

Anejo 1. Climatología.



Pablo González Planells

Grado en ingeniería Agroalimentaria y medio natural



Introducción	3
1. Datos climáticos	3
1.1. Temperatura	3
1.2. Horas frío	4
1.3. Heladas	4
1.4. Precipitación y humedades relativas	5
1.5. El viento	6
1.6. Radiación y horas de luz	8
1.7. Días de lluvia y nublado/rocío	8
2. Clasificación climática	9
2.1. Factores de pluviosidad de Lang	9
2.2. Índice de aridez de Martonne	10
2.3. Índice termopluviométrico de Dantin-Revenga	11
2.4. Clasificación climática de Thornthwaite	11
2.5. Clasificación bioclimática UNESCO-FAO	14
Bibliografía	17



Introducción

Este anejo consistirá en determinar la climatología de la zona donde se ubica la parcela de estudio. Se ubica en Chera, término municipal de Chera (Valencia). Los datos obtenidos por el Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA), y fueron tomadas de una estación próxima a Chera, situada en Requena (24,26 km). La ubicación de la estación es la siguiente:

-**Coordenadas:** X:651972.000 / Y: 4374274.000 (Huso 30)

-**Altitud:** 746m

1. Datos climáticos

Se han empleado los datos del año 2014 hasta 2019. Los datos provienen de la estación meteorológica de Requena cerrito. Considerando que los valores medios serán muy próximos a los valores de Chera.

1.1. Temperatura

La supervivencia de las plantas leñosas en las zonas templadas y boreales ha sido gracias (en parte) a la adaptación de su fenología a los cambios de temperatura (y otras variables). Con ello, se conseguirá una mayor adaptación de la planta, tanto a bajas como altas temperaturas (Olsen, 2010, citado en B. Wenden *et al.*, 2017). En la tabla 1.1 se muestran las temperaturas medias mensuales, desde 2014 hasta 2019. Los meses más calurosos son julio, agosto, junio y setiembre.

Tabla 1.1. Valor de la temperatura en la estación meteorológica de Requena, Cerrito.

Mes	Tº media	Tº máx absoluta	Tº media de las máximas	Tº media de máxima abs	Tº mínima absoluta	Tº media de las mínimas	Tº media de las mínimas abs
Enero	6,25	10,99	12,67	18,96	1,66	0,98	-4,29
Febrero	7,03	12,15	13,07	20,67	2,30	1,87	-3,42
Marzo	10,03	17,24	16,95	27,75	4,49	4,03	-0,80
Abril	12,33	17,78	19,01	26,59	6,44	6,49	2,06
Mayo	16,97	22,17	24,90	32,34	11,26	9,79	4,24
Junio	21,69	27,23	30,42	37,93	15,66	13,38	6,97
Julio	25,04	29,02	34,60	40,25	20,78	16,39	12,94
Agosto	24,12	28,36	33,41	39,35	19,14	16,57	12,69
Septiembre	20,30	25,49	28,74	35,96	14,98	13,60	8,14
Octubre	16,07	20,61	23,79	30,32	10,02	10,03	3,72
Noviembre	9,87	15,29	15,84	23,31	4,95	4,94	-1,02
Diciembre	7,42	11,80	13,63	18,43	3,44	2,65	-2,48
Anual	14,76	19,84	22,25	29,32	9,59	8,39	3,23



1.2. Horas frío

Las horas-frío (HF) es el número de horas que pasan por debajo del umbral de 7,2 °C, y que son necesarias para la ruptura del reposo invernal (Agustí, 2010). El modelo de HF tiene el umbral de las temperaturas comprendidos entre 0 a 7,2 °C, con cada hora a este umbral contribuyen en la acumulación de una hora-frío, teniendo un efecto en la endolatenencia. Con una acumulación anual de 1690 HF (Tabla 1.2), y teniendo en cuenta que el cerezo (*Prunus avium* L.) tiene un requerimiento (depende de variedades) entre 450 hasta 1400 HF (Wenden *et al.*, 2017), se corrobora que en la localización de la parcela de estudio, se cumple perfectamente el requerimiento HF.

Tabla 1.2 Horas frío media desde 2014 a 2019 de la estación meteorológica de Requena, Cerrito

Mes	Horas frío
Enero	425,90
Febrero	354,20
Marzo	235,70
Abril	102,40
Mayo	10,90
Junio	0,42
Julio	0,00
Agosto	0,00
Septiembre	0,42
Octubre	22,75
Noviembre	178,17
Diciembre	356,50
Anual	1687,35

1.3. Heladas

Las heladas son unos fenómenos meteorológicos que afectan al desarrollo óptimo de las plantas, generando en ocasiones daños irreversibles. Se considerará heladas las temperaturas inferiores a valor de 0 °C (Agustí, 2010). El mayor estrés encontrado durante bajas temperaturas en células vegetales, muestra una deshidratación celular por el hielo extracelular, daño en las membranas celulares en hojas, desnaturalización de proteínas y estrés oxidativo (Pearce, 2001).

La importancia de conocer las posibles heladas, y en qué momentos pueden producirse, será crucial para una adecuada implantación del cultivar. Según Papadakis (1966), para determinar los periodos de heladas se emplea el método de las estaciones libres de heladas. Se dividirá el año en tres subpartados, en función de la media de la temperatura mínima absoluta. Para



calcular las fechas de inicio y fin de cada periodo, se supone variaciones regulares de la temperatura diaria, hasta llegar al primer día del mes siguiente, donde se alcanza la mínima del mes que va a continuación. Teniendo esto en cuenta, las estaciones en función de las mínimas absolutas son:

- **Estación media libre de heladas ($t_a' < 0$ °C):** 1 de noviembre hasta el 31 de marzo.
- **Estación media libre de heladas ($t_a' < 2$ °C):** del 1 de abril hasta el 15 de abril.
- **Estación media libre de heladas ($t_a' < 7$ °C):** 15 de abril hasta 31 de junio. Luego en el mes de octubre.

Nota: t_a' es la temperatura media de las mínimas absolutas (abs).

1.4. Precipitación y humedades relativas

La precipitación (P) como la humedad relativa (HR), tiene efectos directos e indirectos a las plantas. Por ejemplo, una polinización adecuada, necesitará HR altas, o para un desarrollo adecuado del fruto, y así alcanzar tamaños comerciales óptimos, se necesita una precipitación que cumpla con las necesidades hídricas de la planta (sino hay apoyo de riego). Por tanto, la importancia de conocer los meses donde la precipitación y la HR son mayores o menor, para así adecuar bien nuestro cultivo (Agustí, 2010). La tabla 1.3 muestra el mes con mayor precipitación es noviembre, seguidos de marzo, abril y mayo.

Tabla 1.3. Valores de la precipitación media por meses y la HR (%) media en Requena. Cerrito.

Mes	Precipitación (mm)	Precipitación máxima diaria (mm)	Humedad relativa media (%)
Enero	29,42	14,62	71,32
Febrero	22,36	7,62	67,72
Marzo	56,30	21,08	61,35
Abril	51,72	22,66	63,70
Mayo	45,44	19,60	56,71
Junio	22,03	12,55	52,64
Julio	9,27	5,02	52,17
Agosto	21,07	10,65	60,68
Septiembre	38,63	15,97	67,53
Octubre	28,83	13,67	71,09
Noviembre	59,83	20,42	74,26
Diciembre	22,28	11,55	77,35
Anual	407,19	-	64,71

En la figura 1.1 se observa la precipitación media por meses entre los años 2014 y 2019 en la ciudad de Requena (Valencia).

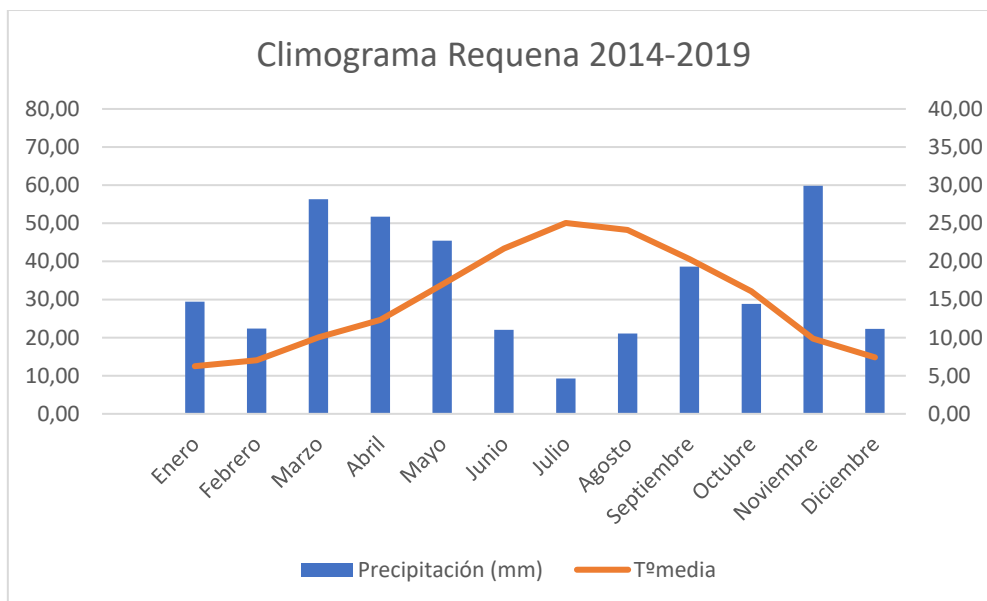


Figura 1.1. Precipitación media (mm) y temperatura media (°C) en Requena entre los años 2014 y 2019.

1.5. El viento

El viento se considera uno de los factores abióticos más importantes en los daños de frutos y partes vegetativas de los frutales. El diseño de la plantación deberá tener en cuenta la dirección del viento, velocidad y frecuencia (Agustí, 2010). La tabla 1.4. muestra que la dirección predominante del viento es el norte, con una velocidad del viento media de 5,52 km/h.

Tabla 1.4. Velocidad del viento, rachas máxima y dirección.

Mes	Velocidad del viento media (km/h)	Rachas de viento máximas (km/h)	Dirección del viento
Enero	5,73	44,83	N
Febrero	7,19	51,86	N
Marzo	7,06	44,19	N
Abril	6,80	42,56	N
Mayo	6,26	39,05	N
Junio	5,26	31,14	N
Julio	5,37	33,46	N
Agosto	4,98	29,41	N
Septiembre	4,33	31,94	N
Octubre	3,80	31,12	N
Noviembre	4,91	39,06	N
Diciembre	4,61	37,24	N
Anual	5,52	37,99	-

Para la determinación de la intensidad del viento, se emplea la escala Beaufort. Con esta escala se determina los efectos del viento en la tierra (Tabla 1.5.).



Tabla 1.5. Efectos del viento en la tierra respecto los números de Beaufort (Fuente: Simpson, 1906).

Nº BEAUFORT	VELOCIDAD (KM/H)	DENOMINACIÓN	EFFECTOS EN TIERRA
0	0 - 1	Calma	El humo asciende verticalmente
1	2 - 5	Ventolina	El humo indica la dirección del viento
2	6 - 11	Brisa muy débil	Hojas y banderas se mueven
3	12 - 19	Brisa ligera	El viento extiende las banderas
4	20 - 28	Brisa moderada	El polvo y el papel se mueven por el viento
5	29 - 38	Brisa fresca	Árboles de pequeño porte empiezan a moverse
6	39 - 49	Brisa fuerte	Se mueven las ramas gruesas
7	50 - 61	Viento fuerte	Todos los árboles se mueven
8	62 - 74	Viento duro	Algunas ramas se rompen. Difícil andar contra el viento
9	75 - 88	Viento muy duro	Pequeños daños en casas y chimeneas
10	89 - 102	Temporal	Árboles arrancados de raíz
11	103 - 117	Borrasca	Daños grandes en edificios
12	< 118	Huracán	Voladura de árboles, casas y personas

Para la parcela de estudio (tabla 1.6), el número de Beaufort es para la velocidad media del viento entre 1 y 2, es decir, brisa muy débil. Para las rachas máximas, el número está en torno a 5 y 6, que indica brisa fresca y fuerte. Por tanto, las rachas fuertes en los meses de enero hasta mayo, podría causar problemas con la rotura del material vegetal más grueso. Una opción sería pantallas vegetales que corten el viento, y a su vez sean un reservorio natural.

Tabla 1.6. Números de Beaufort para rachas máximas y velocidades medias extraído de los datos de la estación meteorológica de Requena.

Mes	Nº Beaufort para Rachas máximas	Nº Beaufort para velocidades medias
Enero	6	2
Febrero	6	2
Marzo	6	2
Abril	6	2
Mayo	6	2
Junio	5	2
Julio	5	2
Agosto	5	1
Septiembre	5	1
Octubre	5	1
Noviembre	5	1
Diciembre	5	1
Anual	5	1



1.6. Radiación y horas de luz

Un factor climático que determina la evapotranspiración (ET) de un cultivo es la radiación. La radiación se fragmenta en varios tipos, pero en líneas generales, será aquella que aportará la energía mediante ondas electromagnéticas al agua, para realizar la evaporación (FAO, 2006).

Las horas luz determinará una actividad adecuada de la fotosíntesis. Esto se reflejará en el rendimiento de la planta, tanto en la producción de biomasa como el mantenimiento vital de la planta (Azcón-Bieto y Talón, 2001).

Los meses con mayor horas luz serán en el periodo estival, siendo desde junio hasta agosto. En el periodo invernal (de noviembre hasta febrero) las horas de luz serán menores (tabla 1.7.), no obstante, el cerezo estará en latencia invernal.

Tabla 1.7. Valores de la radiación y horas de luz en la estación meteorológica de Requena.

Meses	Radiación (MJ/m ² *dia)	Horas de sol (h)	Radiación (cal/cm ² *dia)
Enero	8,82	6,92	210,61
febrero	11,64	7,80	277,97
Marzo	16,67	9,20	398,25
Abril	19,70	10,30	470,57
Mayo	25,24	11,76	602,85
Junio	27,36	12,31	653,44
Julio	27,58	12,42	658,62
Agosto	23,53	11,20	562,00
Septiembre	18,21	9,88	434,94
Octubre	13,18	8,44	314,88
Noviembre	8,93	6,92	213,37
Diciembre	7,68	6,41	183,35
Anual	17,38	113,54	415,07

1.7. Días de lluvia y nublado/rocío

Se utilizarán los datos meteorológicos de la estación de Albacete base aérea. Se ha seleccionado dicha estación por poseer la misma altitud que Chera, y unas condiciones climáticas similares (tabla 1.8).



Tabla 1.8. Datos extraídos de la estación meteorológica de Albacete base aérea. (Fuente: AEMET).

Meses	Días con precipitaciones	Días de niebla/rocío
Enero	4,1	6,2
febrero	4,6	4,0
Marzo	4,7	2,3
Abril	5,9	1,2
Mayo	6,0	0,8
Junio	3,4	0,6
Julio	1,0	0,2
Agosto	1,5	0,7
Septiembre	3,7	2,2
Octubre	5,3	4,0
Noviembre	5,1	4,2
Diciembre	5,2	6,3
Anual	50,5	32,7

Por tanto, el mes con mayores días de rocío/niebla será diciembre seguido de enero, noviembre y febrero. Los meses con mayores días de precipitación se encuentran en primavera, siendo mayo el que mayor seguido de abril y octubre (otoño).

2. Clasificación climática

La clasificación del clima es muy importante para determinar qué tipo de vegetación puede habitar las condiciones características. Se utilizan varios factores, desde la precipitación y temperatura, hasta las plantas y su fisiología en zonas determinadas (Thornthwaite y Kenneth, 1955).

2.1. Factores de pluviosidad de Lang

La expresión empleada para obtener este factor es la ecuación de Lang para determinar zonas climáticas:

$$IL = P/T$$

Donde:

-**P**: Precipitación media anual en mm

-**T**: Temperatura media anual en °C

Aplicando los datos (tabla 2.1. y 2.2.) se obtiene:



$$IL = 407,9/14,76 = 27,64$$

Por tanto, teniendo en cuenta la tabla 1.9. de zonas climáticas, la parcela de estudio posee una **zona climática árida**.

Tabla 1.9. Índice de Lang para determinar una zona climática.

Índice de Lang	Zonas climáticas
0<IL<20	Desierto
20<IL<40	Zona árida
40<IL<60	Zona húmeda de estepa y sabana
60<IL<100	Zona húmeda de bosques ralos
100<IL<160	Zona húmeda de bosques densos
IL > 160	Zona hipehúmeda de prados y tundras

2.2. Índice de aridez de Martonne

La expresión empleada para obtener este factor es la ecuación de Martonne para determinar la aridez de una zona:

$$Lm = P/((T + 10))$$

Donde:

-P: Precipitación media anual en mm

-T: Temperatura media anual en °C

Aplicando nlos datos (tabla 2.1. y 2.2.) se obtiene:

$$Lm = 407,9mm/((14,76 °C + 10)) = 16,47$$

Por tanto, teniendo en cuenta la tabla 1.10. de zonas climáticas según Martonne, la parcela de estudio posee una **zona climática de países secos mediterráneos**.

Tabla 1.10. índice de Martonne para cada zona climática.

Índice de Martonne	Zonas climáticas
0<Im<5	Desierto
5<Im<15	Zona árida. Semidesierto
15<Im<20	Países secos mediterráneos
20<Im<30	Subhúmedo
30<Im<60	Húmedo
Im>60	Perhúmedo



2.3. Índice termopluviométrico de Dantin-Revenga

Este índice termopluviométrico de Dantin-Revenga se obtiene a partir de:

$$ID - R = 100T/P$$

Donde:

-P: Precipitación media anual en mm

-T: Temperatura media anual en °C

Aplicando los datos (tabla 2.1. y 2.2.) se obtiene:

$$ID - R = (100 * 14,76mm)/(407,9 °C) = 3,62$$

Por tanto, teniendo en cuenta la tabla 1.11. de índice termopluviométrico de Dantin-Revenga, la parcela de estudio posee una **zona climática árida**.

Tabla 1.11. Índice termopluviométrico de Dantin-Revenga.

Índice de Dantin-Revenga	Zonas climáticas
0 a 2	Zona húmeda
2 a 3	Zona semiárida
3 a 6	Zona árida
>6	Zona subdesértica y desértica

2.4. Clasificación climática de Thornthwaite

Para poder establecer a qué grupo pertenece esta zona, inicialmente se necesita calcular la evapotranspiración (ET). La fórmula para calcular la evapotranspiración sin ajustar es:

$$e = 16 * \left(\frac{10 * t_m}{I}\right)^a$$

Donde:

- t_m : Temperatura media mensual

-I: Índice térmico de la zona

$$I = \sum_1^{12} i_i$$

Para obtener i_i , se tiene la expresión:

$$i = \left(\frac{t_m}{5}\right)^{1,514}$$



Por último, se tiene el valor a , que se calcula con la fórmula;

$$a = 0,675I^3 * 10^{-6} - 0,771I^2 * 10^{-4} + 0,01792I + 0,49239$$

Para obtener la evapotranspiración corregida (tabla 1.12) se tiene que multiplicar por un factor de corrección que depende de la latitud de la zona. Con esto, se verá la diferencia entre los meses y se obtendrá la ET final bien hecha.

Tabla 1.12. Evapotranspiración de la zona de Requena corregida.

Mes	t_m (°C)	i	a	e	corrección	ET(mm)
enero	6,25	1,40	1,54	14,48	0,85	12,31
febrero	7,03	1,68	1,54	17,36	0,84	14,58
marzo	10,30	2,99	1,54	31,32	1,03	32,26
abril	12,33	3,92	1,54	41,35	1,11	45,90
mayo	16,97	6,36	1,54	67,72	1,23	83,30
junio	21,69	9,22	1,54	98,94	1,24	122,68
julio	25,04	11,46	1,54	123,51	1,26	155,63
agosto	24,12	10,83	1,54	116,57	1,18	137,56
septiembre	20,30	8,34	1,54	89,32	1,04	92,89
octubre	16,07	5,86	1,54	62,26	0,96	59,77
noviembre	9,87	2,80	1,54	29,32	0,84	24,63
diciembre	7,42	1,82	1,54	18,87	0,82	15,47
Anual	-	66,68	-	-	-	796,98

A continuación, se calculará la reserva de humedad del suelo para cada uno de los meses. Para poder calcular la reserva del suelo para cada mes, se supone que previamente en el mes de enero había una reserva de 50 mm. Considerando que la reserva se agota cuando se llega a 0 mm, mientras que se llega a su máximo cuando ésta alcanza 100 mm.

La variación en la reserva se deberá a la diferencia entre precipitaciones y evapotranspiración potencial (P-ET). Aquí se tienen dos supuestos:

- **P-ET>0:** Incrementa la cantidad de agua de reservas en el suelo en igual cantidad al valor de P-ET.
- **P-ET<0:** La reserva se reduce siguiendo la siguiente fórmula:

$$R_N = R_{N-1} * e^{\frac{P-ET}{100}}$$

Siendo R_N la reserva para el mes en cuestión, mientras que R_{N-1} es la reserva del mes anterior.

Posteriormente se pasa a calcular la evapotranspiración actual o real. Para obtenerla, existen dos casos:



- En aquellos meses en que $P+R_{N-1} > ET \rightarrow ETA = ET$
- En aquellos meses que $P+R_{N+1} < ET \rightarrow ET = P+R$

Por último, para poder determinar la clasificación climática es necesario conocer en qué meses ha habido exceso de agua y en cuáles ha habido carencia:

- En aquellos meses en los que $ETA < ET$, se calcula la falta de agua como;

$$F_i = ET_i - ETA_i$$

- En los meses que se acumula agua en el suelo, cuando ésta llega a 100 mm se produce un exceso de humedad.

Con toda la información anterior, se procede a calcular los valores pertinentes (tabla 1.13).

Tabla 1.13. Tabla de valores de falta y exceso de agua para determinar la zona climática.

Mes	ET	P	P-ET	Rn	Var Rn	P+Rn-1	ETA	Falta	Exceso
enero	13,03	29,42	16,39	16,39	-33,61	79,42	13,03	0,00	0,00
febrero	13,89	22,36	8,47	8,47	-7,92	38,75	13,89	0,00	0,00
marzo	31,32	56,30	24,98	24,98	16,51	64,77	31,32	0,00	0,00
abril	45,49	51,72	6,23	6,23	-18,75	76,70	45,49	0,00	0,00
mayo	81,27	45,44	-35,83	4,36	-1,88	51,67	51,67	29,60	0,00
junio	118,73	22,03	-96,70	1,66	-2,70	26,39	26,39	92,34	0,00
julio	160,57	9,27	-151,30	0,36	-1,29	10,93	10,93	149,64	0,00
agosto	139,89	21,07	-118,82	0,11	-0,25	21,43	21,43	118,45	0,00
septiembre	89,32	38,63	-50,69	0,07	-0,04	38,74	38,74	50,58	0,00
octubre	62,26	28,83	-33,43	0,05	-0,02	28,90	28,90	33,36	0,00
noviembre	23,46	59,83	36,37	36,37	36,32	59,88	23,46	0,00	0,00
diciembre	15,10	22,28	7,18	7,18	-29,19	58,65	15,10	0,00	0,00
TOTAL	794,31	407,18						473,97	0,00

A continuación, se calculan los cuatro índices que clasifican el clima según Thornthwaite.

- **Índice de humedad**

$$I_m = I_H - 0,6 * I_A = \frac{Exceso}{ET} * 100 - 0,6 \left(\frac{Falta}{ET} * 100 \right) = \frac{0}{794,31} - 0,6 \left(\frac{473,97}{794,31} * 100 \right) = -35,80$$

Como estaría entre el intervalo entre $-20 > I_m > -40$, sería un **clima semiárido D**.

- **Variación estacional de la humedad efectiva**

Como se trata de un clima seco, la clasificación se obtiene a partir de I_H . Siendo $I_H=0$, correspondiendo **d (Pequeño o ningún exceso de agua)**.

- **Índice de eficacia térmica**

El valor de ET total es de 794,31. Esto lo enclava en el **grupo del B'2 (Segundo mesotérmico)**.

- **Concentración de la eficacia térmica en verano**



Para obtener el valor se recurre al porcentaje que representa la ET en la época de mayor escasez de agua (junio, Julio y agosto) con respecto a la ET total.

$$ET_{Verano} = \frac{ET_{Junio+Julio+Agosto}}{ET} * 100 = \frac{419,19}{794,31} * 100 = 52,77$$

Este corresponde al **grupo entre el 52 y el 59,3%, es decir b'3.**

En conclusión, la **fórmula de Thornthwaite** para esta zona es;

$$D \text{ d } B'_2 \text{ b}'_3$$

2.5. Clasificación bioclimática UNESCO-FAO

Para el cálculo de esta clasificación se tienen en cuenta las temperaturas medias, precipitaciones y número de días de lluvia, niebla y rocío, y humedad relativa.

- Con respecto a la temperatura media anual mensual se distinguen tres grupos (tabla 1.14)

Tabla 1.14. Clasificación UNESCO-FAO clima.

Grupo 1	T > 0 °C
Grupo 2	Algunos meses del año T < 0°C
Grupo 3	Todos los meses del año T < 0°C

Dentro del grupo 1, según la temperatura media del mes más frío (6,25 °C), se subdivide en (tabla 1.15).

Tabla 1.15. Clasificación climática UNESCO-FAO.

Tf > 15 °C	Clima cálido
15 °C > Tf > 10 °C	Clima templado cálido
10 °C > Tf > 0 °C	Clima templado medio
0 °C > Tf > -5 °C	Clima templado frío
Tf > -5 °C	Clima frío

Según la temperatura media de las mínimas del mes más frío, se pueden fijar umbrales para caracterizar al invierno (tabla 1.16).

Tabla 1.16. Clasificación del invierno según UNESCO-FAO.

t _m ≥ 11 °C	Sin invierno
11 °C > t _m ≥ 7 °C	Invierno cálido
7 °C > t _m ≥ 3 °C	Invierno suave
3 °C > t_m ≥ -1 °C	Invierno moderado
-1 °C > t _m ≥ -5 °C	Invierno frío
-5 °C < t _m	Invierno muy frío



Por tanto, en la zona de estudio habrá un invierno moderado con clima templado medio.

- Para la determinación de los meses más secos se empleará un diagrama ombrotérmico, el cual representa a la vez temperatura y precipitaciones (figura 1.2). Si la curva ómbrica está por debajo de la térmica, el área comprendida entre ambas indicará la duración del periodo de sequía.

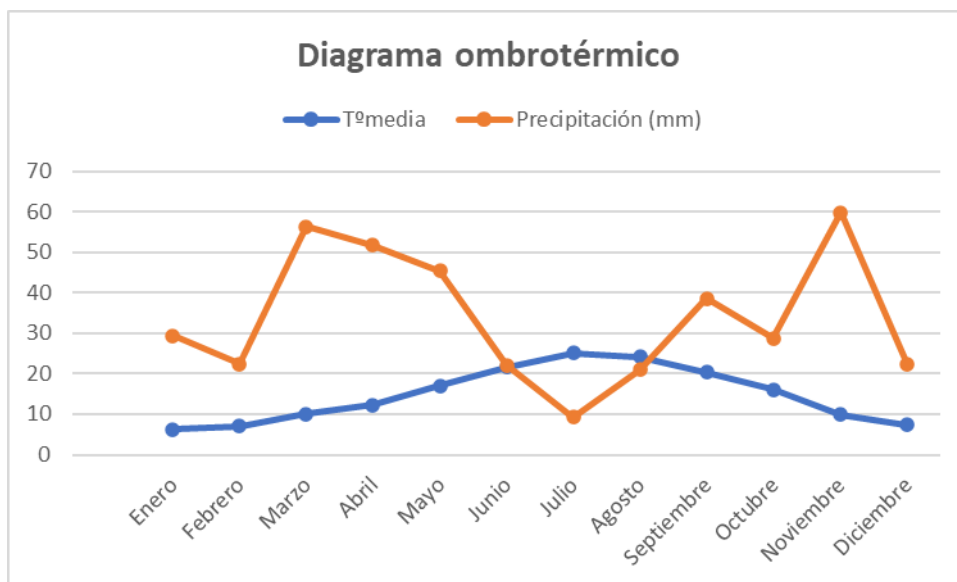


Figura 1.2. Diagrama ombrotérmico de Requena (Valencia).

En este caso se puede observar que el periodo seco está entre los meses de junio a agosto. No obstante, cabe recalcar que el mes de junio está al límite de no considerarse un mes seco (por pocas décimas). Se clasificará como Xéricos mediterráneo (tabla 1.17).

Tabla 1.17. Clasificación del clima de la aridez de Requena (Fuente: FAO, 1955)

Xéricos	Áridos	Periodo seco mayor de 9 meses
	Mediterráneo	Periodo seco de 1 a 8 meses. Coincide con la estación de días más largos
	Tropical	Periodo seco de 1 a 8 meses. Coincide con la estación de días más cortos
Bixérico	Periodo seco de 1 a 8 meses, sumando dos periodos diferenciados de sequía	
Axérico	Ningún mes seco	

- Por último y no menos importante, se determinará el índice xerotérmico, que viene dado por la fórmula:

$$X_m = \left[N - \left(n + \frac{b}{2} \right) \right] * k$$

Donde:

- X_m : Índice xerotérmico mensual.
- N : Número de días del mes



- **N:** Número de días de lluvia
- **B:** Número de días de rocío/niebla.
- **K:** Coeficiente dependiente de la humedad relativa del aire (tabla 1.18).

Tabla 1.18. Valor de K dependiendo de la humedad relativa.

Humedad relativa (%)	K
40 < HR	1,0
40 <= HR < 60	0,9
60 <= HR < 80	0,8
80 <= HR < 90	0,7
90 <= HR < 100	0,6
HR=100	0,5

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 1.19.

Tabla 1.19. Valores del índice xerotérmico mensual.

Mes	Tºmedia	Tº media de las mínimas	Precipitación (mm)	Humedad relativa media (%)	K	N	n	b	Xi
Enero	6,25	0,98	29,42	71,32	0,80	31,00	6,0	0,6	19,76
Febrero	7,03	1,87	22,36	67,72	0,80	28,00	5,7	1,3	17,32
Marzo	10,03	4,03	56,30	61,35	0,80	31,00	5,4	0,8	20,16
Abril	12,33	6,49	51,72	63,70	0,80	30,00	7,2	0,4	18,08
Mayo	16,97	9,79	45,44	56,71	0,90	31,00	6,9	0,3	21,555
Junio	21,69	13,38	22,03	52,64	0,90	30,00	4,2	0,2	23,13
Julio	25,04	16,39	9,27	52,17	0,90	31,00	2,2	0,1	25,875
Agosto	24,12	16,57	21,07	60,68	0,80	31,00	3,6	0,1	21,88
Septiembre	20,30	13,60	38,63	67,53	0,80	30,00	6,5	0,1	18,76
Octubre	16,07	10,03	28,83	71,09	0,80	31,00	7,1	0,4	18,96
Noviembre	9,87	4,94	59,83	74,26	0,80	30,00	6,3	0,1	18,92
Diciembre	7,42	2,65	22,28	77,35	0,80	31,00	7,3	0,6	18,72
Anual	14,76		407,19						243,12

Siendo el índice xerotérmico anual $X=243,12$ (Siendo $250 < X < 200$), se concluye que esta zona es de subtipo **climático subdesértico atenuado**.

En resumen, la zona de estudio (Chera) tiene un clima templado medio con inviernos moderados. En cuanto a aridez es de tipo xérico mediterráneo subtipo subdesértico atenuado.



Bibliografía

- Agustí, M. (2010). "Exigencias térmicas" en Fruticultura. Mundiprensa. Madrid: 110-115.
- Azcón-Bieto, J, Talón M. (2001). Fundamentos de fisiología vegetal. Madrid: McGraw-Hill/Interamerica. Universidad de Barcelona. 522 pp.
- FAO. (2006). Anuario. "Radiación" en Evapotranspiración del cultivo - Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Boletín 56. F.A.O. Roma, Italia. P41-45.
- FAO. (1955). Anuario. La clasificación climatológica en dasonomía. Vol. 9. No.2. F.A.O. Roma, Italia.
- Olsen, J.E. (2010) Light and temperature sensing and signaling in induction of bud dormancy in 670 woody plants. *Plant Molecular Biology* 73: 37–47.
- Papadakis, J. (1966). *Climates of the world and their agricultural potentialities*. Buenos Aires.
- Pearce, R.S. (2001). Plant freezing and damage. *Annals of Botany*, 87(4): 417-424.
- Thorntwaite, C.W., Kenneth, M.F. (1955). Climatic classification in forestry. *Unasylva*, 9: 51-59.
- Weinberger, J. (1950) Chilling requirements of peach varieties. *Proceedings of the American Society of Horticultural Science* 56, 122-128.
- Wenden B., Campoy J., Jensen M., López-Ortega G. (2017) Climatic Limiting Factors: 715 Temperature. In: Quero-García J, Iezzoni A, Pulawska J, Lang G, eds. *Cherries: Botany, Production 716 and Uses*. CABI Publishing, 166–188.

Anejo 2. Edafología



Pablo González Planells

Grado en ingeniería Agroalimentaria y medio natural



Introducción	3
1. Propiedades Físicas	3
1.1. Textura	3
1.2. Densidad Aparente	5
1.3. Capacidad de campo, punto de marchitez y agua útil	6
2. Propiedades Químicas del suelo	6
2.1. El pH del suelo	7
2.2. Conductividad eléctrica (CE)	8
2.3. Carbonatos cálcicos y caliza activa	8
2.4. La materia orgánica del suelo	10
2.5. Relación C/N	11
2.6. Actividad enzimática del suelo (AE)	12
2.7. Capacidad de Intercambio catiónico (CIC)	13
2.8. Composición mineral	14
2.8.1 Interpretación de calcio en el suelo	14
2.8.2. Interpretación del magnesio en suelo	15
2.8.3. Interpretación del potasio en suelo	15
2.8.4. Interpretación del fósforo soluble en suelo	16
2.8.5. Interpretación del sodio en el suelo	17
2.8.6 Relación de absorción de sodio y porcentaje de sodio intercambiable	17
3. Bibliografía	18



Introducción

Se han realizado análisis de suelo específicos de la parcela para la determinación de ciertos valores de gran interés agronómico tal como la textura, pH, elementos minerales o la caliza activa.

El muestreo fue aleatorio escogiendo entre 4 a 6 puntos diferentes de la parcela. Como la parcela no presenta una gran diferencia, no fue necesario la división por cuadrantes. El instrumento utilizado para la extracción del material fue una pala agrícola, en buenas condiciones ya que un instrumento oxidado o mal conservado puede contaminar la muestra generando falseados. Tras la obtención de la muestra, se homogenizó y se cuarteó sucesivamente para obtener la cantidad suficiente para llevarla al laboratorio. La profundidad fue de 10 a 30 cm aproximadamente, donde se extrajeron las muestras (Saña *et al.*, 1996).

Un gran número de autores (Hauser, 1980; Balland, 1984; Decroux, 1985; Gómez *et al.*, 1986; Guigou *et al.*, 1989; Soltner, 1990 y Diab, 1991 citados en Saña *et al.*, 1996) recomiendan obtener entre 12-20 submuestras para completar la muestra del suelo a analizar y así reducir el error, no obstante, al ser una parcela pequeña no es necesario tantas repeticiones para verificar los resultados. Finalmente, la muestra se conservará en un recipiente estéril (normalmente envases de plástico esterilizado) para su adecuado transporte hasta el laboratorio. Se conservará en la nevera (4 °C) para el análisis de la actividad enzimática.

Según el proyecto LUCDEME de la GVA (1995) el suelo de estudio es un **fluvisol**. Los fluvisoles se caracterizan por tener pH ligeramente básicos, buena permeabilidad como aireación, valores bajos de intercambio catiónico (CIC) y con contenidos de moderados a altos de carbonato cálcico total. Son originados por zonas de influencia del agua. El contenido de materia orgánica es bajo a medida que se profundiza, siendo de 2% en las capas superficiales (125 cm).

1. Propiedades Físicas

1.1. Textura

Según Villalobos y Ferreres (2017) la textura de suelo se define como la descripción de la distribución del tamaño de las partículas minerales que componen la fracción sólida del suelo (arcillas <2 micras a partículas mayores de 2000 micras como las arenas). Todo ello, ofrecerá información en cuanto al comportamiento físico (infiltración...) como al químico (CIC...).

La textura se realiza en campo, pero la **granulometría** en laboratorio. Siguiendo los criterios de la USDA en la determinación de las fracciones del suelo. Para determinar la granulometría



del suelo se deben precisar las partículas del suelo individualizadas. Con la eliminación de la materia orgánica del suelo con peróxido de hidrógeno para deshacer los microagregados. Se disgregan las partículas de arcilla, y las más gruesas se tamizan en húmedo.

Para la determinación del porcentaje de arcillas y limo se introduce la suspensión dispersa en una probeta de sedimentación (Ley de Stokes). Se agita y las partículas empezarán a sedimentar a una velocidad determinada, dejando posteriormente un tiempo en reposo (t_1). Se vuelve a remover y se deja reposar un tiempo (t_2), se pipetea otra alícuota para determinar las arcillas. K es una constante de proporcionalidad (Porta *et al.*, 2019).

$$V = K * r^2$$

Todo esto estará regido por el método de la pipeta y el método del densímetro. Los resultados se expresan en porcentaje (tabla 1.1.).

Tabla 1.1. Fracciones del suelo de estudio.

Composición de texturas		
Arena	38	%
Limo	42	%
Arcilla	20	%

Con estos porcentajes de cada fracción textural, se determina la textura del suelo mediante el triángulo de texturas (figura 1.1.) para la clasificación de texturas (USDA, 2014):

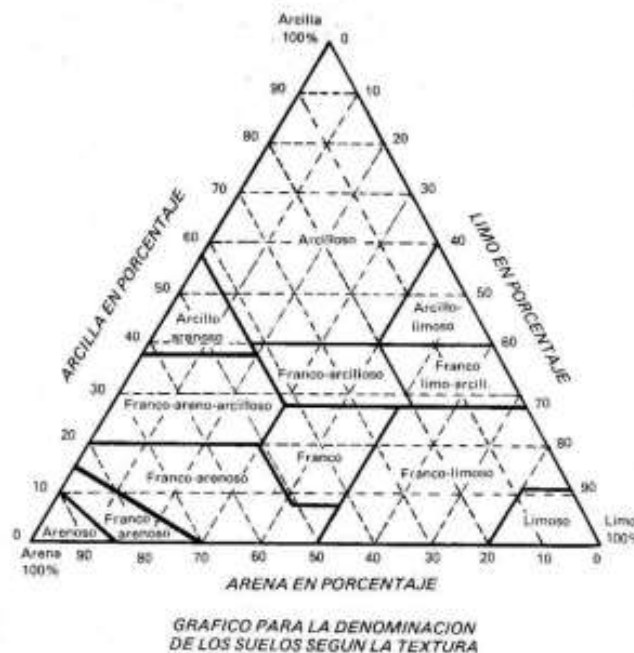


Figura 1.1. Triángulo de texturas del suelo (Fuente: USDA, 2014)



Atendiendo al triángulo de texturas y a las proporciones de las determinadas fracciones, el suelo tiene como **textura Franca**.

1.2. Densidad Aparente

Mediante la organización de las partículas, generarán una unidad mayor llamada agregados. La disposición de dichas partículas generará una porosidad (medio poroso) que se determinará la densidad aparente. La densidad aparente es la masa de sólidos respecto al volumen total inalterado que ocupan (V_T) (Porta *et al.*, 2019).

$$\rho_b = \frac{M_s}{V_T}$$

En caso de no disponer de los datos se puede emplear la aproximación por clase textural (tabla 1.2.).

Tabla 1.2. Tabla de los valores de la densidad aparente (d_a) respecto la textura del suelo
(Fuente: USDA, 2014)

Clases texturales	d_a (g/cm ³)
Arena	1,7-1,8
Arena Gruesa	1,60-1,70
Arena y arena fina	1,55-1,65
Arena muy fina	1,55-1,65
Arena franca	1,60-1,70
Arena franca gruesa	1,55-1,65
Arena franca, Arena franca fina	1,55-1,60
Arena franca muy fina	1,55-1,60
Franco arenosa	1,55-1,60
Franco arenosa grues y franco arenosa fina	1,50-1,60
Franco arenosa muy fina	1,45-1,55
Franca y franco limosa	1,45-1,55
Limo	1,40-1,50
Franco arcillosa	1,40-1,50
Franco arcillo arenosa y franco arcillo limosa	1,45-1,55
Arcilla arenosa	1,35-1,45
Arcilla limosa	1,40-1,50
Arcilla (35-50%)	1,35-1,45
Arcilla (50-65%)	1,25-1,35

Para el caso concreto del suelo en estudio se determina que es, aproximadamente, entre los valores de 1,55 y 1,60 g/cm³ la densidad aparente. **Como valor medio de la densidad aparente se determinará 1,58 g/cm³.**



1.3. Capacidad de campo, punto de marchitez y agua útil

Según Pascual España (2018) la capacidad de campo (CC) es el máximo contenido de agua que puede retener un suelo en condiciones de libre drenaje, y se alcanza entre 24 y 72 h después de haberse concluido el riego. El punto de marchitez (PM) es el contenido del agua en el cual la planta no se recuperará, aunque se vuelva a humedecer el suelo, es decir, el poco contenido de agua en los poros del suelo no estará disponible por cuestiones físicas. El agua disponible para las plantas estará comprendida entre los dos límites (AU).

Para determinar los valores de CC y PM se calculará a partir de los % de cada fracción y unos coeficientes:

$$CC(\% \text{ en peso}) = 0,48 * \%arcillas + 0,126 * \%Limo + 0,023 * \%arenas + 2,62$$

$$PM (\% \text{ en peso}) = 0,302 \cdot \%arcilla + 0,102 \cdot \%limo + 0,0147 \cdot \%arena$$

Teniendo en cuenta esto:

$$CC (\% \text{ en peso}) = 0,48*20 + 0,126*42 + 0,023*38 + 2,62=18,39\% \text{ en peso}$$

$$PM (\% \text{ en peso}) = 0,302*20 + 0,102*42 + 0,0147*38= 10,89\% \text{ en peso}$$

El porcentaje en peso indica la cantidad de agua en gramos por cada 100 gramos de suelo seco. Obteniendo esto se calcula el agua útil (AU) aprovechable por la planta entre 10 a 30 cm de profundidad (tabla 1.3)

$$AU = CC - PM = 18,39 - 10,89 = 7,51\% \text{ en peso}$$

Tabla 1.3. Valores del agua útil, capacidad de campo y punto de marchitamiento

	0-30cm
Arcilla (%)	20
Limo (%)	42
Arena (%)	38
CC (%)	18,39
PM (%)	10,88
AU (%)	7,50

2. Propiedades Químicas del suelo

La Química del suelo se encarga de las reacciones químicas que ocurren en el suelo, los componentes químicos y fisicoquímicos. Otros aspectos tal como la meteorización, la edafogénesis, la nutrición de las plantas, la contaminación y la respuesta del suelo (Porta *et al.*,



2019). En este apartado se abordan aspectos como el pH, conductividad eléctrica, contenido en materia orgánica, carbonatos cálcicos y caliza activa, CIC o ciertos elementos minerales.

2.1. El pH del suelo

La reacción del suelo viene expresada por el pH, que es un factor importante en el estudio de la viabilidad de ciertas plantas, la meteorización, humificación, movilidad de ciertos elementos minerales... (Navarro-García y Navarro-García, 2013).

Los valores del pH actual y potencial, medio en la profundidad de 10-30 cm se muestra en la tabla 1.4.

Tabla 1.4. Valores del pH actual (izquierda) y pH potencial (derecha) del campo de estudio.

pH(H ₂ O)	Ph(KCl)
8,66	7,78

Según el criterio de la USDA se trata de un suelo **ligeramente básico** (tabla 1.5.), y por el criterio francés es un **suelo básico** (tabla 1.6).

Tabla 1.5. Interpretación del pH según los criterios USDA (Porta *et al.*, 2019).

Valor del Ph	Calificación
pH<4,5	Extremadamente ácido
4,5<pH<5,0	muy fuertemente ácido
5,0<pH<5,5	Fuertemente ácido
5,5<pH<6,0	Medianamente ácido
6,0<pH<6,6	Ligeramente ácido
6,6<pH<7,3	Neutro
7,3<pH<7,8	Medianamente básico
7,8<pH<8,5	Moderadamente básico
8,5<pH<9,0	Ligeramente básico
9,0<pH<10	Alcalino
10<pH	Fuertemente alcalino

Tabla 1.6. Escala simplificada de interpretación del pH (KCl) según el criterio francés (Quéméner, 1985).

Valor del Ph	Calificación
pH<5,0	Fuertemente ácido
5,0<pH<6,0	Francamente ácido
6,0<pH<6,6	Ligeramente ácido
6,6<pH<7,3	Neutro
7,3<pH<7,7	Ligeramente básico
7,7<pH	Básico



Los valores obtenidos son coherentes con los suelos mediterráneos, caracterizándose por cierta insolubilidad de elementos minerales tal como el zinc y el hierro.

2.2. Conductividad eléctrica (CE)

La salinización, en sentido amplio, se produce por la presencia de sales en el suelo, que por falta de lavado, se va acumulando progresivamente en la capa superficial. Este fenómeno generará dificultades a las plantas para hidratarse convenientemente debido al aumento de la presión osmótica en el suelo o sustrato (Navarro-García y Navarro-García, 2013).

La conductividad eléctrica (CE) es un factor de la salinización, expresándose los valores en como dS/m a 25 °C (o $\mu\text{S/cm}$).

La salinidad puede ser causado por condiciones ambientales y naturales tal como la aproximación al mar o bien por condiciones antrópicas, como mala gestión del agua de riego, etc. El suelo de la parcela presenta una $CE_{es} = 0,169 \text{ dS/m}$ o $169,03 \mu\text{S/cm}$, por lo que según Porta *et al.* (2019) se trata de un suelo **no salino** (tabla 1.7).

Tabla 1.7. Clasificación de suelos salinos respecto a la conductividad eléctrica en dS/m a 25 °C.

CE(dS/m)	Clasificación
0-2	No salino
2-4	Ligeramente salino
4-8	salino
8-16	Muy Salino

2.3. Carbonatos cálcicos y caliza activa

Según la FAO (sf) el carbonato de calcio es una sal poco soluble que se encuentra naturalmente en varias formas y en varios grados de concentración en el suelo. Su presencia juega un papel fundamental en la estructura del suelo si se encuentra en concentraciones moderadas. Se utiliza como enmienda para neutralizar el pH de suelos ácidos y para suministrar el nivel de calcio para la nutrición de las plantas. Sin embargo, puede resultar problemático si su concentración llega a exceder la capacidad de adsorción en el suelo formando complejos insolubles con otros elementos. Estos componentes son difíciles de asimilar por las plantas llevando a su acumulación. Cantidades excesivas de calcio puede por ello restringir la disponibilidad de fósforo, boro y hierro para las plantas.

Es interesante conocer el contenido de carbonatos, ya que estos afectan de manera directa o indirecta a la estructura, actividad biológica, capacidad de almacenamiento de nutrientes y su asimilación en los suelos. Los beneficios de una cantidad adecuada de carbonatos son una buena



estructura en el suelo, pH óptimos para el crecimiento microbiano, mayor desplazamiento de ciertos cationes evita acidificación.

El valor de carbonatos a la superficie entre 10 a 30 cm es de **37,89% de CaCO₃**. En cuanto a la **caliza activa fue de 1,65%** (tabla 1.8).

Tabla 1.8. Datos obtenidos de caliza activa (%) y carbonatos (%).

Carbonatos totales (%CEE)	37,89
Caliza Activa (%)	1,64

La caliza activa genera problemas en ciertos cultivos por la insolubilización de ciertos elementos. Al estar el Ca²⁺ y el Mg²⁺ en la fase intercambiable generará reacciones con elementos importantes para la síntesis de biomasa de las plantas. Esto a altos niveles provocarán carencias que llevarán a reducir los rendimientos, siendo muchos de ellos inviables económicamente. No existe un umbral para el análisis de caliza activa a partir de un % determinado de carbonatos, pero según Porta *et al.* (2019), se recomienda realizarlo a partir de 5-10% de carbonatos totales. Es interesante observar una correlación entre la cantidad de carbonatos totales con la caliza activa, siendo una relación lineal con pendiente positiva. A mayor cantidad de carbonatos, mayor será la cantidad de caliza activa (Saña *et al.*, 1996).

Atendiendo a las tablas 1.9. y 1.10., el suelo de estudio tiene un alto contenido de carbonatos totales y bajo contenido de caliza activa (Yanez, 1989). Si se referenciara al INRA, el suelo sería muy calcáreo, no obstante, se procederá a la interpretación a partir de la escala típica en España.

Tablas 1.9. Algunas escalas de clasificación de carbonatos (Saña *et al.*, 1996).

Escala típica en España (Yanez, 1989)		Escala de INRA francés (Gagnard et al., 1988)	
Carbonatos totales (%CEE)	Clasificación	Carbonatos totales (%CEE)	Clasificación
<5	Muy Bajo	<2	No Calcáreo
5-10	Bajo	2-10	Poco Calcáreo
10-20	Normal	10-25	Calcáreo
20-40	Alto	>25	Muy calcáreos
>40	Muy Alto		



Escala típica en Suiza (Spring et al., 1993)	
Carbonatos totales (%CEE)	Clasificación
<25	Poco Calcáreo
25-40	Calcáreo
>40	Muy Calcáreo

Tabla 1.10. Normas de diagnóstico de caliza activa (Saña *et al.*, 1996).

Caliza activa (%CEE)	
<6	Bajo (Sin problemas)
6-9	Medio (Puede surgir algún problema nutritivo en plantas sensibles)
>9	Alto (Problemas nutritivos graves, en particular en especies arbóreas)

Se puede concluir que la plantación de cerezos no tendrá, en principio, problemas con la insolubilidad de elementos minerales tal como el hierro y zinc, por su contenido en carbonatos. Sin embargo, en la práctica se observó en ciertas zonas carencia de Zn, en la gran mayoría de las plantas, en el primer año de su implantación, una carencia generalizada de hierro.

2.4. La materia orgánica del suelo

La materia orgánica (MO) de los suelos agrícolas proviene de los residuos vegetales (cultivo), de las excreciones metabólicas de éstos y de los abonos orgánicos (purines, estiércoles...) que se aportan. Dicha materia orgánica está en un estado fresco del cual tiene que pasar ciertos procesos químicos para transformarse en materia orgánica estable o humus. Dichos procesos son la mineralización y la humificación.

La importancia de la MO en cuanto a las características del suelo es de relevante interés. Mejora tanto las condiciones físicas del suelo (mayor aireación, mejor estructuración...) como químicas (mayor capacidad de intercambio catiónico ayuda a la disponibilidad de ciertos elementos minerales, acidifica levemente el suelo...).

La determinación de la MO se ha realizado durante varios años consecutivos en la misma fecha, observando un incremento de los niveles de la MO, por la descomposición y transformación de los residuos vegetales incorporados al suelo.

El mantenimiento de los valores altos de MO es debido, en parte, a la incorporación y mantenimiento de la cubierta vegetal con la incorporación de los restos. Cabe recalcar que hay zonas con mayor pardeamiento del suelo (síntoma de mayor fracción de MO) que en otros puntos de la parcela. Se desconoce el valor de la MO bajo el plástico antihierba implantado en



el año 2019. El plástico ofrece ciertas ventajas e inconvenientes tanto a la plantación como al suelo y su biodiversidad. Normalmente, el uso de plásticos apelmaza el suelo perjudicando su estructura, y cabe pensar que la MO en esa zona sea menor, ya que no hay una continua incorporación de materia orgánica como en las calles del cultivo.

En conclusión, se observa que el contenido de MO es superior a 2,5% con un suelo de textura Franca, el valor de **la materia orgánica es elevada** (tabla 1.11). Según Spring *et al.* (1993) valores superiores de pH a 8,3 con cualquier textura, generará cierta incertidumbre al valor real de la materia orgánica, es decir, los valores anormalmente altos son debidos a la ralentización de la actividad de la biomasa edáfica. Por tanto, un porcentaje de esa materia orgánica será fresca, sin dotar al suelo de las buenas características deseadas.

Tabla 1.11. Normas de diagnóstico de la materia orgánica en función del grupo textural (Yanez, 1989).

Tipo de suelo			
Diagnostico	Arenoso (<10% Arcillas)	Medio (10-30% Arcilla)	Arcilloso (>30% Arcilla)
	% Materia Orgánica		
Muy Pobre	<1,25	<1,00	<1,50
Pobre	1,25-2,00	1,00-1,75	1,50-2,50
Normal	2,00-3,00	1,75-2,50	2,50-3,50
Alto	3,00-4,00	2,50-3,50	3,50-4,50
Excesivo	>4,00	>3,50	>4,50

2.5. Relación C/N

La relación C/N informa de la tasa a la que el nitrógeno estará a disposición de las plantas y, por ello, se puede utilizar como indicador de calidad de una materia orgánica del suelo en medios aerobios. Valores altos de esta relación ($C/N > 30$) indica que la MO tiene una baja capacidad de descomposición. Normalmente, en suelos de cultivo los valores medios de C/N son de 10 a 14. Con la incorporación de poda puede llegar a 1000 dicha relación. Cuando la relación de C/N es baja, proporcionará nitrógeno al medio (MO pobre en lignina), pero cuando sea alta la relación retendrá el N del suelo (actividad microbiana alta) para realizar la descomposición de la MO (degradar las ligninas, suberinas...) (Porta *et al.*, 2019).

Para el cálculo de la relación C/N se tendrá que calcular el valor del carbono orgánico a partir de la materia orgánica.



Teniendo en cuenta los valores analizados y los criterios de diagnóstico (tabla 1.12), se concluye que el suelo de estudio ha tenido un decrecimiento de la relación C/N por mayor cantidad de nitrógeno total (%). Los valores de 2018 y 2019 son **altos**, es decir, la actividad microbiana será alta consumiendo nitrógeno del suelo, y haciendo que el mismo no sea disponible para la planta. La actividad de la biomasa se encuentra frenada por algún motivo (pH excesivamente alto, conductividad baja o mala estructura del suelo...), la materia orgánica fresca incorporada no se mineralizará ni humificará adecuadamente, y su acumulación provocará que la relación C/N de la materia orgánica total del suelo supere 10 (Saña *et al.*, 1996).

No obstante, una alta relación de C/N no es sinónimo de una mala actividad biomásica. Antes de la transformación, la hierba predominante en el suelo eran gramíneas pratenses, por lo que la relación superior a 10 es normal en esos casos (Quéméner, 1985). Por tanto, el suelo presenta una relación mayor que otros suelos agrícolas por dos motivos, cubierta vegetal constante antes y después de la implantación, y también, por una constante incorporación de los restos de la cubierta que hacen que la relación C/N sea alta durante unos periodos breves del año (Saña *et al.*, 1996).

Tabla 1.12. Escala de interpretación de la relación C/N (Fuente: Saña *et al.*, 1996)

Relación C/N	Calificativo
<10	Correcta
10-12	Ligeramente alta
12-15	Alta
>15	Muy Alta

2.6. Actividad enzimática del suelo (AE)

El suelo es un medio natural, que guarda una gran diversidad, que incluye a hongos, microorganismos y muchos invertebrados distintos (Hinsinger, 2009). Los microorganismos del suelo están estrechamente asociados con las partículas del mismo, principalmente los complejos de arcilla y materia orgánica, y juegan un papel importante en la mineralización de la materia orgánica. Su actividad e interacción con otros microorganismos y organismos más grandes y con las partículas del suelo dependen mucho de las condiciones a nivel de microhábitat que pueden ser distintas entre microhábitats incluso a distancias muy pequeñas (Shukla y Varma, 2010).

La relación entre las raíces de las plantas con el medio físico y los microorganismos es fuerte. Cuanto mayor sea la salud del suelo, mejor será las interrelaciones entre ellos. Se ha visto que la excreción de ácidos orgánicos por parte de las plantas puede estimular la actividad microbiana y por ende las actividades enzimáticas, debido a la liberación de carbono orgánico



de las raíces y a la producción de CO₂ por las raíces y a los microorganismos de la rizósfera. La velocidad de desarrollo de las bacterias del suelo suele ser mucho más rápido en presencia de fuentes carbonadas y nitrogenadas fáciles de descomponer (Effron *et al.*, 2012).

Por tanto, la actividad enzimática es un índice en la salud del suelo-rizosfera, ya que mejora los procesos de mineralización y humificación ayuda a generar ciertos elementos bioquímicos aprovechables por la planta (protección, nutrición, etc.) (Meena *et al.*, 2017; Akhtar *et al.*, 2011).

La tabla 1.13 muestra los valores de diagnóstico y la tabla 1.14 los obtenidos en los tres años de estudio, concluyendo que **los valores del suelo en los años 2018 y 2020 son medios, mientras que en el año 2019 el resultado fue de un valor alto de la actividad enzimática**. En líneas generales, se puede afirmar que el suelo de estudio posee una sanidad en cuanto a riqueza de microorganismos (hongos, bacterias, etc.) que proporcionarán buenas propiedades al suelo como al cultivo.

Tabla 1.13. Criterio de la actividad enzimática en suelos (Meena *et al.*, 2017)

Criterio de actividad enzimática	
µg PNF/g suelo*h incubación	Clasificación
A.E < 100	Baja
100 < A.E < 400	Media
A.E > 400	Alta

2.7. Capacidad de Intercambio catiónico (CIC)

Se define como el conjunto de procesos reversibles mediante los que las partículas coloidales del suelo (adsorbentes), debido a la carga que soportan, retienen los iones (adsorbidos), cationes y aniones, de la disolución del suelo, liberando al mismo tiempo otros iones en cantidades equivalentes a las adsorbidas, estableciendo un equilibrio en ambas fases. En el suelo hay presente muchos cationes tal como H⁺, Na⁺, Mg²⁺, K²⁺, Ca²⁺, también el aluminio y sus formas, así como otros oligoelementos (Navarro-García y Navarro-García, 2013).

El fenómeno de CIC permite que los nutrientes catiónicos que están adsorbidos en forma intercambiable sean reemplazados por otros, saliendo de la disolución para ser absorbidos por las plantas; también que los fertilizantes aportados puedan ser almacenados en el suelo por este fenómeno de intercambio (Navarro-García y Navarro-García, 2013).

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) se define como la cantidad total de cationes adsorbidos en forma intercambiable por unidad de masa (o peso) que retiene el suelo (Porta *et al.*, 2019);



$$CIC (cmol_c/kg) = S * \sigma$$

Donde S es la superficie específica (m^2/g) de la partícula y σ es la densidad de carga (meq/m^2). Las unidades empleadas para definir la CIC son $cmol_c/kg$ y $meq/100g$ ($1 cmol_c/kg = 1 meq/100g$). Diversos factores intervienen notablemente en la dinámica de cambio catiónico del suelo. Entre ellos merece citar (Navarro-García y Navarro-García, 2013);

- Poder de fijación de los cationes de cambio.
- Capacidad de saturación del suelo y naturaleza de los cationes fijados.
- Temperatura.
- Constituyentes coloidales del suelo.

Según el proyecto LUCDEME de la GVA (1995) en este tipo de suelo (Fluvisol) la **capacidad de intercambio catiónico es de 10,00 $cmol_c/kg$ los primeros 30cm.**

2.8. Composición mineral

2.8.1 Interpretación de calcio en el suelo

El calcio es un elemento importante tanto en la estructuración del suelo como para las necesidades biológicas de las plantas. El calcio es un elemento esencial para las plantas, de igual manera que en el suelo siendo su papel de estructurante y ayudar a la asimilación de otros elementos minerales (Agustí, 2010; Navarro-García y Navarro-García, 2013).

Desde el punto de vista edáfico, el calcio representa una gran parte de los elementos del suelo tal como el silicio y el magnesio. En los suelos calizos los porcentajes de calcio son elevados (>25%) siendo el componente más importante los carbonatos (calcita y dolomita). El calcio se puede encontrar de diferentes formas en el suelo, desde orgánico por la MO o retenido por las plantas hasta en el complejo de cambio saturándolo en zonas áridas (poca lixiviación de elementos). Su gran característica en el suelo es la estructuración y aireación del suelo conjunto al magnesio (Navarro-García y Navarro-García, 2013).

Según los valores obtenidos, el suelo de estudio tiene un **contenido normal de calcio** (tabla 1.15.).



Tabla 1.15. Tabla de diagnóstico para clasificar el calcio en suelo.

Tabla de diagnóstico Ca (mEq/100g suelo)	
0-3,5	Muy Bajo
3,51-10,00	Bajo
10,01-14	Normal
14,01-20	Alto
>20	Muy Alto

2.8.2. Interpretación del magnesio en suelo

El magnesio es muy importante para la planta desempeñando un papel característico en la fotosíntesis (Agustí, 2010). Desde el punto de vista edáfico, el magnesio en el suelo tiene carácter estructurante junto al calcio, pero si se encuentra a mayor cantidad puede generar problemas dispersantes de las arcillas, que generará problemas de estructura del suelo. El magnesio se encuentra en formas insolubles por las plantas, con una asimilación lenta. En ciertos momentos esto puede causar carencias a los cultivos. En las regiones áridas se encuentra a mayor insolubilización y en el complejo de cambio (Navarro-García y Navarro-García, 2013; Porta *et al.*, 2019).

Los contenidos en magnesio del suelo estudiado son **bajos** (tabla 1.16.). Esto, en principio, no es ningún impedimento, puesto que el alto contenido de calcio ayudará a la relación Ca/Mg en el suelo para su mejor estructuración, sin generar carencias en las plantas (Ca/Mg>10 provoca carencias en plantas) (Navarro-García y Navarro-García, 2013).

Tabla 1.16. Tabla de diagnóstico para clasificar el magnesio en suelo.

Tabla de diagnóstico Mg (mEq/100g soil)	
0-0,60	Muy Bajo
0,61-1,50	Bajo
1,51-2,50	Normal
2,51-4,00	Alto
>4,00	Muy Alto

2.8.3. Interpretación del potasio en suelo

El potasio es uno de los elementos más importantes en la corteza terrestre. El potasio se considera un elemento mineral de rápida asimilación por las plantas ya que su presencia en el complejo de cambio es muy dinámica. Una gran mayoría (90%) está en forma asimilable y en la disolución del suelo. Altas cantidades de K puede generar problemas en la estructura del suelo ya que compiten con el Ca y el Mg en el complejo de cambio (Urbano, 2002; Navarro-García y Navarro-García, 2013; Porta *et al.*, 2019).



Las cantidades de potasio en el suelo han sido bajas, bajo la consideración de suelo Franco y regadío intensivo (por inundación, lo que puede ocasionar, lixiviación de potasio) (tabla 1.17).

Tabla 1.17. Tabla de diagnóstico del Potasio (meq/100 g suelo) mediante el extracto en acetato de amonio.

Nivel de Fertilidad	Muy Bajo	Bajo	Normal	Alto	Muy Alto
Secano					
Arenoso	0,00-0,15	0,16-0,30	0,31-0,45	0,46-0,75	0,76-1,2
Franco	0,00-0,20	0,21-0,40	0,41-0,60	0,61-1,00	1,01-1,60
Arcilloso	0,00-0,25	0,26-0,50	0,51-0,75	0,76-1,25	1,26-2,00
Regadío Extensivo					
Arenoso	0,00-0,20	0,21-0,40	0,41-0,60	0,61-1,00	1,01-1,60
Franco	0,00-0,25	0,26-0,50	0,51-0,75	0,76-1,25	1,26-2,00
Arcilloso	0,00-0,30	0,031-0,60	0,61-0,90	0,91-1,50	1,51-2,40
Regadío Intensivo					
Arenoso	0,00-0,25	0,26-0,50	0,51-0,75	0,76-1,25	1,26-2,00
Franco	0,00-0,30	0,031-0,60	0,61-0,90	0,91-1,50	1,51-2,40
Arcilloso	0,00-0,35	0,36-0,70	0,71-1,05	1,06-1,75	1,76-2,80

2.8.4. Interpretación del fósforo soluble en suelo

El fósforo es importante en el suelo como estructurante (puentes de calcio y de cobre) al igual que regula el pH del suelo. El fósforo se presenta de forma orgánica o inorgánica. A pesar de su poca presencia en el suelo, las plantas absorben adecuadamente el fósforo. La importancia del ión HPO_4^{2-} aumenta a valores de pH elevados, ya que deviene el ión dominante en la disolución cuando el pH es superior a 7,2; mientras que el ión PO_4^{3-} se presenta a pH muy elevado y la molécula H_3PO_4 , tampoco es importante, porque sólo se presenta cuando el pH es muy bajo. El ión que más se absorbe por la planta es el HPO_4^{2-} (Noguera García *et al.*, 2006; Navarro-García y Navarro-García, 2013).

Las cantidades de fósforo en el suelo han sido **muy bajas**, bajo la consideración de suelo Franco y regadío intensivo (por inundación) (tabla 1.18). Estos bajos valores se deberán tener en cuenta en el plan de abonado, contemplando enmiendas orgánicas ricas en este elemento, incluso si se estima la aplicación de algunos minerales fosfatados autorizados.



Tabla 1.18. Tabla de diagnóstico del Fósforo (ppm) del suelo utilizando el método Olsen.

Nivel de Fertilidad	Muy Bajo	Bajo	Normal	Alto	Muy Alto
Secano					
Arenoso	0-4	5-8	9-12	13-20	21-32
Franco	0-6	7-12	13-18	19-30	31-48
Arcilloso	0-8	9-16	17-24	25-40	41-64
Regadio Extensivo					
Arenoso	0-6	7-12	13-18	19-30	31-48
Franco	0-8	9-16	17-24	25-40	41-64
Arcilloso	0-10	11-20	21-30	31-50	51-80
Regadio Intensivo					
Arenoso	0-8	9-16	17-24	25-40	41-64
Franco	0-10	11-20	21-30	31-50	51-80
Arcilloso	0-12	13-24	25-36	37-60	61-96

2.8.5. Interpretación del sodio en el suelo

El sodio se caracteriza por ser un elemento disipante del suelo y, por tanto, empeora la estructura y la aireación de los suelos. Su capacidad de competencia en el complejo de cambio con los otros elementos minerales tal como el Ca, Mg y el K generará la dispersión de las arcillas (Porta *et al.*, 2019). El contenido en sodio es un índice de salinidad del suelo, es decir, que cantidades altas de sodio determina la salinidad y sodificación (dos procesos muy unidos) que son perjudiciales a la gran mayoría de cultivos. Ese sodio puede proceder bien de acciones como el riego con alto contenido de sodio, exceso de abono con sodio... o por cuestiones naturales (proximidad al mar, inundaciones con agua a altas concentraciones de sodio... (Noguera García *et al.*, 2006; Navarro-García y Navarro-García, 2013; Porta *et al.*, 2019).

La cantidad de sodio en los fluvisoles es baja en la capa superficial (125 cm). Este valor es bajo, siendo por tanto suelos **de bajo contenido en sodio** (tabla 1.19.).

Tabla 1.19. Tabla de diagnóstico del sodio en suelo.

Sodio (meq / 100 g suelo seco)	Interpretación
0 - 0,3	Muy bajo
0,31 - 0,60	Bajo
0,61 - 1	Normal
1,01 - 1,5	Alto
> 1,5	Muy alto

2.8.6 Relación de absorción de sodio y porcentaje de sodio intercambiable

Para conocer si hay o no problema con el sodio se calcula la relación de absorción de sodio (RAS), a partir de la cual se calcula el porcentaje de sodio intercambiable (PSI). Las fórmulas para RAS y PSI son:



$$RAS = \frac{[Na^+]}{\sqrt{[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]}}$$

$$PSI = \frac{100 \cdot K_G \cdot RAS}{1 + K_G \cdot RAS}$$

La tabla 1.20 muestra los valores de PSI y RAS del suelo a 10-30 cm, donde KG es el coeficiente de selectividad de Gapon, de valor 0,01475 (mmol/L). Como PSI es menor al 15%, el suelo es un **suelo no sódico**.

Tabla 1.20. Valores del PSI en el análisis de suelo 2019

porcentaje de sodio intercambiable 2019	
PSI	8,912
RAS	6,66
KG	0,0147

3. Bibliografía

Agustí, M. (2010). Fruticultura. Mundiprensa. Madrid. 507 pp.

Akhtar, M.S., Siddiqui, Z.A., Wiemken, A. (2011). Arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobium to control plant fungal diseases,. En: Alternative farming systems, biotechnology, drought stress and ecological fertilisation. E. Lichtfouse (ed.). Springer Science & Business Media Netherlands. 263-292.

Effron, D.N., Sarti, G.C., Quinteros, M.C., Catán, S.I. (2012). Influencia de las especies de árboles implantados en los parámetros biológicos y bioquímicos en un suelo forestal de Chubut, Argentina. Información tecnológica, 23 (2): 87-92.

FAO (sf) Características químicas de los suelos. (<http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/>) (Consultado 21/05/2020)

Hinsinger, P., A.G. Bengough, D. Vetterlein, y I. M. Young. (2009) Rhizosphere: biophysics, biogeochemistry y ecological relevance. Plant and soil 321(1-2):117- 152.

Proyecto LUCDEME. (1995). Generalitat Valenciana Mapa de suelos de la comunidad valenciana. Chulilla (694). Valencia: GVA.

Quéméner, J. (1985). L'interprétation des analyses. Cultivar (dossier analyses), 184: 107-117.



- Meena, V.S., Meena, S.K., Verma, J.P., Kumar, A., Aeron, A., Mishra, P.K., Dotaniya, M.L. (2017). Plant beneficial rhizospheric microorganism (PBRM) strategies to improve nutrients use efficiency: A review. *Ecological Engineering*, 107: 8-32.
- Navarro García, G., Navarro García, S. (2013) *Química agrícola. Química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas (3ªEd)*. Mundiprensa. Madrid. 508 pp.
- Noguera García, V., Pascual España, B., Abad Berjón, M., San Bautista Primo, A. (2006) *Fitotecnia General*. Editorial UPV. Valencia.
- Pascual España, B. (2018) *Riegos de gravedad y a presión (3ªEd)* Valencia: Universidad Politécnica de Valencia (UPV)
- Porta, J., López-Acevedo, M., Poch, R.M. (2019). *Edafología. Uso y protección de suelos (4ªEd)* Mundiprensa. Madrid. 624 pp.
- Shukla, G., Varma, A. (2010). *Soil enzymology*. Vol. 22. Springer Science & Business Media. Berlin. 400 pp.
- Saña, J.; Moré, J. C.; Cohí, A. (1996). *La gestión de la fertilidad de los suelos*. Edita MAPA. Madrid. 277 pp.
- Spring, J.L.; Chapuis, P.; Evéquez, C.; Girardet, G.; Ryser, J.P.; Schmid, C.; Terrethaz, R.; Thentz, M.; Vanetti, R. (1993). *La fertilization des arbres fruitiers, kiwis et des arbustes à baies. 1er part.* Rev. Suisse Vitic., Arboric. Hortic., 25: 189-199
- USDA (2014) *Keys to Soil Taxonomy*. (2ª Ed). United States Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service, USA. 372 pp.
- Urbano, P. (2002) *Fitotecnia. Ingeniería de la Producción Vegetal*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.
- Villalobos Martín, F.J., Ferreres Castiel, E. (2017). *Fitotecnia. Principios de agronomía para una agricultura sostenible*. Mundiprensa. Madrid. 628 pp.