
IMPACTE DE LA CONTAMINACIÓ AMBIENTAL ALS CULTIUS PERIURBANS O DE PROXIMITAT. ESTUDI DE CAS: EL PARC AGRARI DEL BAIX LLOBREGAT

**Josep Maria Bayona,¹ Núria Cañameras,² Jordi Comas,² Sergi Díez,¹
Anna Margenat¹ i Víctor Matamoros¹**

1. Institut de Diagnosi Ambiental i Estudis de l'Aigua (IDAEA-CSIC)
2. Departament d'Enginyeria Agroalimentària i Biotecnologia de la Universitat Politècnica de Catalunya (DEAB-UPC)

REBUT: 25 de gener de 2018 - ACCEPTAT: 2 de febrer de 2018

RESUM

L'agricultura periurbana o de proximitat proporciona nombrosos avantatges des del punt de vista social, econòmic i paisatgístic. Per exemple, la curta distància entre la zona productiva i el consumidor final proporciona productes molt frescos que ofereixen propietats organolèptiques i nutritives molt satisfactòries, alhora que redueix la petjada de carboni associada al transport. Un altre avantatge de les zones periurbanes és l'accés a les aigües regenerades de les plantes de depuració d'aigües residuals provinents de poblacions veïnes, cosa que n'assegura la disponibilitat durant el decurs de l'any. Nogensmenys, la presència d'infraestructures (aeroports, autopistes, ports) pot constituir una font de contaminació del medi atmosfèric per deposició humida i/o seca (partícules en suspensió: orgàniques i inorgàniques) i altres contaminants atmosfèrics en fase gas (O_3 , SO_x , NO_x) que poden generar un estrès abiòtic als cultius, i per tant afectar-ne el rendiment. D'altra banda, tot i que l'ús d'aigües regenerades i l'aplicació de biosòlids poden ser molt positius per als conreus pel seu elevat contingut en nutrients i matèria orgànica, la presència de contaminants químics (metalls i microcontaminants orgànics) i biològics (patògens) podria constituir un perill potencial per a la salut pública si s'incorporen als cultius. En aquest treball, es presenten els resultats d'un estudi desenvolupat al Parc Agrari del Baix Llobregat (PABL) (Barcelona, Catalunya), on l'aigua d'irrigació presenta diver-

Correspondència: Josep Maria Bayona. IDAEA-CSIC. C/ Jordi Girona, 18-26. 08034 Barcelona. Tel.: 934 006 119. A/e: jbtqam@cid.csic.es.

ses qualitats fisicoquímiques, així com concentracions variables de contaminants, els quals es poden transferir al sòl agrícola i alguns a certs cultius. No obstant això, a la zona d'estudi no s'han detectat efectes sobre la productivitat agrícola deguts a l'alteració de paràmetres fisiològics de la planta (contingut de lípids, sucres i clorofil·les).

PARAULES CLAU: agricultura periurbana, qualitat de l'aigua de reg, contaminació del sòl, medi atmosfèric, productivitat agrícola, Parc Agrari del Baix Llobregat.

IMPACTO DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL EN LOS CULTIVOS PERIURBANOS O DE PROXIMIDAD. CASO DE ESTUDIO: EL PARQUE AGRARIO DEL BAIX LLOBREGAT

RESUMEN

La agricultura periurbana o de proximidad proporciona numerosas ventajas desde el punto de vista social, económico y paisajístico. Por ejemplo, la corta distancia entre la zona productiva y el consumidor final ofrece productos muy frescos cuyas propiedades organolépticas y nutritivas son muy satisfactorias, además reduce la huella de carbono asociada a su transporte. Otra ventaja adicional de la agricultura periurbana es el acceso a aguas regeneradas de las plantas de depuración de aguas residuales provenientes de las poblaciones vecinas asegurando con ello su disponibilidad durante todo el ciclo productivo. Sin embargo, la presencia de infraestructuras (aeropuertos, autopistas, puertos) puede constituir una fuente de contaminación del medio atmosférico debido a la deposición húmeda y/o seca (partículas en suspensión: orgánicas e inorgánicas) y otros contaminantes atmosféricos en fase gas (O_3 , SO_x , NO_x) que pueden generar un estrés abiótico a los cultivos y por tanto afectar a su rendimiento. Por otra parte, aunque el uso de aguas regeneradas y la aplicación de biosólidos pueden ser muy positivos para los cultivos debido al elevado contenido en nutrientes y materia orgánica, la presencia de contaminantes químicos (metales y microcontaminantes orgánicos) y biológicos (patógenos) pueden constituir un peligro potencial para la salud pública si se incorporan a los cultivos. En este trabajo, se presentan los resultados de un estudio desarrollado en el Parque Agrario del Baix Llobregat (PABL) (Barcelona, Catalunya), donde el agua de irrigación presenta diversas calidades fisicoquímicas y concentraciones variables de contaminantes, los cuales se pueden transferir al suelo agrícola y algunos de ellos a ciertos cultivos. No obstante, en la zona de estudio no se han detectado efectos sobre la productividad agrícola debidos a la alteración de parámetros fisiológicos de la planta (contenido de lípidos, azúcares y clorofilas).

Impacte de la contaminació ambiental als cultius periurbans o de proximitat

PALABRAS CLAVE: agricultura periurbana, calidad de agua de riego, contaminación del suelo, medio atmosférico, productividad agrícola, Parque Agrario del Baix Llobregat.

IMPACT OF ENVIRONMENTAL POLLUTION ON PERI-URBAN OR PROXIMITY CROPS. CASE OF STUDY: THE BAIX LLOBREGAT AGRICULTURAL PARK

ABSTRACT

Peri-urban or proximity agriculture provides numerous advantages for horticulture, mainly associated with the short distance between the crop production area and the final market, leading to products of improved organoleptic and nutritive properties. Likewise, peri-urban agriculture reduces the carbon footprint associated with the transportation of orchard products between the production and consumption zones. Furthermore, the peri-urban areas have access to reclaimed waters from wastewater treatment plants of neighbouring cities, ensuring their availability throughout the productive cycle. The surrounding infrastructures (namely airports, harbours and highways), however, can increase the air pollution associated with wet and/or dry deposition (organic or inorganic) and gas phase contaminants (O_3 , SO_x , NO_x) which can lead to abiotic stress for the crops, decreasing their yield. On the other hand, reclaimed wastewater and biosolids contain a high concentration of nutrients and organic matter that is clearly beneficial to crops, but they can also contain chemical pollutants (metals and organic micropollutants) and microbiological pathogens that can be a potential hazard if they are taken up by crops. In this paper, some of the findings of a study conducted at the Baix Llobregat Agricultural Park (PABL) (Barcelona, Catalonia), where the irrigation water has different physical-chemical properties and a variable concentration of pollutants, are presented. Concentrations of trace elements in soil such Mo, Ni, Pb and As exceeded the standards for agricultural soil but most crops grown in the area are compliant (except for Pb). With respect to emerging pollutants, an anticonvulsive drug (carbamazepine and its 9,10-epoxide) was detected in crops, which is consistent with the indirect water reuse. Fungicides used for crop production together with plasticizers released from irrigation tubing were detected in the drip-irrigated crops. Nevertheless, no effects on agricultural productivity or on physiological plant parameters (lipid, sugar and chlorophyll content) were observed.

KEYWORDS: peri-urban agriculture, irrigation water quality, soil pollution, air pollution, agricultural productivity, Baix Llobregat Agricultural Park.

1. INTRODUCCIÓ

L'agricultura periurbana forma part dels ecosistemes urbans, ja que proporciona cinturons verds a les grans conurbacions, cosa que millora aspectes socials, paisatgístics, de lleure i ecològics, i genera aliments frescos, ocupació i aprofitament de residus urbans i agrícoles, entre d'altres. Nogensmenys, cal valorar-ne els avantatges i inconvenients per a avaluar-ne la sostenibilitat.

1.1. Avantatges de l'agricultura periurbana o de proximitat

Els principals avantatges són inherents a la proximitat entre productors i consumidors:

- a)* Costos de transport dels productes agrícoles reduïts.
- b)* Accés ràpid a les xarxes viàries.
- c)* Productes molt frescos amb propietats alimentàries i organolèptiques força satisfactòries.
- d)* Petjada de carboni baixa associada al transport.
- e)* Disponibilitat d'aigua regenerada durant tot l'any, de qualitat constant i regulada per la legislació.
- f)* Disponibilitat de biosòlids que es poden utilitzar com a esmenes i fertilitzants orgànics si compleixen la normativa.
- g)* Dinamització socioeconòmica per la generació de llocs de treball.

Una dimensió cultural important de l'agricultura periurbana és que pot contribuir al fet que la població urbana conegui millor l'origen i la forma de producció dels productes alimentaris. A més, crea un paisatge que pot esdevenir un espai de lleure per a la població urbana. També contribueix a la biodiversitat, per exemple, amb la conservació dels sòls i de les varietats tradicionals o mantenint o habilitant espais de refugi per a la fauna i flora (marges entre parcel·les o murs de pedra, etc.), especialment quan aquesta agricultura es practica seguint els principis de l'agricultura ecològica o la producció integrada.

1.2. Contaminació dels conreus via atmosfèrica

Un dels desavantatges eventuais de l'agricultura periurbana és la proximitat a fonts de contaminació química atmosfèrica, puntual o difusa, que fa que el risc de contaminació dels conreus pugui ser més elevat en zones periurbanes que en zones més rurals, cosa que en faria disminuir la qualitat i constituiria un eventual risc sanitari si aquests contaminants s'incorporen a la part comestible dels conreus.

Les principals fonts de contaminació atmosfèrica potencial poden ser:

Impacte de la contaminació ambiental als cultius periurbans o de proximitat

a) Emissions vehiculars procedents de la xarxa viària propera als conreus.

b) Emissions de turboreactors d'aviació.

c) Emissions dels propulsors dels vaixells.

d) Emissions a l'atmosfera d'origen industrial i de centrals tèrmiques.

e) Incineradores de residus sòlids urbans.

Els tipus de contaminants químics que s'hi poden distingir són:

a) Oxidants en fase gas (ozó [O₃]; òxids de nitrogen [NO_x]; òxids de sofre [SO_x]) associats a processos de combustió i fotoquímics atmosfèrics com pot ser la formació d'ozó.

b) Pluja àcida associada a la hidròlisi dels òxids de nitrogen i/o sofre.

c) Compostos orgànics volàtils (COV), en particular els compostos BTEX (benzè, toluè, etilbenzè i xilè) associats a gasolines.

d) Partícules en suspensió¹ (partícules de 2,5-10 mm de diàmetre efectiu [PM₁₀] i partícules < 2,5 mm de diàmetre efectiu [PM_{2,5}]). Contenen carboni elemental (sutge), cendres, ciment, pol·len i metalls pesants (pel desgast de frens i neumàtics, entre d'altres).

e) Aerosols marins contaminants que contenen residus de tensioactius, a més dels ions característics de l'aigua de mar.

Els nivells de O₃ que es detecten a la conca mediterrània espanyola, i a Barcelona en particular, poden produir una afectació en alguns cultius sensibles (Bermejo *et al.*, 2009). Valors puntuals elevats de O₃ podrien produir efectes sobre la productivitat agrícola; per exemple, Calatayud i col·laboradors (2002) van observar una disminució del contingut de clorofil·la i una reducció de la llargada de les arrels d'enciams exposats a nivells elevats de O₃.

La importància relativa d'aquestes fonts contaminants depèn en gran manera de la grandària de l'àrea metropolitana i del nivell de desenvolupament socioeconòmic del país al qual pertany. Generalment, els països en via de desenvolupament i amb economies de transició presenten una pressió ambiental més elevada, que afecta la qualitat dels medis atmosfèric i aquàtic.

1.3. Qualitat de l'aigua de reg

Un dels avantatges de l'agricultura periurbana és la disponibilitat d'aigua regenerada. En zones d'elevada aridesa com ara Israel, Xipre, Califòrnia, el sud d'Espanya i les Canàries, l'aigua regenerada és un recurs important, o bé barrejada amb aigües que provenen de dessalinització o d'aqüífers. La qualitat de les aigües regenerades per al seu ús directe sol estar regulada, tal

1. La diferenciació per mida de partícula rau en l'òrgan diana que pot impactar: PM₁₀ a la tràquea i PM_{2,5} als alvèols pulmonars. Per aquest motiu, la legislació (Reial decret 102/2011) fa aquesta diferenciació.

com passa a Israel, Itàlia, Xipre, Califòrnia (Title 22) o Espanya (Reial decret 1620/2007), però la normativa només fa referència a paràmetres fisicoquímics, com la terbolesa o la conductivitat elèctrica, i a paràmetres microbiològics (patògens). Les limitacions en l'ús de l'aigua regenerada depenen de l'origen, de l'època de l'any i del tipus de tractament rebut i també del tipus de conreu de destinació i de si l'aigua entra en contacte o no amb la part comestible dels cultius. A més dels paràmetres regulats, les aigües regenerades, així com les aigües dels rius, poden contenir contaminants químics que no s'eliminen durant la depuració convencional de les aigües residuals, com ara antiepilèptics, analgèsics, agents cardiovasculars, alguns antibiòtics, edulcorants, agents de contrast de raigs X (Jones *et al.*, 2005; Hugues *et al.*, 2013). Aquests contaminants encara no estan legislats, però se sospita que provoquen efectes adversos en els humans i en els ecosistemes, s'anomenen *contaminants de preocupació emergent*. D'altres que es formen com a subproductes durant la desinfecció de l'aigua (trihalometans, nitrosamines, àcids cloroacètics) (Krasner *et al.*, 2009) presenten efectes més coneguts i són legislats pel que fa a l'aigua potable, però no respecte de l'ús agrícola. Un risc sanitari addicional d'aquestes aigües és que poden contenir bacteris resistents als antibiòtics, gens de resistència bacteriana (Novo *et al.*, 2013) i virus dels quals es desconeix el comportament en el sistema sòl-arrel-planta (Zhang *et al.*, 2016). A més, evidències experimentals indiquen que la incorporació d'antibiòtics al sòl agrícola mitjançant el reg amb aigua regenerada pot perjudicar el microbioma del sòl (Han *et al.*, 2016), i n'afecta l'estructura microbiana i les funcions (fixació del nitrogen atmosfèric, nitrificació) (Cui *et al.*, 2014).

Sembla evident que el reg amb aigua regenerada pot implicar una possible incorporació de contaminants químics i microbiològics als cultius. És per això que la Unió Europea (UE), amb l'objectiu d'homogeneïtzar els criteris de qualitat de les aigües i garantir nivells de salubritat de les aigües regenerades, està desenvolupant un reglament de qualitat mínima, ja sigui per a la seva utilització agrícola o per a la recàrrega dels aqüífers.

A més del sistema de reg utilitzat (contacte directe o indirecte amb la planta), en la incorporació potencial de contaminants als cultius incideixen nombrosos aspectes, com: les característiques del sòl (textura, pH, contingut de matèria orgànica, capacitat de bescanvi catiònic, etc.), les variables meteorològiques (temperatura, humitat relativa, pluviometria, vent, evapotranspiració...), els tipus de conreu (hortícoles, extensius i fructícoles) i les característiques fisicoquímiques del contaminant (càrrega elèctrica, hidrofobicitat i mida molecular) (Calderón-Preciado *et al.*, 2013; Hurtado *et al.*, 2016). Tot i que hi ha models predictius d'incorporació, ja siguin empírics o mecanicistes, la complexitat d'aquests processos fa que el grau d'incertesa sigui elevat (Bayona *et al.*, 2018).

1.4. Efectes de la contaminació en els cultius

Tant els contaminants presents en el medi atmosfèric com els que arriben al sòl a través de l'aigua de reg poden incorporar-se als cultius per via foliar o radicular. El nivell d'incorporació de contaminants depèn de la concentració, del període d'exposició i de la reactivitat dels contaminants. Per la seva rellevància, el O₃ és el contaminant més important a les zones periurbanes que afecta el teixit foliar, ja que la seva penetració és passiva i per via estomàtica.

A part de les sals en solució a l'aigua de reg, normalment mesurades a partir de la conductivitat elèctrica, les elevades concentracions de borats, utilitzats en formulacions de detergents, produeixen efectes fitotòxics. El bor, però, és un nutrient essencial que s'ha d'incorporar a concentracions molt baixes. S'ha constatat, també, que alguns metalls com el plom, el cadmi i el zinc presenten nivells més elevats en conreus propers a carreteres transitades (Nabulo *et al.*, 2010) i en conreus regats amb aigües contaminades (Arora *et al.*, 2008).

Els contaminants orgànics assimilats per les plantes poden produir un estrès abiòtic de diferent grau depenent de la concentració en l'aigua de reg. Un estudi recent en condicions controlades ha demostrat que concentracions molt baixes (des de 0,05 fins a 50 µg/L) de contaminants de preocupació emergent en l'aigua de reg d'enciams produeixen efectes morfològics i fisiològics, i incideixen en diverses rutes metabòliques de la planta (Hurtado *et al.*, 2017a). Malgrat això, no és clar si l'afectació observada en condicions controlades pot incidir en el rendiment agrícola a escala real.

1.5. Tecnologies per a mitigar la incorporació de contaminants en els cultius

Aquesta és una àrea de gran interès, tot i que encara no existeix un coneixement consolidat, sobretot a escala real. La contaminació atmosfèrica associada al transport rodat es pot mitigar mitjançant barreres arbrades (*green belts*) a l'entorn de les carreteres, les quals retenen les partícules en suspensió i mitiguen el soroll (Islam *et al.*, 2012).

Pel que fa als sòls, l'aplicació de biocarbó (*biochar*) obtingut per piròlisi de residus vegetals a temperatures moderades (550-850 °C) en una atmosfera pobra en oxigen és una de les estratègies més satisfactòries. L'elevada capacitat d'adsorció de contaminants orgànics i metalls per part del biocarbó fa que els segresti en la superfície i no siguin biodisponibles per a les plantes. Aquesta estratègia ha estat avaluada en diferents contaminants de preocupació emergent en condicions controlades (Hurtado *et al.*, 2017b). Amb tot, el biocarbó es degrada, encara que molt lentament, i amb

el pas del temps podria perdre capacitat d'adsorció i, per tant, podria produir-se la desorció i/o la biodegradació dels contaminats retinguts en la superfície.

D'altres estudis suggereixen que sòls agrícoles ben estructurats i amb un grau elevat de biodiversitat ajudarien a incrementar la taxa de biodegradació dels contaminants, i per tant no serien incorporats per les plantes. Amb aquesta finalitat, es podrien utilitzar eines per a afavorir els bacteris autòctons del mateix sòl (amb fertilitzants específics) o afegir-ne d'exògens (Jaiswal *et al.*, 2017).

2. ESTUDI DE CAS: EL PARC AGRARI DEL BAIX LLOBREGAT

2.1. Descripció de la zona d'estudi

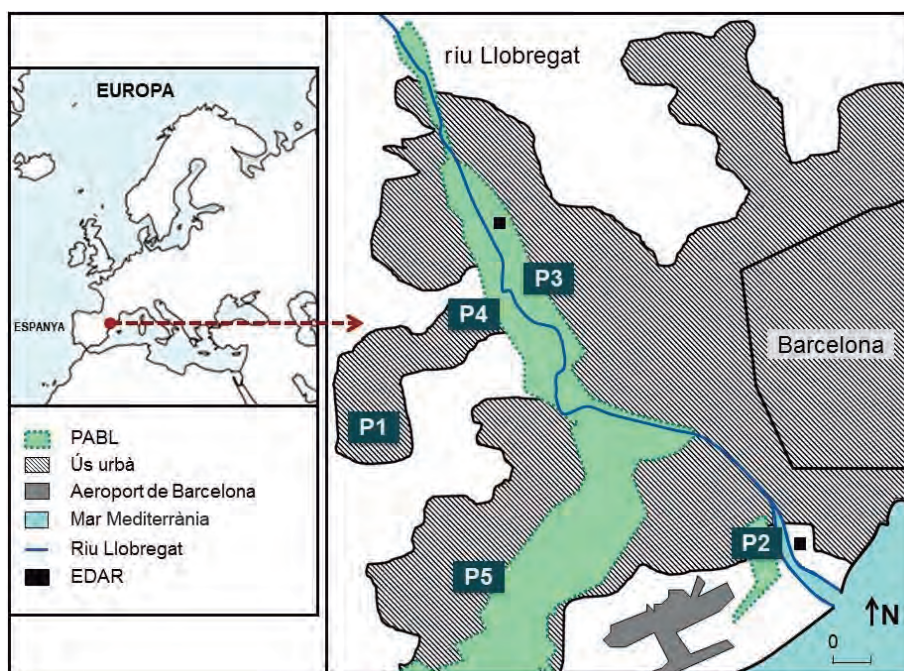
La zona d'estudi es troba al Parc Agrari del Baix Llobregat (PABL), el qual està delimitat pel delta del Llobregat i el riu Llobregat, i forma part de l'àrea metropolitana de Barcelona. La superfície protegida és de 2.938 ha i està irrigada per canals a cel obert que deriven aigües del riu Llobregat (canal de la Dreta) o de la riera de Rubí (canal de la Infanta) amb diferents qualitats fisicoquímiques. L'aigua del riu Llobregat i dels seus tributaris (l'Anoia i el Cardener) està sotmesa a la descàrrega de vuitanta estacions de depuració d'aigües residuals (EDAR) que representen un 92% del cabal (Margenat *et al.*, 2017). Les mostres es van prendre en camps de 0,2 ha, quatre situats al PABL (P2 a P5) i un a Begues (P1), que és el camp de referència; aquest està més apartat de la zona d'influència de l'àrea metropolitana de Barcelona i té el reg per degoteig a partir d'aigua de pluja i pou (figura 1). El reg del camp P5 també és per degoteig i a partir d'aigua de pou.

2.2. Presa de mostres

Les dades dels paràmetres generals de contaminació atmosfèrica (NO_x , SO_2 , CO , O_3) per al període març-abril de 2015 es van obtenir de l'estació del Prat de Llobregat de la Xarxa de Vigilància i Previsió de la Contaminació Atmosfèrica de Catalunya (XVPCA). L'aigua de pluja es va recollir mitjançant pluviòmetres metàl·lics, per a mesurar-ne els contaminants orgànics, i de plàstic, per als metalls (figura 2a). Els compostos orgànics volàtils BTEX es van mesurar mitjançant captadors passius Radiello (figures 2b i 2c). Per a valorar la qualitat de l'aigua de reg es van prendre mostres mensuals de febrer a setembre de 2016. El sòl agrícola es va recollir dels 20 cm superficials, se n'obtingué una mostra composta a partir de cinc d'individuals. Pel que fa als conreus, es van delimitar cinc subzones per cada camp de mostreig, de cadascuna

Impacte de la contaminació ambiental als cultius periurbans o de proximitat

FIGURA 1. Localització dels camps de mostreig a Begues (P1) i al Parc Agrari del Baix Llobregat (P2, P3, P4 i P5)



FONT: Modificada a partir de Margenat *et al.* (2017).

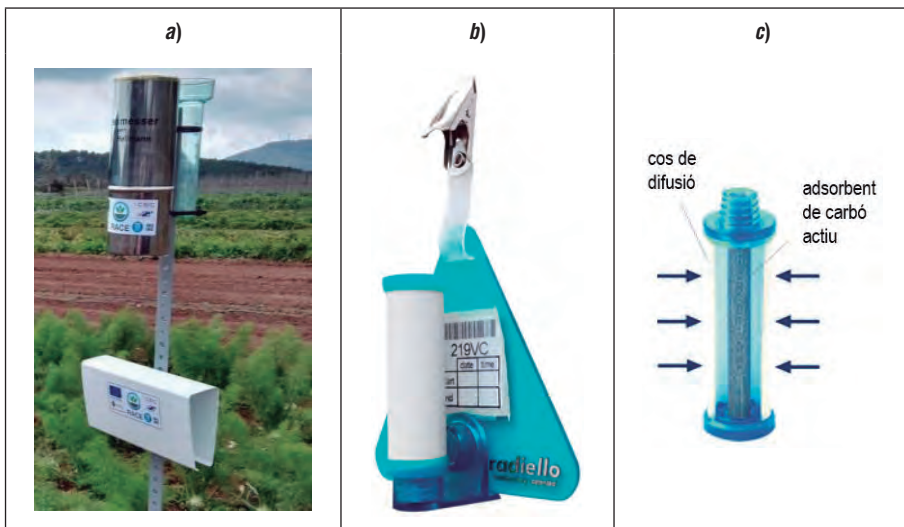
es va prendre una mostra de deu unitats vegetals dels conreus objecte d'estudi —enciam (*Lactuca sativa* L. v. Batavia) i tomàquet (*Solanum lycopersicum* L.). Les deu plantes de cada subzona es van analitzar com una mostra composta, però per a valorar-ne la productivitat es van analitzar individualment.

2.3. Metodologies

2.3.1. Qualitat de les aigües de reg

Els paràmetres convencionals (nitrogen amoniacal $[N-NH_4^+]$, nitrogen nítric $[N-NO_3^-]$, fòsfor total [FT]) es van mesurar per espectrofotometria i el pH, l'oxigen dissolt i la conductivitat, amb sensors específics. Els metalls es van determinar a partir de mostres filtrades ($< 0,45 \mu m$) i acidificades ($pH < 2$) mitjançant plasma acoblat inductivament amb detecció per espectrometria de masses (ICP-MS) o òptica (ICP-OES). Per als contaminants orgànics, es va fer una preconcentració mitjançant extracció en fase sòlida (SPE) polimèrica,

FIGURA 2. Dispositius de mostreig. a) Pluviòmetres de plàstic i metàl·lic (part superior) i suport per al captador Radiello (part inferior); b i c) captador passiu de contaminants volàtils del medi atmosfèric (Radiello), b: cos de difusió, c: adsorbent de carbó actiu



FONT: a) Fotografia de l'autor, b) Air Monitoring Systems: <http://www.amsanalitica.com/en/product-details/items/radiello.html> i c) Sigma Aldrich: <http://www.sigmaaldrich.com/technical-documents/articles/analytical/radiello-air-sampler/diffusive-sampling-system.html>

elució amb acetat d'etil i determinació mitjançant cromatografia gasosa acoblada a l'espectrometria de masses en tàndem (GC-MS/MS) després de derivatitzar la mostra.

2.3.2. Qualitat dels sòls

Segons la classificació del Departament d'Agricultura dels Estats Units les mostres de sòl recollides es poden classificar com sorrenques i sorrenques-llimoses. Les mostres es van passar per un sedàs de 2 mm i la fracció fina va ser digerida amb una mescla de HNO_3 i HClO_4 a 135°C durant setze hores. Les mostres, un cop evaporades, es van resuspendre amb HNO_3 i, un cop diluïdes amb aigua ultrapura, es van determinar els elements minoritaris mitjançant ICP-MS i els majoritaris per ICP-OES. Els contaminants orgànics de les mostres de sòl es van extreure per sonicació amb acetona-acetat d'etil (1:1) i purificació posterior de l'extracte mitjançant SPE polimèrica. La determinació final es va fer mitjançant GC-MS/MS, després d'una derivatització (Hurtado *et al.*, 2017c).

2.3.3. Material vegetal

L'assaig de germinació es va dur a terme amb llavors d'enciam prèviament esterilitzades seguint la metodologia de Marsoni *et al.* (2014).

Les clorofil·les dels vegetals es van mesurar directament per espectrofotometria a 647 i 664 nm (clorofil·les *a* i *b*).

El rendiment agrícola es va mesurar en tomàquets i enciams per pesada directa en les parcel·les d'estudi de 0,2 ha, una vegada assolida la mida comercial. La productivitat de l'enciam es va calcular multiplicant el pes fresc mitjà del producte comercial per un factor de supervivència de 0,8 i el nombre de plantes per metre quadrat; la productivitat del tomàquet, a partir del pes per unitat.

La determinació de metalls i metal·loides dels enciams es va dur a terme a partir de les fulles comestibles, i se'n van descartar les externes, segons la metodologia de l'Environmental Protection Agency (EPA), mètode 200.2, mitjançant digestió amb HNO₃ i HCl a 95 °C durant trenta minuts i la determinació final mitjançant ICP-MS i ICP-OES.

L'extracció dels contaminants orgànics en els enciams es va fer mitjançant la dispersió de la matriu seguida per una extracció amb dissolvents pressuritzats (PSE), separant neutres i bases dels àcids (Calderón-Preciado *et al.*, 2009). Alternativament, la determinació de compostos més polars es va fer per extracció mitjançant sonicació, purificació per medi d'extracció en fase sòlida i determinació mitjançant cromatografia líquida (LC) acoblada a MS/MS.

3. RESULTATS

3.1. Qualitat del medi

3.1.1. Medi atmosfèric

La taula 1 mostra les dades de l'XVPCA preses a l'estació del Prat de Llobregat proporcionades per la Generalitat de Catalunya. Els valors sempre han estat inferiors als establerts com a límits per a la protecció de la salut humana.

D'altra banda, es va avaluar la contaminació per BTEX en un camp del PABL (P3) i el camp referència de Begues (P1) (taula 11). Com era esperable, els valors observats en P3 van ser més elevats que els de P1, fet que es pot atribuir a la influència industrial i de trànsit rodat més gran de l'àrea urbana. Amb tot, i tal com va passar amb la resta de contaminants atmosfèrics, els valors van ser inferiors als màxims establerts per la normativa vigent. A més, no es van trobar diferències en el nivell de productivitat entre zones, per tant, no es pot dir que els contaminants mesurats puguin produir cap efecte advers.

TAULA I. *Valors mínim, màxim i mitjana mensual dels paràmetres de contaminació atmosfèrica durant el cicle productiu dels enciams observats a l'estació del Prat de Llobregat¹*

	Unitat	Març de 2016		Abril de 2016		Valors límit de referència
		Interval	Mitjana	Interval	Mitjana	
SO ₂	µg/m ³	1-5	3	1-4	*	125 ²
CO	mg/m ³	0,4-0,5	0,4	0,4-0,7	0,5	10 ³
NO	µg/m ³	2-34	13	2-27	10	**
NO ₂	µg/m ³	12-64	36	15-46	31	40 ⁴
O ₃	µg/m ³	17-70	48	34-88	60	120 ^{3,5}

* No hi ha dades disponibles.

** No hi ha cap valor legislat.

1. Situada en el Complex Esportiu Municipal (CEM) Sagnier.

2. Valor màxim de les mitjanes diàries, no més de tres ocasions per any.

3. Valor màxim de les mitjanes mòbils 8-horàries del dia (mitjanes mòbils de 8 hores, calculades a partir de dades horàries actualitzades cada hora).

4. Mitjana anual.

5. No es podrà superar en més de vint-i-cinc ocasions per any de mitjana en un període de tres anys.

Font: Per als valors observats: Estació del Prat de Llobregat de l'XVPCA (<http://dtes.gencat.cat/icqa/>); per als valors límit: Direcció General de Qualitat Ambiental i Canvi Climàtic (2017).

TAULA II. *Concentració dels compostos BTEX corresponent a deu dies d'exposició durant el cicle productiu dels enciams en dos dels camps d'estudi*

Compostos BTEX (µg/m ³)	P1 (Begues)	P3 (PABL)	Valor límit de referència
Benzè	0,04	2,2	5
Toluè	< 0,01	10,3	*
Etilbenzè	0,01	1,33	*
Xilè	0,03	1,63	*

* No hi ha límit establert.

Font: Directiva 2000/69/CE (2000).

3.1.2. Aigües de reg

Les aigües de reg del PABL (P2, P3, P4 i P5) tenen una conductivitat elèctrica més elevada amb relació a les aigües del camp de Begues (P1), fet que es pot atribuir a l'abocament d'efluents d'EDAR a la conca del Llobregat i el

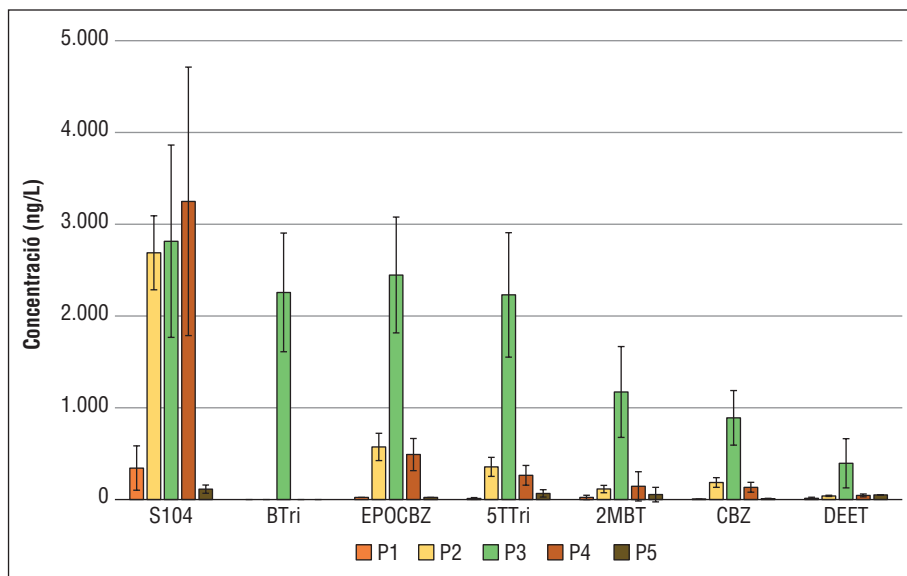
Impacte de la contaminació ambiental als cultius periurbans o de proximitat

Cardener, així com per l'escolament de sals sòdiques i potàssiques a Súria i Sallent. Els sòlids totals en suspensió i l'amoni van ser més elevats a P2, P3 i P4 amb relació a P1 i P5, ja que les aigües de reg dels darrers provenen d'aigua subterrània o pluvial. P5 va presentar nivells més elevats de $N-NO_3^-$ i PT, ja que s'hi aplica fertirrigació, seguit de P3, per l'aportació d'aigües regenerades mitjançant el canal de la Infanta. Cal esmentar que la qualitat de les aigües de reg a totes les zones d'estudi compleixen els nivells exigits per la normativa estatal de reutilització de les aigües depurades (Reial decret 1620/2007).

Pel que fa als elements traça, el B i el Ba són els més abundants a la zona d'estudi. Encara que se'n desconeix l'origen, hom creu que poden ser d'origen mixt, geogènic combinat amb aportacions antropogèniques pel que fa al B. Les concentracions més elevades d'elements traça es van detectar a P3, seguit per P5, P2 i P4. Els nivells més baixos es van enregistrar a P1, cosa que confirma que la zona de Begues està menys contaminada amb relació al PABL. S'ha confirmat estadísticament (prova de *t* de Student per a dades aparellades, $p < 0,05$) que el camp P1 és el menys contaminat i P3 el que més, probablement associat al fet que rep aigües del canal de la Infanta. Amb tot, els nivells de metalls trobats compleixen el criteri del Reial decret 1620/2007 i de les directives de l'Organització per a l'Alimentació i l'Agricultura (FAO, 1985).

Pel que fa als contaminants orgànics de preocupació emergent, es van mesurar trenta-quatre compostos (Margenat *et al.*, 2017) de propietats fisicoquímiques i usos diferents. La freqüència amb què es detecten aquests trenta-quatre contaminants varia segons el camp, del 25% a P1, el menys contaminat, al 70% a P3, el més contaminat. El compost més abundant va ser el surfícol 104 (tensioactiu no iònic), i a les aigües freàtiques i/o pluvials (P1 i P5) va presentar valors força inferiors amb relació a les aigües superficials (P2-P4) (figura 3). El benzotriazol i derivats, emprats com a anticorrosius, es van detectar al camp P3, fet que és consistent amb la seva presència en els efluent d'EDAR. Un altre compost detectat al PABL és la carbamazepina, un agent antiepilèptic molt refractari a la degradació a les EDAR convencionals, i el seu intermedi de transformació més gran, el 10,11-epoxicarbamazepina. La carbamazepina es va detectar, majoritàriament, en els camps regats amb aigües superficials (P2, P3 i P4). Tot i que no hi ha cap normativa que en reguli la presència a les aigües, alguns fàrmacs s'han inclòs a la llista de compostos objecte de vigilància ambiental (llista d'observació, o *watch list* en anglès, establerta a la Directiva 2013/39/CE), i per tant caldrà tenir-los en compte en estudis futurs.

FIGURA 3. Concentracions de microcontaminants orgànics a l'aigua de reg en els camps d'estudi



S104: surfinol 104; BTri: benzotriazol; EPOCBZ: 10,11-epoxicarbamazepina; 5TTri: 5-metilbenzotriazol; 2MBT: 2-mercapto-benzotriazol; CBZ: carbamazepina; DEET: N,N-diethyl-meta-toluamida.

Font: Elaboració pròpia.

3.1.3. Sòl agrícola

Els paràmetres generals dels sòls no presenten diferències gaire marcadament entre els camps. El pH dels sòls avaluats és lleugerament bàsic i la capacitat de bescanvi catiònic baixa d'acord amb la seva textura. Els nivells de nutrients són característics d'un sòl agrícola sotmès a fertilització.

Els metalls i metal·loides més abundants a tots els camps d'estudi són el B, Ba, Mn, Pb i Zn. Les concentracions van anar des de nivells no detectables fins a 802 mg/kg de pes sec (ps). De tots els camps analitzats, P1 (Begues) és el menys contaminat d'acord amb l'agricultura ecològica que s'hi desenvolupa. Tot i les elevades concentracions de B i Ba, només varen excedir els nivells recomanats per la Generalitat de Catalunya el Mo, Ni, Pb i As en alguns camps del PABL. En canvi, les concentracions de Mn, Zn, Cr, Cu i Cd varen ser més baixes, i encaixen amb els valors d'una zona poc contaminada o de poc impacte antropogènic.

Pel que fa a microcontaminants orgànics, vint-i-cinc dels trenta-quatre analitzats van excedir el límit de quantificació almenys en algun dels punts

Impacte de la contaminació ambiental als cultius periurbans o de proximitat

en què es van prendre les mostres. Així, els nivells de concentració van anar des de nivells no detectables fins a 397 µg/kg ps. Els compostos més abundants varen ser el tris(1-clor-2-propil) fosfat i el bisfenol F associats al material plàstic de les canonades de reg de degoteig (a P1 i P5) (Margenat *et al.*, 2018). Les diferències en les concentracions són estadísticament significatives entre els diferents camps per a la majoria de compostos analitzats.

3.2. Incorporació de contaminants als vegetals

Les concentracions de nitrats, metalls i metal·loides i microcontaminants orgànics en enciams es presenten a la taula III. Es van detectar contaminants a totes les àrees d'estudi, fins i tot a la de cultiu ecològic (P1), amb concentracions estadísticament diferents entre camps, però sempre inferiors als valors legislatos (Reglament (CE), núm. 1881/2006/CE).

Els metalls i metal·loides que van presentar concentracions més elevades van ser B, Ba, Mn i Zn, en concordança amb la seva abundància en el sòl. Els nivells que presenten són característics de zones similars. Prenent la suma de tots els elements traça, a l'hivern el nivell de contaminació més alt va ser el detectat a P3 (9,03 mg/kg pes fresc [pf]), mentre que el més baix va ser a P5 (7,30 mg/kg pf), tot i que les diferències entre camps no van ser estadísticament significatives ($p < 0,05$).

Pel que fa a microcontaminants orgànics, en enciams se'n van detectar vuit dels detectats en el sòl de la mateixa parcel·la productiva. Els compostos majoritaris van ser el metilparabè i bisfenol F, el primer associat a fungicides i el segon a material plàstic. Es van detectar els dos fungicides analitzats, dimetomorf i carbendazim, durant la campanya d'hivern en dos camps, P3 i P5. També es van detectar l'antiepilèptic carbamazepina, característic de les aigües regenerades, i el seu producte de transformació majoritari (10,11-epoxi-carbamazepina) en pràcticament tots els camps. Mentre que en el cas dels fungicides hom creu que el seu origen és per aplicació directa, ja que no s'han detectat en P1, d'agricultura ecològica, la carbamazepina és un agent antiepilèptic que presenta una elevada persistència en el tractament de les aigües residuals, així com una taxa d'incorporació elevada en els cultius vegetals (Hurtado *et al.*, 2016) i per tant podria incorporar-se per via radicular a partir de l'aigua de reg.

3.3. Afectació als cultius i al rendiment agrícola

Tot i que nombrosos treballs mostren alteracions a escala morfològica i fisiològica de les plantes exposades a contaminants (Hurtado *et al.*, 2017a), sovint les concentracions avaluades en aquests treballs són superiors a les

TAULA III. Concentracions mínima, màxima i mitjana (en negreta) de metalls, metal·loides i microcontaminants orgànics més rellevants detectades en enciams conreats als camps d'estudi

	Camps d'estudi						
	P1 hivern	P2 hivern	P3 hivern	P3 estiu	P4 hivern	P4 estiu	P5 hivern
Nitrats	1.113-1.543 1.331	729-862 793	1.467-1.854 1.648	1.264-1.411 1.316	739-1.039 892	628-1.004 803	1.202-1.827 1.316
Metalls i metal·loides (mg/kg pf)							
B	1,50-2,12 1,76	1,43-1,89 1,73	1,54-2,44 1,98	1,62-2,02 1,86	1,56-2,43 1,92	1,58-2,42 2,00	1,30-1,97 1,58
Ba	0,62-1,16 0,83	0,56-0,66 0,59	0,38-0,66 0,48	0,55-0,80 0,62	0,44-0,71 0,60	0,48-0,85 0,61	0,40-0,58 0,47
Cr	0,12-0,34 0,20	0,10-0,20 0,14	0,08-0,26 0,15	0,08-0,78 0,25	0,09-0,54 0,20	0,20-0,57 0,33	0,11-0,17 0,13
Cu	0,40-0,66 0,49	0,57-0,78 0,67	0,46-0,69 0,59	0,48-0,76 0,65	0,64-0,89 0,78	0,60-0,96 0,78	0,45-0,81 0,57
Mn	2,77-4,91 3,60	1,29-1,77 1,47	2,65-4,20 3,32	3,29-4,28 3,59	1,50-2,46 1,89	1,73-2,79 2,16	1,89-2,70 2,33
Mo	0,02-0,03 0,03	0,02-0,03 0,02	0,02-0,04 0,03	0,02-0,06 0,03	0,02-0,05 0,03	0,03-0,06 0,04	0,02-0,03 0,02
Ni	0,05-0,16 0,09	0,05-0,09 0,07	0,04-0,10 0,06	0,08-0,61 0,21	0,05-0,41 0,13	0,19-0,32 0,25	0,05-0,12 0,09
Pb	0,03-0,08 0,05	0,09-0,15 0,11	0,08-0,19 0,13	0,13-0,45 0,28	0,13-0,21 0,16	0,13-0,25 0,20	0,13-0,22 0,19
Sb	0,02-0,07 0,03	0,02-0,02 0,02	0,01-0,01 0,01	0,02-0,03 0,02	0,01-0,01 0,01	0,02-0,02 0,02	0,01-0,02 0,01
Zn	1,00-1,52 1,23	2,36-3,41 2,78	1,73-2,92 2,28	1,30-1,96 1,71	2,15-3,12 2,53	2,01-2,95 2,50	1,47-2,69 1,91
As (µg/kg)	0,0575-0,65 0,41	0,510-0,855 0,677	0,216-0,936 0,601	0,567-2,30 1,54	0,445-1,17 0,835	0,419-1,10 0,688	0,267-1,40 0,843
Hg (µg/kg)	0,30-0,46 0,37	0,365-1,67 1,06	0,520-1,12 0,837	0,695-1,45 1,07	0,690-1,56 0,974	0,526-0,856 0,745	0,636-1,66 1,01

Impacte de la contaminació ambiental als cultius periurbans o de proximitat

TAULA III. Concentracions mínima, màxima i mitjana (en negreta) de metalls, metal·loides i microcontaminants orgànics més rellevants detectades en enciams conreats als camps d'estudi (Continuació)

Microcontaminants orgànics (µg/kg ps)	Camps d'estudi						
	P1 hivern	P2 hivern	P3 hivern	P3 estiu	P4 hivern	P4 estiu	P5 hivern
Bisfenol F	22,9-470 34,4	33,3-230 70,0	65-2.675 1.007	27,4-69,5 46,4	72-718 427	34,3-1.021 302,4	13,9-767 54,3
Metilparabè	2.195-3.974 2.802	525-994 966	405-818 691	482-642 598	57,3-1.102 1.513	23,6-853 510	1.136-1.960 683
Surfinol 104	< 90,5	< 90,5	< 90,5-208	< 90,5	< 90,5	< 90,5	< 90,5-159
2-mercapto-benzotiazol	49-2.460 384	< 14,7	< 14,7	< 14,7-118	< 14,7-17,0	< 14,7	< 14,7-596 38,2
Dimetomorf	nd	nd	392-943 572	nd	nd	nd	10-15 13
Carbendazim	nd	nd	< 36,2-66,9 57,5	< 36,2	nd	nd	< 36,2-914 467
Carbamazepina	3,64-4,69 4,19	2,33-2,64 2,54	3,36-8,14 5,99	6,71-11,37 7,39	1,86-4,19 2,56	1,97-19,03 3,72	3,06-4,65 3,37
Carbamazepina epòxid	3,83-4,88 4,36	nd	1,40-1,86 1,63	1,58-2,13 1,78	1,86-5,68 3,77	1,95*	1,99-3,09 2,54

nd: no detectat; pf = pes freq; ps = pes sec.

* n = 1

FONT: Elaboració pròpia.

concentracions que habitualment es detecten en el medi. A més, la presència de carboni orgànic dissolt i d'altres components en dissolució fa que el comportament dels contaminants químics a escala real requereixi una atenció especial.

Es va avaluar la fitotoxicitat de l'aigua de reg (presa de P4) mitjançant l'assaig de germinació de llavors d'enciam (Margenat *et al.*, 2017). Els resultats mostren que la taxa de germinació de llavors d'enciam amb les aigües de reg del PABL és més elevada que amb aigua destil·lada (98-99 % enfront de 88 %), fet atribuïble a la presència de macronutrients i micronutrients en les primeres, que en facilita la germinació (Rezvani *et al.*, 2014). A més, l'elongació radicular de les llavors amb aigua del camp P4 va ser superior a l'aigua destil·lada. Per tant, la composició de les aigües de la zona d'estudi no afecta negativament ni la taxa de germinació ni la longitud de l'arrel i per tant no provoca efectes fitotòxics.

Pel que fa al contingut de clorofil·les dels enciams, les diferències observades són estacionals, i assoleixen els valors màxims durant l'estiu, que coincideix amb l'època de màxima insolació i duració de la llum solar; no es va constatar cap diferència entre camps.

Pel que fa als rendiments de l'enciam, tant al PABL com en el camp de referència van ser similars, amb rendiments que van anar de $41,9 \pm 12,3$ t/ha a $96,4 \pm 13,2$ t/ha. Els rendiments del tomàquet van oscil·lar de 116 a 208 g/unitat. Tanmateix, aquests valors coincideixen amb els d'altres estudis, per exemple, Serna *et al.* (2012) observen un rendiment en enciams de $34,0 \pm 1$ t/ha i Casals *et al.* (2010), un pes mitjà per tomàquet de 138 ± 6 g/unitat. El pes mitjà d'un tomàquet del camp de Begues (157 ± 41 g/u pf) va ser lleugerament inferior als valors obtinguts als camps del PABL ($189 \pm 46 - 207 \pm 39$ g/u pf), probablement per la diferència de les condicions climàtiques que, en el camp de referència (399 m per sobre del nivell del mar), provoquen un creixement més lent. Tot i la dificultat metodològica intrínseca a l'avaluació del rendiment productiu, els resultats indiquen que la presència de micronutrients i macronutrients a les aigües de reg de la zona periurbana és més positiva en el rendiment hortícola que la fitotoxicitat potencial dels contaminants.

4. CONCLUSIONS

L'agricultura periurbana o de proximitat compleix nombroses funcions en l'entorn urbanitzat de les grans ciutats i ofereix, entre d'altres, una producció agrícola segura i de proximitat. Malgrat això, les ciutats per si soles i les infraestructures que les envolten generen un impacte al medi atmosfèric i a les aigües de reg que poden afectar l'agricultura propera, tant pel que fa al rendiment com a la seguretat alimentària dels productes. Els resultats fins ara obtinguts al PABL indiquen que, malgrat que hi ha més contaminació en les aigües de reg i en el sòl dels camps del PABL, amb relació al camp de referència de Begues, no s'ha observat cap impacte negatiu en la productivitat agrícola ni en els nivells de contaminants detectats a l'enciam. A tall d'exemple, els valors de microcontaminants orgànics trobats són, en gran part, resultat de l'aplicació de fungicides i els nivells de metalls, així com de la resta de contaminants analitzats, estan per sota dels llindars establerts per la legislació vigent. Malgrat això, la introducció continuada de contaminants nous al medi i l'impacte que produeixen al microbioma del sòl i a la fertilitat agrícola requereix un estudi molt més profund per a poder avaluar les possibles interaccions entre contaminants i matèria orgànica del sòl, així com els exsudats de les arrels de les plantes.

L'avaluació de les implicacions potencials per a la salut humana de la presència de microcontaminants, metalls i metal·loides és encara prematura

Impacte de la contaminació ambiental als cultius periurbans o de proximitat

i es necessiten més dades per a treure conclusions definitives. Nogensmenys, el principi de precaució obliga a aprofundir en l'estudi considerant també els biosòlids com una font de contaminants i els efectes combinats de metalls i microcontaminants orgànics. La presència d'antibiòtics pel risc de generar bacteris resistents també requereix més atenció.

AGRAÏMENTS

Al Ministeri d'Economia, Indústria i Competitivitat de l'Estat espanyol mitjançant el projecte AGL2014-59353-R, al Consorci del Parc Agrari del Baix Llobregat i als tècnics de les Agrupacions de Defensa Vegetal (ADV) del Baix Llobregat per la seva col·laboració en la implementació i en l'interès en el desenvolupament del projecte.

BIBLIOGRAFIA

- ARORA, M. [et al.] (2008). «Heavy metal accumulation in vegetables irrigated with water from different sources». *Food Chem.*, núm. 111, p. 811-815.
- BAYONA, J. M. [et al.] (2018). «Predictive models to assess the uptake of organic microcontaminants and antibiotic resistant bacteria and genes by crops». A: DURÁN, M. C. [et al.] (ed.). *Artificial or constructed wetlands: A suitable technology for sustainable water management*. Boca Raton, EUA: CRC, capítol 15, p. 262-285.
- BERMEJO, V. [et al.] (2009). *El ozono troposférico y sus efectos en la vegetación*. Madrid: MARM-CIEMAT, 74 p.
- CALATAYUD, A.; ALVARADO, J. W.; BARRENO, E. (2002). «Similar effects of ozone on four cultivars of lettuce in open topchambers during winter». *Photosynthetica*, núm. 40, p. 195-200.
- CALDERÓN-PRECIADO, D. [et al.] (2009). «Development of an analytical procedure for the determination of emerging and priority pollutants in leafy vegetables by pressurized solvent extraction followed by GC-MS determination». *Anal. Bional. Chem.*, núm. 394, p. 1319-1327.
- CALDERÓN-PRECIADO, D. [et al.] (2013). «Uptake of microcontaminants by crops irrigated with reclaimed water and groundwater under real field greenhouse conditions». *Environ. Sci. Pollut. Res.*, núm. 20, p. 3629-3638.
- CASALS, J. [et al.] (2010). «Montgrí, a cultivar within the Montserrat tomato type». *Hortscience*, núm. 45, p. 1885-1886.
- CUI, H. [et al.] (2014). «Influence of ciprofloxacin on microbial community structure and function in soils». *Biol. Fertil. Soils*, núm. 50, p. 939-947.
- DIRECCIÓ GENERAL DE QUALITAT AMBIENTAL I CANVI CLIMÀTIC (2017). «Valors legíslats de la qualitat de l'aire. 2017» [en línia]. <<http://mediambient.gencat.cat/>>

- web/.content/home/ambits_dactuacio/atmosfera/qualitat_de_laيرة/mesura_de_la_qualitat_de_laيرة/valors_legislats_de_la_qualitat_de_laيرة/valors-legislats-qualitat-aire-2017.pdf>. [Consulta: gener 2018].
- «Directiva 2000/69/CE del Parlament Europeu i del Consell, de 16 de novembre de 2000, sobre els valors límit per al benzè i el monòxid de carboni en l'aire ambient». DOCE, núm. 313, p. 12-21.
- «Directiva 2013/39/CE relativa a les normes de qualitat ambiental en l'àmbit de la política d'aigües, de 12 d'agost del 2013, per la qual es modifiquen les Directives 2000/60/CE i 2008/105/CE pel que fa a les substàncies prioritàries». DOUE, núm. 226, p. 1-17.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO) (1985). «Water quality for agriculture». *FAO Irrigation and Drainage Paper* [Roma], núm. 29.
- HAN, X. -M. [et al.] (2016). «Impacts of reclaimed water irrigation on soil antibiotic resistome in urban parks of Victoria, Australia». *Environ. Pollut.*, núm. 211, p. 48-57.
- HUGHES, S. R. [et al.] (2013). «Global synthesis and critical evaluation of pharmaceutical datasets collected from river systems». *Environ. Sci. Technol.*, núm. 47, p. 661-677.
- HURTADO, C. [et al.] (2016). «Estimate of uptake and translocation of emerging contaminants from irrigation water concentration in lettuce grown under controlled conditions». *J. Hazard. Mat.*, núm. 305, p. 139-148.
- HURTADO, C. [et al.] (2017a). «Linking the morphological and metabolomics response of *Lactuca sativa* L. exposed to emerging contaminants using GC x GC-MS and chemometric tools». *Scientific Reports*, núm. 7, p. 6546. DOI: 10.1038/s41598-017-06773-0.
- HURTADO, C. [et al.] (2017b). «Effect of biochar concentration on the mitigation of emerging contaminant uptake in lettuce». *J. Hazard. Mat.*, núm. 323, p. 386-393.
- HURTADO, C. [et al.] (2017c). «Degradation of emerging organic contaminants in an agricultural soil: decoupling biotic and abiotic processes». *Water, Air, Soil Pollut.*, núm. 228, p. 243.
- ISLAM, M. N. [et al.] (2012). *Pollution attenuation by roadside greenbelt in and around urban areas*. DOI: 10.1016/j.ufug.2012.06.004.
- JAISWAL, D. K.; VERMA, J. P.; YADAV, J. (2017). «Microbe induced degradation of pesticides in agricultural soils». A: SINGH, S. (ed.). *Microbe-induced degradation of pesticides*. Suïssa: Springer. (Environ. Sci. Engn.)
- JONES, O. A. H. [et al.] (2005). «Human pharmaceuticals in wastewater treatment processes». *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.*, núm. 35 (4), p. 401-427.
- KRASNER, S. W. [et al.] (2009). «Occurrence of disinfection byproducts in United States wastewater treatment plant effluents». *Environ. Sci. Technol.*, núm. 43, p. 8320-8325.

Impacte de la contaminació ambiental als cultius periurbans o de proximitat

- MARGENAT, A. [et al.] (2017). «Occurrence of chemical contaminants in peri-urban agricultural irrigation waters and assessment of their phytotoxicity and crop productivity». *Sci. Total Environ.*, vol. 599-600, p. 1140-1148. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.05.025.
- MARGENAT, A. [et al.] (2018). «Occurrence and bioaccumulation of chemical contaminants in lettuce grown in peri-urban horticulture». *Sci. Total Environ.*, vol. 637-638, p. 1166-1174. DOI:10.1016/j.scitotenv.2018.05.035.
- MARSONI, M. [et al.] (2014). «Uptake and effects of a mixture of widely used therapeutic drugs in *Eruca sativa* L. and *Zea mays* L. plants». *Ecotoxicol. Environ. Safety*, núm. 108, p. 52-57.
- NABULO, G. [et al.] (2010). «Assessing risk to human health from tropical leafy vegetables grown on contaminated urban soils». *Sci. Total Environ.*, vol. 408, p. 5338-5351.
- NOVO, A. [et al.] (2013). «Antibiotic resistance, antimicrobial residues and bacterial community composition in urban wastewater». *Water Res.*, núm. 47, p. 1875-1887.
- «Reglament (CE) 1881/2006 de la Comissió, del 19 de desembre de 2006, pel qual es fixa el contingut màxim de determinats contaminants en els productes alimentaris». DOUE, núm. 364, p. 5-23.
- «Reial decret 1620/2007, de 7 de desembre, pel qual s'estableix el règim jurídic de la reutilització de les aigües regenerades». BOE, núm. 294, p. 50639.
- REZVANI, M.; ZAEFARIAN, F.; AMINI, V. (2014). «Effects of chemical treatments and environmental factors on seed dormancy and germination of shepherd's purse (*Capsella bursa-pastoris* (L.) Medic.)». *Acta Botanica Brasílica*, núm. 28, p. 495-501.
- SERNA, M. [et al.] (2012). «Brassinosteroid analogues effect on yield and quality parameters of field-grown lettuce (*Lactuca sativa*)». *Sci. Horticul.*, núm. 143, p. 29-37.
- «Títol 22. Code of regulations» (2014). *Regulations related to recycled water* (juny), p. 13.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA) (1994). *Method 200.2, revision 2.8: sample preparation procedure for spectrochemical determination of total recoverable elements*. Cincinnati, Ohio: US EPA.
- ZHANG, CH. M. [et al.] (2016). «Elimination of viruses from domestic wastewater: requirements and technologies». *World J. Microbiol. Technol.*, núm. 32, p. 69. doi.org/10.1007/s11274-016-2018-3.