



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Estudios

Grado en Ciencias Ambientales

Estudio de la cohesión de suelos en pastos (Nardion y
Bromion) del Pirineo Central

Study of soil cohesion in pastures (Nardion and
Bromion) of the Central Pyrenees

Autora

Sandra Sánchez Atrián

Director

Dr.D. David Badía-Villas

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

2021

I. AGRADECIMIENTOS

Quería agradecer este trabajo a todas las personas que lo han hecho posible. A Dr. D. David Badía-Villas, por su orientación, ayuda, dedicación y apoyo durante la realización de este trabajo. A Laura Carrá por su ayuda en la parte de estadística. A D^a. Asunción Callizo Salvo y D^a. Ana Belén Aguado Operé por el trato recibido y amabilidad durante el análisis de muestras en el laboratorio. A José Ramón Doz Demur, por las explicaciones y el material prestado.

Gracias a mi familia, por su apoyo.

I. RESUMEN

En algunas zonas de montaña resulta frecuente observar deslizamientos del suelo que provocan su pérdida y, secundariamente, rejuvenecimiento de la sucesión vegetal. Entre las propiedades del suelo que influyen en la facilidad de producirse dichos deslizamientos están diversas propiedades como la cohesión de los materiales y su coeficiente de fricción interna. Con el objetivo de identificar la resistencia de los suelos frente a dichos deslizamientos, en este trabajo se han determinado propiedades físicas como el Coeficiente de Extensibilidad Lineal (COLE) y los Límites de Atterberg; Límite Líquido y Plástico, así como los Índices Plástico, Líquido y de Consistencia. El estudio se ha centrado en suelos bajo dos alianzas de pastos (*Nardion* y *Bromion*) en la zona de la Estiva, al sur del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido (Huesca), muy afectada por los deslizamientos de ladera.

Los resultados obtenidos de COLE muestran que la mayoría de los horizontes en ambos suelos tienen una expansibilidad media, lo que significa que se producen cambios de volumen entre el 10 y el 20%. Además la presencia de horizontes con arcilla iluvial, favorece la formación de grietas. El Límite Líquido (LL), al igual que el Índice Plástico (IP), en la mayoría de los horizontes de ambos suelos, indican una baja plasticidad de sus arcillas, rasgo que les hace más propensos a los movimientos en masa. Finalmente el valor negativo del Índice Líquido (IL) confiere a ambos suelos un comportamiento sólido frágil, siendo estos más susceptibles de sufrir deslizamiento al disminuir su cohesión.

Palabras clave: Coeficiente de Extensibilidad Lineal, Límites de Atterberg, Límite Líquido, Índice Plástico, propiedades físicas.

ABSTRACT

In some mountain areas it is common to observe soil slides that cause soil loss and, secondarily, rejuvenation of the vegetation succession. Among the soil properties that influence the ease of occurrence of such landslides are various properties such as the cohesion of the materials and their coefficient of internal friction. In order to identify the resistance of soils to landslides, physical properties such as the Coefficient of Linear Extensibility (COLE) and the Atterberg Limits; Liquid and Plastic Limit, as well as the Plastic, Liquid and Consistency Indices have been determined in this work. The study focused on soils under two pasture alliances (Nardion and Bromion) in the Estiva area, south of the Ordesa y Monte Perdido National Park (Huesca), which is highly affected by landslides.

The results obtained from COLE show that most of the horizons in both soils have a medium expansibility, which means that volume changes occur between 10 and 20%. In addition, the presence of illuvial clay horizons favors the formation of cracks. The Liquid Limit (LL), as well as the Plastic Index (PI), in most of the horizons of both soils, indicate a low plasticity of their clays, a trait that makes them more prone to mass movements. Finally, the negative value of the Liquid Index (IL) confers to both soils a fragile solid behavior, making them more susceptible to sliding as their cohesion decreases.

Key words: Coefficient of Linear Extensibility, Atterberg Limits, Liquid Limit, Plastic Index, physical properties.

ÍNDICE

I. AGRADECIMIENTOS	2
I. RESUMEN	3
ABSTRACT	4
1. INTRODUCCIÓN	13
1.1. Suelo	13
Propiedades físicas de los suelos	14
1.2. Pastos.....	17
Alianza <i>Nardion strictae</i>	18
Alianza <i>Bromion erecti</i>	19
2. JUSTIFICACIÓN	21
3. OBJETIVOS	22
4. ÁREA DE ESTUDIO	23
4.1. Localización	23
4.2. Geología	23
4.3. Geomorfología y relieve	24
4.4. Clima	25
4.5. Hidrología	26
4.6. Suelos.....	26
4.7. Vegetación y usos del suelo	27
5. MATERIALES Y MÉTODOS	29
5.1. Coeficiente de Extensibilidad Lineal (COLE)	29
Fundamento.....	29
Material	30
Procedimiento y cálculo.....	31
5.2. Límites Atterberg. Límite Líquido (LL) (Método CASSAGRANDE)	31
Fundamento.....	31
Material	31
Procedimiento	32
Cálculos	32
5.3. Límites Atterberg. Límite Plástico (LP)	33
Fundamento.....	33
Material	33
Procedimiento	33
Cálculos	34
5.4. Índices	34

Índice de Plasticidad (IP).....	34
Índice Líquido (IL).....	35
Índice de Consistencia (IC)	35
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
6.1. Coeficiente de extensibilidad lineal (COLE)	36
6.2. Límites Atterberg.....	43
6.2.1. Límite Líquido (LL).....	43
6.2.2. Límite Plástico (LP)	47
6.2.3. Índice de Plasticidad (IP)	49
6.2.4. Índice Líquido (IL).....	51
7. CONCLUSIONES.....	55
8. BIBLIOGRAFÍA	57
ANEXO Nº 1. Resultados previos	64
ANEXO Nº2. Resultados. Coeficiente de extensibilidad lineal	66
II.1. Resultados laboratorio	66
II.1.1. Longitud y peso antes de secado	66
II.1.2. Longitud y peso después de secado	69
II.2. Cálculo propiedades	73
II.2.1. Pesos. Diferencias en tanto por ciento (%)	73
II.2.2. Coeficiente de extensibilidad lineal (COLE)	77
II.3. Tratamiento estadístico resultados	80
II.3.2. Pesos	80
II.3.3. COLE	82
ANEXO Nº3. Límites Atterberg. Límite Líquido	84
III.1. Cálculos previos.....	84
III.2. Límites Atterberg. Límite Líquido	86
III.2.1. Cantidad de muestra utilizada en el método Cuchara Grande y cálculo Capacidad de Campo.....	86
III.2.2. Adición sucesiva de volúmenes conocidos de agua destilada en la muestra durante el proceso.....	87
III.2.3. Gráfico. Eje abscisas (x). Número de golpes normalizado con Cuchara de Cassagrande.....	89
III.2.4. Gráfico. Curva de regresión o curva de flujo.....	91
III.2.5. Límite Líquido. Interpolación matemática ecuaciones.....	99
ANEXO Nº4. Límites Atterberg. Límite Plástico	101
IV.1. Pesaje	101
IV.1.1. Muestra húmeda	101

IV.1.2. Muestra seca	105
IV.2. Cálculo humedad (%)	110
IV.3. Límite Plástico	114
ANEXO Nº5. DETERMINACIÓN DE ÍNDICES.....	116
V.1. Índice Plástico	116
V.1.1. Variables fórmula	116
V.1.2. Resultados	117
V.2. Índice Líquido	119
V.2.1. Variables fórmula	119
V.2.2. Resultados	120
V.3. Índice de Consistencia.....	122
V.3.1. Variables fórmula	122
V.3.2. Resultados	123
ANEXO Nº6. MATRIZ DE COEFICIENTE DE CORRELACIÓN (r).....	126
VI.1. Perfiles suelos bajo <i>Nardion</i>	126
VI.2. Perfiles suelos bajo <i>Bromion</i>	127

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1.1: Límites de Atterberg.....	14
Figura 4.1: Localización de la zona de estudio (La Estiva) en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido. NE de España (Fuente: Badía et al., 2020)	23
Figura 4.2: Mapa geológico del Parque Nacional De Ordesa y Monte Perdido (Fuente: Lambán et al., 2019).	24
Figura 4.3: Mapa geomorfológico de la Estiva (Fuente: Badía et al., 2020).....	25
Figura 4.4: Esquema de los dos tipos de suelos; L1 suelos bajo Nardion y L2 suelos bajo Bromion (Fuente: Badía et al. 2020).....	27
Figura 6.1: Coeficiente de extensibilidad lineal (COLE) según horizonte y profundidad en los perfiles Nardion.....	37
Figura 6.2: Coeficiente de extensibilidad lineal (COLE) según horizonte y profundidad en los perfiles Bromion.....	38
Figura 6.6: Límite Líquido (LL) según horizonte y profundidad en los perfiles Nardion	43
Figura 6.7: Límite Líquido (LL) según horizonte y profundidad en los perfiles Bromion	44
Figura 6.11: Límite Plástico (LP) según horizonte y profundidad en los perfiles Nardion	48
Figura 6.12: Límite Plástico (LP) según horizonte y profundidad en los perfiles Bromion	49
Figura 6.13: Índice Plástico (IP) según horizonte y profundidad en los perfiles Nardion	50
Figura 6.14: Índice Plástico (IP) según horizonte y profundidad en los perfiles Bromion	51
Figura 6.15: Índice Líquido (IL) según horizonte y profundidad en los perfiles Nardion	52
Figura 6.16: Índice Líquido (IL) según horizonte y profundidad en los perfiles Bromion	53
Figura 6.17: Índice de Consistencia (IC) según horizonte y profundidad en los perfiles Nardion	54
Figura 6.18: Índice de Consistencia (IC) según horizonte y profundidad en los perfiles Bromion	54

INDICE FÓRMULAS

Fórmula 5.1: Cálculo COLE según Soil Survey Laboratory (1996) [Laboratorio Estudio del Suelo].....	29
Fórmula 5.2: Cálculo COLE según Soil Survey Staff (2014).....	29
Fórmula 5.3: Cálculo Estabilidad Lineal de un horizonte según Soil Survey Staff (2014)	30
Fórmula 5.4: Cálculo Estabilidad Lineal de todo el perfil según Soil Survey Staff (2014)	30
Fórmula 5.5: Cálculo cambio de volumen del suelo según González (1990)	30
Fórmula 5.6: Cálculo Índice de Plasticidad expresado en porcentaje de agua contenida sobre suelo seco	34
Fórmula 5.7: Cálculo Índice Líquido	35
Fórmula 5.8: Cálculo Índice de Consistencia	35
Fórmula 6.1: Porcentaje de extensión lineal (%EL)	41
Fórmula III.1: Cálculo CC según Badía et al. (2020).....	84

INDICE TABLAS

Tabla 6.3: Interpretación de la capacidad de expansión de un suelo en presencia de arcillas expansivas. McCormack et al. (1975) citados por Jaramillo (2002).....	38
Tabla 6.4: Interpretación de la capacidad de expansión del suelo en el perfil Nardion	38
Tabla 6.5: Interpretación de la capacidad de expansión del suelo en el perfil Bromion	39
Tabla 6.6: Porcentajes de extensión lineal (%EL) en suelos bajo Nardion	41
Tabla 6.7: Porcentaje de extensión lineal (%EL) en suelos bajo Bromion	42
Tabla 6.8: Interpretación de las propiedades plásticas de las arcillas. Holtz et al. (1981) citados por Hajjaji et al. (2010) p.43	44
Tabla 6.9: Interpretación del LL asociado a la plasticidad de las arcillas en los diferentes horizontes de los perfiles Nardion	44
Tabla 6.10: Interpretación del LL asociado a la plasticidad de las arcillas en los diferentes horizontes de los perfiles Bromion.....	46
Tabla I.1: Resultados analíticos de los perfiles en suelos bajo Nardion. Badía et al. (2020).....	64
Tabla I.2: Resultados analíticos de los perfiles en suelos bajo Bromion. Badía et al. (2020).....	65
Tabla II.1: Coeficiente de Extensibilidad Lineal. Longitudes y pesos antes de secado en suelos Nardion	66
Tabla II.2. Coeficiente de Extensibilidad Lineal. Longitudes y pesos antes de secado en suelos Bromion	68
Tabla II.3: Coeficiente de Extensibilidad Lineal. Longitudes y pesos después de seco en suelos bajo Nardion	70
Tabla II.4: Coeficiente de Extensibilidad Lineal. Longitudes y pesos después de secado.....	72
Tabla II.5: Coeficiente de Extensibilidad Lineal. Diferencia de peso muestra (%) antes y después secado en suelos bajo Nardion.....	73
Tabla II.6: Coeficiente de Extensibilidad Lineal. Diferencia de pesos muestra (%) antes y después secado en suelos bajo Bromion	76
Tabla II.7: Coeficiente de Extensibilidad Lineal. Cálculo en suelos bajo Nardion según Fórmula 4.3	77
Tabla II.8: Coeficiente de Extensibilidad Lineal. Cálculo en suelos bajo Bromion según Fórmula 4.3.....	79
Tabla II.9: Variación de peso. Variables estadísticas en suelos bajo Nardion.....	81
Tabla II.10: Variación de peso.Variables estadísticas en suelos bajo Bromion.....	81
Tabla II.11: Coeficiente de Extensibilidad Lineal. Variables estadísticas de la Tabla II.7 en suelos bajo Nardion	82
Tabla II.12: Coeficiente de Extensibilidad Lineal. Variables estadísticas de la Tabla II.8 en suelos bajo Bromion.....	83

Tabla III.1: Límites Atterberg. Límite Líquido. Capacidad de Campo para suelos bajo Nardion. Badía et al. (2020).....	85
Tabla III.2: Límites Atterberg. Límite Líquido. Capacidad de Campo para suelos bajo Bromion. Badía et al. (2020)	85
Tabla III.3: Límites Atterberg. Límite Líquido. Capacidad de Campo en suelos Nardion	86
Tabla III.4: Límites Atterberg. Límite Líquido. Capacidad de Campo en suelos Bromion	87
Tabla III. 5: Límites Atterberg. Límite Líquido. Cantidad de agua añadida sucesivamente durante proceso experimental.	88
Tabla: III.6. Límites Atterberg. Límite Líquido. Cantidad de agua total añadida sucesivamente durante proceso experimental en suelos bajo Nardion	88
Tabla III.7: Límites Atterberg. Límite Líquido. Cantidad de agua añadida sucesivamente durante proceso experimental en suelos bajo Bromion.	89
Tabla III.8: Límites Atterberg. Límite Líquido. Gráfico. Eje de abscisas (X). Número de golpes normalizados cuchara de Cassagrande en suelos bajo Nardion	90
Tabla III.9: Límites Atterberg. Límite Líquido. Gráfico. Eje de abscisas (X). Número de golpes normalizados cuchara Cassagrande en suelos bajo Bromion	91
Tabla III.10: Límites Atterberg. Límite Líquido. Gráfico. Ecuación de regresión y coeficiente de correlación lineal en suelos bajo Nardion	96
Tabla III.11: Límites Atterberg. Límite Líquido. Gráfico. Ecuación de regresión y coeficiente de regresión lineal en suelos	98
Tabla III.12: Límites Atterberg. Límite Líquido. Interpolación matemática ecuaciones Tabla III.10 con X=25 golpes en suelos bajo Nardion	99
Tabla III.13: Límites Atterberg. Límite Líquido. interpolación matemática ecuaciones Tabla III.11 con X=25 golpes en suelos bajo Bromion.....	100
Tabla IV.1: Límites Atterberg. Límite Plástico. Peso húmedo en nuestras en suelos bajo Nardion	101
Figura IV.2: Límites Atterberg. Límite Plástico. Peso húmedo muestras en suelos bajo Bromion	104
Tabla IV.3: Límites Atterberg. Límite Plástico. Peso seco en muestras en suelos bajo Nardion	105
Tabla IV.4: Límites Atterberg. Límite Plástico. Peso seco en muestras en suelos bajo Bromion	108
Tabla IV.5: Límites Atterberg. Límite Plástico. Humedad (%) según norma UNE 103-300-93, en suelos bajo Nardion	110
Tabla IV.6: Límites Atterberg. Límite Plástico. Humedad (%) según norma UNE-103-300-93, en suelos bajo Bromion.....	112
Tabla IV.7: Límites Atterberg. Límite Plástico (LP) y variables estadísticas en suelos bajo Nardion	114
Tabla IV.8: Límites Atterberg. Límite Plástico (LP) y variables estadísticas en suelos bajo Bromion.	115

Tabla V.1: Índice de Plástico. Identificación de propiedades en suelos bajo Nardion	116
Tabla V.2: Índice Plástico. Identificación de propiedades en suelos bajo Bromion	117
Tabla V.3: Índice Plástico. Resultados en suelos bajo Nardion	117
Tabla V.4: Índice Plástico. Resultados en suelos bajo Bromion	118
Tabla V.5: Índice Líquido. Identificación de propiedades en suelos bajo Nardion .	119
Tabla V.6: Índice Líquido. Identificación de propiedades en suelos bajo Bromion	120
Tabla V.7: Índice Líquido. Resultados en suelos bajo Nardion	120
Tabla V.8: Índice Líquido. Resultados en suelos bajo Bromion	121
Tabla v.9: Índice de Consistencia. Identificación de propiedades en suelos bajo Nardion	122
Tabla V.10: Índice de Consistencia. Identificación de propiedades en suelos bajo Bromion	123
Tabla V.11: Índice de Consistencia. Resultados den suelos bajo Nardion	123
Tabla V.12: Índice de Consistencia. Resultados en suelos bajo Bromion	124
Tabla VI.1: Matriz de Coeficiente de Correlación para el conjunto de horizontes en suelos bajo Nardion	126
Tabla VI.2: Matriz de Coeficiente de Correlación para el conjunto de horizontes en suelos bajo Bromion	127

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Suelo

El suelo se define como un sistema estructurado, heterogéneo y discontinuo, fundamental e irremplazable, desarrollado a partir de una mezcla de materia orgánica, minerales y nutrientes capaces de sostener el crecimiento de los organismos y microorganismos (**Atlas y Bartha, 2002; Nannipieri et al., 2003**). Los constituyentes, las propiedades y la génesis de los suelos son el resultado de la actuación de una serie de factores activos como el clima, los organismos, el relieve y el tiempo (**Porta et al., 2003**). El suelo está compuesto por horizontes cercanos a la superficie terrestre que se diferencian del material parental subyacente como resultado de adicciones, pérdidas, transferencias, y transformaciones de energía y materia (**USDA, 1999**).

El suelo es un recurso natural finito y no renovable que presta diversos servicios ecosistémicos o ambientales, entre ellos el relacionado con su participación en los ciclos bioquímicos de elementos claves para la vida como el carbono, el nitrógeno o el fósforo (**Silva y Correa, 2009**). Es, además, un insumo clave para la producción de alimentos, fibras y biocombustibles, posibilitando así la vida del ser humano y de otros seres (**Balks y Zabowski, 2016**). Puede afirmarse, que el suelo influye considerablemente sobre el medio en el que se ubica y repercute en las actividades sociales y económicas de los grupos humanos que se asientan en ese territorio, grupos que ejercen diferente grado de presión sobre el suelo y que generan así afectación o deterioro de este (**Gardi et al., 2014**).

Por su parte, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) propuso la Declaración del Día Mundial del Suelo (5 de diciembre) y el Año Internacional de los Suelos 2015 (AIS) con el objetivo de aumentar la concienciación y la comprensión de la importancia del suelo para la seguridad alimentaria y las funciones ecosistémicas esenciales. Los suelos son la base para la producción de alimentos saludables; son el fundamento para la vegetación que se cultiva o gestiona para producir alimentos, fibras, combustibles o productos medicinales; sostienen la biodiversidad del planeta y albergan una cuarta parte de la misma; ayudan a combatir y adaptarse al cambio climático por su papel clave en el ciclo del carbono; almacenan y filtran agua mejorando nuestra resiliencia ante inundaciones y sequías; y finalmente, al tratarse de un recurso no renovable, su conservación es esencial para la seguridad alimentaria y un futuro sostenible. Los objetivos específicos del AIS son: conseguir la plena concienciación de la sociedad civil y los responsables de la toma de decisiones sobre la profunda importancia del suelo para la vida humana; educar al público sobre el papel crucial que desempeña el suelo en la seguridad alimentaria, la adaptación y la mitigación del cambio climático, los servicios ecosistémicos esenciales, la mitigación de la pobreza y el desarrollo sostenible; apoyar

políticas y acciones eficaces para el manejo sostenible y la protección de los recursos del suelo, promover inversiones en actividades de manejo sostenible de la tierra para desarrollar y mantener suelos saludables para los diferentes usuarios de la tierra y grupos de población; fortalecer iniciativas en relación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible y la agenda post-2015; y finalmente, promover una mejora rápida de la capacidad para la recopilación de información sobre el suelo y la supervisión a todos los niveles (mundial, regional y local) (FAO c, 2015).

Propiedades físicas de los suelos

- [Expansibilidad y contracción \(COLE\)](#)

La capacidad de expansión y contracción de un suelo, cuantificable mediante el Coeficiente de Extensión Lineal (COLE), está estrechamente relacionada con la naturaleza del material parental y composición granulométrica del suelo, siendo la fracción arcillosa la que condiciona de modo preferente dicha propiedad (Anderson et al., 1973).

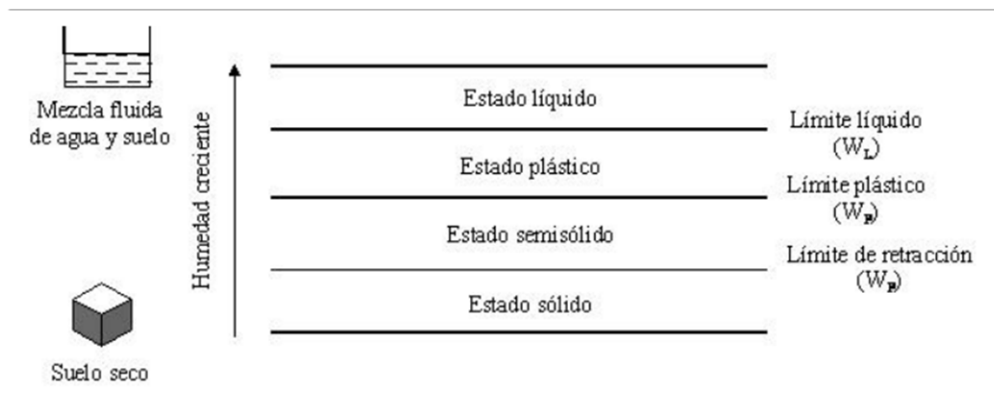
En los suelos arcillosos, dicho nivel de contracción y expansión no solo depende de la cantidad de arcilla, sino también de su naturaleza o calidad. Así pues, Yong y Warkentin (1966) señalan que aquellos que contienen minerales del grupo de la montmorillonita pueden absorber mayores cantidades de agua y ser capaces, por lo tanto, de contraerse considerablemente por desecación.

Greene-Kelly (1974) en su estudio sobre la contracción de suelos arcillosos, correlaciona la contracción con la capacidad de intercambio catiónico (CIC), superficie específica y retención de humedad de la fracción arcilla.

- [Resistencia al corte \(Límites de Atterberg\)](#)

Los límites de Atterberg pueden definirse como los límites de los contenidos de humedad que caracterizan los cuatro estados de consistencia de un suelo de grano fino: estado sólido, estado semisólido, estado plástico y estado semilíquido o viscoso (Figura 1).

Figura 1.1: Límites de Atterberg.



El límite entre los estados sólido y semisólido se denomina Límite de Contracción; en el cual un incremento en el contenido de humedad está asociado a un cambio de volumen, pero una reducción en el contenido de humedad no produce cambio de volumen. El límite entre los estados semisólido y plástico se llama Límite Plástico; en este estado la mezcla se deforma bajo ligera presión, produciéndose un cambio de volumen al aumentar o disminuir la humedad. Finalmente, el límite entre los estados plástico y líquido se conoce como Límite Líquido (el cual se determina mediante la cuchara de Cassagrande). En este estado la mezcla se comporta como un fluido viscoso y fluye bajo su propio peso y, cualquier incremento o descenso de humedad produce un cambio en el volumen del suelo (**Holtz y Kovacs, 1981**)

Propiedades como la cohesión de los materiales y su coeficiente de fricción interna determinan la resistencia al corte de un suelo, es decir, la resistencia de un suelo a sufrir deslizamientos. Ambas propiedades dependen directamente de otras como son la plasticidad, estructura y contenido de materia orgánica de los suelos.

Davies (1985) indica que a medida que aumenta el contenido en materia orgánica, la resistencia al corte es mayor. De igual manera, **Terlien (1996)** en su estudio de zonificación de amenazas por deslizamientos llevado a cabo en Manizales (Colombia), señala que los suelos orgánicos presentan una mayor cohesión.

En cuanto a los Límites de Atterberg, **Yilmaz (2000)** encuentra una correlación negativa entre la resistencia al corte y el Índice Líquido. Por su parte, **Suzuki et al. (2005)** determina que el Límite Líquido y el Índice Plástico son las principales propiedades mecánicas relacionadas con la resistencia al corte en suelos con altos contenidos de montmorillonita.

- [Estabilidad de los agregados](#)

Los agregados son conjuntos estables de partículas de suelo enlazadas o cementadas por sustancias orgánicas, óxidos de hierro, carbonatos, arcillas o sílice (**Brady y Weil, 1999**).

Hillel (1982) señala que los agregados se denominan estables cuando las partículas individuales de suelo se mantienen unidas durante diferentes condiciones como humedecimiento, secado, congelamiento, descongelamiento, crecimiento de la planta y actividad microbiana.

Así pues, un suelo con agregados estables permite una adecuada infiltración, aireación, y una mayor resistencia a la erosión (**Brady y Weil, 1999**).

Hénin (1958) indica que la estabilidad de los agregados está condicionada especialmente por la acción del agua como factor de degradación y por la cohesión como factor de resistencia.

Cerana (2006) demuestra que esta propiedad se correlaciona significativamente con el contenido de materia orgánica. **Singer (1994)**, por su parte, señala que los componentes determinantes para la estabilidad de los agregados son el contenido de arcilla y la mineralogía de las fracciones.

- Compactibilidad

La compactación de un suelo consiste en la reducción del espacio poroso causado por una carga aplicada a la superficie del suelo (**Kulli, 2003**).

Alakuku et al. (2003) señala que la compactibilidad depende de la textura, estructura, contenido en materia orgánica y humedad del suelo.

Durante la aplicación de cargas las partículas del suelo son reorganizadas, decrece el espacio poroso y estas son llevadas a un contacto más cercano, incrementando la densidad aparente del suelo; cambia la forma, tamaño y distribución de los poros, lo cual limita la capacidad de retención del suelo, el intercambio hídrico y gaseoso, y aumenta la impedancia mecánica (**Berli, 2001; Gysi et al., 2001**).

La compactación se determina a través de la medición directa de propiedades del suelo como: densidad aparente, porosidad total, índice de poros, volumen específico, y de forma indirecta por su acción sobre estas y otras propiedades que influyen en la resistencia a la penetración, la permeabilidad del aire y del agua (**Johnson y Bailey, 2002**).

La resistencia a la penetración depende de varias propiedades como la resistencia a la deformación del suelo, compresibilidad y fricción suelo-metal y, se asocia a propiedades como la densidad aparente, el contenido de agua, la materia orgánica del suelo y la cantidad de agentes cementantes (**Dexter et al., 2007**). A su vez, la resistencia a la penetración afecta al desarrollo de las plantas y las labores agrícolas (**Hazma y Anderson, 2005**). En la planta disminuye el crecimiento de la raíz y las posibilidades de obtención de nutrientes, agua y aire. El suelo exhibe escorrentía superficial, endurecimiento y mala aireación; lo cual condiciona el empobrecimiento de sus cualidades físicas, reduce el tiempo disponible para la realización de operaciones agrícolas y disminuyen los rendimientos agrícolas (**Gysi et al., 2001**).

La humedad del suelo es el factor que mayor influencia tiene en la compactación. La adición de agua incrementa la cohesión, originando un efecto de lubricación entre las partículas el cual permite que estas sean realineadas más fácilmente. Durante el proceso de

compresión el aire puede ser desalojado de los poros, favoreciendo así la compactación (**González et al., 2008**). Durante las labores agrícolas es deseable que la humedad del suelo sea inferior al Límite Plástico; varios autores consideran que el contenido de humedad más apropiado es de 0,8 a 0,95 (**Keller, 2004**).

El contenido de materia orgánica mejora la estructura del suelo y contribuye a disminuir su compactibilidad. La materia orgánica en el suelo favorece la formación y estabilidad de agregados, aumenta la porosidad total, disminuye la densidad aparente, mejora la actividad biológica del suelo y propicia que el suelo retenga mayor humedad. Además incrementa los límites de consistencia del suelo, aumentando el intervalo de humedad al cual se puede trabajar el suelo. La compactibilidad está influenciada no solo por el contenido de materia orgánica, sino además por el tipo de materia orgánica, ya que material parcialmente descompuesto y altamente humidificado incrementa la resistencia del suelo a la compactación. Otros factores naturales que influyen en la compactación son la fuerza de gravedad, la lluvia y los ciclos de humedecimiento y secado del suelo. El humedecimiento favorece una disminución de la densidad de volumen, debido a que la presencia de agua en los poros amortigua y dificulta el acercamiento de las partículas del mismo, estos se expanden y disminuye el efecto de la compactación. Durante el proceso de secado se contrae el suelo, disminuye su volumen y favorece el incremento de la densidad. Los suelos arcillosos son más susceptibles a los ciclos de humedecimiento y secado que los demás suelos (**Hamza y Anderson, 2005**).

La lluvia, por su parte, desintegra los agregados, dispersa la arcilla y favorece la compactación superficial, aumentando la densidad aparente de los primeros centímetros del suelo (**Mcintyre, 1958**); este fenómeno está asociado con un bajo contenido de materia orgánica y altos contenidos de limo y sodio (**Doral-Kemper y Miller, 1975; Ferry y Olsen, 1975**).

Según **Botta (2002)** existe una correlación entre el índice de compresión y el contenido de arcilla en el suelo; a mayor contenido de arcilla, más compresibilidad.

1.2. Pastos

Según la Sociedad Española de Pastos (SEP), se define como pasto a aquel recurso vegetal que sirve de alimento al ganado, ya sea de forma directa a través del pastoreo o, de manera indirecta como forraje, tanto en fresco (parte vegetativa de las plantas una vez cosechada) como en formas conservadas (heno, ensilada, henilaje y hierba picada) (**Ferrer, 2016**).

Estos sistemas, de notable importancia tanto para el mantenimiento de la biodiversidad del medio natural, como para el desarrollo sostenible de la sociedad en

general, ofrecen un amplio abanico de servicios ecosistémicos que les otorga un elevado interés ambiental: contribuyen al mantenimiento de la diversidad paisajística, específica y genética (vegetal y animal); son utilizados como herramienta de gestión tanto para la conservación de especies de flora y fauna amenazadas, como para la prevención de incendios; incrementan la actividad biológica en los suelos; intervienen en la regulación hídrica de extensos sistemas fluviales; aceleran los ciclos de nutrientes aumentando así la eficiencia en el uso de los mismos; actúan como sumidero de carbono (del 10% del carbono total de la biosfera que es almacenado por los pastos herbáceos, el 90% es secuestrado por los suelos) (Reiné, 2009); mejoran la estabilización y fertilidad del suelo, protegiendo de procesos erosivos a aquellos más susceptibles; y proveen de hábitat a una gran variedad de flora y fauna silvestre.

Por otro lado, los sistemas pascícolas presentan una gran relevancia socioeconómica, ya que además de ofrecer un medio de vida a miles de personas, son considerados como uno de los principales recursos alimentarios de la ganadería extensiva de montaña. Estos sistemas, a su vez, sostienen una gran variedad de actividades englobadas dentro de este marco: turismo; deportes (esquí, de aventura, caza); apicultura; trashumancia; y desarrollo de una economía local a través de pequeños comercios artesanales sustentados con productos con denominación de origen; generando oportunidades laborales y, permitiendo así, el mantenimiento de la población en el medio rural y la conservación de su patrimonio y herencia cultural (folklore, paisaje, tradiciones, etc.).

Entre los pastos más extendidos en el Pirineo Central destacan los siguientes:

*Alianza *Nardion strictae**

Esta alianza se encuentra recogida dentro del anexo I de la Directiva 92/43/CEE con el código de hábitat 6230 “Formaciones herbosas con *Nardus*, con numerosas especies, sobre sustratos silíceos de zonas montañosas (y de zonas submontañosas de Europa continental) (*)”.

Según el Manual de interpretación de los hábitats de la Unión Europea (EUR25, abril 2003), el hábitat 6230 está caracterizado por presentar prados densos vivaces secos, o mesofíticos (necesitan de una temperatura y humedad media para su desarrollo), dominados por *Nardus stricta* (cervuno) y otras gramíneas cespitosas, sobre suelos silíceos localizados en zonas basales, atlánticas, sub-atlánticas o boreales, zonas colina y montañas del centro y norte de Europa y occidente Ibérico.

Los cervunales de la Alianza *Nardion strictae*, conforman espesos céspedes con una cobertura total y se caracterizan por constituir comunidades frecuentemente edafohigrófilas

(por causas topográficas, se desarrollan sobre suelos que presentan una mayor humedad) y quionófilas (requieren estar cubiertas de nieve durante un largo período de tiempo). Estas formaciones se desarrollan en su mayoría en zonas montañosas, en los pisos altimontano (1000-1800 msnm), subalpino u orotemplado (1800-2300 msnm) y alpino o criotemplado (por encima de los 2300 msnm) de las regiones alpinas y atlánticas.

En el caso de la península ibérica, este hábitat se distribuye principalmente por la región Atlántica, la cual alberga el 79% de la superficie total ocupada por *Nardus stricta*, localizándose un elevado porcentaje en torno a la Cordillera Cantábrica. En la región Alpina esta especie pascícola se emplaza en el Pirineo Central, representando el 14,28% de la superficie total. Y, finalmente, únicamente el 7,72% corresponde a la región Mediterránea, representando así, solo una sexta parte de las hectáreas totales (12.400 ha) que se recogen en la red Natura 2000.

Los cervunales se desarrollan, generalmente, en zonas con un mayor o menor grado de innivación, sobre suelos profundos, minerales y muy ácidos, o sobre sustratos básicos que, debido al fuerte lixiviado de bases, tornan a un carácter ácido. Esta comunidad pascícola también puede ser localizada en zonas húmedas próximas a cauces y lagos, en cubetas de origen glaciario colmatadas o en zonas deprimidas.

Estos pastizales, ligados principalmente a estaciones frías con humedad edáfica y ambientes que obstaculizan la descomposición de la materia orgánica, presentan micorrizas que permiten que, en condiciones de escasa humificación de la materia orgánica, *Nardus stricta* compita con ventaja frente a otras especies pratenses. Así pues, en condiciones extremas de frío, humedad y abundante materia orgánica, esta especie constituye comunidades muy homogéneas y difíciles de alterar (**Rigueiro et al., 2009**). Sin embargo, al cervuno (*Nardus stricta*), que suele ser la especie dominante con gran diferencia, pueden acompañarle otras especies como: *Alopecurus alpinus* (cola de zorro), *Anthoxanthum odoratum* subsp. *nipponicum* (santa hierba), *Bellardiochloa variegata*, *Crocus albiflorus* (azafrán silvestre), *Diplazium alpinum* (licopodio alpino), *Gentiana acaulis* (genciana alpina), *Geum montanum* (cariofilada de montaña), *Luzula sudetica*, *Nigritella nigra* subsp. *nigra* (orquídea olorosa negra), *Phleum alpinum* subsp. *rhaeticum*, *Plantago alpina* subsp. *alpina* (llantén alpino), *Pseudorchis albida*, *Thymus alpestris* (tomillo alpino), *Trifolium alpinum* (regalíz de montaña).

Alianza *Bromion erecti*

Esta alianza se encuentra recogida dentro del anexo I de la Directiva 92/43/CEE con el código de hábitat 6210 "Pastos vivaces mesofíticos y mesoxerofíticos sobre sustratos calcáreos de Festuco-Brometea (* parajes con notables orquídeas)"

Según el Manual de interpretación de los hábitats de la Unión Europea (EUR25, abril 2003), el hábitat 6210 representa pastos vivaces secos a semi-secos pertenecientes a la clase Festuco-Brometea sobre sustratos calcáreos. Atendiendo a la clasificación tradicional, este hábitat está formado, por un lado, por pastizales de regiones estépicas o subcontinentales concernientes a la orden Festucetalia valesiaca y, por el otro, por pastizales de las regiones más oceánicas y sub-mediterráneas correspondientes a la orden Brometalia erecti; en ambos casos, se debe hacer una distinción entre los pastizales primarios del Xerobromion y los secundarios (semi-naturales) del Mesobromion con *Bromus erectus*; este último caracterizado por una elevada presencia de orquídeas (Yera y Ascaso, 2009).

Estos sistemas pascícolas se distribuyen por zonas montañosas de Europa central y occidental, abarcando las regiones Alpina, Atlántica, Mediterránea, Boreal, Continental y Panónica. Se pueden localizar en altitudes comprendidas entre los 500 y 2100 metros con pendientes entre 0 y 50 grados; sin embargo, su presencia es más común entre los 900 y 1800 metros y en orografías suaves no superiores a 10 grados.

En el caso de la Península Ibérica, estas formaciones mesófitas ubicadas en altitudes entre los 500 y 2000 metros, se encuentran distribuidas mayoritariamente en los pisos montano o supratemplado (500-1700 msnm) y subalpino u orotemplado (1600-2000 msnm) de la región Alpina y Atlántica, extendiéndose desde el Pirineo oriental hasta Galicia y, minoritariamente en los pisos supramediterráneo (1000-1200 msnm) y oromediterráneo (1600-2000 msnm) de la región Mediterránea, localizándose en vaguadas y fondos de valle del Sistema Ibérico y Sistema Central oriental.

Estos pastos, caracterizados por presentar una cobertura total en la mayoría de los casos y por constituir la última etapa de sucesión de distintos tipos de bosque, se establecen en suelos con profundidad variable, ricos en bases y con pH básico, neutro o ligeramente ácido, en función del grado de lixiviación o de la composición química del material parental. Pueden ser localizados tanto en zonas con cierta sequedad edáfica (región Atlántica y Alpina) como en áreas con ombrotipo subhúmedo (región Mediterránea).

Las especies pratenses mesofíticas pertenecientes a la alianza *Bromion erecti* son: *Achillea millefolium* (milennrama o perejil bravío), *Agrostis capillaris* (mijillo), *Bromus erectus*, *Eryngium bourgatii* (cardo blanco), *Festuca nigrescens* (palletas de prau), *Galium verum* (hierba sanjuanera), *Plantago media* (alpiste borde), *Lotus corniculatus* (trébol criollo), *Onobrychis supina* (esparceta), *Poa pratensis* (espiguilla), *Teucrium pyrenaicum* (teucro pirenaico), *Trifolium montanum* (trébol montañoso) y *Trifolium pratense* (trébol rojo o trébol común).

2. JUSTIFICACIÓN

El estudio de las características físicas y químicas de los suelos nos ayuda a entender el comportamiento que estos tienen bajo unas determinadas condiciones.

Las propiedades físicas se relacionan con la estructura del suelo, que comprende el ordenamiento de las partículas en agregados y el espacio poroso que llevan asociados, todo ello como consecuencia de las interacciones físico-químicas entre las arcillas y los grupos funcionales de la materia orgánica. La formación y estabilidad de los agregados determinan en gran medida, la conservación o pérdida de los suelos por los agentes erosivos y la existencia de un espacio poroso que permita el adecuado movimiento de los fluidos (agua y aire) para el normal desarrollo de la biota (Ríos, 2010).

En trabajos previos (Badía et al., 2020), se han observado deslizamientos de ladera que explican la distribución de suelos con propiedades diferentes y, que en consecuencia, ocupan distintas comunidades pascícolas (Al. Nardion y Al. Bromion). La distribución de dichos pastos parece relacionarse con la diferencial reacción (pH) del suelo y el contenido de cationes basificantes, más baja para el cervunal y más alta para la tasca de Bromion, especialmente en horizontes superficiales, de enraizamiento (Badía et al., 2020). A su vez, los suelos de Nardion ocupan laderas ligeramente más altas (1 ó 2 metros) que las del Bromion, lo que se relaciona con fenómenos de deslizamiento de laderas. Se interpreta que las laderas originales, más viejas y, por tanto, sometidas a un lavado prolongado, soportan suelos más lavados, más ácidos. Sin embargo, su erosión, por deslizamiento, genera la pérdida total o parcial del suelo original de manera que el nuevo suelo, por debajo de la anterior superficie, rejuvenecido (por decapado o por la mezcla de horizontes originales e incluso con afloramientos del material parental calizo) es colonizado por Bromion.

Estos deslizamientos podrían estar relacionados con algunas propiedades físicas de los suelos como son la textura, la estabilidad estructural, la consistencia según su estado de humedad y, especialmente, su capacidad de expansibilidad.

Por ello, en este trabajo se plantea conocer qué papel juegan algunas propiedades físicas (Coeficiente de Extensibilidad Lineal, Límite Líquido y Límite Plástico) de los suelos de pastos en los deslizamientos de ladera del Pirineo Central.

La justificación de este trabajo está considerablemente relacionada con el Objetivo de Desarrollo Sostenible nº15: Vida de ecosistemas terrestres, en el marco de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas.

3. OBJETIVOS

Objetivo general:

El objetivo general de este trabajo fin de estudios es conocer el papel que juegan algunas propiedades físicas de los suelos en la estabilidad y en los deslizamientos de ladera en la que se instalan las principales comunidades pascícolas del Pirineo Central, las alianzas *Nardion strictae* y *Bromion erecti* (en adelante *Nardion* y *Bromion*).

Objetivos específicos:

1. Calcular las propiedades físicas como son el Coeficiente de Extensibilidad Lineal (COLE) y los Límites de Atterberg; Límite Líquido y Límite Plástico para cada uno de los horizontes de los diferentes perfiles; cinco (5) bajo pastos de *Nardion* y cinco (5) bajo pastos de *Bromion*.

2. Determinar, a partir de los parámetros anteriores, el Índice Líquido, el Índice Plástico y el Índice de Consistencia.

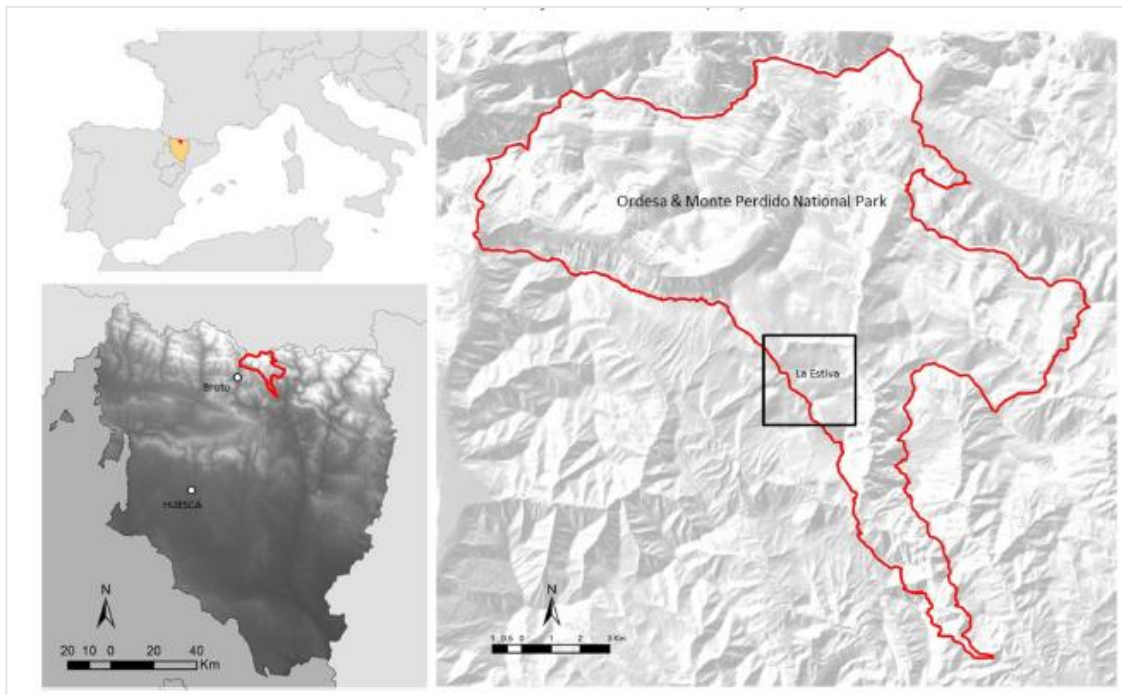
3. Correlacionar los parámetros físicos enumerados en los puntos 1 y 2 con otras variables físico-químicas, para estudiar en qué medida se asocian entre ellas y cómo afecta dicha relación a la estabilidad de los suelos.

4. ÁREA DE ESTUDIO

4.1. Localización

La zona de estudio, situada a unos 1900 metros sobre el nivel del mar, se trata de una zona de pasto localizada al sur del Parque Nacional de Ordesa y Monte (PNOMP) conocida como La Estiva, ubicada dentro del término municipal de Fanlo (Sobrarbe, Huesca, NE de España.) (**Figura 4.1**).

Figura 4.1: Localización de la zona de estudio (La Estiva) en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido. NE de España (Fuente: Badía et al., 2020)



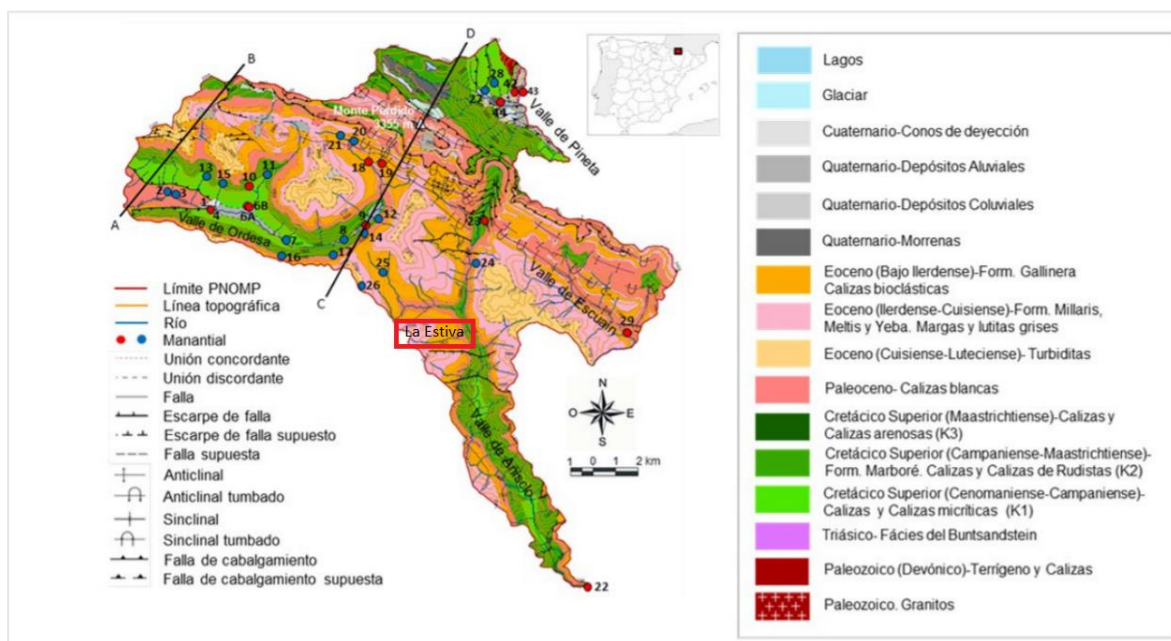
4.2. Geología

El Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido (PNOMP), que constituye el mayor macizo carbonatado de Europa occidental y el karst de mayor altitud de Europa (**Lambán et al., 2017**), se encuentra dentro de la unidad geológica de las Sierras Interiores Aragonesas, que se extienden desde el valle de Ansó hasta el de Bielsa. La serie sedimentaria del PNOMP es característica de esta unidad; en la base, se encuentran los materiales más antiguos pertenecientes a la era Paleozoico, localizándose principalmente en el valle de Bujaruelo. Por encima, se depositan los materiales de la era Mesozoica, diferenciando dos capas de calizas pertenecientes al periodo Cretácico superior; la inferior de un color más blanquecino con fósiles marinos en la parte baja y, la superior de un color marrón conocida como Arenisca de Marboré. A continuación, aparece una unidad blanquecina de caliza con fósiles en la parte alta correspondiente a la época Paleoceno. Por encima de ellas, se

observa una secuencia característica de la Zona Surpirenaica compuesta por alternancias de finas capas de areniscas y arcillas con una tonalidad grisácea, conocidas como “flysch” o turbiditas. Finalmente, aparecen los materiales del Eoceno, período en el que se produjo una profundización del surco marino, dando lugar a la denominada cuenca turbidítica de Jaca, constituida por materiales tipo flysch.

En cuanto a la geología en nuestra zona de estudio, como se muestra en la **Figura 3**, se caracteriza por el predominio de las calizas bioclásticas del Eoceno (Bajo Ilerdicense) de la formación Gallinera con presencia de nódulos de sílex (**IdeAragón, 2021**)

Figura 4.2: Mapa geológico del Parque Nacional De Ordesa y Monte Perdido (Fuente: Lambán et al., 2019).



4.3. Geomorfología y relieve

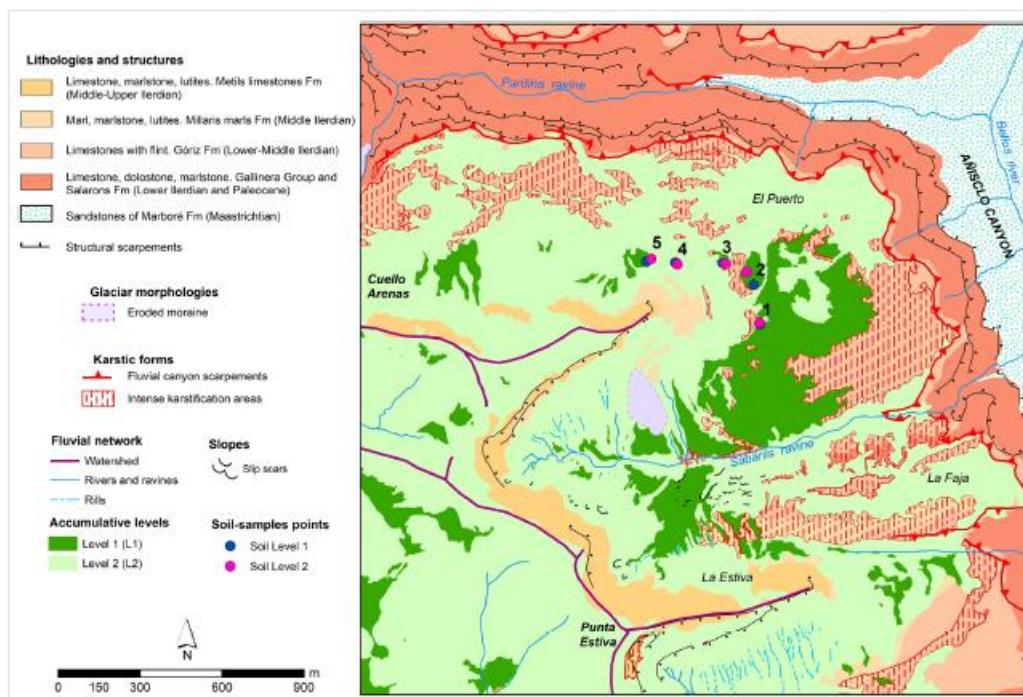
El viento y, especialmente, el agua y el hielo han sido los principales agentes erosivos encargados de transformar y modelar el paisaje hasta su estado actual.

La naturaleza caliza del parque y la acción erosiva del agua, dieron lugar a un relieve kárstico con una amplia variedad geomorfológica, destacando extensos lapiares o karren superficiales que constituyen la forma de relieve más extendida (**García-Ruiz, 2014**). Además, a lo largo y ancho de la geografía del parque, es posible encontrar un complejo sistema de grutas, simas, cavernas y ríos subterráneos. Este fenómeno kárstico también dio como resultado la formación de cañones de desagüe (valle de Añisclo) y estrechas gargantas, así como numerosas dolinas, marmitas de gigante, ollas, depresiones endorreicas y pequeños poljes (plataforma de la Estiva).

La glaciación de la Era Cuaternaria también tuvo su importancia en el modelaje del paisaje, originando circos y valles en forma de “U”. Los procesos congelación-descongelación dieron lugar a diversas formas erosivas periglaciares, como los canchales, suelos poligonales, estriados y coladas de bloques.

La zona de estudio está afectada por procesos erosivos que generan escarpes longitudinales a lo largo de la ladera de unos pocos metros de altura sobre la superficie de deslizamiento (una capa de suelo joven y delgada de caliza) y que se unen a la superficie antigua por un talud (**Badía et al., 2020**)

Figura 4.3: Mapa geomorfológico de la Estiva (Fuente: Badía et al., 2020)



4.4. Clima

El clima característico de la zona es subalpino con importantes influencias mediterráneas y continentales.

A partir de los datos recogidos en la estación meteorológica de Góriz (2200 msnm) durante el periodo 1982-2017, la temperatura media se sitúa en 5.1°C, siendo los meses estivales donde se registran las máximas temperaturas, con una media de 15.6°C; mientras que las mínimas se sitúan entre los meses de enero y marzo, con temperaturas de -3.3°C.

En cuanto a la precipitación, la media anual para el periodo 1982-2017 es 1698.3 mm, siendo otoño la época más lluviosa (568.4 mm) seguido de primavera (434.1 mm)

estableciéndose así, dos picos equinociales que recuerdan a los del clima mediterráneo (**Benito, 2006**). Los valores mínimos de precipitación se dan principalmente durante el invierno (345.8 mm), valor muy similar al de la estación estival (350 mm); ésta última caracterizada por una continentalidad y frecuentes precipitaciones torrenciales.

En esta zona, el periodo de nevadas comienza en noviembre y suele prolongarse hasta mediados de mayo, registrándose en el periodo 1982-2017 una media de 52 días al año; siendo abril el mes con un mayor espesor (84 cm) (**Serrano-Notivoli, 2018**).

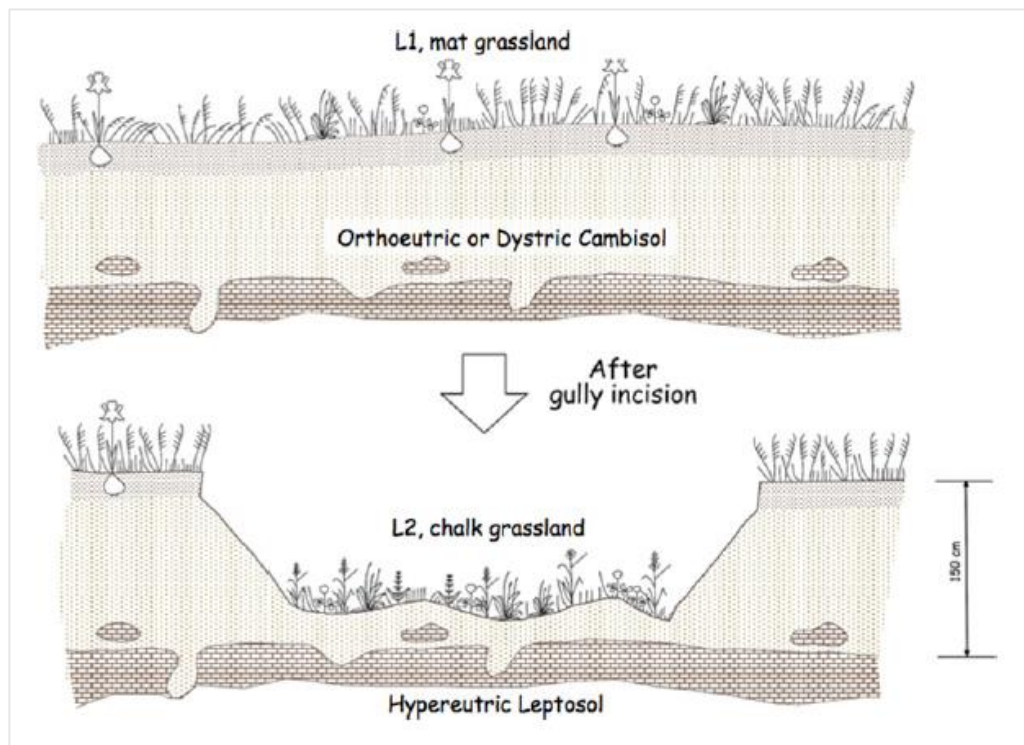
4.5. Hidrología

La Estiva delimita al norte con el barranco de la Pardina y, al sur, con el barranco de Sibarils. Ambos se localizan en la margen derecha del Cañón de Añisclo, por el que discurre el río Bellós (24 km) hasta su confluencia aguas abajo con el río Aso (10 km), tributando, al final del curso, sus aguas al río Cinca.

4.6. Suelos

Según lo descrito por **Badía et al. (2020)**, las laderas superiores, más viejas, no perturbadas por deslizamientos, presentan suelos con profundidades que pueden alcanzar más de 100 cm y se clasifican como Orthoeutric o Dystric Cambisols (Clayic, Humic). Por otro lado, los suelos de las zonas perturbadas se caracterizan por tener un espesor que oscila entre 15 y 40 cm (Figura 4) y se clasifican como Hypereutric Leptosols (Loamic, Ochric).

Figura 4.4: Esquema de los dos tipos de suelos; L1 suelos bajo *Nardion* y L2 suelos bajo *Bromion* (Fuente: Badía et al. 2020)



4.7. Vegetación y usos del suelo

La vegetación de la zona está compuesta principalmente por especies pratenses cuya distribución está determinada por las características litológicas y las condiciones edáficas.

Según **Badía et al. (2020)**, existen dos agrupaciones pratenses separadas por un escarpe erosivo de 1,5 m de altura; en el nivel superior se encuentran los pastizales de cervuno y en el inferior unos pastizales con una mayor diversidad de especies que se mezclan con afloramientos calcáreos.

Atendiendo a la clasificación fitosociológica, los pastizales de cervuno pertenecen a la alianza *Nardion strictae* y los pastizales calcáreos corresponden a la alianza *Bromion erecti* (**Benito, 2006**).

En la zona de estudio, se ha observado que en la alianza *Nardion strictae*, la especie predominante es el cervuno (*Nardus stricta*), el cual conforma pastos densos con una ocupación de aproximadamente el 60%. Otras especies que podemos encontrar en esta alianza, pero con una presencia más baja, son: *Alchemilla gr. glaucescens*, *Campanula scheuchzeri*, *Cirsium acaule*, *Eryngium bourgatii*, *Festuca nigrescens*, *Iris latifolia*, *Phyteuma orbiculare*, *Pilosella officinarum*, *Polygonum viviparum*, *Potentilla erecta*, *Ranunculus amplexicaulis*, *Tragopogon lamottei*, *Trifolium alpinum* y *Viola pirenaica*. En cuanto a la

alianza *Bromion erecti* en la Estiva, las especies que la conforman son: *Alchemilla alpigena*, *Alchemilla gr. glaucescens*, *Anthyllis montana*, *Briza media*, *Cirsium acaule*, *Erigeron alpinus*, *Festuca nigrescens*, *Gentiana verna*, *Koeleria vallesiana*, *Leotodon hispidus*, *Leucanthemum vulgare*, *Medicago suffruticosa*, *Onobrychis pirenaica*, *Ononis cristata*, *Ononis striata*, *Oxytropis neglecta*, *Plantago lanceolata*, *Plantago media*, *Sanguisorba minor*, *Seseli montanum*, *Thymelaea tinctoria*, *Trifolium montanum*, *Trifolium pratense* y *Trifolium thalii* (Armas-Herrera et al., 2019).

5. MATERIALES Y MÉTODOS

El número total de muestras de suelo estudiadas y analizadas es de **cuarenta y seis (46)**, de las cuales veintinueve (29) corresponden a los horizontes de los cinco perfiles del Nardion, y diecisiete (17) a los horizontes de los cinco perfiles del Bromion.

Sobre estas muestras se determinarán las siguientes propiedades físicas: 1) Coeficiente de Extensibilidad Lineal (COLE); 2) Límite Atterberg. Límite Líquido; 3) Límite Atterberg. Límite Plástico.

Y, a partir de ellas, se procederá a calcular los siguientes índices: 1) Índice de Plasticidad; 2) Índice Líquido; 3) Índice de Consistencia.

5.1. Coeficiente de Extensibilidad Lineal (COLE)

Fundamento

Según **Soil Survey Staff (2014)**, el Coeficiente de Extensibilidad Lineal (COLE) es la relación de diferencia que existe entre la longitud en húmedo y en seco de un suelo respecto a su longitud en seco. El **Soil Survey Laboratory (1996)**, considera que esta forma de calcularlo no se puede aplicar en suelos con contracción irreversible como es el caso de algunos Andisoles y suelos orgánicos (Turberas o Histosoles). Este laboratorio, para suelos que no contienen fragmentos de roca, determina que el COLE se calcula por la diferencia de densidades aparentes de un terrón húmedo a capacidad de campo y un terrón secado a la estufa una temperatura de 105°C durante 24 horas (**Fórmula 5.1**).

$$COLE = \left| \frac{Da\ ss}{Da\ cc} \right|^{\frac{1}{3}} - 1$$

Fórmula 5.1: Cálculo COLE según Soil Survey Laboratory (1996) [Laboratorio Estudio del Suelo]

Donde: Da ss: Densidad aparente del suelo seco a la estufa (Mg m⁻³)

Da cc: Densidad aparente del suelo a capacidad de campo (Mg m⁻³)

Soil Survey Staff (2014) propone un método alternativo con medidas lineales del COLE, expresado en cm cm⁻¹ (**fórmula 5.2**). Según **Jaramillo (2002)**, el método lineal subestima bastante el valor del COLE.

$$COLE = \frac{Lcc - Lss}{Lss}$$

Fórmula 5.2: Cálculo COLE según Soil Survey Staff (2014)

Donde: Lcc es la longitud a capacidad de campo, expresado en cm cm⁻¹

Lss es la longitud una vez secado al horno, expresado en cm cm⁻¹

Según Soil Taxonomy (**Soil Survey Staff, 1999**), el COLE se utiliza para calcular la extensibilidad lineal (EL), la cual sirve para predecir el potencial de expansión y contracción que tiene un horizonte o todo el suelo. La extensibilidad lineal de un horizonte (ELh) es el producto del espesor, en centímetros, por el COLE del horizonte en cuestión (**fórmula 4.3**) y, la extensibilidad lineal de un suelo (ELs) es la suma de esos productos para todos los horizontes del suelo desde la superficie del suelo mineral hasta una profundidad de 100 cm o a una capa limitante a las raíces si esta es menos profunda (**fórmula 5.4**).

Además, Soil Taxonomy (**Soil Survey Staff, 1999**) concede el carácter vértico (alto potencial de expansión y contracción) al suelo que tenga una extensibilidad lineal de 6,0 cm o más, entre la superficie del suelo mineral y una profundidad de 100 cm o a un contacto dénsico, lítico o paralítico, cualquiera que esté más somero.

$$ELh = COLE \times h$$

Fórmula 5.3: Cálculo Estabilidad Lineal de un horizonte según Soil Survey Staff (2014)
Donde: h es el espesor en cm del horizonte

$$ELs = \sum_{i=1}^n ELhi$$

Fórmula 5.4: Cálculo Estabilidad Lineal de todo el perfil según Soil Survey Staff (2014)
Donde: ELhi es la suma de los "ELh" de los horizontes que componen un suelo

González (1990) referencia una propuesta de **Franzmeier et al. (1968)** para calcular el cambio de volumen del suelo (Vn) con la fórmula:

$$Vn = [(1 + COLE)^3 - 1] \times 100$$

Fórmula 5.5: Cálculo cambio de volumen del suelo según González (1990)

Material

- Balanza 100 g ±0,01 g-
- Probeta (50 ml)
- Pipeta (10 ml)
- Recipiente de plástico
- Jeringa plástica (20 ml)
- Pie de rey (vernier)
- Estufa
- Agua destilada

Procedimiento y cálculo

1) se pesan 26 g de suelo y se calcula la cantidad (ml) de agua equivalente (capacidad de campo) para esa cantidad de muestra.

2) se añade el agua a los 26 g de muestra y se mezcla hasta obtener una pasta homogénea.

3) se rellena una jeringa plástica, a la que se le ha cortado el extremo, con la mezcla preparada en el punto anterior.

4) empujando el émbolo de la jeringa con cuidado se extrae el cilindro formado de suelo.

5) se pesa y se mide su longitud (L_{cc}), haciendo un par de muescas con el pie de rey para tener una referencia al volverlas a medir una vez secas.

6) se pone a secar el cilindro en la estufa a 105°C y, se vuelve a pesar y a medir su longitud (L_{ss}).

Este proceso se realiza por duplicado para las muestras de cada horizonte.

5.2. Límites Atterberg. Límite Líquido (LL) (Método CASSAGRANDE)

Fundamento

El Límite Líquido, se define como el contenido en humedad a partir del cual el suelo pasa de tener una consistencia líquida a una consistencia plástica; o bien, según la norma **UNE 103-103-94**, como la humedad que tiene un suelo amasado con agua y colocado en una cuchara normalizada, cuando un surco, realizado con un acanalador normalizado, que divide dicho suelo en dos mitades, se cierra a lo largo de su fondo en una distancia de 13 mm, tras haber dejado caer 25 veces la mencionada cuchara desde una altura de 10 mm sobre una base también normalizada, con una cedencia de 2 golpes por segundo.

Casagrande (1932) especifica que el Límite Líquido es una medida de resistencia al corte del suelo a un determinado contenido de humedad y que cada golpe necesario para cerrar el surco corresponde a un esfuerzo cortante cercano a $1\text{g}/\text{cm}^2$.

Material

- Balanza 100 g $\pm 0,01$ g
- Cuchara de Cassagrande
- Acanalador normalizado
- Espátulas de hojas flexibles
- Probeta (50 ml)

- Pipeta (10 ml)
- Estufa
- Agua destilada

Procedimiento

1) se pesan 45 g de suelo y se calcula la cantidad (ml) de agua equivalente (capacidad de campo) para esa cantidad de muestra.

2) se añade el agua a los 45 g de muestra y se mezcla hasta obtener una pasta homogénea.

3) se calibra la altura de caída de la cuchara de Cassagrande a 10 mm.

4) se separa la cuchara y se sujeta con la mano.

5) ayudándose de la espátula de hoja flexible, se extiende una cantidad de muestra en la parte inferior.

6) se extiende cuidadosamente de un lado a otro hasta conseguir ± 10 mm en el punto de mayor espesor.

7) se realiza un surco en medio con el acanalador plano con el borde biselado hacia delante.

8) se vuelve a colocar la cuchara en el aparato.

9) se gira la manivela a razón de 2 veces por segundo.

10) se cuenta el número de golpes hasta que se cierre el surco en 13 mm de longitud.

Una vez anotados los golpes necesarios para cerrar el surco en 13 mm en la muestra a capacidad de campo, se añaden 2 ml de agua y se repite el proceso. La adición de agua en algunas muestras puede llegar hasta los 10 ml.

El proceso se realiza por triplicado para las muestras de cada horizonte.

Cálculos

Se construye un gráfico en el que la humedad queda representada en el eje de ordenadas (eje y) y el número de golpes en el eje de coordenadas (eje x). El gráfico recoge los puntos correspondientes a cada una de las pruebas (mínimo tres) y se construye la curva de flujo (regresión) para dichos valores.

Así pues, el Límite Líquido se expresa como la humedad correspondiente a la intersección de la curva de flujo con el eje de abscisas en 25 golpes; o bien, mediante la interpolación matemática en la recta a esos mismos golpes.

Los resultados pueden verse afectados por una serie de variables como la cantidad de suelo utilizada; no cumplir con la frecuencia de golpes especificada; el tiempo de realización de la prueba; el tipo de herramienta utilizada para hacer el surco; y finalmente, la humedad del laboratorio.

5.3. Límites Atterberg. Límite Plástico (LP)

Fundamento

El Límite Plástico, se define como el contenido hídrico a partir del cual los suelos pasan de un estado semi-sólido a un estado plástico; o bien, según **UNE 103-104-93**, como la cantidad de humedad más baja donde se pueden formar con el suelo cilindros de 3 mm de diámetro, haciendo rodar dicho suelo entre los dedos de la mano y una superficie lisa, hasta que los cilindros empiecen a resquebrajarse.

Material

- Balanza 100g \pm 0,01g
- Recipiente de plástico
- Cucharilla
- Probeta (50 ml)
- Regla
- Agua destilada
- Estufa

Procedimiento

- 1) se pesan \pm 20 g de muestra
- 2) se añade agua destilada hasta obtener una masa homogénea
- 3) se divide la muestra en dos mitades más o menos iguales
- 4) se toma una mitad y se moldea en forma de elipsoide
- 5) se amasa entre los dedos y una superficie lisa (en este caso la mesa de laboratorio previamente limpiada para evitar cualquier impureza) a razón de 90 veces por minuto para formar cilindros de 3 mm en 2 minutos.
- 6) si se obtiene un cilindro de \varnothing 3 mm sin que se haya resquebrajado en trozos entre 0,5 y 1,0 cm, se divide el cilindro en seis trozos, se amasan juntos y se repite la operación.
- 7) si se obtiene un cilindro de \varnothing 3 mm y se resquebraja en trozos entre 0,5 y 1,0 cm se da por terminado el proceso. Según **Ginés et al. (1996)**, en el momento en que no se

pueden moldear cilindros con un diámetro inferior a 3 mm, se considera que el contenido en humedad de la masa corresponde al Límite Plástico.

8) se pesan aproximadamente 5 g de trozos del cilindro desquebrajado.

9) se colocan en la estufa a 105°C durante 24 horas y se vuelven a pesar.

10) se repite la misma operación con la otra mitad de muestra.

Cálculos

El Límite Plástico es la media aritmética de las dos humedades.

Se hacen 3 determinaciones que no difieran entre sí en más del 2%, y el resultado será el promedio de estas determinaciones.

Para evitar la dispersión en los resultados obtenidos es importante que todas las determinaciones sean llevadas a cabo por la misma persona.

El resquebrajamiento del cilindro se considera como la separación en pequeños pedazos; bien por desprendimiento de pequeñas escamas en forma tubular desde dentro hacia fuera del cilindro de suelo; o bien por pequeños pedazos en forma de barril de 6 a 8 mm de largo.

Si en algún caso, no hay posibilidad de determinar el Límite Líquido ni el Límite Plástico, o la diferencia entre ambos límites es negativa, el suelo se clasificará como suelo no plástico (**Badía y Martí, 2017**).

5.4. Índices

Índice de Plasticidad (IP)

El índice de Plasticidad o Índice Plástico (IP) se define como la diferencia numérica entre el Límite Líquido y el Límite Plástico, e indica el rango de humedad en el que el suelo mantiene una consistencia plástica.

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

Fórmula 5.6: Cálculo Índice de Plasticidad expresado en porcentaje de agua contenida sobre suelo seco

Donde: LL: Límite Líquido

LP: Límite Plástico

Este índice se correlaciona directamente con la cantidad de arcilla presente en un suelo, así pues, un IP elevado será indicador de un exceso de arcilla o de coloides.

Índice Líquido (IL)

El Índice Líquido o Índice de Liquidez (IL) indica la proximidad de un suelo natural al límite líquido.

$$IL = \frac{w - LP}{LL - LP}$$

Fórmula 5.7: Cálculo Índice Líquido

**Donde: w: Humedad natural del suelo
LP: Límite Plástico
LL: Límite Líquido**

Índice de Consistencia (IC)

$$IC = \frac{LP - w}{LL - LP}$$

Fórmula 5.8: Cálculo Índice de Consistencia

**Donde: w: Humedad natural del suelo
LP: Límite Plástico
LL: Límite Líquido**

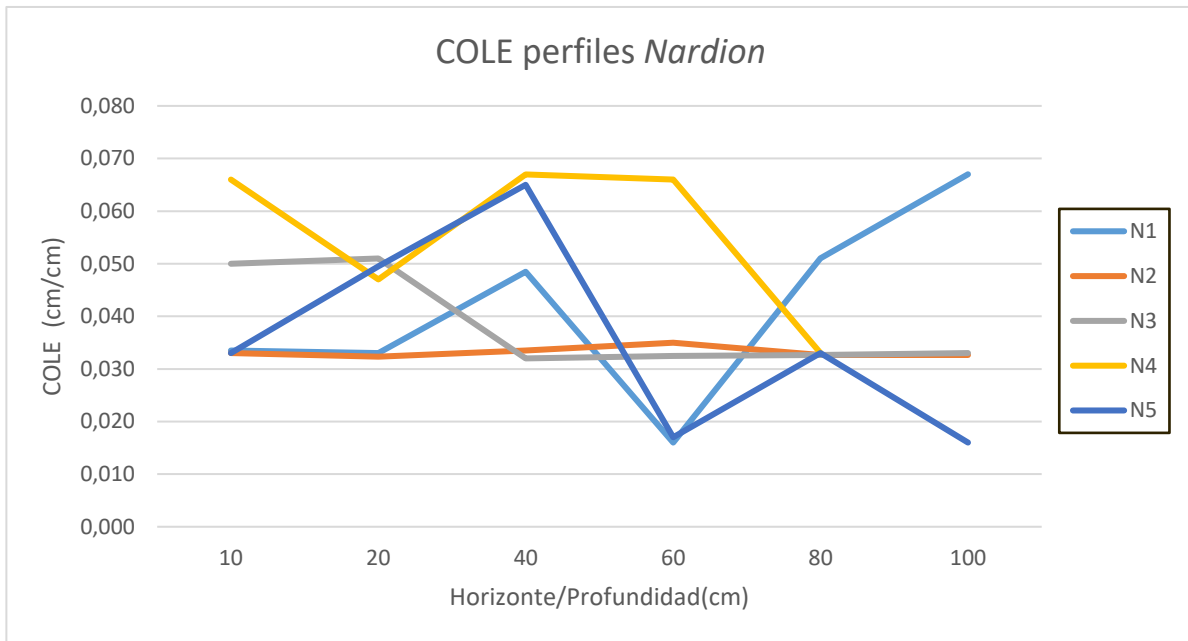
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Coeficiente de extensibilidad lineal (COLE)

En los perfiles Nardion (N), los valores de COLE se encuentran comprendidos entre los $0,016 \text{ cm cm}^{-1}$ (horizonte N5-C, 100 cm de profundidad), con expansibilidad baja y cambio de volumen inferior al 10%; y los $0,067 \text{ cm cm}^{-1}$ (horizonte N4-Bw₁, 40 cm de profundidad), con expansibilidad alta y cambio de volumen entre 20 y 30%. En los perfiles Bromion (B), el COLE se encuentran comprendido entre los $0,017 \text{ cm cm}^{-1}$ (horizonte B2-Ah₃, 20 cm de profundidad), con expansibilidad baja y cambio de volumen inferior al 10%; y los $0,098 \text{ cm cm}^{-1}$ (horizonte B4-Ah₂, 10 cm de profundidad), con expansibilidad muy alta y cambio de volumen superior al 30%. El valor medio de Nardion, teniendo en cuenta todos los horizontes, es de $0,040 \text{ cm cm}^{-1}$ (expansibilidad media y cambio de volumen entre el 10 y 20%); en *Bromion* el valor medio es de $0,047 \text{ cm cm}^{-1}$ (expansibilidad media y cambio de volumen entre 10 y 20%).

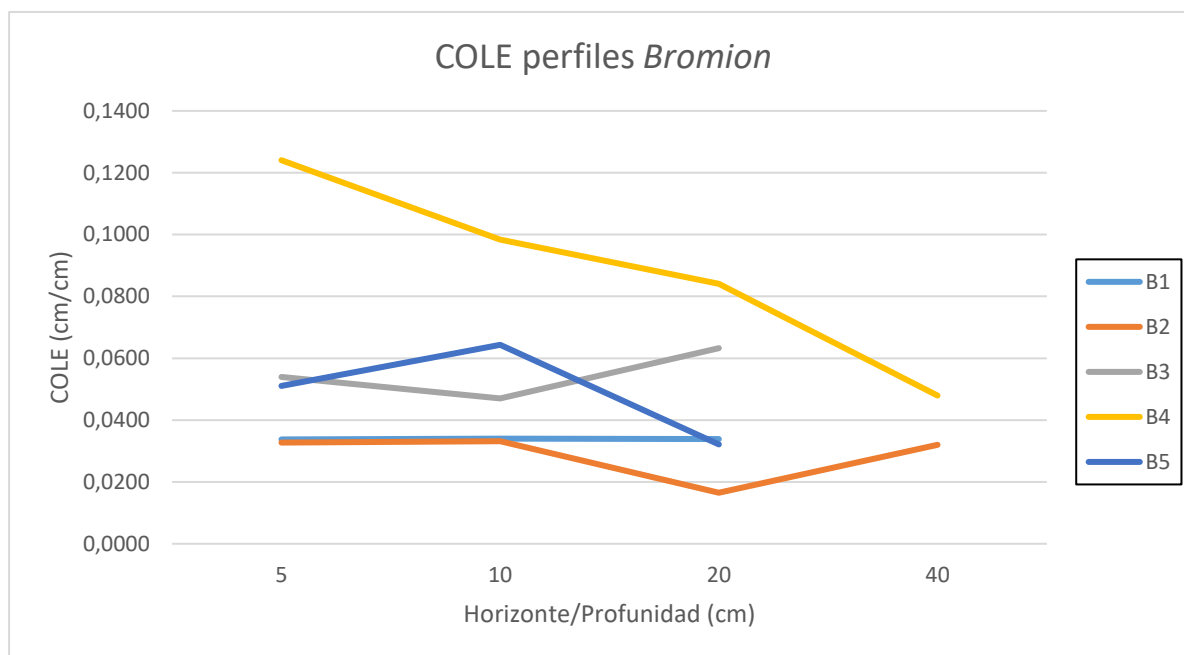
En cuanto a los perfiles de Nardion, en los perfiles N2, N4 y N5, los mayores valores de COLE se presentan en los horizontes intermedios a una profundidad entre 40 y 60 cm; sin embargo, en el perfil N1 este hecho se da a partir de los 80 cm de profundidad. Finalmente, en el perfil N3 el valor máximo de COLE se encuentra en los primeros 20 cm. El valor de COLE en el perfil N2 se mantiene muy constante en profundidad, con valores próximos a $0,03 \text{ cm cm}^{-1}$. Los perfiles N1 y N5 presentan un patrón muy similar entre ellos; el COLE aumenta hasta alcanzar una profundidad de 40 cm, disminuye considerablemente hasta los 60 cm y, vuelve a aumentar hasta los 80 cm en el perfil N5 y los 90 cm en el perfil N1. También se observa que esta propiedad en el perfil N5 vuelve a disminuir considerablemente a partir de los 80 cm. En el perfil N3 el COLE disminuye en profundidad, manteniéndose con valores constantes entre los 40 y 100 cm. Por último, en el perfil N4 se observa que esta propiedad varía en función de la profundidad; disminuye hasta los 20 cm, presenta un aumento hasta los 60 cm y vuelve a disminuir hasta los 80 cm (**Figura 6.1**).

Figura 6.1: Coeficiente de extensibilidad lineal (COLE) según horizonte y profundidad en los perfiles Nardion



En el caso de Bromion, en los perfiles B1, B2 y B5 los valores máximos de COLE se dan en los primeros 10 cm; en el perfil B3 este valor se encuentra a una profundidad de 20 cm y, en el horizonte B4 el valor máximo de COLE se localiza en el horizonte más superficial, a 5 cm de profundidad. En el perfil B1 el valor de COLE se mantiene constante en profundidad, con valores próximos a 0.03 cm cm⁻¹. En el perfil B2 el COLE se mantiene constante hasta una profundidad de 10 cm, disminuye hasta los 20 cm y, vuelve aumentar hasta los 40 cm. En el perfil B3, el valor de COLE disminuye con forma cóncava. En el perfil B4 el COLE disminuye en profundidad, observándose una disminución muy notable a partir de los 20 cm de profundidad. Finalmente en el perfil B5, el valor de COLE aumenta con forma convexa. (Figura 6.2).

Figura 6.2: Coeficiente de extensibilidad lineal (COLE) según horizonte y profundidad en los perfiles Bromion



En la **Tabla 6.3**, se muestra la relación que existe entre la expansibilidad y el cambio de volumen en función de los valores de COLE, según los criterios establecidos por **Jaramillo (2002)**.

Tabla 6.3: Interpretación de la capacidad de expansión de un suelo en presencia de arcillas expansivas. McCormack et al. (1975) citados por Jaramillo (2002)

Expansibilidad	COLE (cm cm ⁻¹)	Cambio de volumen (%)
Baja	<0,03	<10
Media	0,03-0,06	10-20
Alta	0,06-0,09	20-30
Muy alta	>0,09	>30

Tabla 6.4: Interpretación de la capacidad de expansión del suelo en el perfil Nardion

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	COLE (cm cm ⁻¹)	Expansibilidad	Cambio de volumen (%)
N1	1	Ah	0-10	0,035	Media	10-20
N1	2	Bw ₁	10-20	0,033	Media	10-20
N1	3	Bw ₂	20-40	0,049	Media	10-20
N1	4	Bw ₃	40-60	0,016	Baja	<10
N1	5	Bw ₄	60-80	0,051	Media	10-20
N1	6	Bw ₅	80-90	0,067	Alta	20-30
N2	7	Ah	0-10	0,033	Media	10-20
N2	8	BA	10-20	0,032	Media	10-20
N2	9	Bw ₁	20-40	0,034	Media	10-20

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	COLE (cm cm ⁻¹)	Expansibilidad	Cambio de volumen (%)
N2	10	Bw ₂	40-60	0,035	Media	10-20
N2	11	BC	60-80	0,033	Media	10-20
N2	12	C	80-100	0,033	Media	10-20
N3	13	Ah	0-10	0,050	Media	10-20
N3	14	BA	10-20	0,051	Media	10-20
N3	15	Bw ₁	20-40	0,032	Media	10-20
N3	16	Bw ₂	40-60	0,033	Media	10-20
N3	17	BC	60-80	0,033	Media	10-20
N3	18	C	80-100	0,033	Media	10-20
N4	19	Ah	0-10	0,066	Alta	20-30
N4	20	BA	10-20	0,047	Media	10-20
N4	21	Bw ₁	20-40	0,067	Alta	20-30
N4	22	Bw ₂	40-60	0,066	Alta	20-30
N4	23	Bwg	60-80	0,033	Media	10-20
N5	24	Ah	0-10	0,033	Media	10-20
N5	25	AB	10-20	0,049	Media	10-20
N5	26	Bw ₁	20-40	0,065	Alta	20-30
N5	27	Bw ₂	40-60	0,017	Baja	<10
N5	28	Bw ₃	60-80	0,033	Media	10-20
N5	29	C	80-100	0,016	Baja	<10

Como se puede observar en la **Tabla 6.4**, la mayoría de los horizontes presentan una expansibilidad media (72,4%); el resto se reparte entre baja (10,3%) y alta (17,3%). A partir de estos porcentajes se puede determinar que el suelo bajo *Nardion* sufre cambios de volumen entre el 10 y el 20%.

Tabla 6.5: Interpretación de la capacidad de expansión del suelo en el perfil Bromion

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	COLE (cm cm ⁻¹)	Expansibilidad	Cambio de volumen (%)
B1	1	Ah ₁	0-5	0,0337	Media	10-20
B1	2	Ah ₂	5-10	0,0340	Media	10-20
B1	3	Ah ₃	10-20	0,0339	Media	10-20
B2	4	Ah ₁	0-5	0,0328	Media	10-20
B2	5	Ah ₂	5-10	0,0332	Media	10-20
B2	6	Ah ₃	10-20	0,0165	Baja	<10
B2	7	Bw ₁	20-40	0,0320	Media	10-20
B3	8	Ah ₁	0-5	0,0540	Media	10-20
B3	9	Ah ₂	5-10	0,0470	Media	10-20
B3	10	Ah ₃	10-20	0,0633	Alta	20-30
B4	11	Ah ₁	0-5	0.1240	Muy alta	>30

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	COLE (cm cm ⁻¹)	Expansibilidad	Cambio de volumen (%)
B4	12	Bw ₁	5-10	0,0984	Muy alta	>30
B4	13	Bw ₂	10-20	0,0840	Alta	20-30
B4	14	Bw ₃	20-40	0,0479	Media	10-20
B5	15	Ah ₁	0-5	0,0511	Media	10-20
B5	16	Ah ₂	5-10	0,0643	Alta	20-30
B5	17	Ah ₃	10-20	0,0321	Media	10-20

Respecto a los valores de la **Tabla 6.5**, el número de horizontes que tienen una expansibilidad media representan el 64,7%; el 5,89% de los horizontes presentan una expansibilidad baja, el 17,65% una expansibilidad alta y, el 11,76% restante una expansibilidad muy alta. Por tanto, teniendo en cuenta los porcentajes, el suelo bajo *Bromion* sufre cambios de volumen entre el 10 y el 20%.

El rango de COLE obtenido tanto en suelos bajo *Nardion* (0.016 cm cm⁻¹ y 0.067 cm cm⁻¹) como en suelos bajo *Bromion* (0,017 cm cm⁻¹ y 0,098 cm cm⁻¹) es similar al estudio de **Doz (2017)** para suelos desarrollados sobre margas Eocenas en la Val Ancha de Jaca, con valores entre los 0,018 cm cm⁻¹ y los 0,095 cm cm⁻¹. Así mismo, el valor medio de COLE en los suelos estudiados; 0,040 cm cm⁻¹ en suelos bajo *Nardion* y 0,047 cm cm⁻¹ en suelos bajo *Bromion*, es muy similar al obtenido por **Doz (2017)**.

Según WRB (**IUSS, 2015**), la existencia de valores de COLE iguales o superiores al 0,04 cm cm⁻¹ indican una posible presencia de arcilla iluviada, la cual se origina por el arrastre de las partículas de arcilla de los horizontes superficiales y su posterior acumulación a una determinada profundidad, ocasionando cambios visibles de coloración, textura, estructura y consistencia en los suelos. En aquellos horizontes iluviales (COLE ≥ 0,04 cm cm⁻¹) se apreciarán amplias y numerosas grietas, de tipo en bloques angulares gruesos o prismática.

Así pues, en función de los resultados obtenidos, el 40,74% de horizontes en *Nrdion* y el 47,06% en *Bromion* presentan valores de COLE superiores al 0,04 cm cm⁻¹, lo cual podría indicar la posible presencia de depósitos de arcilla iluvial y la consecuente presencia de grietas, favoreciendo así los deslizamientos.

Además, WRB (IUSS, 215) define un horizonte como vértico o protovértico cuando presenta un valor promediado de COLE igual o superior a 0,06 cm cm⁻¹ en toda la profundidad del horizonte. Los horizontes vértico son arcillosos, con una consistencia dura a muy dura, y al secarse presentan grietas de 1 cm o más de ancho.

Por otro lado, mediante el COLE, se puede saber si existe un cierto porcentaje de arcillas expansibles. Estas arcillas, de tipo esmectítico o montmorillonítico, tienen la capacidad de absorber en su estructura moléculas de agua, de esta forma son capaces de aumentar considerablemente de tamaño cuando se humedecen. Los suelos que contienen este tipo de arcilla pueden aplastar las raíces de las plantas y causar graves daños en los cimientos de las casas. El porcentaje de extensión lineal (%EL) permite cuantificar la presencia de arcillas expansibles en un suelo; si el valor de EL es superior al 7% indicará un alto porcentaje de arcillas expansibles o esmectitas (**Garrido, 1994**).

$$\%EL = \frac{Lh - Ls}{Ls} \times 100$$

Fórmula 6.1: Porcentaje de extensión lineal (%EL)

Donde: Lh: Longitud en húmedo (cm)

Ls: Longitud en seco (cm)

En la **Tabla 6.6** y **Tabla 6.7** se muestran los porcentajes de extensión lineal en suelos bajo *Nardion* y *Bromion* respectivamente.

Tabla 6.6: Porcentajes de extensión lineal (%EL) en suelos bajo Nardion

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	EL (%)
N1	1	Ah	0-10	3,39
N1	2	Bw ₁	10-20	3,33
N1	3	Bw ₂	20-40	4,84
N1	4	Bw ₃	40-60	1,61
N1	5	Bw ₄	60-80	5,08
N1	6	Bw ₅	80-90	6,67
N2	7	Ah	0-10	3,33
N2	8	BA	10-20	3,28
N2	9	Bw ₁	20-40	3,39
N2	10	Bw ₂	40-60	3,51
N2	11	BC	60-80	3,28
N2	12	C	80-100	3,28
N3	13	Ah	0-10	5,00
N3	14	BA	10-20	5,08
N3	15	Bw ₁	20-40	3,23
N3	16	Bw ₂	40-60	3,29
N3	17	BC	60-80	3,34
N3	18	C	80-100	3,33
N4	19	Ah	0-10	6,56
N4	20	BA	10-20	4,69
N4	21	Bw ₁	20-40	6,67
N4	22	Bw ₂	40-60	6,56
N4	23	Bwg	60-80	3,33
N5	24	Ah	0-10	3,33
N5	25	AB	10-20	4,92

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	EL (%)
N5	26	Bw ₁	20-40	6,45
N5	27	Bw ₂	40-60	1,69
N5	28	Bw ₃	60-80	3,33
N5	29	C	80-100	1,64

Tabla 6.7: Porcentaje de extensión lineal (%EL) en suelos bajo Bromion

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	EL (%)
B1	1	Ah ₁	0-5	3,39
B1	2	Ah ₂	5-10	3,42
B1	3	Ah ₃	10-20	3,39
B2	4	Ah ₁	0-5	3,30
B2	5	Ah ₂	5-10	3,31
B2	6	Ah ₃	10-20	1,67
B2	7	Bw ₁	20-40	3,23
B3	8	Ah ₁	0-5	5,43
B3	9	Ah ₂	5-10	6,28
B3	10	Ah ₃	10-20	6,35
B4	11	Ah ₁	0-5	12,40
B4	12	Bw ₁	5-10	9,84
B4	13	Bw ₂	10-20	8,40
B4	14	Bw ₃	20-40	4,78
B5	15	Ah ₁	0-5	5,09
B5	16	Ah ₂	5-10	6,46
B5	17	Ah ₃	10-20	3,23

En la **Tabla 6.6** se observan valores inferiores a 7%, lo que indica que los suelos bajo *Nardion* no presentan porcentajes elevados de arcillas expansibles.

Respecto a los suelos bajo *Bromion*, la mayoría de los horizontes presentan valores por debajo del 7% y por tanto, porcentajes no elevados de arcillas expansibles, exceptuando los horizontes B4-Ah₁, B4-Bw₁ y B4-Bw₂ con un alto porcentaje.

En ambos suelos, aunque el porcentaje de EL no sea alto, hay presencia de arcillas expansibles, y por consiguiente, una posible presencia de grietas.

El COLE en suelos bajo cobertura *Nardion* presenta valores de correlación positivos y significativos ($p < 0,01$) con el porcentaje de agregados estables (SAS) ($r = 0,44$), con la Capacidad de Campo (CC) ($r = 0,42$) y con el Punto de Marchitez Permanente (PMP) ($r =$

0,41). En suelos bajo *Bromion* se correlaciona significativa ($p < 0,01$) y positivamente con el contenido en calcio ($r = 0,54$) y en sodio ($r = 0,52$). **Lopes et al. (1998)** señala que el mecanismo de dilatación de los coloides del suelo causado por el sodio de cambio puede afectar a la estructura, debido al aumento del espesor de la capa de agua ligada a las partículas, haciendo que las mismas se separen entre sí, causando la dispersión de las arcillas.

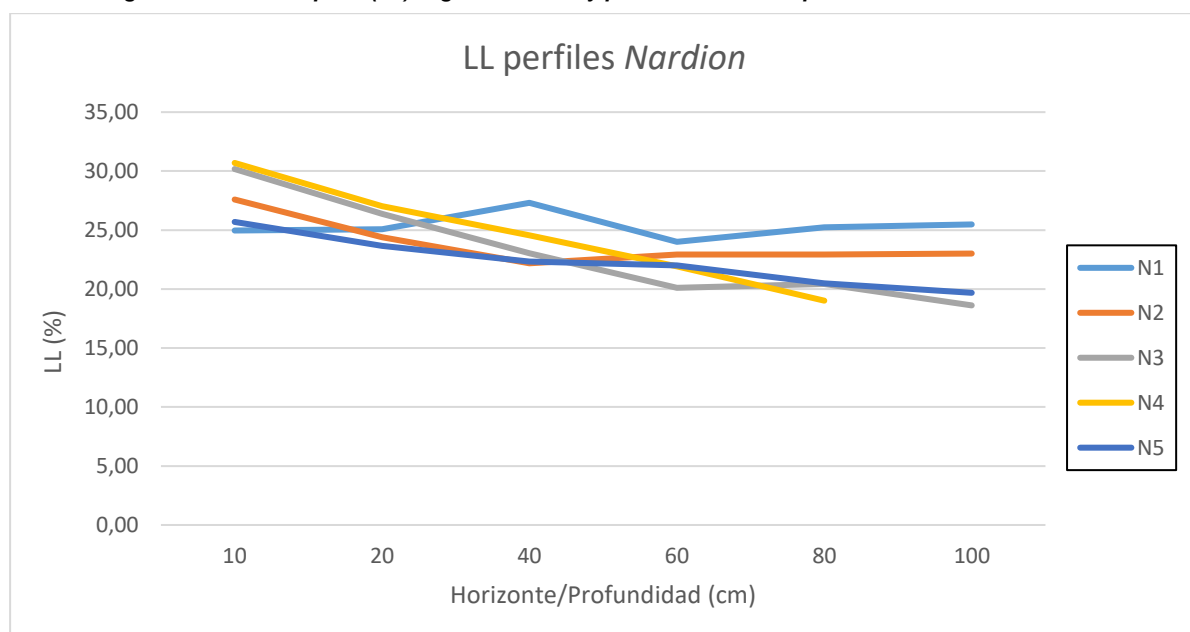
6.2. Límites Atterberg

6.2.1. Límite Líquido (LL)

En los perfiles *Nardion*, el valor medio de LL teniendo en cuenta todos los horizontes es de 23,83% en el rango del 18,62% (horizonte N3-C, 100 cm de profundidad) al 30,69% (horizonte N4-Ah, 10 cm de profundidad). Por su parte, el valor medio de LL en los horizontes de los perfiles *Bromion* es de 24,68%, en el rango del 22,60% (horizonte B4-Bw₃, 40 cm de profundidad) al 30,51% (horizonte B3-Ah₁).

El Límite Líquido en el perfil N1 aumenta hasta alcanzar su valor máximo a una profundidad de 40 cm, desciende hasta los 60 cm y vuelve a aumentar ligeramente hasta los 90 cm de profundidad. En el resto de los perfiles, N2, N3, N4 y N5, este valor disminuye con la profundidad, y el valor máximo de LL, en cada uno de ellos, se encuentra en los horizontes superficiales (Ah) (**Figura 6.6**)

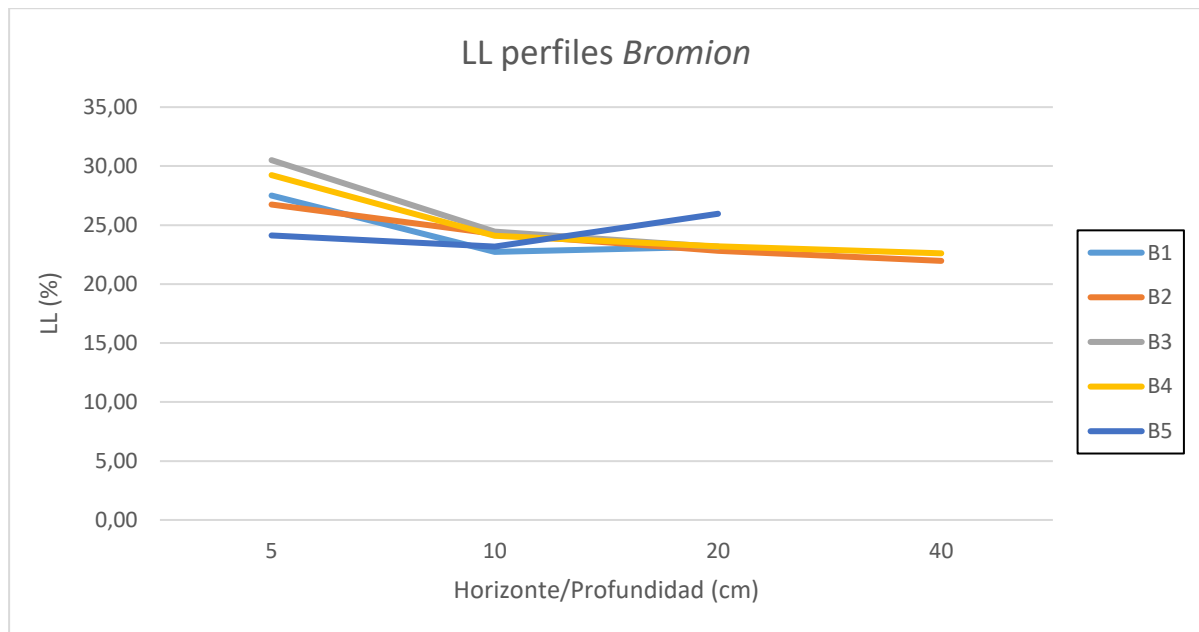
Figura 6.6: Límite Líquido (LL) según horizonte y profundidad en los perfiles *Nardion*



En los perfiles *Bromion* B1, B2, B3 y B4 el valor de LL disminuye en profundidad, y su valor máximo se encuentra en los horizontes superficiales (Ah); sin embargo, en el perfil

B5, el LL aumenta con la profundidad, localizándose su máximo a una profundidad de 20 cm (Figura 6.7).

Figura 6.7: Límite Líquido (LL) según horizonte y profundidad en los perfiles Bromion



En la **Tabla 6.8**, se muestra la plasticidad de las arcillas en función del valor del límite líquido.

Tabla 6.8: Interpretación de las propiedades plásticas de las arcillas. Holtz et al. (1981) citados por Hajjaji et al. (2010) p.43

Límite Líquido (%)	Plasticidad arcilla
<30	Baja
30-50	Moderada
>50	Alta

A continuación se muestra la interpretación del Límite Líquido asociado a la plasticidad de las arcillas existentes en los horizontes de cada uno de los perfiles de Nardion (**Tabla 6.9**) y Bromion (**Tabla 6.10**).

Tabla 6.9: Interpretación del LL asociado a la plasticidad de las arcillas en los diferentes horizontes de los perfiles Nardion

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	Límite Líquido (%)	Plasticidad arcilla
N1	1	Ah	0-10	24,96	Baja
N1	2	Bw ₁	10-20	25,08	Baja
N1	3	Bw ₂	20-40	27,31	Baja
N1	4	Bw ₃	40-60	24,01	Baja
N1	5	Bw ₄	60-80	25,24	Baja

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	Límite Líquido (%)	Plasticidad arcilla
N1	6	Bw ₅	80-90	25,48	Baja
N2	7	Ah	0-10	27,59	Baja
N2	8	BA	10-20	24,40	Baja
N2	9	Bw ₁	20-40	22,19	Baja
N2	10	Bw ₂	40-60	22,94	Baja
N2	11	BC	60-80	22,93	Baja
N2	12	C	80-100	23,02	Baja
N3	13	Ah	0-10	30,18	Moderada
N3	14	BA	10-20	26,37	Baja
N3	15	Bw ₁	20-40	23,04	Baja
N3	16	Bw ₂	40-60	20,11	Baja
N3	17	BC	60-80	20,43	Baja
N3	18	C	80-100	18,62	Baja
N4	19	Ah	0-10	30,69	Moderada
N4	20	BA	10-20	27,03	Baja
N4	21	Bw ₁	20-40	24,55	Baja
N4	22	Bw ₂	40-60	21,93	Baja
N4	23	Bwg	60-80	19,02	Baja
N5	24	Ah	0-10	25,69	Baja
N5	25	AB	10-20	23,65	Baja
N5	26	Bw ₁	20-40	22,32	Baja
N5	27	Bw ₂	40-60	22,01	Baja
N5	28	Bw ₃	60-80	20,48	Baja
N5	29	C	80-100	19,68	Baja

Según los datos de la **Tabla 6.9**, la mayoría de los horizontes (93,1%) presentan arcilla de baja plasticidad, frente al 6,89% (horizontes N3-Ah y N4-Ah, a 10 cm de profundidad) que tienen arcilla de moderada plasticidad.

Tabla 6.10: Interpretación del LL asociado a la plasticidad de las arcillas en los diferentes horizontes de los perfiles Bromion

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	Límite Líquido (%)	Plasticidad arcilla
B1	1	Ah ₁	0-5	27,50	Baja
B1	2	Ah ₂	5-10	22,73	Baja
B1	3	Ah ₃	10-20	23,17	Baja
B2	4	Ah ₁	0-5	26,74	Baja
B2	5	Ah ₂	5-10	24,25	Baja
B2	6	Ah ₃	10-20	22,81	Baja
B2	7	Bw ₁	20-40	21,97	Baja
B3	8	Ah ₁	0-5	30,51	Moderada
B3	9	Ah ₂	5-10	24,45	Baja
B3	10	Ah ₃	10-20	23,15	Baja
B4	11	Ah ₁	0-5	29,24	Baja
B4	12	Bw ₁	5-10	24,09	Baja
B4	13	Bw ₂	10-20	23,19	Baja
B4	14	Bw ₃	20-40	22,60	Baja
B5	15	Ah ₁	0-5	24,11	Baja
B5	16	Ah ₂	5-10	23,18	Baja
B5	17	Ah ₃	10-20	25,96	Baja

A partir de los datos de la **Tabla 6.10**, el 94,12% de los horizontes presentan arcilla con una baja plasticidad; el 5,8% restante, correspondiente al horizonte B3-Ah₁ a 5 cm de profundidad, posee arcilla con una moderada plasticidad.

Así pues, ambos suelos presentan arcillas de baja plasticidad, lo que significa una menor resistencia al corte, y por tanto, una mayor tendencia a sufrir deslizamientos.

El rango de LL obtenido en este trabajo (18,62% - 30,69% en suelos bajo *Nardion* y 22,60% - 30,51% en suelos bajo *Bromion*) es similar al obtenido en el trabajo de **Doz (2017)** con valores entre el 19,5% y 36,4% y, menor al estudio de **Li et al. (2013)** sobre deslizamientos de tierra en el área del embalse del Proyecto de las Tres Gargantas (China) con valores que oscilan entre el 29% y 59% y, también, respecto al trabajo de **Kariuki et al. (2004)** con un rango entre el 24% y 84%.

El Límite Líquido en suelos bajo *Nardion* se correlaciona de forma positiva y significativa ($p < 0,01$) con el contenido de materia orgánica ($r = 0,79$) y con el Punto de Marchitez Permanente (PMP) ($r = 0,76$) y con la porosidad ($r = 0,61$). Por su parte, el Límite Líquido en suelos bajo *Bromion* se correlaciona de forma muy positiva y significativa ($p <$

0,01) con el contenido de materia orgánica ($r = 0,95$), valor superior al estudio de **Smith et al. (1985)** con $r = 0,38$; con la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) ($r = 0,91$), valor similar al estudio de **Arthur et al. (2021)** con $r = 0,95$; y con la Capacidad de Campo (CC) ($r = 0,91$); y de forma positiva con el Punto de Marchitez Permanente (PMP) ($r = 0,86$), con el complejo de cambio, destacando el contenido en sodio ($r = 0,84$) y con la Conductividad Eléctrica (CE) ($r = 0,79$). Lo hace de manera negativa con el factor K de la ecuación de pérdida de suelo (K-USLE) ($r = -0,76$).

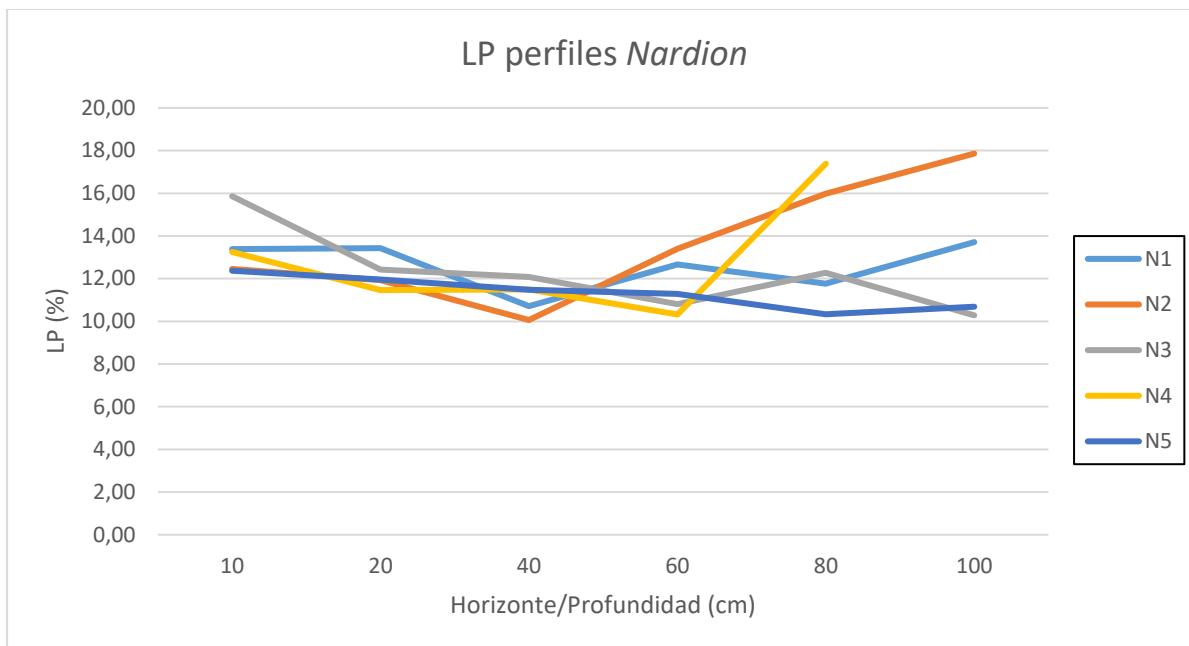
6.2.2. Límite Plástico (LP)

El valor medio de LP de todos los horizontes de los perfiles *Nardion* es de 12,52%, en el rango del 10,06% (horizonte N2-Bw₁, 40 cm de profundidad) al 17,86% (horizonte N2-C, 100 cm de profundidad). En los horizontes de los perfiles *Bromion*, el valor medio se sitúa en 11,90%, en el rango del 10,57% (horizonte B2-Ah₃, 20 cm de profundidad) al 13,41% (horizonte B4-Ah1, 5 cm de profundidad).

En los perfiles *Nardion*, en el perfil N1 los valores de LP disminuyen con la profundidad, observándose valores muy similares en los primeros 20 cm de profundidad; a partir de esta profundidad el valor de LP presenta variaciones en profundidad. El perfil N2 presenta un patrón espejo, esta propiedad disminuye progresivamente hasta una profundidad de 40 cm y, a partir de aquí, el LP se va incrementando progresivamente. En los perfiles N3 y N4 el valor de LP disminuye en profundidad hasta los 40 cm, a partir de aquí se incrementa hasta una profundidad de 80 cm, observándose un notable incremento en N4; en N3 este valor volverá a descender a 100 cm de profundidad. En el perfil N5 el LP disminuye progresivamente con la profundidad, manteniéndose con valores muy constantes (**Figura 6.11**)

En los perfiles N1, N2 y N4 el valor máximo de LP se sitúa en el horizonte más profundo, a partir de los 80 cm de profundidad en el caso de N1 y N2 y, a partir de los 60 cm en N4. En los perfiles N3 y N5 este hecho se da en los primeros 10 cm del perfil.

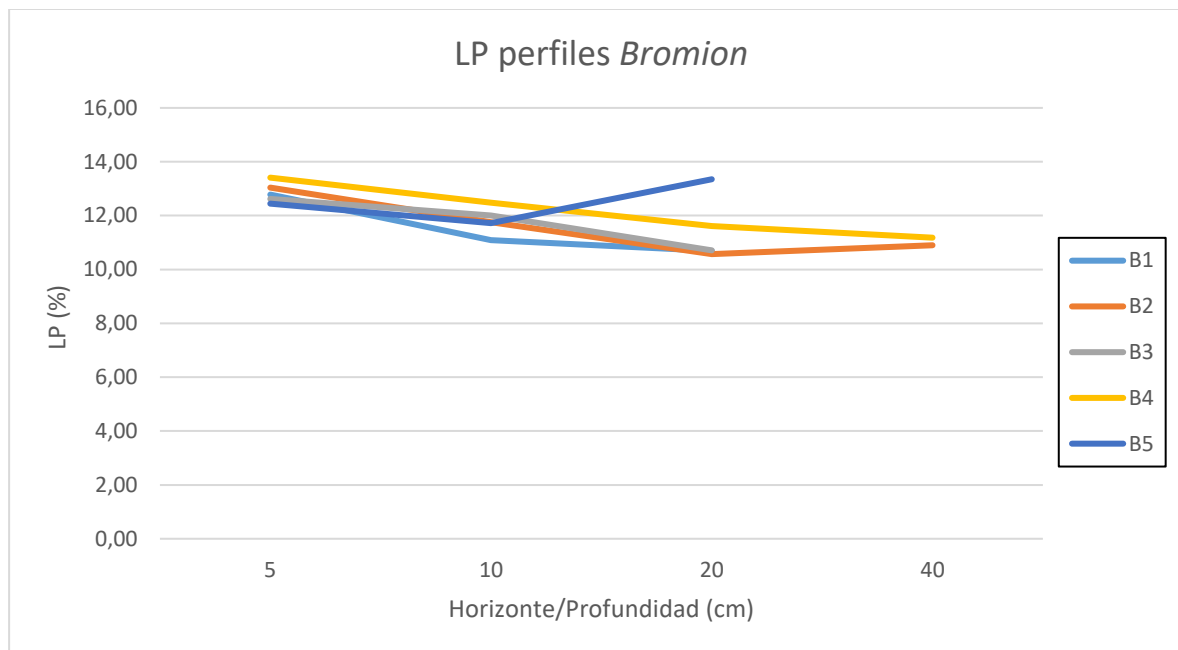
Figura 6.11: Límite Plástico (LP) según horizonte y profundidad en los perfiles Nardion



En los perfiles *Bromion*, en el perfil B1 el valor de LP del horizonte más superficial disminuye de manera notable con respecto a los demás horizontes, los cuales presentan valores muy constantes. En los perfiles B2, B3 y B4, y al igual que el anterior perfil, el valor de LP disminuye considerablemente a partir del horizonte superficial; en el resto de los horizontes esta propiedad disminuye progresivamente con la profundidad, excepto en el perfil B4 que muestra un leve incremento a los 20 cm de profundidad. Por último, en el perfil B5 el valor de LP se incrementa con la profundidad (**Figura 6.12**).

En los perfiles B1, B2, B3 y B4 el valor máximo de LP se presenta en el horizonte más superficial, a una profundidad de 5 cm. En el perfil B5 el máximo se encuentra en el horizonte más profundo, a una profundidad de 20cm.

Figura 6.12: Límite Plástico (LP) según horizonte y profundidad en los perfiles Bromion



El rango obtenido para el LP (10,06% - 17,87% en suelos bajo Nardion y 10,57% - 13,41% en suelos bajo Bromion) es menor al trabajo de **Doz (2017)**, con valores comprendidos entre el 16,3% y 27,0% y, al estudio de **Hajjaji et al. (2010)** de suelos del norte de Túnez, con valores que oscilan entre el 17% y 21%

Los suelos bajo *Nardion* el Límite Plástico presenta valores de correlación bajos ($r < 0,38$) sin embargo, en suelos bajo *Bromion*, el Límite Plástico se correlaciona de forma positiva y significativa ($p < 0,01$) con el contenido en materia orgánica ($r = 0,85$), valor superior al estudio de **Smith et al. (1985)** con $r = 0,44$; con la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) ($r = 0,81$), valor superior a **Arthur et al. (2010)** con $r = 0,47$; con la Conductividad Eléctrica (CE) ($r = 0,79$), con la Capacidad de Campo (CC) ($r = 0,87$) y con el Límite Líquido ($r = 0,89$) y, en menor medida, con el Punto de Marchitez Permanente (PMP) ($r = 0,67$), coincidiendo estos tres últimos parámetros con el trabajo de **Doz (2017)**. Lo hace de manera negativa con el factor K de la ecuación de pérdida de suelo (K-USLE) ($r = -0,74$), y con el CRAD ($r = -0,73$).

6.2.3. Índice de Plasticidad (IP)

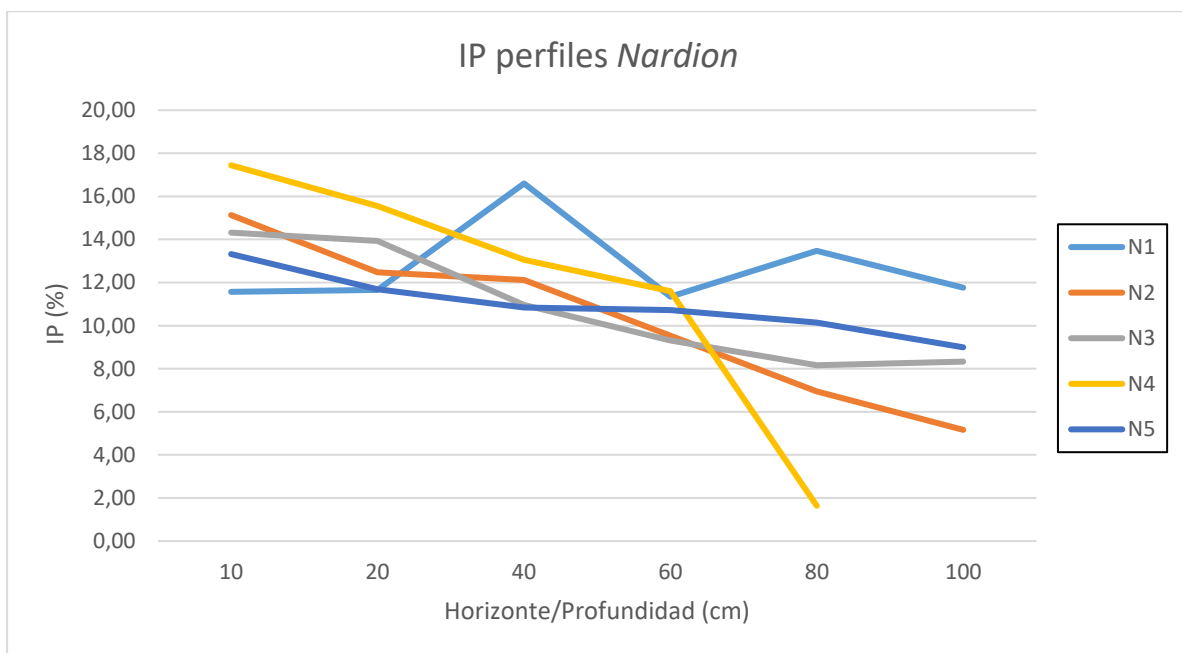
El valor medio de IP en los horizontes *Nardion* es de 11,30% en el rango del 1,64% (N4-Bwg, 80 cm de profundidad) al 17,44% (horizonte N4-Ah, 10 cm de profundidad). En los horizontes *Bromion* este valor es de 13,80% en el rango del 11,79% (horizonte B2-Bw₁, 40 cm de profundidad) al 18,47% (horizonte B3-Ah₁, a 5 cm de profundidad).

En los perfiles *Nardion* N2, N3 y N5, el valor de IP disminuye en profundidad, presentando valores constantes a cierta profundidad; este hecho en N2 se da entre 10 y 40

cm, en N3 entre 60 y 100 cm y, en N5 entre 20 y 80 cm. En el perfil N4 este valor también disminuye en profundidad de forma progresiva, exceptuando el último horizonte donde el IP disminuye drásticamente. Sin embargo, en el perfil N1 este índice aumenta hasta una profundidad de 40 cm, a partir de la cual, se produce una disminución de este valor con forma cóncava-convexa (Figura 6.13).

El valor máximo de IP en N2, N3, N4 y N5 se encuentra en los horizontes superficiales a 10 cm de profundidad. Sin embargo, en N1 este hecho se da a una profundidad de 40 cm.

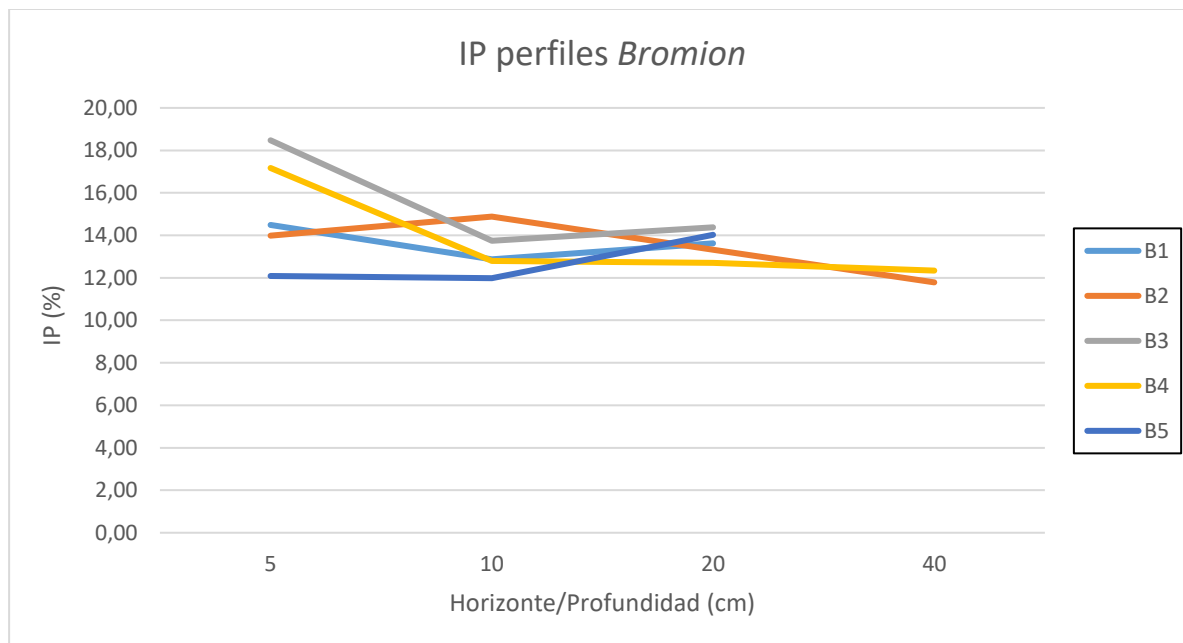
Figura 6.13: Índice Plástico (IP) según horizonte y profundidad en los perfiles Nardion



En los perfiles Bromion, este índice presenta una mayor variabilidad en profundidad; en los perfiles B1, B3 y B4, el IP disminuye a partir de una profundidad de 5 cm y se incrementa entre los 10 y 20 cm de profundidad; observándose un descenso más notable en B3. En el perfil B2 se suceden incrementos y descensos de IP en profundidad. Finalmente, en B5 este índice disminuye en profundidad, manteniendo valores constantes a partir de los 10 cm de profundidad (**Figura 6.14**).

En los perfiles B1, B3 y B4, el valor máximo de IP se encuentra en los horizontes superficiales, mientras que en B5 este valor se sitúa en el horizonte más profundo, a 20 cm de profundidad. Este hecho en B2 se da a una profundidad de 10 cm.

Figura 6.14: Índice Plástico (IP) según horizonte y profundidad en los perfiles Bromion



El rango obtenido de IP en suelos bajo *Nardion* ((1,64% - 17,44%) es similar al trabajo de **Doz (2017)** con valores entre el 1,0% y 11,2%, mientras que en los suelos bajo *Bromion*, el rango de IP (11,79% - 18,47%) es superior a dicho trabajo. El rango de IP en ambos suelos es inferior al estudio de **Hajjaji et al. (2010)** con valores comprendidos entre el 12% y 44%.

Así pues, atendiendo a los valores obtenidos en este trabajo, se muestra que la mayoría de los horizontes en ambos suelos (75,86% en *Nardion* y, el 84,24% en *Bromion*) presentan un IP bajo, lo que significa, atendiendo a la clasificación realizada por **Holtz y Kovacs (1981)**, que estos suelos presentan una plasticidad baja, es decir, que pueden pasar del estado sólido al líquido con una leve variación en el contenido de humedad, situación que los hace más propensos a los movimientos en masa (**Medina et al., 2019**).

El Índice Plástico en suelos bajo *Nardion* se correlaciona de forma positiva y significativa ($p < 0,01$) con el Límite Líquido ($r = 0,80$) valor superior a **Doz (2017)** con $r = 0,63$. En suelos bajo *Bromion* el IP se correlaciona de forma positiva y significativa ($p < 0,01$) con el Límite Líquido ($r = 0,87$), con el Punto de Marchitez Permanente (PMP) ($r = 0,79$), con la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) ($r = 0,84$) y con el contenido en calcio ($r = 0,78$).

6.2.4. Índice Líquido (IL)

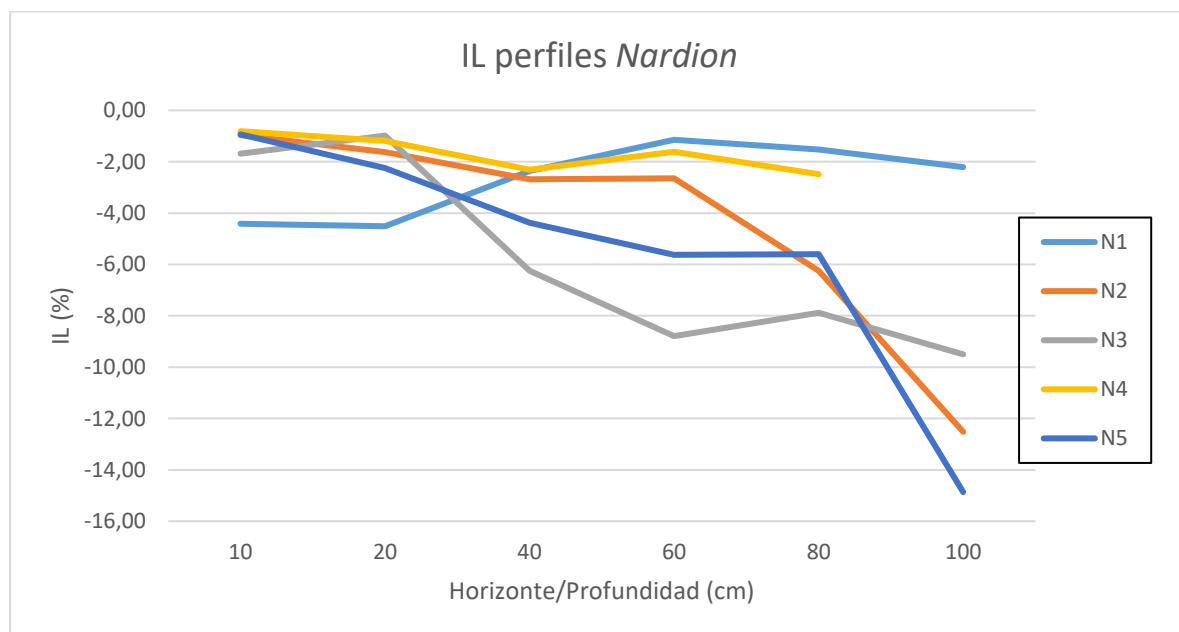
Los resultados obtenidos, tanto en los perfiles de *Nardion* como de *Bromion*, presentan valores negativos, indicando así que ambos suelos tienen un comportamiento sólido frágil (semi-sólido o sólido) debido a que su humedad natural es inferior al límite plástico, de este modo la pérdida de humedad conllevará a una pérdida de plasticidad del

suelo y por tanto, favorecerá el deslizamiento en masa. Si los valores del Índice Líquido estuvieran entre cero y uno, el suelo tendría un comportamiento como fluido viscoso y, su humedad natural se situaría entre el límite plástico y el límite líquido. Finalmente, si los valores fueran mayores a uno, el suelo tendría un comportamiento como fluido viscoso e indicaría que la humedad natural del suelo sería superior al límite líquido (**Holtz y Kovacs, 1981**).

Este Índice indica la proximidad de la humedad natural del suelo al Límite Líquido. Así pues, en los perfiles *Nardion* el horizonte más próximo a este límite se encuentra en el perfil N4 (horizonte Ah, 10 cm de profundidad); a su vez, el horizonte más alejado de dicho límite se localiza en el perfil N5 (horizonte C, 100 cm de profundidad). En el caso de los perfiles *Bromion*, el valor más próximo se encuentra en el perfil B3 (horizonte Ah₁, 5 cm de profundidad) y el valor más alejado se localiza en el perfil B2 (horizonte Bw₁, 40 cm de profundidad).

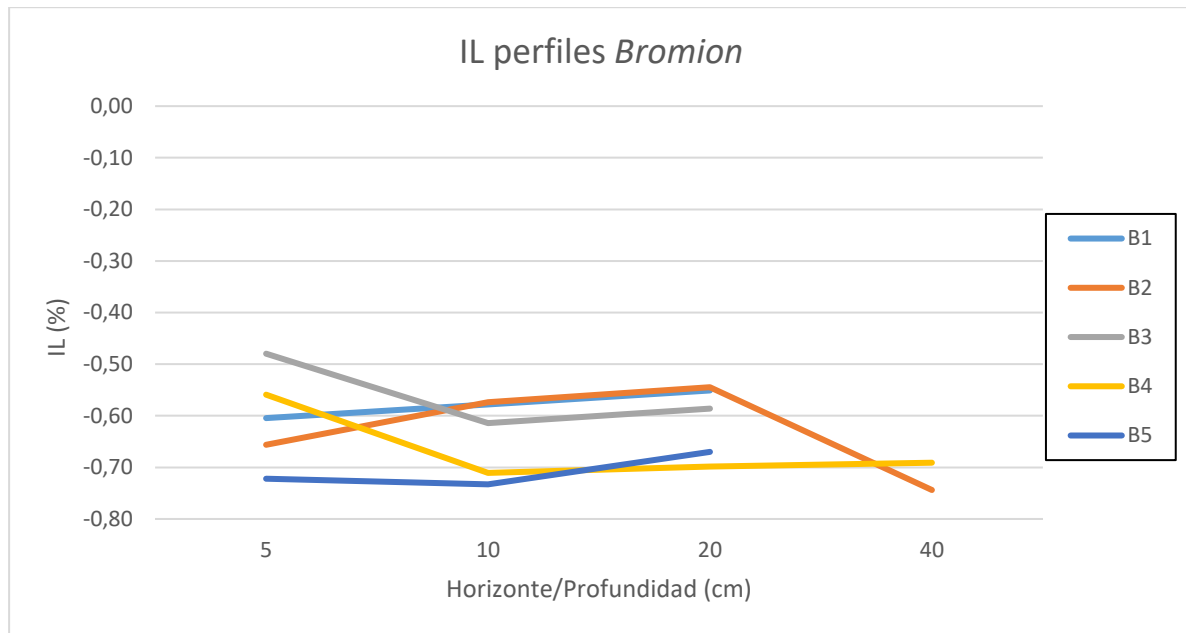
Los perfiles *Nardion* N2, N3 y N5 presentan valores de IL que tienden a aumentar en profundidad. En el perfil N1 el IL disminuye en profundidad, llegando a presentar valores próximos a cero. Sin embargo, en el perfil N4, el IL varía menos en profundidad manteniendo valores más o menos constantes (**Figura 6.15**).

Figura 6.15: Índice Líquido (IL) según horizonte y profundidad en los perfiles Nardion



En los perfiles *Bromion* B1 y B5, el IL tiende a disminuir en profundidad. El perfil B4, presenta valores de IL muy constantes a partir de los 10 cm de profundidad. Finalmente, los perfiles B2 y B3 presentan más variabilidad en profundidad, observándose incrementos y descensos de IL (**Figura 6.16**).

Figura 6.16: Índice Líquido (IL) según horizonte y profundidad en los perfiles Bromion



El Índice Líquido en ambos suelos (*Nardion* y *Bromion*) se correlaciona significativa ($p < 0,01$) y positivamente con el Límite Líquido y con el Índice Plástico; $r = 0,62$ y $r = 0,59$ respectivamente, en suelos bajo *Nardion* y $r = 0,47$ y $r = 0,78$ respectivamente, en suelos bajo *Bromion*. Dichos valores son superiores a **Doz (2017)** con $r = < 0,5$ en ambos parámetros.

6.2.5. Índice de Consistencia (IC)

El Índice de Consistencia presenta el mismo comportamiento a lo largo de la toposecuencia y de la profundidad que el Índice Líquido, tanto en los perfiles *Nardion* como en los de *Bromion* (**Figuras 6.17 y 6.18**).

El valor máximo y mínimo de IC para los dos grupos de perfiles (*Nardion* y *Bromion*) coinciden con los del Índice Líquido.

El Índice de Consistencia en ambos suelos (*Nardion* y *Bromion*) se correlaciona de forma negativa y muy fuerte con el Índice Líquido; $r = -0,99$ en suelos bajo *Nardion* y $r = -1$ en suelos bajo *Bromion*. Dichos valores son superiores a **Doz (2017)** con $r = < -0,5$ en ambos parámetros. Lo hace de forma negativa con el Índice Plástico y el Límite Líquido.

Figura 6.17: Índice de Consistencia (IC) según horizonte y profundidad en los perfiles Nardion

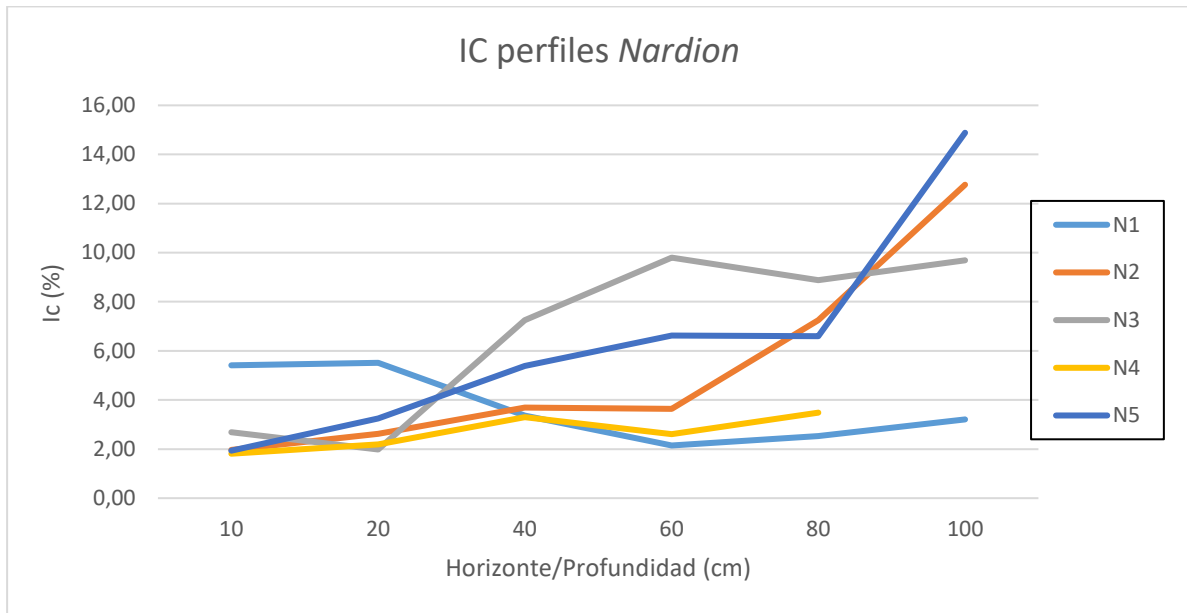
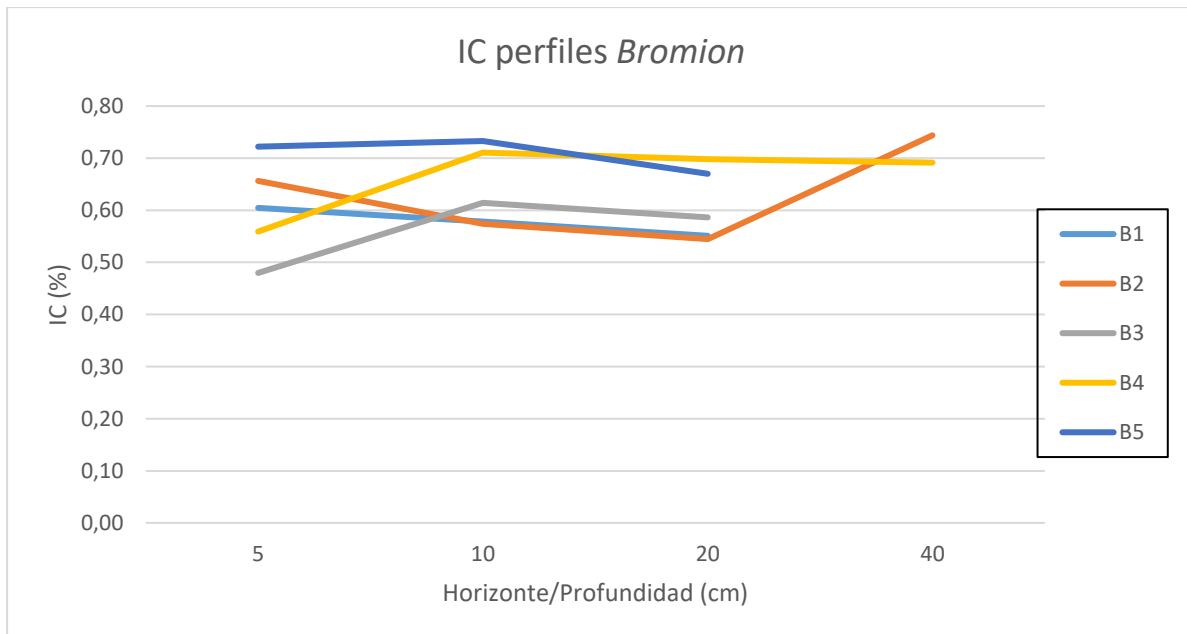


Figura 6.18: Índice de Consistencia (IC) según horizonte y profundidad en los perfiles Bromion



7. CONCLUSIONES

Las propiedades físicas estudiadas en suelos bajo pastos de *Nardion* y *Bromion* se caracterizan por presentar unos Coeficientes de Extensibilidad Lineal (COLE) comprendidos entre los 0,016 y 0,067 cm cm⁻¹ en el caso de los suelos bajo *Nardion* y, entre los 0,017 y 0,098 cm cm⁻¹ en el caso de los suelos bajo *Bromion*, no presentando diferencias significativas entre ambos suelos ($p < 0,05$). Los resultados obtenidos del COLE muestran que la mayoría de los horizontes (3/4 en suelos bajo *Nardion* y 2/3 en suelos bajo *Bromion*) tienen una expansibilidad media (0,03-0,06 cm cm⁻¹) lo que significa que se producen cambios de volumen entre el 10 y el 20%. Además la presencia de arcilla iluvial, en ambos suelos, favorece la formación de grietas.

Con respecto a la correlación, el COLE en suelos bajo *Nardion* presenta correlaciones muy bajas ($r < 0,38$) ($n=44$ $p < 0,01$); en los suelos bajo *Bromion* se sigue la misma tendencia, exceptuando dos parámetros con valores superiores, dando lugar así, a una correlación positiva y significativa entre el COLE y el contenido de calcio y sodio intercambiable.

En cuanto a los Límite de Atterberg, los valores del Límite Líquido (LL) están comprendidos entre el 18,62 y 30,69% en suelos bajo *Nardion* y, entre el 19,5 y 36,4% en suelos bajo *Bromion*, indicando en ambos casos, una baja plasticidad de sus arcillas, rasgo que les hace más propensos a sufrir movimientos en masa. El LL en suelos bajo *Nardion* se correlaciona de forma positiva y significativa con el contenido de materia orgánica, con el Punto de Marchitez Permanente y con la porosidad. En suelos bajo *Bromion*, el LL se correlaciona de forma positiva y significativa con el contenido de materia orgánica, con la Capacidad de Intercambio Catiónico, con la Capacidad de Campo, con el Punto de Marchitez Permanente, con el contenido en sodio intercambiable y con la Conductividad Eléctrica. Lo hace de manera negativa con el factor K de la ecuación de pérdida de suelo (K-USLE).

Por otro lado, los valores del Límite Plástico (LP) se sitúan entre el 10,06 y 17,87% en suelos bajo *Nardion* y, entre el 10,57 y 13,41% en suelos bajo *Bromion*. El LP no presenta correlaciones bajas ($r < 0,38$), sin embargo esta propiedad en suelos bajo *Bromion* se correlaciona de forma positiva y significativa con la materia orgánica, con la Capacidad de Intercambio Catiónico, con la Conductividad Eléctrica, con la Capacidad de Campo, con el Límite Líquido y con el Punto de Marchitez Permanente. Lo hace de manera negativa con el factor K de la ecuación de pérdida de suelo (K-USLE).

Los Índices Plástico, Líquido y de Consistencia se calculan a partir de los Límites de Atterberg (Límite Líquido y Límite Plástico). El Índice Plástico (IP) comprende valores entre el 1,64 y el 17,44% en suelos bajo *Nardion*, y, entre el 11,79 y el 18,47% en suelos bajo

Bromion, presentando en ambos suelos una baja plasticidad, lo que les confiere mayor probabilidad de sufrir movimientos en masa. El IP en suelos bajo *Nardion* se correlaciona de forma positiva y significativa con el Límite Líquido. En suelos bajo *Bromion* el IP se correlaciona de forma positiva con el Límite Líquido, con el Punto de Marchitez Permanente, con la Capacidad de Intercambio Catiónico y con el contenido en calcio.

El Índice Líquido (IL) adquiere un valor negativo en todas las muestras, tanto en suelos bajo *Nardion* como *Bromion*, lo que indica que tienen un comportamiento como sólido frágil (semi-sólido o sólido), es decir, al disminuir la humedad estos suelos perderán la plasticidad y sufrirán deslizamiento. El IL se correlaciona de forma positiva y significativa con el Límite Líquido y con el Índice Plástico.

El Índice de Consistencia (IC), en suelos bajo *Nardion* indica que estos suelos se comportan como sólido, mientras que los suelos bajo *Bromion* presentan un comportamiento plástico blando. El IC se correlaciona de forma negativa y significativa con el Índice Líquido, el Índice Plástico y el Límite Líquido en suelos bajo *Nardion* y *Bromion*.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Alakukku, L., Weiskopf, P., Chamen, W. C. T., Tjink, F. G. J., Van der Linden, J. P., Pires, S., Sommer, C., Spoor, G. (2003). Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: A review. Part. 1. Machine/soil interactions. *Soil and tillage research*. 73: 145-160.
- Anderson, J.V., Fadul, K.E., O'Connor, G.A. (1973). Factors affecting coefficient of linear extensibility in vertisols. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 37, 296 – 299.
- Armas-Herrera, C.M., Badía-Villas, D., Mora, J.L., Gómez, D. (2019). Plant-topsoil relationships underlying subalpine grassland patchiness, *Science of the Total Environment*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134483>
- Arthur, E., Ur, H., Tuller, M., Pouladi, N., Nørgaard, T., Moldrup, P., Wollesen, L. (2021). Estimating Atterberg limits of soils from hygroscopic water content. *Geoderma*, Vol. 381.
- Atlas, R., Bartha, R. (2001). *Ecología microbiana y microbiología ambiental*. 4ta. ed. Addison Wesley. Madrid, España. 677 pp.
- Atterberg, A.M. (1911). Über die physikalische Bodenuntersucgung, and ubre die Plastizität der Tone, *Internationale Mgen für Bodenkunde*, Vol.1
- Badía, D., Martí, C. (2017). Caracterización de suelos: métodos e interpretación de resultados. Huesca, España: *Reprografía de la Escuela Politécnica Superior de Huesca*. ISBN 978-84-16723-23-2.
- Badía, D., Buendía, L., Longares, L.A., Martí, C., Peña, J.L., González, J.A., y Gómez, D. (2020). Soil-geomorphology relationships determine the distribution of the main subalpine grasslands in the Central Pyrenees (NE-Spain). *Science of the Total Environment*, 734. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139121>
- Balks, M. R., Zabowski, D. (2016). *Celebrating soil: discovering soils and landscapes*. Suiza: Springer.
- Benito Alonso, J.L. (2006). Vegetación del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido. *Serie Investigación 50. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón*. Zaragoza.

- Berli, M. (2001): Compaction of agricultural subsoils by tracked heavy construction machinery. Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Técnicas. Instituto Federal Suizo de Tecnología de Zurich. 141 pp.
- Botta, G., Jorajuria, D., Draghi, L. (2002). Influence of the axle load, tire size and configuration, on the compaction of a freshly tilled clayey soil, *Journal of Terramechanics*, 39: 47-54.
- Brady NC, Weil RW (1999). The nature and properties of soils. 12a. ed. Prentice Hall. N.J. USA. 750 pp.
- Casagrande, A. (1932). Research on the Atterberg limits of Soils, *Public Roads*. 13, 121-130 & 136
- Cerana, J., Wilson, M.G., De Battista, J.J., Noir, J., Quintero, C. (2006). Estabilidad estructural de los Vertisoles en un sistema arrocero regado con agua subterránea. *Revista de Investigaciones Agropecuarias RIA* 35(1): 87-106.
- Davies, P. (1985). Influence of organic matter content, moisture status and time after reworking on soil shear strength. *The Journal of soil Science* 36(2): pp.299-306.
- Dexter, A.R., Czyz, E.A., GA, TE, O.P. (2007). A method for prediction of soil penetration resistance. *Soil Till. Res.* 93, 412-419.
- Doral-Kemper, W., Miller, D. (1975). Management of crusting soils. Some practical possibilities. In Carg, J.W. y Evans, D.D., eds. *Soil Crust*. Tucson Agric. Exp. Sta. University of Arizona. Technical Bulletin No. 214. 1-6.
- Doz, J.R., Badía, D. (2017). Propiedades físicas de suelos desarrollados sobre margas eocenas en la Val Ancha de Jaca. *Lucas Mallada*, 19: 95-112
- FAO. Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2011). La seguridad alimentaria: información para la toma de decisiones. Guía práctica. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/014/al936s/al936s00.pdf>; consulta: marzo de 2021.
- FAO c. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Disponible en: <https://www.fao.org/3/mm375s/mm375s.pdf>; consulta: marzo 2021.

- Ferrer, C. (2016). *Diccionario de pascolología: aspectos ecológicos, botánicos, agronómicos, forestales, zootécnicos y socio-económicos de los pastos*. Fundación Conde del Valle de Salazar. Madrid. 932 pp.
- Ferry, D., Olsen, R. (1975). Orientation of clay particles as it relates to crusting of soil. *Soil Sci.* 120: 367-375.
- Franzmeier, O.P., Ross, J. (1968). Soil swelling: Laboratory measurement and relation to other soil properties. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 32, 573-577.
- García-Ruiz, J.M, Palacios, D., De Andrés, N. Valero-Garcés, B.L., López-Moreno, J.I., Sanjuán, Y. (2014). Holocene and 'Little Ice Age' glacial activity in the Marboré Cirque, Monte Perdido Massif, Central Spanish Pyrenees. *The Holocene*, 24, 1439- 1452.
- Gardi, C.; Angelini, M., Barceló, S., Comerma, J., Cruz Gaistardo, C., Encina, A., Jones, A., Krasilnikov, P., Mendoça, M., Montanarella, L., Muñiz, O., Schad, P., Vara, M., Vargas, R. (2014). *Atlas de suelos de América Latina y el Caribe*. Comisión Europea Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, L-2995, Luxembourg, 176 pp.
- Garrido, M.S. (1994). Interpretación de Análisis de Suelos. *Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación*. N°5/93 HD.
- Ginés, F., Feliu, C., García-Ten, J., Sanz, V. (1996). Análisis de los métodos tradicionales utilizados para evaluar la plasticidad. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*. Vol. 36. N°1.
- González, A. (1990). Guías de prácticas de la Maestría en Suelos y Aguas. Universidad Nacional de Colombia. Palmira. Inédito.
- González, O., Iglesias, C., Herrera, H., López, E., Iznaga, A. (2008). Efecto de la humedad y la presión sobre el suelo en la porosidad total de un Rhodic Ferralsol. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 17(2): 50-54.
- Greene-Kelly, R. (1974). Shrinkage of clay soils: a statistical correlation with other soil properties. *Geoderma*, 11, 243-257.
- Gysi, M., Maeder, V., Weisskopf, P. (2001): Pressure distribution underneath tires of agricultural vehicles. *Transactions of ASAE* 44(6): 1385-1389.

- Hajjaji, W., Hachani, M., Moussi, B., Jeridi, K., Medhioub, M., López-Galindo, A., Rocha, F., Labrincha, J.A., Jamoussi, F. (2010). Mineralogy and plasticity in clay sediments from north-east Tunisia. *Journal of African Earth Sciences*. 57, 41-46.
- Hazma, M.A., Anderson, W.K. (2005). Soil compaction in cropping systems. A review of the nature, causes and 60azard60 solutions. *Soil Till. Res.* 82, 121-145.
- Hénin, S., Monnier, G., Combeau, A. (1958). Méthode pour l'étude de la stabilité structurale des sols. *Ann. Agron.* 9: 73-92
- Hillel, D. (1971). Soil and water. Physical principles and processes. Academic Press. New York. USA. 282 pp.
- Holtz, R.D., Kovacs, W.D. (1981). An Introduction to Geotechnical Engineering. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- IDEAragón. Infraestructura de Datos Espaciales de Aragón. (2021). *Gobierno de Aragón*. Disponible en <https://idearagon.aragon.es/portal/>; consulta: junio 2021.
- IUSS Working Group WRB. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome.
- Jaramillo, D.F. (2002). Introducción a la Ciencia del Suelo. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Medellín.
- Johnson, C.E., Bailey, A.C. (2002). Soil compaction. In: Upadhyaya, S.K., Chancellor, W.J., Perumpral, J.V., Schafer, R.L., Gill, W.R., VandenBerg, G.E. (Eds.), *Advances in Soil Dynamics*, vol. 2. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI, pp. 155–178.
- Kariuki, P.C., van der Meera, F. (2004). An unified swelling potential index for expansive soils. *Engineering Geology*. 72, 1-8.
- Keller, T. (2004). Soil compaction and soil tillage studies in agricultural soil mechanics, Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas), Universidad Sueca de Ciencias Agrícolas, Uppsala, Suecia

- Kulli, B., Gysi, M., Fluhler, H. (2003). Visualizing soil compaction based on flow pattern analysis. *Soil Till Res* 70, 29-40.
- Lambán, L.J., Bermudez, J., Custodio, E. (2017). Estimación de la recarga mediante la modelación numérica del balance de agua en el suelo en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido. *III Jornada de Investigación Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido*. 9-15.
- Lambán, L.J., et al. (2019). Investigaciones hidrogeológicas en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido (Huesca, España). *Boletín Geológico y Minero*, 130 (4): 615-640.
- Li, Y.R., Wen, B.P., Aydin, A., Ju, N.P. (2013). Ring shear tests on slip zone soils of three giant landslides in the Three Gorges Project area. *Eng. Geol.* 154, 106–115.
- Lopes, P.R.C., Gisbert, J.M., Gómez, L.D., Oliveira, C.A.V. (1998). Efecto de dosis de ácido polimaleico en la estabilidad estructural de suelos salinos. *Edafología* 5:11-28.
- McCormack, D.E., Wilding, L.P. (1975). Soil properties influencing swelling in Canfield and Geeburg soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 39, 496-502.
- McIntyre, D.S. (1958). Permeability measurements of soil crust formed by raindrop impact. *Soil Science*, 85, 185-189.
- Nannipieri, P. et al. (2003). Microbial diversity and soil functions. *European Journal of Soil Science*. 54: 655 pp.
- Porta, J. et al. (2003). Edafología: para la agricultura y el medio ambiente. 3ra. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 929 pp.
- Reiné, R., Barrantes, O., Broca, A., Ferrer, C. (eds.) (2009). *La multifuncionalidad de los pastos: producción ganadera sostenible y gestión de los ecosistemas*. Sociedad Española para el Estudio de los Pastos. Madrid. 669 pp.
- Rigueiro, A., Rodríguez, M. A., Gómez-Orellana, L. (2009). 6230 Formaciones herbosas con *Nardus*, con numerosas especies, sobre sustratos silíceos de zonas montañosas (y de zonas submontañosas de Europa continental) (*). En: VV.AA., *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. 66 p.

- Ríos, M., Ruiz, M., Maduro, R., y García, H. (2010). Exploratory study of physical properties of soils in the Maracay River basin (Aragua State, Venezuela) and their relationship with debris flows. *Revista Geográfica Venezolana*, Vol. 51(2), 225-247.
- Serrano-Notivoli, R., Buisán-Sanz, S.T., Abad-Pérez, L.M., Sierra-Álvarez, E., Rodríguez-Ballesteros, C., López-Moreno, J.I., Cuadrat, J.M. (2018). Tendencias recientes en precipitación, temperatura y nieve de alta montaña en los Pirineos (Refugio de Góriz, Huesca). El clima: aire, agua, tierra y fuego. Asociación Española de Climatología y Ministerio para la Transición Ecológica-Agencia Estatal de Meteorología, 267–280. Madrid.
- Silva, S., Correa, F. (2009). Análisis de la contaminación del suelo: revisión de la normativa y posibilidades de regulación económica. *Semestre Económico*. 23: 13-34.
- Singer, A. (1994). Clay mineralogy as affecting dispersivity and crust formation in Aridisols. En *Transactions of the 15th World congress of Soil Science*, J. d. Etchevers (ed.). Acapulco, México, 37-46.
- Smith, C.W., Hadas, A., Dan, J., Koyumdjisky, H. (1985). Shrinkage and Atterberg limits in relation to other properties of principal soil types in Israel. *Geoderma*, Vol. 35, 1, 47-65.
- Soil Survey Laboratory (1996). Methods manual. Version 3.0. Kellogg Soil Survey Laboratory (Soil Survey Investigations Report, 42). USDA. Lincoln (NE).
- SSS, Soil Survey Staff. (2014). Kellogg Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations Report N°42, Version 5.0. R. Burt and Soil Survey staff (ed.). U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. 1031 pp.
- Suzuki, M., Tsuzuki, S., Yamamoto, T. (2005). Physical and chemical index properties of residual strength of various soils. *Memoirs of the engineering. Faculty of Yamaguchi University*. 56(1): 1-11.
- Terlien, M.T.J. (1996). Modelling spatial and temporal variations in rainfall-triggered landslides: The integration of hydrologic model, slope stability models and geographic information systems for the hazard zonation of rainfall-triggered landslides with examples from Manizales (Colombia). Enschede [Holanda]: International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences. 254 pp.

UNE 103-103-94. Determinación del límite líquido de un suelo por el método del aparato de Casagrande.

UNE 103-104-93. Determinación del límite plástico de un suelo.

UNE 103-300-93. Determinación de la humedad de un suelo mediante secado en estufa.

Yera Posa, J., Ascaso Martorell, J. (2009) 6210 Pastos vivaces mesofíticos y mesoxerofíticos sobre sustratos calcáreos de Festuco-Brometea. En: VV.AA., *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. 74 p.

Yilmaz, I. (2000). Evaluation of shear strength of clayey soils by using their liquidity index. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. 59: 227-229.

Yong, R. N., Warkentin B. P. (1966). *Introduction to soil behavior*. The MacMillan Co. New York.

ANEXO N° 1. Resultados previos

I.1. Resultados analíticos de los perfiles

Tabla I.1: Resultados analíticos de los perfiles en suelos bajo Nardion. Badia et al. (2020)

Perfil	Horizonte	Prof. (cm)	pH		CaCO ₃ (%)	CE (μS)	MO (%)	CIC (Cmol(+)/Kg)	Ca	Mg	Na	K	CRAD (%)	PMP (%)	CC (%)	Poros (% v/v)	EG (%)	SAS (%)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)
			Agua (1:2,5)	pH KCl (1:2,5)																	
N1	Ah	10	5,83	4,66	0,00	58,10	5,19	22,10	11,51	2,25	0,06	0,48	12,70	28,43	45,15	67,09	0,00	97,55	6,59	51,95	41,45
N1	Bw	20	6,06	4,25	0,00	21,80	2,12	15,30	6,65	1,16	0,07	0,14	21,70	18,59	36,04	53,27	0,00	98,06	7,61	50,33	42,06
N1	Bw	40	6,31	4,47	0,00	15,51	1,44	13,20	7,06	0,73	0,05	0,10	52,12	17,85	36,01	46,61	0,00	93,16	6,81	50,10	43,09
N1	Bw	60	6,43	4,04	0,00	11,59	1,25	11,60	6,76	0,30	0,07	0,07	50,69	17,75	37,26	51,74	0,00	81,17	5,38	61,97	32,65
N1	Bw	80	6,32	3,60	0,00	11,29	1,40	12,90	5,12	0,10	0,07	0,07	49,95	19,77	40,29	54,78	0,00	85,06	19,78	53,25	26,97
N1	Bw	90	6,24	3,84	0,00	12,44	1,07	13,70	6,27	0,09	0,07	0,07	27,98	19,78	40,69	50,25	0,55	71,04	10,32	58,74	30,94
N2	Ah	10	6,02	4,34	0,00	61,05	4,19	12,60	9,40	2,66	0,04	0,46	23,05	22,37	45,11	60,20	2,24	96,59	4,59	54,49	40,92
N2	BA	20	5,97	3,72	0,00	34,10	2,26	13,30	7,50	1,77	0,05	0,20	24,92	17,20	38,49	55,64	0,16	95,82	3,94	54,58	41,47
N2	Bw	40	6,18	3,69	0,00	12,66	1,06	17,00	6,42	0,87	0,07	0,08	53,88	15,90	34,90	47,59	0,13	77,73	2,98	56,51	40,50
N2	Bw	60	6,34	4,08	0,00	11,37	0,77	12,50	8,44	0,70	0,07	0,08	55,01	16,14	35,54	45,97	0,14	77,86	4,78	65,97	29,24
N2	BC	80	6,26	4,17	0,00	17,53	0,96	13,70	9,63	0,52	0,08	0,07	52,29	17,22	36,24	49,37	0,00	73,40	8,67	59,60	31,73
N2	C	100	6,60	4,58	0,00	14,39	0,69	12,90	10,14	0,35	0,08	0,06	55,58	17,27	37,05	47,73	0,00	60,16	12,90	58,69	28,41
N3	Ah	10	5,32	4,03	0,00	63,30	5,62						19,98	28,60	49,16	61,24	0,00	95,74	4,97	52,57	42,47
N3	BA	20	5,45	3,88	0,00	29,20	2,43						24,68	18,65	37,93	51,08	0,00	96,32	4,43	52,12	43,45
N3	Bw	40	5,46	4,01	0,00	17,61	1,45						57,11	16,07	36,28	47,31	0,00	95,96	4,40	54,52	41,08
N3	Bw	60	5,77	3,60	0,00	12,07	0,87						53,22	16,15	34,52	46,43	0,00	82,37	5,22	54,73	40,05
N3	BC	80	6,01	3,76	0,00	14,49	0,70						52,09	16,75	34,35	45,35	0,15	79,12	5,57	53,52	40,91
N3	C	100	7,65	6,16	4,47	111,50	0,74						44,40	14,42	29,96	47,61	44,14	88,52	18,99	76,20	4,81
N4	Ah	10	5,73	4,34	0,00	72,50	6,64	25,90	12,64	2,56	0,06	0,61	11,16	38,61	53,73	68,89	0,00	95,98	5,19	57,00	37,82
N4	BA	20	5,89	4,04	0,00	30,65	2,79	19,70	7,02	1,19	0,05	0,17	13,99	23,90	37,90	61,41	0,00	96,25	5,30	48,35	46,34
N4	Bw	40	5,98	3,98	0,00	19,60	1,97	17,00	8,83	0,73	0,08	0,11	41,58	20,07	38,06	56,33	0,00	96,49	3,93	49,00	47,07
N4	Bw	60	6,32	4,23	0,00	14,77	1,27	12,50	8,43	0,32	0,07	0,07	47,95	19,18	36,56	49,00	0,00	93,38	4,26	47,26	48,47
N4	Bwg	80	7,07	5,37	0,00	24,55	0,92	13,60	13,27	0,21	0,07	0,05	47,52	18,24	35,86	50,37	1,93	84,51	4,25	52,84	42,91
N5	Ah	10	5,44	4,16	0,00	61,90	4,72						16,96	23,47	45,14	68,94	0,68	95,60	6,31	50,99	42,69
N5	AB	20	4,97	3,67	0,00	34,05	2,05						21,15	17,59	37,00	58,85	0,60	97,35	1,59	-0,47	98,88
N5	Bw	40	5,14	3,67	0,00	23,05	1,39						71,75	16,22	48,68	58,72	0,17	94,84	1,60	-0,73	99,13
N5	Bw	60	5,37	3,58	0,00	17,83	0,84						53,59	15,03	37,74	56,39	0,21	74,32	1,57	-1,06	99,49
N5	Bw	80	5,24	3,44	0,00	12,92	0,58						57,89	14,26	37,06	53,40	0,00	51,29	1,54	-0,33	98,79
N5	C	100	5,55	3,61	0,00	9,48	0,35						58,51	15,92	36,83	48,94	0,00	24,05	1,61	1,03	97,36

Tabla I.2: Resultados analíticos de los perfiles en suelos bajo Bromion. Badía et al. (2020)

Perfil	Horizonte	Prof. (cm)	pH		CaCO ₃ (%)	CE (μS)	MO (%)	CIC Total (Cmol(+)/Kg)	Ca	Mg	Na	K	CRAD (%)	PMP (%)	CC (%)	Poros (% v/v)	EG (%)	SAS (%)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)
			Agua (1:2,5)	pH KCl (1:2,5)																	
B1	Ah	5	6,64	5,61	0,00	98,45	4,79	20,40	15,10	1,40	0,04	0,70	8,10	22,14	43,71	70,49	0,00	96,57	9,68	53,78	36,53
B1	Ah	10	6,94	5,36	0,00	41,25	1,88	14,20	10,37	0,62	0,03	0,26	8,97	16,63	34,72	62,97	5,67	97,21	8,45	53,16	38,39
B1	Ah	20	7,72	6,29	1,57	89,10	1,14	12,20	11,73	0,26	0,05	0,13	33,38	16,63	35,96	54,41	38,44	95,79	8,95	57,74	33,31
B2	Ah	5	6,37	5,48	0,00	86,05	4,67	16,00	12,12	0,69	0,05	0,52	12,99	19,19	48,41	64,73	6,15	97,49	1,57	1,20	97,23
B2	Ah	10	6,67	5,21	0,00	61,40	2,61	15,50	14,58	0,54	0,04	0,31	12,60	16,61	40,04	58,78	0,36	98,13	1,58	0,05	98,37
B2	Ah	20	6,90	5,46	0,00	43,85	1,94	14,40	10,36	0,47	0,04	0,24	26,99	16,65	36,68	49,35	0,16	97,81	1,59	1,06	97,36
B2	Bw	40	7,25	5,62	0,00	33,95	1,25	12,60	11,67	0,32	0,04	0,16	42,16	16,68	33,44	53,22	6,84	94,64	1,56	10,25	88,18
B3	Ah	5	6,57	5,70	0,00	99,55	5,10						11,22	22,24	46,83	63,50	0,48	97,39	5,10	53,93	40,97
B3	Ah	10	6,99	5,57	0,00	53,35	2,68						13,32	17,46	39,64	53,88	0,23	97,87	6,97	53,85	39,19
B3	Ah	20	7,02	5,67	0,00	54,90	1,96						35,84	16,64	36,82	52,34	4,12	97,70	6,47	53,54	39,99
B4	Ah	5	7,10	5,99	0,00	173,45	6,10	24,90	23,77	0,71	0,04	0,38	11,30	28,16	50,70	59,46	0,34	96,92	7,03	69,19	23,77
B4	Bw	10	7,26	5,94	0,00	57,25	2,52	15,70	15,14	0,35	0,05	0,12	12,18	18,03	38,41	54,74	0,00	97,74	7,39	52,41	40,20
B4	Bw	20	7,46	6,06	0,00	48,15	1,52	13,80	13,31	0,31	0,05	0,10	26,13	16,66	36,79	51,45	0,00	96,72	7,44	53,75	38,80
B4	Bw	40	7,79	6,20	1,40	47,45	1,12	15,20	14,04	0,22	0,04	0,08	38,26	16,28	36,22	52,69	0,61	93,08	7,70	53,30	39,00
B5	Ah	5	6,89	5,59	0,00	102,60	2,58						10,80	14,71	41,70	69,51	5,84	96,62	9,45	54,77	35,79
B5	Ah	10	7,27	5,48	0,00	59,47	2,11						13,06	14,60	40,12	61,03	5,16	97,20	11,32	52,89	35,80
B5	Ah	20	6,99	5,88	0,00	87,70	3,71						11,94	20,25	43,30	48,78	67,47	96,51	6,51	52,40	41,09

ANEXO N°2. Resultados. Coeficiente de extensibilidad lineal

II.1. Resultados laboratorio

II.1.1. Longitud y peso antes de secado

En la **Tabla II.1** se muestran las longitudes y los pesos de las muestras de cada una de las repeticiones (réplicas) con su código de los distintos horizontes de los perfiles de suelos bajo *Nardion* (N).

Tabla II.1: Coeficiente de Extensibilidad Lineal. Longitudes y pesos antes de secado en suelos *Nardion*

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	CODIGO REPLICAS	LONGITUD (cm)	PESO (g)
N1	1	Ah	0-10	1.1	3,00	14,91
				1.2	3,10	15,07
N1	2	Bw ₁	10-20	2.1	3,10	16,71
				2.2	3,10	16,58
N1	3	Bw ₂	20-40	3.1	3,30	17,11
				3.2	3,20	17,10
N1	4	Bw ₃	40-60	4.1	3,20	17,44
				4.2	3,10	16,77
N1	5	Bw ₄	60-80	5.1	3,10	16,72
				5.2	3,10	16,61
N1	6	Bw ₅	80-90	6.1	3,20	17,40
				6.2	3,20	17,63
N2	7	Ah	0-10	7.1	3,10	15,66
				7.2	3,10	15,30
N2	8	BA	10-20	8.1	3,20	16,71
				8.2	3,20	16,48
				8.3	3,10	16,62
N2	9	Bw ₁	20-40	9.1	3,10	16,81
				9.2	3,00	16,43
N2	10	Bw ₂	40-60	10.1	3,00	16,99
				10.2	2,90	16,49
N2	11	BC	60-80	11.1	3,20	17,24
				11.2	3,10	16,86
				11.3	3,10	17,23

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	CODIGO REPLICAS	LONGITUD (cm)	PESO (g)
N2	12	C	80-100			
				12.1	3,20	17,08
				12.2	3,10	17,57
				12.3	3,10	17,09
N3	13	Ah	0-10			
				13.1	3,20	14,50
				13.2	3,10	14,74
N3	14	BA	10-20			
				14.1	3,10	15,58
				14.2	3,10	15,60
N3	15	Bw ₁	20-40			
				15.1	3,20	17,12
				15.2	3,20	17,60
N3	16	Bw ₂	40-60			
				16.1	3,30	17,67
				16.2	3,00	17,04
N3	17	BC	60-80			
				17.1	3,20	17,09
				17.2	3,20	17,76
				17.3	3,00	16,60
N3	18	C	80-100			
				18.1	3,10	18,22
				18.2	3,10	18,20
N4	19	Ah	0-10			
				19.1	3,20	13,84
				19.2	3,30	14,17
N4	20	BA	10-20			
				20.1	3,40	17,37
				20.2	3,30	16,85
N4	21	Bw ₁	20-40			
				21.1	3,10	15,98
				21.2	3,30	16,52
N4	22	Bw ₂	40-60			
				22.1	3,30	17,58
				22.2	3,20	16,90
N4	23	Bwg	60-80			
				23.1	3,10	17,17
				23.2	3,10	16,65
				23.3	3,10	17,00

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	CODIGO REPLICAS	LONGITUD (cm)	PESO (g)
N5	24	Ah	0-10	24.1	3,10	14,84
				24.2	3,10	15,35
N5	25	AB	10-20	25.1	3,10	15,77
				25.2	3,30	16,82
N5	26	Bw ₁	20-40	26.1	3,30	16,47
				26.2	3,30	17,11
N5	27	Bw ₂	40-60	27.1	3,00	16,92
				27.2	3,00	17,12
N5	28	Bw ₃	60-80	28.1	3,10	17,36
				28.2	3,10	16,82
N5	29	C	80-100	29.1	3,10	17,25
				29.2	3,10	17,62

En la **Tabla II.2** se muestran las longitudes y pesos de las muestras en cada una de las repeticiones (réplicas) con su código de los distintos horizontes de los perfiles de suelos bajo *Bromion* (B).

Tabla II.2. Coeficiente de Extensibilidad Lineal. Longitudes y pesos antes de secado en suelos *Bromion*

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	CODIGO REPLICAS	LONGITUD (cm)	PESO (g)
B1	1	Ah ₁	0-5	1.1	3,00	14,41
				1.2	3,10	14,47
B1	2	Ah ₂	5-10	2.2	3,10	16,74
				2.3	2,95	16,58
B1	3	Ah ₃	10-20	3.1	3,00	16,24
				3.2	3,10	17,09
B2	4	Ah ₁	0-5	4.1	3,20	14,69
				4.2	3,10	14,26
				4.3	3,10	14,11
B2	5	Ah ₂	5-10	5.1	3,10	16,26
				5.2	3,15	16,56
B2	6	Ah ₃	10-20			

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	CODIGO REPLICAS	LONGITUD (cm)	PESO (g)
				6.1	3,00	16,42
				6.2	3,10	16,91
B2	7	Bw ₁	20-40	7.1	3,30	17,07
				7.2	3,10	16,92
B3	8	Ah ₁	0-5	8.1	3,40	15,38
				8.2	3,40	15,39
B3	9	Ah ₂	5-10	9.1	3,40	16,47
				9.2	3,40	16,94
B3	10	Ah ₃	10-20	10.1	3,40	17,17
				10.2	3,30	17,08
B4	11	Ah ₁	0-5	11.1	3,40	14,71
				11.2	3,40	14,55
B4	12	Bw ₁	5-10	12.1	3,40	16,67
				12.2	3,30	16,19
B4	13	Bw ₂	10-20	13.1	3,20	16,80
				13.2	3,25	16,91
B4	14	Bw ₃	20-40	14.1	3,10	16,67
				14.2	3,50	17,41
B5	15	Ah ₁	0-5	15.1	3,00	16,04
				15.2	3,20	16,07
B5	16	Ah ₂	5-10	16.1	3,40	16,54
				16.2	3,20	16,47
B5	17	Ah ₃	10-20	17.1	3,20	15,32
				17.2	3,20	14,94

II.1.2. Longitud y peso después de secado

En la **Tabla II.3** se muestran las longitudes y los pesos de las muestras de cada una de las repeticiones (réplicas) de los distintos horizontes de los perfiles de los suelos bajo *Nardion*.

Tabla II.3: Coeficiente de Extensibilidad Lineal. Longitudes y pesos después de seco en suelos bajo Nardion

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	CODIGO REPLICAS	LONGITUD (cm)	PESO (g)
N1	1	Ah	0-10	1.1	2,90	9,63
				1.1	3,00	9,46
N1	2	Bw ₁	10-20	2.1	3,00	11,80
				2.3	3,00	11,33
N1	3	Bw ₂	20-40	3.1	3,15	12,33
				3.2	3,05	12,33
N1	4	Bw ₃	40-60	4.1	3,15	12,28
				4.2	3,05	11,83
N1	5	Bw ₄	60-80	5.1	2,95	11,37
				5.2	2,95	11,33
N1	6	Bw ₅	80-90	6.1	3,00	12,32
				6.2	3,00	12,48
N2	7	Ah	0-10	7.1	3,00	10,25
				7.2	3,00	10,01
N2	8	BA	10-20	8.1	3,10	11,55
				8.2	3,10	11,26
				8.3	3,00	11,39
N2	9	Bw ₁	20-40	9.1	3,00	12,09
				9.2	2,90	11,80
N2	10	Bw ₂	40-60	10.1	2,90	12,12
				10.2	2,80	11,77
N2	11	BC	60-80	11.1	3,10	12,27
				11.2	3,00	11,96
				11.3	3,00	12,14
N2	12	C	80-100	12.1	3,10	12,32
				12.2	3,00	12,42
				12.3	3,00	12,12
N3	13	Ah	0-10	13.1	3,05	8,77
				13.2	2,95	8,91
N3	14	BA	10-20			

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	CODIGO REPLICAS	LONGITUD (cm)	PESO (g)
				14.1	2,95	10,34
				14.2	2,95	10,39
N3	15	Bw ₁	20-40	15.1	3,10	11,88
				15.2	3,10	12,33
N3	16	Bw ₂	40-60	16.1	3,20	12,77
				16.2	2,90	12,33
N3	17	BC	60-80	17.1	3,10	12,10
				17.2	3,10	13,00
				17.3	2,90	12,04
N3	18	C	80-100	18.1	3,00	13,47
				18.2	3,00	13,49
N4	19	Ah	0-10	19.1	3,00	8,51
				19.2	3,10	8,69
N4	20	BA	10-20	20.1	3,25	11,56
				20.2	3,15	11,22
N4	21	Bw ₁	20-40	21.1	2,90	10,99
				21.2	3,10	11,39
N4	22	Bw ₂	40-60	22.1	3,10	12,59
				22.2	3,00	12,06
N4	23	Bwg	60-80	23.1	3,00	12,42
				23.2	3,00	11,56
				23.3	3,00	11,83
N5	24	Ah	0-10	24.1	3,00	9,20
				24.2	3,00	9,55
N5	25	AB	10-20	25.1	2,95	10,85
				25.2	3,15	11,53
N5	26	Bw ₁	20-40	26.1	3,10	11,21
				26.2	3,10	11,73
N5	27	Bw ₂	40-60	27.1	2,95	11,73
				27.2	2,95	11,91
N5	28	Bw ₃	60-80	28.1	3,00	12,18

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	CODIGO REPLICAS	LONGITUD (cm)	PESO (g)
				28.2	3,00	11,79
N5	29	C	80-100	29.1	3,05	12,38
				29.2	3,05	12,62

En la **Tabla II.4** se muestran las longitudes y los pesos de las muestras de cada una de las repeticiones (réplicas) de los distintos horizontes de los perfiles de los suelos bajo *Bromion*.

Tabla II.4: Coeficiente de Extensibilidad Lineal. Longitudes y pesos después de secado

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	CODIGO REPLICAS	LONGITUD (cm)	PESO (g)
B1	1	Ah ₁	0-5	1.1	2,90	8,99
				1.2	3,00	9,06
B1	2	Ah ₂	5-10	2.1	3,00	11,57
				2.2	2,85	11,45
B1	3	Ah ₃	10-20	3.1	2,90	11,29
				3.2	3,00	11,94
B2	4	Ah ₁	0-5	4.1	3,10	9,31
				4.2	3,00	8,77
				4.3	3,00	8,66
B2	5	Ah ₂	5-10	5.1	3,00	11,33
				5.2	3,05	11,56
B2	6	Ah ₃	10-20	6.1	2,95	11,43
				6.2	3,05	11,79
B2	7	Bw ₁	20-40	7.1	3,20	12,04
				7.2	3,00	11,93
B3	8	Ah ₁	0-5	8.1	3,25	9,50
				8.2	3,20	9,56
B3	9	Ah ₂	5-10	9.1	3,15	10,80
				9.2	3,25	11,11
B3	10	Ah ₃	10-20	10.1	3,20	11,56

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	CODIGO REPLICAS	LONGITUD (cm)	PESO (g)
				10.2	3,10	11,53
B4	11	Ah ₁	0-5	11.1	3,05	8,70
				11.2	3,00	8,64
B4	12	Bw ₁	5-10	12.1	3,10	10,90
				12.2	3,00	10,67
B4	13	Bw ₂	10-20	13.1	2,95	11,36
				13.2	3,00	11,50
B4	14	Bw ₃	20-40	14.1	2,95	11,31
				14.2	3,35	11,79
B5	15	Ah ₁	0-5	15.1	2,85	10,70
				15.2	3,05	10,73
B5	16	Ah ₂	5-10	16.1	3,20	11,16
				16.2	3,00	11,16
B5	17	Ah ₃	10-20	17.1	3,10	9,72
				17.2	3,10	9,51

II.2. Cálculo propiedades

II.2.1. Pesos. Diferencias en tanto por ciento (%)

En la **Tabla II.5** se muestra las diferencias en tanto por ciento (%) del peso de cada una de las repeticiones antes y después del secado en suelos bajo *Nardion*.

Tabla II.5: Coeficiente de Extensibilidad Lineal. Diferencia de peso muestra (%) antes y después secado en suelos bajo Nardion

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	CODIGO REPLICAS	Δ PESO (%)
N1	1	Ah	0-10	1.1	54,83
				1.3	59,91
N1	2	Bw ₁	10-20	2.1	41,61
				2.3	46,34
N1	3	Bw ₂	20-40	3.1	38,77
				3.2	38,69
N1	4	Bw ₃	40-60		

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	CODIGO REPLICAS	Δ PESO (%)
				4.1	42,02
				4.2	41,76
N1	5	Bw ₄	60-80	5.1	47,05
				5.2	46,60
N1	6	Bw ₅	80-90	6.1	41,23
				6.2	41,27
N2	7	Ah	0-10	7.1	52,78
				7.2	52,85
N2	8	BA	10-20	8.1	44,68
				8.2	46,36
				8.3	45,92
N2	9	Bw ₁	20-40	9.1	39,04
				9.2	39,24
N2	10	Bw ₂	40-60	10.1	40,18
				10.2	40,10
N2	11	BC	60-80	11.1	40,51
				11.2	40,97
				11.3	41,93
N2	12	C	80-100	12.1	38,64
				12.2	41,47
				12.3	41,01
N3	13	Ah	0-10	13.1	65,34
				13.2	65,43
N3	14	BA	10-20	14.1	50,68
				14.2	50,14
N3	15	Bw ₁	20-40	15.1	44,11
				15.2	42,74
N3	16	Bw ₂	40-60	16.1	38,37
				16.2	38,20
N3	17	BC	60-80	17.1	41,24
				17.2	36,62
				17.3	37,87

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	CODIGO REPLICAS	Δ PESO (%)
N3	18	C	80-100	18.1	35,26
				18.2	34,91
N4	19	Ah	0-10	19.1	62,63
				19.2	63,06
N4	20	BA	10-20	20.1	50,26
				20.2	50,18
N4	21	Bw ₁	20-40	21.1	45,40
				21.2	45,04
N4	22	Bw ₂	40-60	22.1	39,63
				22.2	40,13
N4	23	Bwg	60-80	23.1	38,24
				23.2	44,03
				23.3	43,70
N5	24	Ah	0-10	24.1	61,30
				24.2	60,73
N5	25	AB	10-20	25.1	45,35
				25.2	45,88
N5	26	Bw ₁	20-40	26.1	46,92
				26.2	45,87
N5	27	Bw ₂	40-60	27.1	44,25
				27.2	43,74
N5	28	Bw ₃	60-80	28.1	42,53
				28.2	42,66
N5	29	C	80-100	29.1	39,34
				29.2	39,62

En la Tabla II.6 se muestra las diferencias de peso en tanto por ciento (%) del peso de cada una de las repeticiones antes y después del secada en suelos bajo *Bromion*.

Tabla II.6: Coeficiente de Extensibilidad Lineal. Diferencia de pesos muestra (%) antes y después secado en suelos bajo Bromion

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	CODIGO REPLICAS	Δ PESO (%)
B1	1	Ah ₁	0-5	1.1	60,29
				1.2	59,71
B1	2	Ah ₂	5-10	2.1	45,71
				2.2	44,68
				2.3	44,80
B1	3	Ah ₃	10-20	3.1	43,84
				3.2	43,13
B2	4	Ah ₁	0-5	4.1	57,79
				4.2	62,60
				4.3	62,93
B2	5	Ah ₂	5-10	5.1	43,51
				5.2	43,25
B2	6	Ah ₃	10-20	6.1	46,91
				6.2	46,84
B2	7	Bw ₁	20-40	7.1	41,78
				7.2	42,09
				7.3	42,14
B3	8	Ah ₁	0-5	8.1	61,89
				8.2	60,98
B3	9	Ah ₂	5-10	9.1	52,50
				9.2	52,48
B3	10	Ah ₃	10-20	10.1	48,53
				10.2	48,14
B4	11	Ah ₁	0-5	11.1	69,08
				11.2	68,40
B4	12	Bw ₁	5-10	12.1	52,94
				12.2	51,73
B4	13	Bw ₂	10-20	13.1	47,89
				13.2	47,04
B4	14	Bw ₃	20-40		

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	CODIGO REPLICAS	Δ PESO (%)
				14.1	47,39
				14.2	47,67
B5	15	Ah ₁	0-5	15.1	49,91
				15.2	49,77
B5	16	Ah ₂	5-10	16.1	48,21
				16.2	47,58
B5	17	Ah ₃	10-20	17.1	57,61
				17.2	57,10

II.2.2. Coeficiente de extensibilidad lineal (COLE)

En la **Tabla II.7** se muestra el resultado del cálculo del Coeficiente de Extensibilidad Lineal (COLE) en suelos bajo *Nardion*, según la **Fórmula 5.2**.

Tabla II.7: Coeficiente de Extensibilidad Lineal. Cálculo en suelos bajo *Nardion* según Fórmula 4.3

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	CODIGO REPLICAS	COLE
N1	1	Ah	0-10	1.1	0,034
				1.1	0,033
N1	2	Bw ₁	10-20	2.1	0,033
				2.3	0,033
N1	3	Bw ₂	20-40	3.1	0,048
				3.2	0,049
N1	4	Bw ₃	40-60	4.1	0,016
				4.2	0,016
N1	5	Bw ₄	60-80	5.1	0,051
				5.2	0,051
N1	6	Bw ₅	80-90	6.1	0,067
				6.2	0,067
N2	7	Ah	0-10	7.1	0,033
				7.2	0,033
N2	8	BA	10-20	8.1	0,032
				8.2	0,032
				8.3	0,033

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	CODIGO REPLICAS	COLE
N2	9	Bw ₁	20-40	9.1	0,033
				9.2	0,034
N2	10	Bw ₂	40-60	10.1	0,034
				10.2	0,036
N2	11	BC	60-80	11.1	0,032
				11.2	0,033
				11.3	0,033
N2	12	C	80-100	12.1	0,032
				12.2	0,033
				12.3	0,033
N3	13	Ah	0-10	13.1	0,049
				13.2	0,051
N3	14	BA	10-20	14.1	0,051
				14.2	0,051
N3	15	Bw ₁	20-40	15.1	0,032
				15.2	0,032
N3	16	Bw ₂	40-60	16.1	0,031
				16.2	0,034
N3	17	BC	60-80	17.1	0,032
				17.2	0,032
				17.3	0,034
N3	18	C	80-100	18.1	0,033
				18.2	0,033
N4	19	Ah	0-10	19.1	0,067
				19.2	0,065
N4	20	BA	10-20	20.1	0,046
				20.2	0,048
N4	21	Bw ₁	20-40	21.1	0,069
				21.2	0,065
N4	22	Bw ₂	40-60	22.1	0,065
				22.2	0,067

N4	23	Bwg	60-80	23.1	0,033
				23.2	0,033
				23.3	0,033
N5	24	Ah	0-10	24.1	0,033
				24.2	0,033
N5	25	AB	10-20	25.1	0,051
				25.2	0,048
N5	26	Bw ₁	20-40	26.1	0,065
				26.2	0,065
N5	27	Bw ₂	40-60	27.1	0,017
				27.2	0,017
N5	28	Bw ₃	60-80	28.1	0,033
				28.2	0,033
N5	29	C	80-100	29.1	0,016
				29.2	0,016

En la **Tabla II.8** se muestra el resultado del cálculo del Coeficiente de Extensibilidad Lineal (COLE) en suelos bajo *Bromion*, según la **Fórmula 5.2**.

Tabla II.8: Coeficiente de Extensibilidad Lineal. Cálculo en suelos bajo Bromion según Fórmula 4.3

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	CODIGO REPLICAS	COLE
B1	1	Ah ₁	0-5	1.1	0,034
				1.2	0,033
B1	2	Ah ₂	5-10	2.2	0,033
				2.3	0,035
B1	3	Ah ₃	10-20	3.1	0,034
				3.2	0,033
B2	4	Ah ₁	0-5	4.1	0,032
				4.2	0,033
				4.3	0,033
B2	5	Ah ₂	5-10	5.1	0,033
				5.2	0,033
B2	6	Ah ₃	10-20		

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	CODIGO REPLICAS	COLE
				6.1	0,016
				6.2	0,017
B2	7	Bw ₁	20-40	7.1	0,031
				7.2	0,033
B3	8	Ah ₁	0-5	8.1	0,046
				8.2	0,062
B3	9	Ah ₂	5-10	9.1	0,048
				9.2	0,046
B3	10	Ah ₃	10-20	10.1	0,062
				10.2	0,065
B4	11	Ah ₁	0-5	11.1	0,115
				11.2	0,133
B4	12	Bw ₁	5-10	12.1	0,097
				12.2	0,100
B4	13	Bw ₂	10-20	13.1	0,085
				13.2	0,083
B4	14	Bw ₃	20-40	14.1	0,051
				14.2	0,045
B5	15	Ah ₁	0-5	15.1	0,053
				15.2	0,049
B5	16	Ah ₂	5-10	16.1	0,062
				16.2	0,067
B5	17	Ah ₃	10-20	17.1	0,032
				17.2	0,032

II.3. Tratamiento estadístico resultados

II.3.2. Pesos

En la Tabla **II.9** se muestra el resultado de las variables estadísticas (media, desviación estándar -DESV- y coeficiente de varianza -CV-), resultado de aplicarlas al conjunto de repeticiones de la **Tabla II.5** en suelos bajo *Nardion*.

Tabla II.9: Variación de peso. Variables estadísticas en suelos bajo Nardion

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	MEDIA (Δ PESO)	DESV (\pm)	CV (%)
N1	1	Ah	0-10	57,065	3,163	5,543
N1	2	Bw ₁	10-20	43,974	3,342	7,601
N1	3	Bw ₂	20-40	38,727	0,057	0,148
N1	4	Bw ₃	40-60	41,889	0,185	0,441
N1	5	Bw ₄	60-80	46,828	0,319	0,682
N1	6	Bw ₅	80-90	41,250	0,023	0,055
N2	7	Ah	0-10	52,814	0,047	0,089
N2	8	BA	10-20	45,651	0,873	1,912
N2	9	Bw ₁	20-40	39,139	0,139	0,355
N2	10	Bw ₂	40-60	40,142	0,056	0,140
N2	11	BC	60-80	41,134	0,725	1,763
N2	12	C	80-100	40,369	1,518	3,761
N3	13	Ah	0-10	65,384	0,068	0,104
N3	14	BA	10-20	50,411	0,377	0,747
N3	15	Bw ₁	20-40	43,425	0,966	2,225
N3	16	Bw ₂	40-60	38,285	0,121	0,317
N3	17	BC	60-80	38,576	2,391	6,198
N3	18	C	80-100	35,089	0,247	0,703
N4	19	Ah	0-10	62,847	0,303	0,482
N4	20	BA	10-20	50,219	0,057	0,114
N4	21	Bw ₁	20-40	45,222	0,258	0,571
N4	22	Bw ₂	40-60	39,884	0,352	0,883
N4	23	Bwg	60-80	41,993	3,250	7,740
N5	24	Ah	0-10	61,019	0,404	0,662
N5	25	AB	10-20	45,613	0,378	0,829
N5	26	Bw ₁	20-40	46,394	0,747	1,611
N5	27	Bw ₂	40-60	43,995	0,354	0,805
N5	28	Bw ₃	60-80	42,596	0,095	0,223
N5	29	C	80-100	39,479	0,199	0,505

En la tabla **II.10** se muestra el resultado de las variables estadísticas (media, desviación estándar -DESV- y coeficiente de varianza -CV-), resultado de aplicarlas al conjunto de repeticiones de la **Tabla II.6** en suelos bajo *Bromion*.

Tabla II.10: Variación de peso. Variables estadísticas en suelos bajo Bromion

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	MEDIA (Δ PESO)	DESV (\pm)	CV (%)
B1	1	Ah ₁	0-5	60,001	0,407	0,68
B1	2	Ah ₂	5-10	45,067	0,562	1,25
B1	3	Ah ₃	10-20	43,488	0,503	1,16
B2	4	Ah ₁	0-5	61,107	2,879	4,71
B2	5	Ah ₂	5-10	43,383	0,184	0,42

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	MEDIA (Δ PESO)	DESV (\pm)	CV (%)
B2	6	Ah ₃	10-20	46,875	0,056	0,12
B2	7	Bw ₁	20-40	42,000	0,195	0,46
B3	8	Ah ₁	0-5	61,439	0,645	1,05
B3	9	Ah ₂	5-10	52,488	0,018	0,03
B3	10	Ah ₃	10-20	48,332	0,279	0,58
B4	11	Ah ₁	0-5	68,742	0,479	0,70
B4	12	Bw ₁	5-10	52,335	0,850	1,62
B4	13	Bw ₂	10-20	47,465	0,597	1,26
B4	14	Bw ₃	20-40	47,530	0,195	8,63
B5	15	Ah ₁	0-5	49,837	0,099	0,20
B5	16	Ah ₂	5-10	47,894	0,444	0,93
B5	17	Ah ₃	10-20	57,355	0,364	0,64

Con respecto al coeficiente de varianza o variación (CV), a mayor porcentaje de CV mayor heterogeneidad de los valores de la variable; a menor porcentaje de CV mayor homogeneidad de los valores de la variable.

II.3.3. COLE

En la **Tabla II.11** se muestra el resultado de las variables estadísticas (media, desviación estándar -DESV- y coeficiente de varianza -CV-), resultado de aplicarlas a las repeticiones de la **Tabla II.7** en suelos bajo *Nardion*.

Tabla II.11: Coeficiente de Extensibilidad Lineal. Variables estadísticas de la Tabla II.7 en suelos bajo Nardion

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	MEDIA (COLE)	DESV (\pm)	CV (%)
N1	1	Ah	0-10	0,03350	0,00071	2,1
N1	2	Bw ₁	10-20	0,03300	0,00000	0,0
N1	3	Bw ₂	20-40	0,04850	0,00071	1,5
N1	4	Bw ₃	40-60	0,01600	0,00000	0,0
N1	5	Bw ₄	60-80	0,05100	0,00000	0,0
N1	6	Bw ₅	80-90	0,06700	0,00000	0,0
N2	7	Ah	0-10	0,03300	0,00000	0,0
N2	8	BA	10-20	0,03233	0,00058	1,8
N2	9	Bw ₁	20-40	0,03350	0,00071	2,1
N2	10	Bw ₂	40-60	0,03499	0,00141	4,0
N2	11	BC	60-80	0,03266	0,00058	1,8
N2	12	C	80-100	0,03266	0,00058	1,8
N3	13	Ah	0-10	0,04999	0,00141	2,8
N3	14	BA	10-20	0,05100	0,00000	0,0
N3	15	Bw ₁	20-40	0,03200	0,00000	0,0
N3	16	Bw ₂	40-60	0,03247	0,00212	6,5

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	MEDIA (COLE)	DESV (±)	CV (%)
N3	17	BC	60-80	0,03265	0,00115	3,5
N3	18	C	80-100	0,03300	0,00000	0,0
N4	19	Ah	0-10	0,06599	0,00141	2,1
N4	20	BA	10-20	0,04699	0,00141	3,0
N4	21	Bw ₁	20-40	0,06697	0,00283	4,2
N4	22	Bw ₂	40-60	0,06599	0,00141	2,1
N4	23	Bwg	60-80	0,03300	0,00000	0,0
N5	24	Ah	0-10	0,03300	0,00000	0,0
N5	25	AB	10-20	0,04948	0,00212	4,3
N5	26	Bw ₁	20-40	0,06500	0,00000	0,0
N5	27	Bw ₂	40-60	0,01700	0,00000	0,0
N5	28	Bw ₃	60-80	0,03300	0,00000	0,0
N5	29	C	80-100	0,01600	0,00000	0,0

En la **Tabla II.12** se muestra el resultado de las variables estadísticas (media, desviación estándar -DESV- y coeficiente de varianza -CV-), resultado de aplicarlas a las repeticiones de la **Tabla II.8** en suelos bajo *Bromion*.

Tabla II.12: Coeficiente de Extensibilidad Lineal. Variables estadísticas de la Tabla II.8 en suelos bajo Bromion

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	MEDIA (COLE)	DESV (±)	CV (%)
B1	1	Ah ₁	0-5	0,03374	0,00105	3,11
B1	2	Ah ₂	5-10	0,03400	0,00141	4,16
B1	3	Ah ₃	10-20	0,03391	0,00081	2,40
B2	4	Ah ₁	0-5	0,03275	0,00043	1,31
B2	5	Ah ₂	5-10	0,03317	0,00024	0,71
B2	6	Ah ₃	10-20	0,01650	0,00071	4,29
B2	7	Bw ₁	20-40	0,03200	0,00141	4,42
B3	8	Ah ₁	0-5	0,05400	0,01131	20,95
B3	9	Ah ₂	5-10	0,04700	0,00071	1,50
B3	10	Ah ₃	10-20	0,06326	0,00178	2,81
B4	11	Ah ₁	0-5	0,12404	0,01314	10,59
B4	12	Bw ₁	5-10	0,09839	0,00228	2,32
B4	13	Bw ₂	10-20	0,08404	0,00100	1,19
B4	14	Bw ₃	20-40	0,04792	0,00413	8,63
B5	15	Ah ₁	0-5	0,05109	0,00270	5,29
B5	16	Ah ₂	5-10	0,06433	0,00330	5,13
B5	17	Ah ₃	10-20	0,03213	0,00018	0,57

ANEXO N°3. Límites Atterberg. Límite Líquido

III.1. Cálculos previos

Para calcular el Límite Líquido es necesario conocer el valor de la Capacidad de Campo de cada muestra, que experimentalmente ya ha sido calculada en **Badía et al. (2020)**. Así pues, para el peso conocido de cada una de las muestras de horizonte de este trabajo, se ajusta la cantidad de agua necesaria a la Capacidad de Campo conocida.

La Capacidad de Campo (CC) se define como el contenido de agua o humedad que es capaz de retener el suelo después de saturación o de haber sido mojado y haber dejado drenar libremente, evitando pérdida por evapotranspiración hasta que el potencial hídrico del suelo se estabiliza, alrededor de 24 a 48 horas después de la lluvia o riego (**Israelsen et al, 1922**). La Capacidad de Campo corresponde aproximadamente al contenido de agua que retiene una muestra de suelo saturada y luego sometida a una tensión de -0,33 bares (**Richards et al., 1944**).

El cálculo experimental de este parámetro en **Badía et al. (2020)** se realiza mediante el método *Sandbox*, que consiste en rellenar unos cilindros metálicos con las muestras, a los cuales previamente se le han colocado unos filtros en la parte no biselada sujetos mediante una goma. A continuación, se introducen los cilindros en un cajón con arena de playa limpia y se llena de agua, dejándolos 24 horas para que alcancen el punto de saturación. Transcurrido este tiempo, se coloca un filtro de tela sobre el cajón de caolín del equipo Eijkelkamp y se humedece la superficie. Acto seguido, se colocan los cilindros en dicho cajón y se pone en funcionamiento el equipo durante 24 horas, sometiendo a las muestras a una succión de 33 kPa. Después, se extraen las muestras de los cilindros, colocándolos en un platillo y se pesan. Seguidamente, se introducen en la estufa a 105°C durante 24 horas y, se vuelven a pesar.

$$CC (\%) (p/p) = \frac{M1 - M2}{M2 - M3} \times 100$$

Fórmula III.1: Cálculo CC según Badía et al. (2020)

Donde: M1: Peso de la muestra húmeda (g)

M2: Peso de la muestra seca a la estufa (g)

M3: Tara del platillo (g)

Los resultados que se obtuvieron, según el cálculo de la **Fórmula III.1**, se muestran en la **Tabla III.1** para suelos bajo *Nardion* y en la **Tabla III.2** para suelos bajo *Bromion*.

Tabla III.1: Límites Atterberg. Límite Líquido. Capacidad de Campo para suelos bajo Nardion. Badía et al. (2020)

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	Suelo (g)	CC 33 Mpa (%)
N1	1	Ah	0-10	100	45,15
N1	2	Bw ₁	10-20	100	36,04
N1	3	Bw ₂	20-40	100	36,01
N1	4	Bw ₃	40-60	100	37,26
N1	5	Bw ₄	60-80	100	40,29
N1	6	Bw ₅	80-90	100	40,69
N2	7	Ah	0-10	100	45,11
N2	8	BA	10-20	100	38,49
N2	9	Bw ₁	20-40	100	34,90
N2	10	Bw ₂	40-60	100	35,54
N2	11	BC	60-80	100	36,24
N2	12	C	80-100	100	37,05
N3	13	Ah	0-10	100	49,16
N3	14	BA	10-20	100	37,93
N3	15	Bw ₁	20-40	100	36,28
N3	16	Bw ₂	40-60	100	34,52
N3	17	BC	60-80	100	34,35
N3	18	C	80-100	100	29,96
N4	19	Ah	0-10	100	53,73
N4	20	BA	10-20	100	37,90
N4	21	Bw ₁	20-40	100	38,06
N4	22	Bw ₂	40-60	100	36,56
N4	23	Bwg	60-80	100	35,86
N5	24	Ah	0-10	100	45,14
N5	25	AB	10-20	100	37,00
N5	26	Bw ₁	20-40	100	48,68
N5	27	Bw ₂	40-60	100	37,74
N5	28	Bw ₃	60-80	100	37,06
N5	29	C	80-100	100	36,83

Tabla III.2: Límites Atterberg. Límite Líquido. Capacidad de Campo para suelos bajo Bromion. Badía et al. (2020)

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	Suelo (g)	CC 33 Mpa (%)
B1	1	Ah ₁	0-5	100	43,71
B1	2	Ah ₂	5-10	100	34,72
B1	3	Ah ₃	10-20	100	35,96
B2	4	Ah ₁	0-5	100	48,41
B2	5	Ah ₂	5-10	100	40,04
B2	6	Ah ₃	10-20	100	36,68

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	Suelo (g)	CC 33 Mpa (%)
B2	7	Bw ₁	20-40	100	33,44
B3	8	Ah ₁	0-5	100	46,83
B3	9	Ah ₂	5-10	100	39,64
B3	10	Ah ₃	10-20	100	36,82
B4	11	Ah ₁	0-5	100	50,70
B4	12	Bw ₁	5-10	100	38,41
B4	13	Bw ₂	10-20	100	36,79
B4	14	Bw ₃	20-40	100	36,22
B5	15	Ah ₁	0-5	100	41,70
B5	16	Ah ₂	5-10	100	40,12
B5	17	Ah ₃	10-20	100	43,30

III.2. Límites Atterberg. Límite Líquido

III.2.1. Cantidad de muestra utilizada en el método Cuchara Grande y cálculo Capacidad de Campo

En este trabajo, la cantidad de muestra utilizada para el cálculo del Límite Líquido en cada uno de los horizontes es de 45 gramos.

A continuación en la **Tabla III.3** se muestran los valores de Capacidad de Campo a este peso (45 gramos) ajustados a los valores de la **Tabla III.1** en suelos bajo *Nardion*.

Tabla III.3: Límites Atterberg. Límite Líquido. Capacidad de Campo en suelos Nardion

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	CC (ml)
N1	1	Ah	0-10	20,32
N1	2	Bw ₁	10-20	16,22
N1	3	Bw ₂	20-40	16,20
N1	4	Bw ₃	40-60	16,77
N1	5	Bw ₄	60-80	18,13
N1	6	Bw ₅	80-90	18,31
N2	7	Ah	0-10	20,30
N2	8	BA	10-20	17,32
N2	9	Bw ₁	20-40	15,71
N2	10	Bw ₂	40-60	15,99
N2	11	BC	60-80	16,31
N2	12	C	80-100	16,67
N3	13	Ah	0-10	22,12
N3	14	BA	10-20	17,07
N3	15	Bw ₁	20-40	16,33
N3	16	Bw ₂	40-60	15,53
N3	17	BC	60-80	15,46
N3	18	C	80-100	13,48
N4	19	Ah	0-10	24,18

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	CC (ml)
N4	20	BA	10-20	17,06
N4	21	Bw ₁	20-40	17,13
N4	22	Bw ₂	40-60	16,45
N4	23	Bwg	60-80	16,14
N5	24	Ah	0-10	20,31
N5	25	AB	10-20	16,65
N5	26	Bw ₁	20-40	21,91
N5	27	Bw ₂	40-60	16,98
N5	28	Bw ₃	60-80	16,68
N5	29	C	80-100	16,57

En la **Tabla III.4** se muestran los valores de Capacidad de Campo a este peso (45 gramos) ajustados a los valores de la **Tabla III.2** en suelos bajo *Bromion*.

Tabla III.4: Límites Atterberg. Límite Líquido. Capacidad de Campo en suelos Bromion

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	CC (ml)
B1	1	Ah ₁	0-5	19,70
B1	2	Ah ₂	5-10	15,62
B1	3	Ah ₃	10-20	16,18
B2	4	Ah ₁	0-5	21,78
B2	5	Ah ₂	5-10	18,02
B2	6	Ah ₃	10-20	16,50
B2	7	Bw ₁	20-40	15,05
B3	8	Ah ₁	0-5	21,07
B3	9	Ah ₂	5-10	17,84
B3	10	Ah ₃	10-20	16,60
B4	11	Ah ₁	0-5	22,82
B4	12	Bw ₁	5-10	17,30
B4	13	Bw ₂	10-20	16,56
B4	14	Bw ₃	20-40	16,30
B5	15	Ah ₁	0-5	18,77
B5	16	Ah ₂	5-10	18,05
B5	17	Ah ₃	10-20	19,49

III.2.2. Adición sucesiva de volúmenes conocidos de agua destilada en la muestra durante el proceso

En la **Tabla III. 5** se muestra la cantidad de agua destilada añadida sucesivamente durante el método experimental en cada uno de los momentos (00, 01, 02, 03, 04, 05, 06) en suelos bajo *Nardion* y *Bromion*.

Tabla III. 5: Límites Atterberg. Límite Líquido. Cantidad de agua añadida sucesivamente durante proceso experimental.

00	01	02	03	04	05	06
CC (ml)	CC (ml) + 02 ml	CC (ml) + 04 ml	CC (ml) + 06 ml	CC (ml) + 08 ml	CC (ml) +10 ml	CC (ml) + 12 ml

En la **Tabla III.6** se muestra la cantidad total de agua destilada añadida sucesivamente durante el método experimental en cada uno de los momentos en suelos bajo *Nardion*.

Tabla: III.6. Límites Atterberg. Límite Líquido. Cantidad de agua total añadida sucesivamente durante proceso experimental en suelos bajo Nardion

Perfil	Código	Horizonte	00 CC(ml)	01 CC(ml)+02ml	02 CC(ml)+04ml	03 CC(ml)+06ml	04 CC(ml)+08ml	05 CC(ml)+10ml	06 CC(ml)+12ml
N1	1	Ah	20,32	22,32	24,32	26,32	28,32	30,32	32,32
N1	2	Bw ₁	16,22	18,22	20,22	22,22	24,22	26,22	28,22
N1	3	Bw ₂	16,20	18,20	20,20	22,20	24,20	26,20	28,20
N1	4	Bw ₃	16,77	18,77	20,77	22,77	24,77	26,77	28,77
N1	5	Bw ₄	18,13	20,13	22,13	24,13	26,13	28,13	30,13
N1	6	Bw ₅	18,31	20,31	22,31	24,31	26,31	28,31	30,31
N2	7	Ah	20,30	22,30	24,30	26,30	28,30	30,30	32,30
N2	8	BA	17,32	19,32	21,32	23,32	25,32	27,32	29,32
N2	9	Bw ₁	15,71	17,71	19,71	21,71	23,71	25,71	27,71
N2	10	Bw ₂	15,99	17,99	19,99	21,99	23,99	25,99	27,99
N2	11	BC	16,31	18,31	20,31	22,31	24,31	26,31	28,31
N2	12	C	16,67	18,67	20,67	22,67	24,67	26,67	28,67
N3	13	Ah	22,12	24,12	26,12	28,12	30,12	32,12	34,12
N3	14	BA	17,07	19,07	21,07	23,07	25,07	27,07	29,07
N3	15	Bw ₁	16,33	18,33	20,33	22,33	24,33	26,33	28,33
N3	16	Bw ₂	15,53	17,53	19,53	21,53	23,53	25,53	27,53
N3	17	BC	15,46	17,46	19,46	21,46	23,46	25,46	27,46
N3	18	C	13,48	15,48	17,48	19,48	21,48	23,48	25,48
N4	19	Ah	24,18	26,18	28,18	30,18	32,18	34,18	36,18
N4	20	BA	17,06	19,06	21,06	23,06	25,06	27,06	29,06
N4	21	Bw ₁	17,13	19,13	21,13	23,13	25,13	27,13	29,13
N4	22	Bw ₂	16,45	18,45	20,45	22,45	24,45	26,45	28,45
N4	23	Bwg	16,14	18,14	20,14	22,14	24,14	26,14	28,14
N5	24	Ah	20,31	22,31	24,31	26,31	28,31	30,31	32,31
N5	25	AB	16,65	18,65	20,65	22,65	24,65	26,65	28,65
N5	26	Bw ₁	21,91	23,91	25,91	27,91	29,91	31,91	33,91
N5	27	Bw ₂	16,98	18,98	20,98	22,98	24,98	26,98	28,98
N5	28	Bw ₃	16,68	18,68	20,68	22,68	24,68	26,68	28,68
N5	29	C	16,57	18,57	20,57	22,57	24,57	26,57	28,57

En la **Tabla III.7** se muestra la cantidad total de agua destilada añadida sucesivamente durante el método experimental en cada uno de los momentos en suelos bajo *Bromion*.

Tabla III.7: Límites Atterberg. Límite Líquido. Cantidad de agua añadida sucesivamente durante proceso experimental en suelos bajo Bromion.

Perfil	Código	Horizonte	00 CC(ml)	01 CC(ml)+02ml	02 CC(ml)+04ml	03 CC(ml)+06ml	04 CC(ml)+08ml	05 CC(ml)+10ml	06 CC(ml)+12ml
B1	1	Ah ₁	19,7	21,7	23,7	25,7	27,7	29,7	31,7
B1	2	Ah ₂	15,62	17,62	19,62	21,62	23,62	25,62	27,62
B1	3	Ah ₃	16,18	18,18	20,18	22,18	24,18	26,18	28,18
B2	4	Ah ₁	21,78	23,78	25,78	27,78	29,78	31,78	33,78
B2	5	Ah ₂	18,02	20,02	22,02	24,02	26,02	28,02	30,02
B2	6	Ah ₃	16,5	18,5	20,5	22,5	24,5	26,5	28,5
B2	7	Bw ₁	15,05	17,05	19,05	21,05	23,05	25,05	27,05
B3	8	Ah ₁	21,07	23,07	25,07	27,07	29,07	31,07	33,07
B3	9	Ah ₂	17,84	19,84	21,84	23,84	25,84	27,84	29,84
B3	10	Ah ₃	16,6	18,6	20,6	22,6	24,6	26,6	28,6
B4	11	Ah ₁	22,82	24,82	26,82	28,82	30,82	32,82	34,82
B4	12	Bw ₁	17,3	19,3	21,3	23,3	25,3	27,3	29,3
B4	13	Bw ₂	16,56	18,56	20,56	22,56	24,56	26,56	28,56
B4	14	Bw ₃	16,3	18,3	20,3	22,3	24,3	26,3	28,3
B5	15	Ah ₁	18,77	20,77	22,77	24,77	26,77	28,77	30,77
B5	16	Ah ₂	18,05	20,05	22,05	24,05	26,05	28,05	30,05
B5	17	Ah ₃	19,49	21,49	23,49	25,49	27,49	29,49	31,49

III.2.3. Gráfico. Eje abscisas (x). Número de golpes normalizado con Cuchara de Cassagrande

En la **Tabla III.8** se muestran el número de golpes en el eje de abscisas (X) del gráfico para calcular el Límite Líquido en cada uno de los momentos en suelos bajo *Nardion*.

Tabla III.8: Límites Atterberg. Límite Líquido. Gráfico. Eje de abscisas (X). Número de golpes normalizados cuchara de Cassagrande en suelos bajo Nardion

Perfil	Código	Horizonte	Golpes 00	Golpes 01	Golpes 02	Golpes 03	Golpes 04	Golpes 05	Golpes 06
N1	1	Ah	59	42	26	19			
N1	2	Bw ₁	152	116	93	52	33	23	
N1	3	Bw ₂				266	115	64	22
N1	4	Bw ₃	205	158	100	43	19		
N1	5	Bw ₄	226	162	92	45	22		
N1	6	Bw ₅	198	114	89	52	21		
N2	7	Ah			117	48	23		
N2	8	BA			120	38	14		
N2	9	Bw ₁		165	72	26	13		
N2	10	Bw ₂			129	34	15		
N2	11	BC		109	78	34	14		
N2	12	C	158	93	57	22	13		
N3	13	Ah		124	85	43	28	15	
N3	14	BA			239	129	39	17	
N3	15	Bw ₁		125	87	31	15		
N3	16	Bw ₂	97	64	26	10			
N3	17	BC	133	76	37	15			
N3	18	C	93	59	35	20			
N4	19	Ah		196	75	32	15		
N4	20	BA				109	44	26	8
N4	21	Bw ₁			143	77	22		
N4	22	Bw ₂	173	91	62	24			
N4	23	Bwg	159	89	63	21			
N5	24	Ah		109	65	23			
N5	25	AB		158	91	45	19		
N5	26	Bw ₁	109	52	15				
N5	27	Bw ₂	98	67	35	15			
N5	28	Bw ₃	83	58	20				
N5	29	C	72	39	12				

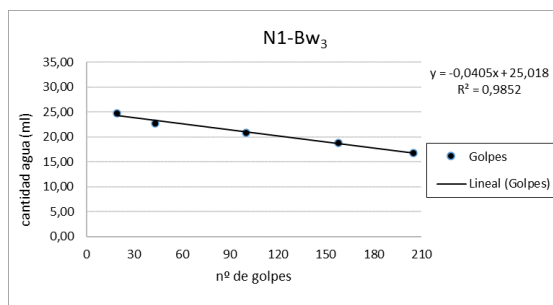
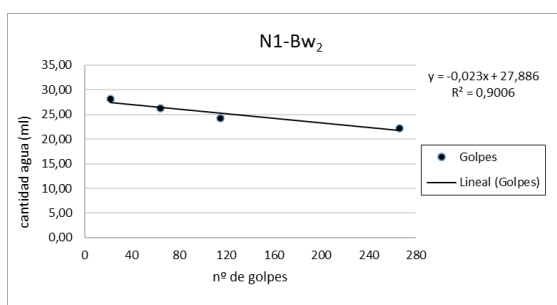
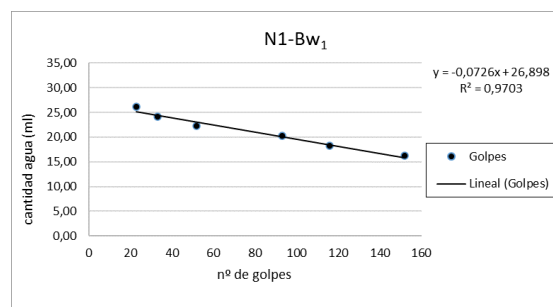
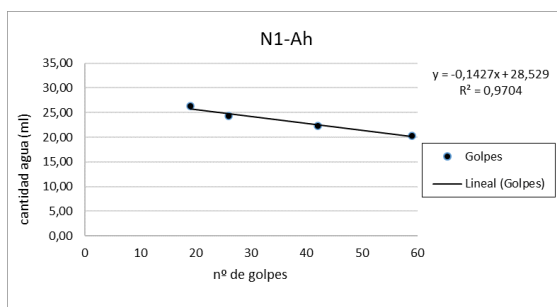
En la **Tabla III.9** se muestra el número de golpes en el eje de abscisas (X) del gráfico para calcular el Límite Líquido en cada uno de los momentos en suelos bajo *Bromion*.

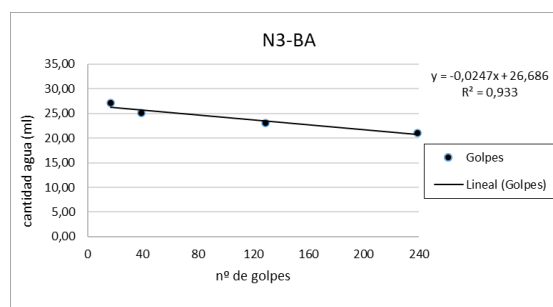
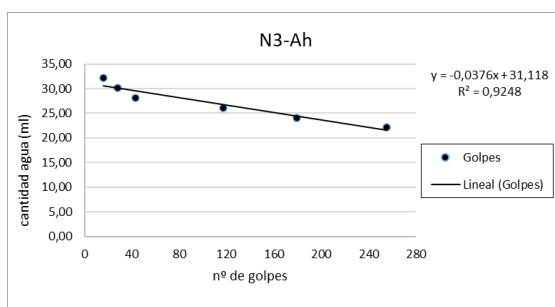
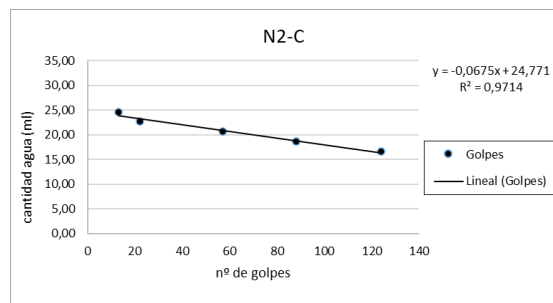
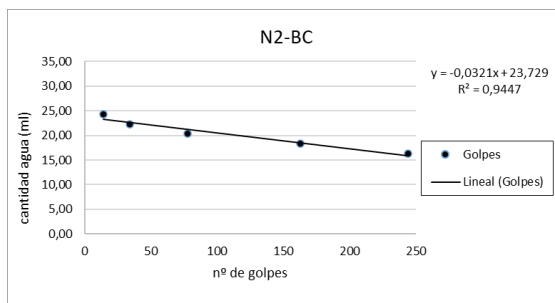
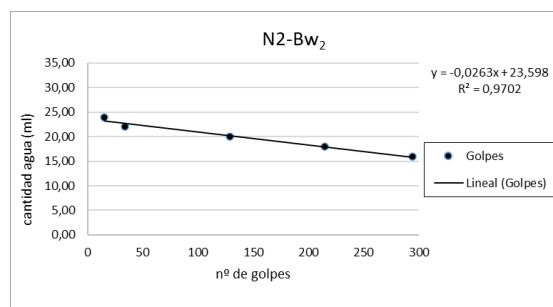
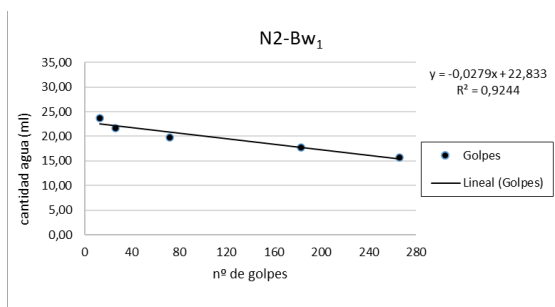
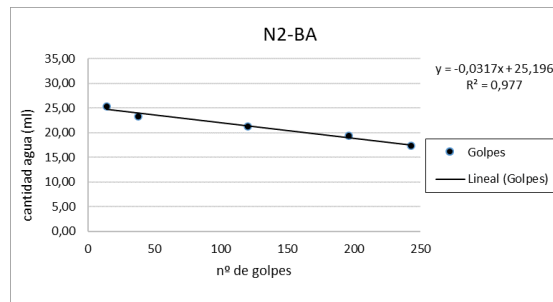
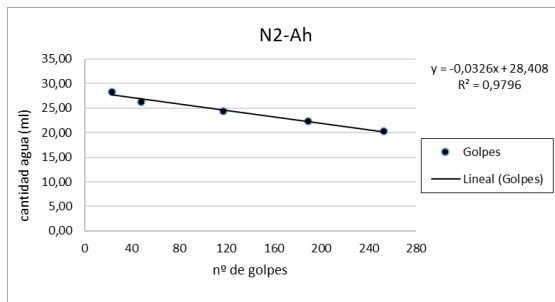
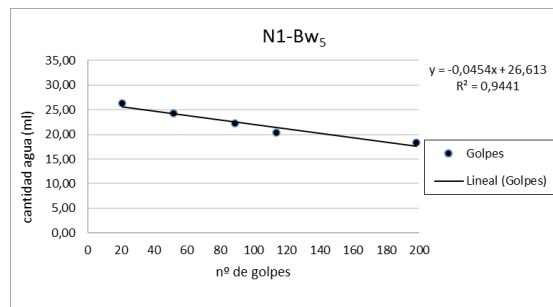
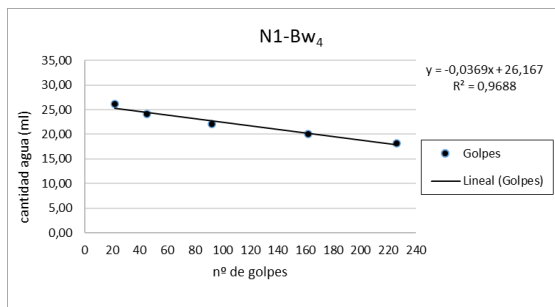
Tabla III.9: Límites Atterberg. Límite Líquido. Gráfico. Eje de abscisas (X). Número de golpes normalizados cuchara Cassagrande en suelos bajo Bromion

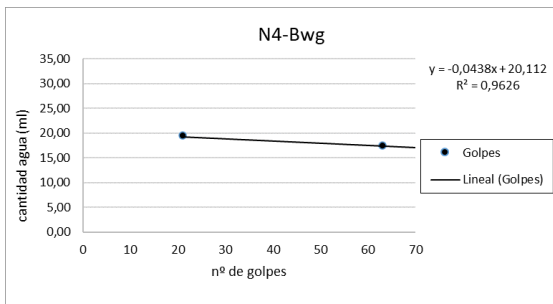
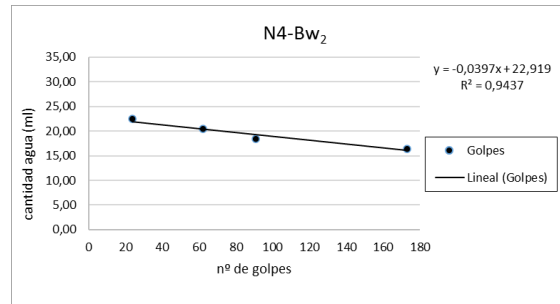
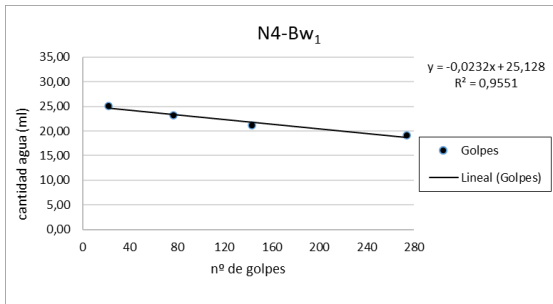
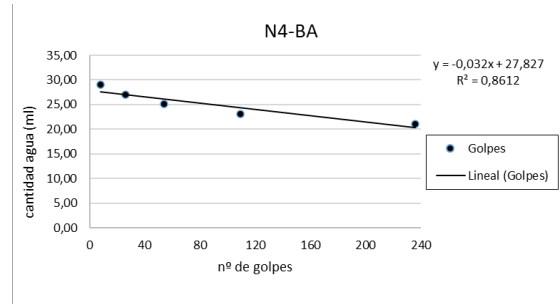
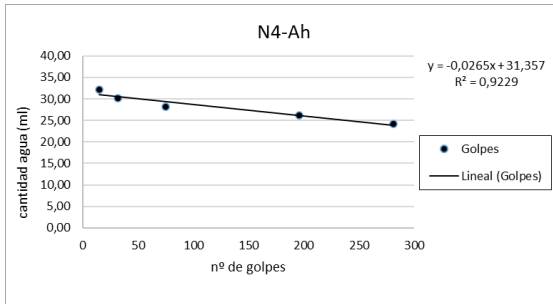
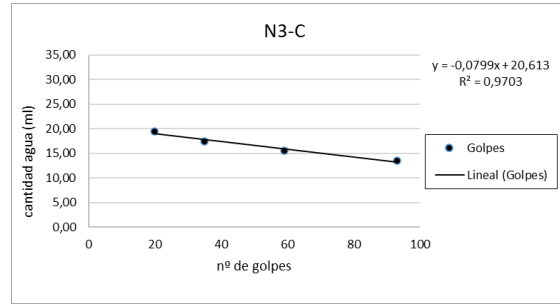
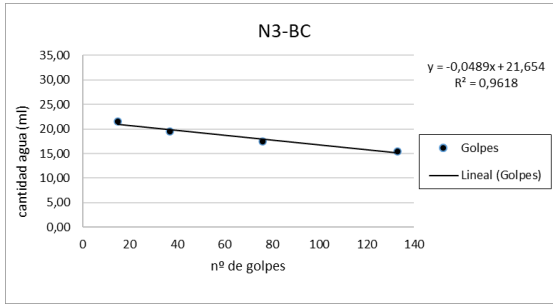
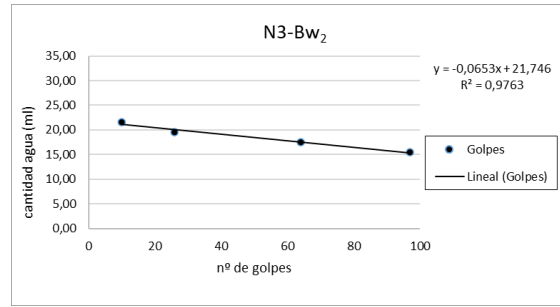
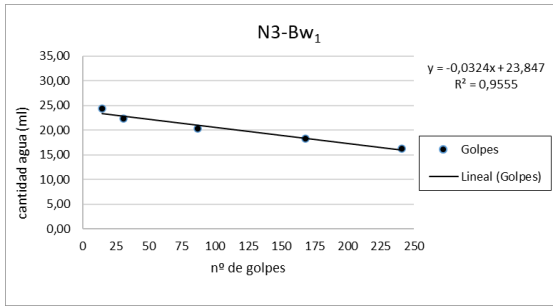
Perfil	Código	Horizonte	Golpes 00	Golpes 01	Golpes 02	Golpes 03	Golpes 04	Golpes 05	Golpes 06
B1	1	Ah ₁			266	157	93	44	19
B1	2	Ah ₂		295	143	56	21		
B1	3	Ah ₃		277	137	39	24		
B2	4	Ah ₁	91	53	31	22			
B2	5	Ah ₂	236	104	69	35	15		
B2	6	Ah ₃	187	91	67	29	15		
B2	7	Bw ₁		146	87	33	14		
B3	8	Ah ₁		273	152	83	55	23	
B3	9	Ah ₂		308	103	37	17		
B3	10	Ah ₃	375	203	87	56	21		
B4	11	Ah ₁	215	106	68	33	22		
B4	12	Bw ₁	232	151	79	40	19		
B4	13	Bw ₂	294	179	99	30	17		
B4	14	Bw ₃	189	105	58	28	15		
B5	15	Ah ₁	83	61	38	19			
B5	16	Ah ₂	72	56	38	15			
B5	17	Ah ₃	139	86	52	37	10		

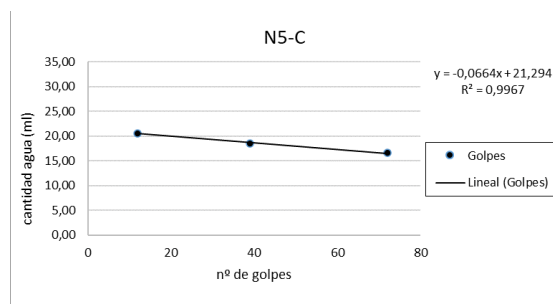
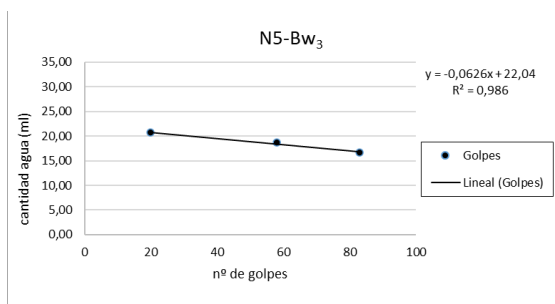
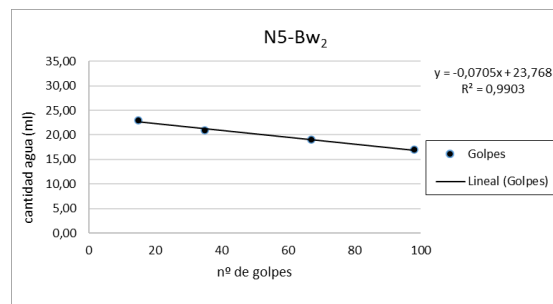
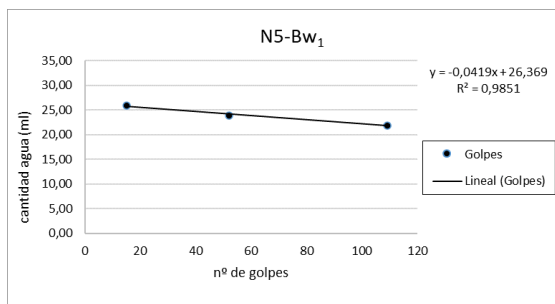
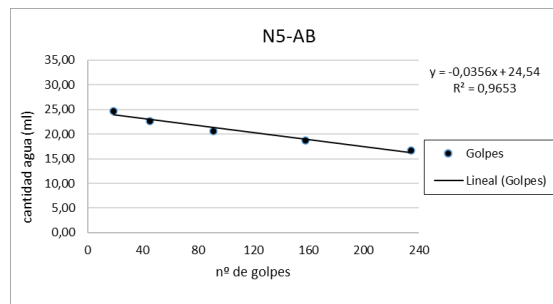
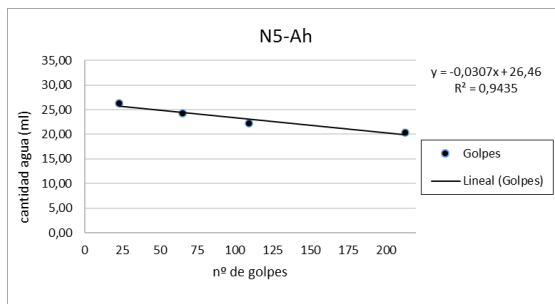
III.2.4. Gráfico. Curva de regresión o curva de flujo

A continuación, se muestran las curvas de regresión o curvas de flujo de los horizontes de suelos bajo *Nardion*.

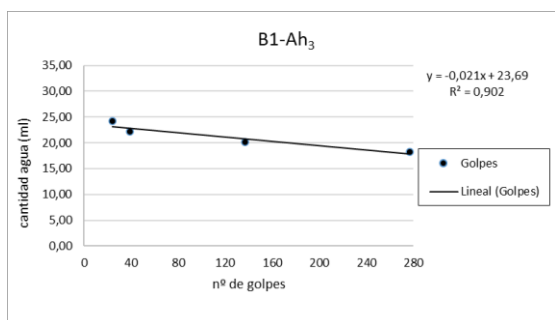
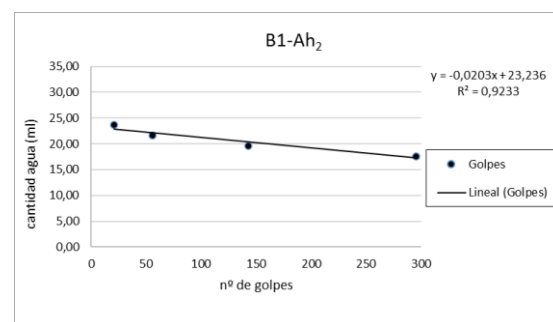
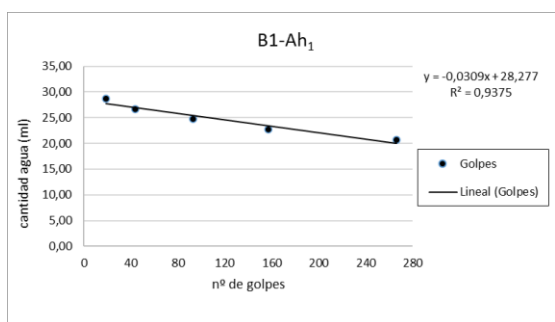


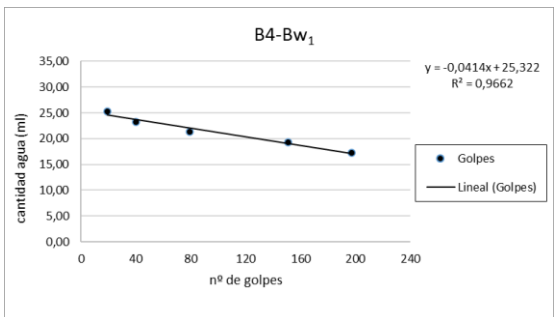
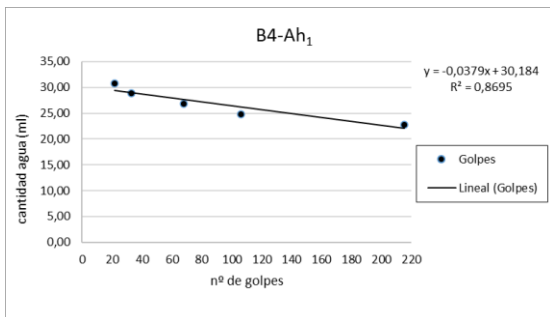
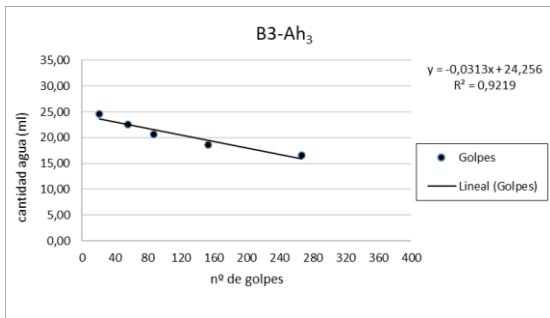
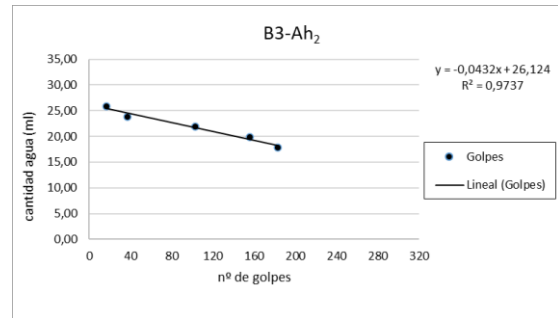
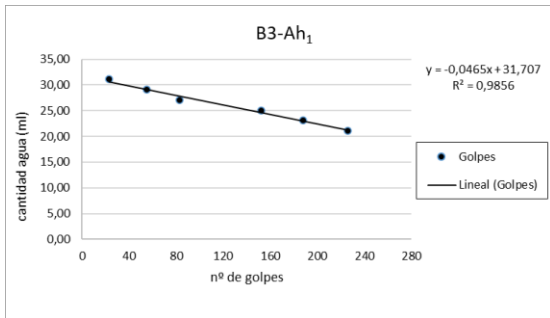
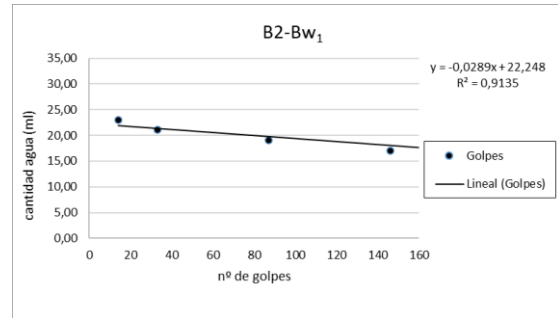
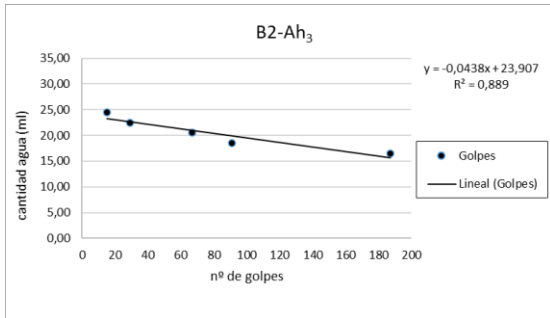
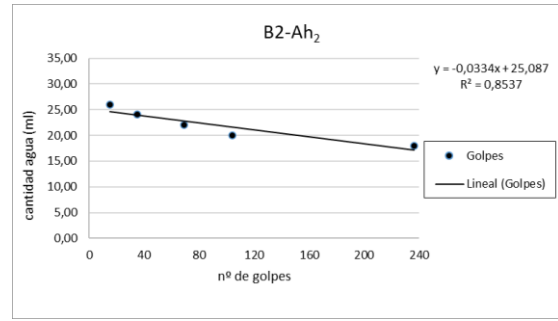
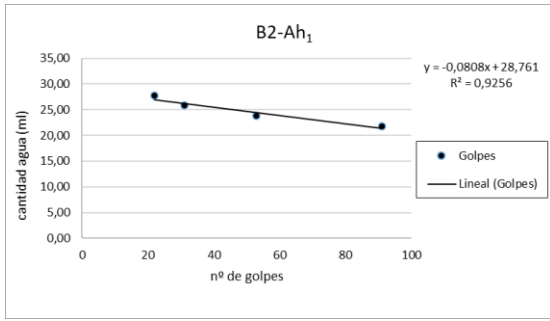


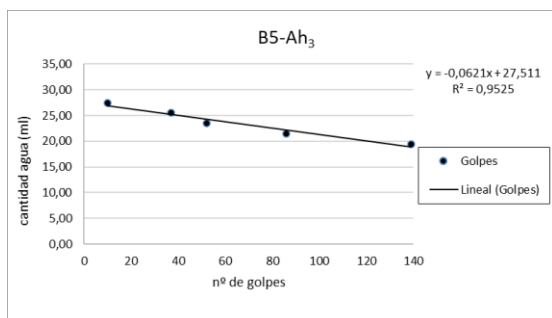
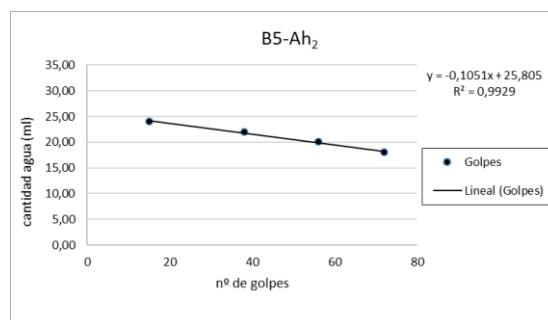
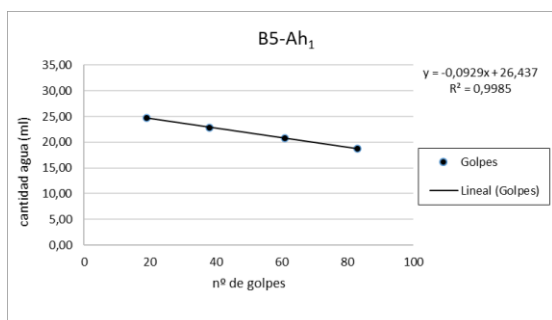
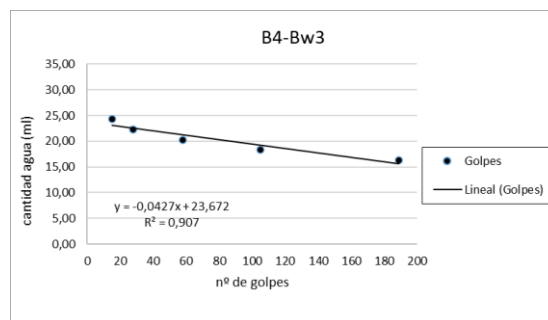
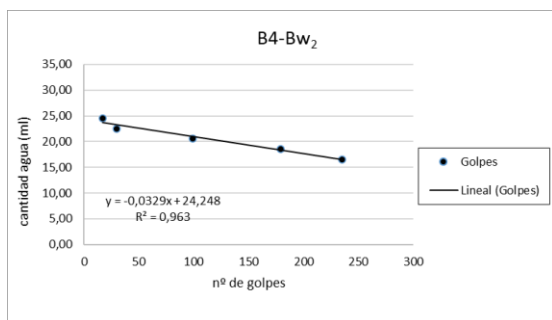




A continuación se muestran las curvas de regresión o curvas de flujo para cada uno de los horizontes para suelos bajo *Bromion*.







En la **Tabla III.10** se muestra la ecuación de regresión y el coeficiente de correlación lineal de Pearson (R^2) de cada uno de los horizontes en suelos bajo *Nardion*.

Tabla III.10: Límites Atterberg. Límite Líquido. Gráfico. Ecuación de regresión y coeficiente de correlación lineal en suelos bajo *Nardion*

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	Ecuación de regresión y coeficiente de correlación lineal
N1	1	Ah	0-10	$y = -0,1427x + 28,529$; $R^2 = 0,9704$
N1	2	Bw ₁	10-20	$y = -0,0726x + 26,898$; $R^2 = 0,9703$
N1	3	Bw ₂	20-40	$y = -0,023x + 27,886$; $R^2 = 0,9006$
N1	4	Bw ₃	40-60	$y = -0,0405x + 25,018$; $R^2 = 0,9852$
N1	5	Bw ₄	60-80	$y = -0,0369x + 26,167$; $R^2 = 0,9688$
N1	6	Bw ₅	80-90	$y = -0,0454x + 26,613$; $R^2 = 0,9441$
N2	7	Ah	0-10	$y = -0,0326x + 28,408$; $R^2 = 0,9796$
N2	8	BA	10-20	$y = -0,0317x + 25,196$; $R^2 = 0,977$
N2	9	Bw ₁	20-40	$y = -0,0279x + 22,883$; $R^2 = 0,9244$
N2	10	Bw ₂	40-60	$y = -0,0263x + 23,598$; $R^2 = 0,9702$
N2	11	BC	60-80	$y = -0,0321x + 23,729$; $R^2 = 0,9447$
N2	12	C	80-100	$y = -0,0675x + 24,711$; $R^2 = 0,9714$

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	Ecuación de regresión y coeficiente de correlación lineal
N3	13	Ah	0-10	$y = -0,0376x + 31,118$; $R^2=0,9248$
N3	14	BA	10-20	$y = -0,0247x + 26,986$; $R^2=0,9330$
N3	15	Bw ₁	20-40	$y = -0,0324x + 23,847$; $R^2=0,9555$
N3	16	Bw ₂	40-60	$y = -0,0653x + 21,746$; $R^2=0,9763$
N3	17	BC	60-80	$y = -0,0489x + 21,654$; $R^2=0,9618$
N3	18	C	80-100	$y = -0,0799x + 20,613$; $R^2=0,9703$
N4	19	Ah	0-10	$y = -0,0265x + 31,357$; $R^2=0,9229$
N4	20	BA	10-20	$y = -0,0320x + 27,827$; $R^2=0,8612$
N4	21	Bw ₁	20-40	$y = -0,0232x + 25,128$; $R^2=0,9551$
N4	22	Bw ₂	40-60	$y = -0,0397x + 22,919$; $R^2=0,9437$
N4	23	Bwg	60-80	$y = -0,0438x + 20,112$; $R^2=0,9626$
N5	24	Ah	0-10	$y = -0,0307x + 26,460$; $R^2=0,9435$
N5	25	AB	10-20	$y = -0,0356x + 24,540$; $R^2=0,9653$
N5	26	Bw ₁	20-40	$y = -0,0419x + 26,369$; $R^2=0,9851$
N5	27	Bw ₂	40-60	$y = -0,0705x + 23,768$; $R^2=0,9903$
N5	28	Bw ₃	60-80	$y = -0,0626x + 22,040$; $R^2=0,9860$
N5	29	C	80-100	$y = -0,0644x + 21,294$; $R^2=0,9967$

Como se muestra en la **Tabla III.10**, los valores del coeficiente de correlación lineal (R^2) de los horizontes por encima de 0,96 ($p < 0,01$) indican que hay una relación directa (por ser positiva) y fuerte (por ser cercana a la unidad) en un porcentaje del 96%.

En el horizonte N1- Bw₂ no se cumple dicho requisito por tener R^2 un valor de 0,9006; y por tanto una correlación directa del 90,06%.

En el horizonte N1-Bw₅ no se cumple dicho requisito por tener R^2 un valor de 0,9441; y por tanto una correlación directa del 94,41%.

En el horizonte N2-Bw₁ no se cumple dicho requisito por tener R^2 un valor de 0,9244; y por tanto una correlación directa del 92,44%.

En el horizonte N2-BC no se cumple dicho requisito por tener R^2 un valor de 0,9447; y por tanto una correlación directa del 94,47%.

En el horizonte N3-Ah no se cumple dicho requisito por tener R^2 un valor de 0,9248; y por tanto una correlación directa del 92,48%.

En el horizonte N3-Ba no se cumple dicho requisito por tener R^2 un valor de 0,9330; y por tanto una correlación directa del 93,30%.

En el horizonte N3-Bw₁ no se cumple dicho requisito por tener R^2 un valor de 0,9555; y por tanto una correlación directa del 95,55%

En el horizonte N4-BA no se cumple dicho requisito por tener R^2 un valor de 0,8612; y por tanto una correlación directa del 86,12%.

En el horizonte N4-Bw₁ no se cumple dicho requisito por tener R^2 un valor de 0,9551; y or tanto una correlación directa del 95,51%

En el horizonte N4-Bw₂ no se cumple dicho requisito por tener R^2 un valor de 0,9437; y por tanto una correlación directa del 94,37%.

En el horizonte N5-Ah no se cumple dicho requisito por tener R^2 un valor de 0,9435; y por tanto una correlación directa del 94,35%.

En la **Tabla III.11** se muestra la ecuación de regresión y el coeficiente de correlación lineal de Pearson (R^2) de cada uno de los horizontes en suelos bajo *Bromion*.

Tabla III.11: Límites Atterberg. Límite Líquido. Gráfico. Ecuación de regresión y coeficiente de regresión lineal en suelos

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	Ecuación de regresión y coeficiente de correlación lineal
B1	1	Ah ₁	0-5	$y = -0,0309x + 28,277$; $R^2=0,9375$
B1	2	Ah ₂	5-10	$y = -0,0203x + 23,236$; $R^2=0,9233$
B1	3	Ah ₃	10-20	$y = -0,0210x + 23,690$; $R^2=0,9020$
B2	4	Ah ₁	0-5	$y = -0,0808x + 28,761$; $R^2=0,9256$
B2	5	Ah ₂	5-10	$y = -0,0334x + 25,087$; $R^2=0,8537$
B2	6	Ah ₃	10-20	$y = -0,0438x + 23,907$; $R^2=0,8890$
B2	7	Bw ₁	20-40	$y = -0,0289x + 22,248$; $R^2=0,9135$
B3	8	Ah ₁	0-5	$y = -0,0394x + 31,156$; $R^2=0,9755$
B3	9	Ah ₂	5-10	$y = -0,0177x + 24,897$; $R^2=0,8306$
B3	10	Ah ₃	10-20	$y = -0,0206x + 23,662$; $R^2=0,8822$
B4	11	Ah ₁	0-5	$y = -0,0379x + 30,184$; $R^2=0,8695$
B4	12	Bw ₁	5-10	$y = -0,0352x + 24,965$; $R^2=0,9443$
B4	13	Bw ₂	10-20	$y = -0,0266x + 23,854$; $R^2=0,9354$
B4	14	Bw ₃	20-40	$y = -0,0427x + 23,672$; $R^2=0,9070$
B5	15	Ah ₁	0-5	$y = -0,0929x + 26,437$; $R^2=0,9985$
B5	16	Ah ₂	5-10	$y = -0,1051x + 25,805$; $R^2=0,9929$
B5	17	Ah ₃	10-20	$y = -0,0621x + 27,511$; $R^2=0,9525$

Como se muestra en la **Tabla III.11**, los valores de correlación lineal (R^2) de los horizontes por encima de 0,92 ($p < 0,01$) indican que hay una relación directa (por ser positiva) y fuerte (por ser cercana a la unidad) en un porcentaje del 92%.

En el horizonte B1-Ah3 no se cumple dicho requisito por tener R2 un valor de 0,9020; y por tanto una correlación directa del 90,02%.

En el horizonte B2-Ah2 no se cumple dicho requisito por tener R2 un valor de 0,8537; y por tanto una correlación directa del 85,37%.

En el horizonte B2-Ah3 no se cumple dicho requisito por tener R2 un valor de 0,8890; y por tanto una correlación directa del 88,90%.

En el horizonte B2-Bw₁ no se cumple dicho requisito por tener R² un valor de 0,9135; y por tanto una correlación directa de 91,35%.

En el horizonte B4-Ah1 no se cumple dicho requisito por tener R2 un valor de 0,8695; y por tanto una correlación directa del 86,95%.

En el horizonte B4-Bw3 no se cumple dicho requisito por tener R2 un valor de 0,9070; y por tanto una correlación directa del 90,70%.

III.2.5. Límite Líquido. Interpolación matemática ecuaciones

En la **Tabla III.12** se muestra el valor del Límite Líquido calculado a partir de la interpolación matemática de las ecuaciones de la **Tabla III.10** con X=25 golpes en suelos bajo *Nardion*.

Tabla III.12: Límites Atterberg. Límite Líquido. Interpolación matemática ecuaciones Tabla III.10 con X=25 golpes en suelos bajo Nardion

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	Límite Líquido (%)
N1	1	Ah	0-10	24,96
N1	2	Bw ₁	10-20	25,08
N1	3	Bw ₂	20-40	27,31
N1	4	Bw ₃	40-60	24,01
N1	5	Bw ₄	60-80	25,24
N1	6	Bw ₅	80-90	25,48
N2	7	Ah	0-10	27,59
N2	8	BA	10-20	24,40
N2	9	Bw ₁	20-40	22,19
N2	10	Bw ₂	40-60	22,94
N2	11	BC	60-80	22,93
N2	12	C	80-100	23,02
N3	13	Ah	0-10	30,18
N3	14	BA	10-20	26,37
N3	15	Bw ₁	20-40	23,04
N3	16	Bw ₂	40-60	20,11
N3	17	BC	60-80	20,43
N3	18	C	80-100	18,62
N4	19	Ah	0-10	30,69

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	Límite Líquido (%)
N4	20	BA	10-20	27,03
N4	21	Bw ₁	20-40	24,55
N4	22	Bw ₂	40-60	21,93
N4	23	Bwg	60-80	19,02
N5	24	Ah	0-10	25,69
N5	25	AB	10-20	23,65
N5	26	Bw ₁	20-40	22,32
N5	27	Bw ₂	40-60	22,01
N5	28	Bw ₃	60-80	20,48
N5	29	C	80-100	19,68

En la **Tabla III.13** se muestra el valor del Límite Líquido calculado a partir de la interpolación matemática de las ecuaciones de la **Tabla III.11** con X=25 golpes en suelos bajo *Bromion*.

Tabla III.13: Límites Atterberg. Límite Líquido. interpolación matemática ecuaciones Tabla III.11 con X=25 golpes en suelos bajo Bromion

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	Límite Líquido (%)
B1	1	Ah ₁	0-5	27,50
B1	2	Ah ₂	5-10	22,73
B1	3	Ah ₃	10-20	23,17
B2	4	Ah ₁	0-5	26,74
B2	5	Ah ₂	5-10	24,25
B2	6	Ah ₃	10-20	22,81
B2	7	Bw ₁	20-40	21,97
B3	8	Ah ₁	0-5	30,51
B3	9	Ah ₂	5-10	24,45
B3	10	Ah ₃	10-20	23,15
B4	11	Ah ₁	0-5	29,24
B4	12	Bw ₁	5-10	24,09
B4	13	Bw ₂	10-20	23,19
B4	14	Bw ₃	20-40	22,60
B5	15	Ah ₁	0-5	24,11
B5	16	Ah ₂	5-10	23,18
B5	17	Ah ₃	10-20	25,96

ANEXO Nº4. Límites Atterberg. Límite Plástico

IV.1. Pesaje

IV.1.1. Muestra húmeda

En la **Tabla IV.1** se muestra el peso húmedo de cada una de las tres (3) repeticiones de los horizontes en suelos bajo *Nardion*.

Tabla IV.1: Límites Atterberg. Límite Plástico. Peso húmedo en nuestras en suelos bajo *Nardion*

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	RÉPLICAS	PESO (g)
N1	1	Ah	0-10	1.1	14,65
				1.2	14,33
				1.3	14,89
N1	2	Bw ₁	10-20	2.1	12,56
				2.2	13,10
				2.3	12,41
N1	3	Bw ₂	20-40	3.1	13,22
				3.2	14,36
				3.3	13,58
N1	4	Bw ₃	40-60	4.1	11,73
				4.2	11,96
				4.3	12,09
N1	5	Bw ₄	60-80	5.1	12,98
				5.2	13,21
				5.3	12,65
N1	6	Bw ₅	80-90	6.1	12,56
				6.2	12,77
				6.3	12,83
N2	7	Ah	0-10	7.1	14,8
				7.2	15,25
				7.3	14,62
N2	8	BA	10-20	8.1	13,73
				8.2	13,22
				8.3	13,49
N2	9	Bw ₁	20-40	9.1	14,69
				9.2	14,21
				9.3	14,97

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	RÉPLICAS	PESO (g)
N2	10	Bw ₂	40-60	10.1	12,87
				10.2	13,24
				10.3	13,58
N2	11	BC	60-80	11.1	12,56
				11.2	14,21
				11.3	12,49
N2	12	C	80-100	12.1	13,05
				12.2	13,84
				12.3	14,03
N3	13	Ah	0-10	13.1	14,19
				13.2	15,74
				13.3	15,31
N3	14	BA	10-20	14.1	13,45
				14.2	14,06
				14.3	13,57
N3	15	Bw ₁	20-40	15.1	13,21
				15.2	13,58
				15.3	13,11
N3	16	Bw ₂	40-60	16.1	13,07
				16.2	12,85
				16.3	12,97
N3	17	BC	60-80	17.1	11,53
				17.2	11,74
				17.3	11,22
N3	18	C	80-100	18.1	12,54
				18.2	12,87
				18.3	12,36
N4	19	Ah	0-10	19.1	15,69
				19.2	16,21
				19.3	16,15
N4	20	BA	10-20	20.1	13,99
				20.2	14,26
				20.3	14,32
N4	21	Bw ₁	20-40		

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	RÉPLICAS	PESO (g)
				21.1	13,35
				21.2	13,88
				21.3	14,02
N4	22	Bw ₂	40-60	22.1	13,10
				22.2	12,96
				22.3	13,28
N4	23	Bwg	60-80	23.1	13,25
				23.2	13,59
				23.3	13,01
N5	24	Ah	0-10	24.1	15,11
				24.2	15,47
				24.3	16,21
N5	25	AB	10-20	25.1	13,74
				25.2	14,15
				25.3	13,66
N5	26	Bw ₁	20-40	26.1	13,54
				26.2	13,69
				26.3	13,57
N5	27	Bw ₂	40-60	27.1	12,95
				27.2	13,32
				27.3	13,05
N5	28	Bw ₃	60-80	28.1	13,02
				28.2	12,87
				28.3	13,19
N5	29	C	80-100	29.1	13,01
				29.2	13,26
				29.3	13,18

En la **Tabla IV.2** se muestra el peso húmedo de cada una de las tres (3) repeticiones de los horizontes en suelos bajo *Bromion*.

Figura IV.2: Límites Atterberg. Límite Plástico. Peso húmedo muestras en suelos bajo Bromion

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	RÉPLICAS	PESO (g)
B1	1	Ah ₁	0-5	1.1	14,91
				1.2	15,24
				1.3	14,86
B1	2	Ah ₂	5-10	2.1	13,17
				2.2	13,38
				2.3	13,22
B1	3	Ah ₃	10-20	3.1	13,61
				3.2	13,82
				3.3	13,47
B2	4	Ah ₁	0-5	4.1	15,01
				4.2	14,87
				4.3	15,28
B2	5	Ah ₂	5-10	5.1	13,96
				5.2	14,05
				5.3	14,12
B2	6	Ah ₃	10-20	6.1	13,28
				6.2	13,51
				6.3	13,47
B2	7	Bw ₁	20-40	7.1	13,01
				7.2	12,76
				7.3	13,19
B3	8	Ah ₁	0-5	8.1	15,21
				8.2	15,46
				8.3	15,03
B3	9	Ah ₂	5-10	9.1	14,23
				9.2	14,55
				9.3	14,12
B3	10	Ah ₃	10-20	10.1	13,74
				10.2	13,62
				10.3	13,88
B4	11	Ah ₁	0-5	11.1	16,2
				11.2	15,98
				11.3	15,86

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	RÉPLICAS	PESO (g)
B4	12	Bw ₁	5-10	12.1	13,01
				12.2	13,29
				12.3	13,17
B4	13	Bw ₂	10-20	13.1	13,82
				13.2	13,74
				13.3	14,07
B4	14	Bw ₃	20-40	14.1	13,19
				14.2	13,41
				14.3	13,38
B5	15	Ah ₁	0-5	15.1	14,1
				15.2	14,28
				15.3	14,45
B5	16	Ah ₂	5-10	16.1	13,99
				16.2	14,29
				16.3	14,13
B5	17	Ah ₃	10-20	17.1	15,02
				17.2	14,76
				17.3	14,81

IV.1.2. Muestra seca

En la **Tabla IV.3** se muestra el peso seco de cada una de las tres (3) repeticiones de los horizontes en suelos bajo *Nardion*.

Tabla IV.3: Límites Atterberg. Límite Plástico. Peso seco en muestras en suelos bajo *Nardion*

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	RÉPLICAS	PESO (g)
N1	1	Ah	0-10	1.1	12,93
				1.2	12,64
				1.3	13,12
N1	2	Bw ₁	10-20	2.1	11,08
				2.2	11,52
				2.3	10,96
N1	3	Bw ₂	20-40	3.1	11,92
				3.2	12,97
				3.3	12,29

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	RÉPLICAS	PESO (g)
N1	4	Bw ₃	40-60	4.1	10,39
				4.2	10,62
				4.3	10,75
N1	5	Bw ₄	60-80	5.1	11,62
				5.2	11,81
				5.3	11,32
N1	6	Bw ₅	80-90	6.1	11,03
				6.2	11,26
				6.3	11,27
N2	7	Ah	0-10	7.1	13,18
				7.2	13,56
				7.3	12,98
N2	8	BA	10-20	8.1	12,25
				8.2	11,8
				8.3	12,08
N2	9	Bw ₁	20-40	9.1	13,35
				9.2	12,89
				9.3	13,62
N2	10	Bw ₂	40-60	10.1	11,33
				10.2	11,69
				10.3	11,98
N2	11	BC	60-80	11.1	10,81
				11.2	12,25
				11.3	10,79
N2	12	C	80-100	12.1	11,04
				12.2	11,76
				12.3	11,92
N3	13	Ah	0-10	13.1	12,23
				13.2	13,61
				13.3	13,21
N3	14	BA	10-20	14.1	11,96
				14.2	12,52
				14.3	12,06
N3	15	Bw ₁	20-40		

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	RÉPLICAS	PESO (g)
				15.1	11,80
				15.2	12,11
				15.3	11,69
N3	16	Bw ₂	40-60	16.1	11,80
				16.2	11,59
				16.3	11,71
N3	17	BC	60-80	17.1	10,29
				17.2	10,45
				17.3	9,98
N3	18	C	80-100	18.1	11,39
				18.2	11,67
				18.3	11,19
N4	19	Ah	0-10	19.1	13,83
				19.2	14,35
				19.3	14,25
N4	20	BA	10-20	20.1	12,56
				20.2	12,79
				20.3	12,84
N4	21	Bw ₁	20-40	21.1	11,95
				21.2	12,46
				21.3	12,59
N4	22	Bw ₂	40-60	22.1	11,85
				22.2	11,76
				22.3	12,05
N4	23	Bwg	60-80	23.1	11,28
				23.2	11,61
				23.3	11,06
N5	24	Ah	0-10	24.1	13,43
				24.2	13,79
				24.3	14,42
N5	25	AB	10-20	25.1	12,26
				25.2	12,63
				25.3	12,22
N5	26	Bw ₁	20-40	26.1	12,16

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	RÉPLICAS	PESO (g)
				26.2	12,29
				26.3	12,15
N5	27	Bw ₂	40-60	27.1	11,62
				27.2	11,97
				27.3	11,74
N5	28	Bw ₃	60-80	28.1	11,79
				28.2	11,65
				28.3	11,98
N5	29	C	80-100	29.1	11,76
				29.2	11,99
				29.3	11,89

En la **Tabla IV.4** se muestra el peso seco de cada una de las tres (3) repeticiones de los horizontes en suelos bajo *Bromion*.

Tabla IV.4: Límites Atterberg. Límite Plástico. Peso seco en muestras en suelos bajo Bromion

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	RÉPLICAS	PESO (g)
B1	1	Ah ₁	0-5	1.1	12,87
				1.2	12,64
				1.3	12,83
B1	2	Ah ₂	5-10	2.1	11,33
				2.2	10,95
				2.3	11,00
B1	3	Ah ₃	10-20	3.1	10,74
				3.2	10,47
				3.3	10,86
B2	4	Ah ₁	0-5	4.1	12,94
				4.2	13,34
				4.3	12,85
B2	5	Ah ₂	5-10	5.1	11,95
				5.2	11,69
				5.3	11,62
B2	6	Ah ₃	10-20	6.1	10,57
				6.2	10,56

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	RÉPLICAS	PESO (g)
				6.3	10,59
B2	7	Bw ₁	20-40	7.1 7.2 7.3	11,01 10,67 11,03
B3	8	Ah ₁	0-5	8.1 8.2 8.3	12,75 12,35 12,75
B3	9	Ah ₂	5-10	9.1 9.2 9.3	12,05 12,01 11,97
B3	10	Ah ₃	10-20	10.1 10.2 10.3	10,90 10,64 10,60
B4	11	Ah ₁	0-5	11.1 11.2 11.3	13,37 13,25 13,61
B4	12	Bw ₁	5-10	12.1 12.2 12.3	12,74 12,34 12,37
B4	13	Bw ₂	10-20	13.1 13.2 13.3	11,54 11,80 11,49
B4	14	Bw ₃	20-40	14.1 14.2 14.3	11,40 11,01 11,13
B5	15	Ah ₁	0-5	15.1 15.2 15.3	12,71 12,26 12,36
B5	16	Ah ₂	5-10	16.1 16.2 16.3	11,92 11,55 11,70
B5	17	Ah ₃	10-20	17.1 17.2 17.3	13,44 13,45 13,14

IV.2. Cálculo humedad (%)

En la **Tabla IV.5** se muestra la humedad calculada (%) de cada una de las tres (3) repeticiones, atendiendo a la norma **UNE 103-300-93** como el promedio entre el peso de la muestra en húmedo y el peso de la muestra en seco, en suelos bajo *Nardion*.

Tabla IV.5: Límites Atterberg. Límite Plástico. Humedad (%) según norma UNE 103-300-93, en suelos bajo Nardion

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	RÉPLICAS	HUMEDAD (%)
N1	1	Ah	0-10	1.1	13,30
				1.2	13,37
				1.3	13,49
N1	2	Bw ₁	10-20	2.1	13,36
				2.2	13,72
				2.3	13,23
N1	3	Bw ₂	20-40	3.1	10,91
				3.2	10,72
				3.3	10,50
N1	4	Bw ₃	40-60	4.1	12,90
				4.2	12,62
				4.3	12,47
N1	5	Bw ₄	60-80	5.1	11,70
				5.2	11,85
				5.3	11,75
N1	6	Bw ₅	80-90	6.1	13,87
				6.2	13,41
				6.3	13,84
N2	7	Ah	0-10	7.1	12,29
				7.2	12,46
				7.3	12,63
N2	8	BA	10-20	8.1	12,08
				8.2	12,03
				8.3	11,67
N2	9	Bw ₁	20-40	9.1	10,04
				9.2	10,24
				9.3	9,91
N2	10	Bw ₂	40-60	10.1	13,59

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	RÉPLICAS	HUMEDAD (%)
				10.2	13,26
				10.3	13,36
N2	11	BC	60-80	11.1	16,19
				11.2	16,00
				11.3	15,76
N2	12	C	80-100	12.1	18,21
				12.2	17,69
				12.3	17,70
N3	13	Ah	0-10	13.1	16,03
				13.2	15,65
				13.3	15,90
N3	14	BA	10-20	14.1	12,46
				14.2	12,30
				14.3	12,52
N3	15	Bw ₁	20-40	15.1	11,95
				15.2	12,14
				15.3	12,15
N3	16	Bw ₂	40-60	16.1	10,76
				16.2	10,87
				16.3	10,76
N3	17	BC	60-80	17.1	12,05
				17.2	12,34
				17.3	12,42
N3	18	C	80-100	18.1	10,10
				18.2	10,28
				18.3	10,46
N4	19	Ah	0-10	19.1	13,45
				19.2	12,96
				19.3	13,33
N4	20	BA	10-20	20.1	11,39
				20.2	11,49
				20.3	11,53
N4	21	Bw ₁	20-40	21.1	11,72
				21.2	11,40

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	RÉPLICAS	HUMEDAD (%)
				21.3	11,36
N4	22	Bw ₂	40-60	22.1 22.2 22.3	10,55 10,20 10,21
N4	23	Bwg	60-80	23.1 23.2 23.3	17,46 17,05 17,63
N5	24	Ah	0-10	24.1 24.2 24.3	12,51 12,18 12,41
N5	25	AB	10-20	25.1 25.2 25.3	12,07 12,03 11,78
N5	26	Bw ₁	20-40	26.1 26.2 26.3	11,35 11,39 11,69
N5	27	Bw ₂	40-60	27.1 27.2 27.3	11,45 11,28 11,16
N5	28	Bw ₃	60-80	28.1 28.2 28.3	10,43 10,47 10,10
N5	29	C	80-100	29.1 29.2 29.3	10,63 10,59 10,85

En la **Tabla IV.6** se muestra la humedad calculada (%) de cada una de las tres (3) repeticiones, atendiendo a la norma **UNE 103-300-93**, como el promedio entre el peso de la muestra en húmedo y el peso de la muestra en seco, en suelos bajo *Bromion*.

Tabla IV.6: Límites Atterberg. Límite Plástico. Humedad (%) según norma UNE-103-300-93, en suelos bajo Bromion

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	RÉPLICAS	HUMEDAD (%)
B1	1	Ah ₁	0-5	1.1 1.2	12,87 12,64

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	RÉPLICAS	HUMEDAD (%)
				1.3	12,83
B1	2	Ah ₂	5-10	2.1 2.2 2.3	11,33 10,95 11,00
B1	3	Ah ₃	10-20	3.1 3.2 3.3	10,74 10,47 10,86
B2	4	Ah ₁	0-5	4.1 4.2 4.3	12,94 13,34 12,85
B2	5	Ah ₂	5-10	5.1 5.2 5.3	11,95 11,69 11,62
B2	6	Ah ₃	10-20	6.1 6.2 6.3	10,57 10,56 10,59
B2	7	Bw ₁	20-40	7.1 7.2 7.3	11,01 10,67 11,03
B3	8	Ah ₁	0-5	8.1 8.2 8.3	12,75 12,35 12,75
B3	9	Ah ₂	5-10	9.1 9.2 9.3	12,05 12,01 11,97
B3	10	Ah ₃	10-20	10.1 10.2 10.3	10,90 10,64 10,60
B4	11	Ah ₁	0-5	11.1 11.2 11.3	13,37 13,25 13,61
B4	12	Bw ₁	5-10	12.1 12.2 12.3	12,74 12,34 12,37

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	RÉPLICAS	HUMEDAD (%)
B4	13	Bw ₂	10-20		
				13.1	11,54
				13.2	11,80
B4	14	Bw ₃	20-40		
				13.3	11,49
				14.1	11,40
B4	14	Bw ₃	20-40	14.2	11,01
				14.3	11,13
B5	15	Ah ₁	0-5		
				15.1	12,71
				15.2	12,26
B5	15	Ah ₁	0-5	15.3	12,36
B5	16	Ah ₂	5-10		
				16.1	11,92
				16.2	11,55
B5	16	Ah ₂	5-10	16.3	11,70
B5	17	Ah ₃	10-20		
				17.1	13,44
				17.2	13,45
B5	17	Ah ₃	10-20	17.3	13,14

IV.3. Límite Plástico

En la **Tabla IV.7** se muestra el valor del Límite Plástico (LP) calculado como el promedio de la Humedad (%) de las tres (3) repeticiones de la **Tabla IV.5**; así como las variables estadísticas (media, desviación estándar -DESV- y coeficiente de varianza -CV-) resultado de aplicarlas al conjunto de repeticiones en suelos bajo Nardion.

Tabla IV.7: Límites Atterberg. Límite Plástico (LP) y variables estadísticas en suelos bajo Nardion

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	LP (media)	DESV (±)	CV (%)
N1	1	Ah	0-10	13,39	0,10	0,72
N1	2	Bw ₁	10-20	13,43	0,25	1,87
N1	3	Bw ₂	20-40	10,71	0,21	1,92
N1	4	Bw ₃	40-60	12,66	0,22	1,73
N1	5	Bw ₄	60-80	11,77	0,08	0,66
N1	6	Bw ₅	80-90	13,71	0,26	1,89
N2	7	Ah	0-10	12,46	0,17	1,38
N2	8	BA	10-20	11,93	0,22	1,88
N2	9	Bw ₁	20-40	10,06	0,17	1,65
N2	10	Bw ₂	40-60	13,40	0,17	1,28
N2	11	BC	60-80	15,98	0,22	1,36
N2	12	C	80-100	17,86	0,30	1,66
N3	13	Ah	0-10	15,86	0,19	1,20

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	LP (media)	DESV (\pm)	CV (%)
N3	14	BA	10-20	12,43	0,11	0,91
N3	15	Bw ₁	20-40	12,08	0,11	0,93
N3	16	Bw ₂	40-60	10,80	0,06	0,59
N3	17	BC	60-80	12,27	0,20	1,61
N3	18	C	80-100	10,28	0,18	1,75
N4	19	Ah	0-10	13,25	0,25	1,92
N4	20	BA	10-20	11,47	0,07	0,64
N4	21	Bw ₁	20-40	11,49	0,20	1,71
N4	22	Bw ₂	40-60	10,32	0,20	1,92
N4	23	Bwg	60-80	17,38	0,30	1,71
N5	24	Ah	0-10	12,37	0,17	1,63
N5	25	AB	10-20	11,96	0,16	1,31
N5	26	Bw ₁	20-40	11,48	0,18	1,61
N5	27	Bw ₂	40-60	11,29	0,14	1,28
N5	28	Bw ₃	60-80	10,33	0,20	1,98
N5	29	C	80-100	10,69	0,14	1,30

En la **Tabla IV.8** se muestra el valor del Límite Plástico (LP) calculado como el promedio de la Humedad (%) de las tres (3) repeticiones de la **Tabla IV.6**; así como las variables estadísticas (media, desviación estándar -DESV- y coeficiente de varianza -CV-) resultado de aplicarlas al conjunto de repeticiones en suelos bajo *Bromion*

Tabla IV.8: Límites Atterberg. Límite Plástico (LP) y variables estadísticas en suelos bajo Bromion.

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	LP (media)	DESV (\pm)	CV (%)
B1	1	Ah ₁	0-5	12,78	0,1200	0,97
B1	2	Ah ₂	5-10	11,09	0,2100	1,86
B1	3	Ah ₃	10-20	10,69	0,2000	1,88
B2	4	Ah ₁	0-5	13,04	0,2600	1,99
B2	5	Ah ₂	5-10	11,75	0,1700	1,48
B2	6	Ah ₃	10-20	10,57	0,0200	0,16
B2	7	Bw ₁	20-40	10,90	0,2000	1,85
B3	8	Ah ₁	0-5	12,62	0,2300	1,82
B3	9	Ah ₂	5-10	12,01	0,0400	0,30
B3	10	Ah ₃	10-20	10,71	0,1600	1,50
B4	11	Ah ₁	0-5	13,41	0,1800	1,36
B4	12	Bw ₁	5-10	12,48	0,2200	1,77
B4	13	Bw ₂	10-20	11,61	0,1700	1,42
B4	14	Bw ₃	20-40	11,18	0,2000	1,80
B5	15	Ah ₁	0-5	12,45	0,2300	1,88
B5	16	Ah ₂	5-10	11,72	0,1800	1,57
B5	17	Ah ₃	10-20	13,35	0,1800	1,33

ANEXO Nº5. DETERMINACIÓN DE ÍNDICES

V.1. Índice Plástico

V.1.1. Variables fórmula

En la **Tabla V.1** se muestran las propiedades utilizadas para el cálculo del Índice Plástico, atendiendo a la **Fórmula 5.6**, en suelos bajo *Nardion*.

Tabla V.1: Índice de Plástico. Identificación de propiedades en suelos bajo Nardion

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)
N1	1	Ah	0-10	24,96	13,39
N1	2	Bw ₁	10-20	25,08	13,43
N1	3	Bw ₂	20-40	27,31	10,71
N1	4	Bw ₃	40-60	24,01	12,66
N1	5	Bw ₄	60-80	25,24	11,77
N1	6	Bw ₅	80-90	25,48	13,71
N2	7	Ah	0-10	27,59	12,46
N2	8	BA	10-20	24,40	11,93
N2	9	Bw ₁	20-40	22,19	10,06
N2	10	Bw ₂	40-60	22,94	13,40
N2	11	BC	60-80	22,93	15,98
N2	12	C	80-100	23,02	17,86
N3	13	Ah	0-10	30,18	15,86
N3	14	BA	10-20	26,37	12,43
N3	15	Bw ₁	20-40	23,04	12,08
N3	16	Bw ₂	40-60	20,11	10,80
N3	17	BC	60-80	20,43	12,27
N3	18	C	80-100	18,62	10,28
N4	19	Ah	0-10	30,69	13,25
N4	20	BA	10-20	27,03	11,47
N4	21	Bw ₁	20-40	24,55	11,49
N4	22	Bw ₂	40-60	21,93	10,32
N4	23	Bwg	60-80	19,02	17,38
N5	24	Ah	0-10	25,69	12,37
N5	25	AB	10-20	23,65	11,96
N5	26	Bw ₁	20-40	22,32	11,48
N5	27	Bw ₂	40-60	22,01	11,29
N5	28	Bw ₃	60-80	20,48	10,33
N5	29	C	80-100	19,68	10,69

En la **Tabla V.2** se muestran las propiedades utilizadas para el cálculo del Índice de Plasticidad, atendiendo a la **Fórmula 5.6**, en suelos bajo *Bromion*.

Tabla V.2: Índice Plástico. Identificación de propiedades en suelos bajo Bromion

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)
B1	1	Ah ₁	0-5	27,27	12,78
B1	2	Ah ₂	5-10	23,96	11,09
B1	3	Ah ₃	10-20	24,32	10,69
B2	4	Ah ₁	0-5	27,03	13,04
B2	5	Ah ₂	5-10	26,63	11,75
B2	6	Ah ₃	10-20	23,89	10,57
B2	7	Bw ₁	20-40	22,69	10,90
B3	8	Ah ₁	0-5	31,09	12,62
B3	9	Ah ₂	5-10	25,75	12,01
B3	10	Ah ₃	10-20	25,09	10,71
B4	11	Ah ₁	0-5	30,58	13,41
B4	12	Bw ₁	5-10	25,27	12,48
B4	13	Bw ₂	10-20	24,31	11,61
B4	14	Bw ₃	20-40	23,52	11,18
B5	15	Ah ₁	0-5	24,54	12,45
B5	16	Ah ₂	5-10	23,70	11,72
B5	17	Ah ₃	10-20	27,38	13,35

V.1.2. Resultados

En la **Tabla V.3** se muestra el Índice Plástico de cada uno de los horizontes de los perfiles de los suelos bajo *Nardion*.

Tabla V.3: Índice Plástico. Resultados en suelos bajo Nardion

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	Índice Plasticidad (%)
N1	1	Ah	0-10	11,57
N1	2	Bw ₁	10-20	11,65
N1	3	Bw ₂	20-40	16,60
N1	4	Bw ₃	40-60	11,35
N1	5	Bw ₄	60-80	13,47
N1	6	Bw ₅	80-90	11,77
N2	7	Ah	0-10	15,13
N2	8	BA	10-20	12,47
N2	9	Bw ₁	20-40	12,13
N2	10	Bw ₂	40-60	9,54
N2	11	BC	60-80	6,95
N2	12	C	80-100	5,16
N3	13	Ah	0-10	14,32
N3	14	BA	10-20	13,94
N3	15	Bw ₁	20-40	10,96
N3	16	Bw ₂	40-60	9,31

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	Índice Plasticidad (%)
N3	17	BC	60-80	8,16
N3	18	C	80-100	8,34
N4	19	Ah	0-10	17,44
N4	20	BA	10-20	15,56
N4	21	Bw ₁	20-40	13,06
N4	22	Bw ₂	40-60	11,61
N4	23	Bwg	60-80	1,64
N5	24	Ah	0-10	13,32
N5	25	AB	10-20	11,69
N5	26	Bw ₁	20-40	10,84
N5	27	Bw ₂	40-60	10,72
N5	28	Bw ₃	60-80	10,15
N5	29	C	80-100	8,99

Atendiendo a la **Tabla V.3**, tres (3) horizontes se caracterizan como suelos débilmente plásticos ($1 < IP < 7$). La mayor parte de los horizontes (75,86%) presentan características de suelos medianamente plásticos ($7 < IP < 15$). Cuatro (4) horizontes se clasifican como suelos altamente plásticos ($IP > 15$).

En la **Tabla V.4** se muestra el Índice Plástico de cada uno de los horizontes de los perfiles de los suelos bajo *Bromion*.

Tabla V.4: Índice Plástico. Resultados en suelos bajo Bromion

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	Índice Plasticidad (%)
B1	1	Ah ₁	0-5	14,49
B1	2	Ah ₂	5-10	12,87
B1	3	Ah ₃	10-20	13,63
B2	4	Ah ₁	0-5	13,99
B2	5	Ah ₂	5-10	14,88
B2	6	Ah ₃	10-20	13,32
B2	7	Bw ₁	20-40	11,79
B3	8	Ah ₁	0-5	18,47
B3	9	Ah ₂	5-10	13,74
B3	10	Ah ₃	10-20	14,38
B4	11	Ah ₁	0-5	17,17
B4	12	Bw ₁	5-10	12,79
B4	13	Bw ₂	10-20	12,70
B4	14	Bw ₃	20-40	12,34

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	Índice Plasticidad (%)
B5	15	Ah ₁	0-5	12,09
B5	16	Ah ₂	5-10	11,98
B5	17	Ah ₃	10-20	14,03

Como se observa en la **Tabla V.4**, la mayor parte de horizontes (88,24 %) se caracterizan como suelos medianamente plásticos ($7 < IP < 15$). Únicamente dos (2) horizontes presentan características de suelos altamente plásticos ($IP > 15$).

V.2. Índice Líquido

V.2.1. Variables fórmula

En la **Tabla V.5** se identifican las distintas propiedades utilizadas para el cálculo del Índice Líquido, atendiendo a la **fórmula 5.7**, en suelos bajo *Nardion*.

Tabla V.5: Índice Líquido. Identificación de propiedades en suelos bajo Nardion

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	Humedad Natural (%)	Límite Plástico (%)	Índice Plasticidad (%)
N1	1	Ah	0-10	4,07	20,96	4,75
N1	2	Bw ₁	10-20	4,13	21,03	4,66
N1	3	Bw ₂	20-40	3,11	16,48	6,98
N1	4	Bw ₃	40-60	2,74	13,27	11,58
N1	5	Bw ₄	60-80	2,96	15,94	10,44
N1	6	Bw ₅	80-90	3,46	17,98	8,14
N2	7	Ah	0-10	2,76	14,09	14,59
N2	8	BA	10-20	2,95	15,60	9,61
N2	9	Bw ₁	20-40	3,29	16,81	6,26
N2	10	Bw ₂	40-60	3,55	17,30	6,55
N2	11	BC	60-80	3,84	20,64	3,30
N2	12	C	80-100	4,36	23,23	1,86
N3	13	Ah	0-10	3,12	19,17	11,38
N3	14	BA	10-20	2,46	13,07	13,30
N3	15	Bw ₁	20-40	3,26	20,67	3,31
N3	16	Bw ₂	40-60	2,63	17,35	1,97
N3	17	BC	60-80	2,78	18,63	2,36
N3	18	C	80-100	2,93	18,69	1,97
N4	19	Ah	0-10	2,38	14,03	17,28
N4	20	BA	10-20	2,66	14,43	12,14
N4	21	Bw ₁	20-40	2,97	17,93	7,78
N4	22	Bw ₂	40-60	2,61	14,46	8,99
N4	23	Bwg	60-80	2,78	16,40	6,60

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	Humedad Natural (%)	Límite Plástico (%)	Índice Plasticidad (%)
N5	24	Ah	0-10	2,53	13,35	14,26
N5	25	AB	10-20	2,81	17,03	7,58
N5	26	Bw ₁	20-40	2,76	16,23	3,70
N5	27	Bw ₂	40-60	3,05	18,96	3,37
N5	28	Bw ₃	60-80	2,44	15,99	2,86
N5	29	C	80-100	2,40	15,58	1,05

En la **Tabla V.6** se identifican las propiedades utilizadas para el cálculo del Índice Líquido, atendiendo a la **Fórmula 5.7**, en suelos bajo *Bromion*.

Tabla V.6: Índice Líquido. Identificación de propiedades en suelos bajo Bromion

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	Humedad Natural (%)	Límite Plástico (%)	Índice Plasticidad (%)
B1	1	Ah ₁	0-5	4,02	12,78	14,49
B1	2	Ah ₂	5-10	3,65	11,09	12,87
B1	3	Ah ₃	10-20	3,18	10,69	13,63
B2	4	Ah ₁	0-5	3,86	13,04	13,99
B2	5	Ah ₂	5-10	3,21	11,75	14,88
B2	6	Ah ₃	10-20	2,77	10,57	14,32
B2	7	Bw ₁	20-40	2,13	10,90	11,79
B3	8	Ah ₁	0-5	3,76	12,62	18,47
B3	9	Ah ₂	5-10	3,57	12,01	13,74
B3	10	Ah ₃	10-20	2,28	10,71	14,38
B4	11	Ah ₁	0-5	3,81	13,41	17,17
B4	12	Bw ₁	5-10	3,39	12,48	12,79
B4	13	Bw ₂	10-20	2,74	11,61	12,70
B4	14	Bw ₃	20-40	2,65	11,18	12,34
B5	15	Ah ₁	0-5	3,72	12,45	12,09
B5	16	Ah ₂	5-10	2,94	11,72	11,98
B5	17	Ah ₃	10-20	3,95	13,35	14,03

V.2.2. Resultados

En la **Tabla V.7** se muestra el Índice Líquido de cada uno de los horizontes de los perfiles de los suelos bajo *Nardion*.

Tabla V.7: Índice Líquido. Resultados en suelos bajo Nardion

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	Índice Líquido (%)
N1	1	Ah	0-10	-4,41
N1	2	Bw ₁	10-20	-4,51
N1	3	Bw ₂	20-40	-2,36

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	Índice Líquido (%)
N1	4	Bw ₃	40-60	-1,15
N1	5	Bw ₄	60-80	-1,53
N1	6	Bw ₅	80-90	-2,21
N2	7	Ah	0-10	-0,97
N2	8	BA	10-20	-1,62
N2	9	Bw ₁	20-40	-2,69
N2	10	Bw ₂	40-60	-2,64
N2	11	BC	60-80	-6,25
N2	12	C	80-100	-12,52
N3	13	Ah	0-10	-1,68
N3	14	BA	10-20	-0,98
N3	15	Bw ₁	20-40	-6,25
N3	16	Bw ₂	40-60	-8,80
N3	17	BC	60-80	-7,88
N3	18	C	80-100	-9,50
N4	19	Ah	0-10	-0,81
N4	20	BA	10-20	-1,19
N4	21	Bw ₁	20-40	-2,30
N4	22	Bw ₂	40-60	-1,61
N4	23	Bwg	60-80	-2,48
N5	24	Ah	0-10	-0,94
N5	25	AB	10-20	-2,25
N5	26	Bw ₁	20-40	-4,38
N5	27	Bw ₂	40-60	-5,62
N5	28	Bw ₃	60-80	-5,59
N5	29	C	80-100	-14,87

En la **Tabla V.8** se muestra el Índice Líquido de cada uno de los horizontes de los perfiles de suelos bajo *Bromion*.

Tabla V.8: Índice Líquido. Resultados en suelos bajo Bromion

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	Índice Líquido (%)
B1	1	Ah ₁	0-5	-0,60
B1	2	Ah ₂	5-10	-0,58
B1	3	Ah ₃	10-20	-0,55
B2	4	Ah ₁	0-5	-0,66
B2	5	Ah ₂	5-10	-0,57
B2	6	Ah ₃	10-20	-0,54
B2	7	Bw ₁	20-40	-0,74
B3	8	Ah ₁	0-5	-0,48
B3	9	Ah ₂	5-10	-0,61
B3	10	Ah ₃	10-20	-0,59

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	Índice Líquido (%)
B4	11	Ah ₁	0-5	-0,56
B4	12	Bw ₁	5-10	-0,71
B4	13	Bw ₂	10-20	-0,70
B4	14	Bw ₃	20-40	-0,69
B5	15	Ah ₁	0-5	-0,72
B5	16	Ah ₂	5-10	-0,73
B5	17	Ah ₃	10-20	-0,67

V.3. Índice de Consistencia

V.3.1. Variables fórmula

En la **Tabla V.9** se identifican las propiedades utilizadas en el cálculo del Índice de Consistencia, atendiendo a la **Fórmula 5.8**, en suelos bajo *Nardion*.

Tabla v.9: Índice de Consistencia. Identificación de propiedades en suelos bajo Nardion

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	Humedad Natural (%)	Límite Líquido (%)	Índice Plasticidad (%)
N1	1	Ah	0-10	4,07	25,71	4,75
N1	2	Bw ₁	10-20	4,13	25,69	4,66
N1	3	Bw ₂	20-40	3,11	23,46	6,98
N1	4	Bw ₃	40-60	2,74	24,85	11,58
N1	5	Bw ₄	60-80	2,96	26,38	10,44
N1	6	Bw ₅	80-90	3,46	26,12	8,14
N2	7	Ah	0-10	2,76	28,68	14,59
N2	8	BA	10-20	2,95	25,21	9,61
N2	9	Bw ₁	20-40	3,29	23,07	6,26
N2	10	Bw ₂	40-60	3,55	23,85	6,55
N2	11	BC	60-80	3,84	23,94	3,30
N2	12	C	80-100	4,36	23,70	1,86
N3	13	Ah	0-10	3,12	30,55	11,38
N3	14	BA	10-20	2,46	26,37	13,30
N3	15	Bw ₁	20-40	3,26	23,99	3,31
N3	16	Bw ₂	40-60	2,63	19,33	1,97
N3	17	BC	60-80	2,78	20,99	2,36
N3	18	C	80-100	2,93	19,06	1,97
N4	19	Ah	0-10	2,38	31,31	17,28
N4	20	BA	10-20	2,66	26,57	12,14
N4	21	Bw ₁	20-40	2,97	25,70	7,78
N4	22	Bw ₂	40-60	2,61	23,45	8,99
N4	23	Bwg	60-80	2,78	23,00	6,60
N5	24	Ah	0-10	2,53	27,61	14,26
N5	25	AB	10-20	2,81	24,61	7,58

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	Humedad Natural (%)	Límite Líquido (%)	Índice Plasticidad (%)
N5	26	Bw ₁	20-40	2,76	19,94	3,70
N5	27	Bw ₂	40-60	3,05	22,33	3,37
N5	28	Bw ₃	60-80	2,44	18,85	2,86
N5	29	C	80-100	2,40	15,60	1,05

En la **Tabla V.10** se identifican las propiedades utilizadas para calcular el Índice de Consistencia, atendiendo a la **Fórmula 5.8**, en suelos bajo *Bromion*.

Tabla V.10: Índice de Consistencia. Identificación de propiedades en suelos bajo Bromion

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	Humedad Natural (%)	Límite Plástico (%)	Índice Plasticidad (%)
B1	1	Ah ₁	0-5	4,02	12,78	14,49
B1	2	Ah ₂	5-10	3,65	11,09	12,87
B1	3	Ah ₃	10-20	3,18	10,69	13,63
B2	4	Ah ₁	0-5	3,86	13,04	13,99
B2	5	Ah ₂	5-10	3,21	11,75	14,88
B2	6	Ah ₃	10-20	2,77	10,57	14,32
B2	7	Bw ₁	20-40	2,13	10,90	11,79
B3	8	Ah ₁	0-5	3,76	12,62	18,47
B3	9	Ah ₂	5-10	3,57	12,01	13,74
B3	10	Ah ₃	10-20	2,28	10,71	14,38
B4	11	Ah ₁	0-5	3,81	13,41	17,17
B4	12	Bw ₁	5-10	3,39	12,48	12,79
B4	13	Bw ₂	10-20	2,74	11,61	12,70
B4	14	Bw ₃	20-40	2,65	11,18	12,34
B5	15	Ah ₁	0-5	3,72	12,45	12,09
B5	16	Ah ₂	5-10	2,94	11,72	11,98
B5	17	Ah ₃	10-20	3,95	13,35	14,03

V.3.2. Resultados

En la **Tabla V.11** se muestra el Índice de Consistencia de cada uno de los horizontes de los perfiles de suelos bajo *Nardion*.

Tabla V.11: Índice de Consistencia. Resultados den suelos bajo Nardion

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	Índice Consistencia (%)
N1	1	Ah	0-10	5,41
N1	2	Bw ₁	10-20	5,51
N1	3	Bw ₂	20-40	3,36
N1	4	Bw ₃	40-60	2,15
N1	5	Bw ₄	60-80	2,53

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	Índice Consistencia (%)
N1	6	Bw ₅	80-90	3,21
N2	7	Ah	0-10	1,97
N2	8	BA	10-20	2,62
N2	9	Bw ₁	20-40	3,69
N2	10	Bw ₂	40-60	3,64
N2	11	BC	60-80	7,25
N2	12	C	80-100	12,77
N3	13	Ah	0-10	2,68
N3	14	BA	10-20	1,98
N3	15	Bw ₁	20-40	7,25
N3	16	Bw ₂	40-60	9,80
N3	17	BC	60-80	8,88
N3	18	C	80-100	9,69
N4	19	Ah	0-10	1,81
N4	20	BA	10-20	2,19
N4	21	Bw ₁	20-40	3,30
N4	22	Bw ₂	40-60	2,61
N4	23	Bwg	60-80	3,48
N5	24	Ah	0-10	1,94
N5	25	AB	10-20	3,25
N5	26	Bw ₁	20-40	5,38
N5	27	Bw ₂	40-60	6,62
N5	28	Bw ₃	60-80	6,59
N5	29	C	80-100	14,88

En la **Tabla V.12** se muestra el Índice de Consistencia de cada uno de los horizontes en los perfiles en suelos bajo *Bromion*.

Tabla V.12: Índice de Consistencia. Resultados en suelos bajo Bromion

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	Índice Consistencia (%)
B1	1	Ah ₁	0-5	0,60
B1	2	Ah ₂	5-10	0,58
B1	3	Ah ₃	10-20	0,55
B2	4	Ah ₁	0-5	0,66
B2	5	Ah ₂	5-10	0,57
B2	6	Ah ₃	10-20	0,54
B2	7	Bw ₁	20-40	0,74
B3	8	Ah ₁	0-5	0,48
B3	9	Ah ₂	5-10	0,61
B3	10	Ah ₃	10-20	0,59
B4	11	Ah ₁	0-5	0,56

Perfil	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	Índice Consistencia (%)
B4	12	Bw ₁	5-10	0,71
B4	13	Bw ₂	10-20	0,70
B4	14	Bw ₃	20-40	0,69
B5	15	Ah ₁	0-5	0,72
B5	16	Ah ₂	5-10	0,73
B5	17	Ah ₃	10-20	0,67

