

ENTREGABLE 18:

ESTUDIO DE NECESIDADES RELATIVAS A LOS FACTORES Y VARIABLES QUE INTERVIENEN EN LOS PROCESOS AGRÍCOLAS DE LOS CULTIVOS OBJETIVO

(Octubre 2022)

**ACTIVIDAD 3: DESARROLLO DE CAPACIDADES FORMATIVAS Y
ENTORNOS DE EXPERIMENTACIÓN PARA LA INNOVACIÓN
DIGITAL EMPRESARIAL**

Contenido

1. OBJETIVO TAREA	3
2. VARIABLES INFLUYENTES EN LA NAVEGACIÓN AUTÓNOMA	3
2.1. Variables climatológicas	3
2.2. Variables aleatorias y fijas.	6
2.3. Tipos de plantación.....	6
Olivar tradicional	7
Olivar intensivo	7
Olivar superintensivo.....	8
2.4. Variables de gestión del cultivo.....	9
2.5. Variables de comunicación.....	10
BIBLIOGRAFÍA	12

1. OBJETIVO TAREA

En este informe se detallan los factores y variables que intervienen en los procesos agrícolas para realizar las funciones requeridas. Podemos hablar de variables del entorno como la climatología (humedad, temperatura, lluvia, polvo, luz solar, etc.), la orografía (desnivel, cárcavas, tipo de suelo, valles o montañas, etc.), variables aleatorias (presencia de personas, animales, etc.), tipos de plantación (marco, características de los árboles), variables de gestión del cultivo (métodos de recolección, medios empleados, etc.), variables de comunicación (redes disponibles, cobertura, protocolos, etc.)

2. VARIABLES INFLUYENTES EN LA NAVEGACIÓN AUTÓNOMA

2.1. Variables climatológicas

La climatología se basa en el estudio de los parámetros meteorológicos registrados en un lugar determinado. Entre las clasificaciones climáticas vigentes destaca la de Köppen. Posteriormente algunos climatólogos han intentado mejorar esta clasificación para adaptarla mejor a la realidad la establecida por Trewartha para la península ibérica donde se encuentran los siguientes climas áridos (B), templado-cálidos (C) y templados (D). Las características de estos climas, así como sus subclasificaciones en base a las precipitaciones y temperatura son las siguientes:

- Climas áridos (B): la precipitación media anual es inferior a 300 mm
 - Climas BS: la precipitación media se sitúa entre 200 y 300 mm
 - Climas BW: la precipitación media es inferior a 200 mm
- Climas templados cálidos (C): ocho o más meses con más de 10 grados de temperatura media
 - Climas Cf: la precipitación del mes más seco del verano es superior en general a 30 mm, salvo en Galicia y norte de Portugal a 20 mm.
 - Climas Cs: la precipitación del mes más seco del verano es inferior a 30 (20 mm en Galicia y Portugal)
- Climas templados (D): menos de ocho meses con más de 10 grados de temperatura media.
 - Climas Do: la temperatura media del mes más frío es superior a 0°C y todos los meses con una precipitación superior a 30 mm (20 mm en Galicia y norte de Portugal)
 - Climas Ds: la precipitación del mes más seco es inferior a 30 o 20 mm.

La tercera letra tiene los siguientes significados:

- a: temperatura media del mes más cálido superior a 22°C.
- b: temperatura media del mes más cálido inferior a 22°C.

- h: temperatura media anual superior a 18°C (se añade sólo en los climas áridos)

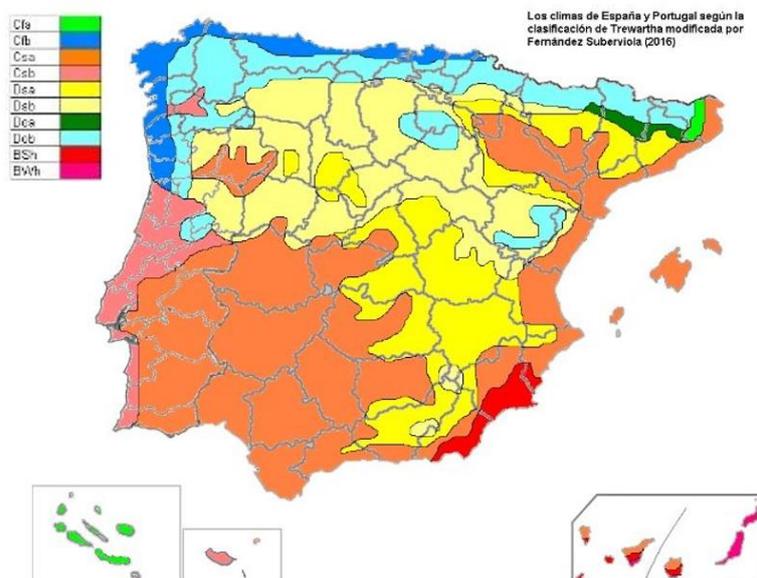


Figura 1. Distribución de los diversos climas en la península ibérica

Por su parte, los cultivos dedicados al olivo tienen la siguiente distribución espacial, indicada en la Figura 2. Como se puede ver dichos cultivos están mayormente localizados en la mitad inferior de la península ibérica donde predominan los climas templados cálidos, donde se dan pocas precipitaciones aunque irregulares en cantidad, veranos calurosos y gran variación del rango de temperatura anual y diaria (Sousa et al., 2020).



Figura 2. Distribución de los diversos climas en la península ibérica

Esto hace que el vehículo, así como la instrumentación que incorpore deban ser capaces de adaptarse a las condiciones de temperatura, humedad y lluvia propias del entorno de trabajo donde es recomendable contar con un grado de protección IP67 o superior. Así mismo la cantidad de horas de sol o el polvo y la lluvia (Heinzler et al., 2019) son factores que pueden afectar notablemente a los sensores ópticos usados, como, por ejemplo, el LiDAR o cámara 3D y estos deben estar preparados para su funcionamiento bajo estas condiciones (Figura 3). Para ello, es necesario que incorporen filtros y se haga

un análisis de los datos recogidos encaminado a evitar o reducir la influencia de estos factores en la usabilidad de las mediciones.

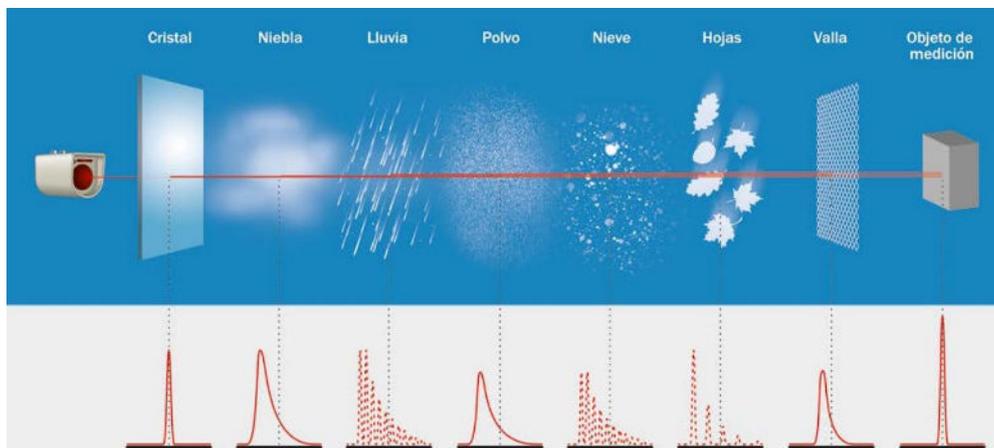


Figura 3. Multi-ecos recibidos por un sensor LiDAR en presencia de diferentes condiciones ambientales

Otro factor importante para tener en cuenta es la orografía. El desnivel del terreno sobre el que el vehículo circulará puede afectar a su estabilidad, más si cabe cuando éste vaya transportando una carga. Además, se estima que cerca del 20% de olivar en España está en pendiente, en zonas de montaña y en terrenos pedregosos por lo que adaptarse a este tipo de entorno es vital. Para detectar posibles situaciones de peligro será necesario contar con un inclinómetro para medir la inclinación que el vehículo está experimentado y tomar acciones para prevenir el vuelco. Este sensor va normalmente incorporado en la IMU (Inertial Measurement Unit) o unidad inercial que además de inclinómetro también incorpora acelerómetro y magnetómetro o brújula y que el vehículo también deberá usar para orientarse. Además, el LiDAR o cámara 3D permitirán reconocer el terreno y alertar sobre situaciones que puedan provocar un daño al vehículo como las cárcavas producidas por la erosión del suelo (Figura 4). Esto es el proceso de degradación de suelos más extendido a nivel mundial y un problema especialmente grave en el olivar andaluz (Fernández et al., 2020). Dicha erosión se produce cuando la intensidad de la lluvia supera la velocidad con la que el suelo es capaz de absorber el agua, produciéndose la escorrentía, que arranca las partículas del suelo superficial y las transporta hasta las zonas más llanas. Finalmente, entre las variables asociadas al clima también es necesario tener en cuenta el tipo de suelo existente (arcilloso, arenoso, etc.). Éste puede influir en el desempeño del sistema de tracción especialmente en la época de lluvias al igual que las zonas con hierbas mojada y pedregosas.



Figura 4. Olivar en montaña (izquierda) y cárcava producida por la erosión del suelo en una plantación de olivar (derecha)

2.2. Variables aleatorias y fijas.

Entre las variables aleatorias, es decir, aquellas que no están presentes diariamente o siempre en el mismo lugar, y que pueden afectar al funcionamiento del vehículo tenemos la presencia de personas, animales u objetos y maquinaria. Por la naturaleza de los cultivos, estos están siempre frecuentados por el personal de la finca encargados de su gestión y manejo (recolección, poda, abonado, etc.) así como por la fauna propia del entorno, principalmente aves y pequeños mamíferos (ratones, conejos, comadrejas, zorros, lince, ...). La maquinaria y herramientas usadas durante la jornada de trabajo (tractores, aperos, material de trabajo) con frecuencia se pueden encontrar entre las diferentes calles del cultivo además de otras infraestructuras como bocas de riego, casetas, postes de luz, sensórica o canales que se pueden considerar fijas que se localizan siempre en el mismo lugar (Figura 5). La casuística en este sentido es variada y, por ello, el vehículo debe contar con algoritmos de navegación que permitan reconocer el entorno, detectar objetos y tomar decisiones para reaccionar ante su aparición, ya sea deteniéndose o esquivando y tomando una ruta alternativa.



Figura 5. Personal y herramientas de campo (izquierda), fauna (centro) e infraestructuras (derecha) que se pueden encontrar en el olivar.

2.3. Tipos de plantación

El cultivo del olivo tiene como objetivo final conseguir la mayor cantidad de aceitunas con la mejor calidad posible para maximizar la rentabilidad económica. Un factor

determinante a la hora de hablar de rentabilidad es el sistema de cultivo adoptado. Este puede ser tradicional, intensivo o superintensivo (Rallo et al., 2014). El grado de mecanización de las labores agrícolas (poda, laboreo, fertilización, recolección, riego, ...) determinará la rentabilidad obtenida, por lo que la tendencia es cada vez mayor a mecanizar cualquier operación para minimizar costes, especialmente la recolección que supone alrededor del 40% de los costes totales del cultivo (AEMO, 2020).

Olivar tradicional

El sistema de olivar tradicional es el más representativo a nivel mundial, especialmente en países como España, Italia o Grecia. La densidad de árboles es baja y se sitúa entre 80-100 olivos por hectárea en marcos de plantación de aproximadamente 10 x 10 metros (ancho de calle x distancia entre árboles). Los árboles tienen varias patas y pueden necesitar decenas de años para alcanzar su momento óptimo de producción siendo su vida productiva es muy longeva. Dentro del sistema de olivar tradicional, podemos diferenciar entre mecanizable y no mecanizable (Figura 6). El olivar mecanizable es aquel en el que el terreno tiene poca inclinación (inferior al 20%) y permite el manejo de maquinaria para la operación de recolección o la aplicación de tratamientos fitosanitarios. En el olivar no mecanizable el terreno tiene una inclinación mayor (superior al 20%) lo que imposibilita el uso de máquinas en ninguna operación y todo se realiza manualmente. Por todo ello, el olivar tradicional es más costoso y requiere de mayor inversión en tiempo y mano de obra, aunque menor en reposición de los olivos, riego y uso de fertilizantes y abonos al contar con una mayor separación entre ellos.



Figura 6. Olivar tradicional mecanizable (izquierda) y no mecanizable (derecha).

Olivar intensivo

El sistema de olivar intensivo tiene una densidad de entre 200-600 árboles por hectárea, en marcos de plantación de unos 8 x 4 metros con algunas variantes, con el objetivo de incrementar la rentabilidad de la producción respecto del olivar tradicional (Figura 7). Sin embargo, la longevidad de los árboles es menor, aunque pueden llegar a vivir más de 40 años. Por ello, el coste de replantación es mayor. En contraposición, el sistema de olivar intensivo facilita la mecanización de las operaciones y, en especial de la recolección lo que reduce la inversión en mano de obra. Para ello es habitual el uso de

vibradores de tronco. En muchas plantaciones además se emplea el riego por goteo mejorando la productividad de la plantación.



Figura 7. Olivar intensivo.

Olivar superintensivo

Es el sistema de cultivo que otorga la mayor producción ya que se pueden encontrar hasta 2.000 árboles por hectárea. El marco de plantación se puede reducir hasta aproximadamente 3 x 1.5 metros con el objetivo de conseguir una mayor rentabilidad por hectárea (Figura 8). Sin embargo, de esta forma también se reduce la vida útil de los olivos, con una media de 14 años. Transcurrido este tiempo es necesario arrancarlos y replantar. Debido al estrecho marco de plantación, la ventilación e iluminación existente entre los árboles es menor, lo que conlleva el aumento del riesgo de enfermedades. Sin embargo, la mecanización es completa y, en especial, la de la recolección para lo que se emplean las máquinas cabalgantes.



Figura 8. Olivar superintensivo.

Los diferentes marcos de plantación que se pueden encontrar en el olivar influyen en la navegación autónoma del vehículo. Una mayor densidad de árboles como en el olivar superintensivo formando hileras continuas de árboles o setos facilitarán la navegación gracias a que las calles por donde circulará el vehículo serán más homogéneas y estarán más definidas que con un sistema tradicional. Además, en el sistema superintensivo, al ser estar completamente mecanizado, el terreno es más llano, sin desniveles acusados para facilitar el trabajo de la maquinaria empleada. Sin embargo, como se ha indicado anteriormente, el sistema tradicional puede estar localizado sobre terrenos más irregulares, con pendientes y árboles que están más espaciados y son más

heterogéneos, requiriendo por tanto un algoritmo más depurado en cuanto a la navegación.

2.4. Variables de gestión del cultivo

Entre las variables de gestión de un cultivo podemos citar los medios empleados en cuanto a maquinaria y material de trabajo y los medios personales (trabajadores y cuadrillas). En cuanto a maquinaria podemos citar los atomizadores, barras de tratamiento, podadoras, vibradores de troncos, cosechadores cabalgantes, máquinas de laboreo del suelo, remolques y tractores. El tractor es el medio habitual para acoplarle todo tipo de maquinaria para el tiro y aprovechamiento de sus tomas hidráulicas para el funcionamiento del apero en cuestión. Todas estas máquinas son empleadas a lo largo del año en diferentes operaciones según su necesidad. En la figura 9 podemos ver las operaciones habituales a lo largo del año a una plantación de olivar (Fondo Español de Garantía Agraria, 2020):

OLIVAR		en	fb	mz	ab	my	jn	jl	ag	sp	oc	nv	dc	
OPERACIONES SOBRE LA PARCELA Y CULTIVO														
OPERACIONES PREVIAS	ESTERCOLADURA E INCORPORACIÓN SUPERFICIAL									X	X	X		
	ABONADO AL TERRENO										X	X		
	SUPRESIÓN DE HIERBAS ADVENTICIAS										X	X		
OPERACIONES POSTERIORES	LABOREO										X	X		
	HERBICIDA										X	X		
	RECOLECCIÓN	X											X	
	PODA Y RESTOS DE PODA	X	X	X										
	ABONADO	FOLIAR			X	X								
		AL TERRENO	X	X										X
	COSECHAR	X	X									X	X	
	SUPRESIÓN DE HIERBAS ADVENTICIAS	HERBICIDAS		X	X	X	X							
		LABOREO			X	X	X							
	TRATAMIENTOS FITOSANITARIOS			X	X	X				X	X			
RIEGO	X	X	X				X	X	X					

Figura 9. Calendario de labores orientativo.

Cada una de estas operaciones va acompañada, como mínimo, de una o dos personas a bordo de la maquinaria empleada o a pie si la operación lo requiere. Esto implica que en prácticamente todo el año haya personas y maquinaria en movimiento en el entorno del cultivo indicando la necesidad de contar con sistemas de seguridad y algoritmos de detección de personas y maquinaria trabajando en los alrededores.

Por ejemplo, la recolección es la operación que requiere un mayor despliegue de medios tanto materiales como personales ya que se realiza mediante cuadrillas (grupos de personas) que van acompañando a la maquinaria empleada complementando el trabajo realizado por esta para maximizar el derribo de aceitunas (Figura 10).



Figura 10. Recolección con vibrador de troncos y apoyo de cuadrilla mediante varas (izquierda) y medios de recolección manual (derecha).

Por ello, el tránsito de personas y medios es constante durante la etapa de recolección y se requieren sistemas de detección de personas para evitar accidentes. Normalmente existe zonas preestablecidas donde se realiza el acopio o recepción del fruto como naves o lugares estratégicos en el campo para esto por la amplitud de espacio que facilita el tránsito y maniobrabilidad de la maquinaria o la existencia de infraestructura necesaria como punto de conexión a la red eléctrica. Estos lugares, así como las rutas más usadas por la maquinaria pueden ser preestablecidos en el software de planificación de rutas desarrollado para el vehículo indicándole la prohibición de circular por ellas a no ser que sea estrictamente necesario o no se esté realizando ninguna operación por motivos de seguridad. Además, con el objetivo de incrementar la seguridad, el uso de chalecos reflectantes para los operarios facilita su detección por parte de las tecnologías ópticas, así como el uso de la tecnología bluetooth por parte de cada operario permitiría su detección en el perímetro de alcance de la tecnología inalámbrica aún sin contacto visual.

2.5. Variables de comunicación

La existencia de redes de comunicación móvil en las operaciones de campo es necesaria para la digitalización de las operaciones. La cobertura en numerosas ocasiones es escasa o nula y eso dificulta enormemente tanto el registro de los datos generados como el acceso o consulta de la información requerida. Por ello, en aplicaciones de campo como el vehículo que se desarrollará, es una práctica común contar con un sistema de almacenamiento local para registrar la información conforme se vaya generando e ir comprobando continuamente la cobertura disponible para que, en caso de haberla, enviar todo lo acumulado. Sin embargo, eso implica anular el llamado 'tiempo real', necesario para ciertas aplicaciones.

Otra solución en auge es la denominada computación en el borde o 'Edge Computing' (O'Grady et al., 2019). Para mejorar tiempos de respuesta, así como ahorrar ancho de banda se realiza la computación distribuida o local cerca de la fuente de datos con el



COMPETITIVIDAD

objetivo filtrar la información y extraer aquello que realmente es necesario para no tener que enviar datos en exceso consumiendo además más recursos y aumentando el retraso de la acción.

La utilización de otro tipo de redes de comunicación es útil para dar solución a la escasez de cobertura móvil y acceso a la red eléctrica, aunque dependerá en gran medida de la cantidad de información que se necesite enviar y la frecuencia de envío. Algunas redes de comunicación alternativas al 2G/3G/4G son Sigfox, LoRa y Nb-IoT (Mekki et al., 2018).

En cuanto a Sigfox, su principal característica a la vez que limitación es el envío de un máximo de 7 mensajes de 12 bytes a la hora. Aunque esta característica lo hace limitado es suficiente para ciertas aplicaciones IoT donde no se necesita enviar grandes volúmenes de datos con demasiada frecuencia (Pitu and Gaitan, 2020). Tal es el caso, por ejemplo, de las estaciones meteorológicas. Sin embargo, como ventaja se puede destacar que su consumo es mínimo y, por tanto, las baterías pueden durar años.

LoRa por su parte también requiere enviar paquetes pequeños de datos, pero sin limitación de tamaño sino de tiempo en el aire del mensaje lo que limitara también el tiempo de espera hasta enviar un nuevo mensaje por la regla del 1% (1% del tiempo enviando y 99% en espera). Por el contrario, el alcance de esta red es de varios kilómetros (Miles et al., 2020).

NB-IoT también es una tecnología LPWAN (Low Power Wide Area Network) y está basada en la tecnología 4G o LTE (Long Term Evolution). NB-IoT está destinada a dispositivos que requieren de una transferencia de datos baja y un consumo de energía también reducido. La velocidad de transferencia de datos puede ser de hasta 250 Kbit/s con un alcance de más de 3 km (Valecce et al., 2020).

Todas estas tecnologías alternativas son válidas para aplicaciones en agricultura si bien ofrecen ciertas diferencias entre ellas que conviene conocer para usar la que mejor se adapte a la aplicación concreta. Algunos estudios indican que LoRa y NB-IoT son las principales tecnologías que compiten actualmente en el mercado de la agricultura para la toma de datos en tiempo real (Liya and Arjun, 2020).

BIBLIOGRAFÍA

1. AEMO, 2020. Aproximación a los costes del cultivo del olivo.
2. Fernández, T., Pérez-García, J.L., Gómez-López, J.M., Cardenal, J., Calero, J., Sánchez-Gómez, M., Delgado, J., Tovar-Pescador, J., 2020. Multitemporal Analysis of Gully Erosion in Olive Groves by Means of Digital Elevation Models Obtained with Aerial Photogrammetric and LiDAR Data. *ISPRS Int. J. Geo-Information* 9, 260. <https://doi.org/10.3390/ijgi9040260>
3. Fondo Español de Garantía Agraria, 2020. Referencias orientativas de calendarios de labores para grupos de cultivos.
4. Heinzler, R., Schindler, P., Seekircher, J., Ritter, W., Stork, W., 2019. Weather Influence and Classification with Automotive Lidar Sensors, in: 2019 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV). IEEE, pp. 1527–1534. <https://doi.org/10.1109/IVS.2019.8814205>
5. Liya, L.M., Arjun, D., 2020. A Survey of LPWAN Technology in Agricultural Field, in: 2020 Fourth International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC). IEEE, pp. 313–317. <https://doi.org/10.1109/I-SMAC49090.2020.9243410>
6. Mekki, K., Bajic, E., Chaxel, F., Meyer, F., 2018. Overview of Cellular LPWAN Technologies for IoT Deployment: Sigfox, LoRaWAN, and NB-IoT. 2018 IEEE Int. Conf. Pervasive Comput. Commun. Work. PerCom Work. 2018 197–202. <https://doi.org/10.1109/PERCOMW.2018.8480255>
7. Miles, B., Bourennane, E.B., Boucherkha, S., Chikhi, S., 2020. A study of LoRaWAN protocol performance for IoT applications in smart agriculture. *Comput. Commun.* 164, 148–157. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2020.10.009>
8. O’Grady, M.J., Langton, D., O’Hare, G.M.P., 2019. Edge computing: A tractable model for smart agriculture? *Artif. Intell. Agric.* 3, 42–51. <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2019.12.001>
9. Pitu, F., Gaitan, N.C., 2020. Surveillance of SigFox technology integrated with environmental monitoring. 2020 15th Int. Conf. Dev. Appl. Syst. DAS 2020 - Proc. 69–72. <https://doi.org/10.1109/DAS49615.2020.9108957>
10. Rallo, L., Barranco, D., Castro-García, S., Connor, D.J., Gómez del Campo, M., Rallo, P., 2014. High-Density Olive Plantations, in: *Horticultural Reviews Volume 41*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, pp. 303–384. <https://doi.org/10.1002/9781118707418.ch07>
11. Sousa, A.A.R., Barandica, J.M., Aguilera, P.A., Rescia, A.J., 2020. Examining potential environmental consequences of climate change and other driving forces on the sustainability of spanish olive groves under a socio-ecological approach. *Agric.* 10, 1–22. <https://doi.org/10.3390/agriculture10110509>
12. Valecce, G., Petruzzi, P., Strazzella, S., Grieco, L.A., 2020. NB-IoT for Smart Agriculture: Experiments from the Field. 7th Int. Conf. Control. Decis. Inf. Technol. CoDIT 2020 71–75. <https://doi.org/10.1109/CoDIT49905.2020.9263860>

