



VI CONFERENCIA
LATINOAMERICANA
DE SANEAMIENTO

BOLIVIA 2022

SaneamientoUn
LlamadoALaAcción



Alejandro
Quirós
Ivankovich

Formación académica

- Maestría en Ingeniería Sanitaria – ERIS, Universidad de San Carlos de Guatemala (2021)
- Máster en Alta Dirección (MBA) – Universidad Rey Juan Carlos (2016)
- Licenciatura en Ingeniería Civil – Universidad de Costa Rica (2015)

Experiencia laboral

- Ingeniero Civil, Sistemas de Agua Residual– Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) (2019 - actualidad)
- Ingeniero Sistemas de Agua Potable– Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) (2015-2019)

Docencia

- Escuela de Arquitectura, Universidad de Costa Rica
 - Mecánica del sólido (2021-2022)
 - Sistemas de soporte y cimentación (2022)
 - Mecánica (2022)





Sistema de filtración

en bloques de suelo como tratamiento
secundario de aguas residuales
en comunidades rurales



VI CONFERENCIA
LATINOAMERICANA
DE SANEAMIENTO
BOLIVIA 2022

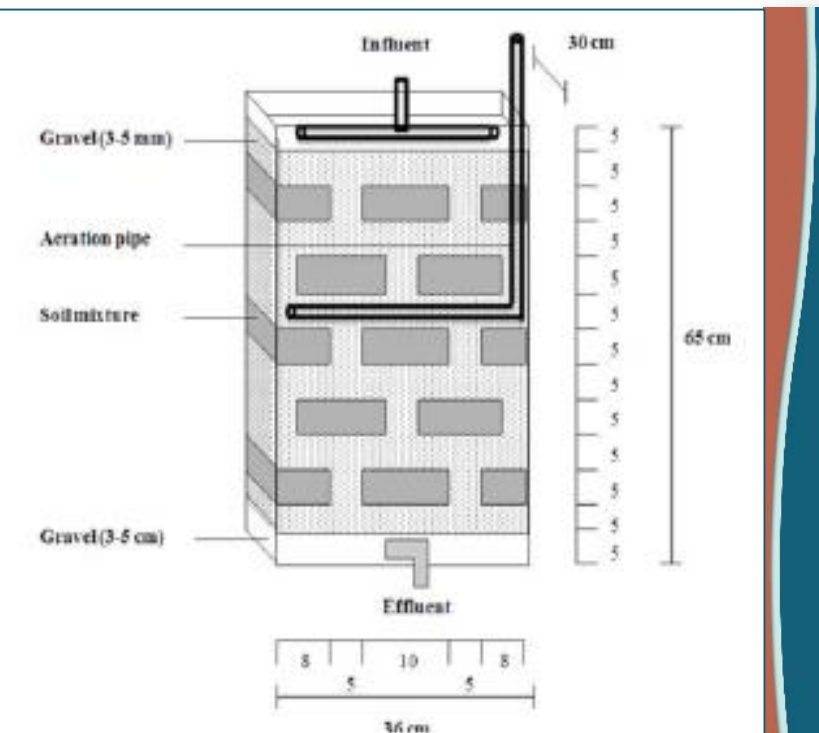
INTRODUCCIÓN

Aspectos
preliminares



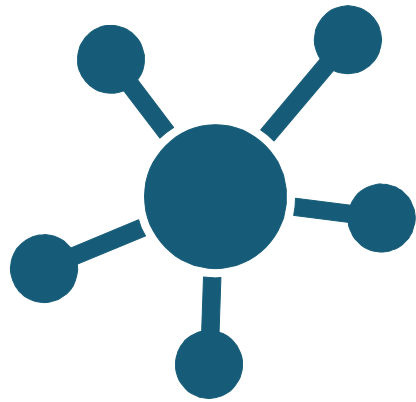
VI CONFERENCIA
LATINOAMERICANA
DE SANEAMIENTO
BOLIVIA 2022

Características MSL



- ▷ Elaborado con materiales locales
- ▷ Bajo costo
- ▷ Poca área*
- ▷ Fácil operación y mantenimiento
- ▷ Remoción de DBO, DQO, SST, N y P
- ▷ Requiere tratamiento previo

*Comparado con otros sistemas aptos para zonas rurales, como lagunas y humedales artificiales



Sistema:

Componentes y configuración

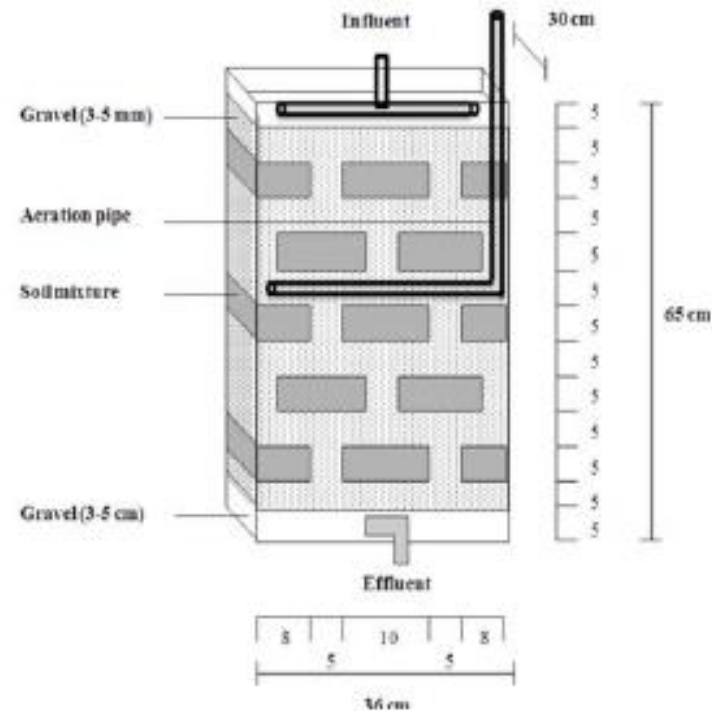


VI CONFERENCIA
LATINOAMERICANA
DE SANEAMIENTO
BOLIVIA 2022

Bloques y capas permeables

Bloques de suelo

| | |
|-----------------------------------|-----|
| Suelo (arenoso) | 70% |
| Carbón activado (polvo) | 10% |
| Materia orgánica (aserrín u otro) | 10% |
| Hierro | 10% |



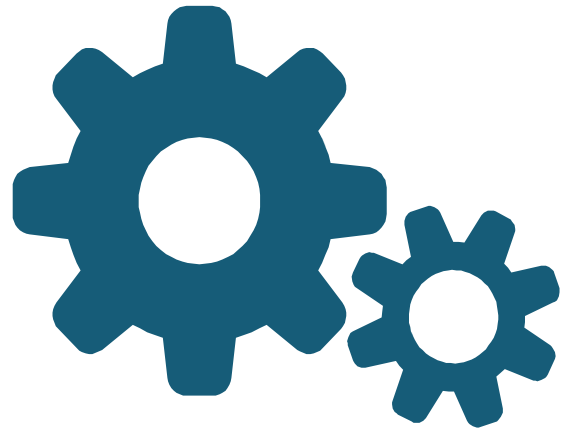
Capas permeables

Grava

Piedra volcánica

Zeolita (1-5 mm)

Carbón Act. Granular

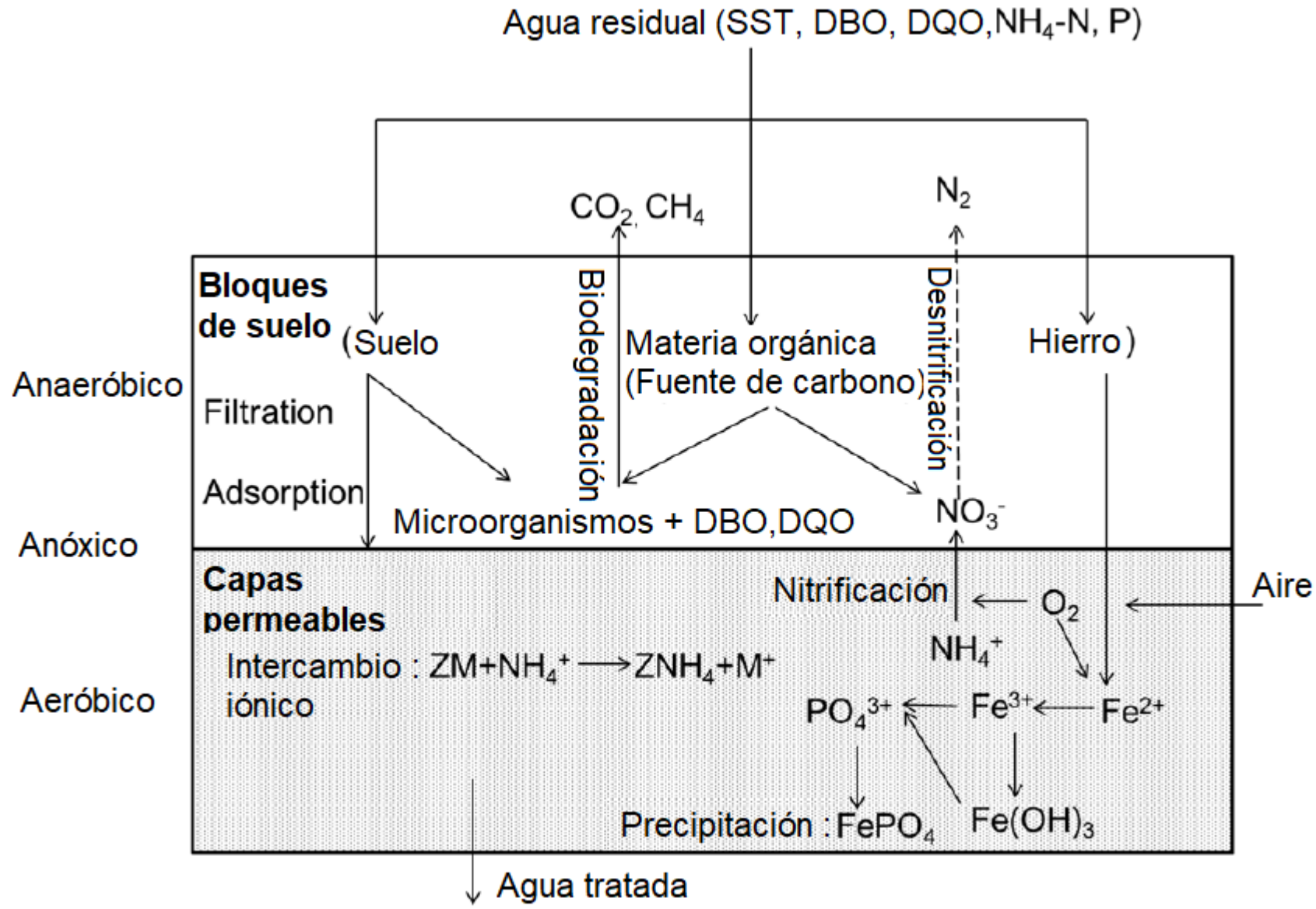


Funcionamiento:

Mecanismos de
remoción



VI CONFERENCIA
LATINOAMERICANA
DE SANEAMIENTO
BOLIVIA 2022



Fuente: Adaptado de AN et al. Multi-Soil-Layering Systems for Wastewater Treatment in Small and Remote Communities. p.133.

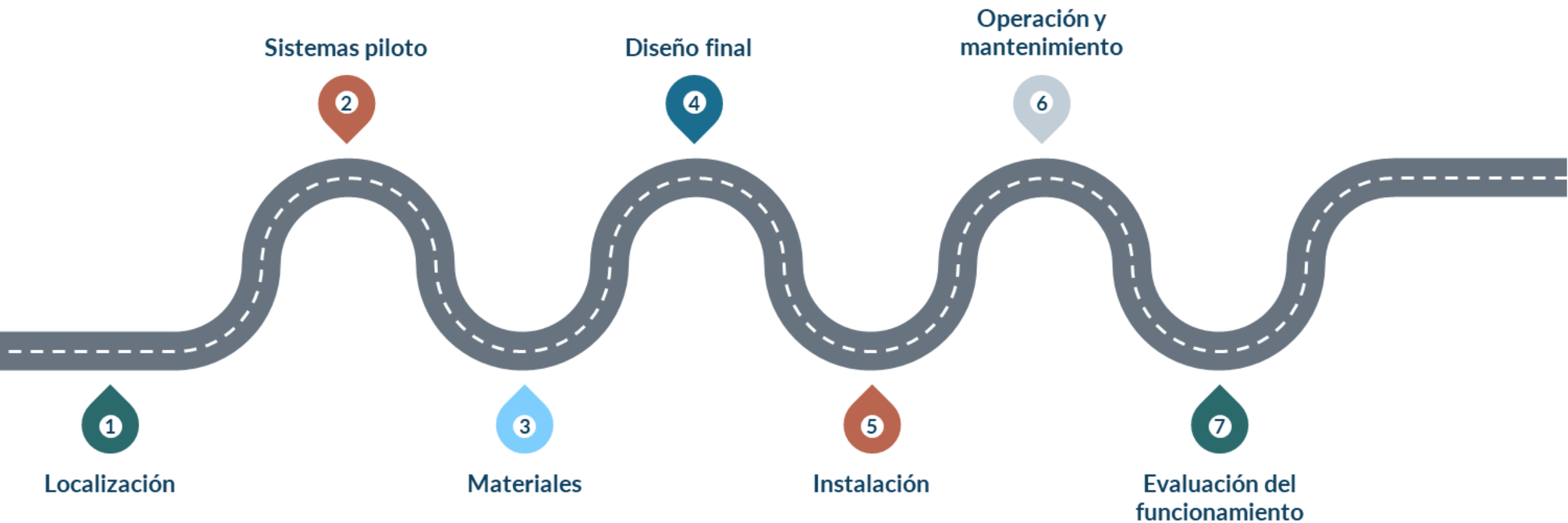
METODOLOGÍA

Evaluación mediante el uso de sistemas piloto



VI CONFERENCIA
LATINOAMERICANA
DE SANEAMIENTO
BOLIVIA 2022

Metodología



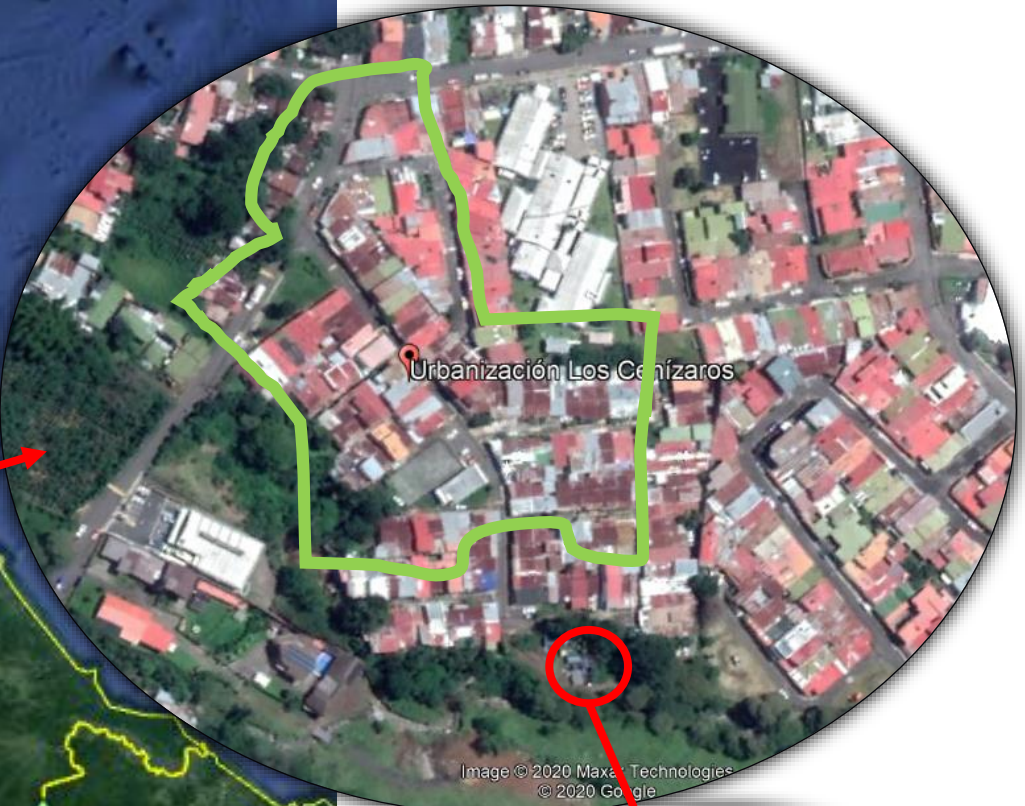
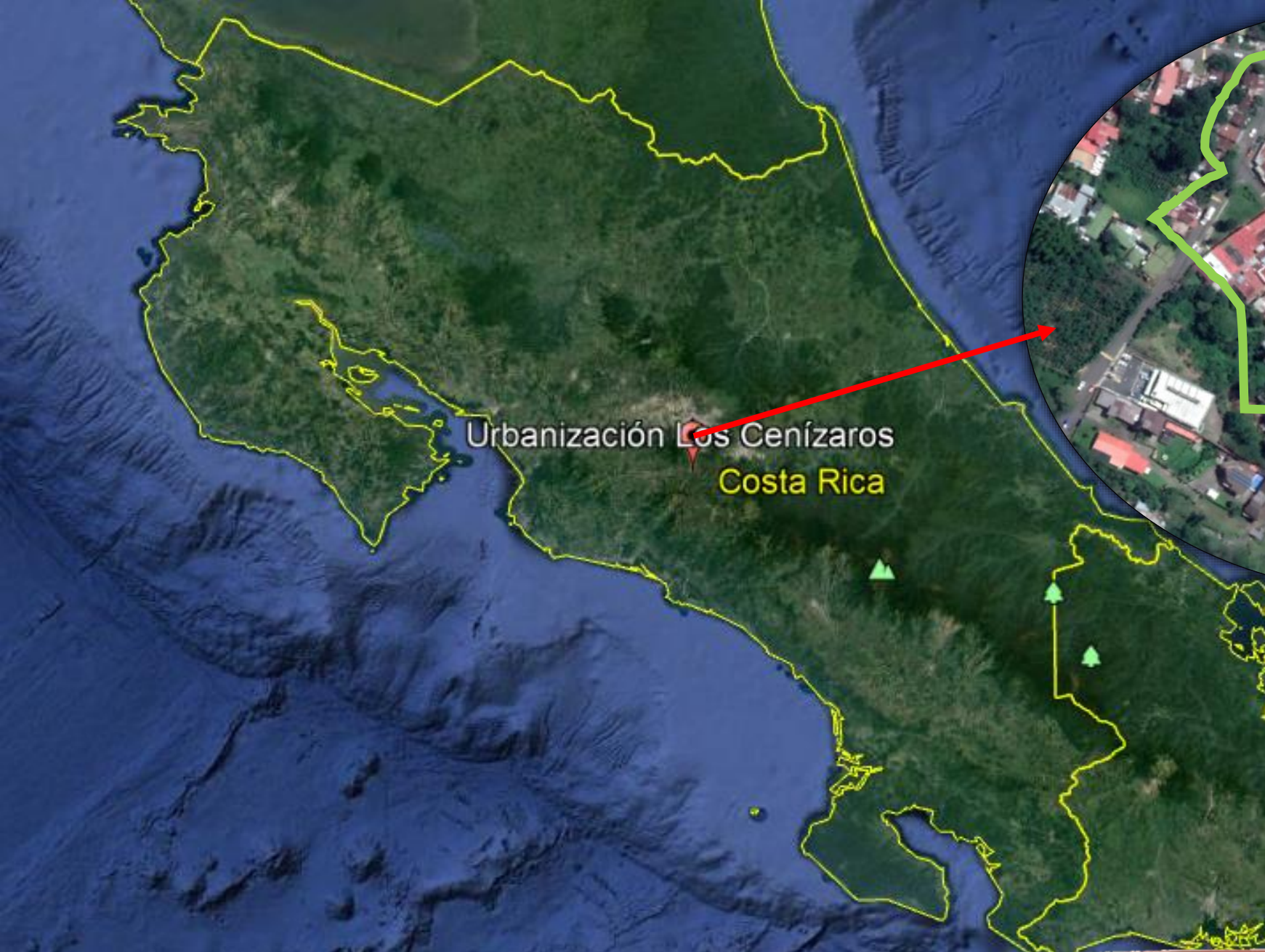
A photograph of a water treatment facility. The structure is made of blue-painted metal beams and supports a roof. Below the roof are several concrete basins filled with water. There are yellow buckets and pipes visible. The facility is situated outdoors with green vegetation in the background.

Localización: ASADA Poás de Aserri

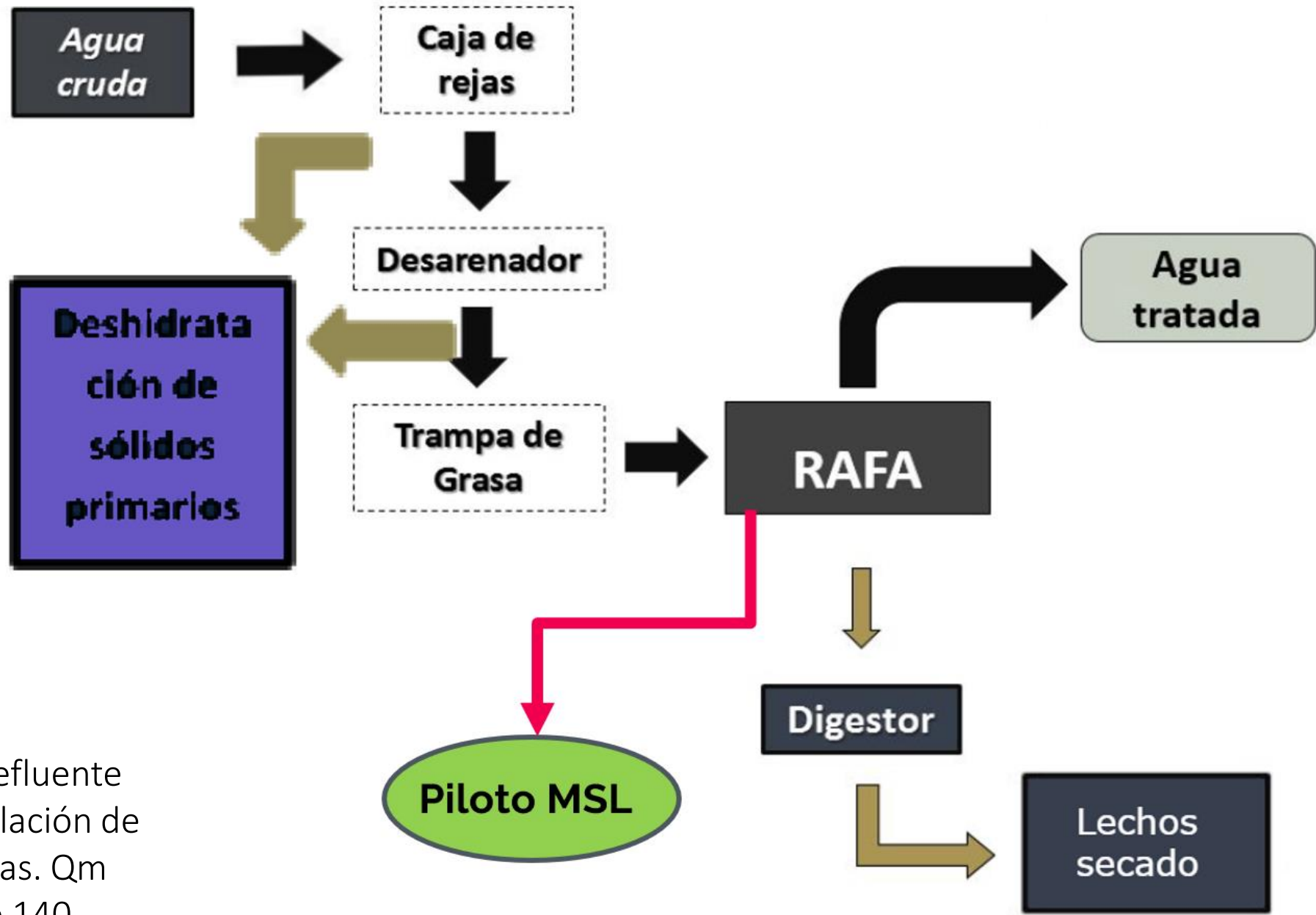
PTAR con Pretratamiento + RAFA



VI CONFERENCIA
LATINOAMERICANA
DE SANEAMIENTO
BOLIVIA 2022



Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA



*Recibe el efluente de una población de 700 personas. Qm diario es de 140 m³/día.



Pilotos:

Componentes y
disposición



VI CONFERENCIA
LATINOAMERICANA
DE SANEAMIENTO
BOLIVIA 2022

Confinamiento y fondo falso



Estañones



Fondo falso
(piedra cuarta)



Fondo falso
(piedra quinta)

Bloques de suelo



70% suelo
10% hierro
10% aserrín
10% carbón
activado

Bloques de suelo confinados con bolsas de yute

Material permeable

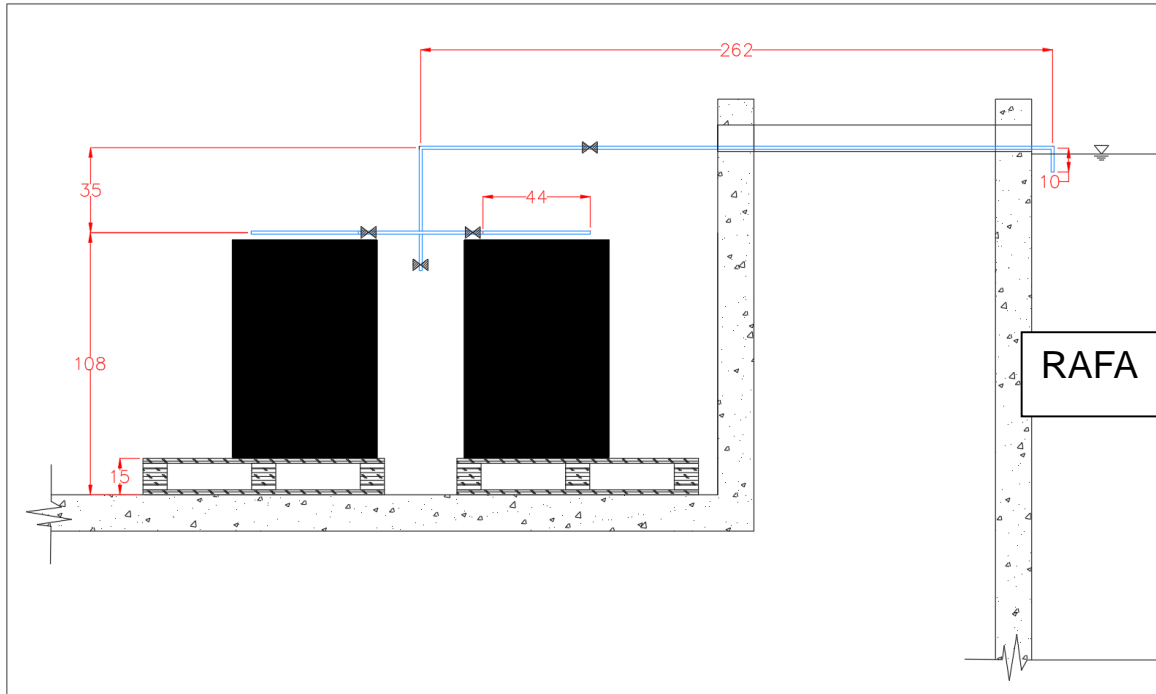


Antracita 1 mm

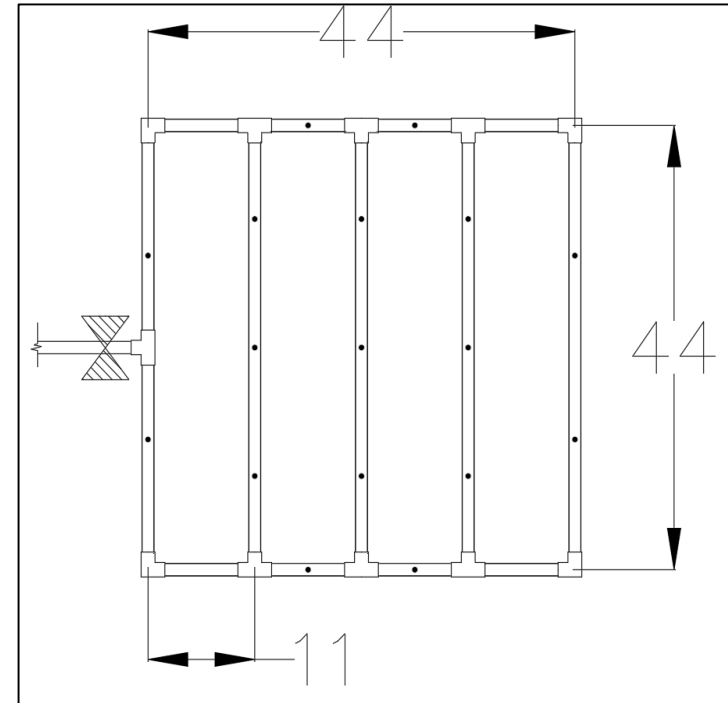


Piedra 3-6 mm

Sistema de desvío y distribución

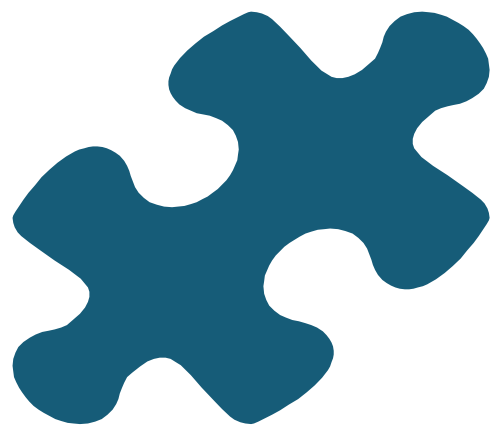


Esquema sistema desvío de caudal



Sistema distribución de caudal

*Dimensiones en cm



Materiales:

Características y
origen

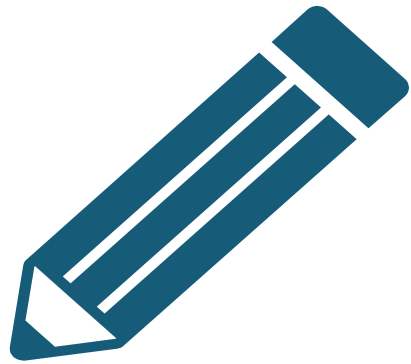


VI CONFERENCIA
LATINOAMERICANA
DE SANEAMIENTO
BOLIVIA 2022

Obtención de los materiales

| Material | Lugar en que se obtuvo | Pago |
|--------------------------|---|----------|
| Piedra cuarta | Se compró en distribuidor de Quebrador Ochomogo | De pago |
| Piedra quintilla | Se compró en distribuidor de Quebrador Ochomogo | De pago |
| Tubería de PVC | Se compró en ferretería local Las Gravilias | De pago |
| Estañones | Se compraron en comercio local Recipientes Durán | De pago |
| Antracita | Donado por el AyA, material previamente utilizado en potabilización de agua | Gratuito |
| Piedra de cantera | Material de desecho recolectado en un terreno local y posteriormente tamizado | Gratuito |
| Bolsas de yute | Se compraron sacos en Fibras de Centroamérica | De pago |
| Suelo arenoso | Material de desecho recolectado en un terreno local y posteriormente secado | Gratuito |
| Suelo limoso | Material excavado en terreno local | Gratuito |
| Hierro | Material de desecho donado por comercio local Taller Industrial Villanea | Gratuito |
| Aserrín | Material de desecho donado por comercio local Aserradero San Sebastián | Gratuito |
| Carbón activado | Donado por el AyA | Gratuito |





Diseño final:

Pilotos sistema
MSL



VI CONFERENCIA
LATINOAMERICANA
DE SANEAMIENTO
BOLIVIA 2022

Característica

Piloto 1

Piloto 2

Piloto 3

Piloto 4

Material permeable

Antracita

Piedra

Antracita

Piedra

Suelo utilizado en la mezcla

Arenoso

Arenoso

Limoso

Limoso

No. de capas de material permeable

8

8

8

8

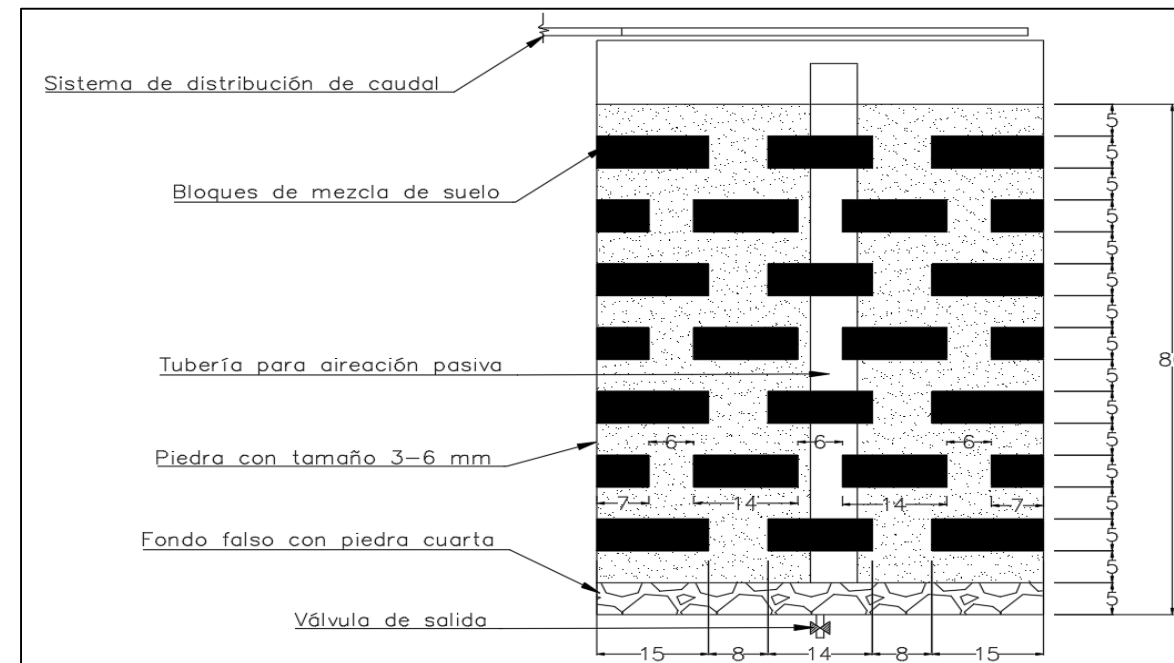
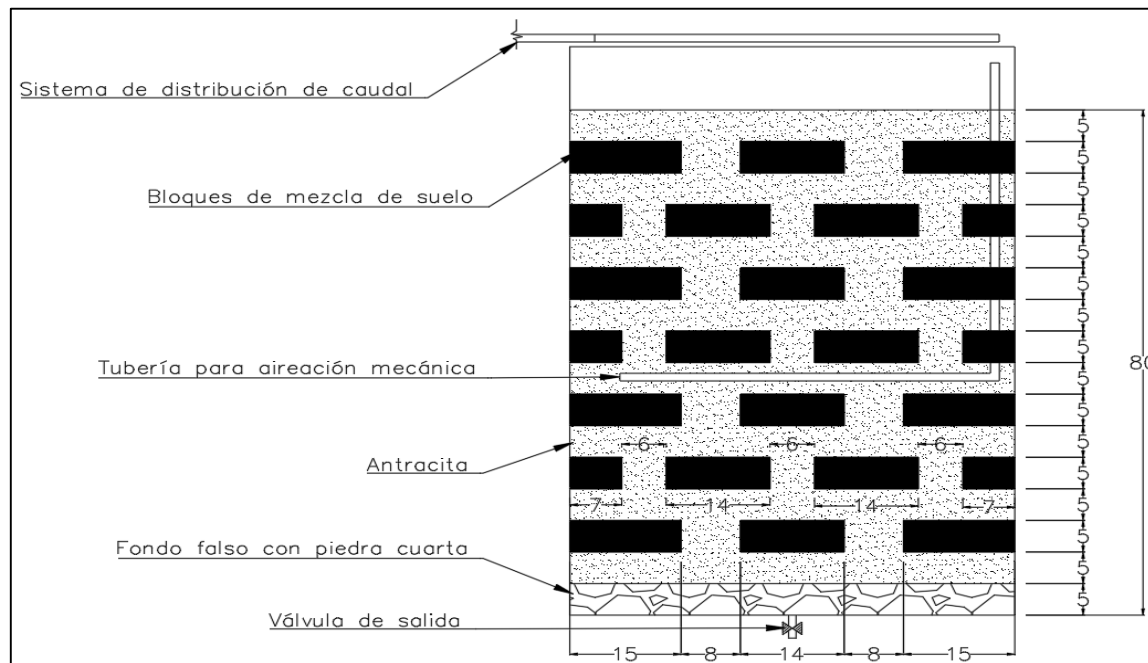
No. de capas de bloques de suelo

7

7

7

7



*Dimensiones en cm



Instalación:

Pilotos sistema
MSL



VI CONFERENCIA
LATINOAMERICANA
DE SANEAMIENTO
BOLIVIA 2022

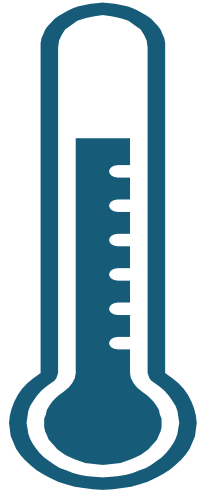




Pilotos operando



VI CONFERENCIA
LATINOAMERICANA
DE SANEAMIENTO
BOLIVIA 2022



Evaluación:

Pruebas de

Laboratorio



VI CONFERENCIA
LATINOAMERICANA
DE SANEAMIENTO
BOLIVIA 2022

Puntos de muestreo



Antes de los pilotos



Después de cada piloto



Muestras en el laboratorio



In situ

Caudal, Temperatura, pH



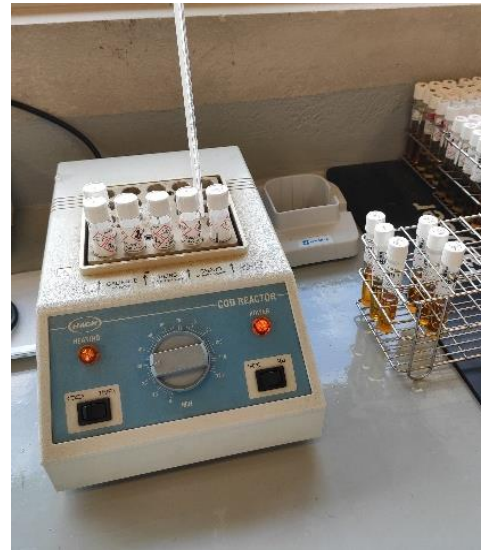
Laboratorio

DBO, DQO, SST, N, P, SAAM*



Adicionales

OD, ST, SDT, Turbiedad, Color



RESULTADOS

Ensayos en sitio y laboratorio



VI CONFERENCIA
LATINOAMERICANA
DE SANEAMIENTO
BOLIVIA 2022

Agua residual cruda

| Parámetro | jun-18 | jul-20 |
|---|--------|--------|
| DBO (mg/L) | 335 | 285 |
| DQO (mg/L) | 595 | 842 |
| pH (U) | 8.62 | 8.63 |
| Grasas y aceites (mg/L) | 48 | 83.4 |
| Sólidos sedimentables (mL/L) | 3.4 | 2.5 |
| Sólidos suspendidos totales (mg/L) | 192 | 276 |
| Temperatura (°C) | 21.8 | 24.2 |
| Sustancias activas al azul de metileno (mg/L) | 15.2 | 6.6 |

Fuente: SyC Ambiental (2018) y Agrotec (2020).

Muestreos

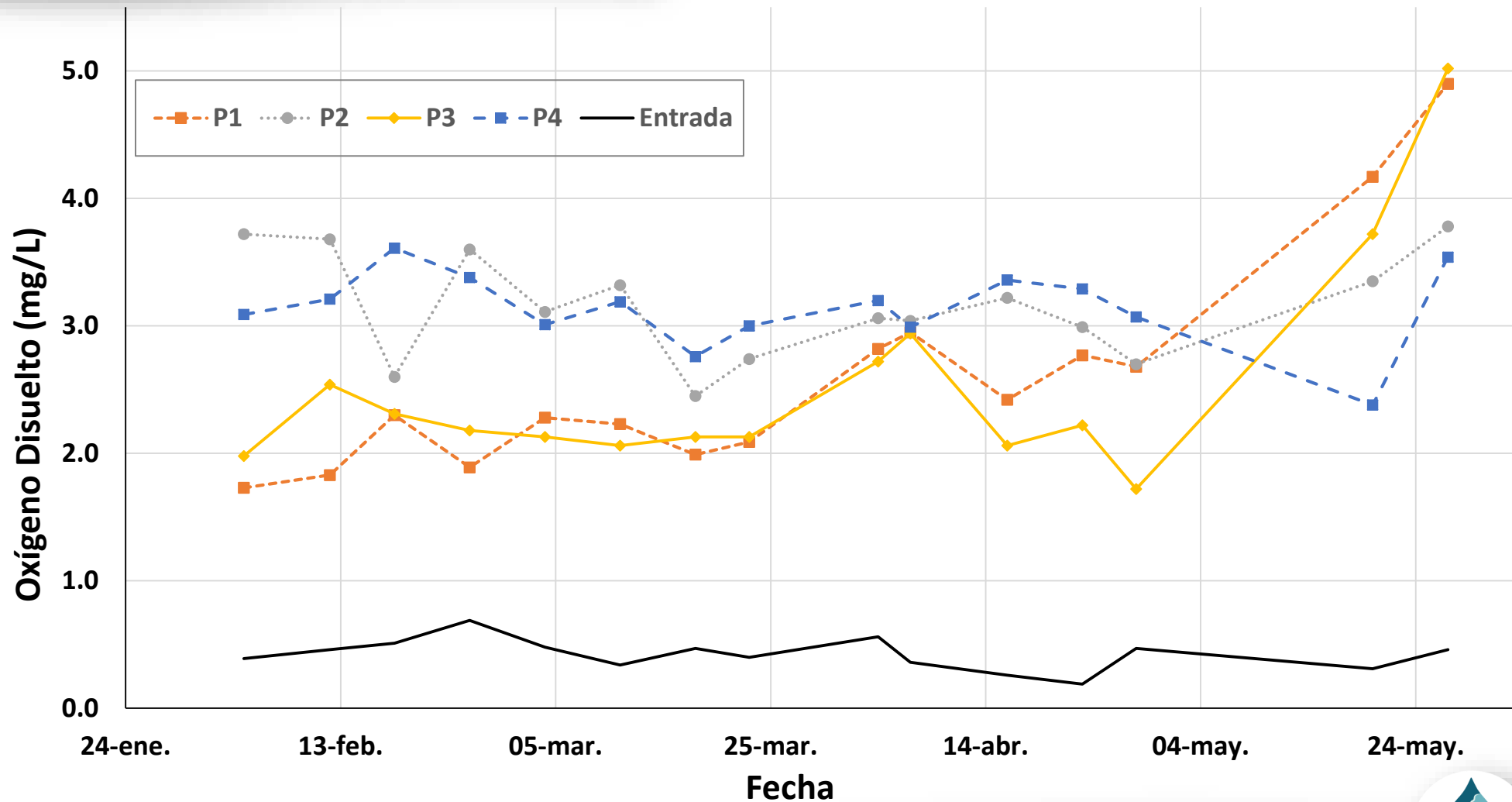
| Muestra | Fecha | Día de la semana | Hora |
|----------------|--------------|-------------------------|-------------|
| A | 22-ene | Viernes | 4:00 p. m. |
| B | 29-ene | Viernes | 4:00 p. m. |
| C | 04-feb | Jueves | 9:00 a. m. |
| D | 12-feb | Viernes | 2:00 p. m. |
| E | 18-feb | Jueves | 4:00 p. m. |
| F | 25-feb | Jueves | 12:30 p. m. |
| G | 04-mar | Jueves | 3:30 p. m. |
| H | 11-mar | Jueves | 4:30 p. m. |
| I | 18-mar | Jueves | 4:30 p. m. |
| J | 23-mar | Martes | 4:00 p. m. |
| K | 04-abr | Domingo | 4:00 p. m. |
| L | 07-abr | Miércoles | 3:00 p. m. |
| M | 16-abr | Viernes | 2:00 p. m. |
| N | 23-abr | Viernes | 2:30 p. m. |
| Ñ | 28-abr | Miércoles | 8:30 a. m. |
| O | 20-may | Jueves | 7:30 a. m. |
| LNA | 20-may | Jueves | 7:30 a. m. |
| P | 27-may | Miércoles | 5:00 p. m. |

17 muestreos, 5 puntos de muestreo, 85 muestras, 17 parámetros, 942 resultados

Oxígeno disuelto, resumen

| Parámetro | P1 | P2 | P3 | P4 |
|---------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Número de resultados | 15 | 15 | 15 | 15 |
| Valor Q max (m ³ /d) | 0.240 | 0.201 | 0.237 | 0.204 |
| Valor Q min (m ³ /d) | 0.114 | 0.100 | 0.105 | 0.097 |
| Q prom (m ³ /d) | 0.159 | 0.151 | 0.152 | 0.143 |
| Desv est. Q (m ³ /d) | 0.031 | 0.027 | 0.036 | 0.027 |
| CHS prom (L/m ² -d) | 561.78 | 533.39 | 538.91 | 506.92 |

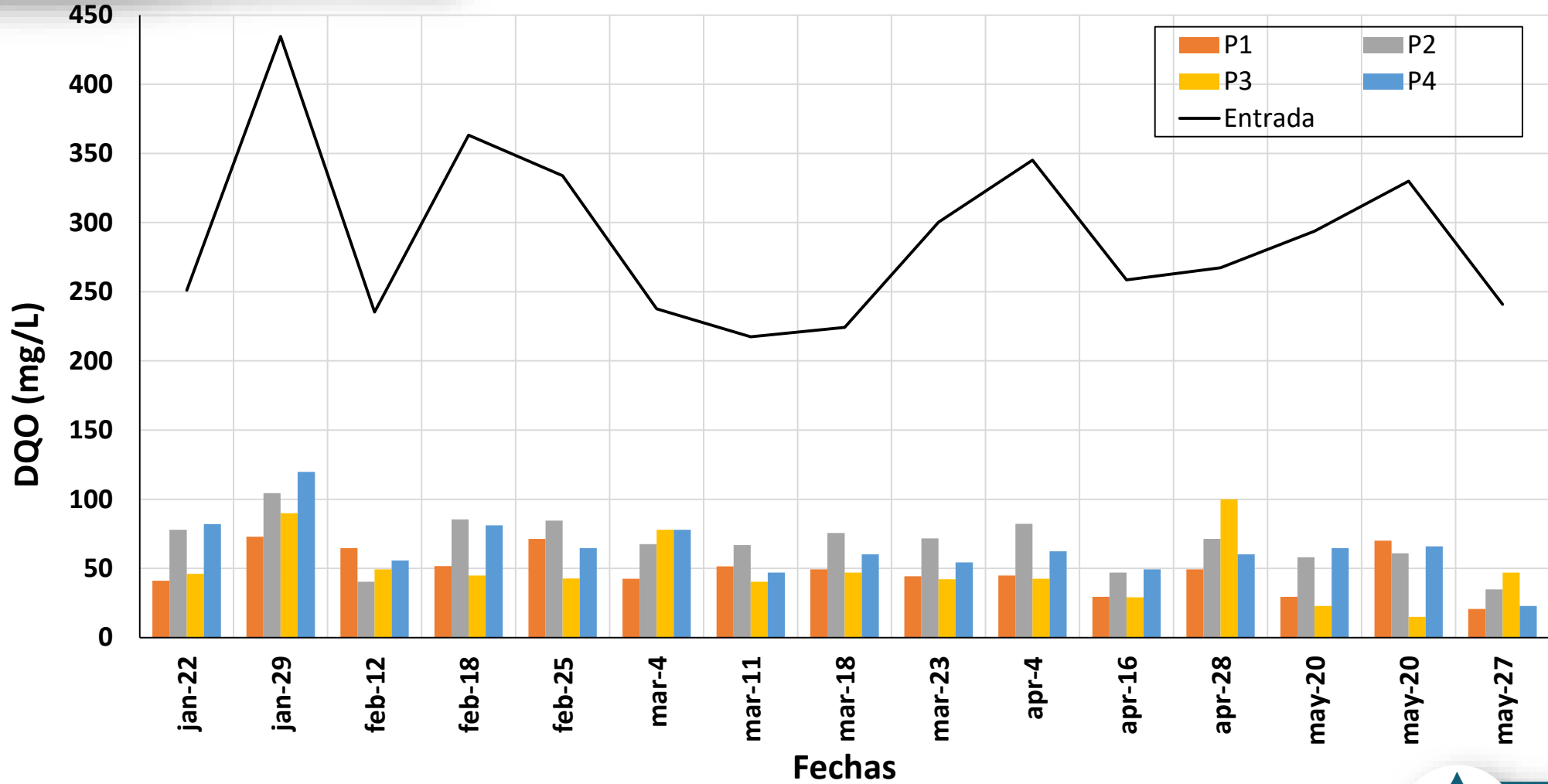
Oxígeno disuelto, gráfico



DQO, resumen

| Parámetro | E | P1 | P2 | P3 | P4 |
|----------------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Número de resultados | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| Valor max (mg/L) | 434.6 | 72.92 | 104.345 | 99.92 | 119.8 |
| Valor min (mg/L) | 217.50 | 20.66 | 34.812 | 15 | 22.85 |
| DQO prom (mg/L) | 288.89 | 48.83 | 68.57 | 49.10 | 64.54 |
| Desv est. DQO (mg/L) | 61.93 | 15.76 | 18.38 | 23.26 | 21.24 |
| % remoción prom | - | 83% | 76% | 82% | 78% |
| Desv est. % rem | - | 5% | 6% | 9% | 6% |

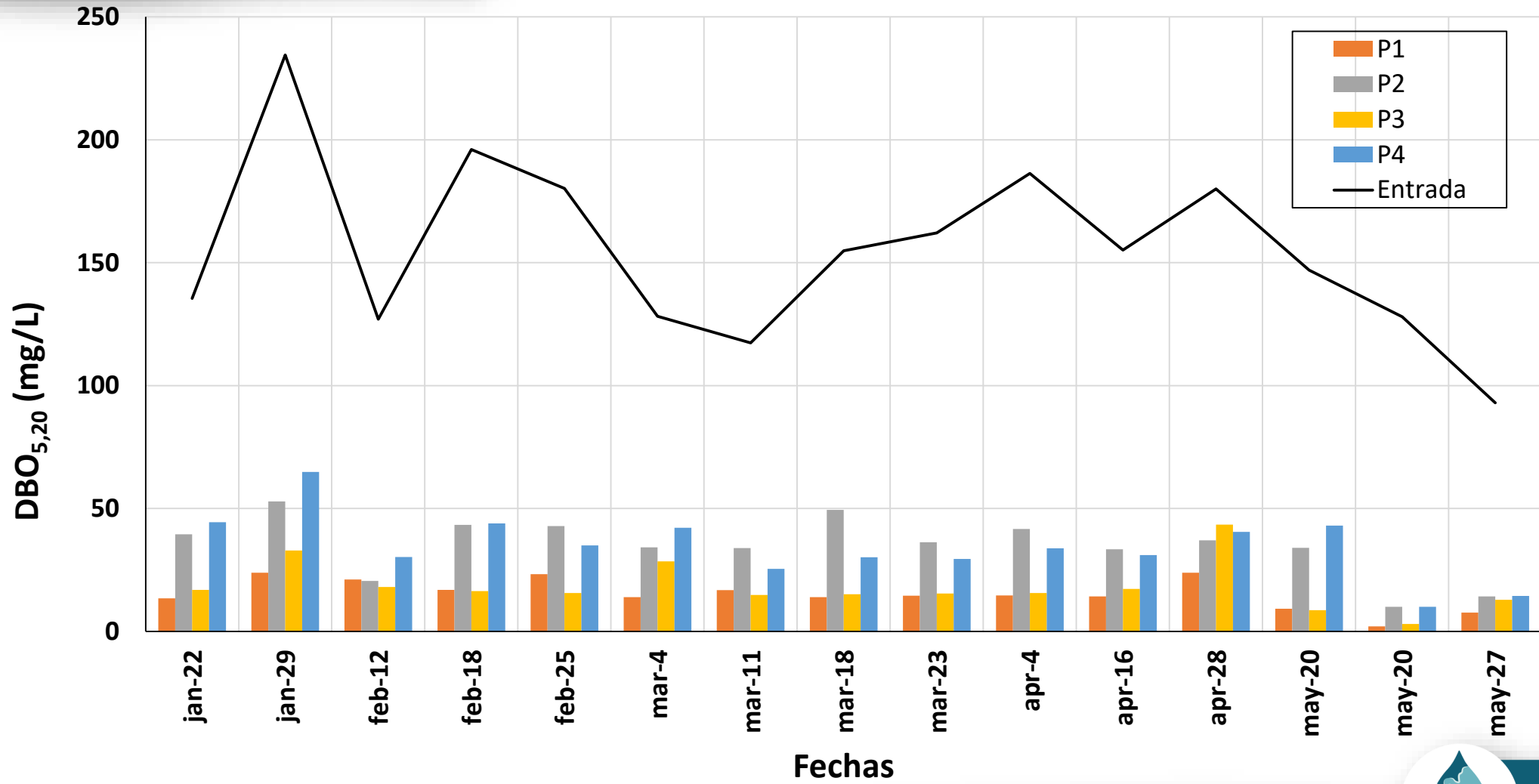
DQO, gráfico



DBO_{5,20} resumen

| Parámetro | E | P1 | P2 | P3 | P4 |
|----------------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Número de resultados | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| Valor max (mg/L) | 234.55 | 23.86 | 52.88 | 43.38 | 64.88 |
| Valor min (mg/L) | 93.00 | 2.00 | 10.00 | 3.00 | 10.00 |
| DBO prom (mg/L) | 155.01 | 15.27 | 34.87 | 18.28 | 34.55 |
| Desv est. DBO (mg/L) | 36.09 | 6.16 | 11.96 | 9.85 | 13.20 |
| % remoción prom | - | 90% | 78% | 88% | 78% |
| Desv est. % rem | - | 4% | 6% | 6% | 7% |

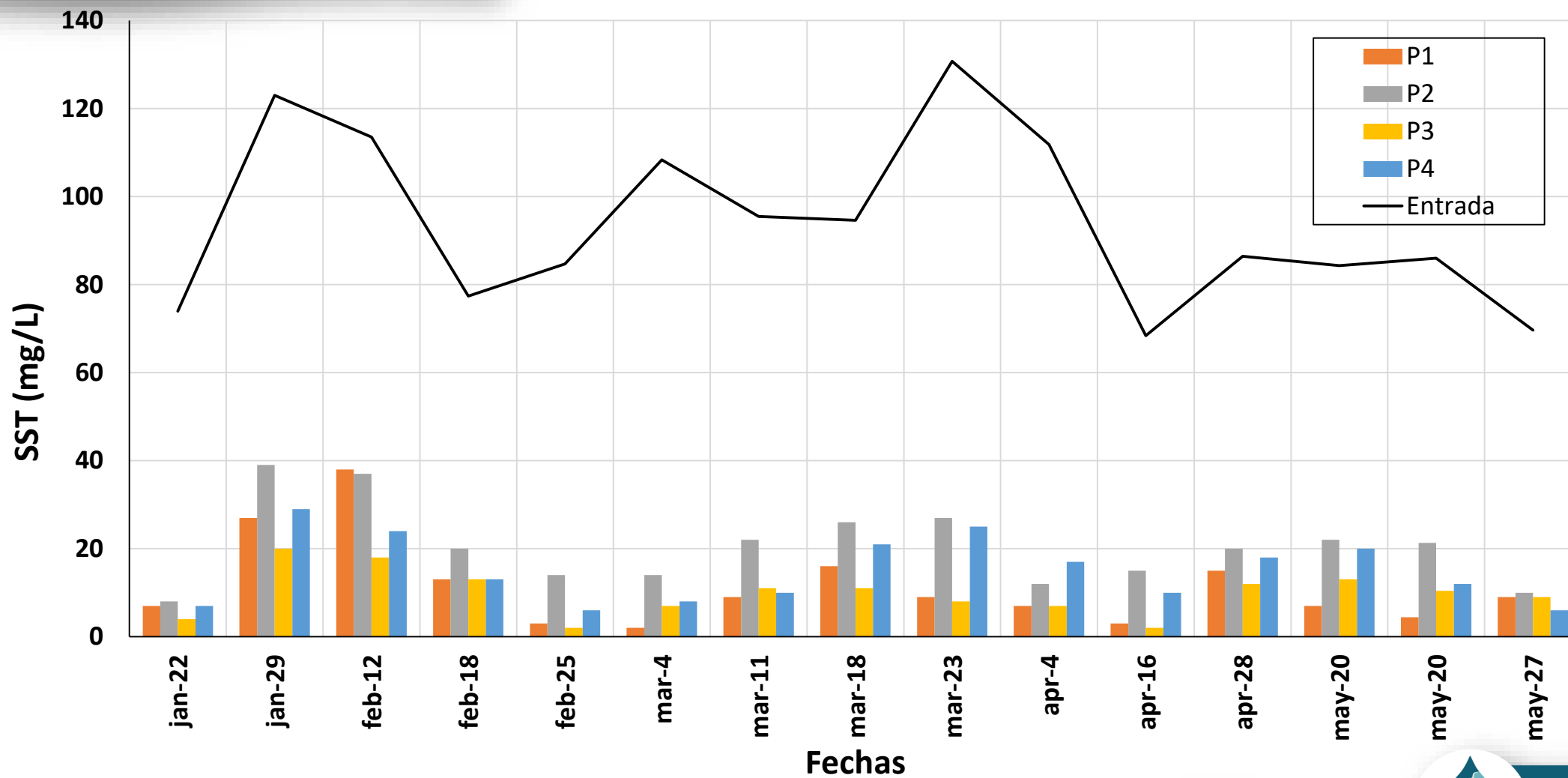
DBO_{5,20}, gráfico



SST, resumen

| Resumen | E | P1 | P2 | P3 | P4 |
|----------------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Número de resultados | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| Valor max (mg/L) | 130.72 | 38 | 39 | 20 | 29 |
| Valor min (mg/L) | 68.4 | 2 | 8 | 2 | 6 |
| SST prom (mg/L) | 93.89 | 11.29 | 20.49 | 9.83 | 15.07 |
| Desv est. SST (mg/L) | 19.50 | 9.79 | 9.05 | 5.17 | 7.51 |
| % remoción prom | - | 88% | 78% | 90% | 84% |
| Desv est. % rem | - | 8% | 7% | 5% | 6% |

SST, gráfico

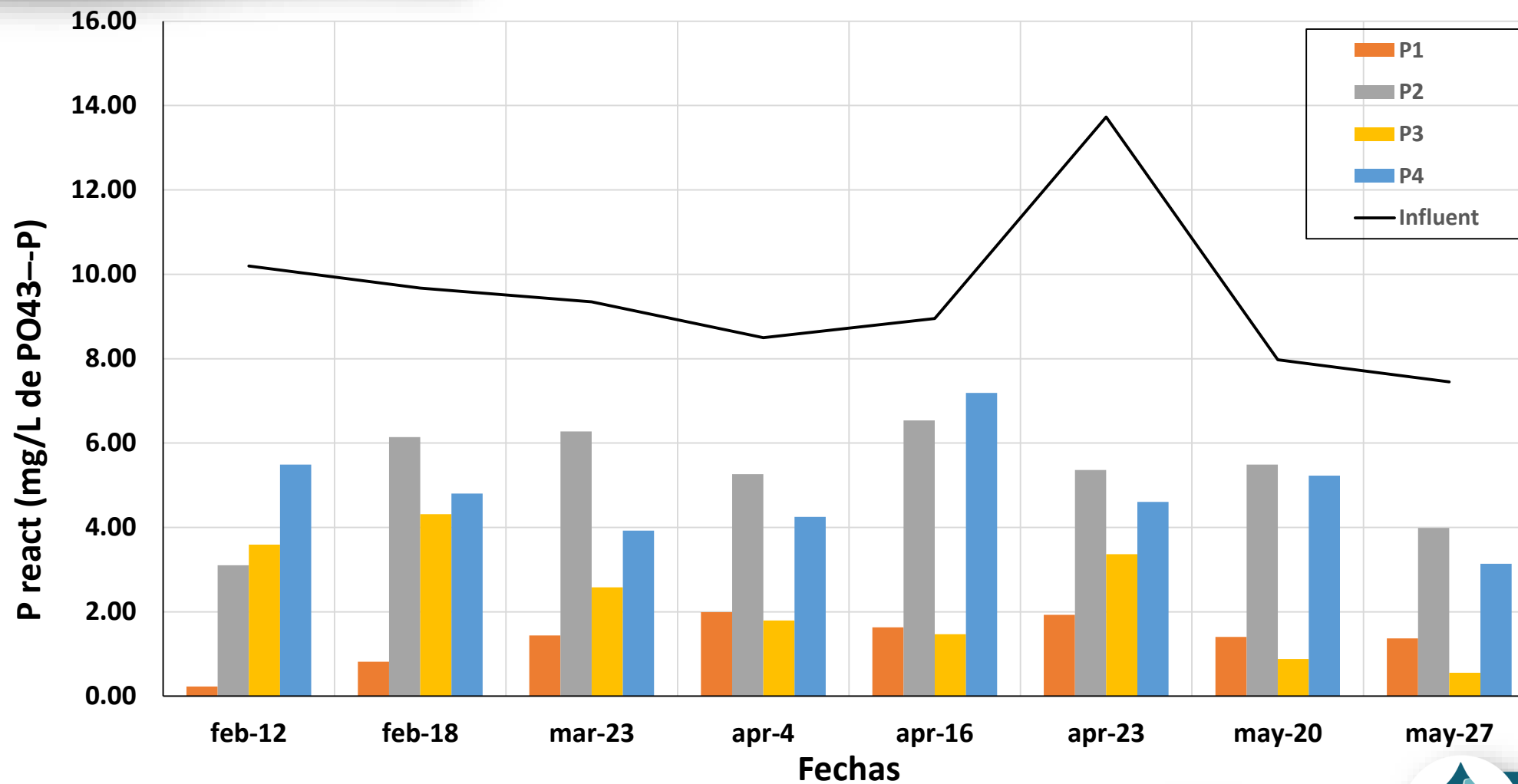


P reactivo, resumen

| Parámetro | E | P1 | P2 | P3 | P4 |
|---|-------|------|------|------|------|
| Número de resultados | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| Valor max (mg/L PO ₄ ³⁻ -P) | 13.73 | 1.99 | 6.54 | 4.31 | 7.19 |
| Valor min (mg/L PO ₄ ³⁻ -P) | 7.45 | 0.23 | 3.10 | 0.56 | 3.14 |
| Promedio (mg/L PO ₄ ³⁻ -P) | 9.48 | 1.35 | 5.27 | 2.32 | 4.83 |
| Desv est. P react (mg/L PO ₄ ³⁻ -P) | 1.94 | 0.58 | 1.18 | 1.36 | 1.21 |
| % remoción prom | - | 85% | 43% | 76% | 48% |
| Desv est. % rem | - | 7% | 15% | 12% | 15% |

- ▷ Entre el 60 y el 85% del fósforo total en AR domésticas (Bali y Gueddari, 2019).
- ▷ Según caracterización de aguas residuales domésticas, realizadas en PTAR por Guida et al. (2021), en promedio, 5.9 mg/L de fósforo corresponden a fósforo reactivo, por cada 6.6 mg/L de fósforo total, es decir, un 89%.

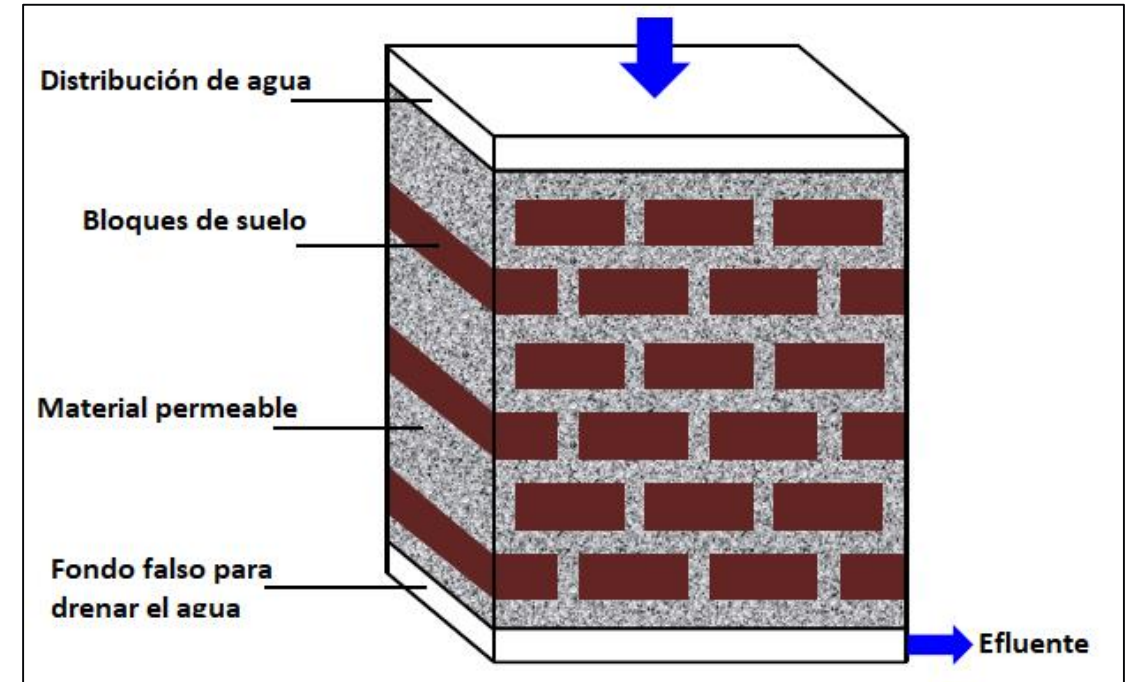
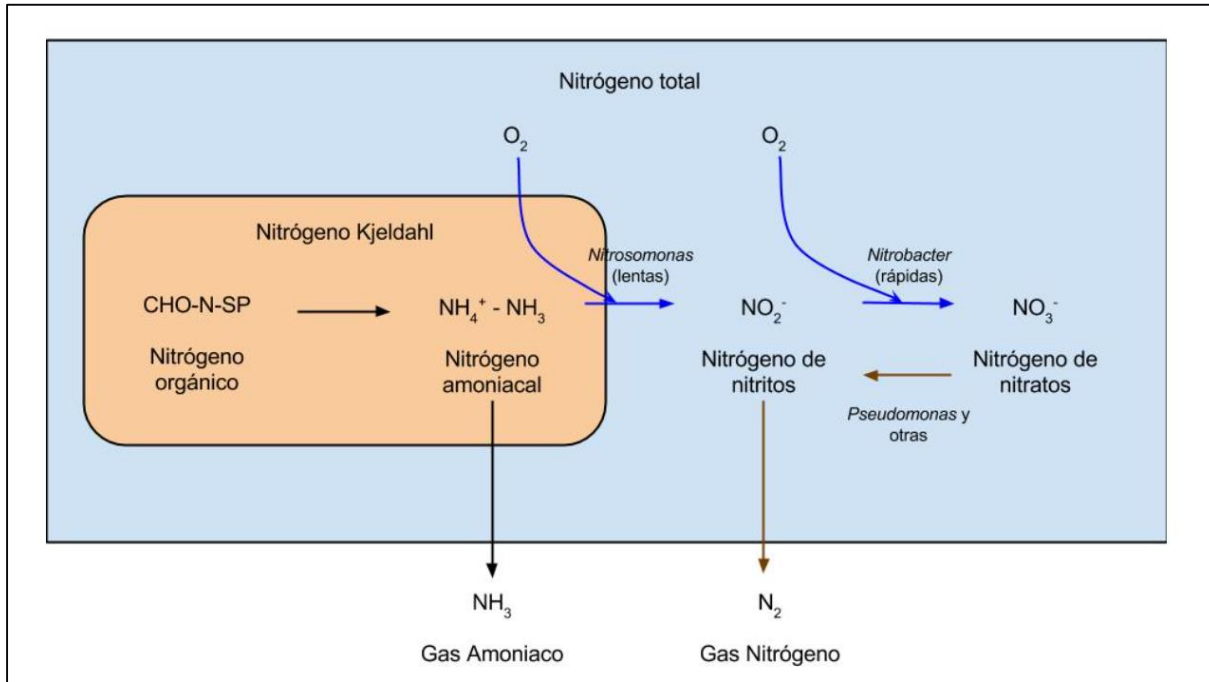
P reactivo, gráfico



P total

| Muestra | Fecha | Entrada | P1 | | P2 | | P3 | | P4 | |
|---------|--------|---------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|
| | | | P total (mg/L) | % rem | P total (mg/L) | % rem | P total (mg/L) | % rem | P total (mg/L) | % rem |
| LNA | 20-may | 7.36 | 0.57 | 92% | 5.03 | 32% | 0.29 | 96% | 5.03 | 32% |

Ciclo del nitrógeno en aguas residuales



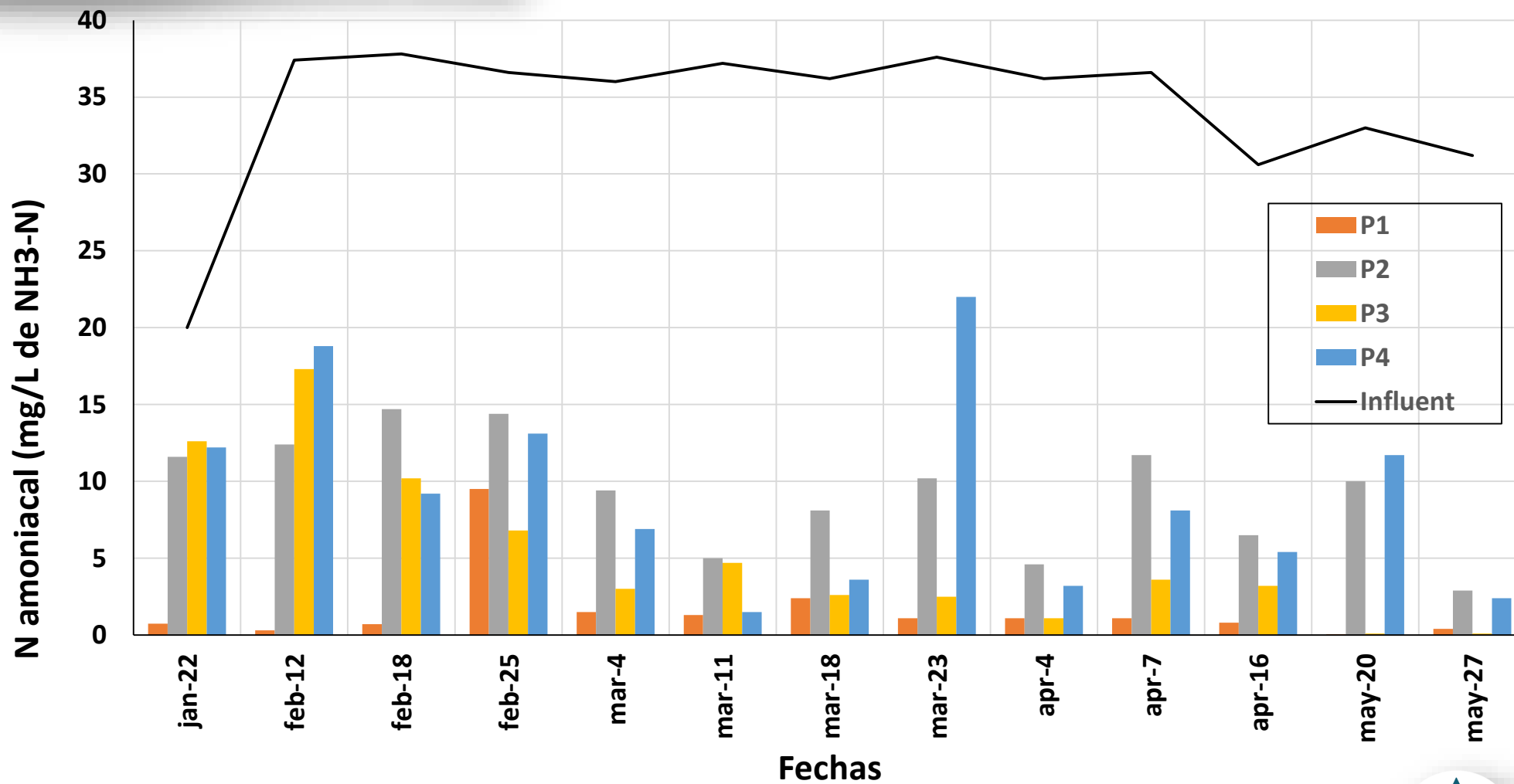
Fuente: MICROLAB INDUSTRIAL. Las formas múltiples del Nitrógeno.
<https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/las-formas-multiples-del-nitrogeno>.
Consulta: 7 de junio de 2021.

Fuente: Adaptado de AN et al. Multi-Soil-Layering Systems for Wastewater Treatment in Small and Remote Communities. p.133.

N amoniaco, resumen

| Parámetro | E | P1 | P2 | P3 | P4 |
|---|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Número de resultados | 14 | 13 | 13 | 13 | 13 |
| Valor max (mg/L de NH ₃ -N) | 37.8 | 9.5 | 14.7 | 17.3 | 22 |
| Valor min (mg/L de NH ₃ -N) | 20 | 0.05 | 2.9 | 0.1 | 1.5 |
| Promedio (mg/L de NH ₃ -N) | 33.39 | 1.61 | 9.35 | 5.22 | 9.08 |
| Desv est. N amon (mg/L de NH ₃ -N) | 5.93 | 2.44 | 3.74 | 5.19 | 6.33 |
| % remoción prom | - | 95% | 72% | 84% | 73% |
| Desv est. % rem | - | 7% | 13% | 19% | 19% |

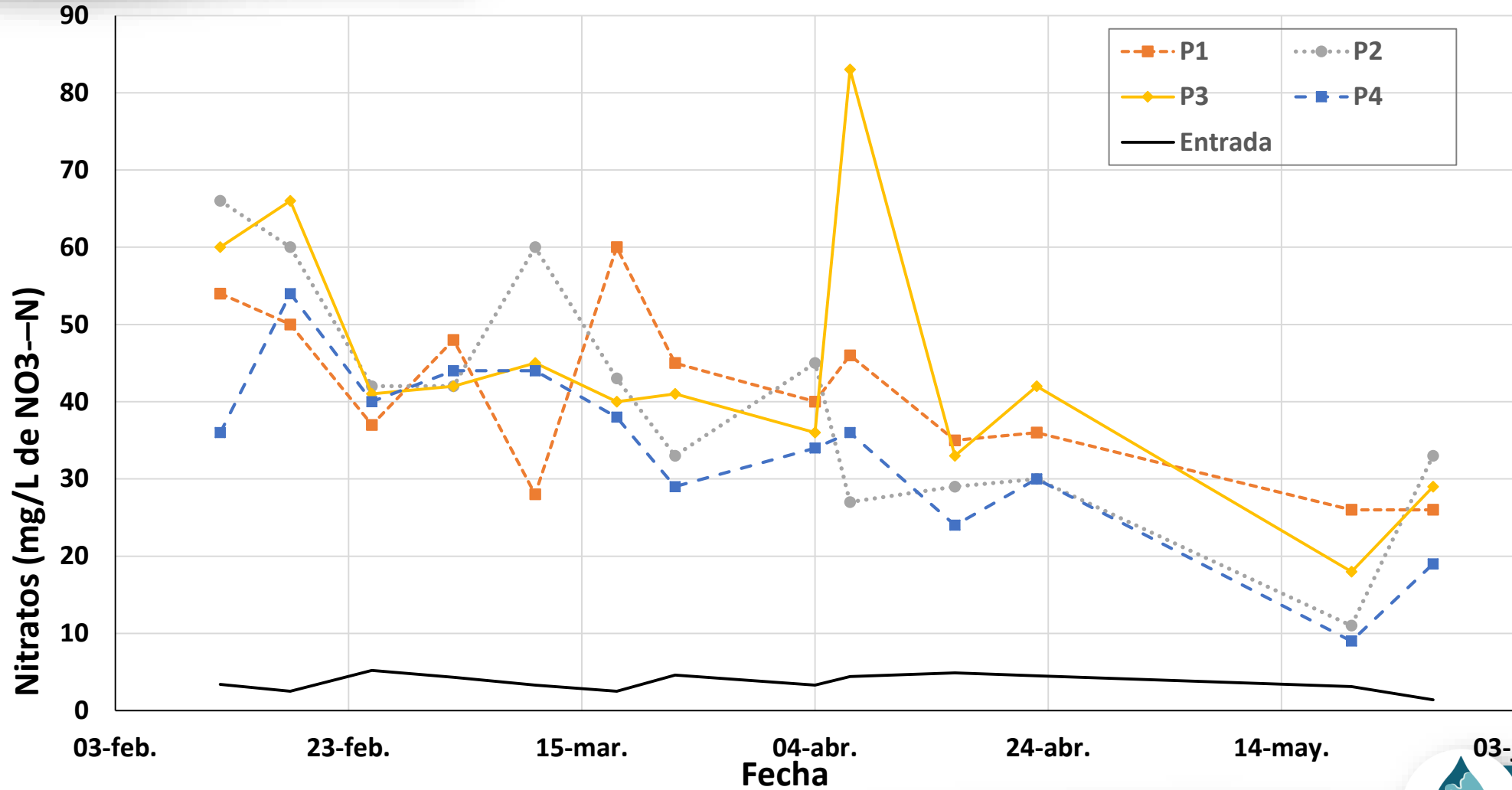
N amoniacal, gráfico



Nitratos, resumen

| Parámetro | E | P1 | P2 | P3 | P4 |
|---|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Número de resultados | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 |
| Valor max (mg/L de NO ₃ ⁻ -N) | 5.2 | 60 | 66 | 83 | 54 |
| Valor min (mg/L de NO ₃ ⁻ -N) | 1.4 | 26 | 11 | 18 | 9 |
| Promedio (mg/L de NO ₃ ⁻ -N) | 3.65 | 40.85 | 40.08 | 44.31 | 33.62 |
| Desv estándar (mg/L de NO ₃ ⁻ -N) | 1.11 | 10.79 | 15.40 | 16.80 | 11.72 |

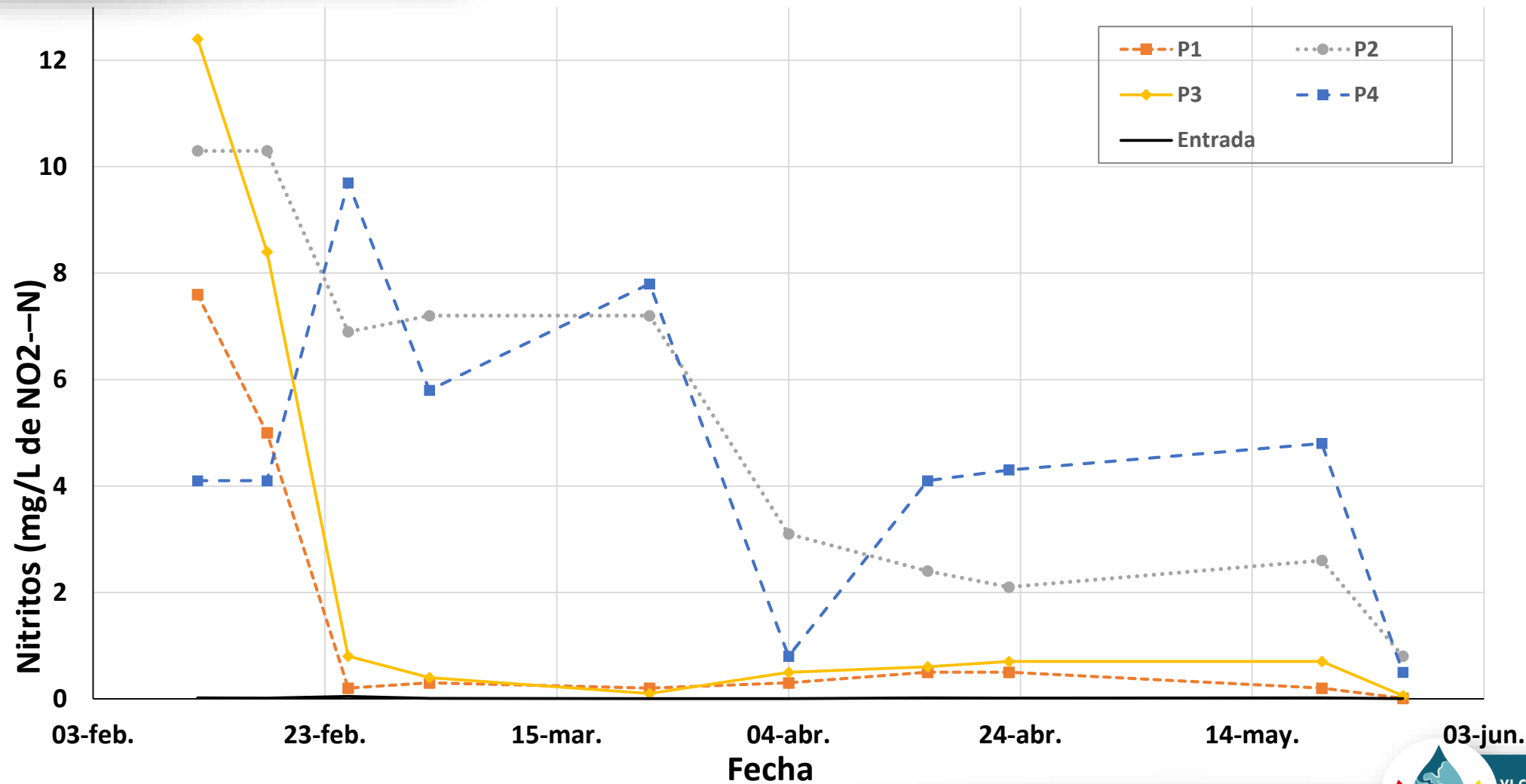
Nitratos, gráfico



Nitritos, resumen

| Parámetro | E | P1 | P2 | P3 | P4 |
|---|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Número de resultados | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Valor max (mg/L de NO ₂ ⁻ -N) | 0.043 | 7.6 | 10.3 | 12.4 | 9.7 |
| Valor min (mg/L de NO ₂ ⁻ -N) | 0.002 | 0.01 | 0.2 | 0.06 | 0.5 |
| Promedio (mg/L de NO ₂ ⁻ -N) | 0.01 | 1.48 | 4.28 | 2.47 | 4.24 |
| Desv estándar (mg/L de NO ₂ ⁻ -N) | 0.01 | 2.62 | 3.36 | 4.29 | 3.07 |

Nitritos, gráfico



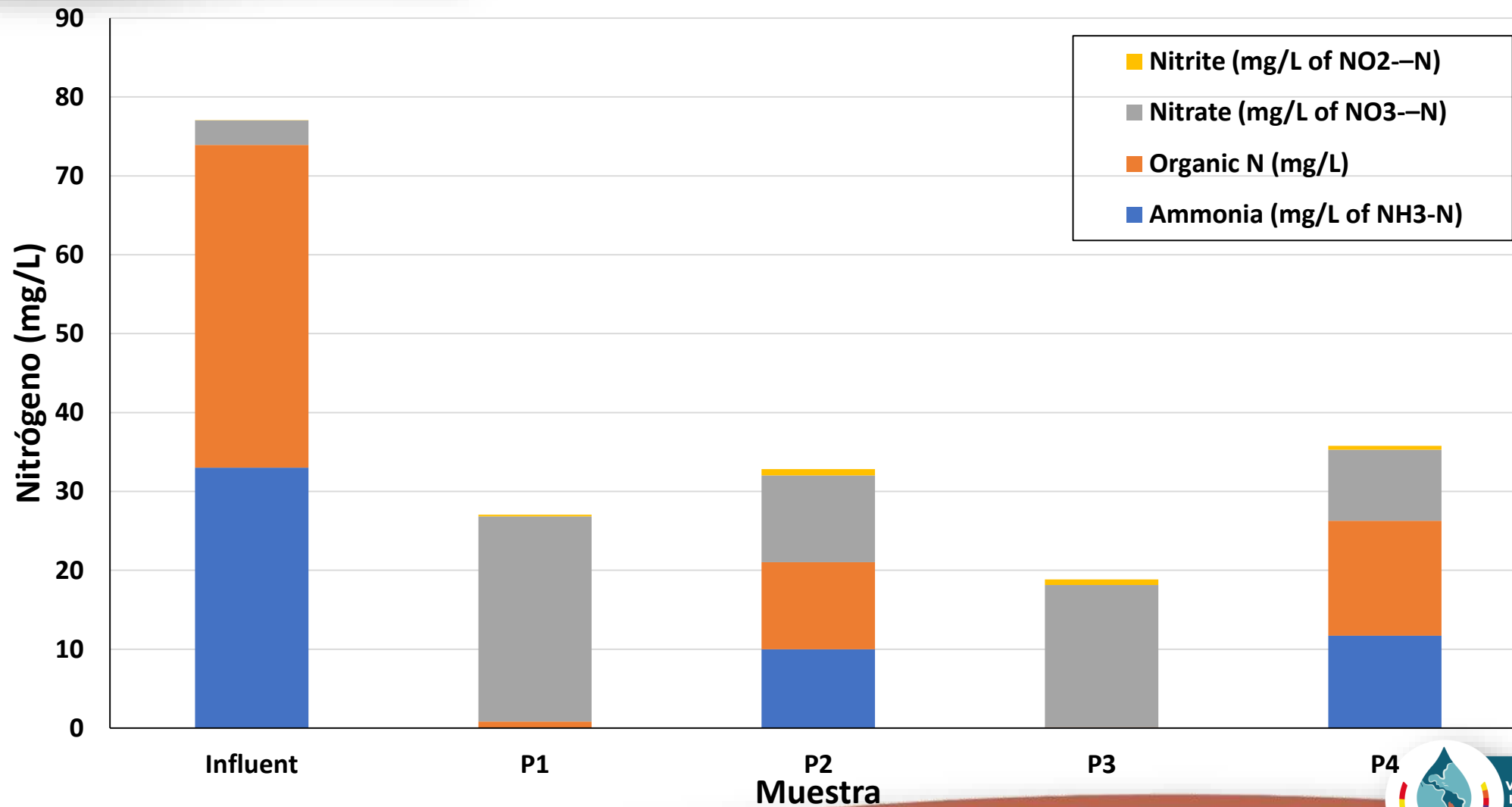
N Kjeldahl

| Mues- tra | Fecha | Entrada | P1 | | P2 | | P3 | | P4 | |
|--------------|--------|---------|----------------------|----------|----------------------|----------|----------------------|----------|-------------------------|----------|
| | | | N Kjeldahl (mg/L) | % rem | N Kjeldahl (mg/L) | % rem | N Kjeldahl (mg/L) | % rem | N Kjeldahl (mg/L) | % rem |
| LNA | 27-may | 73.92 | 0.84 | 99% | 21.03 | 72% | <LD (0.13) | 100% | 26.29 | 64% |

N total

| Muestra | Fecha | N amon (mg/L de NH ₃ -N) | N Kjeldahl (mg/L) | N orgánico (mg/L) | Nitratos (mg/L de NO ₃ ⁻ -N) | Nitritos (mg/L de NO ₂ ⁻ -N) | N total (mg/L) | % rem |
|---------|--------|---|-------------------------|-------------------------|--|--|-------------------|----------|
| Entrada | 20-may | 33 | 73.92 | 40.92 | 3.1 | 0.019 | 77.039 | - |
| P1 | 20-may | 0.05 | 0.84 | 0.79 | 26 | 0.2 | 27.04 | 65% |
| P2 | 20-may | 10 | 21.03 | 11.03 | 11 | 0.8 | 32.83 | 57% |
| P3 | 20-may | 0.1 | 0.13 | 0.03 | 18 | 0.7 | 18.83 | 76% |
| P4 | 20-may | 11.7 | 26.2899 | 14.5899 | 9 | 0.5 | 35.79 | 54% |

N total, gráfico



Turbiedad

| Parámetro | Entrada | P1 | P2 | P3 | P4 |
|---------------------------|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Número de resultados | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| Valor Turbiedad max (FAU) | 277 | 16 | 32 | 11 | 26 |
| Valor Turbiedad min (FAU) | 111 | 3 | 11 | 4 | 6 |
| Turbiedad Prom (FAU) | 209.56 | 8.78 | 21.56 | 7.78 | 16.11 |
| Desv estándar (FAU) | 47.93 | 3.83 | 6.41 | 2.54 | 7.03 |

SAAM

| Muestra | Fecha | Entrada | P1 | | P2 | | P3 | | P4 | |
|---------|--------|---------|----------------|----------|----------------|----------|----------------|----------|----------------|----------|
| | | | SAAM (mg/L) | % rem | SAAM (mg/L) | % rem | SAAM (mg/L) | % rem | SAAM (mg/L) | % rem |
| LNA | 20-may | 3.82 | <LD (0.6) | 84% | 2.27 | 41% | <LD (0.37) | 90% | 4.02 | -5% |



CONCLUSIONES

Y comentarios finales



VI CONFERENCIA
LATINOAMERICANA
DE SANEAMIENTO
BOLIVIA 2022

Saneamiento Un
Llamado A La Acción

GRACIAS!
GRACIAS!



VI CONFERENCIA
LATINOAMERICANA
DE SANEAMIENTO
BOLIVIA 2022

Conclusiones

- ▶ El efluente del sistema MSL, utilizado como tratamiento secundario de aguas residuales domésticas en una comunidad, logró porcentajes de remoción de al menos 75% para DBO, DQO, SST, de al menos 50% para Nitrógeno total y de al menos 30% para Fósforo total. Sin embargo, estos parámetros son considerablemente mejores en algunos de los 4 pilotos probados en el estudio.
- ▶ El efluente de los 4 pilotos MSL utilizados en este estudio cumplió con los límites establecidos en el Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales de Costa Rica.
- ▶ La facilidad de adquisición de los materiales utilizados, así como los bajos costos de implementación, operación y mantenimiento del sistema, hacen que los filtros MSL se consideren adecuados para ser implementados en zonas rurales de Costa Rica y de otros países de Centroamérica con condiciones similares.

Bibliografía

1. Briceño, N. (2016). Fundamentos para el manejo de aguas residuales. San José, Costa Rica: Ministerio de ambiente y energía.
2. Comisión Nacional del Agua. (2019b). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Libro 31. Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Zonas Rurales, Periurbanas y Desarrollos Ecoturísticos. México D.F, México: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
3. Comisión Nacional del Agua. (2019c). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Libro 36. Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Tratamientos no Convencionales. México D.F., México: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
4. Eddy, I., & Metcalf, I. (1995). Ingeniería de Aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización. New York, Estados Unidos: McGraw-Hill Education.
5. Reed, S. C., Middlebrooks, E. J., & Crites, R. W. (1988). Natural systems for waste management and treatment. New York, Estados Unidos: McGraw-Hill Education.
6. Tchobanoglous, G., & Burton, F. L. (1991). Wastewater Engineering. Treatment, Disposal and Reuse. 3. Ed. [By] Metcalf and Eddy, Inc. Rev. by George Tchobanoglous, Franklin L. Burton. New York, Estados Unidos: McGraw-Hill Education.
7. An, C. J. (2015). Multi-Soil-Layering Systems for Wastewater Treatment in Small and Remote Communities. Journal of Environmental Informatics. <https://doi.org/10.3808/jei.201500328>
8. Chen, X., Luo, A. C., Sato, K., Wakatsuki, T., & Masunaga, T. (2009). An introduction of a multi-soil-layering system: a novel green technology for wastewater treatment in rural areas. Water and Environment Journal, 23(4), 255-262. <https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.2008.00143.x>
9. Deshpande, V. V., & Thorvat, A. R. (2018). Experimental Investigation of Treatment of Domestic Wastewater Using Multi Soil Layering (MSL) System. Aquademia: Water, Environment and Technology, 2(2). <https://doi.org/10.20897/awet/3963>
10. Ho, C.-C., & Wang, P.-H. (2015). Efficiency of a Multi-Soil-Layering System on Wastewater Treatment Using Environment-Friendly Filter Materials. International Journal of Environmental Research and Public Health, 12(3), 3362-3380. <https://doi.org/10.3390/ijerph120303362>
11. Lamzouri, K., Mahi, M., Ouatar, S., Bartali, E., Masunaga, T., Latrach, L., & Mandi, L. (2016). Application of Multi-soil-layering technique for wastewater treatment in Moroccan rural areas: study of the operation process for an engineering design. Journal of Materials and Environmental Science, 7(2), 579-585. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/298076151_Application_of_Multi-soil-layering_technique_for_wastewater_treatment_in_Moroccan_rural_areas_Study_of_the_operation_process_for_an_engineering_design

Bibliografía (cont.)

12. Sato, K., Iwashima, N., Wakatsuki, T., & Masunaga, T. (2011). Quantitative evaluation of treatment processes and mechanisms of organic matter, phosphorus, and nitrogen removal in a multi-soil-layering system. *Soil Science and Plant Nutrition*, 57(3), 475-486. <https://doi.org/10.1080/00380768.2011.590944>
13. Latrach, L., Masunaga, T., Ouazzani, N., Hejjaj, A., Mahi, M., & Mandi, L. (2014). Removal of bacterial indicators and pathogens from domestic wastewater by the multi-soil-layering (MSL) system. *Soil Science and Plant Nutrition*, 61(2), 337-346. <https://doi.org/10.1080/00380768.2014.974480>
14. Latrach, L., Ouazzani, N., Hejjaj, A., Zouhir, F., Mahi, M., Masunaga, T., & Mandi, L. (2018). Optimization of hydraulic efficiency and wastewater treatment performances using a new design of vertical flow Multi-Soil-Layering (MSL) technology. *Ecological Engineering*, 117, 140-152. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.04.003>
15. Luanmanee, S., Attanandana, T., Masunaga, T., & Wakatsuki, T. (2002). Treatment of domestic wastewater with a Multi-Soil-Layering System in a temperate and tropical climate. *Extension Bulletin, Food and Fertilizer Technology Center*. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/258239194_Treatment_of_Domestic_wastewater_with_a_Multi-Soil-Layering_MSL_System_in_a_Temperate_and_A_Tropical_Climate
16. Masunaga, T., Sato, K., Mori, J., Shirahama, M., Kudo, H., & Wakatsuki, T. (2007). Characteristics of wastewater treatment using a multi-soil-layering system in relation to wastewater contamination levels and hydraulic loading rates. *Soil Science and Plant Nutrition*, 53(2), 215-223. <https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2007.00128.x>
17. Sato, K., Iwashima, N., Wakatsuki, T., & Masunaga, T. (2011). Quantitative evaluation of treatment processes and mechanisms of organic matter, phosphorus, and nitrogen removal in a multi-soil-layering system. *Soil Science and Plant Nutrition*, 57(3), 475-486. <https://doi.org/10.1080/00380768.2011.590944>
18. Sato, K., Masunaga, T., & Wakatsuki, T. (2005a). Characterization of Treatment Processes and Mechanisms of COD, Phosphorus and Nitrogen Removal in a Multi-Soil-Layering System. *Soil Science and Plant Nutrition*, 51(2), 213-221. <https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2005.tb00025.x>
19. Sato, K., Masunaga, T., & Wakatsuki, T. (2005b). Water Movement Characteristics in a Multi-Soil-Layering System. *Soil Science and Plant Nutrition*, 51(1), 75-82. <https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2005.tb00009.x>
20. Sato, K., Wakatsuki, T., Iwashima, N., & Masunaga, T. (2019). Evaluation of Long-Term Wastewater Treatment Performances in Multi-Soil-Layering Systems in Small Rural Communities. *Applied and Environmental Soil Science*, 2019, 1-11. <https://doi.org/10.1155/2019/1214368>

Bibliografía

21. Segura Ortiz, J. C. (2015). Viabilidad económica, social y financiera de proyectos urbanos frente al desarrollo territorial. *Dimensión Empresarial*, 13(2), 55-74. <https://doi.org/10.15665/rde.v13i2.541>
22. Song, P., Huang, G., An, C., Shen, J., Zhang, P., Chen, X., ... Sun, C. (2018). Treatment of rural domestic wastewater using multi-soil-layering systems: Performance evaluation, factorial analysis and numerical modeling. *Science of The Total Environment*, 644, 536-546. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.331>
23. Supriyadi, Widijanto, H., Pranoto, & Dewi, A. (2016). Improving quality of textile wastewater with organic materials as multi soil layering. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 107, 012016. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/107/1/012016>
24. Wakatsuki, T., Esumi, H., & Omura, S. (1993). High performance and N & P removable on-site domestic waste water treatment system by multi-soil-layering method. *Water Science and Technology*, 27(1). Recuperado de <https://iwaponline.com/wst/article-pdf/27/1/31/103043/31.pdf>
25. Wei, C., & Wu, W. (2018). Performance of single-pass and by-pass multi-step multi-soil-layering systems for low-(C/N)-ratio polluted river water treatment. *Chemosphere*, 206, 579-586. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.05.035>
26. Zhang, Y., Cheng, Y., Yang, C., Luo, W., Zeng, G., & Lu, L. (2015). Performance of system consisting of vertical flow trickling filter and horizontal flow multi-soil-layering reactor for treatment of rural wastewater. *Bioresource Technology*, 193, 424-432. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.06.140>
27. MINAE, & MINSa. (2006, agosto 9). DE-No 33601: Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales. Recuperado 25 de abril de 2020, de http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=59524
28. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2012b). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS. TÍTULO J: Alternativas Tecnológicas en Agua y Saneamiento para el Sector Rural. Bogotá, Colombia: Centro de Investigaciones en Acueductos y Alcantarillados –CIACUA.
29. Alonzo, A. (2016). Suelo y PET como tratamiento secundario de aguas residuales domésticas. Ciudad de Guatemala, Guatemala: Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria, USAC.
30. Peralta, I., & Pérez, W. (2015). Uso del suelo como tratamiento secundario de aguas residuales domésticas. Ciudad de Guatemala, Guatemala: Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria, USAC.
31. Ruiz, F. (2012). Gestión de las Excretas y Aguas Residuales en Costa Rica. San José, Costa Rica: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados

Saneamiento Un
Llamado A La Acción

GRACIAS!
GRACIAS!



VI CONFERENCIA
LATINOAMERICANA
DE SANEAMIENTO
BOLIVIA 2022