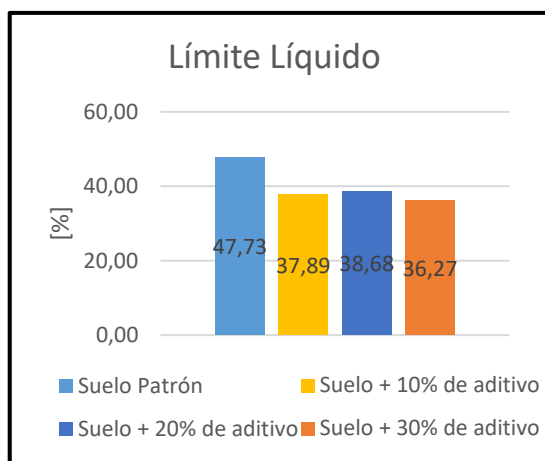
Pasando de ser un suelo A-7-6 a un suelo de tipo A-6, según clasificación H.R.B, para los 3 casos del suelo estabilizado.

Además, se originó una disminución en el índice de grupo de un valor de 25 para el suelo patrón, hasta un valor de 14 para el suelo con la adición de un 30% del producto (Tabla 4.13).

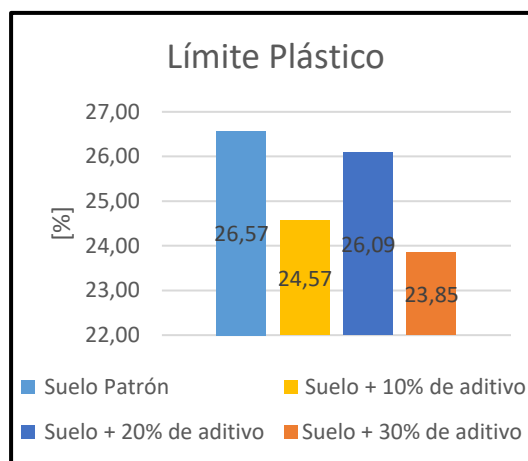
**Tabla 4.13:** *Cambios debido a límites de consistencia; muestra 2.*

<b>Muestra 2</b>				
	<b>Suelo Patrón</b>	<b>Suelo + 10% de aditivo</b>	<b>Suelo + 20% de aditivo</b>	<b>Suelo + 30% de aditivo</b>
<b>Clasificación H.R.B</b>	A-7-6	A-6	A-6	A-6
<b>Clasificación S.U.C.S</b>	CL	CL	ML	CL
<b>Índice de grupo</b>	25	15	15	14

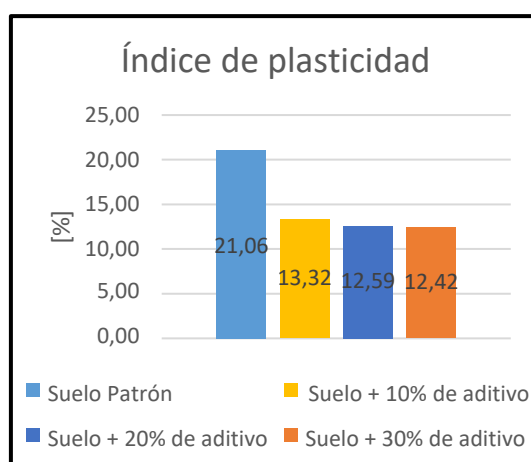
Se realizó un cuadro comparativo con los resultados obtenidos correspondientes para el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad como se observan en las Figuras 4.10, 4.11 y 4.12 respectivamente.



**Figura 4.10:** Comparación resultados de Límite Líquido; muestra 2.



**Figura 4.11:** Comparación de los resultados de Límite Plástico; muestra 2.



**Figura 4.12:** Comparación de los resultados Índice de Plasticidad; muestra 2.

Se puede observar que la variación entre el Límite Líquido y Límite Plástico conlleva a la disminución del Índice de Plasticidad, como sucedió en la muestra 1, pero siendo esta disminución mucho mayor.

Al igual que la muestra 1, se observan mejores resultados con la incorporación del 30%. Pero para este tipo de suelo, es necesario esta cantidad de producto, ya que los valores de la muestra patrón son elevados. Convirtiéndose en un requisito necesario en disminuir los mismos para su utilización.

La estabilización de la muestra 2 mediante el dosaje al 30% del producto conllevó a una disminución de 32% del LL; una reducción del LP de casi el 12% y un 70% para el IP.

#### 4.3.3 Proctor Estándar

Finalizado los ensayos de compactación (Proctor Estándar T-99) se realizó la Tabla 4.14 donde se reflejan los distintos valores obtenidos (Ver Planillas Anexo D-2).

Tabla 4.14: Comparación resultados Proctor Estándar T-99; muestra 2.

Muestra 2				
Proctor T-99 Estándar	Suelo Patrón	Suelo + 10% de aditivo	Suelo + 20% de aditivo	Suelo + 30% de aditivo
Densidad Máxima	1,493 gr/cm <sup>3</sup>	1,495 gr/cm <sup>3</sup>	1,521 gr/cm <sup>3</sup>	1,519 gr/cm <sup>3</sup>
Humedad Óptima	24,00%	26,30%	23,50%	24,50%

Se pueden observar que, si bien se produjeron variaciones respecto al suelo patrón, no se nota un cambio brusco. Tanto en el aumento de la densidad como en la disminución de la humedad óptima de compactación.

#### 4.3.4 Compresión simple

La resistencia a la compresión para la muestra 2 y los distintos porcentajes incorporados se presentan en la Tabla 4.15. (Ver Planillas Anexo E-2)

Tabla 4.15: Comparación resultados resistencia a la compresión; muestra 2.

Muestra 2				
Resistencia a la compresión	Suelo Patrón	Suelo + 10% de aditivo	Suelo + 20% de aditivo	Suelo + 30% de aditivo
		1,80 Kg/cm <sup>2</sup>	6,01 Kg/cm <sup>2</sup>	15,40 Kg/cm <sup>2</sup>

En las Figuras 4.13 y 4.14 se presenta una comparación de estos resultados.

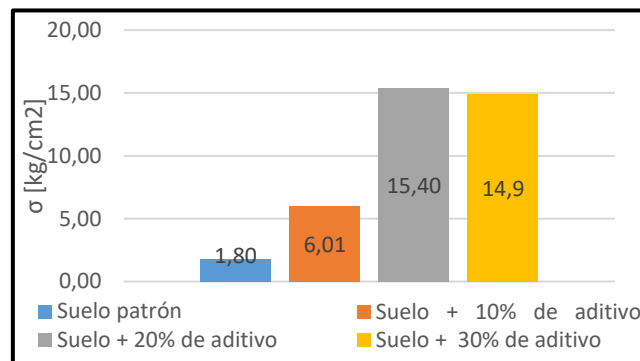


Figura 4.13: Comparación resultados resistencia a la compresión; muestra 2.

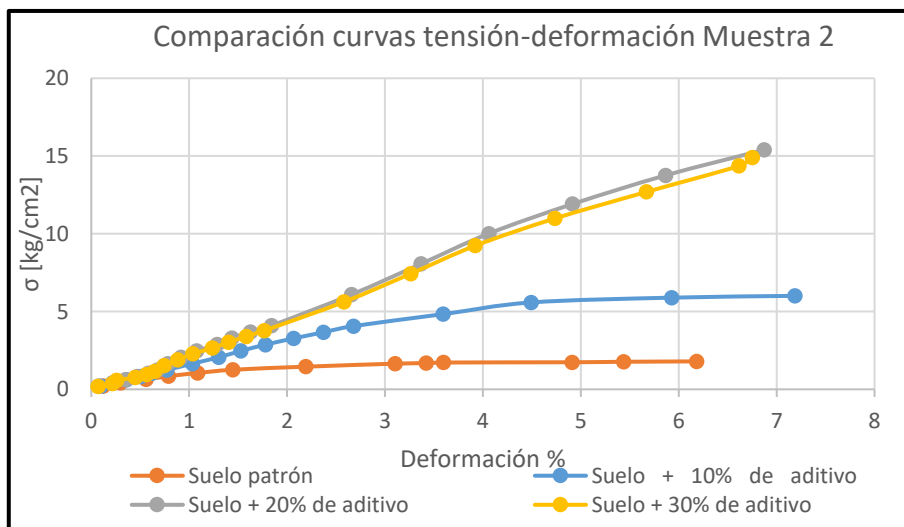


Figura 4.14: Comparación curva resistencia a la compresión; muestra 2.

Para el caso de la muestra 2, se puede observar un aumento en su capacidad de resistir esfuerzos de compresión a mayor incorporación del producto. Donde al incorporar el 20% del producto se alcanza un valor máximo y se mantiene el mismo valor incorporando un 30% del estabilizador. Oscilando un aumento entre 700 y 800% en la resistencia final para estos valores.

#### 4.3.5 CBR

En la Tabla 4.16, 4.17, 4.18 y 4.19 se muestran los resultados obtenidos del ensayo CBR para la muestra patrón, y con la incorporación del producto, respectivamente. (Ver Planillas Anexo F-2).

**Tabla 4.16:** Valor Soporte Relativo; muestra 2.

<b>Suelo Patrón</b>	<b>Penetración [mm]</b>	2,54	5,08
	<b>Factor de Cálculo K</b>	0,07	0,05
	<b>Lectura dial</b>	8,50	12,50
	<b>Lectura corregida</b>	28,90	42,50
	<b>Lectura corregida x factor</b>	2,13	2,09
	<b>VSR [%]</b>	2,13	
	<b>Hinchamiento</b>	0,034	

**Tabla 4.17:** Valor Soporte Relativo; muestra 2 + 10% producto.

<b>Suelo + 10% de aditivo</b>	<b>Penetración [mm]</b>	2,54	5,08
	<b>Factor de Cálculo K</b>	0,07	0,05
	<b>Lectura dial</b>	18	27,5
	<b>Lectura corregida</b>	61,2	93,5
	<b>Lectura corregida x factor</b>	4,5	4,6
	<b>V.S.R [%]</b>	4,6	
	<b>Hinchamiento</b>	0,00857	

**Tabla 4.18:** Valor Soporte Relativo; muestra 2 + 20% producto.

<b>Suelo + 20% de aditivo</b>	<b>Penetración [mm]</b>	2,54	5,08
	<b>Factor de Cálculo K</b>	0,07	0,05
	<b>Lectura dial</b>	19,5	32,5
	<b>Lectura corregida</b>	66,3	110,5
	<b>Lectura corregida x factor</b>	4,9	5,4
	<b>V.S.R [%]</b>	5,4	
	<b>Hinchamiento</b>	0,00	

**Tabla 4.19:** Valor Soporte Relativo; muestra 2 + 30% producto.

<b>Suelo + 30% de aditivo</b>	<b>Penetración [mm]</b>	2,54	5,08
	<b>Factor de Cálculo K</b>	0,07	0,05
	<b>Lectura dial</b>	21,50	34,00
	<b>Lectura corregida</b>	73,10	115,60
	<b>Lectura corregida x factor</b>	5,39	5,69
	<b>VSR [%]</b>	5,69	
	<b>Hinchamiento</b>	0,00	

Se aprecia un aumento brusco del Valor Soporte Relativo de aproximadamente el doble con la adición del 10% del producto y alcanzando un valor de casi el triple del mismo con los porcentajes del 20% y 30%, donde el cambio entre estos últimos se hace más paulatinamente. (Figura 4.15)



Al mismo tiempo, se observa la disminución a un valor nulo respecto del valor del hinchamiento obtenido en la muestra patrón.

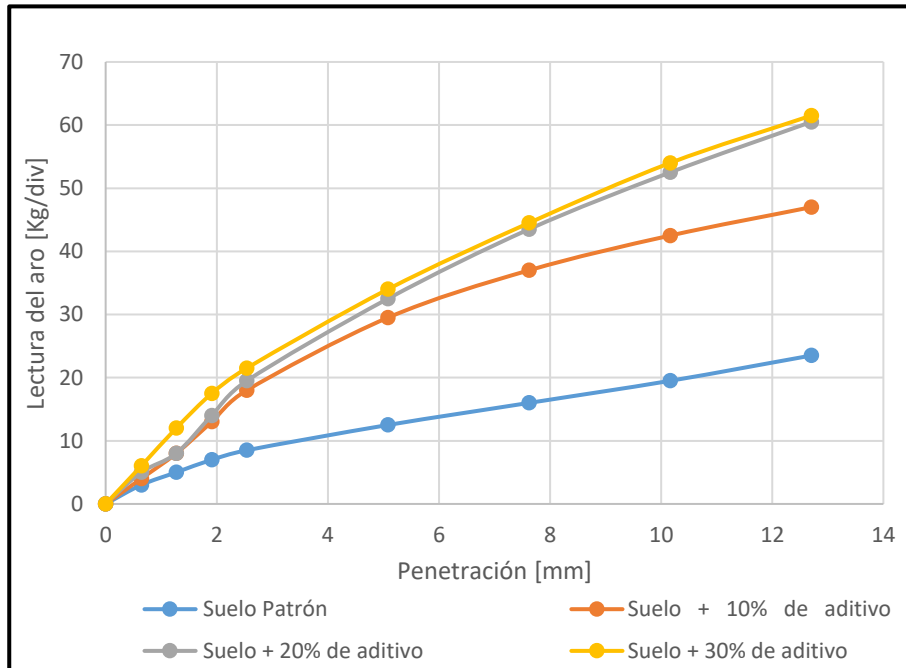


Figura 4.15: Comparación Carga-Penetración CBR; muestra 2.

Para apreciar visualmente el aumento del Valor Soporte Relativo se realizaron cuadros comparativos (Figura 4.16 y 4.17), para la penetración del pistón de 2.54 mm y 5.08 mm.

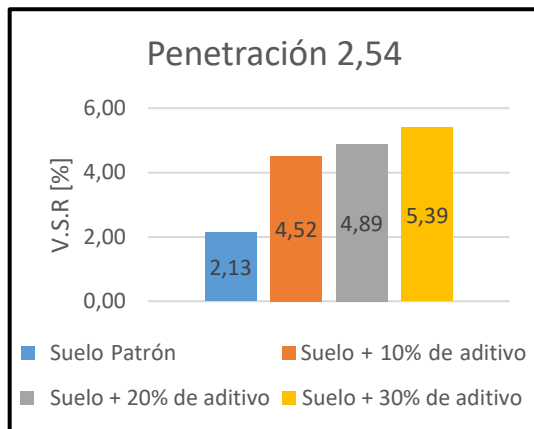


Figura 4.16: V.S.R. para la penetración 2,54 mm.; muestra 2.

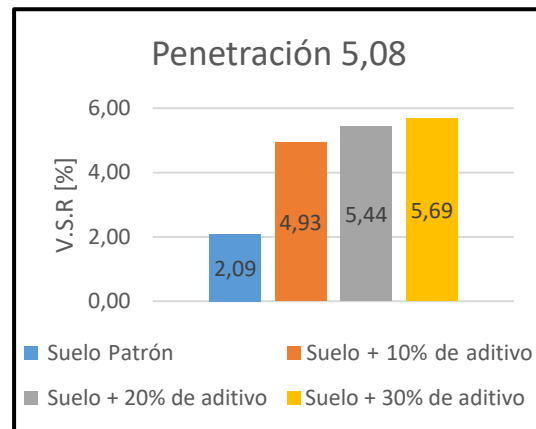


Figura 4.17: V.S.R. para la penetración 5,08 mm.; muestra 2.

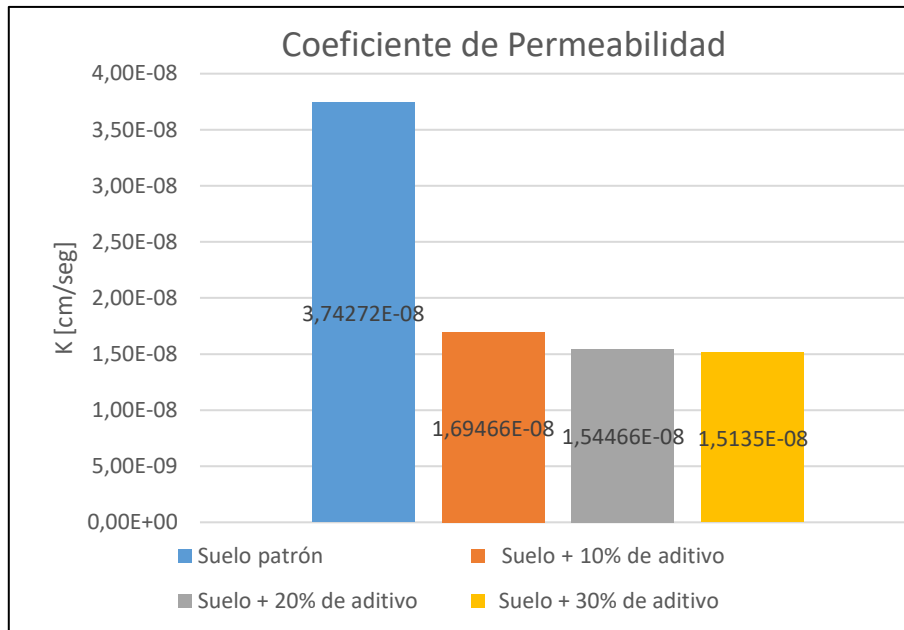
#### 4.3.6 Permeabilidad

Con los datos adquiridos del ensayo de compactación, se confeccionaron las muestras para este ensayo.

Los valores obtenidos del mismo entre el suelo natural y las muestras estabilizadas se presentan en la Tabla 4.20. Donde claramente se observa la disminución del coeficiente de permeabilidad a medida que aumenta el porcentaje incorporado del producto (Figura 4.18). (Ver Planillas Anexo G-2)

**Tabla 4.20:** Valores de permeabilidad; muestra 2.

Muestra 2				
Permeabilidad	Suelo Patrón	Suelo + 10% de aditivo	Suelo + 20% de aditivo	Suelo + 30% de aditivo
K [cm/seg]	3,74E-08	1,69E-08	1,54E-08	1,51E-08



**Figura 4.18:** Comparación coeficiente de permeabilidad; muestra 2.

## CAPÍTULO 5

### DISCUSIONES

#### 5.1 LÍMITES DE ATTERBERG.

Como se mencionó en esta investigación, el procedimiento que se llevó a cabo fue dejar reposar el suelo con el producto durante 48 hs. como mínimo.

En la Figura 5.1 se muestra el reposo de las muestras de suelo con la incorporación del producto tapadas por una bolsa para que la pérdida de humedad no sea muy brusca.



*Figura 5.1: Reposo de muestras para ensayo límites.*

Mediante este procedimiento se obtuvo una variación de los valores de límite líquido y límite plástico que produjeron una reducción del índice de plasticidad del suelo.

#### 5.2 PROCTOR ESTÁNDAR

De la misma manera que el procedimiento de los límites de Atterberg para el ensayo Proctor Estándar se dejó reposar el suelo estabilizado durante 48 hs. para luego ser ensayado. En la figura 5.2 se muestra las muestras con distintos porcentajes de humedad en reposo.



*Figura 5.2: Reposo de muestras para ensayo de compactación.*

Se propone para investigaciones futuras realizar ensayos in-situ para demostrar si existe un aumento en la densidad, ya que mediante los ensayos realizados no se reflejó el aumento en esta propiedad.

### 5.3 ENSAYO C.B.R

Para determinar los valores de hinchamiento y valor soporte con la adición del producto se realizaron 2 procedimientos distintos. El primero fue llevando a cabo los lineamientos presentado en la norma correspondiente, para el segundo caso se dejó reposar el suelo 48 hs. antes de ser compactado y luego de ser extraído del agua. Los resultados obtenidos con ambos métodos no presentaron diferencias, dando valores similares. De tal forma que se adoptó el método según la norma VN-E6-84.

### 5.4 ENSAYO COMPRESIÓN SIMPLE

El procedimiento empleado para determinar la resistencia a la compresión simple consistió en dejar reposar a las probetas ya compactadas con la humedad correspondiente, durante un período de tiempo comprendido entre los 3 y 7 días al aire libre. Esto es debido a que se emplearon dos procedimientos en donde no hubo variaciones entre los resultados. Se observó que ensayando las muestras, tanto del suelo natural como las del producto, en un tiempo menor a 3 días y mayor a 7, la resistencia a la compresión presentaba valores iguales pero muy pequeños para el primer caso, y semejantes pero muy elevados para el segundo. La razón para no emplear estos procedimientos fue que los valores obtenidos no son acordes a los que normalmente presentan estos suelos.

Una de las cualidades de este método de estabilización es la recuperación de sus propiedades luego de estar en contacto con agua. Para esto se expusieron muestras de suelo natural y suelo estabilizado con 30% del producto bajo agua durante 48 hs. (Figura 5.3).



**Figura 5.3:** Muestras sumergidas en agua.

Para el caso de la muestra 1, la probeta perdió las propiedades que adquirió mediante el ensayo de compactación una vez que estuvo en contacto con agua. Al cabo de una hora, el agua venció las fuerzas que estabilizaban al suelo desmoronándose por completo (Figura 5.4).

Mientras que la muestra 1 estabilizada con 30% del producto mantuvo su estabilidad durante este periodo de tiempo (Figura 5.5). Pasado dicho tiempo se dejó reposar otras 48 hs. al aire libre para luego ser ensayada a compresión, donde alcanzó un valor de 5,61 kg/cm<sup>2</sup>. (Ver Planillas en Anexo H)



**Figura 5.4:** Muestra 1 al cabo de 1 hora sumergida.



**Figura 5.5:** Muestra 1 al 30% sumergida 48 horas.

En la muestra 2, el suelo natural presentó más estabilidad durante las primeras horas. Sin embargo, pasada las 48 hs. la parte que estuvo en contacto con agua sufrió un aplastamiento por la parte superior, lo que provocó la pérdida de resistencia de la muestra (Figura 5.6).

En cuanto a la muestra 2 estabilizada al 30% se procedió a su ensayo a compresión dando un valor final de 13,65 kg/cm<sup>2</sup> (Figura 5.7)



**Figura 5.6:** Muestra 2 al cabo de 48 horas sumergida.



**Figura 5.7:** Muestra 2 al 30% sumergida 48 horas.

Claramente, se puede apreciar mediante estos ensayos el comportamiento anómalo que tienen los suelos arcillosos cuando están en contacto con el agua.

Lo cual nos conduce a plantear en este apartado si efectivamente se garantiza durabilidad en estos suelos sino se emplea algún método de estabilización que anule o reduzca la interacción entre el agua y las partículas de arcilla. Ya que, como se mencionó, inicialmente se les concedió a ambas muestras la densidad máxima seca de compactación donde solo la muestra estabilizada mantuvo esta propiedad.

## **5.5 ENSAYO PERMEABILIDAD**

Para el ensayo en cuestión, se tuvo en cuenta el reposo de las muestras estabilizadas durante las 48 hs. Aunque, se ha notado una impermeabilización del suelo con el producto cabe destacar que las probetas estabilizadas permanecían más de una semana dentro del molde del permeámetro a causa de la espera de la salida del agua.



# CAPÍTULO 6

## CONCLUSIONES

### 6.1 SUELO NATURAL

- Las muestras de suelo estudiadas se extrajeron en terrenos de la ciudad de Rafaela.
- Geológicamente los suelos estudiados corresponden a un loess tipo pampeano de origen eólico.
- Se identificó a la muestra 1 como un limo de baja plasticidad (ML) mediante clasificación SUCS y perteneciente al grupo A-4 según clasificación AASHTO. Mientras que la muestra 2 corresponde a una arcilla de baja plasticidad (CL) (SUCS) y a un suelo tipo A-7-6 (AASHTO).
- La muestra 1 exhibe valores bajos de IP (IP = 7), y debido a la mayor cantidad de arcilla presente en la muestra 2 presentó un IP elevado (IP = 25).
- La muestra 1 presentó un contenido de humedad de 26,04 %, siendo este mayor al de la muestra 2 de 11,06 %.
- La muestra 1 obtuvo mayor densidad seca máxima y menor contenido de humedad óptima que la muestra 2. Siendo 1.55 [gr/cm<sup>3</sup>] y 1.45 [gr/cm<sup>3</sup>], respectivamente.
- El valor soporte de ambas muestras no superaban el 3%. Siendo este un valor muy bajo. Indicando un material de comportamiento muy pobre para su utilización en subrasantes.
- Ambas muestras arrojaron valores muy bajos de hinchamiento, por lo tanto, se determina a los mismo como suelos no expansivos.
- Se concluye tanto teórica como prácticamente que la intervención del agua anula todas las propiedades mecánicas conferidas inicialmente en estos suelos. De tal forma que no se puede garantizar durabilidad si no se estabiliza el suelo con algún método que neutralice o evite la interacción entre el agua y las partículas de arcilla.
- La elección de las muestras correspondió a los suelos pertinentes de la ciudad.

### 6.2 SUELO MÁS ADITIVO

- El comportamiento planteado por los fabricantes del producto ha sido demostrado en esta investigación. Notablemente se han visto cambios importantes en ambas muestras producidas por la interacción del producto con las partículas de arcilla.
- Se realizó la comparación entre los resultados del Índice Plástico el cual disminuye a medida que aumenta la cantidad de producto incorporado.

- No hubo un aumento en la densidad seca máxima de las muestras como se esperaba. Según las especificaciones el aumento de esta se da mediante una pérdida de agua y una recompactación debida al tránsito. Lo cual se hace difícil de poder medir mediante ensayos de laboratorio.
- La capacidad portante de los suelos alcanzó valores del 200% de su valor inicial. Si bien el aumento se evidencia, éste sigue siendo bajo en comparación con otros métodos de estabilización. Para esto, se requiere de la combinación con otras técnicas para alcanzar un valor soporte mayor.

### 6.3 MUESTRA 1 MÁS ADITIVO

- Se demostró mediante ensayos que el suelo en estudio presentó valores de LL = 30,66%; LP = 23,67%; IP = 6,99%. Donde se alcanzó una reducción del 15% para el LL; un 9,5% del LP y un 34% para el IP, mediante la incorporación del agente estabilizador al 30%. Se recomienda este dosaje para obtener la disminución de estos valores.
- Para la resistencia a la compresión se obtuvieron los siguientes incrementos respecto de la muestra patrón: 520%; 367%; 513% para la incorporación del 10%, 20% y 30% del estabilizante, respectivamente. Se evidenció un aumento semejante para los distintos dosajes. De forma que, para tal caso, si se requiere mejorar esta propiedad incorporando 10% del producto logramos satisfactoriamente alcanzar los valores máximos.
- Se determinó el valor soporte del suelo estabilizado con 10%, 20% y 30% del producto químico, y se concluye que dicho aditivo mejora la capacidad portante del suelo, logrando un aumento de: 115%, incorporando el 10% del aditivo; 184%, agregando 20% del aditivo y 407%, adicionando 30% del aditivo, en comparación con el valor de la muestra patrón. Estos valores establecieron al suelo como apto para ser empleado en sub bases para caminos.

### 6.4 MUESTRA 2 MÁS ADITIVO

- La muestra 2 mostró valores de LL = 47,73%; LP = 25,57%; IP = 21,06%. Debido a los altos niveles de estos, requirió la incorporación del agente estabilizador al 30% para obtener una reducción de 32% para el LL; un 11% del LP y un 70% para el IP. Con este dosaje se obtuvo un valor de IP = 12,42%, el cual se encuentra por encima de lo permitido para su uso en redes viales donde se requiere que este sea igual o menor a 10.
- Los valores derivados del ensayo a compresión reflejaron un aumento mayor que la muestra 1. Incrementando en un 234%, 756% y 729% para los dosajes de 10%, 20% y 30%, respectivamente. Se determinó el valor máximo al incorporar el agente estabilizador en un 20%.
- El incremento del valor soporte inicial de la muestra 2 fue de la siguiente manera: 116%; 153% y 167% para las proporciones de 10%, 20% y 30% del producto químico, en correspondencia. Se adquirió un valor soporte de 6,96 para el mayor dosaje, donde pasa de ser un suelo identificado como muy pobre a considerarse como un suelo pobre a regular para su uso en subrasantes.



- Los cambios generados por el agente estabilizante en este tipo de suelo no son suficientes para su uso en sub base o bases de un paquete estructural. Pueden ser considerado para mejorar las propiedades de las subrasantes y reducir los espesores de las demás capas que protegen a la misma.



## Referencias Bibliográficas

- Bada, D. F. (2016). *Aplicación del Aditivo Químico Conaid para Atenuar la Plasticidad del Material Granular del Tramo de la Carretera Tauca – Bambas (km73 + 514 – km132 + 537) de la Ruta Nacional pe – 3na*. Trujillo.
- Boidi, M. A. (2005). *Informe Geotécnico Predio Nuevo Hospital*. Rafaela, SF.
- Bowles, J. E. (1985). *Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil*.
- Bulla, A. P. (2018). *Aplicación de agentes químicos como estabilizador de suelos arcillosos para la construcción de vías*. Bucaramanga, Colombia.
- Asociación Argentina de Carreteras. (2018). *Manual de Caminos Rurales*. Buenos Aires.
- Consejo Vial Federal. (2012). Obtenido de [http://www.cvf.gov.ar/red\\_vial\\_nacional.php](http://www.cvf.gov.ar/red_vial_nacional.php)
- Das, B. M. (2015). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica* (Cuarta ed.). México: Cengage Learning.
- Exposición Rural 2019: el estado de los caminos rurales. (2019). *Clarín*.
- Grim, R. (1962). *Applied Clay Mineralogy*. New York.
- Iriondo, M. H. (s.f.). *Geomorfología y cuaternario de la provincia de Santa Fe*.
- Leoni, J. R. (s.f.). *Introducción a algunas propiedades de los suelos*. Buenos Aires.
- Método AASTHO Standard T-99: NORMAS ENSAYO DE COMPACTACIÓN: Humedad Óptima y Densidad Máxima*. (s.f.).
- Nadeo, J. R., & Leoni, A. J. (s.f.). *INTRODUCCIÓN A ALGUNAS PROPIEDADES FUNDAMENTALES DE LOS SUELOS*. La Plata, Buenos Aires.
- Norma IRAM N° 10.507 "Método de tamizado por vía húmeda"*. (1986).
- Norma IRAM N° 10.509 "Mecánica de Suelos - Clasificación de suelos con propósitos ingenieriles"*. (1982).
- Norma IRAM N° 10.530 "Método de ensayo de la permeabilidad a carga variable en suelos cohesivos"*. (1988).
- Norma IRAM N° 10.501 "Método de determinación del límite líquido y del límite plástico de una muestra de suelo. Índice de fluidez e índice de plasticidad"*. (2007).
- Orfeo, D. K. (2002). *Sedimentología de unidades loésicas (Pleistoceno tardío – Holoceno) del centro-sur de Santa Fe*. Buenos Aires.
- Palomino Terán, K. E. (2016). *"Capacidad portante (CBR) de un suelo arcilloso, con la incorporación del estabilizador MAXXSEAL 100*. Cajamarca, Perú.
- Ravines, M. A. (2010). *Prueba con un producto enzimático como agente estabilizador de suelos para carreteras*. Piura, Perú.
- Ravines, M. A. (2010). *Pruebas con un producto enzimático como agente estabilizador de suelos para carreteras*. Piura, Perú.
- Rivera, J., Botasso, G., Hansen, O., Poletti, A., Villanueva, M., & Sosa, G. (s.f.). *CAPAS DE SUELO-CEMENTO-ESTABILIZANTE QUIMICO PARA EL MEJORAMIENTO DE CAMINOS RURALES. BASES PARA SU ANALISIS*. La Plata, Buenos Aires.
- Rocca, E.J; Redolfi, E.R y Terzariol, R.E. (2006). Características Geotécnicas de los loess de Argentina. *Rev. Int. de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*. Vol. 6, 166.
- Rodriguez, J. B. (2005). *Mecánica de suelos*. México: Limusa.

- Staffolani, F., Serra, R., & Poletti, A. (s.f.). *Estabilización de suelos con agentes químicos (CONAID) -Consolidación de 720 cuadras en Pilar*. Pilar, Buenos Aires.
- Vialidad, D. N. (s.f.). *Normas de Ensayos*. Buenos Aires .
- Villalaz, C. C. (2004). *Mecánica de suelos y cimentaciones*. México: Limusa.
- VN-E1-65 – “*Tamizado de suelos por vía húmeda*” . (s.f.).
- VN-E2-65 “*Límite Líquido*”. (s.f.).
- VN-E5-93 “*Compactación de suelos*”. (s.f.).
- VN-E33-67 “*Ensayo de compresión de probetas compactadas de suelo-cal y suelo-cemento*”. (s.f.).
- VN-E3-65 “*Límite Plástico e Índice de Plasticidad*”. (s.f.).
- VN-E4-84 “*Clasificación de suelos*”. (s.f.).
- VN-E6-84 “*Determinación del valor soporte e hinchamiento*”. (s.f.).
- Zapata, R. (2018). *Tipos de suelos: caracterización de suelos arcillosos y limosos*. Rosario .

*Anexo A*

***HUMEDAD NATURAL Y LAVADO POR TAMIZ N°200  
SUELO SIN ADITIVO***



*Anexo A-1*

**MUESTRA 1**







**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL**  
**FACULTAD REGIONAL RAFAELA**  
 Departamento de Ingeniería Civil  
 Laboratorio

**Determinación Humedad natural y Lavado por tamiz N°200**

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos  
**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés  
**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén  
**Muestra:** Muestra 1 (Patrón)

<b>Muestra</b>		<b>1</b>
<b>Humedad Natural</b>	Pf. N°	14
	P Pf [gr]	6,50
	P Pf + Sh [gr]	248,50
	P Pf + Ss [gr]	198,50
	<b>Humedad [%]</b>	<b>26,04</b>
<b>Pasa Tamiz N° 200</b>	<b>Pasa Tamiz 200</b>	
	Peso Muestra Húm.[gr]	-
	Peso Muestra Seca[gr]	198,5
	Peso retenido T 200	5,0
	<b>Pasa Tamiz N° 200</b>	<b>97,48</b>
<b>Nomenclatura:</b>		
Pf: Pesa Filtro		
P Pf: Peso Pesa Filtro		
Sh: Suelo Húmedo		
Ss: Suelo Seco		



*Anexo A-2*

***MUESTRA 2***





**Determinación Humedad natural y Lavado por tamiz N°200**

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos  
**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés  
**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén  
**Muestra:** Muestra 2 (Patrón)

<b>Muestra</b>		<b>2</b>
<b>Humedad Natural</b>	Pf. N°	23
	P Pf [gr]	6,50
	P Pf + Sh [gr]	244,50
	P Pf + Ss [gr]	199,50
	<b>Humedad [%]</b>	<b>23,32</b>
<b>Pasa Tamiz N° 200</b>	<b>Pasa Tamiz 200</b>	
	Peso Muestra Húm.[gr]	-
	Peso Muestra Seca[gr]	193,0
	Peso retenido T 200	1,5
	<b>Pasa Tamiz N° 200</b>	99,2
<b>Nomenclatura:</b> Pf: Pesa Filtro P Pf: Peso Pesa Filtro Sh: Suelo Húmedo Ss: Suelo Seco		



*Anexo B*

***LÍMITES DE CONSISTENCIA***





*Anexo B-1*

**MUESTRA 1**

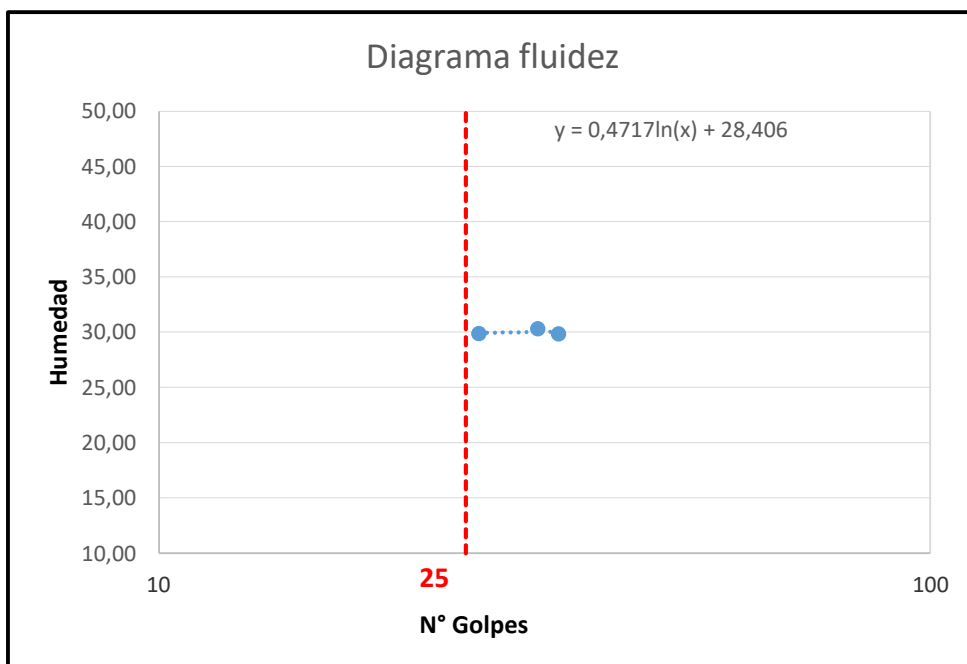




### Determinación Límites de Consistencia

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos  
**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés  
**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén  
**Muestra:** Muestra 1 (Patrón)

<b>Límite Líquido</b>	Nº de Golpes	33	31	26
	Pf. Nº	23	4	15
	P Pf [gr]	6,0	6,5	6,5
	P Pf + Sh [gr]	49,5	71,0	56,5
	P Pf + Ss [gr]	39,5	56,0	45,0
	Humedad [%]	29,85	30,30	29,87
	<b>Limite Líquido</b>	<b>30,86</b>	<b>31,10</b>	<b>30,01</b>
	<b>LL Promedio</b>	<b>30,66</b>		
<b>Límite Plástico</b>	Pf. Nº	22	14	28
	P Pf [gr]	6,5	6,5	6,5
	P Pf + Sh [gr]	29,0	33,5	32,5
	P Pf + Ss [gr]	25,0	28,0	27,5
	<b>Limite Plástico</b>	<b>21,62</b>	<b>25,58</b>	<b>23,81</b>
	<b>LP Promedio</b>	<b>23,67</b>		

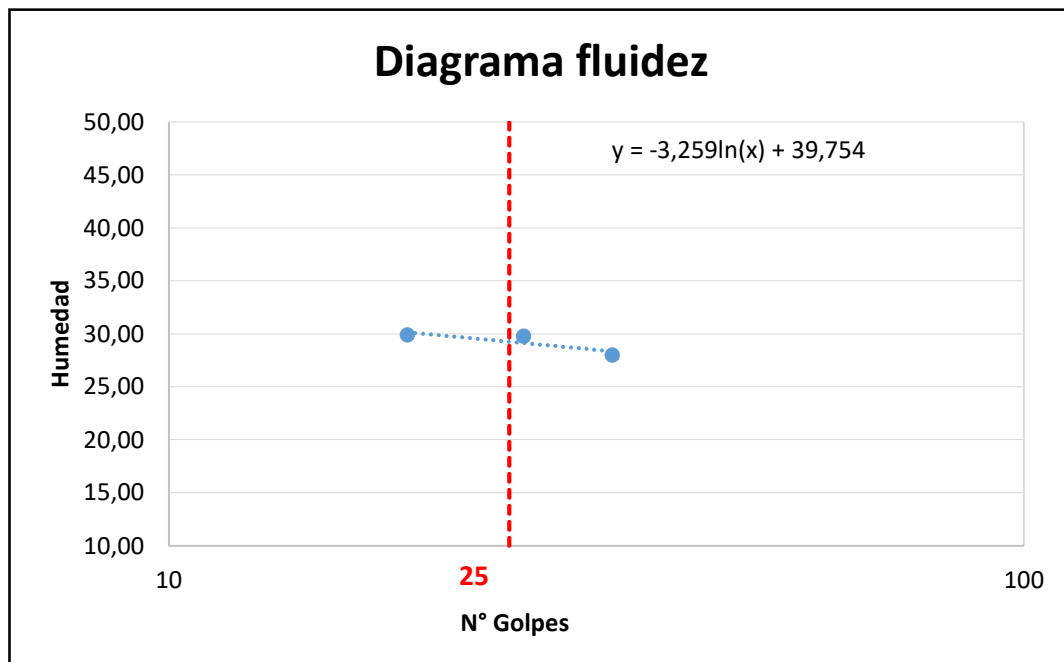




### Determinación Límites de Consistencia

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos  
**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés  
**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén  
**Muestra:** Muestra 1 + 10% de aditivo

<b>Límite Líquido</b>	Nº de Golpes	33	26	19
	Pf. Nº	40	23	14
	P Pf [gr]	6,50	6,00	6,50
	P Pf + Sh [gr]	54,50	60,50	63,00
	P Pf + Ss [gr]	44,00	48,00	50,00
	Humedad [%]	28,00	29,76	29,89
	<b>Limite Líquido</b>	28,95	29,90	28,92
	<b>LL Promedio</b>	<b>29,26</b>		
<b>Límite Plástico</b>	Pf. Nº	21	8	1
	P Pf [gr]	6,50	6,50	6,50
	P Pf + Sh [gr]	40,50	26,00	44,00
	P Pf + Ss [gr]	34,00	22,50	37,00
	<b>Limite Plástico</b>	23,64	21,88	22,95
	<b>LP Promedio</b>	<b>22,82</b>		

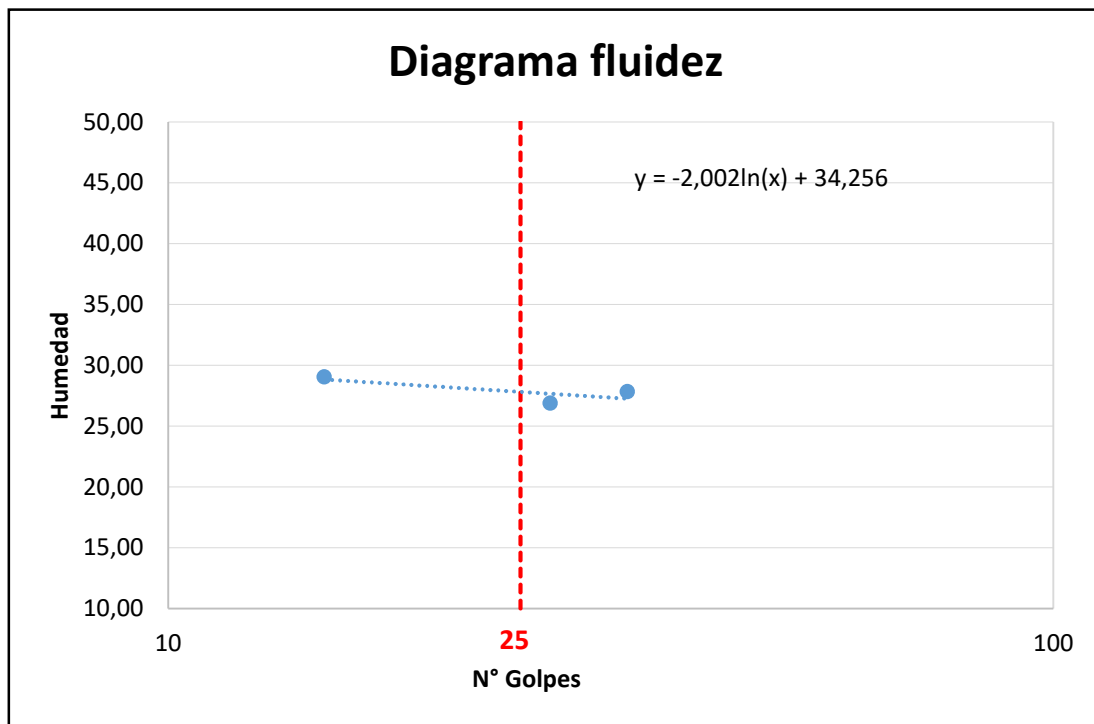




### Determinación Límites de Consistencia

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos  
**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés  
**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén  
**Muestra:** Muestra 1 + 20% de aditivo

<b>Límite Líquido</b>	Nº de Golpes	15	27	33
	Pf. Nº	5	2	40
	P Pf [gr]	7	6	7
	P Pf + Sh [gr]	67	65	69
	P Pf + Ss [gr]	53	53	55
	Humedad [%]	29	27	28
	<b>Limite Líquido</b>	27	27	29
	<b>LL Promedio</b>	<b>27,74</b>		
<b>Límite Plástico</b>	Pf. Nº	D	B	G
	P Pf [gr]	8,5	10	8,5
	P Pf + Sh [gr]	48,5	48	41,5
	P Pf + Ss [gr]	41,00	41,00	35,50
	<b>Limite Plástico</b>	23,08	22,58	22,22
	<b>LP Promedio</b>	<b>22,63</b>		





### Determinación Límites de Consistencia

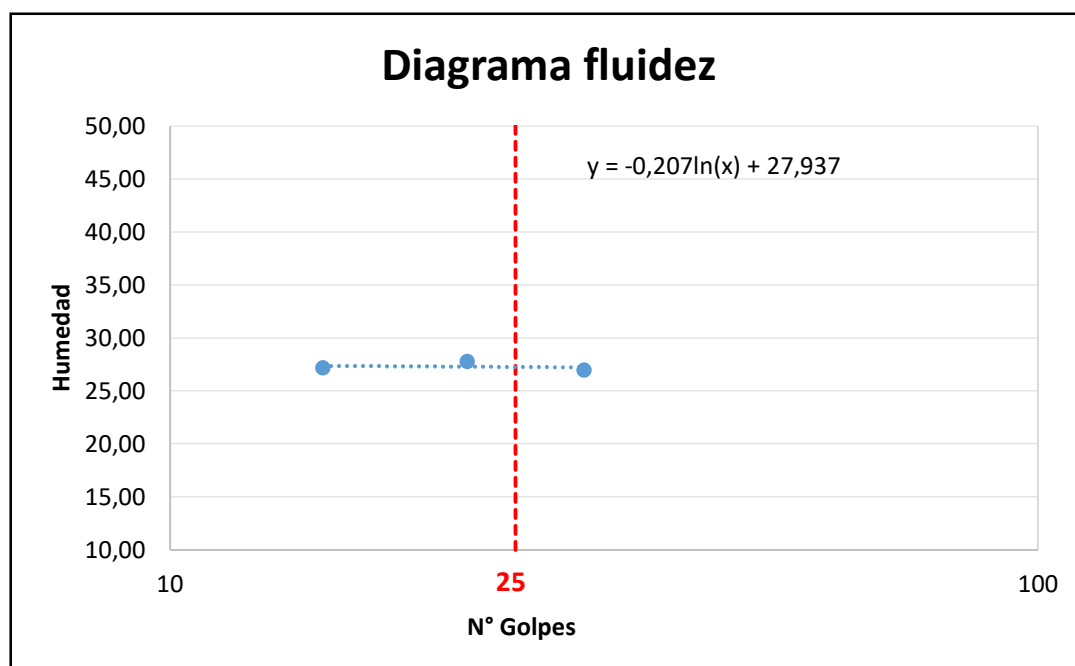
**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos

**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés

**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén

**Muestra:** Muestra 1 + 30% de aditivo

<b>Límite Líquido</b>	Nº de Golpes	30	15	22
	Pf. Nº	9	24	4
	P Pf [gr]	7	7	7
	P Pf + Sh [gr]	63	58	64
	P Pf + Ss [gr]	51	47	52
	Humedad [%]	27	27	28
	<b>Limite Líquido</b>	28	26	27
	<b>LL Promedio</b>	<b>26,82</b>		
<b>Límite Plástico</b>	Pf. Nº	12	8	1
	P Pf [gr]	3	3	3,5
	P Pf + Sh [gr]	26,5	26	30
	P Pf + Ss [gr]	22,5	22	25
	<b>Limite Plástico</b>	20,51	21,05	23,26
	<b>LP Promedio</b>	<b>21,61</b>		



*Anexo B-2*

**MUESTRA 2**



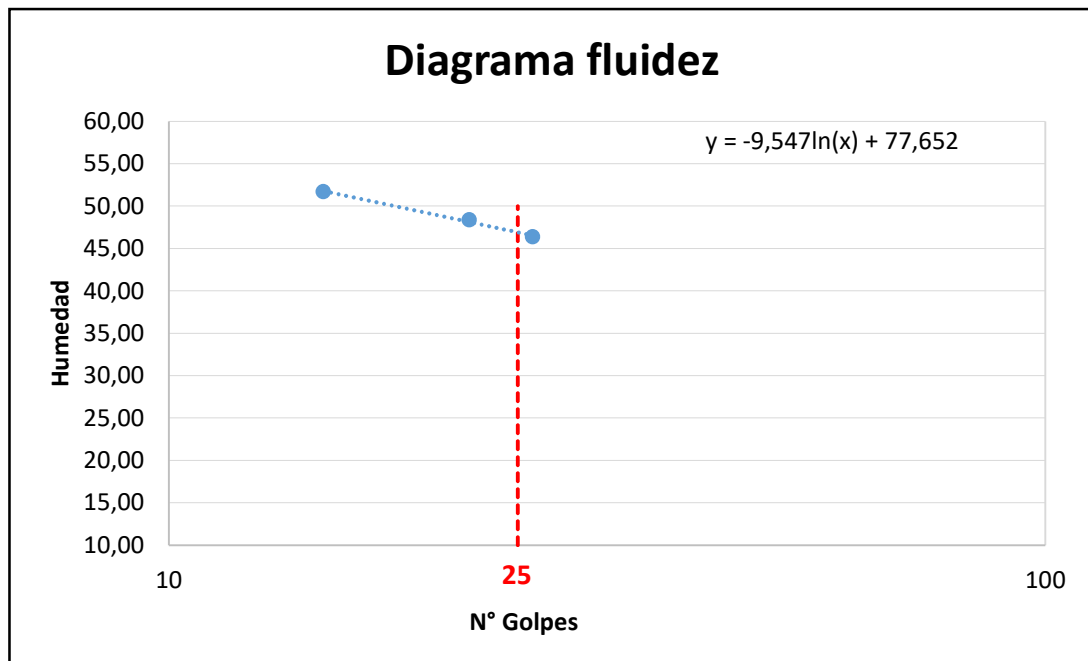




**Determinación Límites de Consistencia**

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos  
**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés  
**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén  
**Muestra:** Muestra 2 (Patrón)

<b>Límite Líquido</b>	Nº de Golpes	22	26	15
	Pf. Nº	14	62	1
	P Pf [gr]	6,5	6,5	6,5
	P Pf + Sh [gr]	52,5	57	50,5
	P Pf + Ss [gr]	37,5	41	35,5
	Humedad [%]	48,39	46,38	51,72
	<b>Limite Líquido</b>	47,65	46,60	48,65
	<b>LL Promedio</b>	<b>47,63</b>		
<b>Límite Plástico</b>	Pf. Nº	8	4	3
	P Pf [gr]	6	6,5	6,5
	P Pf + Sh [gr]	25,5	30,5	25
	P Pf + Ss [gr]	21,5	25,5	21
	<b>Limite Plástico</b>	25,81	26,32	27,59
	<b>LP Promedio</b>	<b>26,57</b>		

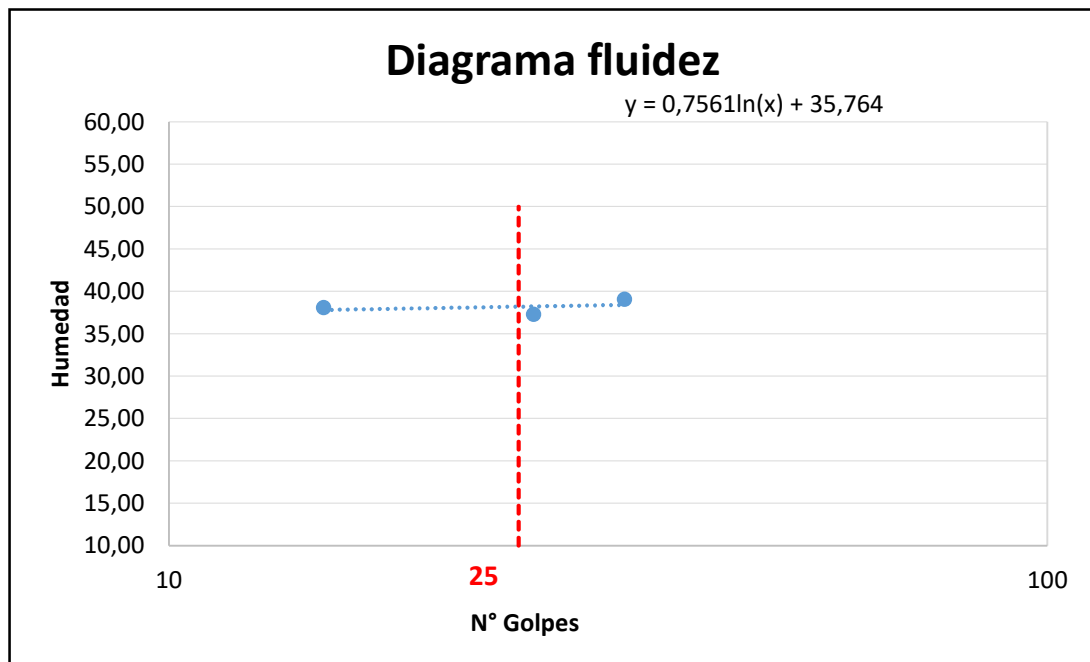




### Determinación Límites de Consistencia

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos  
**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés  
**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén  
**Muestra:** Muestra 2 + 10% de aditivo

Límite Líquido	Nº de Golpes	15	26	15
	Pf. Nº	24	8	7
	P Pf [gr]	6,5	6,5	7,5
	P Pf + Sh [gr]	50	51	48
	P Pf + Ss [gr]	38	38,5	37
	Humedad [%]	38,10	39,06	37,29
	<b>Limite Líquido</b>	<b>35,83</b>	<b>40,39</b>	<b>37,46</b>
	<b>LL Promedio</b>	<b>37,89</b>		
Límite Plástico	Pf. Nº	23	14	35
	P Pf [gr]	6,5	6,5	6,5
	P Pf + Sh [gr]	31	32	32,5
	P Pf + Ss [gr]	26,5	27	27
	<b>Limite Plástico</b>	<b>22,50</b>	<b>24,39</b>	<b>26,83</b>
	<b>LP Promedio</b>	<b>24,57</b>		





### Determinación Límites de Consistencia

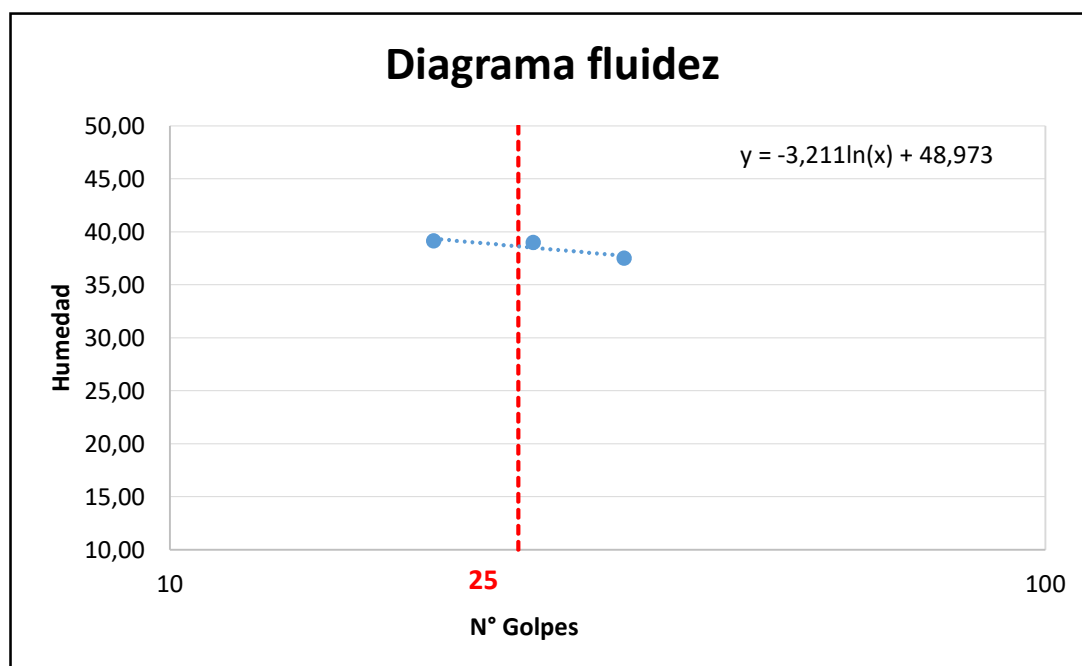
**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos

**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés

**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén

**Muestra:** Muestra 2 + 20% de aditivo

<b>Límite Líquido</b>	Nº de Golpes	20	26	33
	Pf. Nº	22	15	4
	P Pf [gr]	6,5	6,5	6,5
	P Pf + Sh [gr]	54,5	47,5	50,5
	P Pf + Ss [gr]	41	36	38,5
	Humedad [%]	39,13	38,98	37,50
	<b>Limite Líquido</b>	38,10	39,17	38,77
	<b>LL Promedio</b>	<b>38,68</b>		
<b>Límite Plástico</b>	Pf. Nº	L	J	17
	P Pf [gr]	10	9,5	3
	P Pf + Sh [gr]	43,5	44,5	19,5
	P Pf + Ss [gr]	37	37	16
	<b>Limite Plástico</b>	24,07	27,27	26,92
	<b>LP Promedio</b>	<b>26,09</b>		

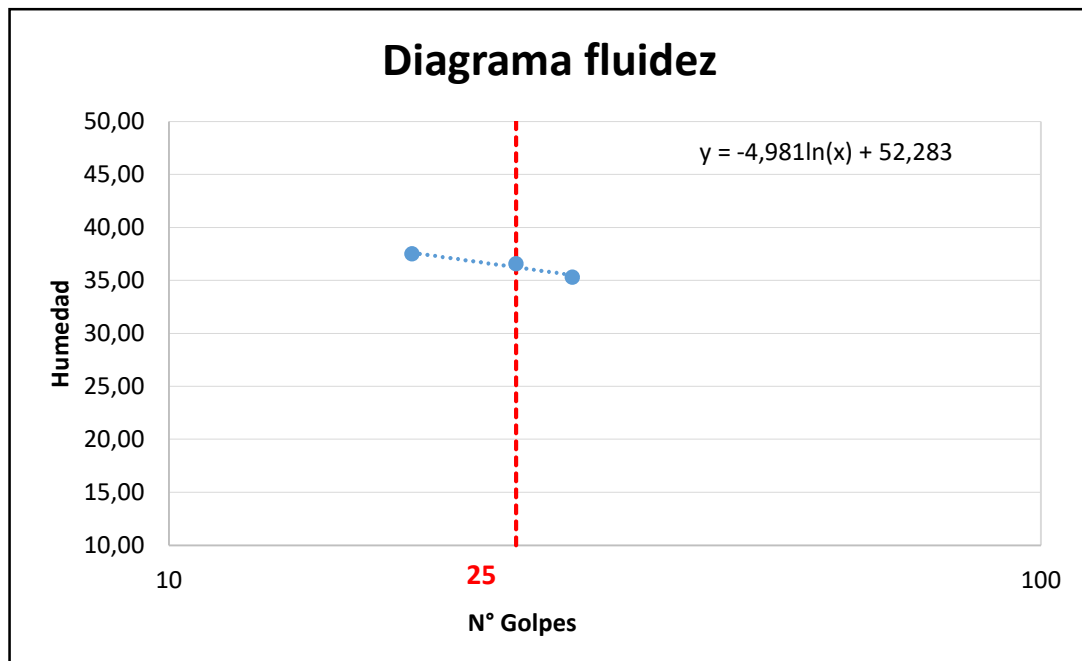




### Determinación Límites de Consistencia

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos  
**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés  
**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén  
**Muestra:** Muestra 2 + 30% de aditivo

<b>Límite Líquido</b>	Nº de Golpes	29	19	25
	Pf. Nº	17	20	23
	P Pf [gr]	3	3	3
	P Pf + Sh [gr]	49	47	59
	P Pf + Ss [gr]	37	35	44
	Humedad [%]	35,29	37,50	36,59
	<b>Limite Líquido</b>	35,93	36,29	36,59
	<b>LL Promedio</b>	<b>36,27</b>		
<b>Límite Plástico</b>	Pf. Nº	9	228	16
	P Pf [gr]	3,5	2,5	3
	P Pf + Sh [gr]	26	17	25
	P Pf + Ss [gr]	21,5	14,5	20,5
	<b>Limite Plástico</b>	24,07	27,27	26,92
	<b>LP Promedio</b>	<b>26,09</b>		



*Anexo C*

***CLASIFICACIÓN H.R.B Y S.U.C.S***



*Anexo C-1*

**MUESTRA 1**



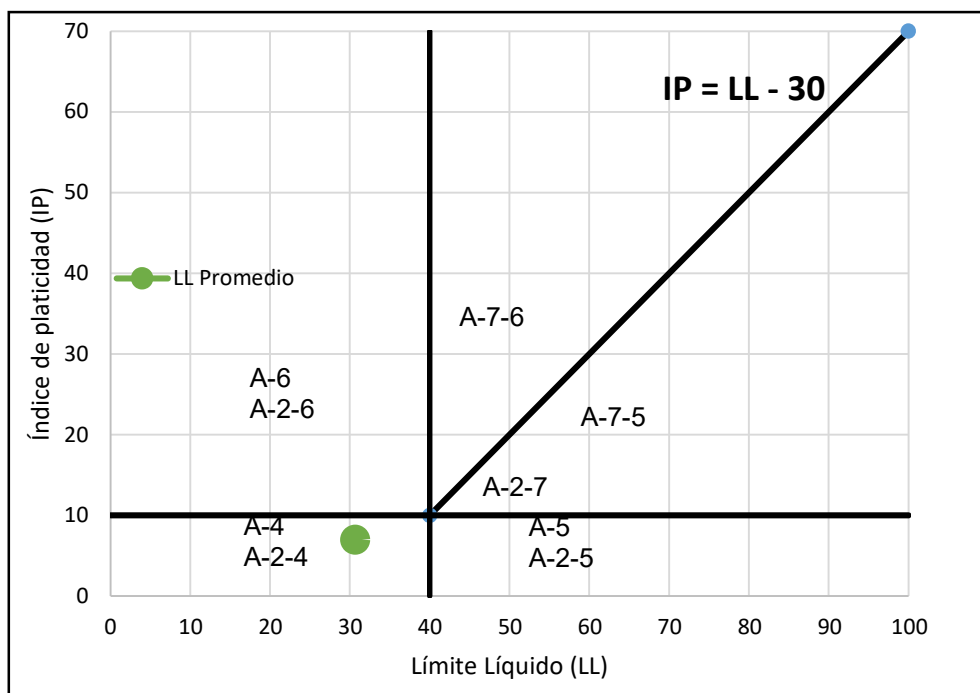




**CLASIFICACIÓN H.R.B**

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos  
**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés  
**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén  
**Muestra:** Muestra 1 (Patrón)

Peso inicial [Gr]:	198,50			
Retenido Tamiz 0,075 mm [Gr]	5,00			
Tamiz	Retenido [Gr.]	%	Pasante [Gr.]	%
4,76 mm (Nº 4)	0,0	0,0	0	100,00
2,0 mm (Nº 10)	0,0	0,0	0	100,00
0,42 mm (Nº 40)	1,0	0,5	197,5	99,50
0,150 mm (Nº 100)	1,0	0,5	197,5	99,50
0,075 mm (Nº 200)	3,0	1,5	195,5	98,49
Pasa tamiz 0,075 mm (Nº 200)	193,5	97,5	5,0	2,52
Total	198,5	100,0	0,0	0,00
Índice de Grupo:	7			
Clasificación según H.R.B	A-4			

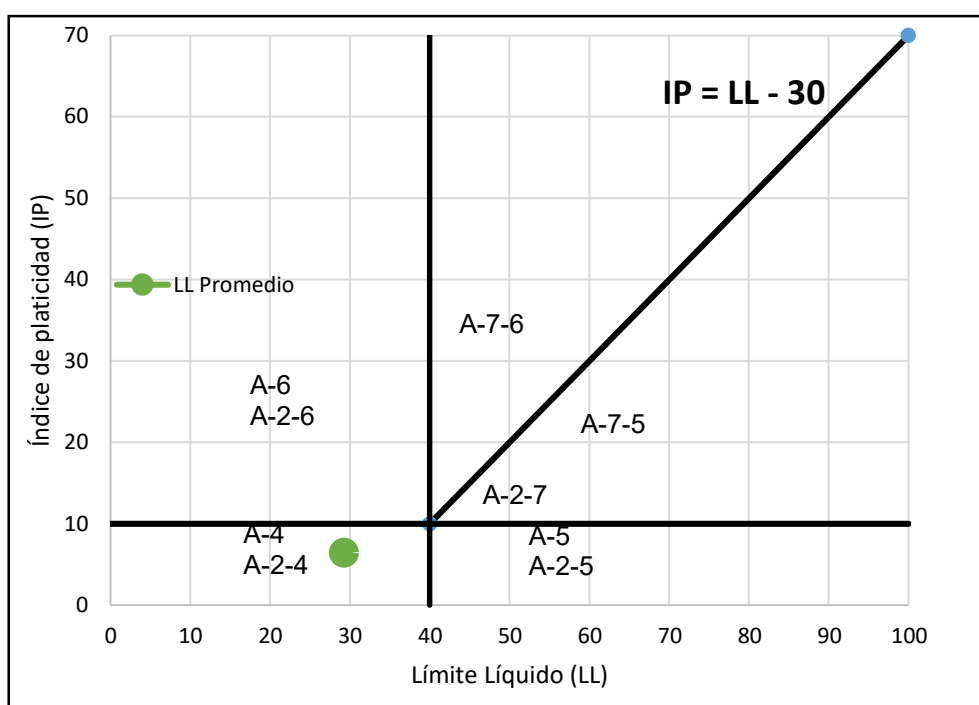




**CLASIFICACIÓN H.R.B**

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos  
**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés  
**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén  
**Muestra:** Muestra 1 + 10% de aditivo

Peso inicial [Gr]:	198,50			
Retenido Tamiz 0,075 mm [Gr]	5,00			
Tamiz	Retenido [Gr.]	%	Pasante [Gr.]	%
4,76 mm (Nº 4)	0,0	0,0	0	100,00
2,0 mm (Nº 10)	0,0	0,0	0	100,00
0,42 mm (Nº 40)	1,0	0,5	197,5	99,50
0,150 mm (Nº 100)	1,0	0,5	197,5	99,50
0,075 mm (Nº 200)	3,0	1,5	195,5	98,49
Pasa tamiz 0,075 mm (Nº 200)	193,5	97,5	5,0	2,52
Total	198,5	100,0	0,0	0,00
Índice de Grupo:	6			
Clasificación según H.R.B	A-4			

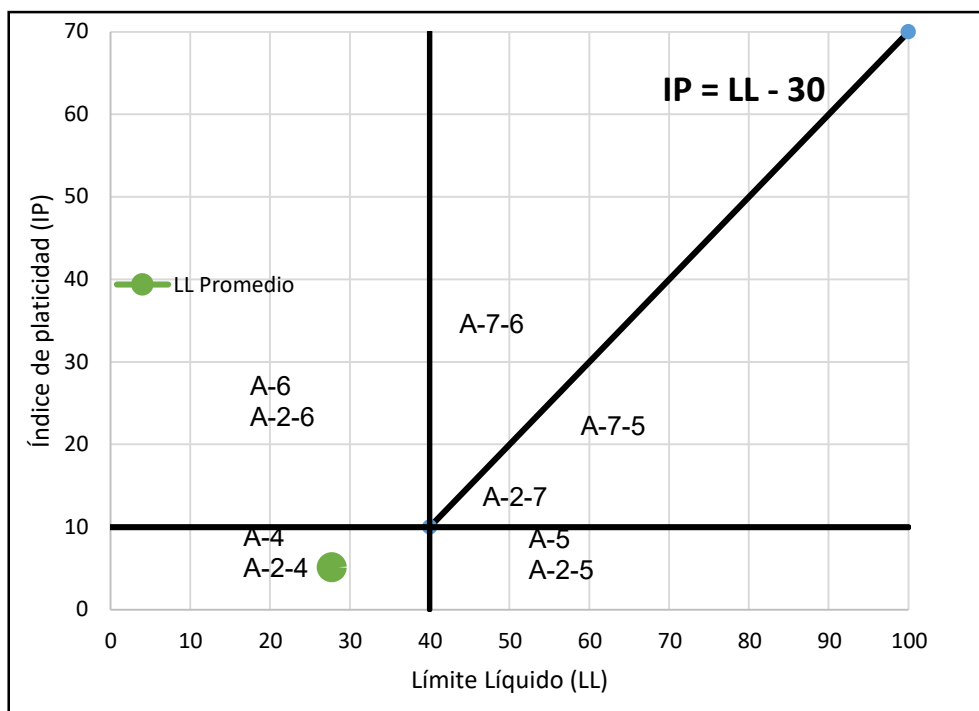




**CLASIFICACIÓN H.R.B**

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos  
**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés  
**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén  
**Muestra:** Muestra 1 + 20% de aditivo

Peso inicial [Gr]:	198,50			
Retenido Tamiz 0,075 mm [Gr]	5,00			
Tamiz	Retenido [Gr.]	%	Pasante [Gr.]	%
4,76 mm (Nº 4)	0,0	0,0	0	100,00
2,0 mm (Nº 10)	0,0	0,0	0	100,00
0,42 mm (Nº 40)	1,0	0,5	197,5	99,50
0,150 mm (Nº 100)	1,0	0,5	197,5	99,50
0,075 mm (Nº 200)	3,0	1,5	195,5	98,49
Pasa tamiz 0,075 mm (Nº 200)	193,5	97,5	5,0	2,52
Total	198,5	100,0	0,0	0,00
Índice de Grupo:	5			
Clasificación según H.R.B	A-4			

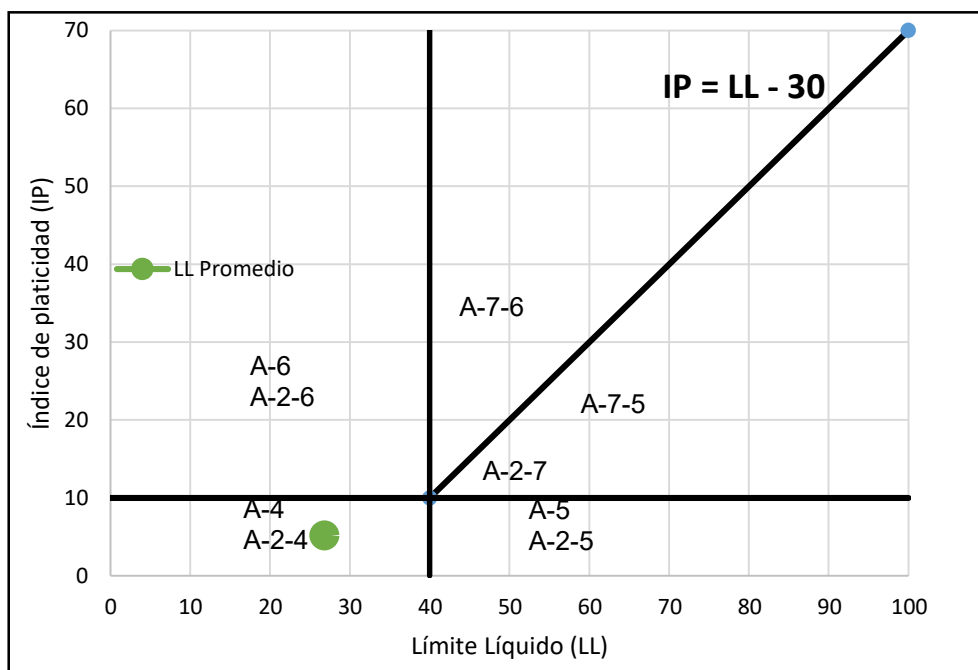




**CLASIFICACIÓN H.R.B**

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos  
**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés  
**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén  
**Muestra:** Muestra 1 + 30% de aditivo

Peso inicial [Gr]:	198,50			
Retenido Tamiz 0,075 mm [Gr]	5,00			
Tamiz	Retenido [Gr.]	%	Pasante [Gr.]	%
4,76 mm (Nº 4)	0,0	0,0	0	100,00
2,0 mm (Nº 10)	0,0	0,0	0	100,00
0,42 mm (Nº 40)	1,0	0,5	197,5	99,50
0,150 mm (Nº 100)	1,0	0,5	197,5	99,50
0,075 mm (Nº 200)	3,0	1,5	195,5	98,49
Pasa tamiz 0,075 mm (Nº 200)	193,5	97,5	5,0	2,52
Total	198,5	100,0	0,0	0,00
Índice de Grupo:	4			
Clasificación según H.R.B	A-4			

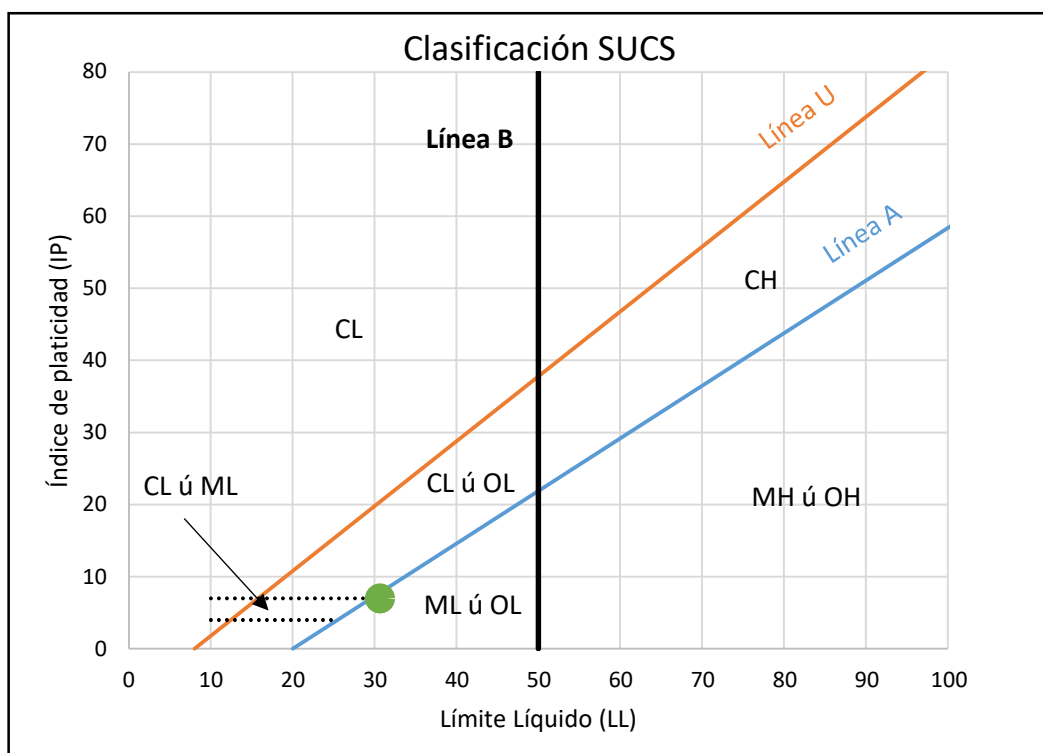




### CLASIFICACIÓN S.U.C.S

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos  
**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés  
**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén  
**Muestra:** Muestra 1 (Patrón)

Muestra	1	2	3
Índice de Plasticidad	9,24	5,51	6,20
IP Promedio	6,99		
LL Promedio	30,66		
LP Promedio	23,67		
Línea A	7,93	8,10	7,31
Línea A Promedio	7,78		
<b>Clasificación S.U.C.S.</b>	<b>ML-OL</b>		

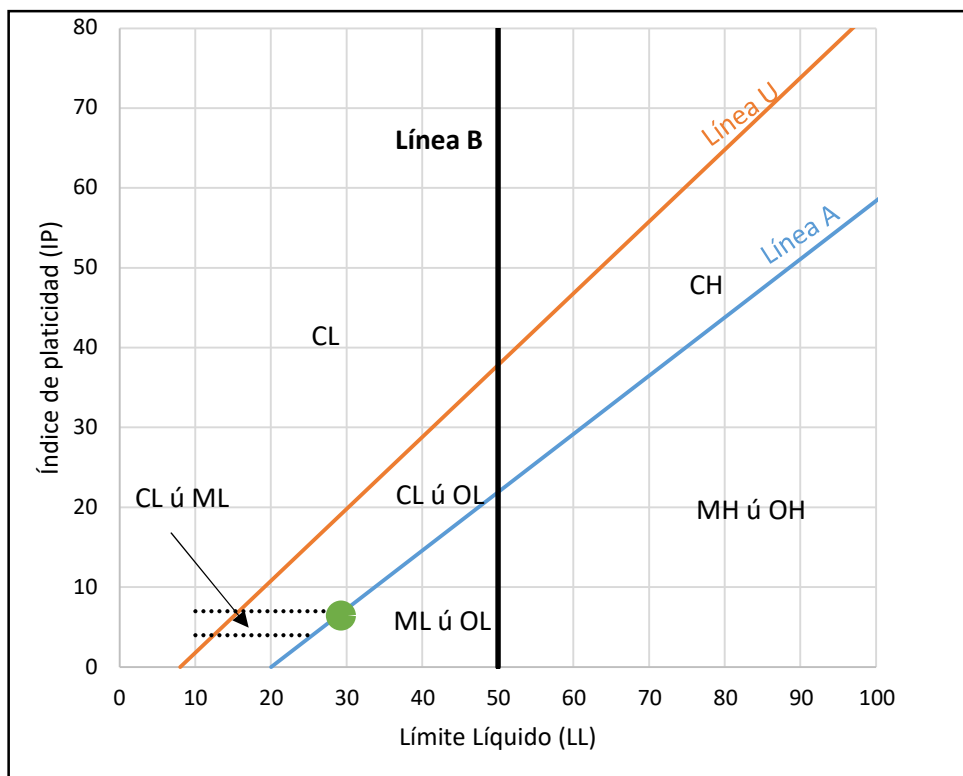




### CLASIFICACIÓN S.U.C.S

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos  
**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés  
**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén  
**Muestra:** Muestra 1 + 10% de aditivo

Muestra	1	2	3
Índice de Plasticidad	5,31	8,03	5,97
IP Promedio	6,44		
LL Promedio	29,26		
LP Promedio	22,82		
Línea A	6,53	7,23	6,51
Línea A Promedio	6,76		
Clasificación S.U.C.S.	ML-OL		

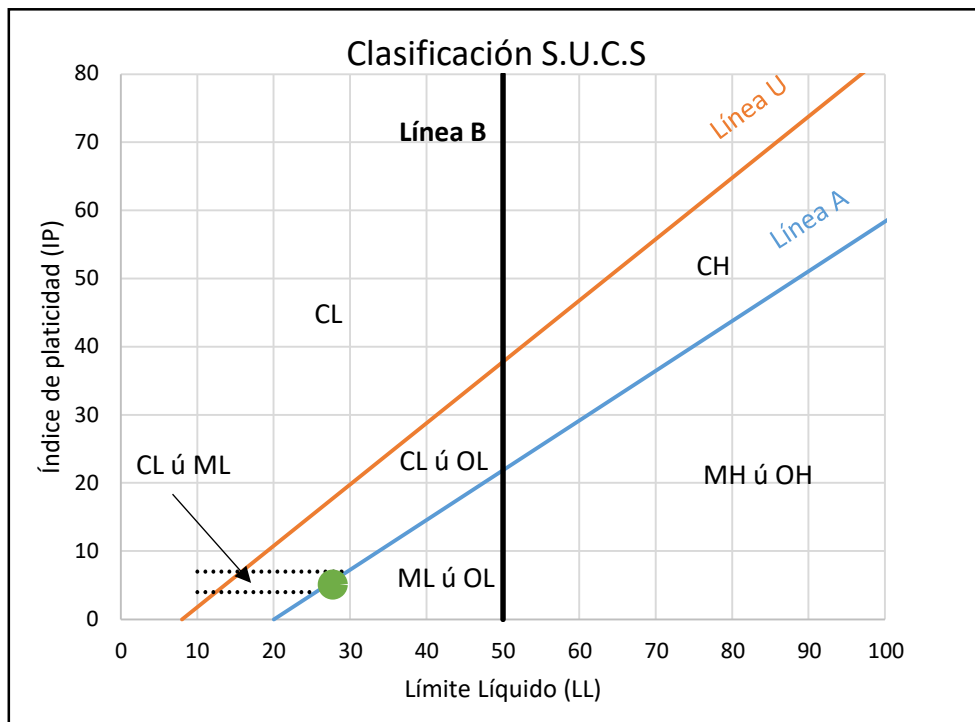




**CLASIFICACIÓN S.U.C.S**

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos  
**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés  
**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén  
**Muestra:** Muestra 1 + 20% de aditivo

Muestra	1	2	3
Índice de Plasticidad	<b>4,23</b>	<b>4,55</b>	<b>6,56</b>
IP Promedio	<b>5,11</b>		
LL Promedio	<b>27,74</b>		
LP Promedio	<b>22,63</b>		
Línea A	5,33	5,21	6,41
Línea A Promedio	5,65		
Clasificación S.U.C.S.	<b>ML-OL</b>		

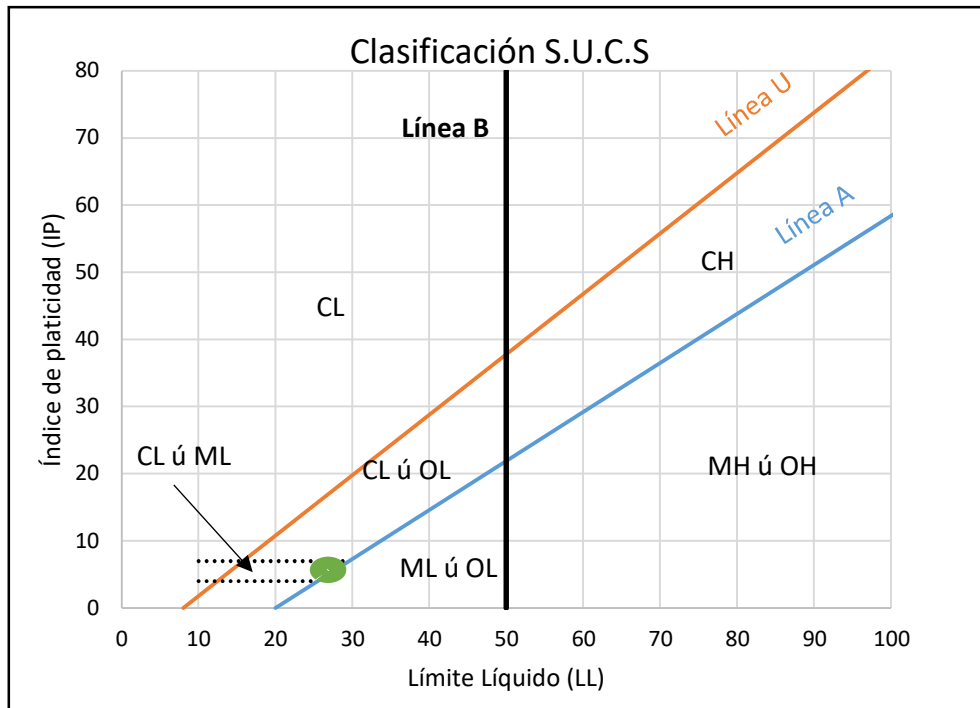




**CLASIFICACIÓN S.U.C.S**

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos  
**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés  
**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén  
**Muestra:** Muestra 1 + 30% de aditivo

Muestra	1	2	3
Índice de Plasticidad	7,05	4,49	4,10
IP Promedio	5,21		
LL Promedio	26,82		
LP Promedio	21,61		
Línea A	5,52	4,05	5,37
Línea A Promedio	4,98		
Clasificación S.U.C.S.	CL - ML		





*Anexo C-2*

***MUESTRA 2***

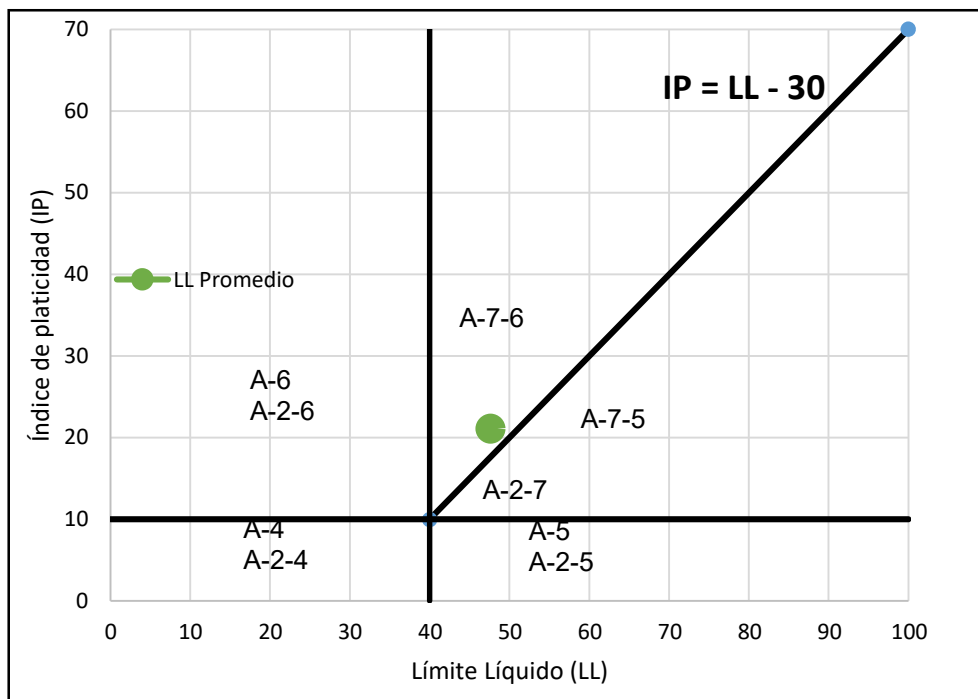




**CLASIFICACIÓN H.R.B**

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos  
**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés  
**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén  
**Muestra:** Muestra 2 (Patrón)

Peso inicial [Gr]:	198,50			
Retenido Tamiz 0,075 mm [Gr]	5,00			
Tamiz	Retenido [Gr.]	%	Pasante [Gr.]	%
4,76 mm (Nº 4)	0,0	0,0	0,0	100,00
2,0 mm (Nº 10)	0,0	0,0	0,0	100,00
0,42 mm (Nº 40)	0,1	0,1	0,0	99,95
0,150 mm (Nº 100)	0,4	0,2	0,0	99,80
0,075 mm (Nº 200)	1,5	0,8	0,0	99,23
Pasa tamiz 0,075 mm (Nº 200)	193,5	99,0	0,0	1,02
Total	195,5	100,0	0,0	0,00
Índice de Grupo:	25			
Clasificación según H.R.B	A-7-6			

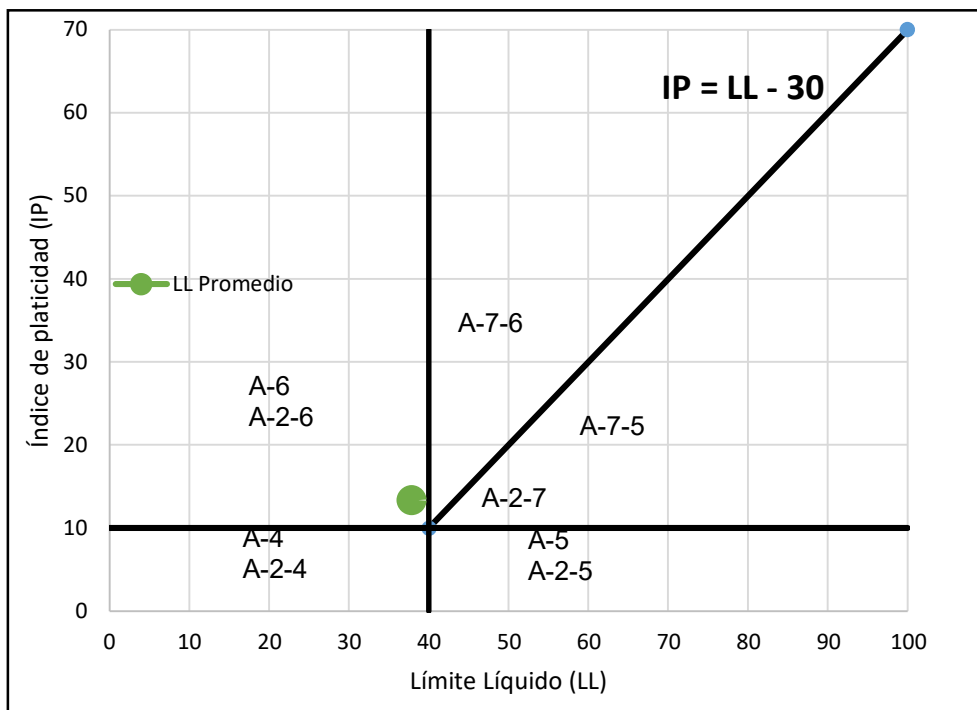




**CLASIFICACIÓN H.R.B**

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos  
**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés  
**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén  
**Muestra:** Muestra 2 + 10% de aditivo

Peso inicial [Gr]:	198,50			
Retenido Tamiz 0,075 mm [Gr]	5,00			
Tamiz	Retenido [Gr.]	%	Pasante [Gr.]	%
4,76 mm (Nº 4)	0,0	0,0	0,0	100,00
2,0 mm (Nº 10)	0,0	0,0	0,0	100,00
0,42 mm (Nº 40)	0,1	0,1	0,0	99,95
0,150 mm (Nº 100)	0,4	0,2	0,0	99,80
0,075 mm (Nº 200)	1,5	0,8	0,0	99,23
Pasa tamiz 0,075 mm (Nº 200)	193,5	99,0	0,0	1,02
Total	195,5	100,0	0,0	0,00
Índice de Grupo:	15			
Clasificación según H.R.B	A-6			

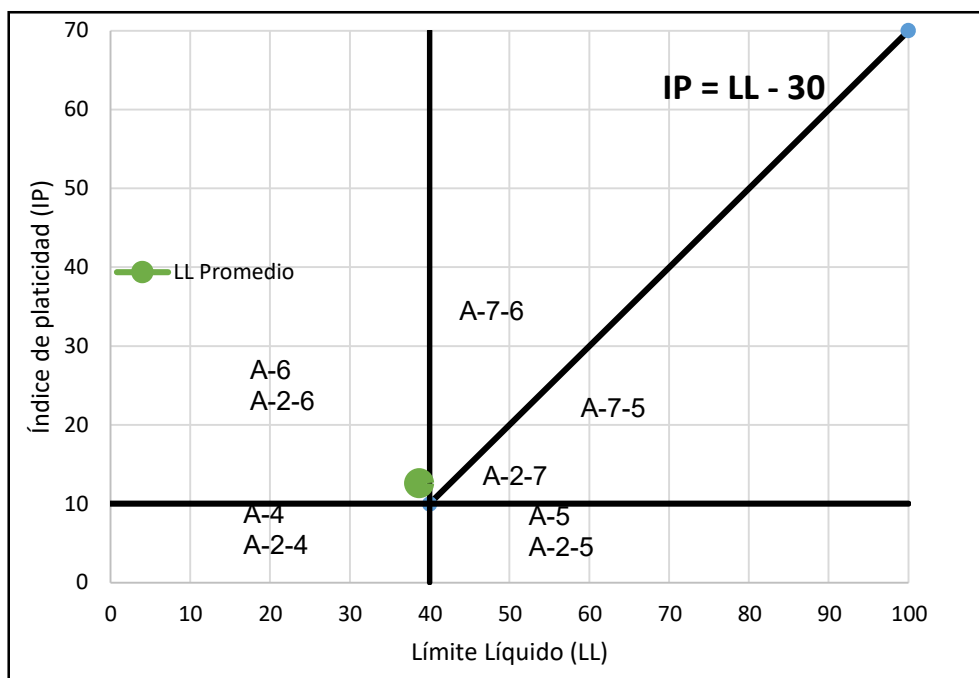




**CLASIFICACIÓN H.R.B**

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos  
**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés  
**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén  
**Muestra:** Muestra 2 + 20% de aditivo

Peso inicial [Gr]:	198,50			
Retenido Tamiz 0,075 mm [Gr]	5,00			
Tamiz	Retenido [Gr.]	%	Pasante [Gr.]	%
4,76 mm (Nº 4)	0,0	0,0	0,0	100,00
2,0 mm (Nº 10)	0,0	0,0	0,0	100,00
0,42 mm (Nº 40)	0,1	0,1	0,0	99,95
0,150 mm (Nº 100)	0,4	0,2	0,0	99,80
0,075 mm (Nº 200)	1,5	0,8	0,0	99,23
Pasa tamiz 0,075 mm (Nº 200)	193,5	99,0	0,0	1,02
Total	195,5	100,0	0,0	0,00
Índice de Grupo:	15			
Clasificación según H.R.B	A-6			

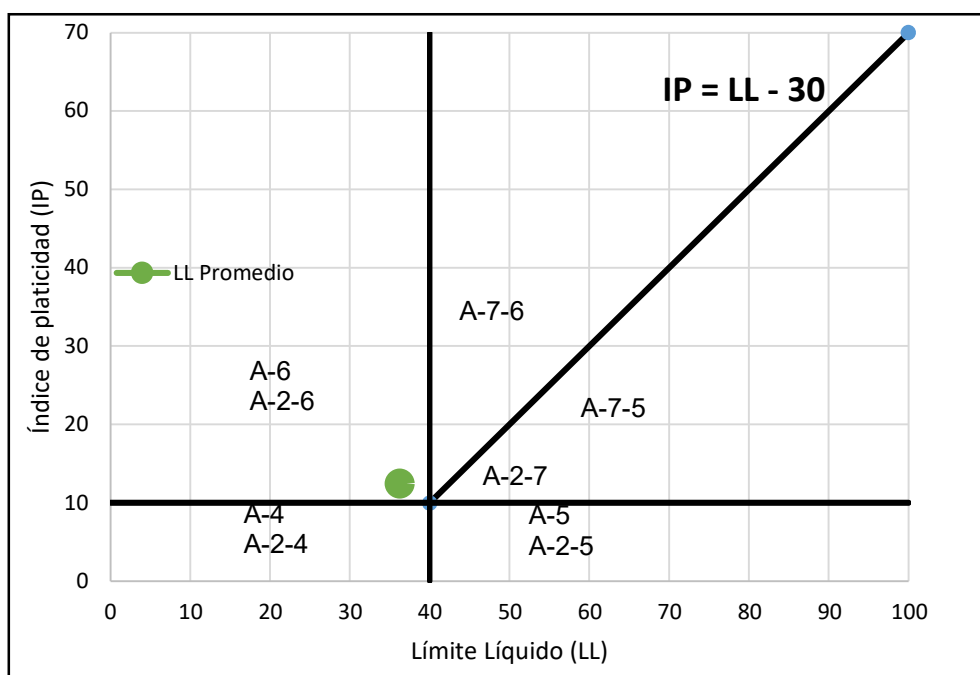




**CLASIFICACIÓN H.R.B**

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos  
**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés  
**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén  
**Muestra:** Muestra 2 + 30% de aditivo

Peso inicial [Gr]:	198,50			
Retenido Tamiz 0,075 mm [Gr]	5,00			
Tamiz	Retenido [Gr.]	%	Pasante [Gr.]	%
4,76 mm (Nº 4)	0,0	0,0	0,0	100,00
2,0 mm (Nº 10)	0,0	0,0	0,0	100,00
0,42 mm (Nº 40)	0,1	0,1	0,0	99,95
0,150 mm (Nº 100)	0,4	0,2	0,0	99,80
0,075 mm (Nº 200)	1,5	0,8	0,0	99,23
Pasa tamiz 0,075 mm (Nº 200)	193,5	99,0	0,0	1,02
Total	195,5	100,0	0,0	0,00
Índice de Grupo:	14			
Clasificación según H.R.B	A-6			

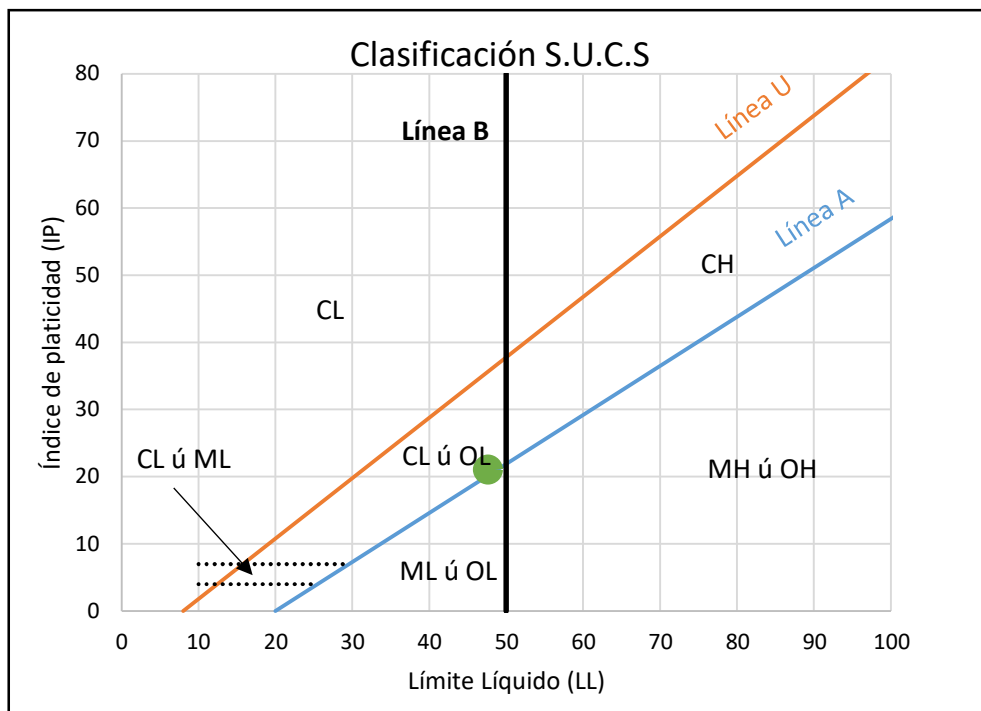




**CLASIFICACIÓN S.U.C.S**

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos  
**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés  
**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén  
**Muestra:** Muestra 2 (Patrón)

Muestra	1	2	3
Índice de Plasticidad	21,84	20,28	21,06
IP Promedio	21,06		
LL Promedio	47,63		
LP Promedio	26,57		
Línea A	20,18	19,41	20,91
Línea A Promedio	20,17		
Clasificación S.U.C.S.	CL-OL		





### CLASIFICACIÓN S.U.C.S

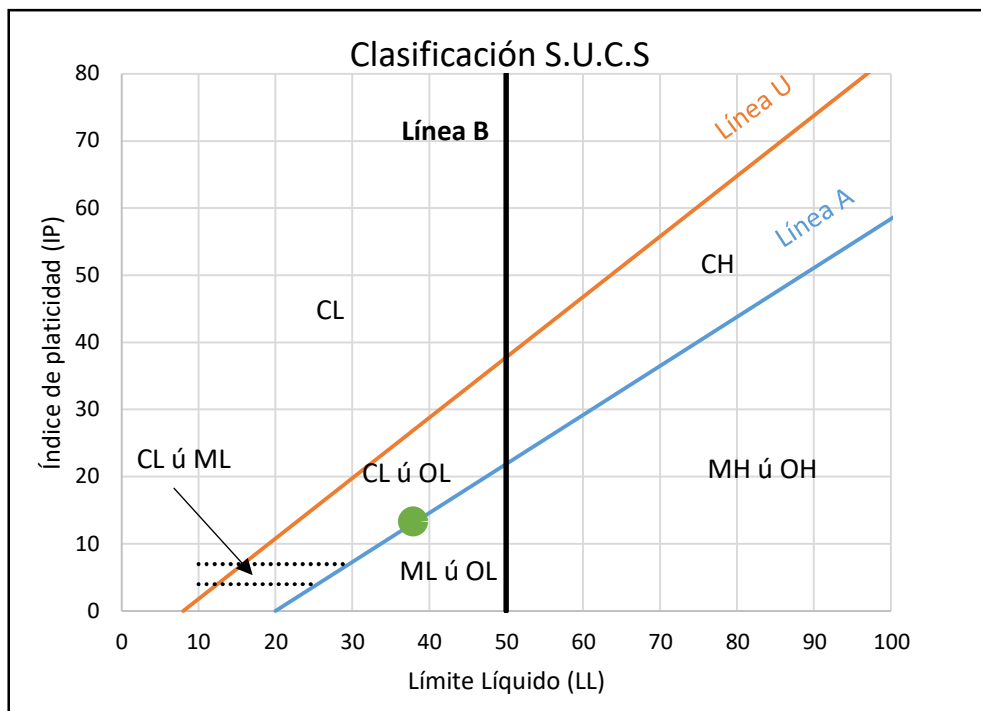
**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos

**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés

**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén

**Muestra:** Muestra 2 + 10% de aditivo

Muestra	1	2	3
Índice de Plasticidad	13,33	16,00	10,63
IP Promedio	13,32		
LL Promedio	37,89		
LP Promedio	24,57		
Línea A	11,56	14,88	12,75
Línea A Promedio	13,06		
Clasificación S.U.C.S.	CL-OL		



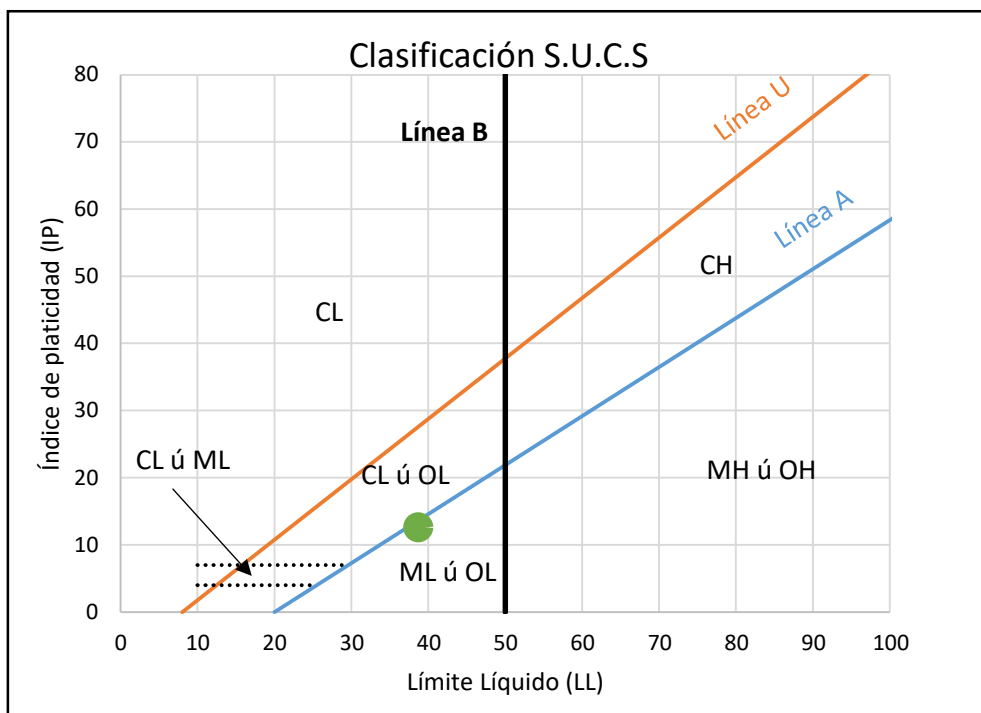




**CLASIFICACIÓN S.U.C.S**

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos  
**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés  
**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén  
**Muestra:** Muestra 2 + 20% de aditivo

Muestra	1	2	3
Índice de Plasticidad	14,02	11,89	11,85
IP Promedio	12,59		
LL Promedio	38,68		
LP Promedio	26,09		
Línea A	13,21	13,99	13,70
Línea A Promedio	13,63		
Clasificación S.U.C.S.	ML-OL		

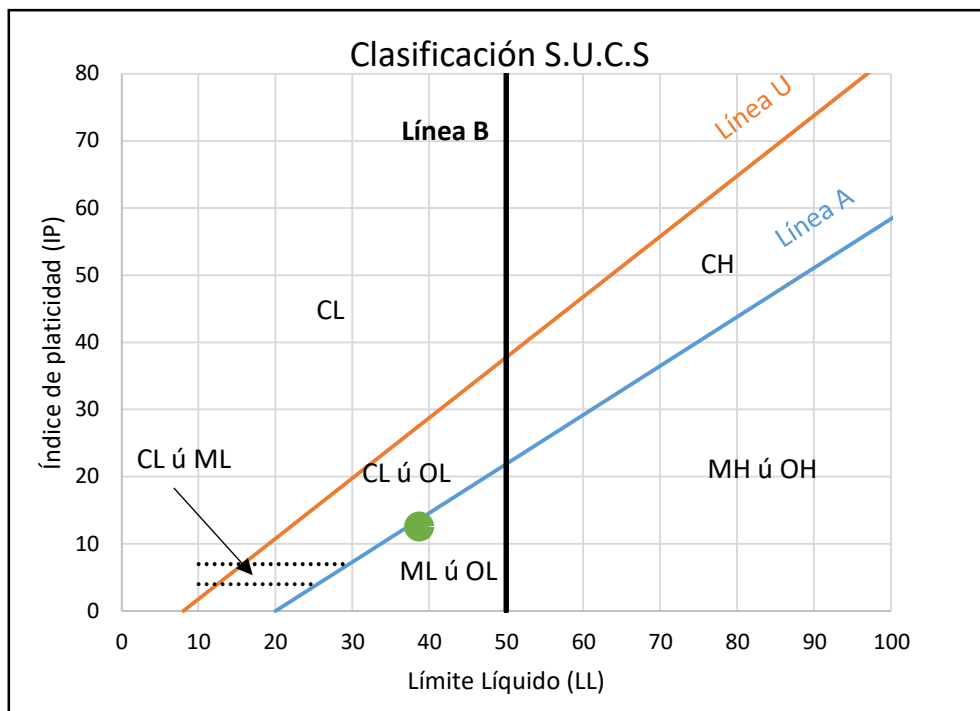




### CLASIFICACIÓN S.U.C.S

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos  
**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés  
**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén  
**Muestra:** Muestra 2 + 30% de aditivo

Muestra	1	2	3
Índice de Plasticidad	10,93	15,45	10,87
IP Promedio	12,42		
LL Promedio	36,27		
LP Promedio	23,85		
Línea A	11,63	11,89	12,11
Línea A Promedio	11,87		
Clasificación S.U.C.S.	CL-OL		



*Anexo D*

***ENSAYO COMPACTACIÓN PROCTOR T-99***



*Anexo D-1*

**MUESTRA 1**





### ENSAYO PROCTOR ÉSTANDAR

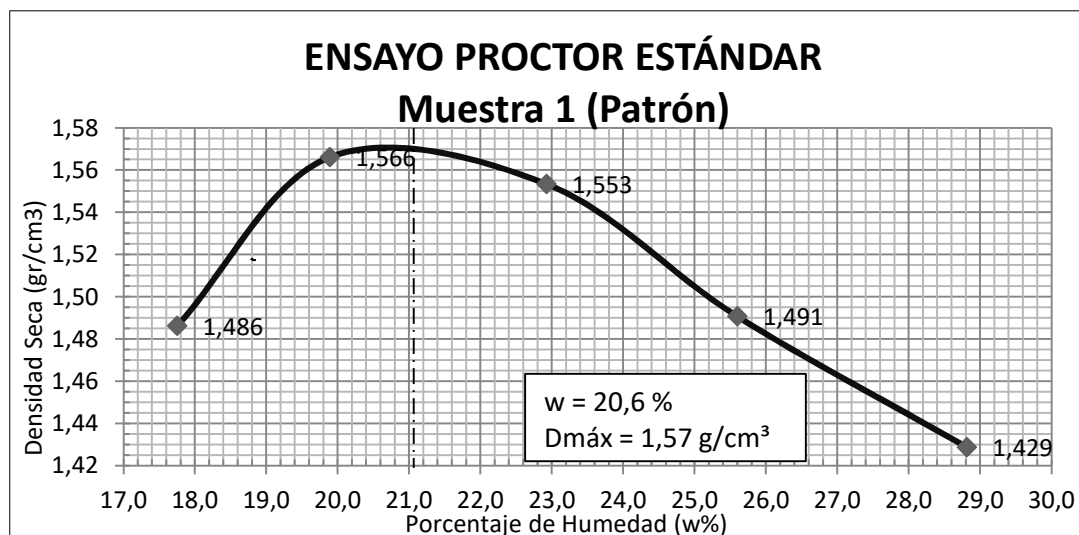
**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos  
**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés  
**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén  
**Muestra:** Muestra 1 (Patrón)

Punto N°	% Aprox. de agua	Peso del Cilindro + Sh (gr)	Tara del Cilindro (gr)	Peso Suelo Húmedo Sh (gr)	Volúmen del Cilindro (cm <sup>3</sup> )	Densidad Húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )
1	156,0	5120	3475	1645	940	1,750	1,486
2	218,0	5240	3475	1765	940	1,878	1,566
3	281,0	5270	3475	1795	940	1,910	1,553
4	343,0	5235	3475	1760	940	1,872	1,491
5	405,0	5205	3475	1730	940	1,840	1,429

Punto N°	Pesa Filtro N°	P.F. + Sh (gr)	P.F. + Ss (gr)	Tara del Pesa Filtro (gr)	Agua (gr)	Suelo Seco (gr)	% de Humedad
1	3	305,0	260,0	6,5	45,0	253,5	17,75
2	7	332,0	278,0	6,5	54,0	271,5	19,89
3	2	258,5	211,5	6,5	47,0	205,0	22,93
4	8	320,5	256,5	6,5	64,0	250,0	25,60
5	34	234,5	183,5	6,5	51,0	177,0	28,81

Observaciones:

1.- Humedad natural de la muestra de suelo: 10,50 %





### ENSAYO PROCTOR ÉSTANDAR

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos

**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés

**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén

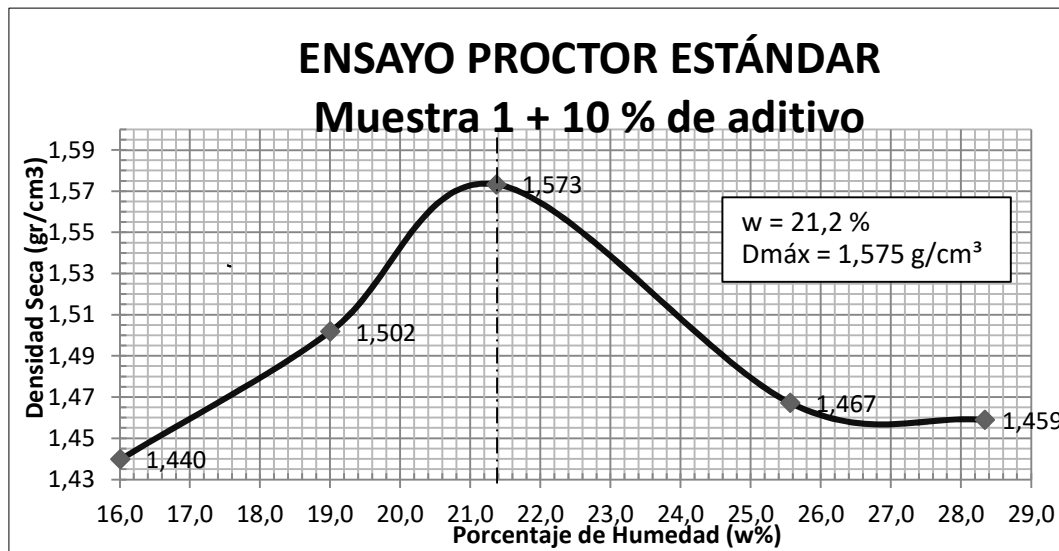
**Muestra:** Muestra 1 + 10% aditivo

Punto N°	% Aprox. de agua	Peso del Cilindro + Sh (gr)	Tara del Cilindro (gr)	Peso Suelo Húmedo Sh (gr)	Volúmen del Cilindro (cm <sup>3</sup> )	Densidad Húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )
1	161	5045	3475	1570	940	1,670	1,440
2	230	5155	3475	1680	940	1,787	1,502
3	299	5270	3475	1795	940	1,910	1,573
4	268	5245	3475	1770	940	1,883	1,467
5	437	5235	3475	1760	940	1,872	1,459

Punto N°	Pesa Filtro N°	P.F. + Sh (gr)	P.F. + Ss (gr)	Tara del Pesa Filtro (gr)	Agua (gr)	Suelo Seco (gr)	% de Humedad
1	1	329,00	284,50	6,50	44,50	278,00	16,01
2	14	316,50	267,00	6,50	49,50	260,50	19,00
3	62	245,00	203,00	6,50	42,00	196,50	21,37
4	8	284,00	227,50	6,50	56,50	221,00	25,57
5	62	285,00	223,50	6,50	61,50	217,00	28,34

**Observaciones:**

1.- Humedad natural de la muestra de suelo: 16,50 %







### ENSAYO PROCTOR ÉSTANDAR

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos

**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés

**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén

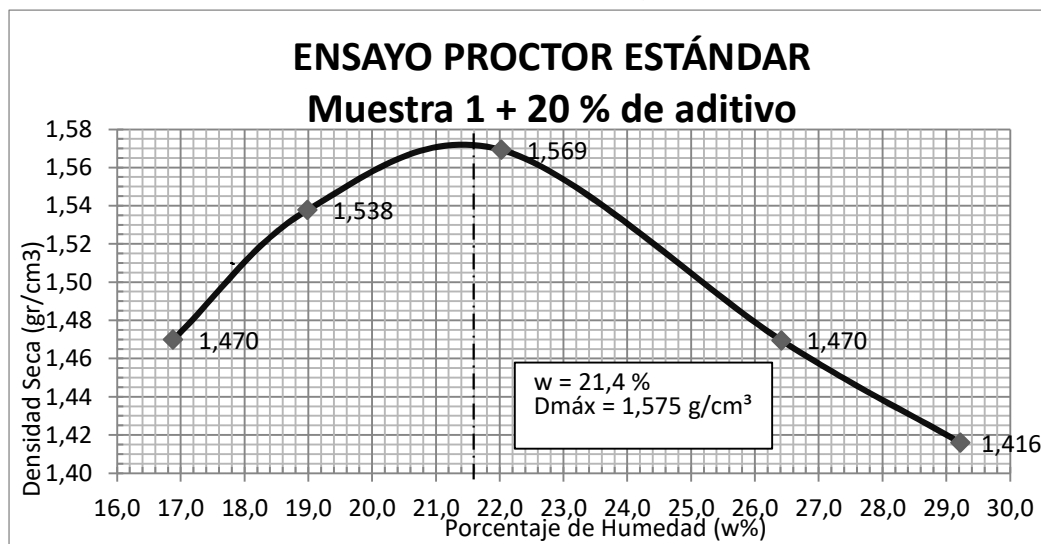
**Muestra:** Muestra 1 + 20% de aditivo

Punto N°	% Aprox. de agua	Peso del Cilindro + Sh (gr)	Tara del Cilindro (gr)	Peso Suelo Húmedo Sh (gr)	Volúmen del Cilindro (cm <sup>3</sup> )	Densidad Húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )
1	206	5090	3475	1615	940	1,718	1,470
2	275	5195	3475	1720	940	1,830	1,538
3	200	5275	3475	1800	940	1,915	1,569
4	413	5260	3475	1785	940	1,899	1,470
5	482	5195	3475	1720	940	1,830	1,416

Punto N°	Pesa Filtro N°	P.F. + Sh (gr)	P.F. + Ss (gr)	Tara del Pesa Filtro (gr)	Agua (gr)	Suelo Seco (gr)	% de Humedad
1	1	283,50	243,50	6,50	40,00	237,00	16,88
2	34	288,50	243,50	6,50	45,00	237,00	18,99
3	24	350,00	288,00	6,50	62,00	281,50	22,02
4	8	241,00	192,00	6,50	49,00	185,50	26,42
5	2	305,00	237,50	6,50	67,50	231,00	29,22

**Observaciones:**

1.- Humedad natural de la muestra de suelo: 16,50 %





### ENSAYO PROCTOR ÉSTANDAR

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos

**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés

**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén

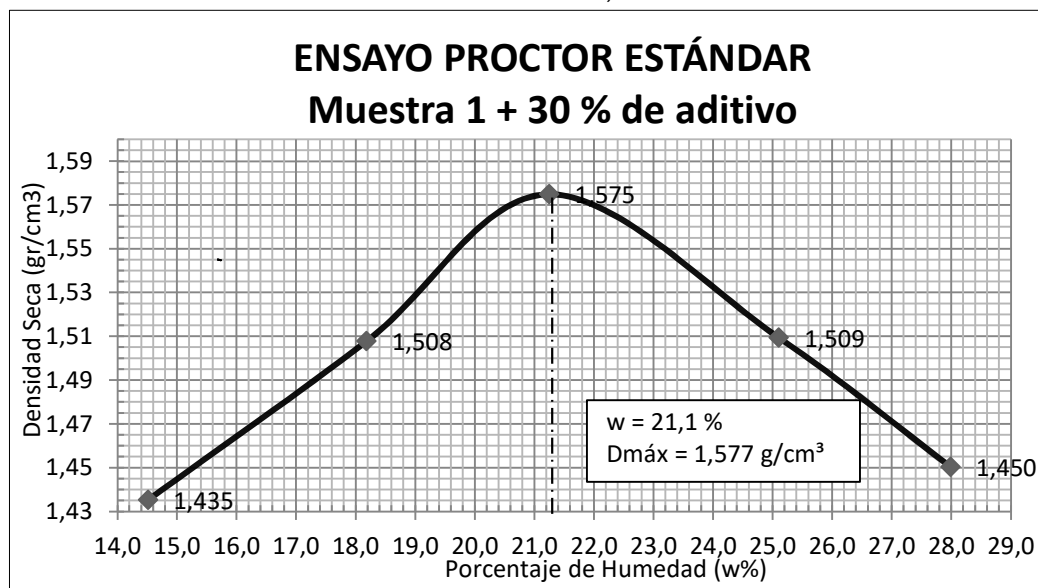
**Muestra:** Muestra 1 + 30% de aditivo

Punto N°	% Aprox. de agua	Peso del Cilindro + Sh (gr)	Tara del Cilindro (gr)	Peso Suelo Húmedo Sh (gr)	Volúmen del Cilindro (cm <sup>3</sup> )	Densidad Húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )
1	174	5020	3475	1545	940	1,64	1,44
2	243	5150	3475	1675	940	1,78	1,51
3	312	5270	3475	1795	940	1,91	1,57
4	381	5250	3475	1775	940	1,89	1,51
5	450	5220	3475	1745	940	1,86	1,45

Punto N°	Pesa Filtro N°	P.F. + Sh (gr)	P.F. + Ss (gr)	Tara del Pesa Filtro (gr)	Agua (gr)	Suelo Seco (gr)	% de Humedad
1	3	259,00	227,00	6,50	32,00	220,50	14,51
2	1	325,00	276,00	6,50	49,00	269,50	18,18
3	27	297,50	246,50	6,50	51,00	240,00	21,25
4	2	310,50	249,50	6,50	61,00	243,00	25,10
5	4	290,00	228,00	6,50	62,00	221,50	27,99

**Observaciones:**

1.- Humedad natural de la muestra de suelo: 10,40 %



*Anexo D-2*

**MUESTRA 2**





### ENSAYO PROCTOR ÉSTANDAR

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos

**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés

**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén

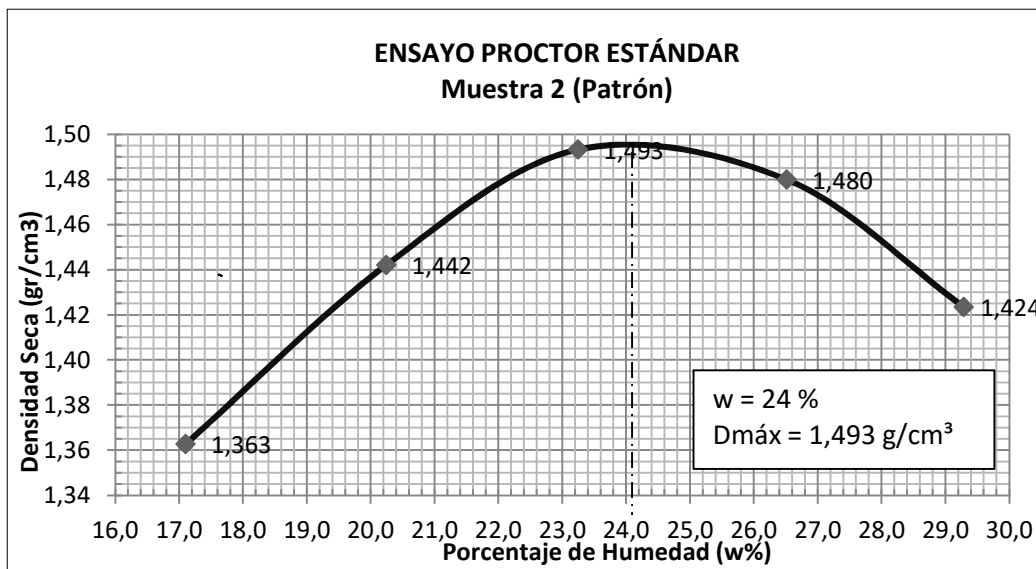
**Muestra:** Muestra 2 (Patrón)

Punto N°	% Aprox. de agua	Peso del Cilindro + Sh (gr)	Tara del Cilindro (gr)	Peso Suelo Húmedo Sh (gr)	Volúmen del Cilindro (cm <sup>3</sup> )	Densidad Húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )
1	106	4975	3475	1500	940	1,60	1,36
2	175	5105	3475	1630	940	1,73	1,44
3	244	5205	3475	1730	940	1,84	1,49
4	313	5235	3475	1760	940	1,87	1,48
5	382	5205	3475	1730	940	1,84	1,42

Punto N°	Pesa Filtro N°	P.F. + Sh (gr)	P.F. + Ss (gr)	Tara del Pesa Filtro (gr)	Agua (gr)	Suelo Seco (gr)	% de Humedad
1	22	277,00	237,50	6,50	39,50	231,00	17,10
2	15	303,50	253,50	6,50	50,00	247,00	20,24
3	2	314,00	256,00	6,50	58,00	249,50	23,25
4	4	309,50	246,00	6,50	63,50	239,50	26,51
5	23	251,50	196,00	6,50	55,50	189,50	29,29

**Observaciones:**

1.- Humedad natural de la muestra de suelo: 11,6 %





### ENSAYO PROCTOR ÉSTANDAR

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos

**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés

**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén

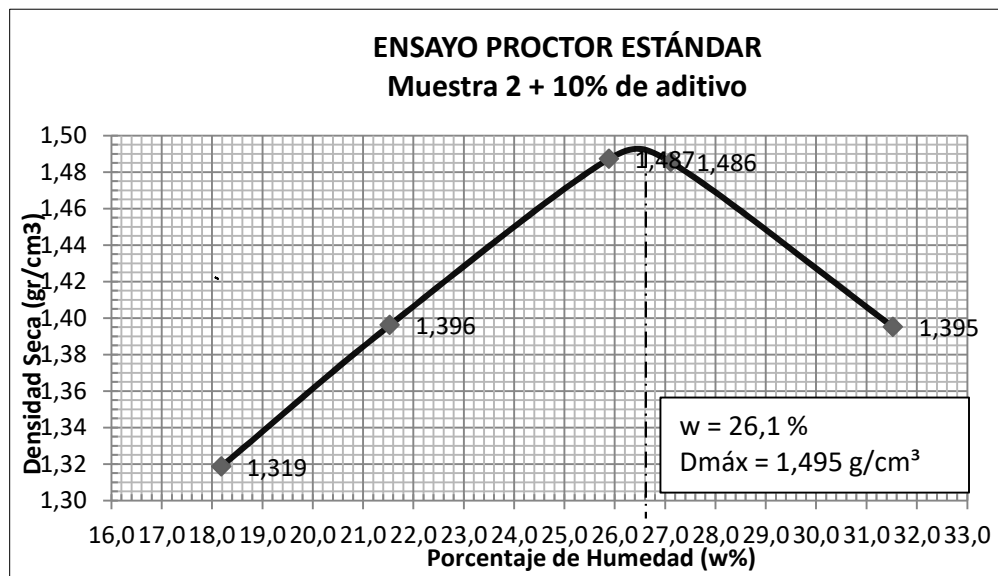
**Muestra:** Muestra 2 + 10% de aditivo

Punto N°	% Aprox. de agua	Peso del Cilindro + Sh (gr)	Tara del Cilindro (gr)	Peso Suelo Húmedo Sh (gr)	Volúmen del Cilindro (cm <sup>3</sup> )	Densidad Húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )
1	126	4940	3475	1465	940	1,56	1,32
2	195	5070	3475	1595	940	1,70	1,40
3	264	5235	3475	1760	940	1,87	1,49
4	333	5250	3475	1775	940	1,89	1,49
5	402	5200	3475	1725	940	1,84	1,40

Punto N°	Pesa Filtro N°	P.F. + Sh (gr)	P.F. + Ss (gr)	Tara del Pesa Filtro (gr)	Agua (gr)	Suelo Seco (gr)	% de Humedad
1	J	302,50	257,50	10,00	45,00	247,50	18,18
2	L	439,00	363,00	10,00	76,00	353,00	21,53
3	A	346,50	277,00	8,50	69,50	268,50	25,88
4	B	364,00	288,50	10,00	75,50	278,50	27,11
5	H	336,00	257,50	8,50	78,50	249,00	31,53

**Observaciones:**

1.- Humedad natural de la muestra de suelo: 10,50 %





### ENSAYO PROCTOR ÉSTANDAR

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos

**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés

**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén

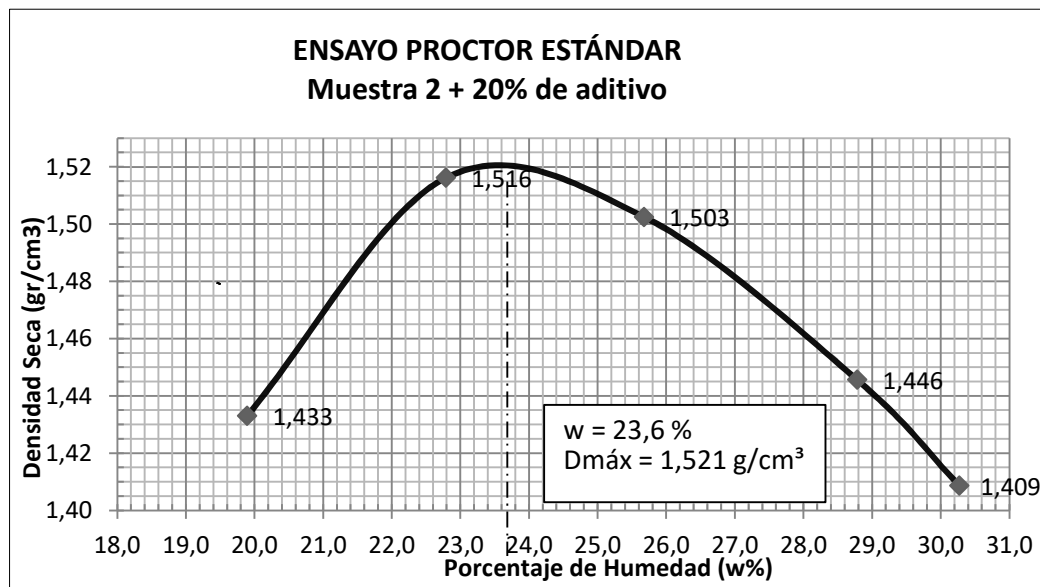
**Muestra:** Muestra 2 + 20% de aditivo

Punto N°	% Aprox. de agua	Peso del Cilindro + Sh (gr)	Tara del Cilindro (gr)	Peso Suelo Húmedo Sh (gr)	Volúmen del Cilindro (cm <sup>3</sup> )	Densidad Húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )
1	183	5090	3475	1615	940	1,72	1,43
2	252	5225	3475	1750	940	1,86	1,52
3	321	5250	3475	1775	940	1,89	1,50
4	390	5225	3475	1750	940	1,86	1,45
5	456	5200	3475	1725	940	1,84	1,41

Punto N°	Pesa Filtro N°	P.F. + Sh (gr)	P.F. + Ss (gr)	Tara del Pesa Filtro (gr)	Agua (gr)	Suelo Seco (gr)	% de Humedad
1	H	337,00	282,50	8,50	54,50	274,00	19,89
2	B	287,50	236,00	10,00	51,50	226,00	22,79
3	A	380,50	304,50	8,50	76,00	296,00	25,68
4	J	359,00	281,00	10,00	78,00	271,00	28,78
5	L	371,50	287,50	10,00	84,00	277,50	30,27

Observaciones:

1.- Humedad natural de la muestra de suelo: 9,96 %





### ENSAYO PROCTOR ÉSTANDAR

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos

**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés

**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén

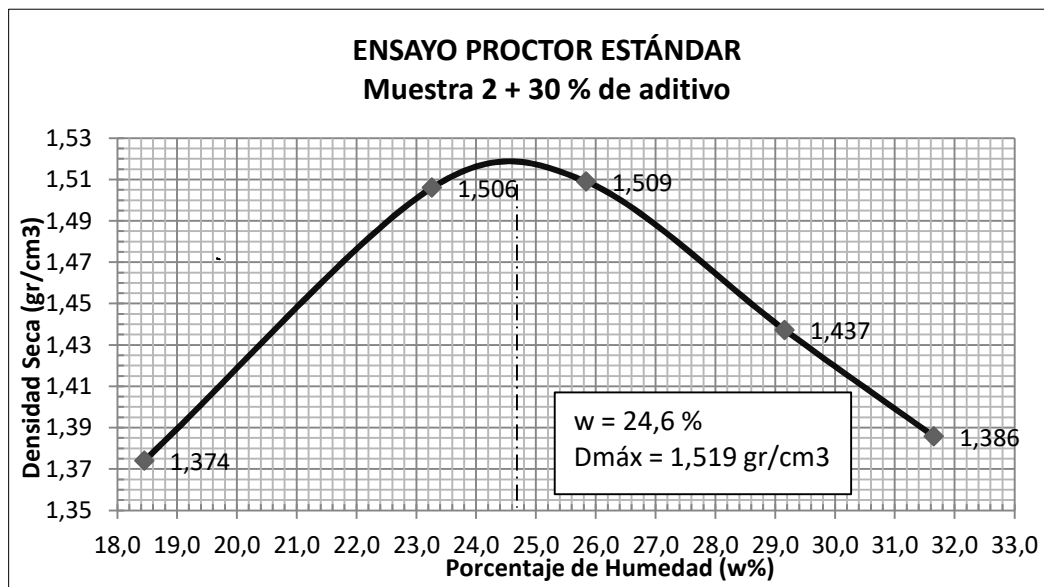
**Muestra:** Muestra 2 + 30% de aditivo

Punto N°	% Aprox. de agua	Peso del Cilindro + Sh (gr)	Tara del Cilindro (gr)	Peso Suelo Húmedo Sh (gr)	Volúmen del Cilindro (cm <sup>3</sup> )	Densidad Húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )
1	74	5005	3475	1530	940	1,63	1,37
2	143	5220	3475	1745	940	1,86	1,51
3	212	5260	3475	1785	940	1,90	1,51
4	281	5220	3475	1745	940	1,86	1,44
5	350	5190	3475	1715	940	1,82	1,39

Punto N°	Pesa Filtro N°	P.F. + Sh (gr)	P.F. + Ss (gr)	Tara del Pesa Filtro (gr)	Agua (gr)	Suelo Seco (gr)	% de Humedad
1	4	266,5	226,0	6,5	40,5	219,5	18,5
2	2	369,0	300,5	6,0	68,5	294,5	23,3
3	27	306,0	244,5	6,5	61,5	238,0	25,8
4	1	321,0	250,0	6,5	71,0	243,5	29,2
5	3	358,0	273,5	6,5	84,5	267,0	31,6

**Observaciones:**

1.- Humedad natural de la muestra de suelo: 16 %





*Anexo E*

***ENSAYO COMPRESIÓN SIMPLE***



*Anexo E-1*

***MUESTRA 1***





### Compresión Simple

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos  
**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés  
**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén  
**Muestra:** Muestra 1 (Patrón)

#### Probeta 1

**Humedad de compactación** 20,70%  
**Peso probeta** 1.798,00 Gr.  
**Altura promedio probeta** 10,70 cm  
**Diámetro promedio probeta** 10,16 cm  
**Volumen promedio probeta** 867,5 cm<sup>3</sup>  
**Densidad probeta húmeda** 2,07 Gr./cm<sup>3</sup>  
**Densidad probeta estimada** 1,72 Gr./cm<sup>3</sup>  
**Factor de corrección h/d** 1,05  
**Factor de aro dinamómetro** 3,40 Kg/cm<sup>2</sup>



Lectura flexímetro Ld [0,01mm]	Deformación Unitaria $\epsilon = \Delta l / L_0$ [mm]	Área corregida A' [cm <sup>2</sup> ]	Carga sobre la muestra P [Kg]	Esfuerzo sobre la muestra $\sigma$ [Kg/cm <sup>2</sup> ]
0,11	0,00102852	81,16	10	0,10796555
0,33	0,00308555	81,32	20	0,215486464
0,61	0,0057036	81,54	30	0,322380846
0,94	0,00878915	81,79	40	0,428507222
1,25	0,0116877	82,03	50	0,534067699
1,61	0,01505376	82,31	60	0,638698483
1,99	0,01860683	82,61	70	0,742460207
2,30	0,02150538	82,85	80	0,846019825
2,67	0,02496494	83,15	90	0,948407221
3,01	0,02814399	83,42	100	1,050349983
3,33	0,03113604	83,68	110	1,151827898
3,68	0,0344086	83,96	120	1,252295279
4,00	0,03740065	84,22	130	1,352449393
4,44	0,04151473	84,58	140	1,450259067
4,82	0,04506779	84,90	150	1,548088951
5,17	0,04834035	85,19	160	1,645635886
5,63	0,05264142	85,58	170	1,740585746
6,12	0,057223	85,99	180	1,834060225
6,71	0,0627396	86,50	190	1,924624363
7,40	0,06919121	87,10	200	2,011975001
7,40	0,06919121	87,10	206	2,072334251



### Compresión Simple

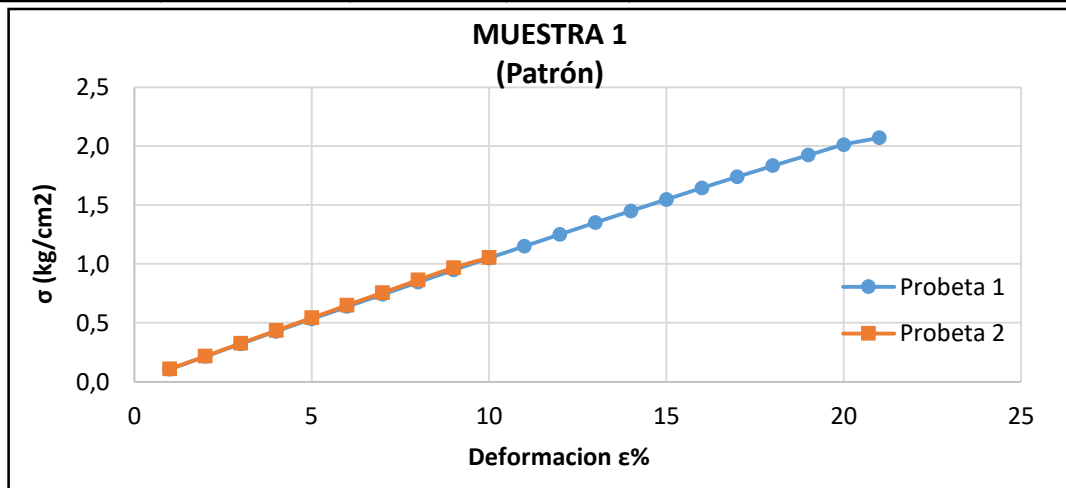
**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos  
**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés  
**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rúben  
**Muestra:** Muestra 1 (Patrón)

#### Probeta 2

**Humedad de compactación** 18,90%  
**Peso probeta** 1.764,50 Gr.  
**Altura promedio probeta** 11,36 cm  
**Diámetro promedio probeta** 10,25 cm  
**Volumen promedio probeta** 937,4 cm<sup>3</sup>  
**Densidad probeta húmeda** 1,88 Gr./cm<sup>3</sup>  
**Densidad probeta estimada** 1,58 Gr./cm<sup>3</sup>  
**Factor de corrección h/d** 1,11  
**Factor de aro dinamómetro** 3,40 Kg/cm<sup>2</sup>



Lectura flexímetro Ld [0,01mm]	Deformación Unitaria $\epsilon = \Delta l / L_0$ [mm]	Área corregida A' [cm <sup>2</sup> ]	Carga sobre la muestra P [Kg]	Esfuerzo sobre la muestra $\sigma$ [Kg/cm <sup>2</sup> ]
0,19	0,00167	82,53	10	0,109318636
0,33	0,00291	82,63	20	0,218367253
0,48	0,00423	82,74	30	0,327116923
0,65	0,00572	82,87	40	0,435500139
0,83	0,00731	83,00	50	0,54350726
1,07	0,00942	83,18	60	0,650820049
1,27	0,01118	83,33	70	0,757939968
1,45	0,01277	83,46	80	0,864828444
1,92	0,01691	83,81	90	0,968852801
2,00	0,01761	83,87	98	1,054217001





**Compresión Simple**

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos  
**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés  
**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén  
**Muestra:** Muestra 1 + 10% de aditivo

**Humedad de compactación** 20,70%  
**Peso probeta** 1.678,00 Gr.  
**Altura promedio probeta** 11,57 cm  
**Diámetro promedio probeta** 10,14 cm  
**Volumen promedio probeta** 934,3 cm<sup>3</sup>  
**Densidad probeta húmeda** 1,80 Gr./cm<sup>3</sup>  
**Densidad probeta estimada** 1,49 Gr./cm<sup>3</sup>  
**Factor de corrección h/d** 1,05  
**Factor de aro dinamómetro** 3,40 Kg/cm<sup>2</sup>



<b>Probeta 1</b>				
Lectura flexímetro Ld [0,01mm]	Deformación Unitaria $\epsilon = \Delta l / L_0$ [mm]	Área corregida A' [cm <sup>2</sup> ]	Carga sobre la muestra P [Kg]	Esfuerzo sobre la muestra $\sigma$ [Kg/cm <sup>2</sup> ]
8,00	0,00070796	66,49	5	0,232641191
16,00	0,00141593	66,54	10	0,464952745
26,00	0,00230088	66,60	15	0,696811049
34,00	0,00300885	66,64	20	0,928422125
47,00	0,00415929	66,72	25	1,159188507
56,00	0,00495575	66,77	30	1,389913684
73,00	0,00646018	66,87	40	1,850416332
94,00	0,00831858	67,00	50	2,308693932
110,00	0,00973451	67,10	60	2,766477076
126,00	0,01115044	67,19	70	3,222941673
146,00	0,01292035	67,31	80	3,676769176
160,00	0,01415929	67,40	90	4,131173543
178,00	0,01575221	67,51	100	4,582775997
261,00	0,02309735	68,01	150	6,822864264
349,00	0,03088496	68,56	200	9,024632249
449,00	0,03973451	69,19	250	11,1777788
550,00	0,04867257	69,84	290	12,84553513



### Compresión Simple

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos

**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés

**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén

**Muestra:** Muestra 1 + 10% de aditivo

#### Probeta 2

**Humedad de compactación** 18,69%

**Peso probeta** 1.755 Gr.

**Altura promedio probeta** 11,57 cm

**Diámetro promedio probeta** 10,18 cm

**Volumen promedio probeta** 941,7 cm<sup>3</sup>

**Densidad probeta húmeda** 1,86 Gr./cm<sup>3</sup>

**Densidad probeta estimada** 1,57 Gr./cm<sup>3</sup>

**Factor de corrección h/d** 1,14

**Factor de aro dinamómetro** 3,40 Kg/cm<sup>2</sup>



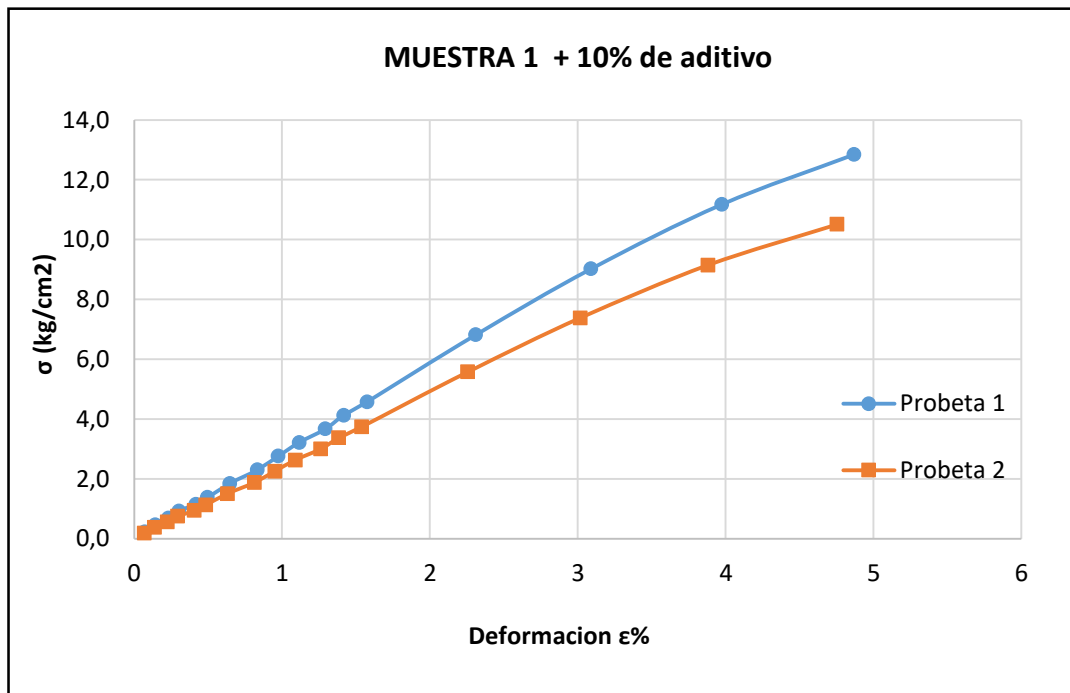
Lectura flexímetro Ld [0,01mm]	Deformación Unitaria $\epsilon = \Delta l / L_0$ [mm]	Área corregida A' [cm <sup>2</sup> ]	Carga sobre la muestra P [Kg]	Esfuerzo sobre la muestra $\sigma$ [Kg/cm <sup>2</sup> ]
8,00	0,000691	81,33	5	0,190195664
16,00	0,001383	81,38	10	0,380128127
26,00	0,002247	81,45	15	0,569698688
34,00	0,002939	81,51	20	0,759071849
47,00	0,004062	81,60	25	0,947770557
56,00	0,004840	81,67	30	1,136436365
73,00	0,006309	81,79	40	1,513011277
94,00	0,008124	81,94	50	1,887809583
110,00	0,009507	82,05	60	2,262213087
126,00	0,010890	82,17	70	2,635563786
146,00	0,012619	82,31	80	3,006808878
160,00	0,013829	82,41	90	3,378514571
178,00	0,015385	82,54	100	3,747983055
261,00	0,022558	83,15	150	5,581013917
349,00	0,030164	83,80	200	7,383447657
449,00	0,038807	84,55	250	9,147059241
550,00	0,047537	85,33	290	10,51422423





### Compresión Simple

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos  
**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés  
**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén  
**Muestra:** Muestra 1 + 10% de aditivo







**Compresión Simple**

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos  
**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés  
**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén  
**Muestra:** Muestra 1 + 20% de aditivo

<b>Probeta 1</b>	
<b>Humedad de compactación</b>	20,70%
<b>Peso probeta</b>	1.626,00 Gr.
<b>Altura promedio probeta</b>	11,66 cm
<b>Diámetro promedio probeta</b>	10,14 cm
<b>Volumen promedio probeta</b>	941,6 cm <sup>3</sup>
<b>Densidad probeta húmeda</b>	1,73 Gr./cm <sup>3</sup>
<b>Densidad probeta estimada</b>	1,43 Gr./cm <sup>3</sup>
<b>Factor de corrección h/d</b>	1,05
<b>Factor de aro dinamómetro</b>	3,40 Kg/cm <sup>2</sup>




Lectura flexímetro Ld [0,01mm]	Deformación Unitaria $\epsilon = \Delta l / L_0$ [mm]	Área corregida A' [cm <sup>2</sup> ]	Carga sobre la muestra P [Kg]	Esfuerzo sobre la muestra $\sigma$ [Kg/cm <sup>2</sup> ]
13,00	0,00115044	66,52	5	0,23253818
25,00	0,00221239	66,59	10	0,464581904
35,00	0,00309735	66,65	15	0,696254787
46,00	0,0040708	66,71	20	0,927433215
56,00	0,00495575	66,77	25	1,158261403
67,00	0,0059292	66,84	30	1,388553932
87,00	0,00769912	66,96	40	1,848108874
108,00	0,00955752	67,08	50	2,30580961
128,00	0,01132743	67,20	60	2,762026979
145,00	0,01283186	67,31	70	3,217461461
160,00	0,01415929	67,40	80	3,67215426
178,00	0,01575221	67,51	90	4,124498397
196,00	0,01734513	67,62	100	4,575359168
282,00	0,02495575	68,14	150	6,809884814
396,00	0,03504425	68,86	200	8,985899922
400,00	0,03539823	68,88	210	9,431733732



### Compresión Simple

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos  
**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés  
**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén  
**Muestra:** Muestra 1 + 20% de aditivo

<b>Probeta 2</b>	
<b>Humedad de compactación</b>	18,99%
<b>Peso probeta</b>	1.720,00 Gr.
<b>Altura promedio probeta</b>	11,66 cm
<b>Diámetro promedio probeta</b>	10,15 cm
<b>Volumen promedio probeta</b>	943,5 cm <sup>3</sup>
<b>Densidad probeta húmeda</b>	1,82 Gr./cm <sup>3</sup>
<b>Densidad probeta estimada</b>	1,53 Gr./cm <sup>3</sup>
<b>Factor de corrección h/d</b>	1,15
<b>Factor de aro dinamómetro</b>	3,40 Kg/cm <sup>2</sup>

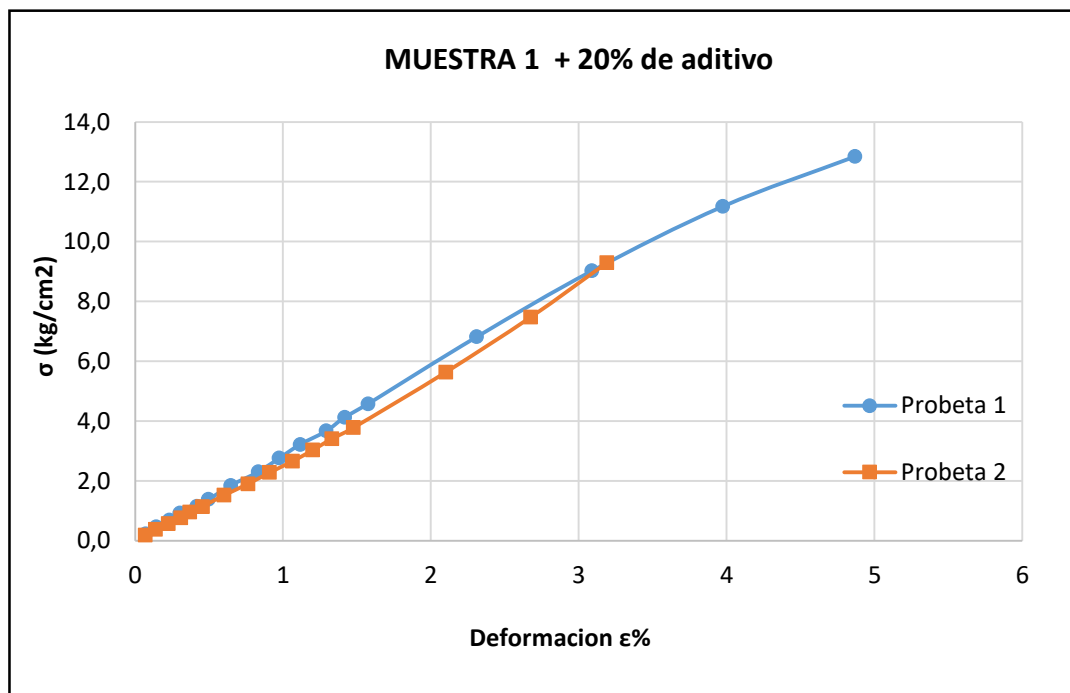


Lectura flexímetro Ld [0,01mm]	Deformación Unitaria $\epsilon = \Delta l / L_0$ [mm]	Área corregida A' [cm <sup>2</sup> ]	Carga sobre la muestra P [Kg]	Esfuerzo sobre la muestra $\sigma$ [Kg/cm <sup>2</sup> ]
8,00	0,06861063	80,85	5	0,192009192
16,00	0,13722127	80,90	10	0,383754725
26,00	0,22298456	80,97	15	0,575137729
36,00	0,30874786	81,04	20	0,766191159
43,00	0,36878216	81,09	25	0,957162196
53,00	0,45454545	81,16	30	1,147605917
70,00	0,60034305	81,28	40	1,527900126
89,00	0,76329331	81,41	50	1,906744215
106,00	0,90909091	81,53	60	2,284731414
124,00	1,06346484	81,66	70	2,661367364
140,00	1,20068611	81,77	80	3,037344168
155,00	1,32933105	81,88	90	3,412562955
172,00	1,47512864	82,00	100	3,786133876
245,00	2,10120069	82,53	150	5,643112578
312,00	2,67581475	83,01	200	7,479987331
372,00	3,19039451	83,46	250	9,300548223



### Compresión Simple

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos  
**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés  
**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén  
**Muestra:** Muestra 1 + 20% de aditivo







### Compresión Simple

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos

**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés

**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén

**Muestra:** Muestra 1 + 30% de aditivo

<b>Probeta 1</b>	
------------------	--

**Humedad de compactación** 20,70%

**Peso probeta** 1.693,50 Gr.

**Altura promedio probeta** 11,63 cm

**Diámetro promedio probeta** 10,14 cm

**Volumen promedio probeta** 939,2 cm<sup>3</sup>

**Densidad probeta húmeda** 1,80 Gr./cm<sup>3</sup>

**Densidad probeta estimada** 1,49 Gr./cm<sup>3</sup>

**Factor de corrección h/d** 1,05

**Factor de aro dinamómetro** 3,40 Kg/cm<sup>2</sup>



Lectura flexímetro Ld [0,01mm]	Deformación Unitaria $\epsilon = \Delta l / L_0$ [mm]	Área corregida A' [cm <sup>2</sup> ]	Carga sobre la muestra P [Kg]	Esfuerzo sobre la muestra $\sigma$ [Kg/cm <sup>2</sup> ]
20,00	0,00176991	66,56	5	0,232393964
36,00	0,00318584	66,65	10	0,464128653
52,00	0,00460177	66,75	15	0,69520407
64,00	0,00566372	66,82	20	0,925949849
76,00	0,00672566	66,89	25	1,156201173
88,00	0,00778761	66,96	30	1,385958042
109,00	0,00964602	67,09	40	1,844482869
129,00	0,01141593	67,21	50	2,301483126
151,00	0,01336283	67,34	60	2,756340744
175,00	0,01548673	67,49	70	3,208808494
194,00	0,01716814	67,60	80	3,660946608
214,00	0,01893805	67,72	90	4,111148105
231,00	0,02044248	67,83	100	4,560937557
311,00	0,02752212	68,32	150	6,791960811
400,00	0,03539823	68,88	200	8,982603554
493,00	0,04362832	69,47	250	11,13245374
610,00	0,0539823	70,23	289	12,7297914



### Compresión Simple

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos

**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés

**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén

**Muestra:** Muestra 1 + 30% de aditivo

#### Probeta 2

**Humedad de compactación** 23,47%

**Peso probeta** 1.798,00 Gr.

**Altura promedio probeta** 11,43 cm

**Diámetro promedio probeta** 10,03 cm

**Volumen promedio probeta** 903,1 cm<sup>3</sup>

**Densidad probeta húmeda** 1,99 Gr./cm<sup>3</sup>

**Densidad probeta estimada** 1,61 Gr./cm<sup>3</sup>

**Factor de corrección h/d** 1,14

**Factor de aro dinamómetro** 3,40 Kg/cm<sup>2</sup>



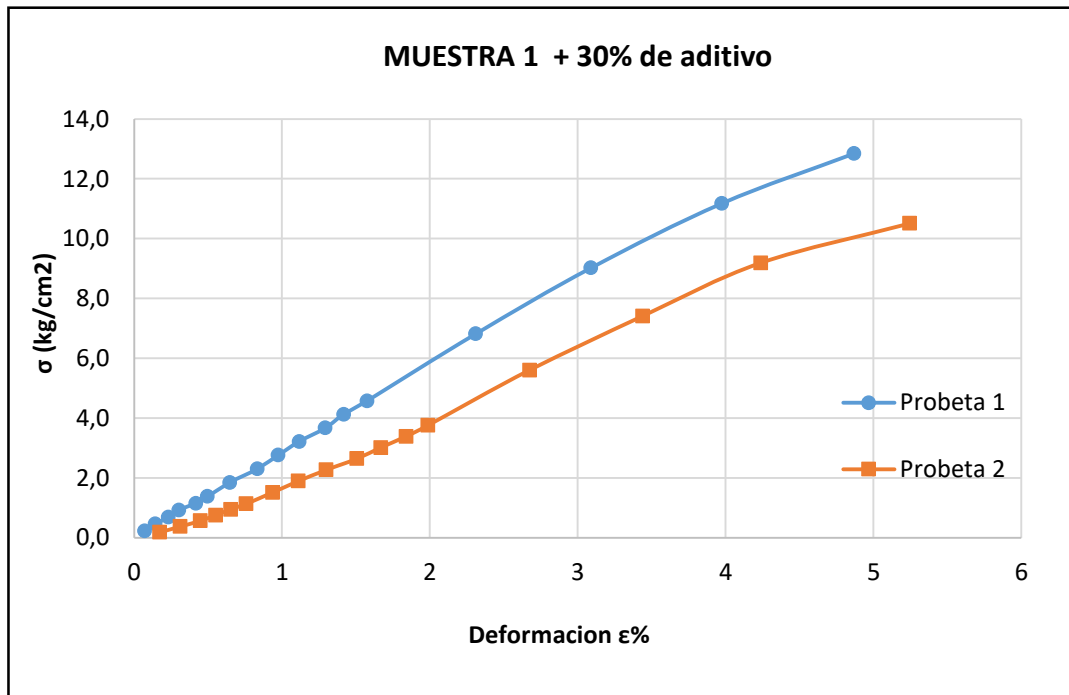
Lectura flexímetro Ld [0,01mm]	Deformación Unitaria $\epsilon = \Delta l / L_0$ [mm]	Área corregida A' [cm <sup>2</sup> ]	Carga sobre la muestra P [Kg]	Esfuerzo sobre la muestra $\sigma$ [Kg/cm <sup>2</sup> ]
20,00	0,17196905	80,77	5	0,191673791
36,00	0,30954428	80,88	10	0,382819281
52,00	0,44711952	81,00	15	0,573436472
64,00	0,55030095	81,08	20	0,763789513
76,00	0,65348237	81,16	25	0,95374633
88,00	0,7566638	81,25	30	1,143306921
109,00	0,9372313	81,40	40	1,521635653
129,00	1,10920034	81,54	50	1,898742693
151,00	1,29836629	81,69	60	2,274132757
175,00	1,50472915	81,87	70	2,647607735
194,00	1,66809974	82,00	80	3,020818563
214,00	1,84006879	82,15	90	3,39247751
231,00	1,98624248	82,27	100	3,76380627
311,00	2,67411866	82,85	150	5,606086916
400,00	3,43938091	83,51	200	7,416009195
493,00	4,23903697	84,20	250	9,193242922
610,00	5,24505589	85,10	289	10,51574255





### Compresión Simple

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos  
**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés  
**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén  
**Muestra:** Muestra 1 + 30% de aditivo





*Anexo E-2*

**MUESTRA 2**





### Compresión Simple

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos  
**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés  
**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén  
**Muestra:** Muestra 2 (Patrón)

<b>Probeta 1</b>	
<b>Humedad de compactación</b>	20,70%
<b>Peso probeta</b>	1.685,00 Gr.
<b>Altura promedio probeta</b>	11,40 cm
<b>Diámetro promedio probeta</b>	9,70 cm
<b>Volumen promedio probeta</b>	842,4 cm <sup>3</sup>
<b>Densidad probeta húmeda</b>	2,00 Gr./cm <sup>3</sup>
<b>Densidad probeta estimada</b>	1,66 Gr./cm <sup>3</sup>
<b>Factor de corrección h/d</b>	1,18
<b>Factor de aro dinamómetro</b>	3,40 Kg/cm <sup>2</sup>



Lectura flexímetro Ld [0,01mm]	Deformación Unitaria $\epsilon = \Delta l / L_0$ [mm]	Área corregida A' [cm <sup>2</sup> ]	Carga sobre la muestra P [Kg]	Esfuerzo sobre la muestra $\sigma$ [Kg/cm <sup>2</sup> ]
14,00	0,00122807	74,72	5	0,21265191
34,00	0,00298246	74,85	10	0,424556755
64,00	0,00561404	75,05	15	0,635154237
90,00	0,00789474	75,22	20	0,844929948
124,00	0,01087719	75,44	25	1,052987411
165,00	0,01447368	75,72	30	1,258990447
250,00	0,02192982	76,30	35	1,457709603
354,00	0,03105263	77,02	40	1,650414891
390,00	0,03421053	77,27	41	1,686161927
410,00	0,03596491	77,41	42	1,724150157
560,00	0,04912281	78,48	43	1,741108521
620,00	0,05438596	78,92	44	1,771738165
705,00	0,06184211	79,54	45	1,797717333



### Compresión Simple

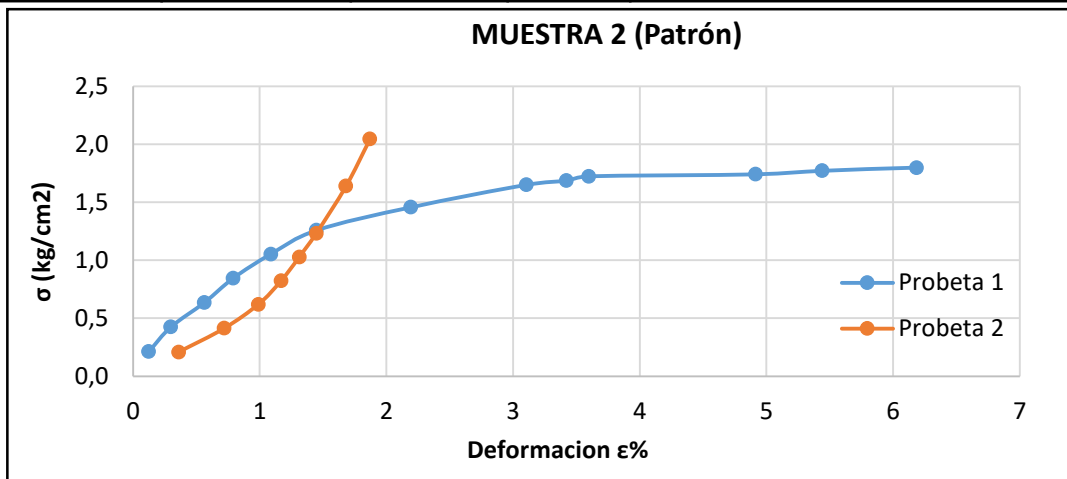
**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos  
**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés  
**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén  
**Muestra:** Muestra 2 (Patrón)

#### Probeta 2

**Humedad de compactación** 22,48%  
**Peso probeta** 1.763,50 Gr.  
**Altura promedio probeta** 11,87 cm  
**Diámetro promedio probeta** 10,27 cm  
**Volumen promedio probeta** 983,3 cm<sup>3</sup>  
**Densidad probeta húmeda** 1,79 Gr./cm<sup>3</sup>  
**Densidad probeta estimada** 1,46 Gr./cm<sup>3</sup>  
**Factor de corrección h/d** 1,16  
**Factor de aro dinamómetro** 3,40 Kg/cm<sup>2</sup>



Lectura flexímetro Ld [0,01mm]	Deformación Unitaria $\epsilon = \Delta l / L_0$ [mm]	Área corregida A' [cm <sup>2</sup> ]	Carga sobre la muestra P [Kg]	Esfuerzo sobre la muestra $\sigma$ [Kg/cm <sup>2</sup> ]
40,00	0,35087719	74,89	5	0,212166318
80,00	0,70175439	75,15	10	0,422838506
110,00	0,96491228	75,35	15	0,632576864
130,00	1,14035088	75,48	20	0,84194169
146,00	1,28070175	75,59	25	1,050932984
161,00	1,4122807	75,69	30	1,259438685
179,00	1,57017544	75,81	35	1,46699188
187,00	1,64035088	75,87	40	1,675366845





**Compresión Simple**

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos  
**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés  
**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén  
**Muestra:** Muestra 2 + 10% aditivo

<b>Probeta 1</b>	
<b>Humedad de compactación</b>	20,70%
<b>Peso probeta</b>	1.762,00 Gr.
<b>Altura promedio probeta</b>	11,60 cm
<b>Diámetro promedio probeta</b>	10,14 cm
<b>Volumen promedio probeta</b>	936,8 cm <sup>3</sup>
<b>Densidad probeta húmeda</b>	1,88 Gr./cm <sup>3</sup>
<b>Densidad probeta estimada</b>	1,56 Gr./cm <sup>3</sup>
<b>Factor de corrección h/d</b>	1,14
<b>Factor de aro dinamómetro</b>	3,40 Kg/cm <sup>2</sup>



Lectura flexímetro Ld [0,01mm]	Deformación Unitaria $\epsilon = \Delta l / L_0$ [mm]	Área corregida A' [cm <sup>2</sup> ]	Carga sobre la muestra P [Kg]	Esfuerzo sobre la muestra $\sigma$ [Kg/cm <sup>2</sup> ]
11,00	0,00098832	74,32	5	0,208700518
25,00	0,00224618	74,41	10	0,416875483
40,00	0,00359389	74,51	15	0,624468587
56,00	0,00503145	74,62	20	0,831423521
69,00	0,00619946	74,70	25	1,038059369
86,00	0,00772686	74,82	30	1,243756731
115,00	0,01033243	75,02	40	1,653987733
145,00	0,01302785	75,22	50	2,061853751
170,00	0,01527403	75,39	60	2,468593585
198,00	0,01778976	75,59	70	2,872668118
230,00	0,02066487	75,81	80	3,273439182
264,00	0,02371968	76,05	90	3,671132011
298,00	0,02677448	76,28	100	4,066272158
400,00	0,0359389	77,01	120	4,833578314
500,00	0,04492363	77,73	140	5,586619484
660,00	0,05929919	78,92	150	5,895569076
800,00	0,07187781	79,99	155	6,01062746



### Compresión Simple

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos  
**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés  
**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén  
**Muestra:** Muestra 2 + 10% aditivo

#### Probeta 2

**Humedad de compactación** 27,70%  
**Peso probeta** 1.767,00 Gr.  
**Altura promedio probeta** 10,69 cm  
**Diámetro promedio probeta** 10,15 cm  
**Volumen promedio probeta** 865,0 cm<sup>3</sup>  
**Densidad probeta húmeda** 2,04 Gr./cm<sup>3</sup>  
**Densidad probeta estimada** 1,60 Gr./cm<sup>3</sup>  
**Factor de corrección h/d** 1,05  
**Factor de aro dinamómetro** 3,40 Kg/cm<sup>2</sup>



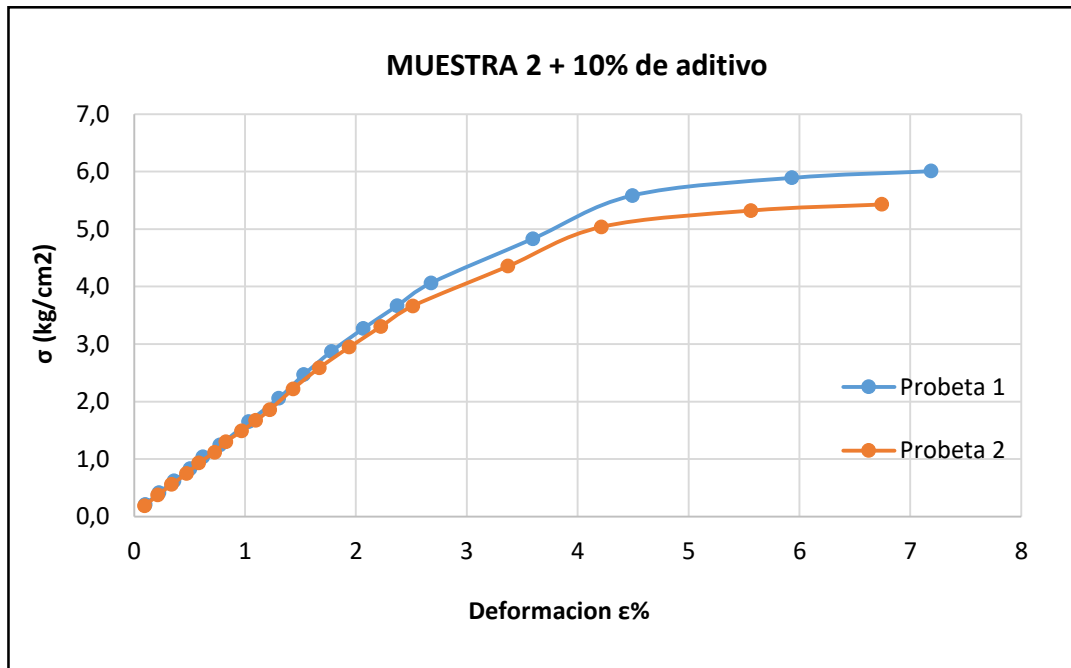
Lectura flexímetro Ld [0,01mm]	Deformación Unitaria $\epsilon = \Delta l / L_0$ [mm]	Área corregida A' [cm <sup>2</sup> ]	Carga sobre la muestra P [Kg]	Esfuerzo sobre la muestra $\sigma$ [Kg/cm <sup>2</sup> ]
11,00	0,0009271	82,83	5	0,187751891
25,00	0,00210704	82,93	10	0,375060299
40,00	0,00337126	83,04	15	0,561877708
56,00	0,00471976	83,15	20	0,748156601
69,00	0,00581542	83,24	25	0,934166236
86,00	0,00724821	83,36	30	1,119383936
98,00	0,00825959	83,45	35	1,304617475
115,00	0,00969237	83,57	40	1,488837338
130,00	0,0109566	83,67	45	1,672803781
145,00	0,01222082	83,78	50	1,856295063
170,00	0,01432786	83,96	60	2,222802468
198,00	0,01668774	84,16	70	2,587060777
230,00	0,01938475	84,39	80	2,948531476
264,00	0,02225032	84,64	90	3,307404629
298,00	0,02511589	84,89	100	3,66412372
400,00	0,0337126	85,64	120	4,358175338
500,00	0,04214075	86,40	140	5,040189548
660,00	0,05562579	87,63	150	5,324177351
800,00	0,0674252	88,74	155	5,432909993





### Compresión Simple

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos  
**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés  
**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén  
**Muestra:** Muestra 2 + 10% aditivo







**Compresión Simple**

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos  
**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés  
**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén  
**Muestra:** Muestra 2 + 20% aditivo

<b>Probeta 1</b>	
<b>Humedad de compactación</b>	22,80%
<b>Peso probeta</b>	1.745,00 Gr.
<b>Altura promedio probeta</b>	11,64 cm
<b>Diámetro promedio probeta</b>	10,15 cm
<b>Volumen promedio probeta</b>	941,8 cm <sup>3</sup>
<b>Densidad probeta húmeda</b>	1,85 Gr./cm <sup>3</sup>
<b>Densidad probeta estimada</b>	1,51 Gr./cm <sup>3</sup>
<b>Factor de corrección h/d</b>	1,15
<b>Factor de aro dinamómetro</b>	3,40 Kg/cm <sup>2</sup>



Lectura flexímetro Ld [0,01mm]	Deformación Unitaria $\epsilon = \Delta l / L_0$ [mm]	Área corregida A' [cm <sup>2</sup> ]	Carga sobre la muestra P [Kg]	Esfuerzo sobre la muestra $\sigma$ [Kg/cm <sup>2</sup> ]
8,00	0,00071878	74,30	5	0,2086487
24,00	0,00215633	74,40	10	0,41669708
39,00	0,00350404	74,50	15	0,62420142
52,00	0,00467206	74,59	20	0,83129304
65,00	0,00584007	74,68	25	1,037896901
75,00	0,00673854	74,75	30	1,244350681
87,00	0,00781671	74,83	40	1,657333281
102,00	0,00916442	74,93	50	2,068852602
120,00	0,01078167	75,05	60	2,478570963
143,00	0,01284816	75,21	70	2,885625404
160,00	0,01437556	75,32	80	3,292754885
181,00	0,01626235	75,47	90	3,697257966
205,00	0,01841869	75,63	100	4,099059608
296,00	0,02659479	76,27	150	6,097374616
375,00	0,03369272	76,83	200	8,070551227
452,00	0,04061096	77,38	250	10,01596304
547,00	0,04914645	78,08	300	11,91222366
653,00	0,05867026	78,87	350	13,75839508
765,00	0,06873315	79,72	396	15,40023261



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL**

**FACULTAD REGIONAL RAFAELA**

Departamento de Ingeniería Civil

Laboratorio

**Compresión Simple**

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos  
**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés  
**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén  
**Muestra:** Muestra 2 + 20% aditivo

**Probeta 2**

**Humedad de compactación** 22,80%  
**Peso probeta** 1.738,00 Gr.  
**Altura promedio probeta** 11,64 cm  
**Diámetro promedio probeta** 10,15 cm  
**Volumen promedio probeta** 941,8 cm<sup>3</sup>  
**Densidad probeta húmeda** 1,85 Gr./cm<sup>3</sup>  
**Densidad probeta estimada** 1,50 Gr./cm<sup>3</sup>  
**Factor de corrección h/d** 1,15  
**Factor de aro dinamómetro** 3,40 Kg/cm<sup>2</sup>

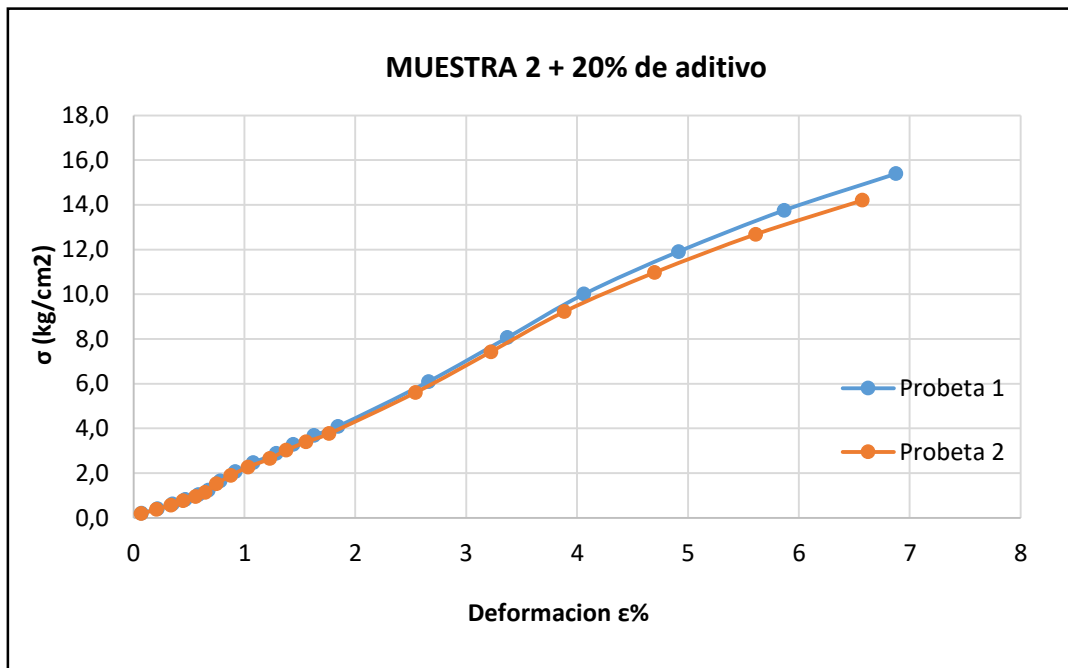


Lectura flexímetro Ld [0,01mm]	Deformación Unitaria $\epsilon = \Delta l / L_0$ [mm]	Área corregida A' [cm <sup>2</sup> ]	Carga sobre la muestra P [Kg]	Esfuerzo sobre la muestra $\sigma$ [Kg/cm <sup>2</sup> ]
8,00	0,06872852	80,85	5	0,191898424
24,00	0,20618557	80,96	10	0,38326893
39,00	0,33505155	81,06	15	0,57416101
52,00	0,4467354	81,16	20	0,764690145
65,00	0,55841924	81,25	25	0,954790347
75,00	0,6443299	81,32	30	1,144758569
87,00	0,74742268	81,40	40	1,524761002
102,00	0,87628866	81,51	50	1,903476634
120,00	1,03092784	81,63	60	2,28060851
143,00	1,22852234	81,80	70	2,655397747
160,00	1,37457045	81,92	80	3,030252974
181,00	1,55498282	82,07	90	3,402798557
205,00	1,76116838	82,24	100	3,772968506
296,00	2,54295533	82,90	150	5,6144147
375,00	3,22164948	83,48	200	7,433754302
452,00	3,88316151	84,06	250	9,228677666
547,00	4,69931271	84,78	300	10,98037769
653,00	5,60996564	85,59	350	12,68802951
765,00	6,57216495	86,48	396	14,20926005



### Compresión Simple

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos  
**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés  
**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén  
**Muestra:** Muestra 2 + 20% aditivo





### Compresión Simple

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos  
**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés  
**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén  
**Muestra:** Muestra 2 + 30% aditivo

<b>Probeta 1</b>	
<b>Humedad de compactación</b>	19,00%
<b>Peso probeta</b>	1.775,00 Gr.
<b>Altura promedio probeta</b>	11,55 cm
<b>Diámetro promedio probeta</b>	10,13 cm
<b>Volumen promedio probeta</b>	930,9 cm <sup>3</sup>
<b>Densidad probeta húmeda</b>	1,91 Gr./cm <sup>3</sup>
<b>Densidad probeta estimada</b>	1,60 Gr./cm <sup>3</sup>
<b>Factor de corrección h/d</b>	1,14
<b>Factor de aro dinamómetro</b>	3,40 Kg/cm <sup>2</sup>



Lectura flexímetro Ld [0,01mm]	Deformación Unitaria $\epsilon = \Delta l / L_0$ [mm]	Área corregida A' [cm <sup>2</sup> ]	Carga sobre la muestra P [Kg]	Esfuerzo sobre la muestra $\sigma$ [Kg/cm <sup>2</sup> ]
8,00	0,00069264	80,53	5	0,192101024
25,00	0,0021645	80,65	10	0,383636163
30,00	0,0025974	80,68	15	0,57520459
52,00	0,00450216	80,84	20	0,765474812
65,00	0,00562771	80,93	25	0,955761677
75,00	0,00649351	81,00	30	1,145915394
86,00	0,00744589	81,08	40	1,52642255
102,00	0,00883117	81,19	50	1,905365204
120,00	0,01038961	81,32	60	2,282843216
143,00	0,01238095	81,48	70	2,657957829
162,00	0,01402597	81,62	80	3,03260642
183,00	0,01584416	81,77	90	3,405390923
204,00	0,01766234	81,92	100	3,776777358
298,00	0,02580087	82,61	150	5,618230941
377,00	0,03264069	83,19	200	7,438380649
453,00	0,03922078	83,76	250	9,234729937
547,00	0,04735931	84,48	300	10,98780573
655,00	0,05670996	85,31	350	12,69328068
764,00	0,06614719	86,17	400	14,36147385
780,00	0,06753247	86,30	416	14,91377678



### Compresión Simple

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos  
**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés  
**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén  
**Muestra:** Muestra 2 + 30% aditivo

<b>Probeta 2</b>
------------------

**Humedad de compactación** 19,00%  
**Peso probeta** 1.738,00 Gr.  
**Altura promedio probeta** 11,34 cm  
**Diámetro promedio probeta** 9,93 cm  
**Volumen promedio probeta** 878,2 cm<sup>3</sup>  
**Densidad probeta húmeda** 1,98 Gr./cm<sup>3</sup>  
**Densidad probeta estimada** 1,66 Gr./cm<sup>3</sup>  
**Factor de corrección h/d** 1,14  
**Factor de aro dinamómetro** 3,40 Kg/cm<sup>2</sup>

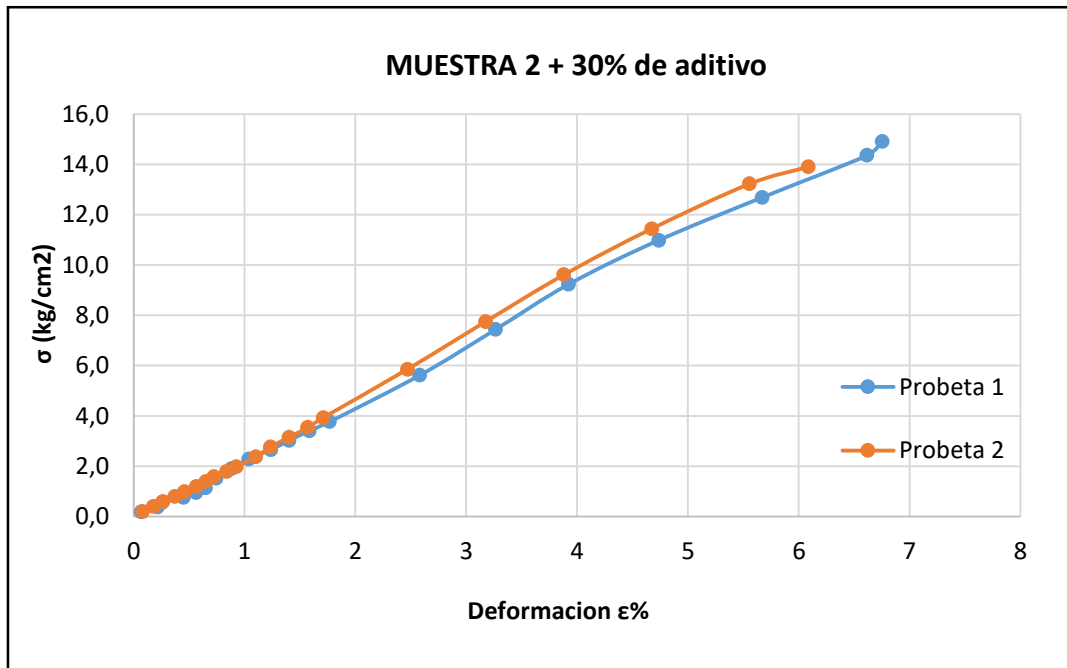


Lectura flexímetro Ld [0,01mm]	Deformación Unitaria $\epsilon = \Delta l / L_0$ [mm]	Área corregida A' [cm <sup>2</sup> ]	Carga sobre la muestra P [Kg]	Esfuerzo sobre la muestra $\sigma$ [Kg/cm <sup>2</sup> ]
9,00	0,00079365	77,47	5	0,199962656
20,00	0,00176367	77,54	10	0,399537068
30,00	0,0026455	77,61	15	0,598776181
42,00	0,0037037	77,69	20	0,797521166
52,00	0,00458554	77,76	25	0,996019088
64,00	0,00564374	77,84	30	1,193952293
74,00	0,00652557	77,91	35	1,391709023
82,00	0,00723104	77,97	40	1,589395165
95,00	0,00837743	78,06	45	1,786004815
105,00	0,00925926	78,13	50	1,982685055
125,00	0,01102293	78,27	60	2,37498669
140,00	0,01234568	78,37	70	2,767111852
159,00	0,01402116	78,51	80	3,157048737
178,00	0,01569665	78,64	90	3,545644419
194,00	0,01710758	78,75	100	3,933957743
280,00	0,02469136	79,36	150	5,85540633
360,00	0,03174603	79,94	200	7,75073677
440,00	0,03880071	80,53	250	9,617831374
530,00	0,04673721	81,20	300	11,4461017
630,00	0,05555556	81,96	350	13,23025354
690,00	0,06084656	82,42	370	13,90791359



### Compresión Simple

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos  
**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés  
**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén  
**Muestra:** Muestra 2 + 30% aditivo









*Anexo F*

**ENSAYO CBR**



*Anexo F-1*

**MUESTRA 1**

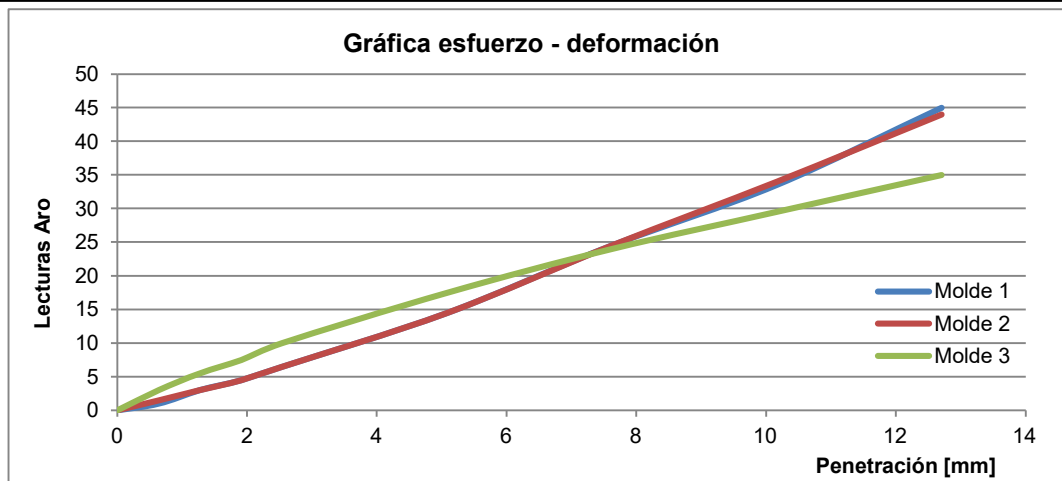




### DETERMINACIÓN VALOR SOPORTE RELATIVO

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos  
**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés  
**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén  
**Muestra:** Muestra 1 (Patrón)

Penetración										
Constante del aro:		3,4						[Kg/división]		
Penetración [mm]		0	0,64	1,27	1,91	2,54	5,08	7,62	10,16	12,70
Factor de Cálculo K						0,0738	0,0492	0,0389	0,0321	0,0284
Molde 1 56 golpes	Lectura dial	0	1	3	4,5	6,5	14,5	24,5	33,5	45
	Lectura corregida	-	-	-	-	22,10	49,30	83,30	113,90	153,00
	Lectura corregida x factor	-	-	-	-	<b>1,63</b>	<b>2,43</b>	<b>3,24</b>	<b>3,66</b>	<b>4,35</b>
Molde 2 56 golpes	Lectura dial	0	1,5	3	4,5	6,5	14,5	24,5	34	44
	Lectura corregida	-	-	-	-	22,10	49,30	83,30	115,60	149,60
	Lectura corregida x factor	-	-	-	-	<b>1,63</b>	<b>2,43</b>	<b>3,24</b>	<b>3,71</b>	<b>4,25</b>
Molde 3 56 golpes	Lectura dial	0	3	5,5	7,5	10	14	24	29,5	35
	Lectura corregida	-	-	-	-	34,00	47,60	81,60	100,30	119,00
	Lectura corregida x factor	-	-	-	-	<b>2,51</b>	<b>2,34</b>	<b>3,17</b>	<b>3,22</b>	<b>3,38</b>





### DETERMINACIÓN HINCHAMIENTO

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos

**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés

**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén

**Muestra:** Muestra 1 (Patrón)

<b>Compactación</b>			
Muestra	1	2	3
N° de Golpes	56	56	56
Peso molde [gr]	6690	7050	6645
Peso suelo + molde [gr]	10870	11175	10740
Peso suelo compactado [gr]	4180	4125	4095
Volumen molde [cm <sup>3</sup> ]	2098,15	2086,1	2086,1
Densidad húmeda [gr/cm <sup>3</sup> ]	1,99	1,98	1,963
Densidad seca [gr/cm <sup>3</sup> ]	1,65	1,64	1,617
<b>Humedad de moldeo</b>			
Muestra	1	2	3
Pesafiltro	21	4	8
Peso pesafiltro [gr]	6,5	6,5	6,5
Peso pesafiltro + suelo húmedo [gr]	334,5	408,5	341,5
Peso pesafiltro + suelo seco [gr]	278,5	339,5	285,5
Humedad [%]	20,59	20,72	21,38
<b>Hinchamiento</b>			
Muestra	1	2	3
Altura Inicial [mm]	116,7	116,8	116,7
Lectura Inicial [mm]	5,16	5,9	4,50
Lectura 1° día [mm]	5,8	6,93	5,05
Lectura 2° día [mm]	5,8	6,93	5,09
Lectura 3° día [mm]	5,8	6,93	5,11
Lectura 4° día [mm]	5,83	6,93	5,11
Hinchamiento [%]	0,57	0,88	0,52
<b>Humedad final</b>			
Muestra	1	2	3
Pesafiltro	22	3	H
Peso pesafiltro [gr]	6,5	6,5	8,5
Peso pesafiltro + suelo húmedo [gr]	424	532,5	492,5
Peso pesafiltro + suelo seco [gr]	350,5	433	396,5
Humedad [%]	21,37	23,33	24,74





**DETERMINACIÓN VALOR SOPORTE RELATIVO**

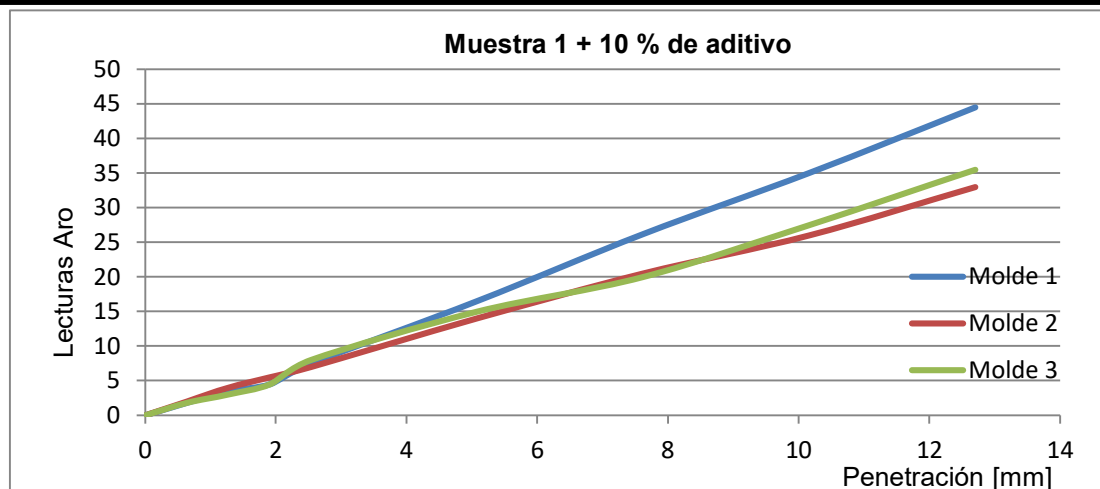
**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos

**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés

**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén

**Muestra:** Muestra 1 + 10% aditivo

<b>Penetración</b>										
Constante del aro:		3,4						[Kg/división]		
Penetración [mm]		0	0,64	1,27	1,91	2,54	5,08	7,62	10,16	12,70
Factor de Cálculo K						0,0738	0,0492	0,0389	0,0321	0,0284
Molde 1 56 golpes	Lectura dial	0	1,8	3,5	4,5	7,5	16,5	26,2	35	44,5
	Lectura corregida	-	-	-	-	25,50	56,10	89,08	119,00	151,30
	Lectura corregida x factor	-	-	-	-	<b>1,88</b>	<b>2,76</b>	<b>3,47</b>	<b>3,82</b>	<b>4,30</b>
Molde 2 56 golpes	Lectura dial	0	2	4	5,5	7	14	20,5	26	33
	Lectura corregida	-	-	-	-	23,80	47,60	69,70	88,40	112,20
	Lectura corregida x factor	-	-	-	-	<b>1,76</b>	<b>2,34</b>	<b>2,71</b>	<b>2,84</b>	<b>3,19</b>
Molde 3 56 golpes	Lectura dial	0	1,8	3	4,5	8	15	20	27,5	35,5
	Lectura corregida	-	-	-	-	27,20	51,00	68,00	93,50	120,70
	Lectura corregida x factor	-	-	-	-	<b>2,01</b>	<b>2,51</b>	<b>2,65</b>	<b>3,00</b>	<b>3,43</b>





### DETERMINACIÓN HINCHAMIENTO

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos

**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés

**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén

**Muestra:** Muestra 1 + 10% aditivo

<b>Compactación</b>			
Muestra	1	2	3
N° de Golpes	56	56	56,0
Peso molde [gr]	6640	6590	7055
Peso suelo + molde [gr]	10805	10775	11145
Peso suelo compactado [gr]	4165	4185	4090,0
Volumen molde [cm <sup>3</sup> ]	2079,19	2113,44	2086,1
Densidad húmeda [gr/cm <sup>3</sup> ]	2,00	1,98	1,96
Densidad seca [gr/cm <sup>3</sup> ]	1,70	1,67	1,62
<b>Humedad de moldeo</b>			
Muestra	1	2	3
Pesafiltro	7	3	L
Peso pesafiltro [gr]	6,5	6,5	10
Peso pesafiltro + suelo húmedo [gr]	504,5	407,5	498
Peso pesafiltro + suelo seco [gr]	429	345,5	412
Humedad [%]	17,87	18,29	21,39
<b>Hinchamiento</b>			
Muestra	1	2	3
Altura Inicial [mm]	116,8	116,7	116,80
Lectura Inicial [mm]	5,85	4,68	7,55
Lectura 1° día [mm]	5,85	4,7	7,55
Lectura 2° día [mm]	5,85	4,7	7,55
Lectura 3° día [mm]	5,86	4,7	7,55
Lectura 4° día [mm]	5,86	4,7	7,56
Hinchamiento [%]	0,01	0,02	0,01
<b>Humedad final</b>			
Muestra	1	2	3
Pesafiltro	22	3	14
Peso pesafiltro [gr]	6,5	6,5	6,5
Peso pesafiltro + suelo húmedo [gr]	424	532,5	464
Peso pesafiltro + suelo seco [gr]	350,5	433	379,5
Humedad [%]	21,37	23,33	22,65



**DETERMINACIÓN VALOR SOPORTE RELATIVO**

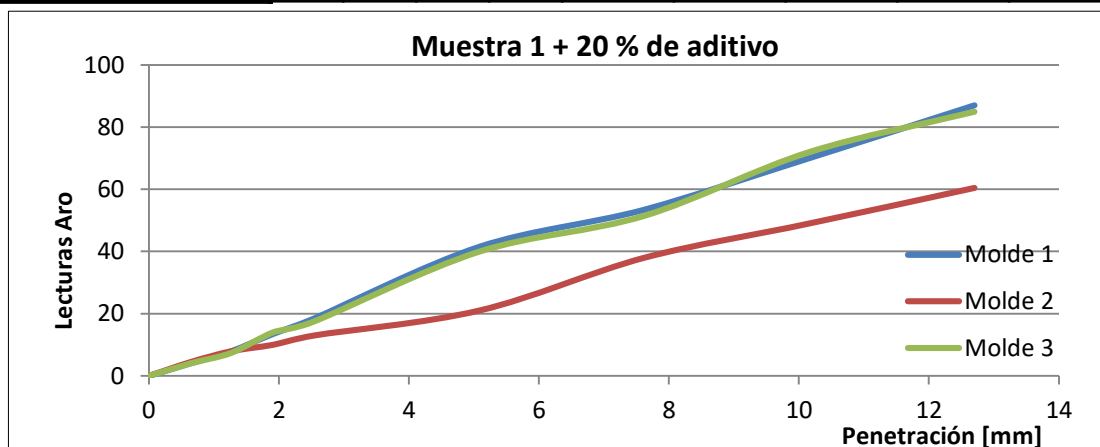
**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos

**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés

**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén

**Muestra:** Muestra 1 + 20% de aditivo

<b>Penetración</b>										
Constante del aro:		3,4						[Kg/división]		
Penetración [mm]		0	0,64	1,27	1,91	2,54	5,08	7,62	10,16	12,70
Factor de Cálculo K						0,0738	0,0492	0,0389	0,0321	0,0284
Molde 1 56 golpes	Lectura dial	0	4	8	14	18,5	41,5	53,5	70,05	87
	Lectura corregida	-	-	-	-	62,90	141,10	181,90	238,17	295,80
	Lectura corregida x factor	-	-	-	-	<b>4,64</b>	<b>6,94</b>	<b>7,08</b>	<b>7,65</b>	<b>8,40</b>
Molde 2 56 golpes	Lectura dial	0	5	8	10	13	21	38	49	61
	Lectura corregida	-	-	-	-	44,20	71,40	129,20	166,60	205,70
	Lectura corregida x factor	-	-	-	-	<b>3,26</b>	<b>3,51</b>	<b>5,03</b>	<b>5,35</b>	<b>5,84</b>
Molde 3 56 golpes	Lectura dial	0	4	7,5	14	17,5	40	51,5	72	85
	Lectura corregida	-	-	-	-	59,50	136,00	175,10	244,80	289,00
	Lectura corregida x factor	-	-	-	-	<b>4,39</b>	<b>6,69</b>	<b>6,81</b>	<b>7,86</b>	<b>8,21</b>





### DETERMINACIÓN HINCHAMIENTO

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos

**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés

**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén

**Muestra:** Muestra 1 + 20% de aditivo

<b>Compactación</b>			
Muestra	1	2	3
N° de Golpes	56	56	56
Peso molde [gr]	7055	6640	6645
Peso suelo + molde [gr]	11220	10845	10740
Peso suelo compactado [gr]	4165	4205	4095
Volumen molde [cm <sup>3</sup> ]	2086,1	2079,2	2088,5
Densidad húmeda [gr/cm <sup>3</sup> ]	2,00	2,02	1,96
Densidad seca [gr/cm <sup>3</sup> ]	1,67	1,67	1,62
<b>Humedad de moldeo</b>			
Muestra	1	2	3
Pesafiltro	21	62	8
Peso pesafiltro [gr]	6	6,5	6,50
Peso pesafiltro + suelo húmedo [gr]	266	386,5	341,50
Peso pesafiltro + suelo seco [gr]	223,5	320,5	282,50
Humedad [%]	19,54	21,02	21,38
<b>Hinchamiento</b>			
Muestra	1	2	3
Altura Inicial [mm]	116,8	116,8	116,70
Lectura Inicial [mm]	6,19	4,13	4,85
Lectura 1° día [mm]	6,19	4,13	5,05
Lectura 2° día [mm]	6,22	4,14	5,09
Lectura 3° día [mm]	6,39	4,3	5,11
Lectura 4° día [mm]	6,45	4,34	4,99
Hinchamiento [%]	0,22	0,18	0,12
<b>Humedad final</b>			
Muestra	1	2	3
Pesafiltro	40	5	G
Peso pesafiltro [gr]	6	6,5	8,50
Peso pesafiltro + suelo húmedo [gr]	420	518	601,00
Peso pesafiltro + suelo seco [gr]	341,5	421,5	487,50
Humedad [%]	23,40	23,25	23,70



**DETERMINACIÓN VALOR SOPORTE RELATIVO**

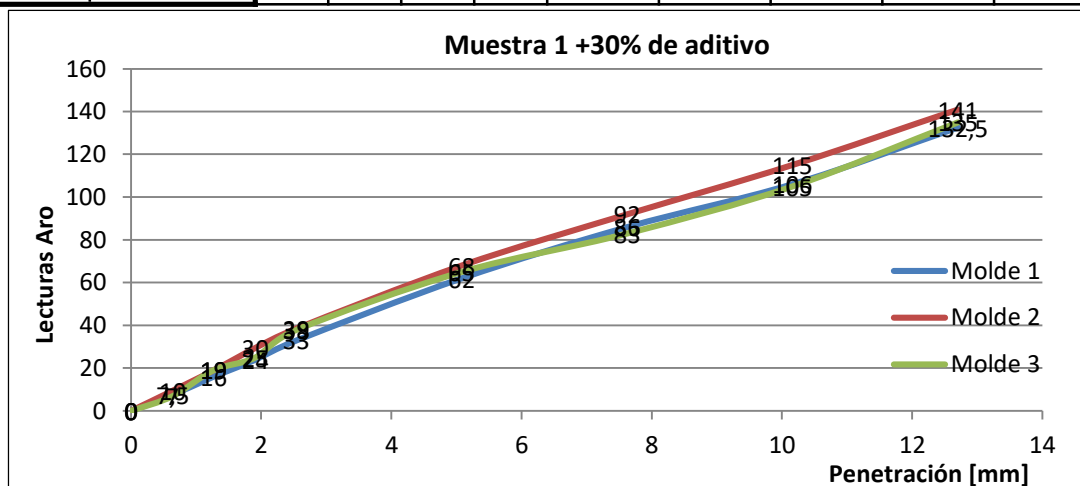
**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos

**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés

**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén

**Muestra:** Muestra 1 + 30% de aditivo

<b>Penetración</b>										
Constante del aro:		3,4						[Kg/división]		
Penetración [mm]		0	0,64	1,27	1,91	2,54	5,08	7,62	10,16	12,70
Factor de Cálculo K						0,0738	0,0492	0,0389	0,0321	0,0284
Molde 1 56 golpes	Lectura dial	0	7,5	16	24	33	62	86	106	132,5
	Lectura corregida	-	-	-	-	112,20	210,80	292,40	360,40	450,50
	Lectura corregida x factor	-	-	-	-	<b>8,28</b>	<b>10,37</b>	<b>11,37</b>	<b>11,57</b>	<b>12,79</b>
Molde 2 56 golpes	Lectura dial	0	10	19	30	39	68	92	115	141
	Lectura corregida	-	-	-	-	130,90	231,20	312,80	391,00	479,40
	Lectura corregida x factor	-	-	-	-	<b>9,66</b>	<b>11,38</b>	<b>12,17</b>	<b>12,55</b>	<b>13,61</b>
Molde 3 56 golpes	Lectura dial	0	7	19	25	38	65	83	105	135
	Lectura corregida	-	-	-	-	129,20	221,00	282,20	357,00	459,00
	Lectura corregida x factor	-	-	-	-	<b>10</b>	<b>10,87</b>	<b>10,98</b>	<b>11,46</b>	<b>13,04</b>





**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL**  
**FACULTAD REGIONAL RAFAELA**  
 Departamento de Ingeniería Civil  
 Laboratorio

**DETERMINACIÓN HINCHAMIENTO**

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos

**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés

**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén

**Muestra:** Muestra 1 + 30% de aditivo

<b>Compactación</b>			
Muestra	1	2	3
N° de Golpes	56	56	56
Peso molde [gr]	5850	6700	6645
Peso suelo + molde [gr]	11135	11000	10500
Peso suelo compactado [gr]	5285	4300	4500
Volumen molde [cm <sup>3</sup> ]	2105,5	2115,67	2086,61
Densidad húmeda [gr/cm <sup>3</sup> ]	2,51	2,03	2,16
Densidad seca [gr/cm <sup>3</sup> ]	2,10	1,71	1,75
<b>Humedad de moldeo</b>			
Muestra	1	2	3
Pesafiltro	2	4	J
Peso pesafiltro [gr]	6,5	6,5	10
Peso pesafiltro + suelo húmedo [gr]	217	276,5	324,5
Peso pesafiltro + suelo seco [gr]	183	233,5	265,5
Humedad [%]	19,3	18,9	23,1
<b>Hinchamiento</b>			
Muestra	1	2	3
Altura Inicial [mm]	116,8	116,9	116,7
Lectura Inicial [mm]	6,65	5,39	4,70
Lectura 1° día [mm]	6,65	5,39	4,78
Lectura 2° día [mm]	6,65	5,39	4,78
Lectura 3° día [mm]	6,65	5,39	4,78
Lectura 4° día [mm]	6,65	5,39	4,78
Hinchamiento [%]	0	0	0,068552
<b>Humedad final</b>			
Muestra	1	2	3
Pesafiltro	40	5	H
Peso pesafiltro [gr]	6	6,5	9,5
Peso pesafiltro + suelo húmedo [gr]	420	518	316,5
Peso pesafiltro + suelo seco [gr]	340,5	441,5	264,5
Humedad [%]	23,77	17,59	20,39

*Anexo F-2*

***MUESTRA 2***







**DETERMINACIÓN VALOR SOPORTE RELATIVO**

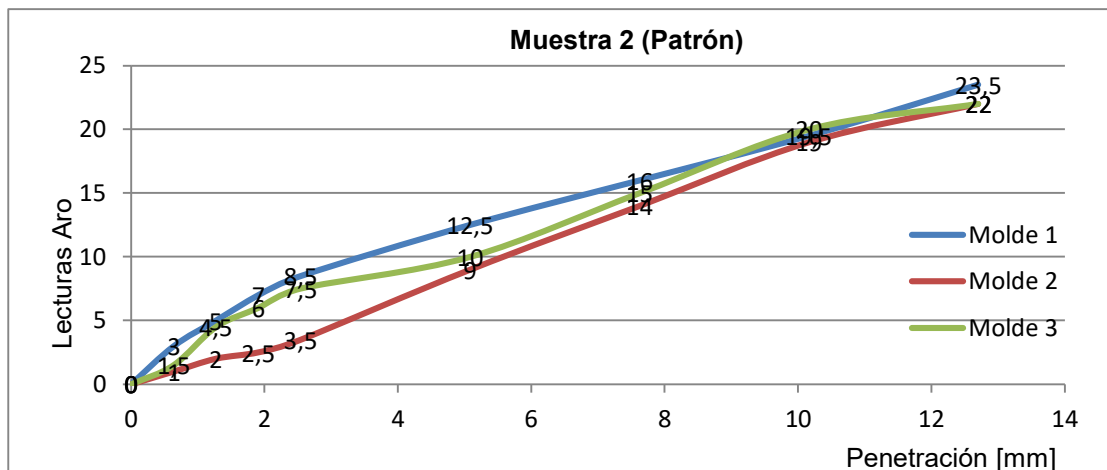
**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos

**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés

**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén

**Muestra:** Muestra 2 (Patrón)

<b>Penetración</b>										
Constante del aro:		3,4						[Kg/división]		
Penetración [mm]		0	0,64	1,27	1,91	2,54	5,08	7,62	10,16	12,70
Factor de Cálculo K						0,0738	0,0492	0,0389	0,0321	0,0284
Molde 1 56 golpes	Lectura dial	0	3	5	7	8,5	12,5	16	19,5	23,5
	Lectura corregida	-	-	-	-	28,90	42,50	54,40	66,30	79,90
	Lectura corregida x factor	-	-	-	-	<b>2,13</b>	<b>2,09</b>	<b>2,12</b>	<b>2,13</b>	<b>2,27</b>
Molde 2 56 golpes	Lectura dial	0	1	2	2,5	3,5	9	14	19	22
	Lectura corregida	-	-	-	-	11,90	30,60	47,60	64,60	74,80
	Lectura corregida x factor	-	-	-	-	<b>0,88</b>	<b>1,51</b>	<b>1,85</b>	<b>2,07</b>	<b>2,12</b>
Molde 3 56 golpes	Lectura dial	0	1,5	4,5	6	7,5	10	15	20	22
	Lectura corregida	-	-	-	-	25,50	34,00	51,00	68,00	74,80
	Lectura corregida x factor	-	-	-	-	<b>1,88</b>	<b>1,67</b>	<b>1,98</b>	<b>2,18</b>	<b>2,12</b>





### DETERMINACIÓN HINCHAMIENTO

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos

**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés

**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén

**Muestra:** Muestra 2 (Patrón)

<b>Compactación</b>			
Muestra	1	2	3
N° de Golpes	56	56	56
Peso molde [gr]	6645	6590	6690
Peso suelo + molde [gr]	10700	10700	10850
Peso suelo compactado [gr]	4055	4110	4160
Volumen molde [cm <sup>3</sup> ]	2079,19	2113,44	2098,15
Densidad húmeda [gr/cm <sup>3</sup> ]	1,95	1,94	1,98
Densidad seca [gr/cm <sup>3</sup> ]	1,55	1,56	1,61
<b>Humedad de moldeo</b>			
Muestra	1	2	3
Pesafiltro	2	7	35
Peso pesafiltro [gr]	6,5	6,5	6,50
Peso pesafiltro + suelo húmedo [gr]	284	269,5	346,50
Peso pesafiltro + suelo seco [gr]	227,5	217,5	282,00
Humedad [%]	25,57	24,64	23,41
<b>Hinchamiento</b>			
Muestra	1	2	3
Altura Inicial [mm]	116,8	116,7	116,70
Lectura Inicial [mm]	6,13	4,57	4,39
Lectura 1° día [mm]	6,13	4,61	4,40
Lectura 2° día [mm]	6,16	4,61	4,46
Lectura 3° día [mm]	6,16	4,61	4,46
Lectura 4° día [mm]	6,18	4,61	4,46
Hinchamiento [%]	0,043	0,034	0,06
<b>Humedad final</b>			
Muestra	1	2	3
Pesafiltro	2	7	9
Peso pesafiltro [gr]	6,5	6,5	6,50
Peso pesafiltro + suelo húmedo [gr]	284	269,5	256,50
Peso pesafiltro + suelo seco [gr]	227,5	218,5	205,50
Humedad [%]	25,57	24,06	25,63



**DETERMINACIÓN VALOR SOPORTE RELATIVO**

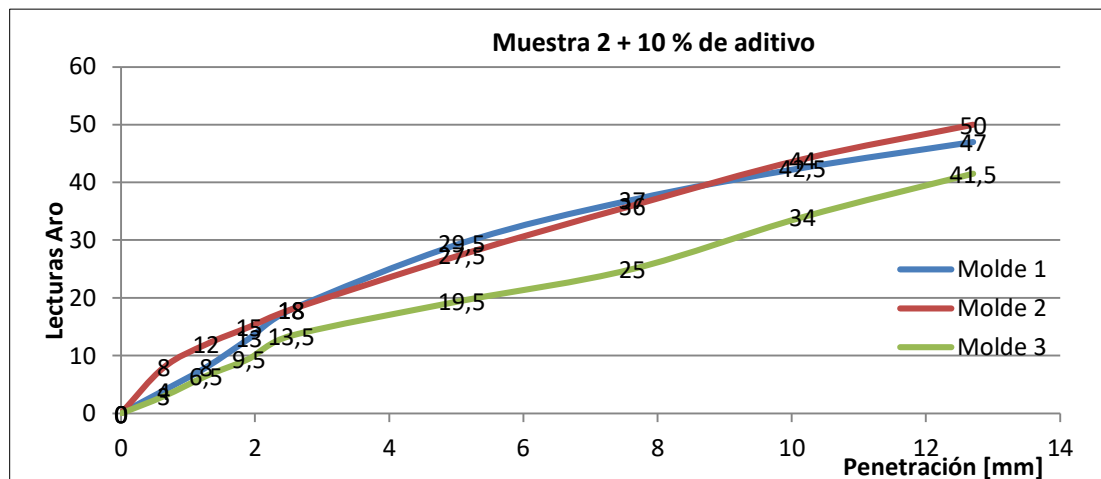
**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos

**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés

**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén

**Muestra:** Muestra 2 + 10% de aditivo

<b>Penetración</b>										
Constante del aro:		3,4						[Kg/división]		
Penetración [mm]		0	0,64	1,27	1,91	2,54	5,08	7,62	10,16	12,70
Factor de Cálculo K						0,0738	0,0492	0,0389	0,0321	0,0284
Molde 1 56 golpes	Lectura dial	0	4	8	13	18	29,5	37	42,5	47
	Lectura corregida	-	-	-	-	61,20	100,30	125,80	144,50	159,80
	Lectura corregida x factor	-	-	-	-	<b>4,52</b>	<b>4,93</b>	<b>4,89</b>	<b>4,64</b>	<b>4,54</b>
Molde 2 56 golpes	Lectura dial	0	8	12	15	18	27,5	36	44	50
	Lectura corregida	-	-	-	-	61,20	93,50	122,40	149,60	170,00
	Lectura corregida x factor	-	-	-	-	<b>4,52</b>	<b>4,60</b>	<b>4,76</b>	<b>4,80</b>	<b>4,83</b>
Molde 3 56 golpes	Lectura dial	0	3	6,5	9,5	13,5	19,5	25	34	41,5
	Lectura corregida	-	-	-	-	45,90	66,30	85,00	115,60	141,10
	Lectura corregida x factor	-	-	-	-	<b>3,39</b>	<b>3,26</b>	<b>3,31</b>	<b>3,71</b>	<b>4,01</b>





### DETERMINACIÓN HINCHAMIENTO

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos

**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés

**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén

**Muestra:** Muestra 2 + 10% de aditivo

<b>Compactación</b>			
Muestra	1	2	3
N° de Golpes	56	56	56
Peso molde [gr]	7055	6690	6590
Peso suelo + molde [gr]	10985	10670	10655
Peso suelo compactado [gr]	3930	3980	4065
Volumen molde [cm <sup>3</sup> ]	2086,1	2098,16	2113,44
Densidad húmeda [gr/cm <sup>3</sup> ]	1,88	1,90	1,92
Densidad seca [gr/cm <sup>3</sup> ]	1,52	1,52	1,54
<b>Humedad de moldeo</b>			
Muestra	1	2	3
Pesafiltro	9	34	22
Peso pesafiltro [gr]	6,5	6,5	6,50
Peso pesafiltro + suelo húmedo [gr]	519,5	627	424,00
Peso pesafiltro + suelo seco [gr]	420	503,5	340,00
Humedad [%]	24,06	24,85	25,19
<b>Hinchamiento</b>			
Muestra	1	2	3
Altura Inicial [mm]	116,80	116,70	116,70
Lectura Inicial [mm]	7,10	5,69	6,21
Lectura 1° día [mm]	7,10	5,70	6,21
Lectura 2° día [mm]	7,10	5,70	6,21
Lectura 3° día [mm]	7,10	5,70	6,21
Lectura 4° día [mm]	7,10	5,70	6,23
Hinchamiento [%]	0,0000	0,00857	0,02
<b>Humedad final</b>			
Muestra	1	2	3
Pesafiltro	8,00	27,00	9
Peso pesafiltro [gr]	6,50	6,50	6,50
Peso pesafiltro + suelo húmedo [gr]	441,50	385,50	544,00
Peso pesafiltro + suelo seco [gr]	342,00	299,50	432,00
Humedad [%]	29,66	29,35	26,32



**DETERMINACIÓN VALOR SOPORTE RELATIVO**

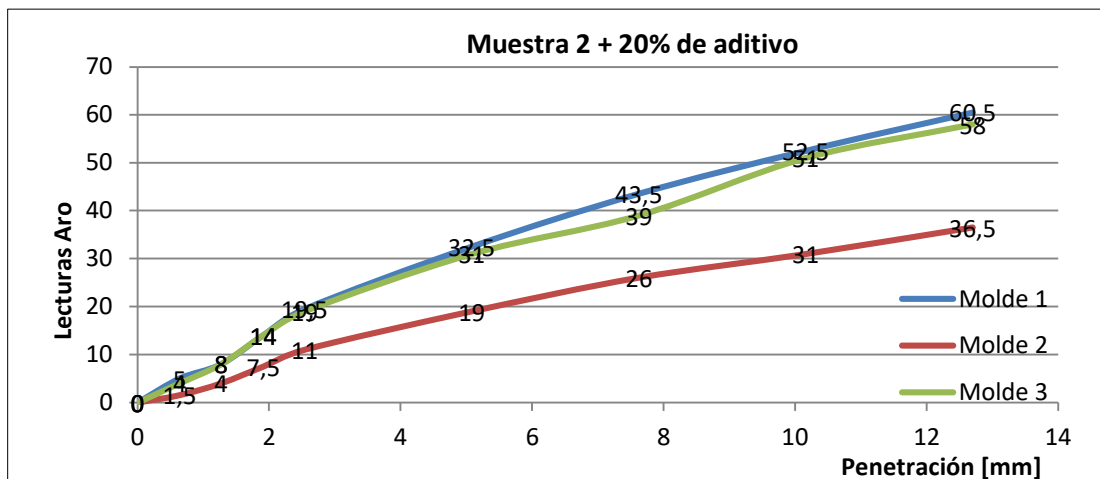
**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos

**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés

**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén

**Muestra:** Muestra 2 + 20% de aditivo

<b>Penetración</b>										
Constante del aro:		3,4						[Kg/división]		
Penetración [mm]		0	0,64	1,27	1,91	2,54	5,08	7,62	10,16	12,70
Factor de Cálculo K						0,0738	0,0492	0,0389	0,0321	0,0284
Molde 1 56 golpes	Lectura dial	0	5	8	14	19,5	32,5	43,5	52,5	60,5
	Lectura corregida	-	-	-	-	66,30	110,50	147,90	178,50	205,70
	Lectura corregida x factor	-	-	-	-	<b>4,89</b>	<b>5,44</b>	<b>5,75</b>	<b>5,73</b>	<b>5,84</b>
Molde 2 56 golpes	Lectura dial	0	1,5	4	7,5	11	19	26	31	36,5
	Lectura corregida	-	-	-	-	37,40	64,60	88,40	105,40	124,10
	Lectura corregida x factor	-	-	-	-	<b>2,76</b>	<b>3,18</b>	<b>3,44</b>	<b>3,38</b>	<b>3,52</b>
Molde 2 56 golpes	Lectura dial	0	4	8	14	19	31	39	51	58
	Lectura corregida	-	-	-	-	64,60	105,40	132,60	173,40	197,20
	Lectura corregida x factor	-	-	-	-	<b>4,77</b>	<b>5,19</b>	<b>5,16</b>	<b>5,57</b>	<b>5,60</b>





### DETERMINACIÓN HINCHAMIENTO

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos

**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés

**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén

**Muestra:** Muestra 2 + 20% de aditivo

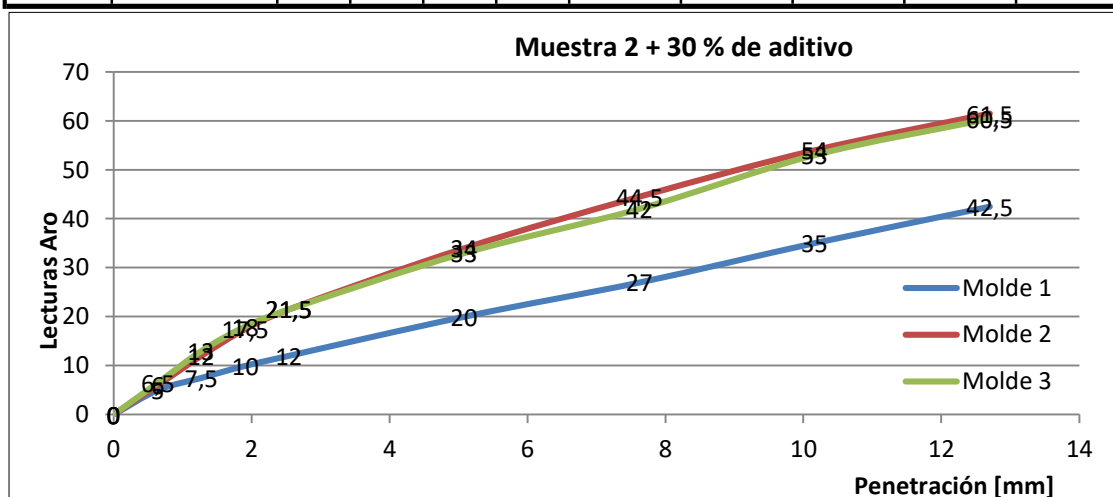
<b>Compactación</b>			
Muestra	1	2	3
N° de Golpes	56	56	56
Peso molde [gr]	6845	6700	7055
Peso suelo + molde [gr]	10990	10815	11155
Peso suelo compactado [gr]	4145	4115	4100
Volumen molde [cm <sup>3</sup> ]	2105,51	2115,67	2086,1
Densidad húmeda [gr/cm <sup>3</sup> ]	1,97	1,95	1,97
Densidad seca [gr/cm <sup>3</sup> ]	1,59	1,57	1,58
<b>Humedad de moldeo</b>			
Muestra	1	2	3
Pesafiltro	27	1	9
Peso pesafiltro [gr]	6,5	6,5	6,5
Peso pesafiltro + suelo húmedo [gr]	407	448	511,5
Peso pesafiltro + suelo seco [gr]	330,5	362,5	411,5
Humedad [%]	23,61	24,02	24,69
<b>Hinchamiento</b>			
Muestra	1	2	3
Altura Inicial [mm]	116,80	116,90	116,80
Lectura Inicial [mm]	7,71	5,70	4,76
Lectura 1° día [mm]	7,49	5,41	4,81
Lectura 2° día [mm]	7,49	5,41	4,81
Lectura 3° día [mm]	7,49	5,41	4,81
Lectura 4° día [mm]	7,75	5,70	4,81
Hinchamiento [%]	0,0342	0,0000	0,04
<b>Humedad final</b>			
Muestra	1	2	3
Pesafiltro	31	9	27
Peso pesafiltro [gr]	6,5	6,5	6,5
Peso pesafiltro + suelo húmedo [gr]	545,5	519	436,5
Peso pesafiltro + suelo seco [gr]	439,5	410,5	346,5
Humedad [%]	24,48	26,86	26,47



### DETERMINACIÓN VALOR SOPORTE RELATIVO

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos  
**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés  
**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén  
**Muestra:** Muestra 2 + 30% de aditivo

Penetración										
Constante del aro:		3,4						[Kg/división]		
Penetración [mm]		0	0,64	1,27	1,91	2,54	5,08	7,62	10,16	12,70
Factor de Cálculo K						0,0738	0,0492	0,0389	0,0321	0,0284
Molde 1 56 golpes	Lectura dial	0	5	7,5	10	12	20	27	35	42,5
	Lectura corregida	-	-	-	-	40,80	68,00	91,80	119,00	144,50
	Lectura corregida x factor	-	-	-	-	<b>3,01</b>	<b>3,35</b>	<b>3,57</b>	<b>3,82</b>	<b>4,10</b>
Molde 2 56 golpes	Lectura dial	0	6	12	18	21,5	34	44,5	54	61,5
	Lectura corregida	-	-	-	-	73,10	115,60	151,30	183,60	209,10
	Lectura corregida x factor	-	-	-	-	<b>5,39</b>	<b>5,69</b>	<b>5,89</b>	<b>5,89</b>	<b>5,94</b>
Molde 2 56 golpes	Lectura dial	0	6,5	13	18	21,5	33	42	53	60,5
	Lectura corregida	-	-	-	-	73,10	112,20	142,80	180,20	205,70
	Lectura corregida x factor	-	-	-	-	<b>5,39</b>	<b>5,52</b>	<b>5,55</b>	<b>5,78</b>	<b>5,84</b>





### DETERMINACIÓN HINCHAMIENTO

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos

**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés

**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén

**Muestra:** Muestra 2 + 30% de aditivo

<b>Compactación</b>			
Muestra	1	2	3
N° de Golpes	56	56	56
Peso molde [gr]	6645	6690	6590
Peso suelo + molde [gr]	10875	10905	10850
Peso suelo compactado [gr]	4230	4215	4260
Volumen molde [cm <sup>3</sup> ]	2079,19	2098,15	2114,44
Densidad húmeda [gr/cm <sup>3</sup> ]	2,03	2,01	2,01
Densidad seca [gr/cm <sup>3</sup> ]	1,65	1,63	1,64
<b>Humedad de moldeo</b>			
Muestra	1	2	3
Pesafiltro	4	35	H
Peso pesafiltro [gr]	6,5	6,5	10
Peso pesafiltro + suelo húmedo [gr]	302	346,5	428
Peso pesafiltro + suelo seco [gr]	246,5	282,0	349,5
Humedad [%]	23,1	23,4	23,12
<b>Hinchamiento</b>			
Muestra	1	2	3
Altura Inicial [mm]	116,80	116,70	116,70
Lectura Inicial [mm]	4,39	5,76	6,43
Lectura 1° día [mm]	4,39	5,80	6,43
Lectura 2° día [mm]	4,39	5,76	6,43
Lectura 3° día [mm]	4,39	5,76	6,44
Lectura 4° día [mm]	4,39	5,76	6,44
Hinchamiento [%]	0,00	0,00	0,00
<b>Humedad final</b>			
Muestra	1	2	3
Pesafiltro	31	9	17
Peso pesafiltro [gr]	6,5	6,5	6,5
Peso pesafiltro + suelo húmedo [gr]	545,5	519	548
Peso pesafiltro + suelo seco [gr]	439,5	410,5	435,5
Humedad [%]	24,48	26,86	26,22



*Anexo G*

***ENSAYOS DE PERMEABILIDAD***



*Anexo G-1*

**MUESTRA 1**





### Ensayo permeabilidad

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos

**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés

**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén

**Muestra:** Muestra 1 (Patrón)

Diámetro tubo	3,80	[mm]
Área tubo ( a ) =	0,11	[cm <sup>2</sup> ]
Diámetro muestra	10,14	[cm]
Área muestra ( A ) =	80,75	[cm <sup>2</sup> ]
Altura muestra ( L ) =	10,66	[cm]
Altura inicial (h1) =	180,80	[mm]
Humedad Inicial =	0,20	%
Humedad Final =	0,22	%

Tiempo	Altura Final	Coficiente de Permeabilidad
(t)	(h2)	(k)
[seg]	[mm]	[cm/seg]
60	180,6	2,76165E-07
180	179,9	4,15053E-07
360	179,6	2,76933E-07
540	179,4	2,15512E-07
720	179,1	1,96434E-07
900	178,8	1,85034E-07
1080	178,6	1,69709E-07
1200	178,4	1,66717E-07
1500	177,9	1,61385E-07
1800	177,4	1,57896E-07
2100	177,1	1,47406E-07
2400	176,6	1,46616E-07
2700	176,1	1,46046E-07
3600	175	1,35593E-07

Coficiente de Permeabilidad

<b>K=</b>	1,9975E-07	[cm/seg]
	1,9975E-09	[m/seg]



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL**  
**FACULTAD REGIONAL RAFAELA**  
 Departamento de Ingeniería Civil  
 Laboratorio

**Ensayo permeabilidad**

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos  
**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés  
**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén  
**Muestra:** Muestra 1 + 10% aditivo

Diámetro tubo                    3,80    [mm]  
 Área tubo ( a ) =                0,11    [cm<sup>2</sup>]  
 Diámetro muestra                10,14   [cm]  
 Área muestra ( A ) =            80,75   [cm<sup>2</sup>]  
 Altura muestra ( L ) =           10,66   [cm]  
 Altura inicial (h1) =            180,50 [mm]  
 Humedad Inicial =              0,2746 %  
 Humedad Final =                0,2750 %

Tiempo	Altura Final	Coefficiente de Permeabilidad
(t)	(h2)	(k)
[seg]	[mm]	[cm/seg]
60	180,40	1,38274E-07
180	180,20	1,38351E-07
360	179,95	1,26909E-07
540	179,70	1,23149E-07
720	179,45	1,21309E-07
900	179,15	1,2488E-07
1080	179,00	1,15678E-07
1200	178,80	1,18057E-07
1500	178,25	1,25194E-07
1800	178,00	1,16002E-07
2100	177,80	1,07445E-07
2400	177,50	1,04548E-07
2700	177,15	1,03876E-07
3600	176,95	8,26044E-08

Coefficiente de Permeabilidad

<b>K=</b>	1,17591E-07	[cm/seg]
	1,17591E-09	[m/seg]



### Ensayo permeabilidad

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos  
**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés  
**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén  
**Muestra:** Muestra 1 + 20% de aditivo

Diámetro tubo                    3,80    [mm]  
Área tubo ( a ) =                0,11    [cm<sup>2</sup>]  
Diámetro muestra                10,14   [cm]  
Área muestra ( A ) =            80,75   [cm<sup>2</sup>]  
Altura muestra ( L ) =          10,66   [cm]  
Altura inicial (h1) =            180,60 [mm]  
Humedad Inicial =              0,2708 %  
Humedad Final =                0,2794 %

Tiempo	Altura Final	Coefficiente de Permeabilidad
(t)	(h2)	(k)
[seg]	[mm]	[cm/seg]
60	180,50	1,38197E-07
180	180,40	9,21571E-08
360	180,35	5,76062E-08
540	180,25	5,37807E-08
720	180,20	4,61041E-08
900	180,00	5,53556E-08
1080	179,80	6,15404E-08
1200	179,75	5,88562E-08
1500	179,50	6,09759E-08
1800	179,10	6,9368E-08
2100	178,70	7,5398E-08
2400	178,35	7,82027E-08
2700	177,95	8,19632E-08
3600	177,60	6,96597E-08

#### Coefficiente de Permeabilidad

K=	7,13689E-08	[cm/seg]
	7,13689E-10	[m/seg]



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL**  
**FACULTAD REGIONAL RAFAELA**  
Departamento de Ingeniería Civil  
Laboratorio

**Ensayo permeabilidad**

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos  
**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés  
**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén  
**Muestra:** Muestra 1 + 30% de aditivo

Diámetro tubo                    3,80    [mm]  
Área tubo ( a ) =                0,11    [cm<sup>2</sup>]  
Diámetro muestra                10,14   [cm]  
Área muestra ( A ) =            80,75   [cm<sup>2</sup>]  
Altura muestra ( L ) =          10,66   [cm]  
Altura inicial (h1) =            180,50 [mm]  
Humedad Inicial =              0,2746 %  
Humedad Final =                0,2750 %

<b>Tiempo</b>	<b>Altura Final</b>	<b>Coefficiente de Permeabilidad</b>
(t)	(h2)	(k)
[seg]	[mm]	[cm/seg]
60	180,40	1,38274E-07
180	180,35	6,91466E-08
360	180,30	4,61041E-08
540	180,30	3,07361E-08
720	180,25	2,88191E-08
900	180,20	2,76701E-08
1080	180,15	2,69052E-08
1200	180,10	2,76778E-08
1500	180,00	2,76855E-08
1800	179,80	3,23177E-08
2100	179,80	2,77009E-08
2400	179,75	2,59732E-08
2700	179,60	2,77163E-08
3600	179,40	2,54207E-08

Coefficiente de Permeabilidad

<b>K=</b>	4,01534E-08	[cm/seg]
	4,01534E-10	[m/seg]



*Anexo G-2*

***MUESTRA 2***





**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL**  
**FACULTAD REGIONAL RAFAELA**  
Departamento de Ingeniería Civil  
Laboratorio

**Ensayo permeabilidad**

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos  
**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés  
**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén  
**Muestra:** Muestra 2 (Patrón)

Diámetro tubo                    3,80    [mm]  
Área tubo ( a ) =                0,11    [cm<sup>2</sup>]  
Diámetro muestra                10,14   [cm]  
Área muestra ( A ) =            80,75   [cm<sup>2</sup>]  
Altura muestra ( L ) =            10,66   [cm]  
Altura inicial (h1) =            180,60 [mm]  
Humedad Inicial =              0,2506 %  
Humedad Final =                0,1750 %

<b>Tiempo</b>	<b>Altura Final</b>	<b>Coefficiente de Permeabilidad</b>
(t)	(h2)	(k)
[seg]	[mm]	[cm/seg]
60	180,50	1,38197E-07
180	180,40	9,21571E-08
360	180,40	4,60786E-08
540	180,35	3,84041E-08
720	180,35	2,88031E-08
900	180,30	2,76548E-08
1080	180,30	2,30457E-08
1200	180,25	2,42013E-08
1500	180,20	2,213E-08
1800	180,15	2,07497E-08
2100	180,15	1,77855E-08
2400	180,15	1,55623E-08
2700	180,10	1,53723E-08
3600	180,00	1,38389E-08

Coefficiente de Permeabilidad

<b>K=</b>	3,74272E-08	[cm/seg]
	3,74272E-10	[m/seg]



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL**  
**FACULTAD REGIONAL RAFAELA**  
Departamento de Ingeniería Civil  
Laboratorio

**Ensayo permeabilidad**

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos  
**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés  
**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén  
**Muestra:** Muestra 2 + 10% de aditivo

Diámetro tubo                    3,80    [mm]  
Área tubo ( a ) =                0,11    [cm<sup>2</sup>]  
Diámetro muestra                10,14   [cm]  
Área muestra ( A ) =            80,75   [cm<sup>2</sup>]  
Altura muestra ( L ) =            10,66   [cm]  
Altura inicial (h1) =            180,60 [mm]  
Humedad Inicial =              0,2236 %  
Humedad Final =                0,2188 %

<b>Tiempo</b>	<b>Altura Final</b>	<b>Coefficiente de Permeabilidad</b>
(t)	(h2)	(k)
[seg]	[mm]	[cm/seg]
60	180,60	0
180	180,55	2,30297E-08
360	180,50	2,30329E-08
540	180,50	1,53553E-08
720	180,45	1,72771E-08
900	180,45	1,38217E-08
1080	180,40	1,53595E-08
1200	180,40	1,38236E-08
1500	180,30	1,65929E-08
1800	180,20	1,84416E-08
2100	180,10	1,97644E-08
2400	180,00	2,07584E-08
2700	179,90	2,15332E-08
3600	179,80	1,84621E-08

Coefficiente de Permeabilidad

<b>K=</b>	1,69466E-08	[cm/seg]
	1,69466E-10	[m/seg]



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL**  
**FACULTAD REGIONAL RAFAELA**  
Departamento de Ingeniería Civil  
Laboratorio

**Ensayo permeabilidad**

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos  
**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés  
**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén  
**Muestra:** Muestra 2 + 20% de aditivo

Diámetro tubo                    3,80    [mm]  
Área tubo ( a ) =                0,11    [cm<sup>2</sup>]  
Diámetro muestra                10,14   [cm]  
Área muestra ( A ) =            80,75   [cm<sup>2</sup>]  
Altura muestra ( L ) =            10,66   [cm]  
Altura inicial (h1) =            180,50 [mm]  
Humedad Inicial =              0,2305 %  
Humedad Final =                0,2188 %

<b>Tiempo</b>	<b>Altura Final</b>	<b>Coefficiente de Permeabilidad</b>
(t)	(h2)	(k)
[seg]	[mm]	[cm/seg]
60	180,50	0
180	180,45	2,30425E-08
360	180,45	1,15212E-08
540	180,40	1,53638E-08
720	180,40	1,15228E-08
900	180,35	1,38293E-08
1080	180,35	1,15244E-08
1200	180,30	1,38312E-08
1500	180,20	1,66021E-08
1800	180,10	1,84519E-08
2100	180,00	1,97754E-08
2400	179,90	2,07699E-08
2700	179,80	2,15451E-08
3600	179,70	1,84724E-08

Coefficiente de Permeabilidad

<b>K=</b>	1,54466E-08	[cm/seg]
	1,54466E-10	[m/seg]



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL**  
**FACULTAD REGIONAL RAFAELA**  
Departamento de Ingeniería Civil  
Laboratorio

**Ensayo permeabilidad**

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos  
**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés  
**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén  
**Muestra:** Muestra 2 + 30% de aditivo

Diámetro tubo                    3,80    [mm]  
Área tubo ( a ) =                0,11    [cm<sup>2</sup>]  
Diámetro muestra                10,14   [cm]  
Área muestra ( A ) =            80,75   [cm<sup>2</sup>]  
Altura muestra ( L ) =           10,66   [cm]  
Altura inicial (h1) =            180,50 [mm]  
Humedad Inicial =              0,2295 %  
Humedad Final =                0,2188 %

<b>Tiempo</b>	<b>Altura Final</b>	<b>Coefficiente de Permeabilidad</b>
(t)	(h2)	(k)
[seg]	[mm]	[cm/seg]
60	180,45	6,91274E-08
180	180,40	4,60913E-08
360	180,40	2,30457E-08
540	180,40	1,53638E-08
720	180,40	1,15228E-08
900	180,40	9,21826E-09
1080	180,40	7,68189E-09
1200	180,40	6,9137E-09
1500	180,40	5,53096E-09
1800	180,40	4,60913E-09
2100	180,40	3,95068E-09
2400	180,40	3,45685E-09
2700	180,40	3,07275E-09
3600	180,40	2,30457E-09

Coefficiente de Permeabilidad

<b>K=</b>	1,5135E-08	[cm/seg]
	1,5135E-10	[m/seg]

*Anexo H*

***ENSAYOS COMPLEMENTARIOS***





*Anexo H-1*

**MUESTRA 1**





**Compresión Simple - Luego de 3 días sumergida en agua**

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos  
**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés  
**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén  
**Muestra:** Muestra 1 + 30% de aditivo

<b>Probeta 1</b>	
<b>Humedad de compactación</b>	20,70%
<b>Peso probeta</b>	1.655,00 Gr.
<b>Altura promedio probeta</b>	11,43 cm
<b>Diámetro promedio probeta</b>	10,03 cm
<b>Volumen promedio probeta</b>	903,1 cm <sup>3</sup>
<b>Densidad probeta húmeda</b>	1,83 Gr./cm <sup>3</sup>
<b>Densidad probeta estimada</b>	1,52 Gr./cm <sup>3</sup>
<b>Factor de corrección h/d</b>	1,14
<b>Factor de aro dinamómetro</b>	3,40 Kg/cm <sup>2</sup>



Lectura flexímetro Ld [0,01mm]	Deformación Unitaria $\epsilon = \Delta l / L_0$ [mm]	Área corregida A' [cm <sup>2</sup> ]	Carga sobre la muestra P [Kg]	Esfuerzo sobre la muestra $\sigma$ [Kg/cm <sup>2</sup> ]
16,00	0,00139983	79,00	5	0,195965946
34,00	0,00297463	79,13	10	0,391313811
46,00	0,0040245	79,21	15	0,586352636
59,00	0,00516185	79,30	20	0,780910731
70,00	0,00612423	79,38	25	0,975194123
83,00	0,00726159	79,47	30	1,168893773
109,00	0,00953631	79,65	40	1,554953897
130,00	0,01137358	79,80	50	1,940086901
154,00	0,01347332	79,97	60	2,323159634
175,00	0,01531059	80,12	70	2,705305247
198,00	0,01732283	80,28	80	3,085459266
235,00	0,02055993	80,55	90	3,45970718
255,00	0,02230971	80,69	100	3,837251525
272,00	0,02379703	80,82	110	4,214555504
292,00	0,02554681	80,96	120	4,589455837
310,00	0,02712161	81,09	130	4,96387544
338,00	0,0295713	81,30	140	5,332251586
520,00	0,04549431	82,65	150	5,619384447



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL  
FACULTAD REGIONAL RAFAELA**

Departamento de Ingeniería Civil  
Laboratorio

**Compresión Simple - Luego de 3 días sumergida en agua**

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos  
**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés  
**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén  
**Muestra:** Muestra 1 + 30% de aditivo

<b>Probeta 2</b>	
<b>Humedad de compactación</b>	20,70%
<b>Peso probeta</b>	1.655,00 Gr.
<b>Altura promedio probeta</b>	11,34 cm
<b>Diámetro promedio probeta</b>	9,93 cm
<b>Volumen promedio probeta</b>	878,2 cm <sup>3</sup>
<b>Densidad probeta húmeda</b>	1,88 Gr./cm <sup>3</sup>
<b>Densidad probeta estimada</b>	1,56 Gr./cm <sup>3</sup>
<b>Factor de corrección h/d</b>	1,14
<b>Factor de aro dinamómetro</b>	3,40 Kg/cm <sup>2</sup>

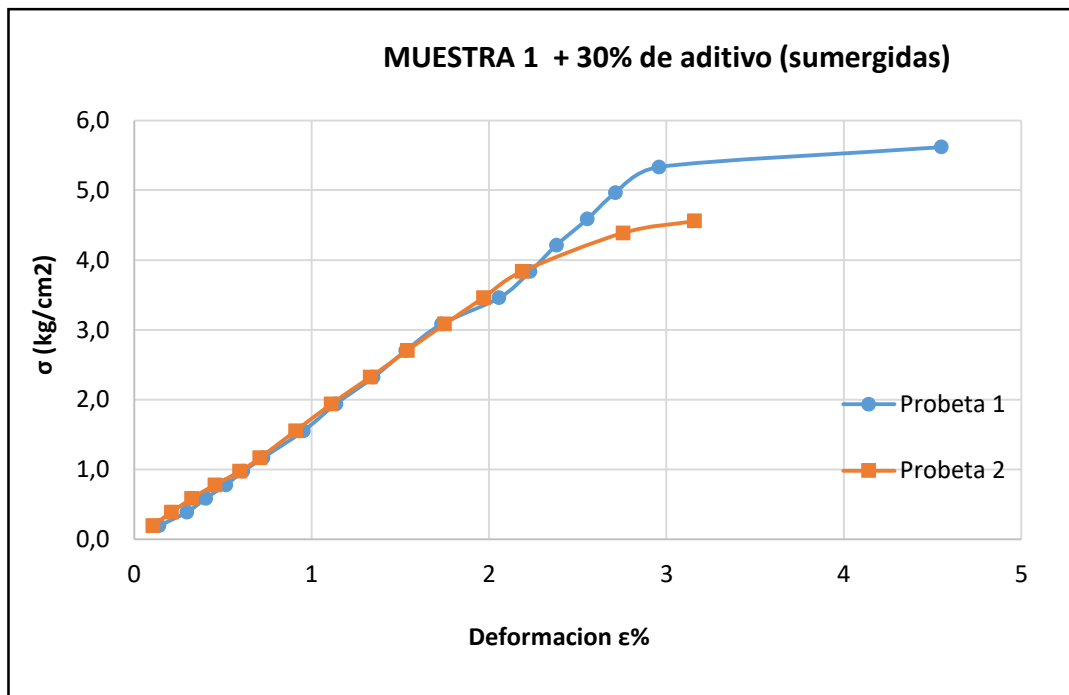


Lectura flexímetro Ld [0,01mm]	Deformación Unitaria $\epsilon = \Delta l / L_0$ [mm]	Área corregida A' [cm <sup>2</sup> ]	Carga sobre la muestra P [Kg]	Esfuerzo sobre la muestra $\sigma$ [Kg/cm <sup>2</sup> ]
12,00	0,00104987	78,98	5	0,196034622
24,00	0,00209974	79,06	10	0,391657189
37,00	0,0032371	79,15	15	0,586816196
52,00	0,00454943	79,25	20	0,78139146
68,00	0,00594926	79,37	25	0,975365813
81,00	0,00708661	79,46	30	1,1690998
104,00	0,00909886	79,62	40	1,555640654
127,00	0,011111111	79,78	50	1,940601968
152,00	0,01329834	79,96	60	2,323571688
176,00	0,01539808	80,13	70	2,705064882
200,00	0,01749781	80,30	80	3,084909861
225,00	0,01968504	80,48	90	3,462797584
250,00	0,02187227	80,66	100	3,838968416
315,00	0,02755906	81,13	115	4,389146157
361,00	0,03158355	81,47	120	<b>4,561024121</b>



### Compresión Simple - Luego de 3 días sumergida en agua

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos  
**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés  
**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén  
**Muestra:** Muestra 1 + 30% de aditivo





*Anexo H-2*

**MUESTRA 2**







**Compresión Simple - Luego de 3 días sumergida en agua**

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos  
**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés  
**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén  
**Muestra:** Muestra 2 + 30% de aditivo

<b>Probeta 1</b>	
<b>Humedad de compactación</b>	20,70%
<b>Peso probeta</b>	1.644,00 Gr.
<b>Altura promedio probeta</b>	11,34 cm
<b>Diámetro promedio probeta</b>	9,94 cm
<b>Volumen promedio probeta</b>	880,0 cm <sup>3</sup>
<b>Densidad probeta húmeda</b>	1,87 Gr./cm <sup>3</sup>
<b>Densidad probeta estimada</b>	1,55 Gr./cm <sup>3</sup>
<b>Factor de corrección h/d</b>	1,14
<b>Factor de aro dinamómetro</b>	3,40 Kg/cm <sup>2</sup>



Lectura flexímetro Ld [0,01mm]	Deformación Unitaria $\epsilon = \Delta l / L_0$ [mm]	Área corregida A' [cm <sup>2</sup> ]	Carga sobre la muestra P [Kg]	Esfuerzo sobre la muestra $\sigma$ [Kg/cm <sup>2</sup> ]
9,00	0,0007874	78,96	5	0,196192023
20,00	0,00174978	79,03	10	0,392006127
30,00	0,00262467	79,10	15	0,587493845
42,00	0,00367454	79,18	20	0,782500574
52,00	0,00454943	79,25	25	0,977266808
64,00	0,0055993	79,34	30	1,17148334
82,00	0,0071741	79,46	40	1,559504129
105,00	0,00918635	79,62	50	1,945429179
125,00	0,01093613	79,77	60	2,330392251
140,00	0,01224847	79,87	70	2,715183541
159,00	0,01391076	80,01	80	3,097844737
178,00	0,01557305	80,14	90	3,47920039
194,00	0,01697288	80,26	100	3,860281193
280,00	0,02449694	80,87	150	5,746102078
360,00	0,03149606	81,46	200	7,606499253
440,00	0,03849519	82,05	250	9,439411336
530,00	0,0463692	82,73	300	11,23453142
630,00	0,05511811	83,50	350	12,98670604
690,00	0,06036745	83,96	370	13,6525324



**Compresión Simple - Luego de 3 días sumergida en agua**

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos  
**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés  
**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén  
**Muestra:** Muestra 2 + 30% de aditivo

<b>Probeta 2</b>	
<b>Humedad de compactación</b>	20,70%
<b>Peso probeta</b>	1.644,00 Gr.
<b>Altura promedio probeta</b>	11,34 cm
<b>Diámetro promedio probeta</b>	9,94 cm
<b>Volumen promedio probeta</b>	880,0 cm <sup>3</sup>
<b>Densidad probeta húmeda</b>	1,87 Gr./cm <sup>3</sup>
<b>Densidad probeta estimada</b>	1,55 Gr./cm <sup>3</sup>
<b>Factor de corrección h/d</b>	1,14
<b>Factor de aro dinamómetro</b>	3,40 Kg/cm <sup>2</sup>



Lectura flexímetro Ld [0,01mm]	Deformación Unitaria $\epsilon = \Delta l / L_0$ [mm]	Área corregida A' [cm <sup>2</sup> ]	Carga sobre la muestra P [Kg]	Esfuerzo sobre la muestra $\sigma$ [Kg/cm <sup>2</sup> ]
8,00	0,00069264	80,53	5	0,192354003
25,00	0,0021645	80,65	10	0,384141378
30,00	0,0025974	80,68	15	0,575962083
52,00	0,00450216	80,84	20	0,766482874
65,00	0,00562771	80,93	25	0,95702033
75,00	0,00649351	81,00	30	1,147424462
86,00	0,00744589	81,08	40	1,528432712
102,00	0,00883117	81,19	50	1,907874399
120,00	0,01038961	81,32	60	2,285849516
143,00	0,01238095	81,48	70	2,661458122
162,00	0,01402597	81,62	80	3,036600092
183,00	0,01584416	81,77	90	3,409875518
204,00	0,01766234	81,92	100	3,781751037
298,00	0,02580087	82,61	150	5,625629649
377,00	0,03264069	83,19	200	7,448176332
453,00	0,03922078	83,76	250	9,246891251
547,00	0,04735931	84,48	300	11,00227569
655,00	0,05670996	85,31	350	12,7099966
764,00	0,06614719	86,17	400	14,38038663
780,00	0,06753247	86,30	416	14,93341689



### Compresión Simple - Luego de 3 días sumergida en agua

**Proyecto:** Estabilización de suelos finos característicos de la ciudad de Rafaela con la incorporación de aditivos químicos  
**Ensayó:** Hernández, Federico Andrés  
**Supervisó:** Ing. Rosetti, Rubén  
**Muestra:** Muestra 2 + 30% de aditivo

