

Desinfekzioaren azpiproduktuak edateko uretan

Unai Iriarte Velasco

Ingeniaritza Kimikoa Saila
Farmazia Fakultatea
Euskal Herriko Unibertsitatea
E-mail: unai.iriarte@ehu.es

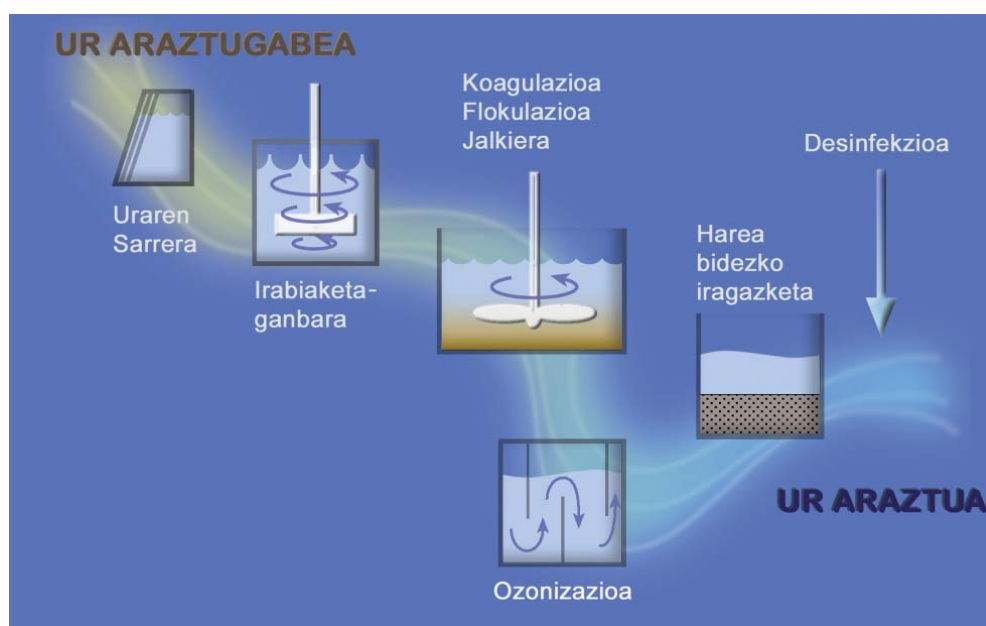
Laburpena: Gauza guztiek behar omen dute bere neurria, baita gure mesederako erabiltzen direnek ere. Kloroa dugu horren adibide garbietako bat. Edateko ura desinfektatzeko erabiltzen da, baina bere erabilera zorrotz neurtu/arautu behar da kaltegarriak diren zenbait sustantzia ere sortzen baititu. Hauek desinfekzioaren azpiproduktuak izenez ezagutzen dira eta kloroaren eta uretan dagoen materia organikoaren arteko erreakzio-tik sortzen dira.

Abstract: Everything should be used with measure, even those that are used for our convenience. That is the case of chlorine, which is used for the disinfection of drinking water. It's use must be precisely controlled since it can also be a source of non desired microcontaminants known as disinfection by products. These are generated from the reaction between chlorine and natural occurring organic matter. One of the best available technologies to reduce formation of disinfection by products is the use of activated carbon.

SARRERA

Ura konposatu nahitaezkoa da bizidun guztietan, baina horretaz gain, hainbat bizidunen bizilekua ere bada. Bere ziklo naturalean kutsatu egiten da, bai giza jardueraren ondorioz, edo baita bere ibilbide naturalean zehar disolbatzen dituen sustantzia naturalek eraginda ere.

Edateko ura etxeetara iritsi aurretik araztegietan tratatu eta prestatzen da. Giza horniketarako erabiltzen diren ur naturalen ezaugarriak oso aldatkorak dira, bereziki ibaietako eta lakuetakako lur-azaleko uren kasuan. Horregatik, araztegietan egiten diren prozesuak heltzen den uraren ezaugarrien eta irteerako urak izan behar duen kalitatearen arabekoak dira. 1. irudian erakusten da edateko uren arazketaren eskema tipikoa. Lehenik, koagula-



1 irudia. Ur- araztegi baten eskema.

zio-flokulazio-jalkiera tratamendua egiten da, ondoren, harea bidezko iragazketa eta azkenik, kloroa gehitzen da desinfektatzeko. Batzuetan ozono bidezko oxidazioa ere egiten da uraren kalitatea hobetzeko. Dena den, kloroa da uraren desinfekzioan gehien erabiltzen den substantzia. Izan ere, desinfektagarri oso eraginkorra izateaz gain, erabilpen erraza dauka, merkea da eta asko irauten du horniketa-sarean zehar.

1. taula. Hainbat Estatuk eta Nazioarteko Erakunde batzuek ur edangarrietan DAP-entzat ezarritako gehienezko kontzentrazioak [3].

	THMs	CHCl ₃
Espainia	100	—
Erresuma Batua	100	—
EEBB	80	—
MOE (OMS)	—	200
Dinamarca	10-15 (ahalik eta gutxien)	—
Frantzia	—	30
Japonia	100	60
Australia	250	—
Kanada	350	—
Txina	—	60

Uraren desinfekzioan hala ere, giza osasunerako toxikoak diren zenbait konposatu sor-daitezke [1,2]. Hauek «desinfekzioaren azpiproduktu» (DAP) legez ezagutzen dira. Ingelesez «Disinfection by-products» (DBP) eta gazteleraz «Subproductos de la desinfección» (SPD). Beraien artean, trihalometanoena da ugarienetarikoa eta kaltegarrienetakoa den espezie talde bat. Horregatik, Europar Batasunak 2003an ur edangarrietan trihalometanoen edukia erregulatzen duen Arteztaraua onartu zuen. Espainian, 140/2003 Errege Dekretuaren bitartez 2009tik aurrera 100 µg/L-tan ezarri da beraien gehieneko kontzentrazioa. Adibide gisa, esan dezagun konposatu horien tanta bat (0,05 ml) berrehun bat litro uri gehitzean edukiko genukeela kontzentrazio hori. Eusko Jaurlaritzako Osasun Sailak 2005 urteaz geroztik trihalometanoak ere barne hartu ditu bere uraren kalitatearen balorazio eta azterketetan.

DESINFEKZIOA

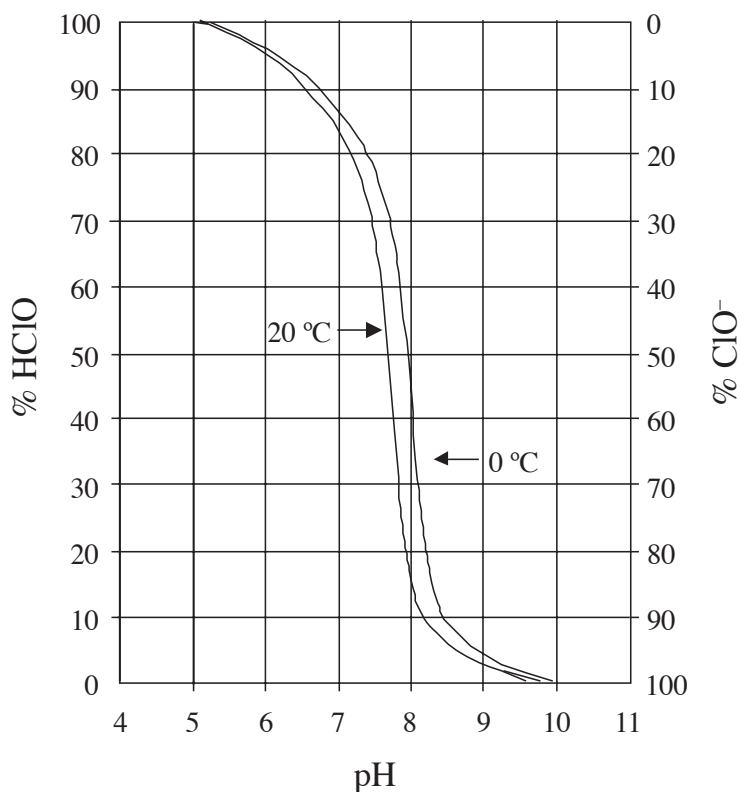
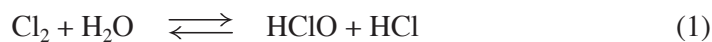
Desinfekzioa uretan dauden mikroorganismo patogenoen deusezte hau-takorra da eta ezinbesteko urratsa da giza kontsumorako uraren ekoizpe-nean [4,5]. Uraren desinfekzioa egiteko bi era daude: metodo kimikoak eta fisikoak. Metodo kimikoak oxidatzaile kimiko baten erabilera oinarrituta daude. Kloroa edo bere eratorriak [6] eta ozonoa [7] erabiltzen dira gehien-bat. Metodo fisikoen artean erradiazio ultramorearen erabilera da [8] aipa-garriena.

Beharrezko desinfektagarri-dosia kontzentrazioaren eta kontaktu denboraren arteko biderkaketa (CT) dela onartzen da. Adibide gisa, esan dai-teke kloro dioxidoa erabilia Giardia lamblia suntsitzeko beharrezkoa den CT-dosia 5 mg · min/l-koa dela. Desinfekzio maila bera lortzeko, kloro-do-sia 3-4 aldiz handiagoa da. Halaber, ozono-dosia 100-1.000 aldiz txikiagoa izatera hel daiteke [9]. Jakina da era berean kloroa ez dela guztiz eraginko-rra Cryptosporidium bezalako mikroorganismo batzuen kasurako [10]. Ho-rregatik, gero eta gehiago zabaldu da desinfektagarrien erabilera kombina-tua, adibidez, ozono/kloro [11] edo kloro dioxido/ozono [12] bikoteena.

Kloroa ez da, beraz, desinfektagarri indartsuena; hala ere, bera da guztien artean erabiliena. Hondar-ahalmena da kloroa erabiltzearen onura handienetarikoa bat, hau da, gehitu ondoren denbora luzean irau-ten du uretan. Honela, uraren kalitatea ziurtatzen du horniketa-sarean zehar. Hodierietan agertzen diren bakterio, lizun edo alga bezalako orga-nismoen hazkuntza geldiarazteaz gain, hidrogeno sulfuroa eta konposatu nitrogenodunak eliminatzen ditu. Azken hauek usai, kolore eta zapore ezatseginak ematen dizkiote urari. Abantaila hauetaz gain, kloroa es-kuragarritasun handiko produktua da, merkea eta esan bezala, erabilera errazekoa. Horregatik, kloroa da mundu mailan gehien erabiltzen den desinfektagarria.

Alabaina, kloroaren erabilerak badu eragozpen nagusi bat: goian esan bezala, erreaktibotasun handia du konposatu organiko jakin batzuekin, eta desinfekzioaren azpiproduktuak sortzen ditu.

Kloroa sodio hipoklorito (lixiba arrunta) edo kloro gas legez erabiltzen da. Edozein dela bere hasierako egoera, uretan disolbatzerakoan benetako desinfektatzailea den azido hipokloroso (HClO) sortzen da. Uraren desinfekzioa arrakasta-faktore askoren menpekoa da: temperatura, uraren pH-a, gai organikoen kontzentrazioa, etab. Kloro gasak uretan bor-bor egiten duenean bere hidrolisia gertatzen da, eta azido hipokloroso eta azido klorhidrikoa (HCl) sortzen dira produktu bezala. Hidrolisi erreakzio horiek produktu bien banaketa erreakzioekin batera gertatzen dira, hurrengo erreakzio-eskemaren arabera:



2. irudia. Azido hipokloroso eta azido klorhidrikoaren arteko oreka hainbat pH-baliotarako.

HClO espeziearen desinfekzio-ahalmena ClO-arena baino ehun bat aldiz handiagoa da. Uraren pH-ak eragin zuzena du HClO/ClO⁻ espezieen arteko erlazioan. Horregatik, komenigarria da desinfekziorako pH neutroa edo pixka bat azidoa izatea. Izan ere, 7,0 inguruko pH-a badago, kloroaren % 80a azido hipokloroso moduan dago, 2. irudiak erakusten duen bezala.

DESINFEKZIOAREN AZPIPRODUKTUAK

Desinfektagarriak, azken batean, oxidatzaile indartsuak baino ez dira. Ondorioz, mikroorganismoak ezabatzeaz gain, gai dira uraren beste osagai batzuekin erreakzionatzeko, besteak beste zenbait makromolekula organikorekin. Desinfektagarriaren eraginez, molekula organiko hauek apurtu eta beste molekula txikiago batzuk askatzen dira. Azken hauek desinfektagarritik eratorritako kloro atomoak erantsita dituzte eta desinfekzioaren azpiproduktu (DAP) izenez ezagutzen dira.

Orain dela hamarkada batzuk, Rook eta lankideek [1] lehen aldiz behatu zuten kloroformoa sortzen zela kloroaren azpiproduktu gisa. Gaur egun, ehunka dira identifikatu diren azpiproduktuak [13]. Aipagarria da ur naturalean bromuro ioia badago, hau kloroarekin batera azpiproduktuetan erantsi eta kloro eta bromo atomoak dituzten azpiproduktuak sortzen direla.

Kloroaren bidezko desinfekzioaren azpiproduktuen artean, trihalometanoak (THM) dira talderik ugariena [14]. Ondoren, azido haloazetikoaren familia da talde handiena. Ur edangarrietan familia honetako 9 espezie identifikatu izan dira. 2. taulan adierazten dira familia bakoitzeko espezieak.

2. taula. Ur edangarrien desinfekzioagatik gertatzen diren azpiproduktu ugariak.

Azpiproduktu-familia	Espezieak
Trihalometanoak (THM)	kloroformoa (CHCl ₃), bromodiklorometanoa (CHBrCl ₂), dibromoklorometanoa (CHClBr ₂), bromoformoa (CHBr ₃)
Azido haloazetikoak (AHA)	Azido kloroazetikoa (ClCH ₂ COOH), azido dikloroazetikoa (Cl ₂ CHCOOH), azido trikloroazetikoa (Cl ₃ COOH), azido bromoazetikoa (BrCH ₂ COOH), azido dibromoazetikoa (Br ₂ CHCOOH), azido tribromoazetikoa (Br ₃ CCOOH), azido bromokloroazetikoa (BrClCHCOOH), azido dibromokloroazetikoa (Br ₂ ClCOOH), azido diklorobromoazetikoa (Cl ₂ BrCOOH).

Kloroaz bestelako desinfektagarriek ere sortzen dituzte beraien azpi-produktuak. Ozonoak, adibidez, bromato eta aldehidoen agerpena sustatzen du [15]. Kloro dioxidoak, aldiz, klorittoa eta kloratoo sortzen ditu [16]. Azpi-produktu hauek guztiak ere oso kaltegarriak dira gizakion osasunerako. 3. irudian aurkezten dira ohiko azpi-produktuak, beraien izaera eta desinfektagarri sortzailearen arabera.

ORGANIKOAK	EZORGANIKOAK
Ez-Halogenatuak Aldehidoak [OZONOA] Zetonak [OZONOA] Azido Karboxilikoak [OZONOA, KLOORO DIOXIDOA]	Bromatoak [OZONOA] Kloratoak [KLOORO DIOXIDOA] Kloritooak [KLOORO DIOXIDOA]
Halogenatuak (TOX) <ul style="list-style-type: none">• Hegazkorrak, POX Trihalometanoak (THM) [KLOOROA]• Ez-Hegazkorrak, NPOX Azido Haloazetikoak (AHA) [KLOOROA] Kloropikrina [KLOOROA] Zianogeno Kloruroa [KLOOROA] Halozetonak [KLOOROA+OZONOA] Haloaldehidoak [KLOOROA+OZONOA] Klorofenolak [KLOOROA, OZONOA]	

3. irudia. Kloro, kloro dioxido, eta ozonoaren bidezko desinfekzioaren azpi-produktu garrantzitsuenen sailkapena.

Toxikotasun-ikerketek gibelego eta giltzurruneko tumoreen agerpenarekin uztartu dituzte THM-ak. Era berean, ikusi izan da azido haloazetikoak kalte egin dezaketela ugaztunen ugaltze- eta garapen-sisteman [2,17]. Dena den, argi izan behar da edateko uretan egon daitezkeen mikroorganismo patogenoak askoz ere arrikutsuagoak direla giza osasunerako.

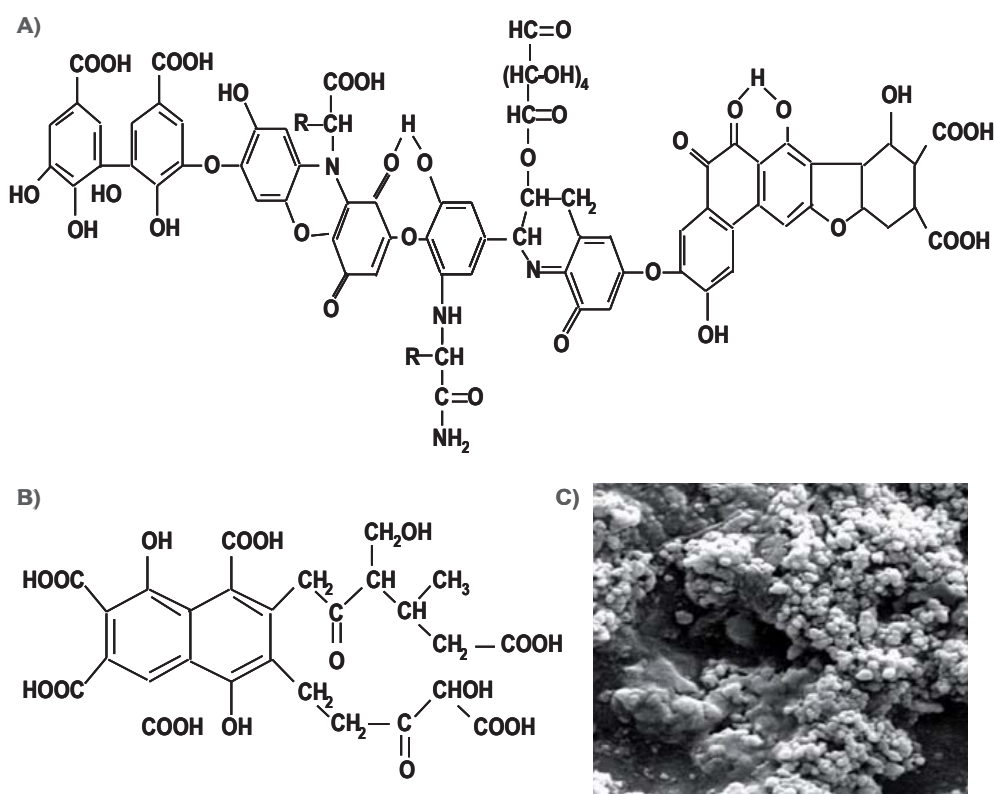
Mikrobioen kutsadura saihestea izan behar da edozein arazketa prozesuren lehentasunetariko bat. Izatez, mikrobioen kutsadurak dakarren hiltze-arriskua 100 edo 1000 aldiz handiagoa da, azpi-produktuen ondorioz minbizia garatzeko jasaten dugun arriskua baino [2].

AZPIPRODUKTUEN AITZINDARIAK

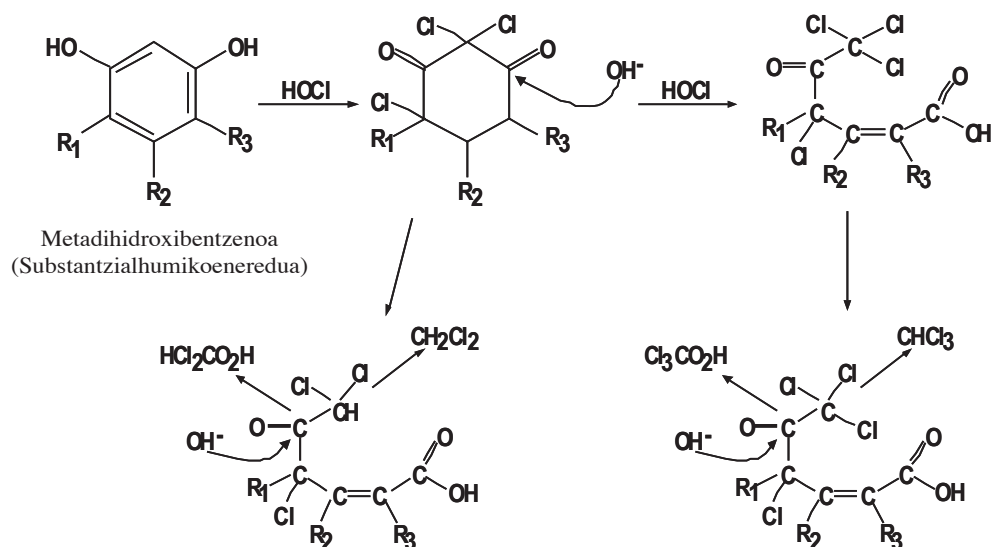
Desinfekzioaren azpiproduktuak, desinfektagarri halogenodunen eta uretan dauden zenbait gai organikoren arteko erreakzioaren produktu dira. Gai organiko hauen jatorria lurzoruan metatuta dagoen eta deskonposatzen ari den animalia eta landare-ekaia da. Halaber, badute kloroarekin erreakzionatzeko ahalmena zenbait landarek eta onddoen metabolitoek ere.

Substantzia hauek aldakortasun oso handia erakusten duten arren, oro har, pisu molekular handikoak dira eta kolore horitik beltzera bitartekoak [18,19]. Hainbat ikerketak [19] frogatu dute substantzia humikoak direla aitzindari nagusiak (4. irudia). Dihidroxibentzenoa ugari agertzen da substantzia humikoetan. 5. irudian dago bere klorazioan azpiproduktuak ematen dituen erreakziorako onar litekeen mekanismo bat.

Substantzia humikoak, hiru taldetan banatzen dira solugarritasunaren arabera: lehenengo taldean, humina dugu, edozein pH-tan disolbaezina. Bi-



4. irudia. Substantzia humikoen egitura tipikoa. A) Azido humikoa, B) Azido fulbikoa eta C) Azido humiko hautsaren SEM irudia (Scanning Electronic Microscopy, handipena 2.000x) [22].



5. irudia. Azpiproduktu halogenodunen formazio erreakzioaren mekanismoa [1].

garren taldean, azido fulbikoak ditugu, edozein pH-tan disolbagarriak. Azken taldean, azido humikoak daude, pH = 2,0-tik gora bakarrik disolbagarriak. Oro har, azido humikoak, fulbikoak baino hidrofoboagoak dira eta pisu molekular handiagoa daukate [18].

Desinfekzioaren azpiproduktuak eratzeko gaitasuna egitura molekular jakin batzuekin uztartu da: besteak beste, talde funtzional karboxilikoak, zetonikoak, m-hidroxilo edo m-karboniloak. Kloroaren eraso hauetan gertatzen baita [20]. Hala ere, ikusi da gai organiko ez-humikoek badutela desinfekzioaren azpiproduktuak sortzeko gaitasuna [21].

AZPIPRODUKTUAK MURRIZTEKO PROZEDURAK

Uraren kalitate-eskakizunak gero eta zorrotzagoak dira eta argi dago arazketa teknologia berriak beharko direla etorkizunean. Azpiproduktuen kontzentrazioa murrizteko bi dira estrategiak; (1) azpiproduktuen sorrera saihestu eta (2) jadanik sortu diren azpiproduktuak ezabatu. Lehenengoari dagokionez, azpiproduktuen sorrera murrizteko beraien aitzindaria den gai organiko naturalaren eliminazioa hobetzea eta araztegia bertan ezarritako desinfekzio baldintzak optimizatzea dira bideak. Materia organiko naturala eliminatzeko koagulazio hobetua eta ikatz aktibatuaren bidezko iragazketa bezalako teknologia gailentzen ari dira [23,24] gaur egun. Bigarren aukerari dagokionez adsortzioa eta hidrolisi alkalinoa [25] egitea dira aukerak, oso gutxi erabiliak biak.

Koagulazioa hobetua

Erreaktibo kimikoen bidez berez jalkitzen zailak diren gaiak elkartuta (flokulatu) handiagoak diren partikulak sortzea eta jalkitzea da hemengo helburua.

Tratamendu honekin esekitutako solido eta koloideak izaten dira gehien bat eliminatzen direnak, baina era berean, lortzen da disolbatu-riko gai organikoaren kantitate txiki bat eliminatzea ere. Lehenbizi gatzatzailea gehitzen da. Gatzatzaile erabilienak aluminio eta burdin gatzak dira: hauek, positiboki kargatutako espezie hidrolizatuak sortzen dituzte ($[\text{Fe}_2 (\text{H}_2\text{O})_3 (\text{OH})_2]^{+4}$, $[\text{Al}_2 (\text{OH})]^{+2}$). Eragiketa honelakoa da: irabiaketa bortitz batekin, lortzen da gai organikoetatik eratutako koloideak (negatiboki kargatuak) ezegonkortzea, hau da, beraien karga elektrostatikoak neutralizatzea. Ondoren, flokulagarria gehitzen da. Irabiaketa motela mantenduz, ezegonkortutako koloide horiek, «flokulo» izenekoak den eta jalkigarria den partikula handiago bat sortuz elkartzen dira. Ur edangarrien ekoizpenean, batezbesteko 20 mg/l gatzatzaile eta 10 mg/l flokulagarri eransten dira, eta pH tartea 6,5-8,0 izaten da.

Koagulazio hobetua, gatzatzailearen dosi- eta pH-baldintza optimoak ezartzean datza. Orokorrean, aurretik aipatutako dosia baino balio handiagoak erabiltzen dira, 40 mg/l arterainokoak, eta pH-aren balioak zerbait azidoagoak izaten dira, 5,5-6,5 bitartekoak, beti ere erabilitako gatzatzailearen arabera [26]. Honek guztiak, uretako gai organiko kantitatea murrizten laguntzen du, baina, aldi berean, erreaktibo- eta ustiapen-kostuak handitu egiten dira.

Ikatz aktibatuaren bidezko adsortzioa

Ikatz aktibatua deritzo porotasun eta barne azalera handiak izateko artifizialki prestatu izan den ikatz porotsuari. Ezaugarri horiek adsorbate-ahalmen handia ematen diote ikatzari. Gainera, forma fisiko ugari-tan aurki daiteke, adibidez, hauts eran, ale eran, estrusionatua, zuntz eran, etab. Ondorioz, aplikazio ugarietan erabili ohi dira bai likido fasean bai gas fasean [27,28].

Ur-arazketan hauts eran edo ale moduan erabili ohi da. Hauts eran, koagulazio prozesuan laguntzaile gisa erabiltzen da gatzatzailearekin batera gehituta. Ale moduan, iragazketa prozesuan erabiltzen da. Azken honetarako, ura ikatz aktibatuz betetako oharretan finko batean zehar igarotzen da. Edozein kasutan, gai organikoak adsortzio bidez uretatik eliminatzeko erabiltzen da ikatz aktibatua, kontzentrazio txikietan egon ohi direnez beraien eliminazioa zaila egiten baita ohiko metodoen bitartez.

Eragiketa- baldintzen optimizazioa

Arestian esan bezala, kloroaren ordeztuak beste desinfektagarri batzuk jar-tzeak ez lioke arazo honi irtenbiderik emango, beste azpiproduktu batzuk sortuko bailirateke. Ikerlariak ahaleginak egin dituzte azpiproduktuen for-mazioa sustatzen dituzten aldagaiak aztertzen, laborategi mailan egin-dako saiakuntzen bitartez gehienetan. Saiakuntza hauetan lortu nahi di-tuzte araztegiak gertatzen diren prozesuen simulazioa eta haiei buruzko informazioa. Ikerketa hauen arabera [29, 30, 31], desinfektagarriaren kont-zentrazioa, desinfekzio-denbora, pH-a, tenperatura eta bromuro ioien kontzentrazioa dira azpiproduktuen formazioan gehien eragiten duten al-dagaiak. Honela, trihalometano-kontzentrazioa igo egiten da, desinfekzio-baldintzak (dosia eta denbora) zorrotzagoak direnean, bromuro ioia bada go eta pH-a handitzen bada (pH 5,5-8,5 tartean). Tenperaturaren eragina ko-rapilatsuagoa da. Oro har, giro epeletan, giro hotzetan baino trihalometano gehiago sortzen da. Izatez, tenperatura igotzean, erreakzio-abiadura handi-tzeaz gain aitzindaria den materia organikoaren biodegradazioa ere fabora-tzen da, eta uretan askatzen dira oraindik erreaktibagoak diren gai orga-nikoak. Uraren tenperatura oso handia denean aldiz, 23°C-tik gora, gerta daiteke azpiproduktuak lurrundu eta beraien kontzentrazioa murriztea.

Aldagai hauen eragina modu kualitatibo batean auresan daitekeen arren, modu kuantitatibo batean egitea ez da batere erraza. Urak darama-tzan gai organikoaren kantitateak eta beraien izaerak eragin oso handia izaten baitute.

BIBLIOGRAFIA

- [1] ROOK, J.J. (1974): «Formation of Haloform during Chlorination of Natural Waters». *Water Treat. Exam.* 23(2), 234-243.
- [2] HSU, C.H.; JENG, W.L.; CHANG, R.M. & CHIEN, L.C. (2000): «Estimation of potential lifetime cancer risks for trihalomethanes from consuming chlorinated drinking water in Taiwan». *Journal Environmental Research* 85(2), 77-82.
- [3] YOON, J.; Choi, Y.; CHO, S. & LEE, D. (2003): «Low trihalomethane formation in Korean drinking water». *Sci. Total Environ.* 302(1-3), 157-166.
- [4] HYDES, O. (1999): «European regulations on residual disinfection». *J. Am. Water Works Assoc.* 91(1), 70-74.
- [5] HAAS, C.N. (1999): «Benefits of using a disinfectant residual disinfection». *J. Am. Water Works Assoc.* 91(1), 65-69.
- [6] ARORA, H.; LECHEVALLIER, M. & BATTIGELLI, D. (2001): «Effectiveness of chlorine dioxide in meeting the enhanced surface water treatment and disinfection by-products rules». *J. Water Suppl. Res. Technol.-Aqua* 50(4), 209-227.

- [7] CORONA-VASQUEZ, B.; SAMUELSON, A.; RENNECKER, J.L. & MARINAS, B.J. (2002): «Inactivation of *Cryptosporidium parvum* oocysts with ozone and free chlorine». *Water Res.* 36(16), 4053-4063.
- [8] CRAIK, S.A.; FINCH, G.R.; BOLTON, J.R. & BELOSEVIC, M. (2000): «Inactivation of *Giardia muris* cysts using medium-pressure ultraviolet radiation in filtered drinking water». *Water Res.* 34(18), 4325-4332.
- [9] RANSOME, M.E.; WHITMORE, T.N. & CARRINGTON, E.G. (1993): «Effect of disinfectants on the viability of *Cryptosporidium parvum* oocysts». *Water Supply* 11(1, IWSA European Specialized Conference on Recently Identified Pollutants in Water Resources: Drinking Water Treatment in the Nineties, 1992), 103-117.
- [10] LIYANAGE, L.R.J.; FINCH, G.R. & BELOSEVIC, M. (1997): «Effect of Aqueous Chlorine and Oxychlorine Compounds on *Cryptosporidium parvum* Oocysts». *Environ. Sci. Technol.* 31(7), 1992-1994.
- [11] CORONA-VASQUEZ, B.; SAMUELSON, A.; RENNECKER, J.L. & MARINAS, B.J. (2002): «Inactivation of *Cryptosporidium parvum* oocysts with ozone and free chlorine». *Water Res.* 36(16), 4053-4063.
- [12] CORONA-VASQUEZ, B.; RENNECKER, J.L.; DRIEDGER, A.M. & MARIÑAS, B.J. (2002): «Sequential inactivation of *Cryptosporidium parvum* oocysts with chlorine dioxide followed by free chlorine or monochloramine». *Water Res.* 36(1), 178-188.
- [13] RICHARDSON, S.D.; THRUSTON, A.D.; CAUGHRAN, T.V.; CHEN, P.H.; COLLETTE, T.W.; SCHENCK, K.M.; LYKINS, B.W.; RAV-ACHA, C. & GLEZER, V. (2000): «Identification of new drinking water disinfection by-products from ozone, chlorine dioxide, chloramine, and chlorine». *Water Air Soil Poll.* 123(1-4), 95-102.
- [14] GOLFINOPOULOS, S.K. & ARHONDITSIS, G.B. (2002): «Multiple regression models: A methodology for evaluating trihalomethane concentrations in drinking water from raw water characteristics». *Chemosphere* 47(9), 1007-1018.
- [15] SIDDIQUI, M.; AMY, G.; OZEKIN, K. & WESTERHOFF, P. (1998): «Modeling dissolved ozone and bromate ion formation in ozone contactors». *Water Air Soil Poll.* 108(1-2), 1-32.
- [16] SIDDIQUI, M.S. (1996): «Chlorine-ozone interactions: formation of chlorate». *Water Res.* 30(9), 2160-2170.
- [17] RODRÍGUEZ VIDAL, Ibeas; REOYO, PÉREZ SERRANO, OROZCO BARRENETXEA & GONZÁLEZ DELGADO (2001).
- [18] YAMADA, E.; OZAKI, T. & KIMURA, M. (1998): «Determination and Behaviour of Humic Substances as Precursors of Trihalomethane in Environmental Water». *Analytical Sciences* 14, 327-332.
- [19] ALAWI, M.A.; KHALILL, F. & SAHILI, I. (1994): «Determination of trihalomethanes produced through the chlorination of water as a function of its humic acid content». *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* (26(3), 381-386.

- [20] POMES, M.L.; LARIVE, C.K.; THURMAN, E.M.; GREEN, W.R.; OREM, W.H.; ROSTAD, C.E.; COPLEN, T.B.; CUTAK, B.J. & DIXON, A.M. (2000): «Sources and haloacetic acid/trihalomethane formation potentials of aquatic humic substances in the Wakarusa River and Clinton Lake near Lawrence, Kansas». *Environmental science and technology* 34(20), 4278-4286.
- [21] OWEN, D.M.; AMY, G.L.; CHOWDHURY, Z.K.; PAODE, R.; MCCOY G. & VISCOSIL, K. (1995): «NOM. Characterization and treatability». *Journal American Water Works Association* 87(1), 46-63.
- [22] <http://www.ar.wroc.pl/~weber/humic.htm#start>.
- [23] CHAIKET, T.; MILES, A.; SINGER, P.C.; MORAN, M. & PALLOTTA, C. (1999): «The effectiveness of enhanced coagulation, ozonation, and biofiltration in controlling disinfection by-products in drinking water». *Proc. Annual Conf. Am. Water Works Assoc.* 1252-1276.
- [24] VAHALA, R.; LANGVIK, V.A. & LAUKKANEN, R. (1999): «Controlling adsorbable organic halogens (AOX) and trihalomethanes (THM) formation by ozonation and two-step granule activated carbon (GAC) filtration». *Water Sci. Technol.* 40(9), 249-256.
- [25] SHAM, E.D.; A.M., RASHEED, A.A. & HAMMOUD, A.A. (1998): «Kinetics of hydrolysis of chloroform and bromoform in aqueous solutions». *Desalination* 120(1-2), 41-51.
- [26] CHAIKET, T.; MILES, A.; SINGER, P.C.; MORAN, M. & PALLOTTA, C. (1999): «The effectiveness of enhanced coagulation, ozonation, and biofiltration in controlling disinfection by-products in drinking water». *Proc. Annual Conf. Am. Water Works Assoc.* 1252-1276.
- [27] MAYNARD, R.L. & HOWARD, C.V. (1999): *Particulate Matter: properties and effects upon health*. New York: BIOS.
- [28] BUSCA, G.; BERARDINELLI, S.; RESINI, C. & ARRIGHI, L. (2008): «Technologies for the removal of phenol from fluid streams: A short review of recent developments». *J. Hazardous Materials* 160 (2-3), 265-288.
- [29] NIKOLAOU, A.D.; KOSTOPOULOU, M.N. & LEKKAS, T.D. (1999): «Organic by-products of drinking water chlorination». *Global Nest: Int. J.* 1(3), 143-156.
- [30] HUIXIAN, Z.; SHENG, Y.; XU, X. & OUYONG, X. (1997): «Formation of POX and NPOX with chlorination of fulvic acid in water: empirical models». *Water Res.* 31(6), 1536-1541.
- [31] BATTERMAN, S.; AN TSUN, H.; SHUGIN, W. & LIAN, Z. (2000): «Reduction of ingestion exposure to trihalomethanes due to volatilization». *Environ. Sci. Technol.* 34(20), 4418-4424.