

1 ÍNDICES

1.1 ÍNDICE TEMÁTICO

Tema	Página
1 ÍNDICES	II
1.1 ÍNDICE TEMÁTICO	II
1.2 ÍNDICE DE TABLAS	IV
1.3 ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	VI
1.4 ÍNDICE DE FIGURAS	VII
1.5 ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS	IX
AGRADECIMIENTOS	X
2 TÍTULO Y AUTOR	1
3 RESUMEN	2
4 RESUM	5
5 ABSTRACT	8
6 INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES	11
6.1 La importancia del riego	11
6.2 Importancia y difusión de los suelos salinos y sódicos. Su relación con el riego	14
6.3 Calidad del agua de riego	16
6.4 Efecto de la salinidad y sodicidad sobre las características de los suelos	19
6.4.1 Efecto sobre la estructura	19
6.4.2 Efecto sobre el espesor de la doble capa difusa y sobre la cohesión	25
6.5 Comportamiento mecánico de los suelos	26
6.5.1 Comportamiento de los suelos ante la compresión	28
6.5.2 Comportamiento de los suelos ante el corte	29
6.6 Teoría de Mohr-Coulomb	30
6.7 Teoría del estado crítico	31
6.8 Antecedentes metodológicos para evaluar la compresibilidad y la resistencia al corte de los suelos	38
7 HIPÓTESIS	41
7.1 Hipótesis básica	41
7.2 Hipótesis de trabajo	41

8 OBJETIVOS	42
8.1 Direccional ó General	42
8.2 Operacionales o Específicos	42
9 MATERIALES Y MÉTODOS	43
9.1 Ubicación geográfica	43
9.2 Características de los suelos estudiados	43
9.2.1 Procedencia y características químicas	43
9.2.2 Minerales de las arcillas	45
9.2.3 Taxonomía de los suelos	46
9.2.4 Textura de los suelos	46
9.3 Procedimiento utilizado en la salinización y sodificación de los suelos	47
9.4 Evaluación de las propiedades mecánicas	49
9.5 Procesamiento y análisis estadístico de los datos	49
10 RESULTADOS	51
10.1 Resultados metodológicos	51
10.1.1 Descripción de la caja de corte y de los sensores	51
10.1.2 Metodología para la preparación de los suelos para la compresión y el corte	53
10.1.3 Compresión y corte de las muestras. Registro de los datos	55
10.2 Pruebas preliminares	61
Pruebas a 400 kPa y 10% de relación de tensión	62
Pruebas de saturación y congelamiento	63
Pruebas de estabilidad de agregados en agua	64
Pruebas a 800 kPa	65
Pruebas de inmersión y secado	65
Pruebas de humectación y secado en Argese con corte a diversas relaciones de tensión	67
Pruebas de corte a diversa humedad en Argese	68
Pruebas de corte a 25% de humedad	69

10.3 Comportamiento a la compresión uniaxial	70
10.4 Comportamiento al corte	74
10.4.1 Densidad previa al corte	74
10.4.2 Tensión de corte, desplazamiento vertical y humedad	75
10.4.3 Comportamiento compresivo-expansivo	77
10.4.4 Densidad final alcanzada luego del corte	78
11 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	80
11.1 Consideraciones previas	80
11.2 Análisis de la densidad alcanzada durante la compresión uniaxial	81
11.3 Análisis del comportamiento al corte	83
11.3.1 Densidad previa al corte	83
11.3.2 Comportamiento al corte	83
11.3.3 Análisis del comportamiento compresivo-expansivo	86
11.4 Análisis de los resultados en el marco de la teoría de Mohr-Coulomb	87
11.5 Análisis de los resultados en el marco de la Teoría del Estado Crítico.	95
11.5.1 Líneas de consolidación virgen	95
11.5.2 Regresiones entre las relaciones de tensión y las relaciones de volumen	100
11.5.3 Líneas de estado crítico	107
12 CONSIDERACIONES FINALES	115
13 CONCLUSIONES	118
14 BIBLIOGRAFÍA	119

1.2 ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
Tabla 1: Composición y características químicas de los suelos evaluados	44
Tabla 2: Clasificación taxonómica de los suelos a nivel de gran grupo	46
Tabla 3: Clasificación de las fracciones minerales del suelo de acuerdo a USDA e ISSS	46
Tabla 4: Fracciones granulométricas presentes en los 4 suelos de acuerdo a las clasificaciones de ISSS y USDA	46

Tabla 5: Salinidad y sodicidad de las soluciones empleadas en los tratamientos	47
Tabla 6: Composición iónica de las soluciones empleadas	47
Tabla 7: Tratamientos y nomenclatura utilizados en el ensayo	48
Tabla 8: PSI y pH de los suelos luego de los tratamientos	48
Tabla 9: Conductividad eléctrica ($\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$) de los suelos luego de los tratamientos	48
Tabla 10: Tensión cortante y desplazamiento medios en pruebas a 400 kPa y 10% de relación de tensión.	62
Tabla 11: Tensión cortante y desplazamiento medios en pruebas de saturación y congelamiento.	64
Tabla 12: Tensión cortante y desplazamiento medios en pruebas a 800kPa.	65
Tabla 13: Tensión cortante y desplazamiento medios en pruebas de inmersión y secado.	66
Tabla 14: Tensión cortante y desplazamiento medios en pruebas de humectación y secado de Argese a diversas relaciones de tensión.	67
Tabla 15: Tensión cortante y desplazamiento medios en pruebas con Argese a diversas humedades.	68
Tabla 16: Tensión cortante y desplazamiento medios en pruebas de corte a 25% H.	69
Tabla 17a: densidades medias de las muestras de Argese antes del corte según tensión normal aplicada.	74
Tabla 17b: densidades medias de las muestras de Cardone antes del corte según tensión normal aplicada.	75
Tabla 17c: densidades medias de las muestras de Carpi antes del corte según tensión normal aplicada.	75
Tabla 17d: densidades medias de las muestras de Ozzano antes del corte según tensión normal aplicada.	75
Tabla 18a: Medias de tensiones de corte (kPa) y humedades (% en peso) de los distintos tratamientos y relaciones de tensión de Argese.	76
Tabla 18b: Medias de tensiones de corte (kPa) y humedades (% en peso) de los distintos tratamientos y relaciones de tensión de Cardone.	76
Tabla 18c: Medias de tensiones de corte (kPa) y humedades (% en peso) de los distintos tratamientos y relaciones de tensión de Carpi	76

Tabla 18d: Medias de tensiones de corte (kPa) y humedades (% en peso) de los distintos tratamientos y relaciones de tensión de Ozzano	76
Tabla 19a: Medias de desplazamientos verticales (mm) de los distintos tratamientos y relaciones de tensión de Argese	77
Tabla 19b: Medias de desplazamientos verticales (mm) de los distintos tratamientos y relaciones de tensión de Cardone	77
Tabla 19c: Medias de desplazamientos verticales (mm) de los distintos tratamientos y relaciones de tensión de Carpi	77
Tabla 19d: Medias de desplazamientos verticales (mm) de los distintos tratamientos y relaciones de tensión de Ozzano	78
Tabla 20a: Medias de densidad final en seco(g/cm^3) alcanzada por las muestras de Argese luego de ser cortadas a los distintos niveles de relación de tensión.	78
Tabla 20b: Medias de densidad final en seco(g/cm^3) alcanzada por las muestras de Cardone luego de ser cortadas a los distintos niveles de relación de tensión.	78
Tabla 20c: Medias de densidad final en seco(g/cm^3) alcanzada por las muestras de Carpi luego de ser cortadas a los distintos niveles de relación de tensión.	79
Tabla 20d: Medias de densidad final en seco(g/cm^3) alcanzada por las muestras de Ozzano luego de ser cortadas a los distintos niveles de relación de tensión.	79
Tabla 21: Comparación de regresiones de los valores de c y $\text{tg}\phi$ de las rectas de Coulomb	90
Tabla 22: Comparación de regresiones de los valores de N y λ de las líneas de consolidación virgen	100
Tabla 23: Comparación de regresiones de los valores de a y b de la líneas de regresión Relación de Volumen – Relación de Tensión	105
Tabla 24: Porcentaje de la tensión normal máxima a la que se alcanza el estado crítico	106

1.3 ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía	Página
Foto 1: Caja de corte. Celdas superior e inferior y tornillo	57

de carga vertical	
Foto 2: Vista general	57
Foto 3: Motor, reductor y convertidor	58
Foto 4: Placa superior unida a celda de carga	58
Foto 5: Sensores	58
Foto 6: Sensor de desplazamiento horizontal	58
Foto 7: Los tres sensores	58
Foto 8: Formación de probetas. Placa metálica inferior ranurada	58
Foto 9: Cilindro de PVC con placa inferior	59
Foto 10: Circulo de papel de filtro inferior	59
Foto 11: Agregado de suelo	59
Foto 12: Cilindro plástico	59
Foto 13: Aplicación de la tensión normal inicial de 50 kPa	59
Foto 14: Suelo comprimido	59
Foto 15: Papel de filtro superior	60
Foto 16: Placa superior	60
Foto 17: Probeta terminada	60
Foto 18: Probeta dentro de la caja de corte	60
Foto 19: Probeta preparada para ser comprimida y cortada	60
Foto 20: Pesas utilizadas para la compresión	60
Foto 21: Extremo de la palanca para colocar los pesos	61
Foto 22: Corte de probeta (inicio)	61
Foto 23: Corte de probeta (fin)	61
Foto 24: Registro y almacenamiento de los datos en Gould TA11 y ordenador portátil	61

1.4 ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
Figura 1: Recta de Coulomb.	31
Figura 2: Fronteras de estado en el espacio $p-q-v$	33
Figura 3: Pared de estado crítico	35
Figuras 4: Líneas de estado crítico, de consolidación normal y de recuperación en el plano $q = 0$	36
Figura 5: Italia. Con los marcadores se señalan los lugares de donde fueron extraídas las 4 series de suelos (Bari, Módena y Bolonia) y el lugar donde se efectuaron	44

los ensayos (Florencia)	
Figura 6: Sección en planta de la caja de corte (arriba) y vertical (abajo)	51
Figura 7: Sección vertical de la caja de corte	52
Figura 8: Densidad alcanzada por cada tratamiento de Argese ante las diferentes tensiones normales. Letras distintas para una misma tensión indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$ LSD) entre tratamientos.	71
Figura 9: Densidad alcanzada por cada tratamiento de Cardone ante las diferentes tensiones normales. Letras distintas para una misma tensión indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$ LSD) entre tratamientos.	72
Figura 10: Densidad alcanzada por cada tratamiento de Carpi ante las diferentes tensiones normales. Letras distintas para una misma tensión indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$ LSD) entre tratamientos.	73
Figura 11: Densidad alcanzada por cada tratamiento de Ozzano ante las diferentes tensiones normales. Letras distintas para una misma tensión indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$ LSD) entre tratamientos.	74
Figura 12: Rectas de Coulomb de Argese	87
Figura 13: Rectas de Coulomb de Cardone	88
Figura 14: Rectas de Coulomb de Carpi	89
Figura 15: Rectas de Coulomb de Ozzano	90
Figura 16: Líneas de Consolidación Virgen de Argese	96
Figura 17: Líneas de Consolidación Virgen de Cardone	97
Figura 18: Líneas de Consolidación Virgen de Carpi	98
Figura 19: Líneas de Consolidación Virgen de Ozzano	99
Figura 20: Regresiones Relación de Volumen – Relación de Tensión de Argese	101
Figura 21: Regresiones Relación de Volumen – Relación de Tensión de Cardone	102
Figura 22: Regresiones Relación de Volumen – Relación de Tensión de Carpi	103
Figura 23: Regresiones Relación de Volumen – Relación de Tensión de Ozzano	104

Figura 24 a 35: Líneas de estado crítico de todos los suelos y tratamientos	108 a 113
---	--------------

1.5 ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

ϕ	Ángulo de rozamiento interno
c	Cohesión
σ	Tensión normal
τ	Tensión cortante
LEC, CSL	Línea de estado crítico, <i>Critical State Line</i>
LCN, NCL	Línea de consolidación normal, <i>Normal Consolidation Line</i>
v	Volumen específico del suelo (1/Dap)
p	Tensión normal
q	Tensión de corte
p_c	Tensión de preconsolidación (divide el comportamiento elástico del plástico)
N	Término independiente de la Línea de Consolidación Normal
Γ	Término independiente de la Línea de Estado Crítico
λ	Pendiente de la Línea de Estado Crítico y de la Línea de Consolidación Normal
κ	Pendiente de la Línea de Recuperación (<i>Rebound Line</i>)
RT	Relación de tensión (tensión normal / tensión de preconsolidación = p / p_c)
RV	Relación de volumen (vol. final – vol. inicial) / volumen inicial
CIC	Capacidad de intercambio catiónico
RAS	Relación de adsorción de sodio
CE	Conductividad eléctrica
MO	Materia orgánica
Dap, δ_{ap}	Densidad aparente

