



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Agronòmica i del Medi Natural

ADAPTACIONES DE LAS TABLAS DEL NÚMERO DE CURVA PARA LAS CONDICIONES DE SUELOS MEDITERRÁNEOS

Titulación: Ingeniería Agroalimentaria y del medio rural

Curso Académico: 2019/2020

Alumno: Guillermo Ipiens Jiménez

Tutora: Sara Ibáñez Asensio

Cotutor: Héctor Moreno Ramón

Localidad: Valencia, diciembre de 2020

RESUMEN DEL PROYECTO

El modelo hidrológico del Número de Curva es un método que se utiliza para cuantificar la escorrentía superficial originada por una tormenta en una cuenca. La asignación de un número de curva a un lugar determinado se realiza con la ayuda de tablas, y depende del uso del suelo que evalúa la influencia de las coberturas vegetales y su grado de manejo conservacionista sobre la escorrentía, de la condición hidrológica de la superficie del suelo para conocer la predisposición a la saturación de agua del suelo y que indica la tendencia de este a transformar la lluvia en escorrentía o en infiltración, y del tipo de suelo en función de su comportamiento hidrológico frente al movimiento del agua por el espacio poroso. Las tablas se han elaborado en el Servicio de Conservación de Suelos (SCS) estadounidense, y están desarrolladas para los tipos de vegetación, manejo y suelos de los Estados Unidos. El presente proyecto tiene como finalidad adaptar dichas tablas a las condiciones de suelos mediterráneos para obtener resultados más precisos al emplear este método en nuestras condiciones medioambientales. Para ello se va a llevar a cabo un análisis de los factores que condicionan el número de curva en diferentes unidades ambientales de la Provincia de Valencia, correlacionándolos con los valores de parámetros edáficos determinantes de la generación de escorrentía, los cuales son: Estructura, granulometría y categoría textural, porcentaje de materia orgánica, uso y manejo agronómico del suelo y grado de saturación.

Palabras clave: Suelo, escorrentía, hidrología, infiltración, número de curva, terreno.

ABSTRACT

The Curve Number methodology is a hydrological model used to quantify surface runoff caused by a storm event in a basin. The assignment of a curve number to a particular location is performed with the help of tables, and is dependant on current land use which evaluates the influence of vegetation cover and his degree of conservation management on runoff, hydrologic condition on the soil surface to determine the predisposition to the state of saturation of soil water which indicates its own tendency transform rain into runoff or infiltration, and soil type according to their hydrological behaviour facing the water movement through the porous space. The tables have been developed by the Soil Conservation Service (SCS), U.S., and were prepared for existing types of vegetation, management and soils in the United States. The present project has the purpose of adapting said tables to the conditions of the Mediterranean soils to obtain more precise results when using this method in our environmental conditions. For this, is going to take place an analysis of influencing factors that determine the curve number in different environmental units of the Province of Valencia, correlating them with the values of determining soil parameters in the runoff generation, such as: Precipitation, granulometry and textual class, plant cover percentage, use and agronomic management, degree of saturation and degree of previous humidity.

Word keys: Soil, runoff, hydrology, infiltration, curve number, terrain.

Índice

1. INTRODUCCIÓN	5
1.1. El suelo, su calidad frente a la erosión	5
1.2. Erosión hídrica: La escorrentía	6
1.2.1. Métodos para calcular la escorrentía	7
1.3. Desarrollo del método del número de curva para la obtención de la escorrentía en una cuenca hidrográfica	9
2. OBJETIVOS	12
2.1. Justificación y antecedentes	12
2.2. Objetivos	12
3. MATERIALES Y MÉTODOS	13
3.1. Trabajo de gabinete. Selección del área de estudio	13
3.2. Trabajo de campo. Definición de las unidades de estudio, ensayo del doble anillo y toma de muestras	14
3.3. Trabajo de laboratorio	20
3.4. Tratamiento de datos. Adaptación del número de curva	23
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
4.1. Parámetros analizados	26
4.2. Adaptaciones del número de curva	34
5. CONCLUSIONES	38
6. BIBLIOGRAFÍA	39

Índice de tablas

1. Condiciones de humedad previa del suelo	11
2. Valores del número de curva en función de la cobertura vegetal, presencia del laboreo, condiciones hidrológicas y grupos hidrológicos del suelo	11
3. Grupo hidrológico del suelo en base a la textura y diversos autores	24
4. Información empleada para adaptar el número de curva a las condiciones de suelos mediterráneos muestreados	25
5. Estructura de cada muestra	26
6. Porcentaje de elementos gruesos de cada muestra	28
7. Categoría textural de cada muestra	29
8. Porcentaje de materia orgánica de cada muestra	31
9. Clasificación de los porcentajes de materia orgánica en base a la textura	31
10. Porcentaje de estabilidad de microagregados de cada muestra	32
11. Clasificación de los porcentajes de microagregados	32
12. Tasas de infiltración para las zonas analizadas	33
13. Condición hidrológica de los usos agrícolas	34
14. Condición hidrológica de los usos forestales	35
15. Adaptaciones del número de curva para la sierra Calderona	35
16. Resumen del número de curva para los usos agrícolas	36
17. Resumen del número de curva para los usos forestales	37

Índice de figuras

1. Escorrentía en pulgadas en base a la cantidad de lluvia en pulgadas y el nº de curva	9
2. Ejemplo de curvas IDF	10
3. Zona agrícola del punto 1	15
4. Zona forestal del punto 1	15
5. Zona agrícola del punto 2	16
6. Zona forestal del punto 2	16
7. Zona agrícola del punto 3	17
8. Zona forestal del punto 3	17
9. Zona agrícola del punto 4	18
10. Zona forestal del punto 4	18
11. Zona agrícola del punto 5	19
12. Zona forestal del punto 5	19
13. Estructura del suelo	20
14. Nomograma que determina la condición hidrológica en suelos forestales	23
15. Diagrama que relaciona el grupo hidrológico con la textura	24
16. Agregados recogidos y detalle de la medición del tamaño mediante pie de rey	27

1. Introducción

1.1. El suelo, su calidad frente a la erosión

El suelo es un material no consolidado, compuesto por aire, agua y materia mineral y orgánica presente en la superficie de la tierra y capaz de soportar el crecimiento vegetal (Gisbert y Asensio, 2002). Dichos componentes están interactuando entre sí de forma lenta pero constante, otorgando propiedades tanto físicas, químicas y biológicas al suelo que condicionan que el este pueda cumplir sus funciones vitales (USDA-NRCS, 2001):

- Favorecer el crecimiento y diversidad de plantas y animales proporcionando los componentes necesarios para su desarrollo
- Regular la distribución del agua de lluvia o de riego, entre infiltración y escorrentía, y regular el caudal y almacenamiento de agua y solutos (macro y micronutrientes)
- Almacenar y liberar nutrientes para el desarrollo correcto de la planta.
- Actuar como filtro para proteger la calidad del agua, aire y otros recursos.
- Sostener las estructuras generadas por el hombre

De este modo, los suelos presentarán en base a las propiedades que les infieren los componentes orgánicos, minerales y el espacio poroso, una calidad u otra. Más concretamente William Shoup expresa que “la calidad de un suelo se mide en relación con lo bien que actúa frente a lo que nosotros queremos que haga”. Más específicamente, la calidad es la capacidad de un tipo específico de suelo para funcionar, dentro de los límites de un ecosistema natural o antropizado, y cumplir todas las funciones, puesto que contra mayor sea la calidad o salud, más funciones podrá acometer

Por tanto, la calidad de un suelo depende de sus propiedades, pudiéndose ver afectada de manera negativa si dichas propiedades se han alterado debido a condiciones climáticas desfavorables o un mal uso. Una de las diversas consecuencias de esta alteración es que el suelo deje de ser capaz de sustentar la vida de forma irreversible. Dicho fenómeno se llama desertificación y produce una degradación del entorno.

Gran parte de España presenta, junto al resto de zonas áridas y semiáridas del mundo, un riesgo potencial de desertificación a causa de la combinación de un clima seco con gran torrencialidad de sus tormentas, además del uso intensificado en agricultura (Iambiente, 2018). Todo ello provoca una degradación del suelo de diversa naturaleza, como la pérdida de estructura dada al laboreo, aumento de salinidad a causa de riego con aguas de mala calidad o la eliminación de nutrientes debido a un mal plan de fertilización.

Para determinar dicha calidad se definen una serie de indicadores que van relacionados con las propiedades del suelo y se pueden agrupar en 4 grandes categorías: visuales, físicos, químicos y biológicos.

Los **indicadores visuales** se obtienen de la observación o interpretación fotográfica, siendo estos el cambio de color del suelo, la respuesta de las plantas, las especies de plantas, etc., evidenciando que la calidad del suelo está amenazada o cambiando.

Los **indicadores físicos** están relacionados con la disposición de partículas sólidas y los poros, destacando como parámetros la profundidad, densidad aparente, porosidad, estabilidad de agregados, textura, formación de costras y compactación.

Los **indicadores químicos** incluyen propiedades medibles desde el punto de vista químico y están relacionados principalmente con el contenido mineral de los suelos, siendo alguno de estos parámetros el pH, salinidad, materia orgánica, concentraciones de macro y micronutrientes, la capacidad de intercambio catiónico, contaminantes, etc.

Por último, los **indicadores biológicos** incluyen mediciones de microorganismos y macroorganismos, su actividad o subproductos, siendo la tasa de respiración del suelo como uno de los indicadores más importantes

Con ellos se puede definir la calidad del suelo y los cambios inferidos. No obstante, también se puede dar degradación del suelo por causas naturales, como incendios, riadas o vientos intensos., entre otros, alterando las propiedades del suelo de forma negativa.

Como es natural, no se puede prever cuándo y de qué manera se dará dicha degradación en el suelo, pero sin embargo sí se puede determinar la cuantía de esta que un hipotético proceso puede provocar.

La erosión, definido como el desgaste del suelo por la acción del viento, gravedad, lluvia, procesos fluviales, oceánicos o glaciares, así como de la acción de los seres vivos es uno de los principales destructores de suelo, estimándose de acuerdo con la Estrategia temática de protección del suelo (European Commission, 2006), que la erosión del suelo por agua era una de los peligros más severos para los suelos europeos.

Como se cita en el párrafo anterior, una de las formas por las que se puede producir degradación de un suelo es por medio del agua. Este proceso es conocido genéricamente como erosión hídrica, siendo la escorrentía una de sus formas más impactantes.

1.2. Erosión hídrica: La escorrentía

La erosión hídrica es una forma de degradar el terreno que se genera habitualmente durante los episodios de lluvias.

La erosión hídrica se puede dar en pequeños surcos y canales que se generan en la superficie del suelo debido a la escorrentía. Este efecto junto a la salpicadura que generan las gotas de lluvia al impactar sobre suelos desnudos de vegetación y la existencia de cierto grado de pendiente, da lugar a la generación de la erosión hídrica del suelo.

La escorrentía se define como la lámina de agua que discurre por la superficie de una cuenca de drenaje. Para que esta se lleve a cabo, se han de presentar dos situaciones iniciales: Que la precipitación sea mayor a la infiltración y que se presente pendiente.

Los factores que influyen en la formación de la escorrentía son:

- Características de la lluvia, fundamentalmente la intensidad
- Naturaleza del suelo, que determina entre otras características, la infiltración
- Pendiente del terreno
- Naturaleza, densidad y forma de las partículas arrastradas

A su vez, la escorrentía presenta diversos tipos:

- Escorrentía difusa: Pequeños regueros temporales de escasa entidad.
- Escorrentía laminar: Caracterizados por un arrastre uniforme, constante y apenas apreciable sin medios analíticos.
- Escorrentía en surcos: Pequeños regueros de mayor entidad que los difusos, pero poco relevantes
- Escorrentía en cárcavas o barrancos: Donde la erosión se presenta en el lecho del surco, previo desplome de las paredes laterales.
- Escorrentía en cauces: Son las más notorias, produciéndose erosión en cauces y márgenes de la superficie afectada. La distribución del flujo de agua depende de la velocidad, sedimentación y concentración de las partículas transportadas

En función del tipo de escorrentía, la erosión será más grave, debiéndose de aplicar medidas correctoras en los primeros tipos de escorrentía, para evitar llegar a producir cárcavas y cauces.

1.2.1. Métodos para calcular la escorrentía

Como tal existen diversos métodos para determinar la escorrentía que se generará en una zona a partir de sus datos climáticos, topográficos, edáficos, etc... Siendo ampliamente usados tanto en ingeniería como en métodos de conservación de suelos. Sin embargo, la mayoría son de naturaleza empírica, así que se requiere que las condiciones del suelo a analizar sean similares a las del terreno testado.

Actualmente en España se emplean principalmente 3 metodologías (Ibañez et al. 2011):

- **Fórmula racional:** Apropiado cuando la zona de trabajo sea inferior a 1.000 ha, calculándose con la fórmula descrita más abajo. Tiene en cuenta la intensidad de la precipitación (I) en mm/h, tomándose como dato aquella que mayor torrencialidad presente y por tanto mayor escorrentía genere, pues así se tendrá la mayor seguridad posible de la fiabilidad de los cálculos durante el periodo de tiempo correspondiente al periodo de retorno; la superficie de la cuenca (A) en ha; y el coeficiente de escorrentía (c) basado en las condiciones de relieve, vegetación, etc...

Mediante las cuales, y a partir de tablas, se obtiene su valor. El valor de caudal de escorrentía (Q) obtenido se expresa en m³/s.

$$Q = \frac{cIA}{360}$$

- **Método de Cook o del sumatorio:** Útil en zonas de pequeña extensión (<500 ha) de las cuales se dispone de mucha información, como su forma, topografía, vegetación... Es extremadamente sencillo de aplicar ya que solo requiere usar 2 tipos de tablas, en una se requiere de la topografía, vegetación y tipo de suelo de la cuenca; y en la otra del tamaño y forma de esta.

Las categorías analizadas son el relieve, la infiltración en el suelo, la cobertura vegetal y la retención en superficie, categorizándose cada una con mayor valor si presentan características poco favorables y de menor valor de ser lo contrario. Cada valor se denomina valor Wi, donde para obtener la W total de la cuenca se hace el sumatorio. Una vez obtenido dicho valor, y en base a la superficie de la cuenca en acres, se determina mediante 3 tipos de tablas (atendiendo a la forma de la cuenca) la escorrentía generada en pies cúbicos por segundo y para un periodo de retorno (T) de 10 años. En caso de presentarse periodos de retorno distintos, la escorrentía generada se multiplica por un factor corrector, siendo como sigue:

- Si T = 2 años, 0'90
- Si T = 5 años, 0'95
- Si T = 25 años, 1'25
- Si T = 50 años, 1'5

- **Método del número de curva:** Basado en la fórmula que figura más abajo, donde la lluvia precipitada (I) es, habitualmente, la que mayor escorrentía genere para un periodo de retorno dado (T) expresada en cantidad de lluvia (mm). La escorrentía estimada (Q) se expresa también en mm para el valor de S (diferencia máxima potencial entre lluvia caída y escorrentía generada), el cual se obtiene mediante el valor del número de curva (N) que represente la capacidad del territorio para infiltrar o absorber el agua caída durante dicho aguacero. Una vez obtenido el valor del número de curva, basta con aplicar las siguientes ecuaciones características del método o un nomograma:

$$Q = \frac{(I - 0,2S)^2}{I + 0,8S}$$

$$S = \frac{25.400}{N} - 254$$

caso de utilizarse las ecuaciones de ajuste de las curvas, o las tablas de registro de las lluvias de la zona, la precipitación queda expresada en cantidad de lluvia (mm). Con esto queda explicado la intensidad y duración, pero no la frecuencia. Esta tiene su fundamento en la aleatoriedad de las precipitaciones, pues no todos los años llueve la misma cantidad, de tal forma que pueda ocurrir episodios de lluvias anormalmente elevadas. Con esto se introduce el periodo de retorno (T), que recoge la probabilidad máxima de que ocurra un episodio de lluvia de características extremas en ese periodo de tiempo determinado.

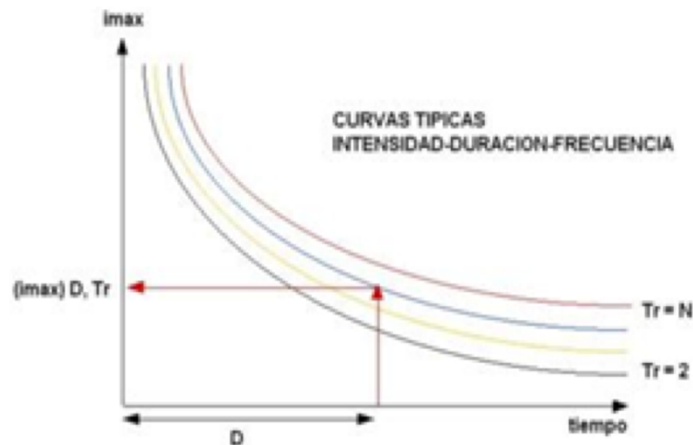


Figura 2: Ejemplo de curvas IDF (Ibañez et al. 2011)

En la gráfica, cada curva se corresponde a un periodo de retorno determinado, mientras que el eje X representa la duración y el Y la intensidad.

Una vez determinada la intensidad o cantidad de lluvia, el elemento que queda en el gráfico para obtener la escorrentía es el número de curva (ver Figura 1).

Su valor depende de varias variables, más concretamente 5:

- Uso de la tierra: Se basa en el tipo de cobertura vegetal que presenta el suelo. Toma su importancia en la protección que proporciona esta a la superficie del suelo.
- Medidas de conservación: Estas se hacen para evitar al máximo la escorrentía y proporcionar una conservación al suelo. Discrimina entre la nula conservación, alguna (como uso de coberteras, cultivos a nivel o terrazas) o varias de ellas.
- Condiciones hidrológicas para la infiltración: Característica que refleja el estado edáfico del terreno, pues depende de propiedades puramente físicas, estructurales y de conservación del suelo. A mayor condición para la infiltración, mejor será su valorización, mientras que a menor, peor.
- Grupo hidrológico de suelo: Relacionada directamente con la escorrentía, ya que a mayor permeabilidad menor escorrentía y viceversa. Con la letra A se

representan aquellos suelos con mucha permeabilidad, reduciéndose hasta llegar a la D, donde la permeabilidad es nula o prácticamente nula.

- Condiciones previas de humedad del suelo: Evidentemente, a mayor condición de saturación del suelo, mayor escorrentía, mientras que a suelos más secos, menor escorrentía. Esta depende del periodo del año en que nos situemos, donde a mayor número de condición, mayor humedad.

Condiciones precedentes de humedad		
Lluvia total caída durante los cinco días anteriores		
Condición	En el periodo húmedo (oct-Mar) o durante la dormancia	En el periodo seco (Abr-Sep) o durante el crecimiento
I	Menos de 12,5 mm	Menos de 35,5 mm
II	De 12,5 a 28 mm	De 35,5 a 53 mm
III	Más de 28 mm	Más de 53 mm

Tabla 1: Condiciones de humedad previa del suelo. (Ibañez et al. 2011)

Una vez conocidas estas variables, los números de curva se pueden obtener gracias a la siguiente tabla que fue definida por el USDA para condiciones específicas de los suelos y usos de EEUU:

Tabla 1: Condiciones de humedad previa del suelo. (Ibañez et al. 2011)

Land U Type	Conservation Practice	Condition	(LUN)	A	B	C	D
Fallow	All	All	1	77	86	91	94
Row crops	None	Poor	2	72	81	88	91
		Good	3	67	78	85	89
	Contour, strip cropping, or terrace	Poor	4	70	79	84	88
		Good	5	65	75	82	86
	Two or more of contour, strip, and terrace	Poor	6	66	74	80	82
		Good	7	62	71	78	81
Small grain	None	Poor	8	65	76	84	88
		Good	9	63	75	83	87
	Contour, strip, or terrace	Poor	10	63	74	82	85
		Good	11	61	73	81	84
	Two or more of contour, strip, and terrace	Poor	12	61	72	79	82
		Good	13	59	70	78	81
Close-seeded legume	None	Poor	14	66	77	85	89
		Good	15	58	72	81	85
	Contour, strip, or terrace	Poor	16	64	75	83	85
		Good	17	55	69	78	83
	Two or more of contour, strip, and terrace	Poor	18	63	73	80	83
		Good	19	51	67	76	80
Pasture or range	None	Poor	20	68	79	86	89
		Fair	21	49	69	79	84
		Good	22	39	61	74	80
	Two or more of contour, strip, and terrace	Poor	23	47	67	81	88
		Fair	24	25	59	75	83
		Good	25	6	35	70	79
Meadow	Continuous grass, protected from grazing and generally mowed for hay	--	26	30	58	71	78
Woods	None	Poor	27	45	66	77	83
		Fair	28	36	60	73	79
		Good	29	25	55	70	77

Tabla 2: Valores del número de curva en función de la cobertura vegetal, presencia del laboreo, condiciones hidrológicas y grupos hidrológicos del suelo. (NRCS, 2009)

2. Objetivos

2.1 Justificación y antecedentes

La metodología del método del número de curva fue desarrollada por el *Soil Conservation Service (SCS) –National Resources Conservation Service (NRCS)*– perteneciente al Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). La primera versión fue publicada en 1954, actualizándose dicha metodología posteriormente. En sí, este método viene especificado en tablas basadas en suelos estadounidenses y en condiciones de uso estadounidenses que distan mucho de los suelos mediterráneos. Es por esto, que para aplicarlo correctamente y con fiabilidad en suelos de la Comunidad Valenciana, o del estado Español, se deberían de realizar ciertas adaptaciones sustentadas en datos empíricos de campo a fin de evitar al máximo las interpretaciones basadas únicamente en el criterio propio del usuario.

Otros autores como Ferrer-Julia et al., (1995), aplicaron la metodología de sistemas de información geográfica para adaptar el número de curva en la cuenca del río Guadiana, Mongil (2010) o Mongil y Rosado (2012) que también adaptaron específicamente en número de curva para las condiciones de las formaciones vegetales del Parque Natural de la Caldera en las Palmas y la provincia de Ávila, respectivamente. No obstante, no se han encontrado dichas adaptaciones para suelos mediterráneos de la Comunidad Valenciana.

2.2 Objetivo

Debido a lo anteriormente señalado, este trabajo tiene como finalidad adaptar las tablas del número de curva realizadas por la USDA (United States Department of Agriculture) a las condiciones de suelos mediterráneos de la zona de estudio, pues esta metodología está basada en suelos estadounidenses, donde se presentan diferencias a la hora de tratar el terreno respecto aquí.

Los objetivos secundarios son los siguientes:

- Analizar y caracterizar suelos mediterráneos de la provincia de Valencia
- Determinar los parámetros que afectan al número de curva

Para ello en el trabajo se realizará un estudio de gabinete, una toma de muestras y un ensayo de campo y, *a posteriori*, un análisis de laboratorio con sus respectivas conclusiones, para finalizar con una adaptación de los números de curva a las condiciones mediterráneas analizadas.

3. Materiales y métodos

3.1. Trabajo de gabinete. Selección del área de estudio

El primer paso para realizar el estudio, fue determinar en el gabinete la zona a evaluar de acuerdo a unos criterios de diversidad geológica y criterios económicos (transporte y accesibilidad). Para elegir la zona de estudio se acudió a un mapa provincial de escala 1:200.000 para observar la totalidad de la provincia de Valencia con detalle y al mapa geocientífico de la provincia de Valencia (Cendredo Uceda et al.,1986) con la finalidad de categorizar los distintos ambientes que se presentan.

Las categorías analizadas para cada ambiente son litología, morfología, clima y vegetación actual y potencial. El número y zonas de ambientes existentes es el siguiente:

- Ambiente 1: Rincón de Ademúz-Muelas de Alpuente.
- Ambiente 2: Relieves montañosos Serranos-Calderona.
- Ambiente 3: Altiplano Requena-Utiel.
- Ambiente 4: Intermedio.
- Ambiente 5: Llanura costera.
- Ambiente 6: Macizo del Caroch.
- Ambiente 7: Sierras y valles prebéticos.

Acto seguido se acudió a los mapas geológicos del IGME (Instituto geológico y minero de España), con la finalidad de ver el material geológico del suelo. Esto se fundamenta en que la naturaleza del suelo influye en diversos factores, como la infiltración o humedad de este.

Acorde a esto, y en base también a la distancia, se decidió focalizar el estudio concreto en la zona Sierra Calderona, Parque Natural desde 2002 que se encuentra localizado al norte de la provincia de Valencia y que forma parte de las estribaciones del Sistema Ibérico.

Es la divisoria de aguas natural entre los ríos Palancia y Turia y se localiza a 20 km al norte de la ciudad de Valencia. Los municipios que abarca el parque son: Albalat de Taronchers, Alcublas, Algimia de Alfara, Estivella, Gátova, Gilet, Liria, Marines, Náquera, Olocau, El Puig, Puzol, Sagunto, Serra, Torres Torres, Segart, la Villa de Altura y Segorbe. Una vez evaluados los diferentes sistemas, se seleccionaron concretamente a 5 Unidades o zonas de estudio:

- Zona 1: Término municipal de Gilet, material geológico aluvial-coluvial y arcillas con cantos
- Zona 2: Zona montañosa El Cavall en Sagunt, material geológico de areniscas y argilitas.
- Zona 3: Oeste de El Cavall en Sagunt, material geológico de mantos aluviales encontrados
- Zona 4: Zona del Picayo en Sagunt, material geológico de depósitos de pie de monte.
- Zona 5: Proximidades de Basso Blanca en Serra, material geológico calcáreo.

Se puede encontrar mayor información sobre los ambientes y zona de estudio en el *Anexo I y II*.

3.2. Trabajo de campo. Definición de las unidades de estudio, ensayo del doble anillo y toma de muestras

Una vez determinadas las zonas a visitar conforme su geología, se procedió a seleccionar con un visor cartográfico (GVA, 2020), dos parcelas con usos completamente distintos dentro de cada unidad homogénea seleccionada, una con uso forestal y otra con uso agrícola. Se obtuvieron las coordenadas de cada una de ellas y se estipularon los días de trabajo de campo, en el que se realizaría el ensayo del doble anillo para determinar la curva de infiltración del agua en un suelo. Ese mismo día se procedió a la toma de muestras de suelo a diferentes profundidades mediante barrena para la determinación en laboratorio de los parámetros de materia orgánica, estabilidad de agregados y textura (indicadores de la calidad del suelo que se utilizan para definir las condiciones del suelo frente a la infiltración y por tanto frente a la generación de escorrentía). También se describieron los parámetros de suelo y de la zona.

Las unidades/zonas de estudio fueron:

1. Término municipal de Gilet:

Zona agrícola: Pertenece a un cultivo de mandarinos en bancales, aparentemente abandonados pues aun teniendo el marco de plantación y red de riego por goteo en buenas condiciones el suelo está mal cuidado y el cultivo presenta diversas enfermedades en hojas y frutos.

Altitud 129,4 m, pendiente: 0,2%, coordenadas UTM: 30 S 727.284,74, 4.397.955,95 m.



Figura 3: Zona agrícola del punto 1

- Zona forestal: Se ubica en la parte baja de unos abancalamientos con cobertura vegetal de pinos y al lado del camino de Garbí.

Altitud 132,48 m, pendiente: 5%, coordenadas UTM: 30 S 727.282,04 - 4.397.891,67 m.



Figura 4: Zona forestal del punto 1

2. Zona montañosa del Cavall en Sagunt

Zona agrícola: Pertenece a un cultivo de mandarinos abancalados en crecimiento con un tratamiento de blanqueamiento y sistema de riego por goteo.

Altitud 138,68 m, pendiente: 0,2%, coordenadas UTM: 30 S 727.308,39 - 4.391.176,73 m.



Figura 5: Zona agrícola del punto 2

- Zona forestal: Se sitúa en un matorral con presencia de pinos y un mantillo somero de poco espesor. Presenta una ligera pendiente, aunque el ensayo se hizo prácticamente en llano.

Altitud 141,06 m, pendiente: 0,5%, coordenadas UTM: 30 S 727.365,68 - 4.391.140,33 m.



Figura 6: Zona forestal del punto 2

3. Zona oeste del Cavall en Sagunt:

- Zona agrícola: El cultivo plantado es de mandarinos en producción abancalados, sin afección visible en las hojas o tallo y sistema de riego por goteo.
Altitud 164,93 m, pendiente: 0,2%, coordenadas UTM: 30 S 726.584,97 - 4.392.233,22 m.



Figura 7: Zona agrícola del punto 3

- Zona forestal: Localizado en un bosque de encinas y pinos, arbustos densos y mantillo de unos 7 centímetros de profundidad. La pendiente del terreno era muy ligera.
Altitud 164,5 m, pendiente: 1,5%, coordenadas UTM: 30 S 726.562,87 - 4.392.232,57 m.



Figura 8: Zona forestal del punto 3

4. Zona del Picayo en Sagunt:

- Zona agrícola: Pertenece a un cultivo de mandarinos poco cuidados, aunque en producción, ya que seguía formándose el fruto pero había flora adventicia o suelo mojado en zonas carentes de cultivo. Hay presencia de manta térmica y tuberías de riego por goteo en los alrededores de la base del tallo. También están abancalados.

Altitud 85,84 m, pendiente: 0,2%, coordenadas UTM: 30 S 730.982,78 - 4.391.919,68 m.



Figura 9: Zona agrícola del punto 4

- Zona forestal: El árbol predominante es el pino, con mucha pinocha en la superficie del suelo y poca densidad de arbustos. Altitud 91,91 m, pendiente: 3%, coordenadas UTM: 30 S 730.969,65 - 4.391.866,05 m.



Figura 10: Zona forestal del punto 4

5. Proximidades de Basso Blanca en Serra:

- Zona agrícola: El cultivo se trata también de mandarinos en abancalamientos abandonados, pues como se puede ver en la imagen el marco de plantación es inexistente y la densidad vegetal más bien escasa.

Altitud 271,14 m, pendiente: 0,2%, coordenadas UTM: 30 S 716.360,57 - 4.394.949,39 m.



Figura 11: Zona agrícola del punto 5

- Zona forestal: Nuevamente se trata de un pinar, con abundante mantillo y una reducida pendiente.

Altitud 272,27 m, pendiente: 1%, coordenadas UTM: 30 S 716.318,34 - 4.394.911,97 m.



Figura 12: Zona forestal del punto 5

En el Anexo III.- Toma de muestras se presentan todos los datos obtenidos durante la fase de campo.

Material de campo para toma de muestras de suelo

Los materiales necesarios para la obtención de muestras y datos del suelo son los siguientes:

- Barrena para perforar el suelo y obtener muestra de este
- Varilla para determinar la profundidad del suelo
- Anillos metálicos para la realización del doble anillo
- Garrafas de agua para el método del doble anillo, el cual consiste en saturar una porción de suelo limitada por dos anillos para determinar la variación del nivel del agua en el cilindro interior
- Martillo para clavar los anillos en el suelo
- Guantes de protección

Ensayo de la tasa de infiltración (Doble anillo o anillos de Munz)

Es la cantidad de agua que penetra en el suelo a través de su superficie a lo largo del tiempo (FAO *Manual de riego parcelario*).

Determinada en base al método del doble anillo para cada uno de los usos de las zonas estudiadas. Este método consta de dos anillos, uno de mayor diámetro que el otro, concéntricos entre sí, los cuales se insertan en la superficie del suelo y se comienza a echar agua con el fin de determinar la tasa de infiltración del suelo. Para ello, se va anotando cada cierto intervalo de tiempo la medida indicada en un flotador, por lo que se determina en dicho intervalo los centímetros de lámina de agua que se infiltran en el suelo.

3.3. Trabajo de laboratorio

Una vez tomadas las muestras, se analizaron los siguientes parámetros:

- Estructura
- Porcentaje de elementos gruesos
- Textura
- Proporción de materia orgánica
- Estabilidad de microagregados

- Estructura

Se define como la organización natural de las partículas del suelo en unidades de suelo discretas, agregados o peds que resultan de procesos pedogenéticos. Los agregados están separados entre sí mediante poros que se encuentran llenos de agua o vacíos y por tanto llenos de aire (USDA, 2008).

La descripción de la estructura del suelo se ha realizado en base a la metodología descrita en la Guía para la descripción de suelos de la FAO (FAO, 2009), clasificándola la estructura del suelo en base a la compacidad, forma (figura 13), y tamaño de los agregados. El tamaño de los agregados se midió mediante un pie de rey, obteniéndose el tamaño medio de los agregados de la estructura del suelo.

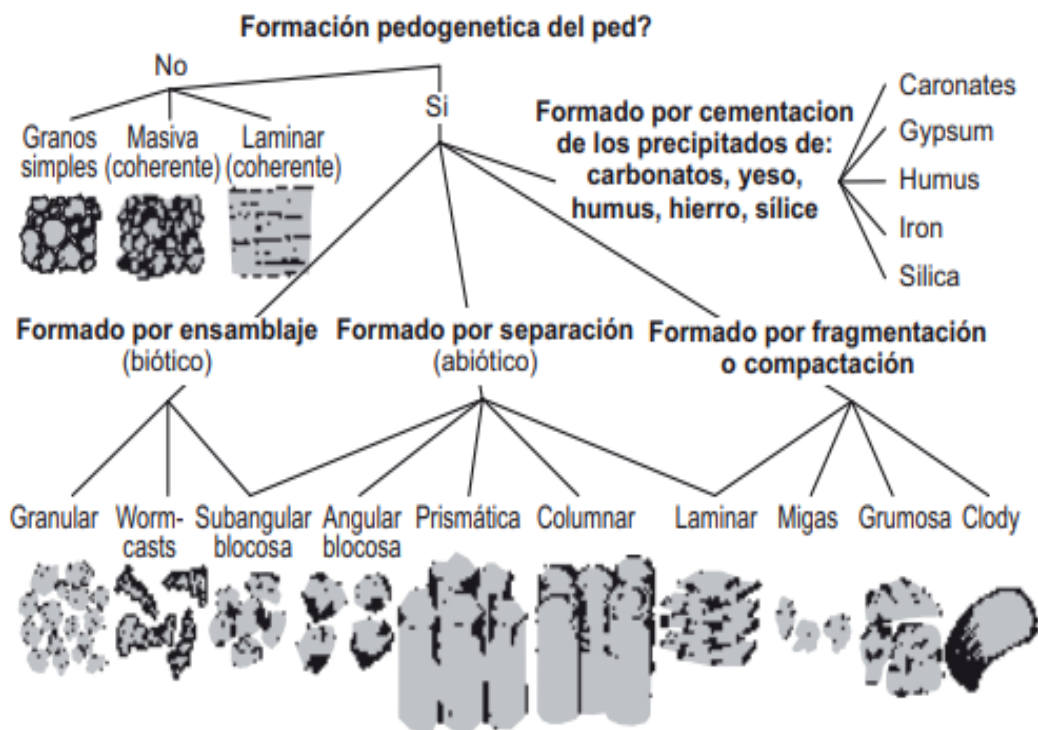


Figura 13: Estructuras del suelo (FAO, 2009)

- **Porcentaje de elementos gruesos:**

En este procedimiento se han separado los elementos que poseían un diámetro mayor a 2 mm, es decir, los elementos gruesos, de aquellos de diámetro inferior, los elementos finos que constituyen el suelo de acuerdo a la metodología establecida por el USDA en el Manual de métodos de laboratorio de estudios de suelos (Soil Survey Staff. 2014)

Para ello se ha empleado una tamizadora, la cual consta de dos cilindros huecos separados entre sí y agujereados en su exterior con un tamiz de malla de 2 mm, a los cuales se les coloca en su interior unas esferas metálicas con la idea de facilitar la disgregación de la muestra. Una vez introducida, se enciende la tamizadora y los cilindros empiezan a rotar. El suelo pasa por el tamiz y acaba cayendo mediante una tolva a un depósito, mientras que los elementos gruesos son retenidos en los cilindros. La diferencia entre elementos gruesos y fino sobre el total de muestra de suelo indica el porcentaje de elementos gruesos.

$$EG (\%) = \frac{\text{Peso EG}}{\text{Peso total suelo}} \times 100$$

- **Textura:**

La textura se define como la proporción (en porcentaje de peso) de las partículas menores a 2 mm de diámetro existentes en los horizontes del suelo. Está formada por arena ($2 \text{ mm} > \phi > 0,05 \text{ mm}$), limo ($0,05 \text{ mm} > \phi > 0,002 \text{ mm}$) y arcilla ($0,002 \text{ mm} > \phi$). (NRCS USDA *textural classification*).

Para analizarla se ha empleado el método de Bouyocous, consistente en determinar el porcentaje en peso y diámetro de las partículas que se depositan de acuerdo a la gravedad en una solución acuosa con dispersante. Al final se determina la proporción de arena, arcilla y limo de la muestra de suelo, para posteriormente determinar la categoría textural mediante el diagrama de la USDA. Todo ello de acuerdo a la metodología oficial del USDA (Soil Survey Staff. 2014)

- **Proporción de materia orgánica:**

La materia orgánica es un elemento determinante en el suelo ya que aporta múltiples beneficios, como ser fuente de carbono en él, aumento de poros tanto de transmisión como de almacenamiento, mejora de la permeabilidad al aumentar el número de poros de transmisión, favorece la formación de agregados ya que es un agente cementante que estimula la formación de macro y microagregados, etc. (Labrador, 2001).

La metodología llevada a cabo para la determinación de la materia orgánica en las muestras ha sido la calcinación, es decir, someter las muestras a temperaturas muy elevadas (450°C) con las que se volatilicen las moléculas orgánicas y posteriormente comparando los pesos pre-calcinación y post-calcinación. Todo ello de acuerdo a la metodología oficial del USDA (Soil Survey Staff. 2014).

$$\% \text{ Mat. Orgánica} = \frac{(\text{Peso } 105^{\circ}\text{C} - \text{Peso } 450^{\circ}\text{C})}{\text{Peso } 105^{\circ}\text{C}} * 100$$

- **Estabilidad de microagregados:**

La estabilidad de agregados es una medida de la vulnerabilidad de los agregados del suelo frente a fuerzas externas destructivas. Un agregado consiste de diversas partículas del suelo ligadas entre sí, y son producto de la comunidad microbial del suelo, de los componentes orgánicos y minerales del suelo, de la naturaleza de la comunidad de plantas en la superficie y de la historia del ecosistema (USDA *Guía para la evaluación y calidad del suelo*).

Concretamente hemos analizado el tamaño de los microagregados, que son aquellos agregados con un tamaño inferior 0,125mm. Este parámetro ha sido analizado mediante la inmersión de las muestras en unos recipientes de agua, provocando la rotura por impacto de los agregados más débiles y el paso de las partículas de suelo de diámetro inferior a 0.124 micrómetros. Una vez realizada esta acción, se vuelve a repetir con un agente dispersante, en este caso una solución calgón, siendo la solución, la encargada de desagregar en esta última los microagregados. Todo ello de acuerdo a la metodología oficial del USDA (Soil Survey Staff. 2014). Al final se calcula la estabilidad e los agregados como:

$$E. \text{Microagregados (\%)} = \frac{\text{Peso Microagregados}}{\text{Peso sueltos} + \text{Peso microagregados}} \times 100$$

3.4. Tratamiento de datos. Adaptación del número de curva

Con la información anteriormente calculada, se pasó a determinar y adaptar el número de curva a las condiciones de suelos mediterráneos. Cada uno de los parámetros determinantes se analizan como siguen:

- 1 **El uso de la tierra:** Se determinó el uso real del suelo, estando comprendido entre cultivos o bosques, ya que fueron las zonas donde los ensayos de campo se llevaron a cabo.
- 2 **Tipo de conservación:** Vino determinado en base a lo observado al realizar la toma de muestras, habiendo conservación nula en el uso forestal por definición y conservación por abancalamientos en el uso agrícola dentro de las tres posibilidades sugeridas por el método de la USDA-NRCS.
- 3 **Condiciones hidrológicas del suelo:** Para los usos agrícolas se utilizaron los parámetros edáficos analizados en conjunto (textura, porcentaje de elementos gruesos, porcentaje de materia orgánica y estabilidad de microagregados), mientras que para los forestales se aplicó el nomograma que contempla diferentes aspectos de la materia orgánica (espesor de la pinocha u hojarasca, espesor del humus y el grado de compactación), obteniéndose en este caso las condiciones hidrológicas en suelos forestales que se clasifican en: Pobre, regular y buena.

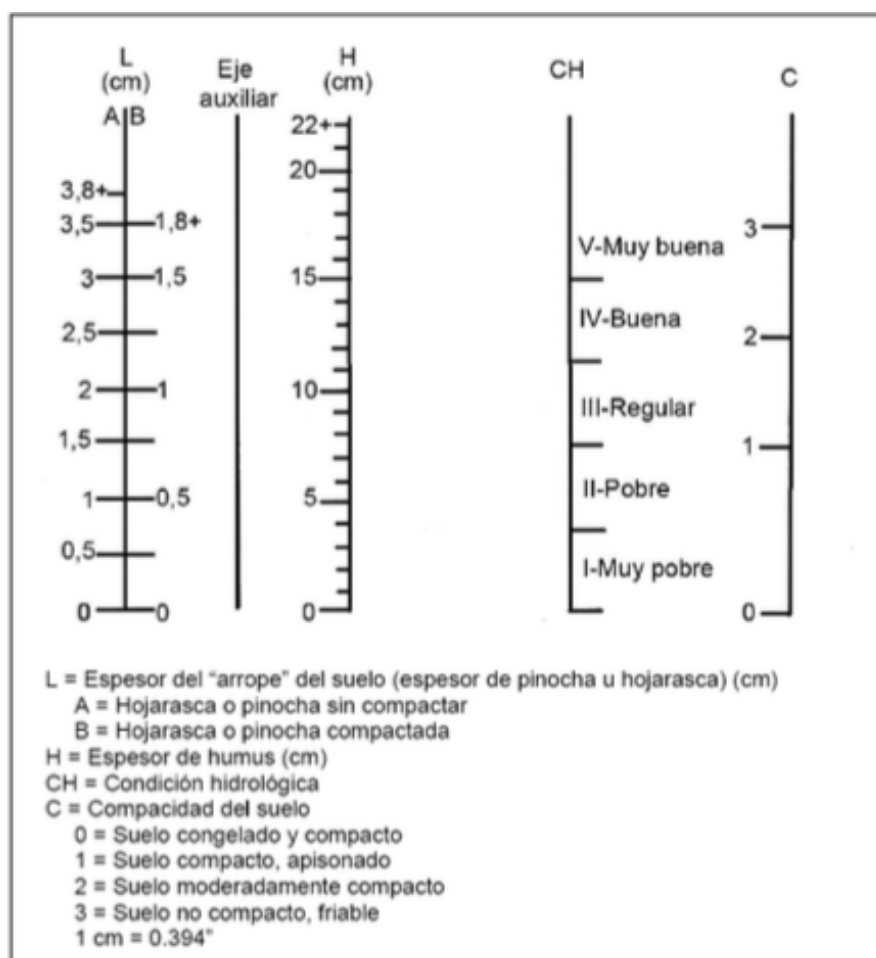


Figura 14: Nomograma que determina la condición hidrológica en suelos forestales.
(Santamarta y Naranjo, 2013)

- 4 **Grupo hidrológico del suelo:** Definido en base a su textura y las correlaciones presentadas por los diferentes autores; en caso de duda, se considera la estabilidad de los microagregados.

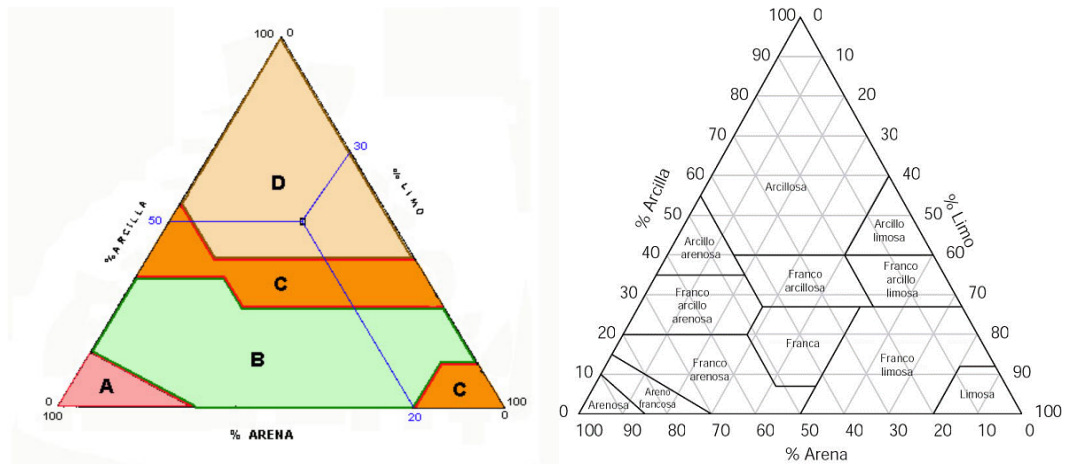


Figura 15: Diagrama que relaciona el grupo hidrológico con la textura.
(Santamarta y Naranjo, 2013)

Clase de textura USDA	Brakensiek y Rawls (1983) ¹	Témez (1987)	MOPU (1990)	MOPT (1992)	Ferrer-Julà (2003)	NRCS (2007) ²
Arenosa (Ar)	A	A	A	A	A	A
Arenoso-franca (Ar-F)	A	A	A	A-B	A	A ³ -B
Arcillosa (a)	D	D	D	D	D	C ³ -D
Arcillo-arenosa (a-Ar)	D	C	C	C	C	C ³
Arcillo-limosa (a-L)	D	D	D	C	D	C ³
Franca (F)	B	B	B	C	C	A ³ -B ³ -C
Franco-arenosa (F-Ar)	A	B	B	B	B	A ³ -B
Franco-arcillosa (F-a)	D	B-C	C	C	C	C
Franco-arcillo-arenosa (F-a-Ar)	C	C	B	C	C	B ³ -C
Franco-arcillo-limosa (F-a-L)	D	D	C	C	C	C
Franco-limosa (F-L)	B	B	B	B	C	A ³ -B ³ -C
Limosa (L)	B	C	C	A	D	B ³

Tabla 3: Grupo hidrológico del suelo en base a la textura y diversos autores.
(Santamarta y Naranjo, 2013)

Los procedimientos obtenidos se pueden apreciar en el *Anexo IV*, viéndose que la adaptación de la curva N se basará en estos aspectos:

Uso de la tierra	Conservación	Condición hidrológica	Grupo hidrológico
Cultivo	Abancalamiento	<i>Depende de los parámetros edáficos analizados</i>	<i>Depende de la textura</i>
Forestal	Ninguna	<i>Depende de diferentes aspectos de la materia orgánica</i>	<i>Depende de la textura</i>

Tabla 4: Información empleada para adaptar el número de curva a las condiciones de suelos mediterráneos muestreados

4. Resultados y discusión

4.1. Parámetros analizados

En total se tomaron 21 muestras de suelo, 13 entre 0-15-20 cm que corresponden con el topsoil de suelo y 8 muestras de 20 a 55 cm de profundidad.

- Estructura

Uso	Zona	Profundidad (cm)	Tamaño (cm)	Compacidad	Forma
Agrícola	1	0-20	1,8-2,2	Fuerte	Blocosa subangular
Agrícola	1	20-40	1,9-2,6	Fuerte	Blocosa subangular
Agrícola	1	40-55	2,4-2,5	Fuerte	Blocosa subangular
Forestal	1	0-15	1,6-1,8	Moderada	Blocosa subangular
Forestal	1	15-25	2,4-2,7	Moderada	Blocosa subangular
Agrícola	2	0-20	1,2-1,3	Moderada	Granular
Agrícola	2	20-30	0,8-1	Moderada	Blocosa subangular
Forestal	2	0-20	1,5-1,7	Moderada	Blocosa subangular
Forestal	2	20-30	1-1,2	Moderada	Blocosa subangular
Agrícola	3	0-20	1,5-1,7	Fuerte	Blocosa subangular
Agrícola	3	20-30	0,4-0,7	Fuerte	Blocosa subangular
Forestal	3	0-20	1-1,3	Moderada	Blocosa subangular
Forestal	3	20-30	1,7-1,9	Moderada	Blocosa subangular
Agrícola	4	0-10	0,7-0,9	Moderada	Blocosa subangular
Agrícola	4	10-20	1,1-1,4	Moderada	Blocosa subangular
Forestal	4	0-10	1,1-1,4	Moderada	Blocosa subangular
Forestal	4	10-20	0,7-1	Moderada	Blocosa subangular
Agrícola	5	0-10	Se deshace	Debil	Blocosa subangular
Agrícola	5	10-20	Se deshace	Débil	Blocosa subangular
Forestal	5	0-15	Se deshace	Débil	Blocosa subangular
Forestal	5	15-30	Se deshace	Débil	Blocosa subangular

Tabla 5: Estructura de cada muestra

En base a las tablas de la FAO, se observa que el grado de compacidad en las muestras de suelo analizadas es débil en las muestras de la zona 5 (pues se deshacen fácilmente con los dedos sin aplicar apenas fuerza), fuerte en los usos agrícolas de las zonas 1 y 3 (no es posible disgregarlas con la fuerza de los dedos) y moderada en el resto (se disgregan al apretarlas con los dedos), mientras que la forma blocosa subangular predomina en el 95% de las muestras analizadas, a excepción de la zona agrícola 2, que presenta forma granular en los veinte primeros centímetros de suelo. Enfocando esto en cuanto a su implicación en el número de curva, la compacidad débil sugiere una rápida destrucción de los agregados durante los periodos de lluvia, lo que repercute en una mayor generación de escorrentía pues al destruirse los agregados el espacio poroso que queda entre las partículas individuales de suelo es de menor tamaño, mientras que a mayor compacidad los agregados serán mas fuertes, repercutiendo por ende en una menor escorrentía.

Respecto a la forma, tanto los bloques subangulares como los granulares son favorables para las condiciones de infiltración siempre y cuando el tamaño de estos no sea muy reducido, pues presentarán mayor microporosidad y la infiltración de agua en éstos será reducida, mientras que si son de tamaño notorio habrá mayor macroporosidad, aumentándose por ende la infiltración.



Figura 16: Agregados recogidos y detalle de la medición del tamaño mediante pie de rey

- **Porcentaje de elementos gruesos:**

Uso	Zona	Profundidad (cm)	% Elementos Gruesos	% Elementos finos
Agrícola	1	0-20	17,34	82,66
Agrícola	1	20-40	29,83	70,17
Agrícola	1	40-55	10,57	89,43
Forestal	1	0-15	15,63	84,38
Forestal	1	15-25	19,23	80,77
Agrícola	2	0-20	14,21	85,79
Agrícola	2	20-30	15,00	85,00
Forestal	2	0-20	11,16	88,84
Forestal	2	20-30	13,12	86,88
Agrícola	3	0-20	11,19	88,81
Agrícola	3	20-30	10,53	89,47
Forestal	3	0-20	16,03	83,97
Forestal	3	20-30	10,52	89,48
Agrícola	4	0-10	8,15	91,85
Agrícola	4	10-20	19,57	80,43
Forestal	4	0-10	19,34	80,66
Forestal	4	10-20	25,82	74,18
Agrícola	5	0-10	11,11	88,89
Agrícola	5	10-20	7,41	92,59
Forestal	5	0-15	24,43	75,57
Forestal	5	15-30	30,05	69,95

Tabla 6: Porcentaje de elementos gruesos de cada muestra

A la vista de los resultados, se puede observar que los suelos forestales presentan mayor proporción de elementos gruesos que los agrícolas (la media en suelos agrícolas es del 14,08%, mientras que en forestales del 18,53%). Esto se debe a que los suelos agrícolas presentan un alto grado de intervención humana, con el uso de tractores, aperos y demás elementos que modifiquen el suelo y su estructura, promovándose la remoción de piedras y demás elementos gruesos, por lo que las condiciones hidrológicas para la infiltración en cuanto a este parámetro serán mejores, ya que por los fragmentos de roca no circula agua. Además, estos elementos son grandes y ocupan un espacio que de lo contrario estaría en parte ocupado por poros. Por ende, a mayor porcentaje de elementos gruesos, mayor número de curva.

- **Textura:**

Uso	Zona	Profundidad (cm)	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)	Categoría textural
Agrícola	1	0-20	31	33	36	Franco arcillosa
Agrícola	1	20-40	30	26	44	Franco arcillosa
Agrícola	1	40-55	29,0	22,0	49	Franco arcillo arenosa
Forestal	1	0-15	15	25	60	Franco arenosa
Forestal	1	15-25	15	25	60	Franco arenosa
Agrícola	2	0-20	15	24	61	Franco arenosa
Agrícola	2	20-30	14	20	66	Franco arenosa
Forestal	2	0-20	18	12	70	Franco arenosa
Forestal	2	20-30	22	15	63	Franco arcillo arenosa
Agrícola	3	0-20	19	17	64	Franco arcillo arenosa
Agrícola	3	20-30	25	24	51	Franco arcillo arenosa
Forestal	3	0-20	27,5	20,5	52	Franco arcillo arenosa
Forestal	3	20-30	20	14	66	Franco arcillo arenosa
Agrícola	4	0-10	9	12	79	Franco arenosa
Agrícola	4	10-20	24	9	67	Franco arcillo arenosa
Forestal	4	0-10	27	25,5	47,5	Franco arcillo arenosa
Forestal	4	10-20	27,5	22,5	50	Franco arcillo arenosa
Agrícola	5	0-10	35	20	45	Franco arcillosa
Agrícola	5	10-20	35	20	45	Franco arcillosa
Forestal	5	0-15	23	19	58	Franco arcillo arenosa
Forestal	5	15-30	22,5	15,5	62	Franco arcillo arenosa

Tabla 7: Categoría textural de cada muestra

Se puede observar una homogeneidad en los resultados texturales, pues todas las muestras presentan textura franca y un elevado contenido en arena, cosa lógica pues todas las zonas son de carácter aluvial, recibiendo los materiales erosionados de las zonas con cotas superiores. El 52,4% son texturas franco arcillo arenosas, el 19% franco arcillosas y el 28,56% franco arenosas. También cabe destacar como en las zonas donde se presenta cambio en la categoría textural las arcillas van en aumento conforme la profundidad, a excepción del uso agrícola de la zona 1, que el cambio se debe a la reducción de limos.

En cuanto a escorrentías, este parámetro es de vital importancia, pues determina principalmente el grupo hidrológico del suelo, uno de los factores que determinaba el número de curva. Atendiendo a estos grupos, los suelos franco-arenosos y francos son de moderada a alta permeabilidad cuando están saturados, por lo que infiltrarán una cantidad considerable de agua. Por su parte, los suelos franco-arcillosos y franco-arcillo-arenosos, debido a las propiedades de las arcillas y a su poca permeabilidad, la capacidad de filtración de agua en condiciones de saturación serán más bien escasas, siendo por ello los que peor nº de curva presentarán de las muestras analizadas en este trabajo.

- **Proporción de materia orgánica:**

Uso	Zona	Profundidad (cm)	% Mat. Orgánica
Agrícola	1	0-20	3,17
Agrícola	1	20-40	2,09
Agrícola	1	40-55	2,31
Forestal	1	0-15	6,71
Forestal	1	15-25	5,75
Agrícola	2	0-20	3,57
Agrícola	2	20-30	2,52
Forestal	2	0-20	8,81
Forestal	2	20-30	18,63
Agrícola	3	0-20	2,023
Agrícola	3	20-30	3,23
Forestal	3	0-20	9
Forestal	3	20-30	6
Agrícola	4	0-10	5
Agrícola	4	10-20	2,89
Forestal	4	0-10	6,12
Forestal	4	10-20	5,41
Agrícola	5	0-10	11,71
Agrícola	5	10-20	10,93
Forestal	5	0-15	20,49
Forestal	5	15-30	28

Tabla 8: Porcentaje de materia orgánica de cada muestra

Con los resultados expuestos se puede observar una mayor proporción de materia orgánica en los suelos forestales, siendo el promedio en los agrícolas de 6,1% y en los forestales de 7,83%. Esto es debido a que estos últimos poseen mayor volumen foliar y restos vegetales, como la pinocha o las piñas, lo cual favorece la aparición del llamado mantillo. Cabe mencionar que al tomar las muestras en campo siempre había que escarbar un poco en los usos forestales antes de introducir la barrena, cosa que no ocurría en los usos agrícolas.

Trasladando esto al número de curva, en la *Tabla 9* se puede apreciar como todas las muestras son muy altas en cuanto a la materia orgánica (siendo la más reducida la zona 1 en cuanto al uso agrícola, con un 2,52%), por lo que afectará positivamente a la capacidad de infiltración y por ende a reducir el número de curva, pues la materia orgánica aporta mejores condiciones de aireación del suelo aumentando el número de poros, además de actuar como agentes cementantes de macro y microagregados, como se verá a continuación.

Arenoso	Franco	Arcilloso	Clasificación
< 0,7	< 1,0	< 1,2	Muy Bajo
0,7 - 1,2	1,0 - 1,5	1,2 - 1,7	Bajo
1,2 - 1,7	1,5 - 2,0	1,7 - 2,2	Normal
1,7 - 2,2	2,0 - 2,5	2,2 - 3,0	Alto
> 2,2	> 2,5	> 3,0	Muy Alto

Tabla 9: Clasificación de los porcentajes de materia orgánica en base a la textura (Andrades y Martínez, 2014)

- **Estabilidad de microagregados**

Uso	Zona	Profundidad (cm)	Estabilidad microagregados (%)
Agrícola	1	0-20	70,45
Agrícola	1	20-40	72,50
Agrícola	1	40-55	73,69
Forestal	1	0-15	64,99
Forestal	1	15-25	67,13
Agrícola	2	0-20	72,12
Agrícola	2	20-30	32,28
Forestal	2	0-20	91,97
Forestal	2	20-30	74,95
Agrícola	3	0-20	41,73
Agrícola	3	20-30	22,94
Forestal	3	0-20	71,49
Forestal	3	20-30	40,13
Agrícola	4	0-10	77,48
Agrícola	4	10-20	56,00
Forestal	4	0-10	69,61
Forestal	4	10-20	57,95
Agrícola	5	0-10	63,46
Agrícola	5	10-20	67,18
Forestal	5	0-15	54,80
Forestal	5	15-30	16,06

Tabla 10: Porcentaje de estabilidad de microagregados de cada muestra

La proporción de microagregados estables es bastante similar entre suelos forestales o agrícolas (valor medio en agrícolas del 59,08% y en forestales de 60,9%), siendo en ambos casos generalmente más elevados en la superficie del suelo debido a que es donde más materia orgánica se acumula. Como se ha citado previamente, ambas propiedades están ligadas entre sí, y ambas afectan a la tasa de infiltración del suelo. Los microagregados estables favorecen el mantenimiento de la estructura del suelo y por ende unas condiciones hidrológicas para la infiltración adecuadas, mientras que la materia orgánica al ejercer una acción cementante promueve la formación de estos microagregados. En base a la *Tabla 11* (columna de agregados >0,5 mm) se puede apreciar como los microagregados obtenidos pertenecen a una buena categoría de cara al número de curva.

Nivel	¹ Agregados estables al agua con diámetro >1 mm	² Agregados estables al agua con diámetro >0,5 mm
Muy alta	>60	>75
Alta	40-60	60-75
Media	20-40	45-60
Baja	10-20	30-45
Muy baja	<10	<30

Tabla 11: Clasificación de los porcentajes de microagregados (Florentino, A. 1998)

- **Tasa de infiltración**

Los ensayos en campo se realizaron únicamente durante un máximo de 15 minutos, por lo que las medidas sólo reflejan el comportamiento del suelo durante los primeros momentos de las lluvias, antes de que se alcance la tasa de infiltración mínima, es decir, la conductividad hidráulica del suelo ¹. La tabla resumen de los ensayos es la siguiente:

Uso	Zona	Tiempo (min)	Tasa de infiltración (mm/h)
Agrícola	1	15	300
Agrícola	2		400
Agrícola	3		420
Agrícola	4		806
Agrícola	5		216
Forestal	1	15	545
Forestal	2		720
Forestal	3		960
Forestal	4		727
Forestal	5		720

Tabla 12: Tasas de infiltración para las zonas analizadas

Los resultados indican una mayor tasa de infiltración en las zonas forestales que en las agrícolas (a excepción de la zona agrícola 4, cuya tasa es exageradamente elevada debido a una fuga no detectable en superficie, siendo por tanto un valor no representativo), apoyándose numéricamente en que la media de las zonas agrícolas (extrayendo el dato anómalo) es de 334 mm/h y en los forestales de 734,4 mm/h. Esto es debido al elevado contenido en materia orgánica de estas primeras frente a las segundas, por lo que se confirma de cara al número de curva que los suelos forestales presentan mejores condiciones hidrológicas y, con ello, valores inferiores de escorrentía.

¹ Debido a la situación sanitaria ocurrida durante la pandemia del COVID-19 no se pudo llevar a campo un remolque con un depósito de 200 l de agua, por lo que no fue posible aplicar al suelo la suficiente cantidad de agua como para conseguir que las tasas de infiltración se estabilizaran, no pudiéndose lograr por tanto valores de la conductividad hidráulica (este parámetro no es necesario para la asignación del nº de curva, aunque hubiera sido de interés para una validación de los resultados).

4.2. Adaptaciones del número de curva

A la hora de trasladar estos resultados al número de curva, y como se ha visto anteriormente, se deberá determinar la condición hidrológica para la infiltración y el grupo hidrológico del suelo.

Para ello, se deberá partir de las equivalencias entre los parámetros y la información aportada por el USDA.

- **Grupo hidrológico:**

En el análisis textural realizado se encontraban las categorías de suelos francos, franco-arcillosos, franco-arenosos y franco-arcillo-arenosos. De los mencionados, y en base a los diagramas texturales, todos pertenecen al grupo hidrológico B, a excepción de los franco-arcillosos, que se corresponden con el C.

Contrastando la información obtenida con la brindada por diversos autores, se observa que, por lo general, los suelos francos se corresponden a la categoría textural B, los franco-arcillosos al C, los franco-arenosos al B y en los franco-arcillo-arenosos hay mas disparidad de resultados, pues según el diagrama y unos pocos autores sería B y según la gran mayoría de estos C, por lo que, si interpretamos el diagrama como si fuese un autor más, se establecería esta textura con la letra C.

No obstante, la zona 5 presenta unos niveles de materia orgánica muy elevados, por lo que se le otorga una categoría B a pesar de poseer una textura de categoría C.

- **Condición hidrológica:**

Una vez determinados los grupos hidrológicos, tocará analizar las condiciones hidrológicas para la infiltración de los usos agrícolas como buenas o pobres según la metodología del USDA. En todos los suelos agrícolas se ha visto que el porcentaje de elementos gruesos era reducido, que en materia orgánica eran ricos (es decir, mayor infiltración), y respecto a los microagregados que eran favorables para condiciones de mayor infiltración, excepto para el uso agrícola de la zona 3, que era donde menor proporción de microagregados había de las 5 zonas analizadas.

Teniendo en consideración todo lo mencionado en el párrafo anterior, los usos agrícolas quedan como sigue (siendo +: valor favorable -: valor desfavorable):

Zona	% Elementos gruesos	Mat. orgánica	Microagregados	Condición hidrológica
1	+	+	+	Buena
2	+	+	+/-	Buena
3	+	+	-	Buena
4	+	+	+	Buena
5	+	+	+	Buena

Tabla 13: Condición hidrológica de los usos agrícolas

En cuanto a los suelos forestales, tras aplicar el nomograma que relaciona la cantidad de humus y pinocha en superficie con la compactación del suelo, se concluye que la condición hidrológica de las cinco zonas pertenece al grupo IV (que se correspondería a una condición hidrológica buena) puesto que todas presentan escasa compactación, un espesor de pinocha no compactada de 3 cm y un humus escaso de unos 2 cm de profundidad.

Para los parámetros analizados, el contenido en elementos gruesos es favorable para la infiltración en las tres primeras zonas, mientras que en las últimas dos el porcentaje es más considerable y por tanto peor para la infiltración, el porcentaje de materia orgánica es muy elevado y por tanto favorece la infiltración y la estabilidad de microagregados también resulta positiva para esta, a excepción de última zona.

En base a esto, la condición hidrológica de los usos forestales será (siendo +: valor favorable -: valor desfavorable):

Zona	% Elementos gruesos	Mat. orgánica	Microagregados	Condición hidrológica
1	+	+	+	Buena
2	+	+	+	Buena
3	+	+	+	Buena
4	-	+	+	Buena
5	-	+	-	Neutra

Tabla 14: Condición hidrológica de los usos forestales

Una vez determinada la condición hidrológica para la infiltración y el grupo hidrológico, toca finalmente adaptar el número de curva para las muestras analizadas:

Uso de la tierra	Medidas de conservación	Condición hidrológica	Grupo hidrológico			
			A	B	C	D
Cultivo en hileras	Abancalamientos	Pobre	70	79	84	88
		Buena	65	75	82	86
Bosque	Ninguna	Pobre	45	66	77	83
		Neutra	36	60	73	79
		Buena	25	55	70	77

Tabla 15: Adaptaciones del número de curva para la sierra Calderona

Como se puede observar, para el caso del Parque Natural de la Sierra Calderona, un suelo con unos elementos gruesos de aproximadamente 15% o inferior, una categoría textural comprendida entre arenosa, limosa, franca, franco arenosa o franco limosa, un contenido en materia orgánica del 1,5% o inferior, una estructura moderada o fuerte y una estabilidad de microagregados del 60% en adelante presenta unas buenas condiciones para no generar una escorrentía elevada tras una precipitación basándose en la metodología del número de curva

Material geológico	Cultivo y descripción	Propiedades edáficas	Condición hidrológica del suelo	Número de curva
Aluvial-coluvial. Arcillas con cantos	Mandarinos abandonados abancalados con poca cobertura vegetal	- Estructura: Compacidad fuerte y forma blocosa subangular - % Elementos gruesos: 19,25 - Textura: Franco arcillosa - % Materia orgánica: 2,52 - % Microagregados: 72,21	Buena	82 (C)
Argilitas y areniscas	Mandarinos en crecimiento abancalados con poca cobertura vegetal	- Estructura: Compacidad moderada y forma blocosa subangular y granular - % Elementos gruesos: 14,61 - Textura: Franco arenosa - % Materia orgánica: 3,05 - % Microagregados: 52,2	Buena	75 (B)
Detrítico	Mandarinos en pcrecimiento abancalados con poca cobertura vegetal	- Estructura: Compacidad fuerte y forma blocosa subangular - % Elementos gruesos: 10,86 - Textura: Franco arcillo arenosa - % Materia orgánica: 2,63 - % Microagregados: 32,34	Pobre	84 (C)
Depósitos de pie de monte. Arcillas rojas con cantos superficialmente encostrados	Mandarinos en producción abancalados con elevada cobertura vegetal	- Estructura: Compacidad moderada y forma blocosa subangular - % Elementos gruesos: 13,86 - Textura: Franco arenosa - % Materia orgánica: 3,95 - % Microagregados: 66,74	Buena	82 (C)
Calcáreo	Mandarinos abandonados abancalados con muy poca cobertura vegetal	- Estructura: Compacidad débil y forma blocosa subangular - % Elementos gruesos: 9,26 - Textura: Franco arcillosa - % Materia orgánica: 11,32 - % Microagregados: 65,32	Buena	75 (B)

Tabla 16: Resumen del número de curva para los usos agrícolas

Material geológico	Vegetación y descripción	Propiedades edáficas	Condición hidrológica del suelo	Número de curva
Aluvial-coluvial. Arcillas con cantos	Bosque de pinos adultos con una cobertura vegetal en torno al 50% y una pendiente del 5%	- Estructura: Compacidad moderada y forma blocosa subangular - % Elementos gruesos: 17,43 - Textura: Franco arenosa - % Materia orgánica: 6,23 - % Microagregados: 66,06	Buena	55 (B)
Argilitas y areniscas	Bosque de pinos adultos con una cobertura vegetal entorno al 30% y una pendiente del 0,5%	- Estructura: Compacidad moderada y forma blocosa subangular - % Elementos gruesos: 12,14 - Textura: Franco arenosa - % Materia orgánica: 13,72 - % Microagregados: 83,46	Buena	70 (C)
Detrítico	Bosque de pinos y encinas adultos con una cobertura vegetal en torno al 40% y una pendiente del 1,5%	- Estructura: Compacidad moderada y forma blocosa subangular - % Elementos gruesos: 13,28 - Textura: Franco arcillo arenosa - % Materia orgánica: 7,5 - % Microagregados: 55,81	Buena	70 (C)
Depósitos de pie de monte. Arcillas rojas con cantos superficialmente encostrados	Bosque de pinos adultos con una cobertura vegetal en torno al 30% y una pendiente del 3%	- Estructura: Compacidad moderada y forma blocosa subangular - % Elementos gruesos: 22,58 - Textura: Franco arcillo arenosa - % Materia orgánica: 5,77 - % Microagregados: 63,78	Buena	70 (C)
Calcáreo	Bosque de pinos adultos con una cobertura vegetal en torno al 50% y una pendiente del 1%	- Estructura: Compacidad débil y forma blocosa subangular - % Elementos gruesos: 27,24 - Textura: Franco arcillo arenosa - % Materia orgánica: 24,25 - % Microagregados: 35,43	Neutra	60 (B)

Tabla 17: Resumen del número de curva para los usos forestales

5. Conclusiones

La metodología empleada ha resultado en los valores esperados salvo para la categoría textural de las zonas de yesos y margas, que el porcentaje de arenas ha salido excesivo. Esto se puede deber a que debido a procesos de erosión y sedimentación, estos materiales geológicos hayan quedado muy profundos, y realmente se hayan analizado en la práctica como materiales detríticos. Otro parámetro que ha variado ha sido el de las tasas de infiltración que, debido a la imposibilidad de contar con un tanque de agua debido a la alerta sanitaria (como se ha comentado anteriormente) no se ha podido cronometrar hasta la estabilización de la infiltración.

Sin embargo, se ha podido comprobar que las condiciones o características del método del número de curva son perfectamente adaptables a las condiciones de suelos mediterráneos, siendo la sierra Calderona un ejemplo de ello.

Partiéndose de unas analíticas generales comunes en caracterización de suelos, se ha podido descubrir que esta sierra presenta unas condiciones intermedias acerca de la escorrentía generada por una lluvia de cierta entidad, y todo ello a partir de un método no adaptado para nuestro país. Se ha podido además determinar que tenía carencias de materia orgánica y una buena capacidad de infiltración respecto al porcentaje de elementos gruesos, microagregados y estructura.

Por tanto, se concluye que este método puede tener potencial a la hora de determinar la posible escorrentía generada en una cuenca a partir de unas precipitaciones en suelos mediterráneos. Para ello, se deben analizar muchos más suelos y seguir una metodología similar a la empleada en el presente trabajo para lograr adaptarlos a las condiciones del número de curva.

6. Bibliografía

Andrades, M., Martínez, M.E., 2014. *Fertilidad de suelo y parámetros que la definen*. Univerisdad de la Rioja. 34 pp.

Cendrero Uceda, A., Nieto Salvatierra, M., Robles Cuenca, F., Sánchez Díaz, J., (1986). *Mapa geocientífico de la provincia de Valencia*, Valencia, España: Diputación provincial de Valencia.

European Commission. 2006. Thematic Strategy for Soil Protection (COM2006.231). Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of Regions. Brussels.

FAO, Land and water division (2009). *Guía para la descripción de perfiles de suelo*.

FAO, Land and water division (2009). *Manual de riego parcelario*.

Ferrer-Julia, Montserrat & Rodríguez, Joaquín & Estrela, Teodoro. (1995). Generación automática del número de curva con sistemas de información geográfica. Ingeniería del agua. 2. 10.4995/ia.1995.2686

Florentino, A. 1998. *Guía para la evaluación de la degradación del suelo y de la sostenibilidad del uso de la tierra: selección de indicadores físicos. Valores críticos*. En: Manejo Sostenible de los Suelos, Manual de Prácticas. Facultad de Agronomía UCV. Maracay- Venezuela. p 68

Gisbert, Juan Manuel, Ibañez Sara. (2002). Génesis de Suelos. Universitat Politècnica de Valencia pp 222

Hoeft, Claudia C.; USDA – NRCS. (2009). *NRCS runoff curve number hydrology. Development, satus and updates*.

https://acwi.gov/hydrology/minutes/nrcs_cn_method.pdf

Iambiente (2018). *El 75% de España corre riesgo de desertificación*. Redacción Iambiente, visto el 12 de Febrero de 2020.

<https://iambiente.es/2018/06/espana-corre-riesgo-de-desertificacion/>

Ibañez Asensio, S.; Moreno Ramón, H.; Gisbert Blanquer, JM. (2011). *Estima de precipitaciones máximas por el Método de Gumbell*. (Colección Riunet-UPV).

Ibañez Asensio, S.; Moreno Ramón, H.; Gisbert Blanquer, JM. (2011). *Métodos para estimar la escorrentía de una cuenca de pequeño tamaño*. (Colección Riunet-UPV).

Ibañez Asensio, S.; Moreno Ramón, H.; Gisbert Blanquer, JM. (2011). *Tiempo de concentración*. (Colección Riunet-UPV).

Instituto Geográfico Nacional (1997). *Mapa provincial de Valencia* [Mapa]. Madrid. Centro nacional de información geográfica.

Labrador, J. "La materia orgánica en los agrosistemas". 2001. 2a Edición. Mundi prensa, 293 pp.

Mongil, J. 2010. *Adaptación de las tablas del Número de Curva para las formaciones vegetales del Parque Nacional de la Caldera de Taburiente (Isla de La Palma)*. Boletín geológico y minero, ISSN 0366-0176, Nº 121, 2010, págs. 179-188

Mongil, J & Rosado, E.L., 2012. Adaptación de las tablas del Número de Curva para las principales formaciones vegetales naturales de la provincia de Ávila. Cuadernos abulenses, ISSN 0213-0475, Nº. 41, 2012, págs. 145-165

NRCS USDA, Soil conservation service (1987). *USDA textural classification*.

Santamarta Cerezal, J.C., Naranjo Borges, J. (2013). *Ingeniería forestal y ambiental en medios insulares*, Tenerife, España: Colegio de ingenieros de montes.

Soil Survey Staff. 2014. Kellogg Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations Report No. 42, Version 5.0. R. Burt and Soil Survey Staff (ed.). U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.

USDA, Instituto de calidad de suelos (1999). *Guía para la evaluación y calidad del suelo*.

USDA Natural Resources Conservation Service. 1996. Indicators for Soil Quality Evaluation. Soil Quality Information Sheet

USDA Natural Resources Conservation Service. 2001. Soil Quality - Introduction. Soil Quality Information Sheet

William Shoup (visto el 15/07/2019). Soil Quality. Natural Resources Conservation Service Colorado.

https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detailfull/co/home/?cid=nrcs144p2_063020