

Supporting Information

Cd²⁺ Sorption Alterations in Ultisol Soils Triggered by Different Engineered Nanoparticles and Incubation Times

Karen Manquián-Cerda ^{1,*}, Raúl Calderón ², Mauricio Molina-Roco ³, Tamara Maldonado ⁴ and Nicolás Arancibia-Miranda ^{1,*}

¹ Facultad de Química y Biología, Universidad de Santiago de Chile, Av. B. O'Higgins, 3363, Santiago 9170124, Chile

² Centro de Investigación en Recursos Naturales y Sustentabilidad, Universidad Bernardo O'Higgins, Fabrica 1990, Segundo Piso, Santiago 8370993, Chile; raul.calderon@ubo.cl

³ Departamento de Acuicultura y Recursos Agroalimentarios, Campus Osorno-Chuyaca, Universidad de los Lagos, Osorno 5290000, Chile; mauricio.molina1@ulagos.cl

⁴ Instituto de Química, Facultad de Ciencias, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Av. Universidad 330, Placilla, Valparaíso 2373223, Chile; tamara.maldonado@pucv.cl

* Correspondence: karen.manquian@usach.cl (K.M.-C.); nicolas.arancibia@usach.cl (N.A.-M.)

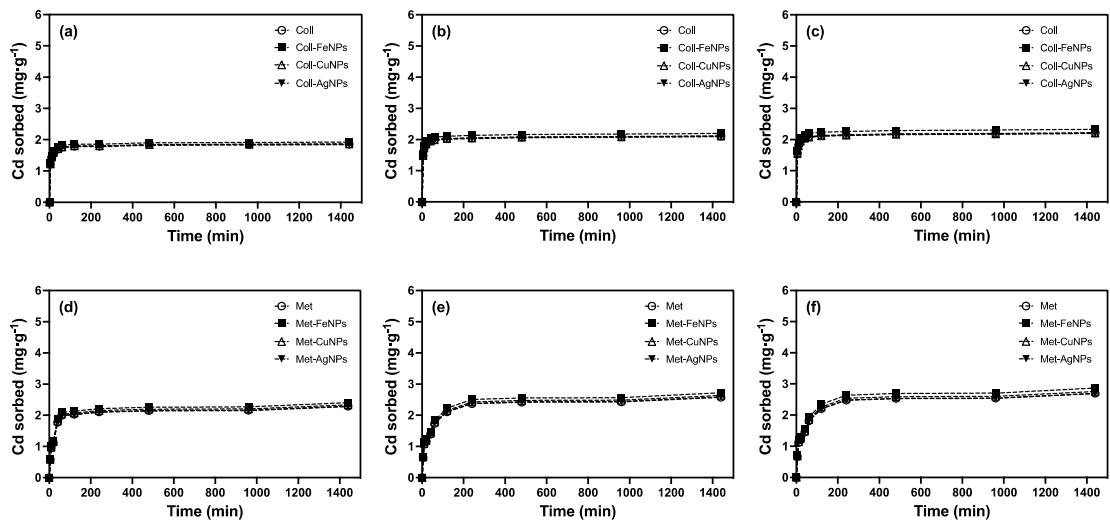


Figure S1. Effect of nanoparticle type and aging time on Cd sorption kinetics in Ultisols soils at a dose of $20 \text{ mg ENPs} \cdot \text{kg}^{-1}$. Figure S1a and S1d Collipulli and Metrenco 1 month, Figure S1b and S1e Collipulli and Metrenco 3 months, and S1c and S1f Collipulli and Metrenco 6 months.

Table S1: Kinetic parameters predicted from the pseudo-second order for control soils and soils treated with 20 mg ENPs·kg⁻¹.

| Collipulli | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 1 Month | | | | 3 Month | | | | 6 Month | | | |
| Treatment | Control | AgNPs | CuNPs | FeNPs | Control | AgNPs | CuNPs | FeNPs | Control | AgNPs | CuNPs | FeNPs |
| $q_{exp} (mg \cdot g^{-1})$ | 1,73 ± 0,02 | 1,79 ± 0,01 | 1,82 ± 0,01 | 1,85 ± 0,02 | 1,81 ± 0,01 | 1,89 ± 0,01 | 1,91 ± 0,03 | 1,93± 0,02 | 1,85 ± 0,01 | 1,90 ± 0,01 | 1,93 ± 0,01 | 1,99 ± 0,01 |
| $q_{exp} (%)$ | 43,3 ± 2,1 | 44, 8 ± 1,9 | 45,2 ± 3,0 | 46,3 ± 2,1 | 45,1 ± 2,3 | 47,3 ± 3,1 | 47,8 ± 3,1 | 48,3 ± 1,3 | 46,3 ± 2,5 | 47,5 ± 3,3 | 48,3 ± 2,2 | 49,7 ± 1,1 |
| Parameters | 1 Month | | | | 3 Month | | | | 6 Month | | | |
| $q_e (mg \cdot g^{-1})$ | 1,84 ± 0,01 | 1,82 ± 0,01 | 1,84 ± 0,01 | 1,90 ± 0,01 | 1,92 ± 0,01 | 1,96 ± 0,02 | 2,07 ± 0,01 | 2,16 ± 0,01 | 2,18 ± 0,01 | 2,16 ± 0,01 | 2,17 ± 0,01 | 2,29 ± 0,01 |
| $k_2 (x10^{-4}g \cdot mg^{-1} \cdot min^{-1})$ | 0,20 ± 0,01 | 0,20 ± 0,01 | 0,20 ± 0,01 | 0,20 ± 0,01 | 0,23 ± 0,01 | 0,24 ± 0,01 | 0,23 ± 0,01 | 0,22 ± 0,01 | 0,22 ± 0,01 | 0,22 ± 0,01 | 0,22 ± 0,01 | 0,21 ± 0,01 |
| $h (mg \cdot g^{-1} \cdot min^{-1})$ | 0,68 ± 0,00 | 0,68 ± 0,00 | 0,68 ± 0,00 | 0,71 ± 0,00 | 1,01 ± 0,00 | 1,00 ± 0,00 | 1,00 ± 0,00 | 1,05 ± 0,00 | 1,06 ± 0,00 | 1,04 ± 0,00 | 1,05 ± 0,00 | 1,11 ± 0,00 |
| r^2 | 0,989 | 0,975 | 0,987 | 0,984 | 0,977 | 0,971 | 0,989 | 0,974 | 0,961 | 0,957 | 0,969 | 0,959 |
| χ^2 | | | | | | | | | | | | |
| Metrenco | | | | | | | | | | | | |
| Treatment | Control | AgNPs | CuNPs | FeNPs | Control | AgNPs | CuNPs | FeNPs | Control | AgNPs | CuNPs | FeNPs |
| $q_{exp} (mg \cdot g^{-1})$ | 2,11 ± 0,21 | 2,17 ± 0,41 | 2,23 ± 0,19 | 2,27 ± 0,09 | 2,17 ± 0,11 | 2,21 ± 0,26 | 2,26 ± 0,39 | 2,29 ± 0,3 | 2,23 ± 0,21 | 2,25 ± 0,19 | 2,29 ± 0,11 | 2,31 ± 0,13 |
| $q_{exp} (%)$ | 52,8 ± 3,1 | 54,3 ± 3,1 | 55,5 ± 2,7 | 57,1± 0,1 | 54,3 ± 1,2 | 55,3 ± 2,5 | 56,5 ± 1,5 | 57,5± 0,5 | 55,8 ± 0,3 | 56,3 ± 1,2 | 57,3 ± 1,1 | 58,1 ± 2,5 |
| Parameters | 1 Month | | | | 3 Month | | | | 6 Month | | | |
| $q_e (mg \cdot g^{-1})$ | 2,27 ± 0,05 | 2,26 ± 0,05 | 0,03 ± 0,00 | 0,03 ± 0,00 | 2,51 ± 0,08 | 2,52 ± 0,08 | 2,56 ± 0,08 | 2,65 ± 0,08 | 2,63 ± 0,09 | 2,69 ± 0,09 | 2,69 ± 0,09 | 2,79 ± 0,09 |
| $k_2 (x10^{-4}g \cdot mg^{-1} \cdot min^{-1})$ | 0,03 ± 0,00 | 0,03 ± 0,00 | 0,03 ± 0,00 | 0,03 ± 0,00 | 0,02 ± 0,00 | 0,02 ± 0,00 | 0,02 ± 0,00 | 0,02 ± 0,00 | 0,02 ± 0,00 | 0,02 ± 0,00 | 0,02 ± 0,00 | 0,02 ± 0,00 |
| $h (mg \cdot g^{-1} \cdot min^{-1})$ | 0,16 ± 0,00 | 0,16 ± 0,00 | 0,16 ± 0,00 | 0,17 ± 0,00 | 0,12 ± 0,00 | 0,12 ± 0,00 | 0,12 ± 0,00 | 0,12 ± 0,00 | 0,12 ± 0,00 | 0,12 ± 0,00 | 0,13 ± 0,00 | 0,13 ± 0,00 |
| r^2 | 0,983 | 0,971 | 0,948 | 0,972 | 0,941 | 0,948 | 0,962 | 0,969 | 0,943 | 0,967 | 0,981 | 0,982 |
| χ^2 | 0,088 | 0,121 | 0,077 | 0,023 | 0,015 | 0,101 | 0,073 | 0,099 | 0,015 | 0,066 | 0,179 | 0,105 |

Table S2. Kinetic parameters forecasted from the linear evaluation of the intraparticle diffusion kinetic model for the soils studied.

| Collipulli | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Treatment | Control | AgNPs | CuNPs | FeNPs | Control | AgNPs | CuNPs | FeNPs | Control | AgNPs | CuNPs | FeNPs |
| Intraparticle diffusion | 1 Month | | | | 3 Month | | | | 6 Month | | | |
| $q_{e-1} (mg \cdot g^{-1})$ | 1,54 ± 0,09 | 1,59 ± 0,09 | 1,61 ± 0,13 | 1,63 ± 0,23 | 1,56 ± 0,09 | 1,57 ± 0,12 | 1,61 ± 0,10 | 1,64 ± 0,00 | 1,56 ± 0,11 | 1,59 ± 0,00 | 1,62 ± 0,09 | 1,65 ± 0,01 |
| $k_{int-1} (mg \cdot g^{-1} \cdot min^{1/2})$ | 0,16 ± 0,02 | 0,17 ± 0,01 | 0,18 ± 0,02 | 0,19 ± 0,03 | 0,16 ± 0,01 | 0,18 ± 0,01 | 0,21 ± 0,03 | 0,23 ± 0,05 | 0,17 ± 0,01 | 0,18 ± 0,01 | 0,21 ± 0,00 | 0,23 ± 0,02 |
| $C_1 (mg \cdot g^{-1})$ | 0,85 ± 0,01 | 0,83 ± 0,00 | 0,82 ± 0,00 | 0,79 ± 0,00 | 0,83 ± 0,03 | 0,86 ± 0,02 | 0,88± 0,09 | 0,90 ± 0,03 | 0,83 ± 0,00 | 0,82 ± 0,00 | 0,84 ± 0,01 | 0,86 ± 0,02 |
| r^2 | 0,978 | 0,959 | 0,991 | 0,992 | 0,951 | 0,983 | 0,934 | 0,972 | 0,945 | 0,939 | 0,965 | 0,992 |
| Metrenco | | | | | | | | | | | | |
| Intraparticle diffusion | 1 Month | | | | 3 Month | | | | 6 Month | | | |
| $q_{e-1} (mg \cdot g^{-1})$ | 1,16 ± 0,09 | 1,19 ± 0,07 | 1,21 ± 0,04 | 1,23 ± 0,32 | 1,14 ± 0,03 | 1,20 ± 0,08 | 1,22 ± 0,03 | 1,25 ± 0,09 | 1,16 ± 0,08 | 1,21 ± 0,02 | 1,25 ± 0,03 | 1,28 ± 0,01 |
| $k_{int-1} (mg \cdot g^{-1} \cdot min^{1/2})$ | 0,23 ± 0,01 | 0,23 ± 0,00 | 0,26 ± 0,01 | 0,28 ± 0,03 | 0,22 ± 0,01 | 0,25 ± 0,01 | 0,27 ± 0,01 | 0,30 ± 0,03 | 0,24 ± 0,02 | 0,25 ± 0,01 | 0,28 ± 0,01 | 0,31 ± 0,03 |
| $C_1 (mg \cdot g^{-1})$ | 0,09 ± 0,00 | 0,12 ± 0,01 | 0,14 ± 0,00 | 0,17 ± 0,01 | 0,23 ± 0,01 | 0,24 ± 0,03 | 0,28 ± 0,01 | 0,30 ± 0,07 | 0,24 ± 0,00 | 0,21 ± 0,04 | 0,25 ± 0,01 | 0,32 ± 0,03 |
| r^2 | 0,955 | 0,899 | 0,965 | 0,942 | 0,981 | 0,951 | 0,956 | 0,972 | 0,919 | 0,995 | 0,987 | 0,996 |