EVALUACIÓN Y PROPUESTA DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES CLOACALES APLICABLE AL REFUGIO SAN MARTÍN

TRABAJO FINAL INTEGRADOR

INGENIERÍA AMBIENTAL

Autora: Antonella. M. Zárate. K

Director: Ing. René Paz Zalazar

Co-Directotra: Dra. Natalia D´Amico

Fecha: abril de 2021

RESUMEN

El Parque Nacional Nahuel Huapi (PNNH), ubicado al noroeste de la Patagonia Andina Argentina, posee un sistema de refugios de montaña, conformado por bienes patrimoniales naturales y culturales, de alto valor inmaterial y paisajístico. El sistema de refugios de montaña se desarrolla en un sitio de fragilidad ambiental ya que se encuentran asociados a arroyos y lagunas de altura, o glaciares y arroyos, los cuales fueron dimensionados para brindar servicio a un número determinado de personas. El refugio San Martín ubicado en la ciudad de Bariloche, es uno de éstos, el cual ha presentado un marcado incremento en el número de visitantes a lo largo de los últimos años. Debido a ello se llevó a cabo distintos relevamientos donde se diagnosticó el sistema de tratamiento de efluentes cloacales provenientes de los baños externos del refugio. Se pudo constatar que dichos efluentes son vertidos a un mallín de altura que, debido a la saturación del sistema, poseen un tratamiento altamente deficiente, impactando negativamente a dicho mallín. Los mallines altoandinos se encuentran bajo condiciones ambientales rigurosas, permanecen varios meses cubiertos por nieve y expuestos gran parte del año a bajas temperaturas, factores que ralentizan su proceso de recuperación. Se realizó un análisis de las distintas tecnologías convencionales y no convencionales de sistemas de tratamiento aplicables al sitio, llevando a cabo visitas a campo a otros refugios de la zona, así como entrevistas y relevamiento bibliográfico. Las tecnologías se analizaron teniendo en cuenta aspectos sociales, económicos y ambientales, realizando dimensionamientos de distintos sistemas de tratamientos y proyectando el diseño para 10 años de uso. Como conclusión del estudio se obtuvo que el sistema de tratamiento de efluentes cloacales aplicando baños secos permite reducir significativamente el riesgo ambiental, considerando su alta eficiencia bajo condiciones climáticas extremas y la eliminación de la descarga de efluentes al entorno. Se considera esta tecnología altamente recomendable dado que es amigable con el ambiente, de fácil aplicación y mantenimiento y se adapta al ambiente de montaña.

Palabras Clave: Ambiente, Montaña, Refugio, Efluente, Mallín.

ABSTRACT

Nahuel Huapi National Park, located in the northwest of the argentinean andean Patagonia, has a system of mountain refuges, constituted by natural and cultural heritage assets of high intangible and landscape value. This system takes place in an environmentally fragile site, given its association to high-altitude streams and lagoons or to glaciers and streams, which were designed to serve a specific amount of visitors. San Martín mountain refuge, located in the proximity of Bariloche, has shown a marked increase in the number of visitors in recent years, following the tendency previously mentioned. Therefore, several field researches were carried out, where the sewage treatment system from the San Martín mountain refuge's external restrooms were diagnosed. Through one of the field researches, it was determined that the effluents, once treated, are being discharged into a high-altitude wetland. It is important to note that, due to the saturation of the system, the wastewater has a highly deficient treatment, negatively impacting the high-altitude wetland. These environments develop under rigorous environmental conditions, remaining covered by snow several months and exposed to low temperatures most of the year. All these factors decrease the speed of their recovery process. An analysis of several conventional and non-conventional technologies of treatment systems applicable to the site was carried out, taking into consideration field trips to several mountain refuges in the area, as well as interviews and a bibliographical analysis. The different technologies were analysed taking into account social, economic and environmental aspects, dimensioning several treatment systems and projecting the design for 10 years of use. It was determined, as a conclusion of this study, that the implementation of the wastewater treatment system known as dry toilet allows to reduce significantly the environmental risk, due to its high efficiency under extreme climatic conditions and the elimination of the effluent discharge to the environment. This technology is strongly recommended for the area of study, given that it is eco-friendly, easy to apply and maintain, and it adapts well to the mountain environment.

Keywords: Environment, Mountain, Mountain refuge, Wastewater, Wetland.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por guiarme y sostenerme en los momentos más difíciles a lo largo de la carrera.

A mi niña, por recordarme siempre que quisimos lograr esto desde pequeñas.

A mis papás y a mi hermano, por haberme apoyado siempre y haber confiado en mí. Pa, gracias por el apoyo de todos estos años.

A mis directores, René y Natalia, por apoyarme con este tema desde el principio, por la libertad a lo largo del desarrollo del trabajo y por las subidas al refugio, 36 km no es poca cosa. Gracias por ser mi guía y formarme en esta última etapa, fueron el mejor equipo.

A mis amigas, que más que amigas son hermanas que me dió la carrera, Male, Fiore y Nu. Gracias por vivir conmigo estos últimos años de estudio y haberme acompañado y motivado a lo largo de todo el trabajo. Fueron incondicionales. Male, gracias por estar en todos mis momentos, por motivarme y consolarme siempre.

A mi amigo, “el gringo”, por tu amistad de muchos años y tu confianza, no lo hubiese logrado tan rápido sin tu ayuda.

A Genaro, por abrirme las puertas de Jakob desde el primer momento y haber estado siempre dispuesto a ayudarme. Gracias por tu predisposición y amabilidad.

A Piuque, por estar siempre para acompañarme en los relevamientos, y por apoyarme y motivarme en todas las subidas.

A Rolando, por su buena predisposición y por compartirme sus experiencias y conocimientos. Fueron muy valiosas.

A Luca, por acompañarme y ayudarme en las investigaciones en Ilón y Paso de las Nubes, fueron de gran ayuda.

A los refugieros de Jakob, por la buena predisposición. A los refugieros y concesionarios de Ilón y Paso de las Nubes, por su amabilidad y su buena predisposición.

A la empresa MH Hidráulica, por su amabilidad y predisposición cuando solicité información. A la empresa ECODOMEO por su información brindada.

A Cande, por escucharme siempre, motivarme y aconsejarme. Gracias por tu aguante amiga.

A Kike, por haber sido mi sosten en los primeros años de la carrera.

A Walter y Ailu, por su amistad desde el comienzo, y su apoyo y compañía de siempre.

A todas las personas que pusieron su granito de arena y su buena energía a lo largo de todo el trabajo, que fueron muchas. Gracias a todas.

Y por último, a todas las personas que confiaron en mí a lo largo de todos estos años de estudio. Gracias a todos los docentes que me formaron. Gracias a mis compañeros que estuvieron a lo largo de toda la carrera, por haber hecho más divertidas las cursadas, por los mates eternos, por compartir los recreos con risas, nervios, consuelos y motivaciones.

¡GRACIAS!

DEDICATORIA

Para todas las personas que dejan su granito de arena por un mundo mejor, con corazón, confianza y dedicación.

"Mucha gente pequeña, en lugares pequeños, haciendo cosas pequeñas, puede cambiar el mundo".

Galeano.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN **16**

1.1 INTRODUCCIÓN 16

1.2 OBJETIVOS 17

1.3 HIPÓTESIS 18

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO **19**

2.1 AGUAS RESIDUALES 19

2.1.1 Características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales domésticas 19

2.1.2 Importancia del tratamiento de los contaminantes de las aguas residuales 21

Efectos adversos sobre la salud humana 21

Efectos en el ambiente 23

Efectos económicos 23

2.2 SISTEMAS DE TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES 24

2.2.1. Clasificación de los sistemas de tratamiento según el medio de eliminación de los contaminantes 24

Procesos físicos 24

Procesos químicos 24

Procesos biológicos 24

2.2.2. Sistemas de tratamientos domiciliarios de aguas residuales 26

Inodoro seco o inodoro de arrastre hidráulico y evacuación in situ 27

Inodoro de arrastre hidráulico con tanque séptico 29

Inodoro de arrastre hidráulico con biodigestor domiciliario - ROTOPLAS 32

Inodoro de arrastre hidráulico con reactor de biogás 33

Tratamiento de aguas residuales con ozono 34

Inodoro seco con separación de orina y tratamiento in situ en cámara de compostaje 39

Inodoro seco con separación de orina y tratamiento in situ en cámara de deshidratación 41

Inodoro seco con separación de orina. Tecnología ECODOMEO 42

Tratamientos de heces 44

Investigaciones relevantes sobre la temática 50

2.3 CARACTERÍSTICAS DEL SITIO 56

2.3.1 Características ambientales 58

Clima 59

Flora 59
Fauna 60
2.4 MARCO NORMATIVO 60
Normativa Internacional 60
Normativa Nacional 60
Normativa Provincial 62
Normativa Municipal 64
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA 65
3.1 RELEVAMIENTO Y EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO 65
Primer Relevamiento 66
Segundo Relevamiento 71
Tercer Relevamiento 73
Cuarto Relevamiento 74
Quinto Relevamiento 77
Sexto Relevamiento 83
Séptimo relevamiento 88
Auditorías realizadas por el Organismo de Control 98
3.2 RELEVAMIENTO DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES CLOACALES EN OTROS REFUGIOS A CAMPO 100
Refugio Agostino Rocca 101
Refugio Ilón 105
3.3 PROPUESTA DE SISTEMA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES CLOACALES EN EL REFUGIO SAN MARTÍN 109
Proyección de generación de efluentes 112
Proyección de generación de excretas 113
Sistema de tratamiento de efluentes con nuevos biodigestores domiciliarios 115
Sistema de tratamiento de efluentes con ozono 118
Sistema de tratamiento de efluentes con sistema de baño seco y cámara de lombricompostaje. 119
Sistema de baño seco ECODOMEO 121
CAPÍTULO 4: RESULTADOS 124
4.1 ANÁLISIS FODA DE LOS 4 SISTEMAS DE TRATAMIENTO PROPUESTOS 124
4.2 RESULTADOS DEL ANÁLISIS FODA 138
4.3 MANUAL DE BUENAS PRÁCTICAS DEL SISTEMA A IMPLEMENTAR 138

Buenas prácticas hacia el operario 138
Buenas prácticas hacia el usuario 144
CAPÍTULO 5: DISCUSIÓN FINAL Y CONCLUSIONES 145
5.1 DISCUSIÓN FINAL 145
5.2 CONCLUSIONES 148
REFERENCIAS 150
ANEXO I: Características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales 154
Características físicas 154
Sólidos Totales 154
Temperatura 155
Color 156
Características químicas 156
Materia orgánica 156
Materia inorgánica 158
Características biológicas 161
ANEXO II - Relevamiento de distintos autores para construcción de cámaras sépticas 163
ANEXO III: Condiciones necesarias para un proceso de biodigestión con generación de biogás 165
ANEXO IV: Parámetros de vuelco de efluentes líquidos para infiltración subsuperficial según Resolución N° 885. 167
Anexo V: Relevamiento de distintos autores para el dimensionamiento del terreno de infiltración 168
ANEXO VI: Refugios de montaña con tecnología ECODOMEO 170
ANEXO VII: Experiencia con la tecnología ECODOMEO en el Parque Nacional Torres del Paine, Chile 171
ANEXO VIII: Desinfectantes y Desengrasantes 173

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Transmisión de organismos patógenos relacionados con las excretas humanas 21
Figura 2.2. Riesgo de la contaminación fecal 22
Figura 2.3. Metabolismo microbiano aerobio 25
Figura 2.4. Etapas de la digestión anaerobia 26
Figura 2.5. Cadena de los servicios de saneamiento 27
Figura 2.6. Inodoro seco o inodoro con arrastre hidráulico y evacuación *in situ* 28
Figura 2.7. Pozo ciego y foco de contaminación 29
Figura 2.8. Inodoro con arrastre de agua con tanque séptico 30
Figura 2.9. Funcionamiento de cámara séptica 31
Figura 2.10. Biodigestor domiciliario ROTOPLAS 33
Figura 2.11.Inodoro con arrastre de agua con reactor de biogás 34
Figura 2.12. Terreno de infiltración 37
Figura 2.13. Circulación del efluente por medio poroso 37
Figura 2.14. Acción del material poroso y el suelo en el efluente 38
Figura 2.15. Inodoro seco con separación de orina 39
Figura 2.16. Sistema de saneamiento seco con separación de orina 40
Figura 2.17. Inodoro seco con separación de orina y tratamiento *in situ* en cámara de deshidratación 41
Figura 2.18. Distintos compartimentos del sistema ECODOMEO 43
Figura 2.19. Funcionamiento del sistema ECODOMEO 43
Figura 2.20. Mecanismo del sistema 43
Figura 2.21. Sitio de acopio al nivel del suelo 44
Figura 2.22. Sitio de acopio al nivel inferior de los baños 44
Figura 2.23. Zonas de almacenamiento de heces 44
Figura 2.24. Zona de seguridad en el tratamiento de excretas 45
Figura 2.25. Fases del compostaje en función de la temperatura 48
Figura 2.26. Ubicación geográfica del PNNH 56
Figura 2.27. Ubicación geográfica del PNNH y el refugio San Martín 57
Figura 2.28. Ubicación del refugio San Martín 57

Figura 2.29. Acceso al refugio San Martín 58

Figura 2.30. Ubicación de los baños externos 58

Figura 3.1 (a). Refugio San Martín 66

Figura 3.1 (b). Construcción en cuyo interior se ubican los baños. 66

Figura 3.2. Ubicación de los baños externos y el sitio de infiltración (mallín) 67

Figura 3.3. Baño clausurado 68

Figura 3.4. Lavatorio externo con conexión a cámara desengrasadora 69

Figura 3.5. Interior de cámara desengrasadora 69

Figura 3.6. Cámaras sépticas 69

Figura 3.7. Cañería hacia el mallín 69

Figura 3.8. Cañería vista desde el mallín 69

Figura 3.9. Sentido y dirección de las cañerías 70

Figura 3.10. Zanja de infiltración y zona de desborde 71

Figura 3.11. Zona de desborde y dirección del efluente hacia el centro del mallín 71

Figura 3.12. Zona central del mallín 72

Figura 3.13. Zona final del mallín 73

Figura 3.14. Mallín cubierto de nieve 73

Figura 3.15. Lavatorio del lado derecho al ingreso 74

Figura 3.16. Lavatorio del lado izquierdo al ingreso 74

Figura 3.17. Uno de los compartimientos con inodoro de arrastre hidráulico 74

Figura 3.18. Interior de 2° cámara séptica 74

Figura 3.19. Interior de la 1° cámara séptica 75

Figura 3.20. Interior de la 2° cámara séptica 75

Figura 3.21. Malla de alambre 75

Figura 3.22. Zanja de infiltración y zona de desborde 76

Figura 3.23. Zanja de infiltración y zona de desborde 76

Figura 3.24. Curso de agua en dirección hacia el mallín 77

Figura 3.25. Excremento equino en el mallín 77

Figura 3.26. Cámara desengrasadora 78

Figura 3.27.Pérdida del efluente en conexión 78

Figura 3.28. Descarga del efluente 78
Figura 3.29. Sitio de disposición final del efluente 78
Figura 3.30. Ambas cámara séptica con su respectiva tapa 79
Figura 3.31. 1° cámara séptica 79
Figura 3.32. 2° cámara séptica 79
Figura 3.33. Pendiente detrás de las cámara séptica 80
Figura 3.34. Caño proveniente de la 2° cámara séptica 80
Figura 3.35. Pozo con lodo fecal 80
Figura 3.36. Zona de descarga 81
Figura 3.37. Lodo en zona de descarga 81
Figura 3.38. Zona de desborde 81
Figura 3.39. Centro del mallín 81
Figura 3.40. Excremento equino 82
Figura 3.41. Excremento equino 82
Figura 3.42. Curso de agua y presencia de carpa 82
Figura 3.43. Centro del mallín 82
Figura 3.44. Efluente en dirección hacia el fondo del mallín 82
Figura 3.45. Efluente en el fondo del mallín 82
Figura 3.46. Cámara desengrasadora 83
Figura 3.47. Zona de humedad del suelo próxima al sitio de rotura del caño 83
Figura 3.48. Agua coloreada 84
Figura 3.49. Agua coloreada proveniente de los lavatorios 84
Figura 3.50. Agua coloreada proveniente de los inodoros 84
Figura 3.51. Ubicación de cañería en el interior de la 2° cámara séptica 86
Figura 3.52. Zona de descarga 87
Figura 3.53. Zona de desborde 87
Figura 3.54. Centro del mallín 87
Figura 3.55. Excremento equino en la zona central del mallín 88
Figura 3.56. Efluente en dirección al fondo del mallín 88
Figura 3.57. Efluente indicando posible eutrofización 88

Figura 3.58. Cámara desengrasadora 89
Figura 3.59. Descarga del efluente 89
Figura 3.60. Disposición final de aguas grises 89
Figura 3.61. Interior de 2° cámara séptica 90
Figura 3.62. Caño proveniente de la 2° cámara séptica 90
Figura 3.63. Zona de disposición de lodos e inicio de la zanja 90
Figura 3.64. Zanja en el terreno 90
Figura 3.65. Medición de la profundidad de la zanja 91
Figura 3.66. Medición del ancho de la zanja 91
Figura 3.67. Rocas dispuestas al final de la zanja 91
Figura 3.68. Cañería hacia el sitio de descarga 92
Figura 3.69. Zona de descarga del efluente 92
Figura 3.70. Zona de desborde y centro el mallín 92
Figura 3.71. Efluente en el centro del mallín 93
Figura 3.72. Efluente de coloración verde 93
Figura 3.73. Zanja en el mallín 94
Figura 3.74. Gusano en el mallín 94
Figura 3.75. Pisadas de caballo en sitio próximo al final del mallín 94
Figura 3.76. Pisadas de caballo en el fondo del mallín 94
Figura 3.77. Curso del efluente de mayor dimensión 94
Figura 3.78. Zona central del mallín con presencia de nuevos cursos de efluente 95
Figura 3.79. Nuevo curso de efluente con tonalidad verde 95
Figura 3.80. Curso de efluente con tonalidad verde próximo al centro del mallín 95
Figura 3.81. Curso del efluente en el fondo del mallín con tonalidad verde 95
Figuras 3.82. Excremento equino en distintos sectores del mallín 96
Figura 3.83. Inicio del curso de agua contiguo al mallín 96
Figura 3.84. Curso de agua a 50 m desde el mallín 96
Figura 3.85. Presencia de espuma en el agua y de tonalidad verde en partes de la misma 96
Figura 3.86. Tonalidad verde en el curso de agua 97
Figura 3.87. Imagen tomada en el mismo sitio que en la Figura 3.86, a menor distancia 97

Figura 3.88. Curso de agua en zona rocosa. Presencia de musgos 98
Figura 3.89. Espuma en el curso de agua 98
Figura 3.90. Presencia de musgos en zona rocosa 98
Figura 3.91. Pared de contención donde se ubican las cámaras sépticas 99
Figura 3.92. Sitio de descarga de los efluentes provenientes de las cámaras sépticas 99
Figura 3.93. Ubicación geográfica del PNNH y los refugios A. Rocca, Ilón y San Martín 100
Figura 3.94. Número de visitantes al refugio Rocca en el período 2012-2013 101
Figura 3.95. Ubicación lecho nitrificante en el refugio A. Rocca 102
Figura 3.96. Sistema de baño seco 104
Figura 3.97. Funcionamiento del sistema 104
Figura 3.98. Ingreso de aire al sistema 105
Figura 3.99. Absorción de luz solar del recipiente 105
Figura 3.100. Ascenso del aire caliente por la tubería de ventilación 105
Figura 3.101. Ascenso del aire caliente y liberación a la atmósfera 105
Figura 3.102. Construcción con baños secos 106
Figura 3.103. Interior de uno de los baños con inodoro con separación de orina 106
Figura 3.104. Baño únicamente con mingitorio 106
Figura 3.105. Cesto debajo del inodoro 107
Figura 3.106. Parte trasera de los baños 107
Figura 3.107. Orina dirigida hacia el sitio de infiltración 107
Figura 3.108. Composteras de desechos fecales 108
Figura 4.1. Limpieza del sanitario 139
Figura 4.2. Desplazamiento de las heces de la zona A a la zona B 139
Figura 4.3. Desplazamiento de las heces de la zona B a la zona C 140
Figura 4.4. Humedecimiento de la zona B 140
Figura 4.5. Humedecimiento de la zona C 140
Figura 4.6. Raspador 1 141
Figura 4.7. Raspador separado de la cinta 141
Figura 4.8. Limpieza del raspador 141
Figura 4.9. Raspador devuelto a su posición original 141

Figura 4.10. Retiro del rapador 2 142

Figura 4.11. Raspador retirado de su posición original 142

Figura 4.12. Raspador devuelto a su posición original 142

Figura 4.13. Atornillado de la tuerca mariposa 142

Figura 4.14. Retiro de la taza del inodoro 142

Figura 4.15. Retiro del recipiente 143

Figura 4.16. Retiro del sifón 143

Figura 4.17. Colocado de la tubería en su sitio 143

Figura 4.18. Atornillado de las tuercas mariposas 143

Figura 4.19. Limpieza y colocación del recipiente 143

Figura 4.20. Colocación de la taza del inodoro 144

Figura 4.21. Limpieza del ventilador 144

ÍNDICE DE ESQUEMAS

Esquema 3.1. Plano de los baños externos al refugio 67

Esquema 3.2. Sistema de tratamiento con biodigestores 117

Esquema 3.3. Sistema de tratamiento con ozono 118

Esquema 3.4. Sistema de tratamiento con vermicompostaje 121

Esquema 3.5. Sistema de tratamiento ECODOMEO 122

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Características de las aguas residuales domésticas 20

Tabla 2.2. Solubilidad del ozono en agua 35

Tabla 2.3. Resumen de los resultados de estudios donde las heces han sido tratadas con un aditivo para elevar el pH 47

Tabla 3.1: Fechas, motivos y condiciones climáticas de los relevamientos en el sitio 65

Tabla 3.2. Personas registradas que visitaron el refugio Rocca en el período 2015-2020 103

Tabla 3.3. Personas registradas de forma on-line por el PNNH, que visitaron el refugio San Martín 110

Tabla 3.4. Personas registradas de forma on-line por el PNNH, que visitaron el refugio San Martín 111

Tabla 3.5. Cálculo del porcentaje promedio del mes de enero 112

Tabla 3.6. Estimación de las personas que visitaron el refugio San Martín en los últimos 10 años 112

Tabla 3.7. Porcentaje de personas estimadas por cada mes 114

Tabla 3.8. Número de visitantes estimado durante los meses en que funcionan los baños externos 114

Tabla 3.9. Generación máxima de efluentes estimada 116

Tabla 3.10. Estimación de volúmenes de excretas generado en función de los usuarios 120

Tabla 3.11. Cálculo de generación de excretas 120

Tabla 3.12. Cálculo del tamaño de los contenedores 123

Tabla 4.1. Valoración de aspectos en el análisis FODA 124

Tabla 4.2. Análisis FODA de los 4 sistemas de tratamiento 127

Tabla 4.3. Resultados numéricos del análisis FODA 138

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 3.1: Proyección al año 2030 del mes de enero 113

Gráfico 3.2. Proyección al año 2030 de la temporada 115

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

El Parque Nacional Nahuel Huapi (PNNH), ubicado al noroeste de la Patagonia Andina Argentina, posee un sistema de refugios de montaña, conformado por bienes patrimoniales naturales y culturales, de alto valor inmaterial y paisajístico [1]. El senderismo en el Parque Nacional es una actividad creciente, pues cuenta con una importante red de sendas habilitadas y una serie de refugios de montaña, los cuales se encuentran administrados por el Club Andino Bariloche [2]. Las caminatas hacia y entre ellos son una clásica travesía para la comunidad local, un producto buscado por los turistas y una meta para los montañistas; además conforman referentes icónicos de un sistema socio-territorial [1].

El sistema de refugios de montaña se desarrolla en un sitio de fragilidad ambiental y alto valor paisajístico del PNNH. Estos refugios, en general, están asociados a arroyos y lagunas de altura o glaciares y arroyos. Fueron dimensionados para brindar servicio a un número determinado de personas, el cual actualmente se encuentra excedido. Por lo tanto en algunos de ellos no existen sistemas de tratamiento de efluentes o los mismos se encuentran subdimensionados [2]. En la mayoría de los casos, parte del agua residual[1] finaliza, prácticamente sin tratamiento, en los cuerpos de agua y/o glaciares. Estos vertidos drenan aguas abajo y, por lo tanto, resulta ser uno de los problemas más graves en algunas altas cuencas [2].

El número de visitantes que acceden a los refugios de montaña ha registrado un importante incremento en los últimos años. Este aumento en la demanda trae aparejado un incremento de problemáticas de conservación y manejo en el área de implementación de los refugios, áreas colindantes y en la red de senderos [2].

El refugio San Martín es uno de éstos, el cual se encuentra en el macizo del C° Catedral. El mismo se ubica a orillas del lago Jakob, sobre el margen norte, a 1564 msnm. Se puede acceder al mismo por distintos caminos de montaña. Entre los más frecuentados se encuentran por travesía desde Refugio Frey o desde Colonia Suiza, por la senda que inicia en el Tambo de Báez. Su inauguración fue en el año 1952, por lo que lleva 68 años en actividad [3] [4].

En el año 2017 sufrió un incendio, cuyas pérdidas fueron casi totales. Debido a esto se llevó a cabo su posterior reconstrucción y ampliación de su capacidad. Durante el período previo al incendio solo permanecía abierto durante la estación estival. A partir del año 2018 brinda sus servicios al público durante todo el año, con una capacidad de pernocte de aproximadamente 60 personas. Además dicho sitio cuenta con una zona de acampe, por lo que el número de visitantes no solo se limita a la capacidad del refugio.

El refugio San Martín cuenta con baños internos y externos. Los baños externos se encuentran ubicados aproximadamente a unos 85 metros del refugio en dirección noroeste y se hallan en funcionamiento hace más de 15 años. Cabe destacar que los mismos no fueron alcanzados por el incendio del año 2017. Previo al actual sistema de tratamiento de efluentes cloacales, se utilizaba un sistema de letrinas. En la actualidad los efluentes cloacales son vertidos, luego de un tratamiento previo en cámara séptica, a un mallín ubicado a escasos metros de la generación de los mismos.

Los mallines altoandinos de la Patagonia son un tipo de humedal, generalmente de escasas dimensiones, localizado en una formación geológica que contiene un acuífero freático cercano. Este

[1] Agua residual: agua producto del uso doméstico. Se incluye aguas negras y grises.

último es una fuente de agua que humidifica el suelo a partir del ascenso capilar, proceso facilitado por las características del mismo, generalmente con altos contenidos de cenizas volcánicas [5] [6].

Estos humedales mantienen una diversidad biológica única y se caracterizan por un alto nivel de endemismo de flora y fauna. En la cordillera se presentan menos disturbados por el pastoreo, aunque se encuentran bajo condiciones ambientales más rigurosas, permanecen más meses cubiertos por nieve y la estación de crecimiento de las plantas es más corta [7].

Son sistemas frágiles por ser de fácil degradación tanto antrópica como natural, debido a distintos procesos, impactando así en todo el sistema hidrológico [5]. Además son altamente vulnerables, particularmente frente a las presiones del desarrollo basadas en prácticas no sostenibles [6].

Debido a lo anteriormente mencionado, la ausencia de tratamientos de efluentes cloacales o una ineficiencia de éstos trae aparejado serios problemas, tanto al ambiente como a la salud de las personas. Se estima que una persona excreta 550 litros anuales, de los cuales 500 litros corresponde a orina y 50 litros a heces [8]. Esto permite dimensionar el volumen de generación de efluentes cloacales, los cuales son una potencial ruta de transmisión de microorganismos patógenos para el ser humano. Dichas aguas negras[2] además presentan un alto contenido de materia orgánica, la cual contiene nitrógeno (N) y fósforo (P). Estos macronutrientes pueden provocar un disturbio en el ambiente si son incorporados al mismo de una forma tal que altere las condiciones naturales del medio. Su exceso puede causar procesos de contaminación severos, como la eutrofización.

El Plan de Gestión del PNNH considera, como una de las situaciones prioritarias en la zona sur[3], los problemas asociados al control, fiscalización y datos estadísticos insuficientes en los refugios de montaña [2]. La falta de dicha información dificulta la toma de decisiones apropiadas sobre conservación y manejo.

1.2 OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar y proponer mejoras para minimizar el impacto negativo producto de la descarga de efluentes cloacales provenientes de los baños externos, ubicados en el refugio San Martín.

Objetivos Específicos

Relevar y evaluar el estado actual del sistema de tratamiento de efluentes cloacales, provenientes de los baños externos del refugio San Martín.

Realizar un relevamiento de los distintos sistemas de tratamiento de efluentes cloacales.

Proponer un sistema de tratamiento que minimice o elimine la descarga de efluentes cloacales al medio.

Elaborar un manual de buenas prácticas para la mantención del sistema de tratamiento propuesto.

[2] Aguas negras: mezcla de orina, heces y agua de arrastre junto con material seco de limpieza (p.ej. papel higiénico). Tiene alto contenido de material orgánico y potencial presencia de patógenos [8].
[3] Zona sur: se refiere a la zona sur del PNNH, conformado principalmente por los macizos del C° Catedral y Tronador [2].

1.3 HIPÓTESIS

En los últimos años la actividad de senderismo de montaña fue incrementándose progresivamente esperando de este modo, que dicho comportamiento, siga creciendo con el tiempo. El flujo de gente que recibe el refugio ha ido en aumento debido a la ampliación de su capacidad de pernocte. Además se debe considerar que el mismo se encuentra abierto de forma ininterrumpida desde hace dos años[4]. Esto trae aparejado un aumento en el uso de los servicios del refugio, dentro de los cuales se encuentra la utilización de los baños externos y su consecuente aumento en la generación de efluentes cloacales.

El sistema de tratamiento actual de los baños externos lleva en actividad hace más de 15 años, por lo que se considera que la zona de descarga, donde son vertidos los efluentes, se encuentra impactada negativamente y dicho impacto se verá incrementado si no se lleva a cabo una correcta gestión de los baños con su correspondiente sistema de tratamiento de efluentes.

[4] Desde abril del 2018.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1 AGUAS RESIDUALES

Toda comunidad produce residuos[5], ya sean líquidos, gaseosos y/o sólidos. La parte líquida, denominada agua residual, procede esencialmente del agua suministrada a la comunidad después de haber sido contaminada por los diversos usos a la que ha sido sometida [9]. Desafortunadamente, las aguas residuales son un producto inevitable de la actividad humana. En la antigüedad, diferentes civilizaciones hicieron uso de la capacidad de asimilación o autodepuración[6] de los cursos de agua, pero con descargas tan pequeñas que sus vertidos no presentaban mayor problema. No obstante el crecimiento poblacional ha ocasionado que esta capacidad limitada de autodepuración de los cuerpos hídricos haya sido en muchos casos excedida. Por esta razón, se hace necesario "asistir" a la naturaleza mediante la instalación de plantas depuradoras y unidades de tratamiento de las aguas servidas[7] [10].

Las aguas residuales tienen diversos orígenes, pudiendo clasificarse de la siguiente manera:

- Agua Residual Doméstica (ARD): efluentes de viviendas, zonas residenciales, establecimientos comerciales o institucionales. Estas, además, se pueden subdividir en:
  - Aguas Negras: aguas que transportan heces y orina, provenientes del inodoro.
  - Aguas Grises: aguas jabonosas que pueden también contener grasas, provenientes de la ducha, lavamanos, lavaplatos, lavadero, bañera y lavarropas.
- Agua Residual Municipal o Urbana (ARU): efluentes de un conglomerado urbano; puede incluir aquellas aguas provenientes de actividades domésticas así como también de origen pluvial, y de pequeñas industrias que pueden estar situadas en el conglomerado urbano. Son transportadas por una red de alcantarillado.
- Agua Residual Industrial (ARI): efluentes provenientes de procesos productivos industriales únicamente, que incluso pueden tener origen agrícola o pecuario.

2.1.1 Características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales domésticas

La composición exacta de las aguas residuales varía en el mundo y está determinada por un amplio conjunto de factores, entre ellos el uso doméstico del agua y el nivel de comercialización/industrialización que posee [11]. El conocimiento de la naturaleza del agua residual es esencial para llevar a cabo instalaciones adecuadas para el tratamiento de las mismas y por consiguiente una adecuada gestión de calidad del ambiente.

Debido al alcance del trabajo a continuación se mencionan las características principales de las aguas residuales [8]de origen doméstico, en la Tabla 2.1.

[5] Se utiliza el término "residuo" según bibliografía [9].

[6] Autodepuración: es el proceso de recuperación de un curso de agua después de un episodio de contaminación orgánica. En este proceso los compuestos orgánicos son diluidos y transformados progresivamente por la descomposición bioquímica, aumentando su estabilidad [12].

[7] Se entiende como agua servida a un sinónimo de agua residual.

[8] Aguas residuales: de aquí en adelante se entiende por aguas residuales únicamente aquellas de origen doméstico.

CARACTERÍSTICAS		
Propiedades Físicas:	*Constituyentes Químicos Orgánicos:*	*Constituyentes Químicos Inorgánicos:*
Color	Carbohidratos	Alcalinidad
Olor	Grasas animales, aceite y grasa	Cloruros
Sólidos	Proteínas	Nitrógeno
Temperatura	Agentes termoactivos	Fósforo
		Azufre
Gases	*Constituyentes Biológicos*	
Sulfuro de hidrógeno	Bacterias	
Metano	Virus	

Tabla 2.1. Características de las aguas residuales domésticas. Fuente: modificada de [9].

Como se presentó en la Tabla 2.1, las aguas residuales domésticas pueden poseer diversos constituyentes, los cuales se los clasifica principalmente como físicos, químicos y biológicos.

Dentro de las características físicas, la más importante es su contenido de sólidos totales, el cual está compuesto por materia flotante y materia en suspensión, en dispersión coloidal y en disolución [9]. Otras características físicas son temperatura, color y olor.

En lo que respecta a las características químicas, se destacan la materia orgánica e inorgánica. La materia orgánica es la fracción más relevante de los elementos contaminantes en las aguas residuales debido a que es la causante del agotamiento de oxígeno molecular (O_2) de los cuerpos de agua. Está formada principalmente por carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O) y N. Se encuentra constituida por proteínas, carbohidratos, aceites, grasas y surfactantes [10]. La urea, principal constituyente de la orina, es también un importante compuesto orgánico de las ARD. Ésta, debido a su rápida descomposición, raramente es hallada en las aguas residuales, salvo que su presencia sea muy reciente [9]. Entre los elementos presentes dentro de la materia inorgánica se destacan el N, P, cloruros, pH y turbidez. El N y P, como se mencionó anteriormente, pueden provocar un disturbio en el ambiente si son incorporados al mismo de una forma tal que altere las condiciones naturales del medio.

Las características biológicas de las ARD contienen un gran número de microorganismos vivos, los cuales mantienen la actividad biológica produciendo fermentaciones, descomposición y degradación de la materia orgánica e inorgánica. Estos microorganismos son los considerados “benéficos” para el tratamiento de aguas residuales ya que crecen utilizando los contaminantes de las mismas como fuente de carbono y/o como fuente de energía, convirtiéndolos en nuevos microorganismos (biomasa), dióxido de carbono (CO_2) y otros compuestos inocuos. Dentro del grupo de dichos organismos se encuentran las bacterias, protozoos, algas, hongos, rotíferos y nemátodos. Además de organismos benéficos, en las ARD también se encuentran presentes organismos considerados patógenos para el ser humano. Los principales grupos que pueden encontrarse incluyen a bacterias, virus, protozoarios y helmintos [13]. Estos organismos pueden proceder de heces humanas que estén infectadas o que sean portadores de una enfermedad determinada. Debido a esto las aguas residuales son una fuente potencial de ruta de transmisión de enfermedades cuando las mismas son descargadas sin un correcto tratamiento al ambiente.

Se presenta en el Anexo I una descripción más detallada de las características mencionadas. Es importante destacar que si la mayoría de dichos constituyentes no son removidos o tratados, confieren a las aguas residuales la característica de ser aguas no tratadas o parcialmente tratadas.

2.1.2 Importancia del tratamiento de los contaminantes de las aguas residuales

El vertido de aguas residuales no tratadas o parcialmente tratadas en el ambiente provoca la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas y/o el suelo. Una vez vertidas en dichos cuerpos de agua, las aguas residuales se diluyen y son transportadas aguas abajo, o se infiltran en los acuíferos, donde pueden afectar la calidad y, por lo tanto, la disponibilidad de los suministros de agua dulce.

Se pueden destacar tres efectos principales del vertido de aguas sin tratar o parcialmente tratadas; ellos son efectos adversos sobre la salud humana, impactos ambientales negativos y posibles efectos en las actividades económicas [11].

Efectos adversos sobre la salud humana

Los peligros[9] para la salud pública se presentan debido a la mala contención de las aguas residuales, las fugas durante el vaciado y el transporte, y el tratamiento ineficaz de las mismas. Esto conlleva a una mayor exposición a los peligros microbianos causados por las excretas humanas.

El saneamiento se define como el acceso y uso de instalaciones y servicios destinados a la evacuación segura de la orina y las heces humanas. El sistema de saneamiento se compone de varias etapas, las cuales son: inodoro - contención, almacenamiento/tratamiento - transferencia - tratamiento - disposición y/o uso final [14].

En la Figura 2.1 se presenta, de izquierda a derecha, las vías de transmisión de las infecciones relacionadas con las excretas humanas cuando el sistema de saneamiento[10] no es adecuado.

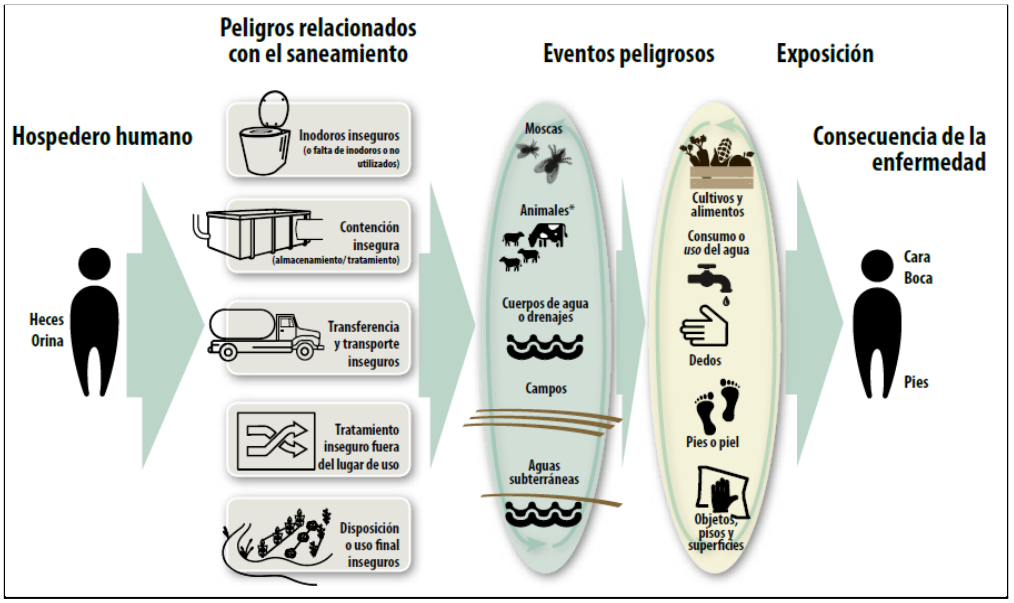


Figura 2.1. Transmisión de organismos patógenos relacionados con las excretas humanas. Fuente: [14].

[9] Peligro: se refiere a un componente biológico, químico o físico que puede causar daño a la salud humana [14].
[10] Se considera *sistema de saneamiento* como un sistema que separa las excretas humanas del contacto con las personas en todas las etapas de la cadena de servicios de saneamiento, desde la captación y la contención en inodoros, el vaciado, el transporte, el tratamiento (*in situ* o fuera del lugar de uso), hasta la disposición o uso final [14].

A continuación se analiza más en detalle los potenciales peligros relacionados con el saneamiento (Adaptado de [14]).

Inodoros inseguros o falta de inodoros: la defecación al aire libre puede provocar la descarga de patógenos en el suelo o en los cuerpos de agua, infectando a nuevos huéspedes por contacto con la misma o con su consumo; pudiendo propagarse a todo el ambiente circundante a través de vectores mecánicos. Las letrinas de pozo facilitan que las moscas y otros insectos se reproduzcan en las excretas o diseminen los patógenos fecales a los alimentos, los dedos y las superficies.

Contención insegura (almacenamiento/ tratamiento): la contención deficiente como en las letrinas de pozo o las cámaras sépticas mal construidas o dañadas causan fugas al suelo y/o las aguas superficiales o subterráneas; y de allí al agua consumida por nuevos hospederos y dispersión en el ambiente circundante.

Transferencia o transporte inseguro: las prácticas deficientes de vaciado causan que los trabajadores encargados del saneamiento y otras personas que participan en el vaciado queden directamente expuestos a los patógenos. Las excretas sin tratar que se vierten en los cuerpos de agua u otras superficies pueden causar transmisión de enfermedades.

Tratamiento inseguro fuera del lugar de uso: un tratamiento inadecuado puede llevar a una remoción insuficiente de patógenos del lodo fecal u orina, causando que dichos patógenos se descarguen en terrenos superficiales, y dentro de los cuerpos de agua a través de escorrentía contaminando así los cursos de agua.

Disposición y/o uso final inseguro: La descarga en el ambiente de lodo fecal no tratado puede llevar a que ocurran eventos peligrosos a través de múltiples rutas.

El riesgo de infección por exposición a la contaminación fecal es una combinación de la probabilidad de la exposición al peligro y del impacto del peligro patógeno en sí mismo sobre la persona expuesta. El peligro de por sí no representa un riesgo si no existe ninguna exposición al mismo [14].

La Figura 2.2 muestra que al reducir el riesgo de contaminación fecal también se ve disminuido el grado del peligro de contaminación de patógenos fecales o de aquellos presentes en la orina (por ejemplo, concentración o cantidad del agente patógeno). También el riesgo es menor al disminuir la exposición al peligro que enfrentaría un posible hospedero humano, o al disminuir ambas, es decir al disminuir el peligro y la exposición.

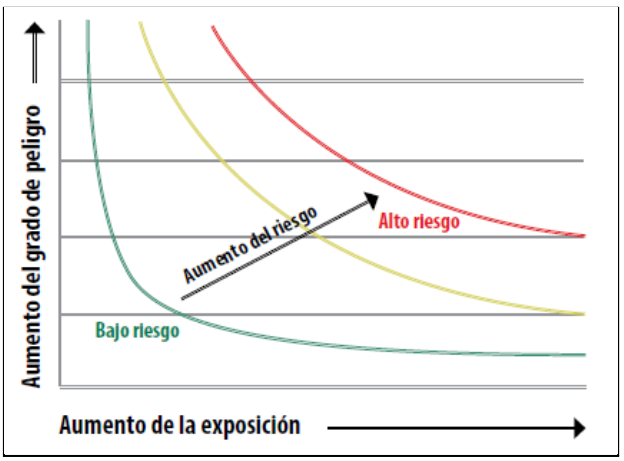


Figura 2.2. Riesgo de la contaminación fecal. Fuente: [14].

El riesgo general para la salud humana está determinado por la aparición (es decir, la cantidad excretada en el medio ambiente por personas infestadas), la persistencia de los patógenos en el ambiente (es decir, la probabilidad de su supervivencia o de que sigan siendo infestantes), la presencia y abundancia de cualquier vector u hospedero intermediario necesarios y la capacidad de infestación de cada patógeno [14].

El acceso a instalaciones de saneamiento mejoradas puede ayudar a reducir notoriamente los riesgos para la salud y se pueden obtener aún mayores beneficios para ésta a través de la provisión de servicios de saneamiento gestionados de forma eficiente.

Efectos en el ambiente

El vertido de aguas residuales no tratadas o incorrectamente tratadas en el ambiente tiene un impacto en la calidad del medio al cual son arrojadas. En la mayoría de los casos la fuente receptora de dichos vertidos es un curso de agua. La capacidad de autodepuración que posee un cuerpo receptor depende (entre otros factores) de la carga de agua residual recibida (caudal, contenido de oxígeno, volumen, entre otros). Si la fuente de agua receptora no logra su autodepuración se produce la afectación en la calidad y cantidad de recursos hídricos disponibles para uso directo.

La gestión inadecuada de las aguas residuales también tiene un impacto directo en los ecosistemas y los servicios que prestan. Algunas de las consecuencias que se producen en el ambiente es el crecimiento acelerado de bacterias en el sitio de descarga, lo cual es una respuesta a suministros ricos en nutrientes provenientes del vertido de las aguas residuales. La eutrofización, impulsada por el exceso de N y P, puede provocar floraciones de algas potencialmente tóxicas y disminución de la biodiversidad [11]. La disminución del oxígeno disuelto y la formación de depósitos de lodos pueden considerarse como la perturbación ambiental más importante que puede afectar al medio acuático [15].

Los ecosistemas naturales pueden resultar muy eficaces y económicos al ofrecer servicios de tratamiento de aguas residuales, siempre que se trate de ecosistemas saludables, que regulen los tipos y la carga de contaminantes presentes en los efluentes y que no se supere la capacidad de transporte de contaminantes del ecosistema [11]. La capacidad de asimilación del ambiente tiene límites naturales. Cuando estos se superan, los ecosistemas están en peligro y no pueden continuar cumpliendo la función de depuración. Una vez que la concentración de contaminantes alcanza los umbrales críticos, existe el riesgo de que se produzca un cambio ambiental abrupto e irreversible.

Efectos económicos

Cuando el vertido de aguas residuales causa daños ambientales, se generan costos externos (externalidades). Dado que la disponibilidad de agua dulce es fundamental para mantener el bienestar económico de cualquier comunidad humana, su mala calidad constituye un obstáculo adicional al desarrollo económico. El agua contaminada puede afectar directamente a diversas actividades económicas que utilizan el agua, considerándose importante mencionar aquí a la actividad turística. Esto es debido a que el refugio San Martín es un lugar turístico, recibiendo visitantes de distintas procedencias, tanto nacionales como internacionales. Dicho refugio utiliza el lago Jakob como fuente principal de agua para consumo y uso".

2.2 SISTEMAS DE TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES

El tratamiento de aguas residuales, ya sean industriales, urbanas y/o domésticas, consiste en una combinación de procesos físicos, químicos y biológicos utilizados para la remoción de sus componentes contaminantes.

2.2.1. Clasificación de los sistemas de tratamiento según el medio de eliminación de los contaminantes

Según el medio de eliminación de los contaminantes los sistemas de tratamientos pueden clasificarse en procesos físicos, químicos y biológicos.

Procesos físicos

Métodos de tratamiento en donde predominan fenómenos físicos, como la aplicación de fuerzas gravitatorias, centrífugas, retención física, entre otras. En este grupo se pueden incluir procesos de desbaste, desengrasado, sedimentación, filtración, adsorción, entre otros.

Procesos químicos

El tratamiento se lleva a cabo principalmente por la adición de compuestos químicos. Aquí se incluyen procesos de floculación y coagulación, neutralización, oxidación, reducción, intercambio iónico, absorción y desinfección.

Procesos biológicos

La eliminación de los contaminantes se lleva a cabo por actividad biológica. Se utiliza principalmente para la eliminación de sustancias orgánicas biodegradables presentes en el agua residual. Estas sustancias se convierten principalmente en gases que escapan a la atmósfera y tejidos celulares biológicos, que pueden eliminarse posteriormente por sedimentación. Algunos de los procesos pertenecientes a esta clasificación son barros activados, lechos bacterianos, depuración por humedales, biodiscos y sistemas de aplicación al suelo como terrenos de infiltración.

En particular, en los casos de tratamiento de ARD, el principal objetivo es reducir el contenido orgánico y los patógenos; y, en muchos casos, nutrientes tales como N y P [9].

En el tratamiento biológico los microorganismos (biomasa) emplean sustancias suspendidas o disueltas presentes en las aguas residuales, para incorporarlas a su metabolismo en los procesos de obtención de energía y síntesis celular (generación de nuevas células). Toda oxidación, incluyendo la mineralización u oxidación biológica, implica una transferencia de electrones entre un donador (sustancia reductora) y un aceptor de electrones (agente oxidante). Aquí la materia orgánica es la donante de electrones para los organismos vivos; no obstante, elementos inorgánicos reducidos como amoniaco (NH_3), sulfuros, hierro ferroso e hidrógeno molecular se comportan, para las bacterias, como donantes de electrones, alimento o fuente de energía [9].

La conversión de materia orgánica en productos gaseosos finales y tejido celular puede llevarse a cabo por vía aerobia, anaerobia o facultativa[11].

Dentro de los procesos biológicos de tratamiento se destacan los procesos aerobios y anaerobios:

[11] Vía facultativa: proceso de tratamiento biológico en el que los organismos responsables del mismo son indiferentes a la presencia de oxígeno disuelto, es decir pueden vivir en ausencia o presencia de oxígeno [9].

- *procesos aerobios:* son los procesos de tratamiento biológico en donde se necesita la presencia de oxígeno. Lo llevan a cabo bacterias que sobreviven únicamente con presencia de oxígeno disuelto y se conocen como bacterias aerobias obligadas. Aquí el único aceptor final de electrones en el proceso metabólico de los microorganismos es el oxígeno disuelto. El carbono se oxida y el oxígeno se reduce. A continuación, en la Figura 2.3 se muestra de forma simplificada el metabolismo microbial aerobio.

  Por la vía de síntesis se obtiene la biomasa formada, representada por la molécula $C_5H_7NO_2$; por la vía energética la degradación biológica aerobia de la materia orgánica implica la aparición de nitrógeno amoniacal, el cual se incrementa en el efluente [10]. Las bacterias emplearán el oxígeno disuelto para oxidar la materia orgánica a CO_2 y generar energía.

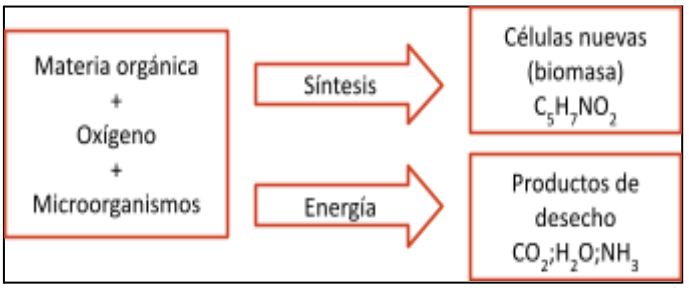


Figura 2.3. Metabolismo microbiano aerobio.
Fuente: modificado de [10].

- *procesos anaeróbicos:* son los procesos de tratamiento biológico que se dan en ausencia de oxígeno; comúnmente es llamado digestión o biodigestión. Las bacterias que únicamente pueden sobrevivir en ausencia de oxígeno disuelto se conocen como anaerobias obligadas. La mayor parte de la energía liberada permanece en los productos finales orgánicos reducidos como el metano (CH_4) ; razón por la cual, se genera una menor cantidad de biomasa que en el proceso aerobio [10], produciendo aproximadamente 20% menos lodo que dicho sistema para el mismo sustrato [16]. Las condiciones anaerobias deben ser estrictas, de lo contrario la formación de metano se verá afectada.

  En la digestión anaerobia se distinguen cuatro niveles tróficos: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis (Figura 2.4). Los microorganismos causantes de la descomposición anaerobia generalmente son clasificados en dos grandes grupos. El primer grupo hidroliza y transforma los compuestos orgánicos en ácidos volátiles, de los cuáles los más comunes son el acético y el propiónico. El segundo grupo convierte dichos ácidos en CH_4 y CO_2 [16].

  La metanogénesis es la etapa limitante de la digestión. Las formadoras de metano son bacterias estrictamente anaerobias, y por tanto, subsisten en completa ausencia de oxígeno molecular [16].

  A continuación, en la Figura 2.4 se presenta de forma esquemática las etapas antes descriptas de la digestión anaerobia.

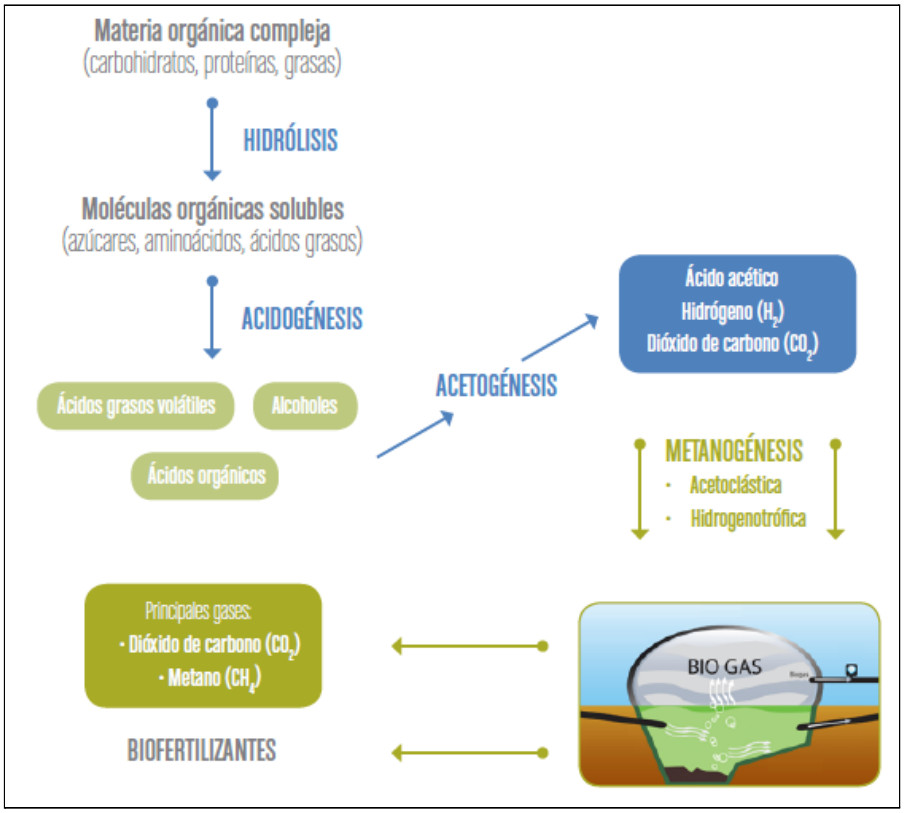


Figura 2.4. Etapas de la digestión anaerobia. Fuente: [17].

El biogás producido se encuentra compuesto principalmente por CO_2 y CH_4, y en menor medida por otros gases, entre los que se destaca el sulfuro de hidrógeno (H_2S), un gas altamente tóxico, responsable del olor fuerte y desagradable que se percibe en los ambientes naturales donde se genera biogás por la degradación anaeróbica de la materia orgánica. Para controlar y optimizar la digestión anaeróbica de la materia orgánica y producir biogás se utilizan biodigestores. Estos son reactores especialmente diseñados para maximizar la eficiencia de conversión de los sustratos en energía y obtener un subproducto con valor agregado, como biofertilizantes [17].

Cabe mencionar que existen otros procesos biológicos utilizados para el tratamiento de aguas residuales, como los procesos anóxicos[12], o combinaciones de procesos aerobios con anóxicos o procesos aerobios y anaerobios. Estas combinaciones de procesos son más bien utilizadas a una escala mayor a la domiciliaria, es decir en plantas de tratamientos urbanas.

2.2.2. Sistemas de tratamientos domiciliarios de aguas residuales

Como se mencionó anteriormente, las aguas residuales domésticas son efluentes de viviendas, zonas residenciales, establecimientos comerciales o institucionales. Estas, además, se pueden subdividir en aguas negras y aguas grises.

Los sistemas de tratamientos domiciliarios son aquellos encargados de tratar las ARD.

Un sistema de saneamiento seguro se compone, como se mencionó anteriormente, de distintas etapas que, en conjunto, conforman una cadena de servicios de saneamiento, como se muestra en la

[12] Anóxico: metabolismo asociado al agotamiento de oxígeno disuelto, en el cual el aceptor final de electrones es el par nitrito-nitrato [16].

Figura 2.5. Dicho sistema se basa principalmente en el tratamiento de aguas negras. Los sistemas de tratamiento domiciliarios están incluidos en el sistema de saneamiento.

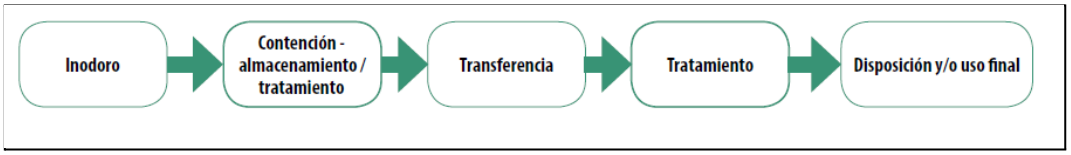


Figura 2.5. Cadena de los servicios de saneamiento. Fuente: [14].

- El término *"inodoro"* se refiere aquí a la interfase del usuario con el sistema de saneamiento, donde se captan las excretas y puede consistir en cualquier tipo de taza de inodoro, losa de letrina, pedestal, plataforma u orinal.
- La *etapa de contención* sólo es pertinente en los sistemas de saneamiento sin conexión a un alcantarillado y se refiere al contenedor, generalmente subterráneo, al cual se conecta el inodoro. Estos contenedores están diseñados para la contención, el almacenamiento y tratamiento del lodo fecal y efluente (por ejemplo, tanques sépticos, letrinas de pozo secas y húmedas, letrinas de compostaje, cámaras de deshidratación, tanques de almacenamiento de orina, etc).
- La *transferencia* se refiere al movimiento deliberado de las aguas residuales o el lodo fecal de una tecnología de contención hasta el tratamiento fuera del lugar de uso y/o hasta su disposición o uso final. Los sistemas de transferencia pueden consistir en alcantarillados o en vaciado y transporte manuales o mecánicos.
- El *tratamiento* se refiere al proceso o los procesos que modifican las características físicas, químicas y biológicas o la composición del lodo fecal o las aguas residuales, de manera que su calidad sea apta para el siguiente uso propuesto o para su eliminación. El tratamiento puede subdividirse en los que comprenden tecnologías *in situ* para la contención, almacenamiento y tratamiento de las aguas residuales y el lodo fecal o en los que constan de tecnologías para el tratamiento de lodo *ex situ.*
- La *disposición y/o uso final* se refieren a las diferentes tecnologías y métodos mediante los cuales los productos del tratamiento son finalmente descargados al medio ambiente, ya sea como productos de uso final o como materiales de riesgo reducido [14].

En cada etapa de la cadena se puede aplicar una combinación de tecnologías que, cuando se vinculan y gestionan de manera adecuada, constituyen una cadena segura. El tipo de tecnología necesaria depende en gran medida del contexto, según factores técnicos, económicos y sociales locales, que deben tenerse en cuenta.

A continuación se presentan las distintas tecnologías de sistemas de saneamiento domiciliario para los sitios sin acceso a una red cloacal. Se hace énfasis en sistemas en donde el afluente del mismo es principalmente aguas negras, debido al alcance del TFI.

Inodoro seco o inodoro de arrastre hidráulico y evacuación *in situ*

Este sistema se basa en una tecnología de pozo único para recoger y almacenar las excretas. El sistema se puede usar con agua de arrastre (inodoro con arrastre hidráulico) o sin ella (inodoro seco). Los afluentes al sistema pueden incluir orina, heces, agua de limpieza, agua de arrastre y materiales de limpieza en seco. El uso de los mismos dependerá de la disponibilidad de agua y las costumbres locales. Además podría usarse un orinal. El inodoro está directamente conectado con el pozo y este con el suelo circundante. A continuación se presenta el sistema con sus distintas etapas de saneamiento (Figura 2.6).

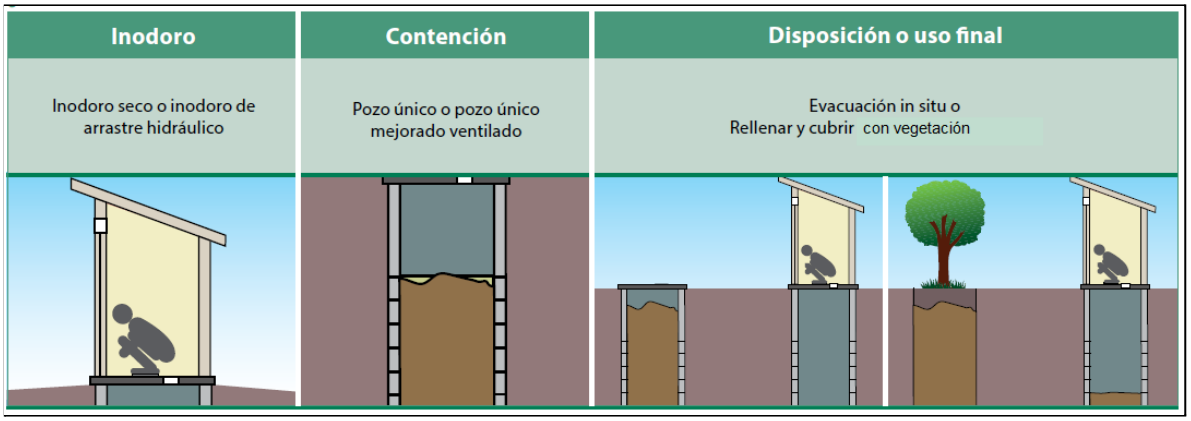


Figura 2.6. Inodoro seco o inodoro con arrastre hidráulico y evacuación *in situ*. Fuente: modificado de [14].

Cuando el pozo está lleno, se puede rellenar con tierra y sembrar un árbol o cualquier otra vegetación ornamental. El lodo actúa como acondicionador para el suelo y el aumento de la materia orgánica da lugar a una mejor capacidad de retención de agua y aporta los nutrientes adicionales, que se reducen lentamente con el transcurso del tiempo.

Para continuar con el sistema, una vez lleno el pozo se debe excavar uno nuevo y, en general, esto sólo es posible cuando la superestructura existente es móvil.

Este sistema *in situ*, cuando es utilizado como inodoro seco, es comúnmente llamado sistema de letrina. Los pozos de letrina son comunes en países en desarrollo debido a su bajo costo y al hecho de que su operación es sencilla y no requiere de agua. Sin embargo, éstas pueden producir contaminación en los recursos acuíferos, especialmente en áreas urbanas y en aquellas zonas factibles de sufrir inundaciones. Como desventaja adicional es que suelen estar construidos fuera y lejos de la casa principal para evitar malos olores [8]. En dicho sistema, con la finalidad de reducir los olores y evitar la reproducción de insectos, se agrega al pozo una taza de tierra, ceniza o aserrín después de cada defecación; además el agregado de hojas de forma periódica mejora la porosidad.

Si en el sistema *in situ* se utiliza un inodoro con arrastre hidráulico, es decir se utiliza agua para la evacuación de las heces u orina, el contenedor de las excretas es denominado comúnmente pozo negro. Este sistema también es utilizado para almacenar aguas grises de la vivienda. A continuación se describe el mismo con mayor detalle.

Pozo ciego o negro

Los denominados pozos absorbentes, conocidos también como pozos ciegos o negros consisten en un pozo hecho en el suelo, de determinadas dimensiones, donde son vertidos los efluentes provenientes de los baños hasta incluso de toda una vivienda, sin ningún tipo de tratamiento. La finalidad del mismo es de almacenamiento, aunque parte del efluente se infiltra en el suelo. Dichos pozos no siempre funcionan correctamente ya que la mayoría de las veces se impermeabilizan con grasas y jabones.

Los pozos negros se deben vaciar, en lo posible, con el servicio de un camión atmosférico. En lugares donde no se puede acceder a dicho servicio, una vez el pozo agote su capacidad de almacenamiento, es cerrado. En los lugares donde la napa freática está cerca de la superficie del suelo, los pozos pueden entrar en contacto con el agua subterránea causando contaminación de las mismas. Esto además genera graves consecuencias si dichas aguas son utilizadas para consumo

humano. En la Figura 2.7 se muestra de forma esquemática cómo se utilizan los pozos ciegos en una vivienda y el foco de contaminación que producen si entran en contacto con la napa freática.

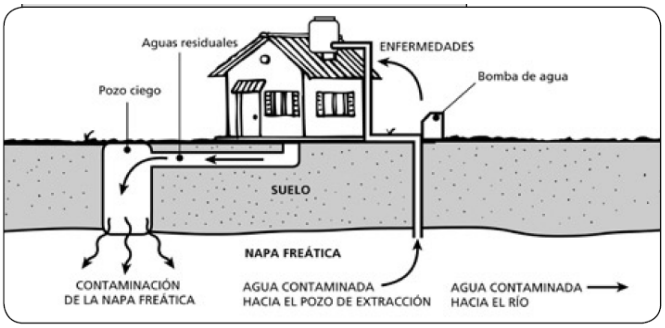


Figura 2.7. Pozo ciego y foco de contaminación. Fuente: [18].

Es muy importante tener presente la altura a la que se encuentra la napa freática en el terreno donde se llevaría a cabo dicho sistema. Puede ser útil en zonas secas, donde las aguas subterráneas se encuentran a una gran profundidad; pero no así en zonas húmedas o mallinosas, aquí su implementación no sería adecuada.

Continuando con el sistema de evacuación *in situ,* los usuarios no entran en contacto con la materia fecal y por ende existe un riesgo muy bajo de transmisión de patógenos. El mecanismo principal para su reducción es un período de almacenamiento prolongado en el pozo. Aquí las condiciones no son favorables a la supervivencia de los patógenos, por lo que con el transcurso del tiempo, los mismos se extinguen y las excretas se hacen más seguras.

En San Carlos de Bariloche la Ordenanza N°2802-CM-16 [19] establece cómo deben realizarse los sistemas de tratamiento de efluentes cloacales en zonas donde no tienen acceso a una red cloacal. Dentro de la misma no se incluye al pozo negro como una forma de tratamiento, por lo que dicho sistema no puede ser considerado como opción de tratamiento dentro del ejido urbano. En lo que respecta al PNNH, que es el área protegida en donde se encuentra el refugio San Martín, no se encontró información relacionada a la prohibición del uso de pozos negros como sistema de tratamiento de efluentes cloacales.

Inodoro de arrastre hidráulico con tanque séptico

Este es un sistema a base de agua que requiere un inodoro con arrastre hidráulico y una tecnología de contención que sea apropiada para recibir cantidades grandes de agua. Los afluentes al sistema pueden incluir heces, orina, agua de arrastre, agua de limpieza, materiales de limpieza en seco y aguas grises [14]. Aquí la tecnología de contención es un tratamiento en cámara séptica.

En este sistema las etapas de saneamiento se muestran a continuación (Figura 2.8).

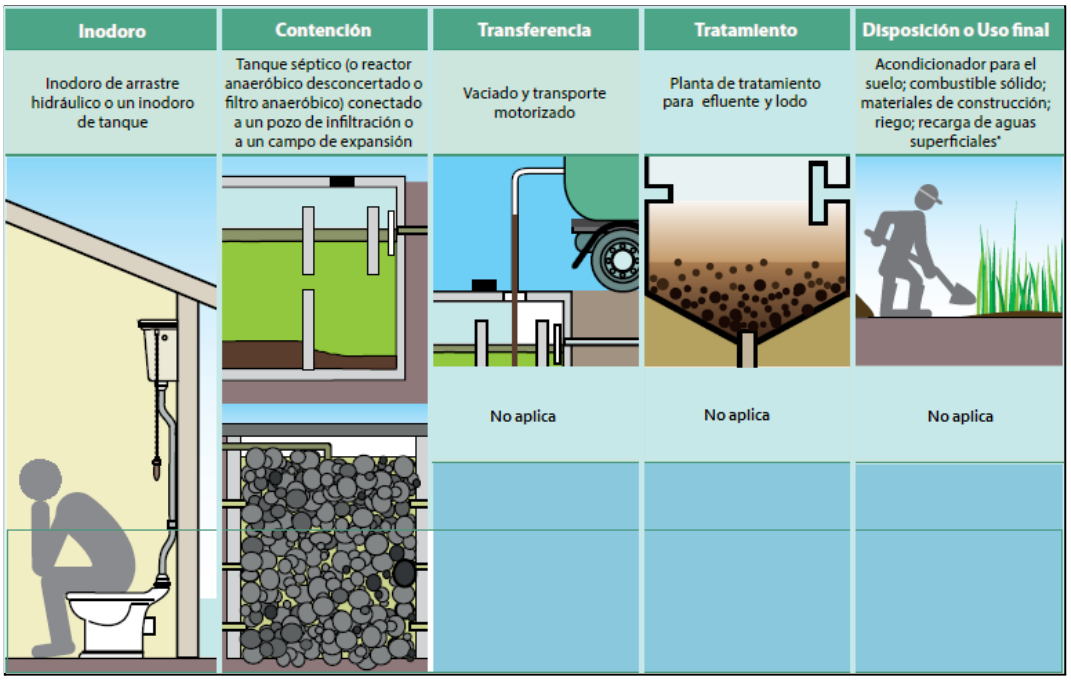


Figura 2.8. Inodoro con arrastre de agua con tanque séptico. Fuente: modificado de [14].

A continuación se describe en mayor detalle el funcionamiento de la cámara séptica.

Cámara o fosa séptica

Es una cámara domiciliaria de doble función, sedimentación y digestión anaerobia y facultativa, para aguas residuales domésticas. Puede consistir en un solo recipiente que cumpla ambas funciones o de varios recipientes en serie que optimicen el funcionamiento y la operación [20]. Este sistema puede recibir tanto aguas negras como grises. Es una tecnología eficiente para el tratamiento de efluentes domiciliarios, aunque por su diseño no es conveniente para aprovechar los lodos digeridos y no contempla la generación de biogás.

Una vez que las cámaras reciben el efluente domiciliario, en la misma se producen varias capas o estratos. El agua residual que ingresa al sistema transporta sólidos sedimentables, los cuales se depositan en el fondo, formando una capa de lodo o “barro”. En el tramo intermedio (zona de sedimentación) se ubican los líquidos con materia orgánica disuelta, sobre estos se encuentran las grasas o natas, las cuales suelen ser denominadas como “costras”o “espumas”; por último se tiene el espacio libre apropiado para que se ubiquen los gases producidos por el proceso anaerobio de descomposición de la materia orgánica.

El sistema puede llegar a retener hasta el 80% de los sólidos sedimentables que arrastra el agua residual proveniente del domicilio mediante el fenómeno de sedimentación [18]. Dicha tecnología puede incluso llegar a remover hasta un 50% de DBO, al igual que un 50% de sólidos en suspensión [21]. La materia orgánica contenida en los lodos sufre un proceso de digestión anaerobia y facultativa, el cual es producido por los microorganismos presentes en el mismo efluente domiciliario. Como se mencionó anteriormente, las ARD contienen microorganismos patógenos y beneficiosos, siendo estos últimos aquellos encargados de llevar a cabo el tratamiento biológico de las aguas residuales. A pesar de que la digestión anaerobia reduce permanentemente el volumen de materia sólida depositada en el fondo de la cámara, siempre existe una acumulación neta de barro en el interior de la misma.

La generación de gases durante los procesos de descomposición provoca que una parte de la materia sedimentada en el fondo de la cámara ascienda por fuerza de empuje y se adhiera a la parte inferior de la capa de espumas, lo cual contribuye a aumentar el grosor de la misma. Debido a lo expuesto, el contenido de la cámara séptica se debe extraer, para evitar la reducción de la capacidad volumétrica efectiva provocada por la acumulación de espumas y barros a largo plazo. Esta tarea puede ser realizada por camiones atmosféricos de la misma manera que se realiza en pozos negros, pero siendo el volumen a extraer de la cámara séptica sensiblemente menor al de los pozos, y, si la cámara está bien diseñada, el período de tiempo entre cada limpieza es más largo en éstas que en los pozos negros [22]. Los gases generados producto de la digestión anaerobia serán evacuados por vías de ventilación presentes en las cámaras.

Las cámaras poseen una entrada, por donde ingresa el ARD, y una salida, por donde el efluente es dirigido hacia un terreno de infiltración. El efluente de salida de la cámara séptica es un agua residual que sufrió un tratamiento de sedimentación y digestión pero aún posee carga orgánica, nutrientes y patógenos, por lo que debe recibir otro tratamiento adicional, el cual se lleva a cabo en dicho terreno de infiltración.

Se presenta de forma esquemática el funcionamiento de una cámara séptica (Figura 2.9).

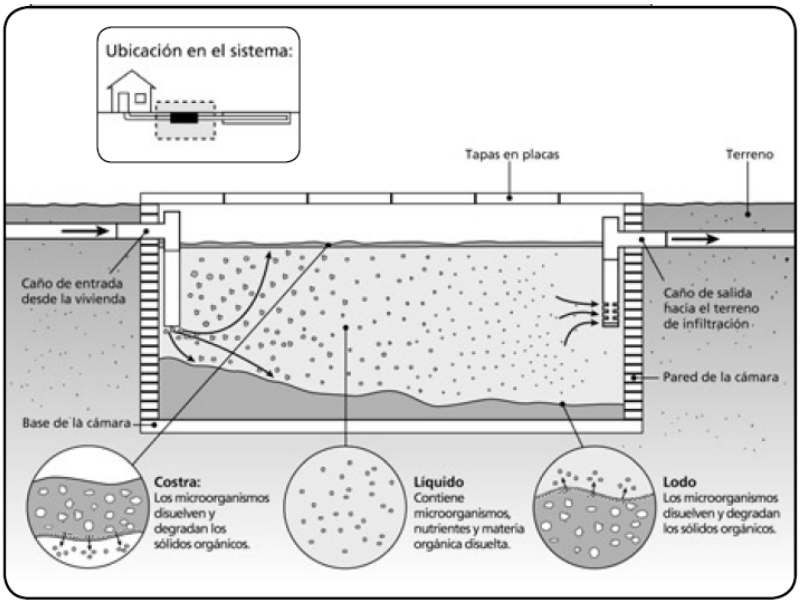


Figura 2.9. Funcionamiento de cámara séptica. Fuente: [18].

Las cámaras sépticas, en la mayoría de los casos, consisten en un tanque subterráneo construido en hormigón armado y mampostería de ladrillos comunes como cerramiento lateral. El volumen de las mismas depende del valor fijo estimado de consumo en la vivienda. Dicho valor de consumo así como el dimensionamiento de la cámara séptica varía entre autores (ver Anexo II), siendo la relación típica entre el ancho y el largo de la cámara de 1:3 para lograr una sedimentación eficiente. La misma debe tener un tiempo de retención de por lo menos un día.

Actualmente las cámaras sépticas también pueden conseguirse en el mercado. Éstos sistemas de tratamiento prefabricados son herméticos, construidos en una sola pieza, asegurando así que no haya filtraciones y contaminación del suelo [23]. Los sistemas prefabricados más usados son construidos con material de polietileno de alta tecnología que garantizan una vida útil más elevada que un sistema séptico convencional, es decir aquellos fabricados de hormigón. Será necesario un análisis de todas las variables que se presentan a la hora de elegir por uno u otro sistema de tratamiento.

Como se mencionó anteriormente, si se utilizan dos o más cámaras conectadas entre sí (en el caso que éstas sean de material de polietileno de alta densidad), se mejora el tratamiento de las aguas residuales. En un sistema de doble cámara el primer compartimento se utiliza para la sedimentación, digestión del lodo y almacenamiento del mismo. El segundo compartimento proporciona una sedimentación y capacidad de almacenamiento de lodo adicional.

Los factores que afectan el rendimiento de las cámaras sépticas son su geometría, carga hidráulica, la configuración de entrada y salida, el número de compartimientos, la temperatura y el control de su operación y mantenimiento [24]. Si el sistema es sobrecargado, el tiempo de retención será más corto y los sólidos pueden no sedimentarse correctamente. Una dimensión no adecuada y un diseño poco estudiado de la entrada y salida de las cámaras, así como no llevar a cabo el vaciado de los lodos de forma periódica, suelen ser las causas principales de que el terreno de infiltración colapse en poco tiempo.

Como se mencionó anteriormente, este sistema de tratamiento es de carácter domiciliario, por lo que, según puede verse en el Anexo II, sólo se presentan dimensiones para viviendas o establecimientos donde el número de personas que lo habitan no es superior a 15 o 16 aproximadamente, ya que de lo contrario las dimensiones del sistema deberían ser muy elevadas y/o el tiempo de retención se vería reducido provocando un tratamiento ineficiente de las aguas residuales.

De forma complementaria al tratamiento de cámara séptica, se puede agregar com tratamiento previo lo que se denomina una trampa de grasas o cámara desengrasadora, la cual es un pequeño tanque de polietileno lineal con entrada y salida, y con accesorios dispuestos de tal forma que las grasas queden retenidas en la superficie por presentar menor densidad que el agua, evitando así que pasen al tanque séptico.

Para el usuario, la inversión de capital con este sistema de saneamiento es considerable ya que requerirá de excavación e instalación de un tanque séptico y tecnología de infiltración (esto último si el tratamiento es *in situ*). Si el efluente tratado previamente en cámara séptica es transferido *ex situ* se agrega el costo adicional del vaciado de la misma, el cual variará en función de la frecuencia y el método de vaciado de la fosa.

Según la Resolución HD 241/07 de Parques Nacionales (ver en sección 2.4), es obligatoria la instalación de servicios sanitarios en todos los predios en los que se construyan edificios destinados a vivienda, comercio, lugar de trabajo y/o esparcimiento. Entre los servicios sanitarios se hace mención a la eliminación de aguas servidas, recomendando el uso de cámaras sépticas (de hormigón o prefabricadas), para las zonas donde no hay acceso a una red cloacal.

Inodoro de arrastre hidráulico con biodigestor domiciliario - ROTOPLAS

El biodigestor domiciliario autolimpiable ROTOPLAS, es un sistema que se conecta a los desagües de la vivienda y recibe directamente los desechos generados por la misma. Este sistema de tratamiento es obtenido de forma comercial, cuyo fabricante es la firma ROTOPLAS.

Lleva a cabo un tratamiento primario del efluente, en donde se produce el fenómeno de sedimentación. El lodo sedimentado sufre un proceso de degradación anaerobia, el cual posteriormente puede ser retirado del sistema. El agua residual tratada finaliza en un terreno de

infiltración. A continuación, en la Figura 2.10, se presenta al biodigestor autolimpiable ROTOPLAS[13] con sus respectivos compartimientos.

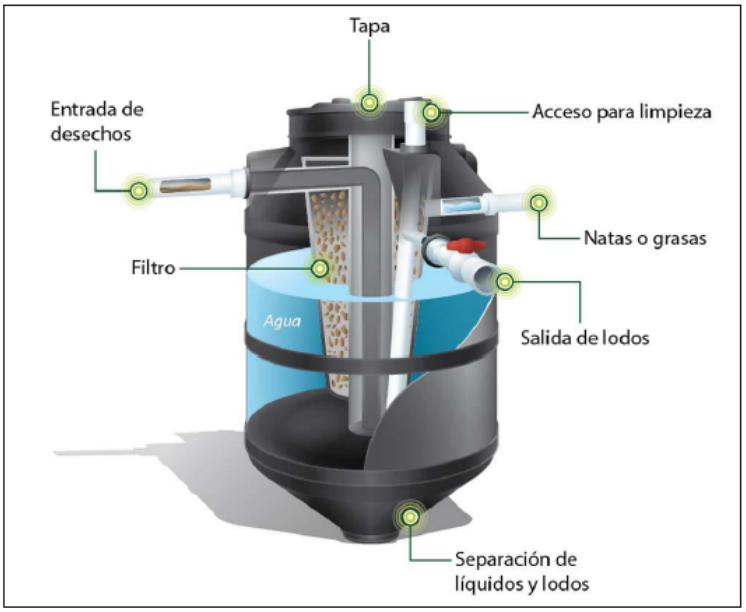


Figura 2.10. Biodigestor domiciliario ROTOPLAS. Fuente: [25].

El sistema cuenta con un filtro biológico, el cual es un compartimiento ubicado en el centro del reactor que contiene los denominados aros de tereftalato de polietileno (PET). En la superficie de los mismos se fijan bacterias, las cuales se encargan de completar el tratamiento del efluente.

Se destaca que esta tecnología no recupera el biogás, producido por la actividad anaeróbica, para su posterior utilización, al igual que en las cámaras sépticas.

Si bien la firma ROTOPLAS hace mención de una mejora en la eficiencia del tratamiento en relación a un sistema de cámara séptica, no se encontraron estudios científicos en donde se garantice esto. Lo que sí se puede afirmar es que esta tecnología ofrece una mayor facilidad en la extracción de los lodos, en comparación a las cámaras sépticas, ya que posee un compartimiento específico en su estructura que facilita la extracción.

Este sistema de saneamiento demanda de una cierta inversión de capital ya que será necesario realizar una excavación e instalación del biodigestor.

Inodoro de arrastre hidráulico con reactor de biogás

Este sistema se basa en el uso de un reactor de biogás para recoger, almacenar y tratar las excretas. El reactor o biodigestor produce biogás que se puede quemar para cocinar, para alumbrado o producción de electricidad. Los afluentes al sistema pueden incluir orina, heces, agua de arrastre, agua de limpieza, materiales de limpieza en seco, materia orgánica (por ejemplo, desperdicios de la cocina) y, cuando existan, desechos[14] animales [14].

A continuación se presenta de forma esquemática las distintas etapas de saneamiento en donde el lodo es transferido a una planta de tratamiento (Figura 2.11).

[13] La tecnología de biodigestor domiciliario autolimpiable ROTOPLAS es mencionado a partir de aquí en adelante simplemente como biodigestor domiciliario.
[14] Se entiende como sinónimos a “excretas”, “desechos” y “heces”.

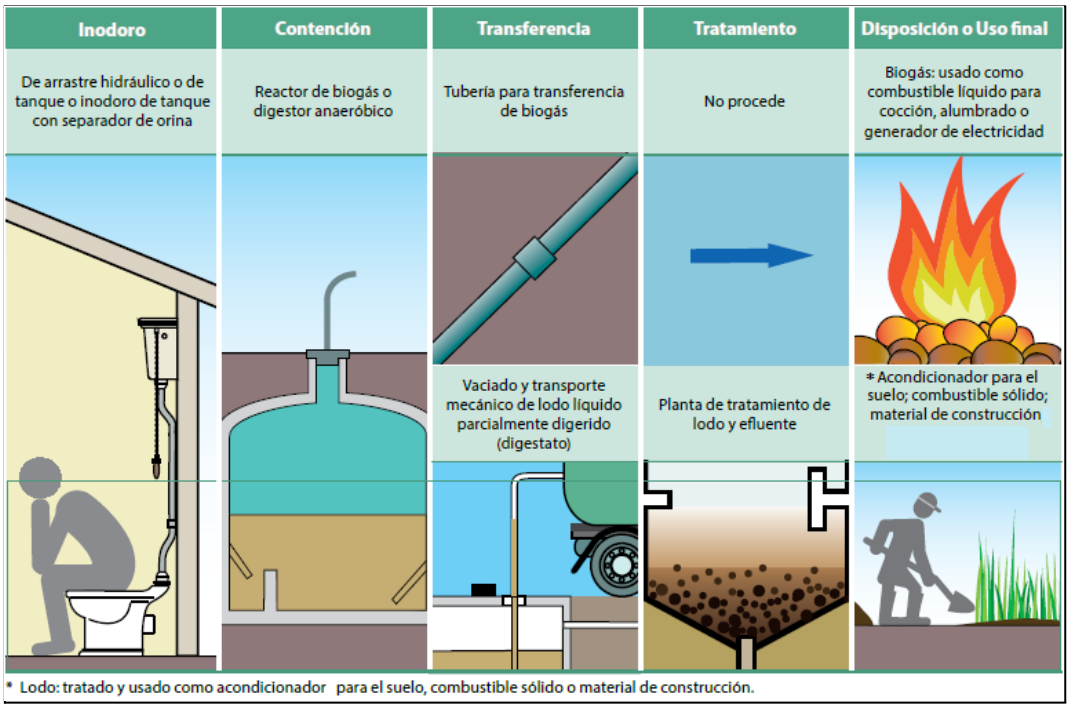


Figura 2.11. Inodoro con arrastre de agua con reactor de biogás. Fuente: [14].

Cabe aclarar que el lodo puede ser tratado de forma *in situ* (debido a que un biodigestor genera un lodo estabilizado, si se lograron las condiciones óptimas), en aquellas situaciones en donde no es posible el traslado del lodo a una planta de tratamiento. El mismo podría someterse a un proceso de deshidratación o compostaje.

El biodigestor consiste en un tanque (reactor) hermético, mediante el cual se genera un ambiente adecuado para llevar a cabo la descomposición de la materia orgánica de forma anaeróbica. Debido a esto se obtiene como producto final biogás y lodo digerido, siendo este último un fertilizante rico en nutrientes. El biogás es una mezcla de gases cuyo principal componente es el CH_4, el cual puede ser utilizado con fines energéticos. La generación de gas metano está estrictamente relacionada con un correcto proceso de digestión anaeróbica, por lo que para que se lleve a cabo una correcta digestión es necesario que se logren determinadas condiciones, como son la temperatura, tiempo de retención hidráulica (TRH), pH, potencial redox, control de sustancias inhibitorias y la contención hermética. Dichas características se presentan con mayor detalle en Anexo III.

Una de las características más importantes de la biodigestión es que disminuye el potencial contaminante de los excrementos de origen animal y humano, disminuyendo la DQO y DBO hasta en un 90% (estos porcentajes dependen de las condiciones de diseño y operación) [26].

Se debe evitar el agregado de aguas grises en el reactor de biogás ya que reducen de manera importante el TRH [14]; por consiguiente es conveniente otro sistema para las aguas grises.

Existen distintos tipos de biodigestores en la actualidad. No solo son utilizados para el tratamiento de aguas residuales, sino para todo tipo de materia orgánica, como residuos de la actividad agrícola, ganadera, o humana.

Tratamiento de aguas residuales con ozono

El tratamiento de ARD con ozono consiste en la generación *in situ* de ozono, dentro de una cisterna, logrando así un tratamiento aeróbico de las aguas residuales.

La molécula de ozono (O_3), consta de tres átomos de oxígeno, es inestable y se descompone con cierta facilidad en O_2 y oxígeno monoatómico (O) [27]. Su formación natural ocurre en la atmósfera superior, siendo la fotodisociación del O_2 el principal mecanismo de formación [28]. El método más utilizado para la generación de ozono a nivel industrial es el llamado *efecto corona*, que se produce alrededor de un conductor cargado eléctricamente, el cual ioniza el aire circundante disociando las moléculas de O_2 en átomos de oxígeno monoatómico que posteriormente chocan con otra molécula de oxígeno para formar O_3 [29]. Para llevar a cabo la generación de ozono, es necesario contar con suministro de energía eléctrica.

El O_3 es un gas altamente oxidante, corrosivo e inestable, por lo que se lo utiliza como agente oxidante de la materia orgánica presente en los efluentes líquidos, tanto cloacales como industriales. Además brinda ventajas adicionales al reducir color y olor de los efluentes, mejora la remoción de sólidos suspendidos y acondiciona los lodos [30].

La razón de sus particularidades radica en que las fuerzas de atracción entre átomos (enlace covalente) son muy pequeñas, lo cual hace a la molécula de ozono muy inestable. Dicha inestabilidad aumenta con el incremento de la temperatura y presión, llegando a su máxima inestabilidad por encima de los 200ºC [29]. Esto indica que la solubilidad del O_3 aumenta con la disminución de la temperatura (Tabla 2.2). Esta inestabilidad del ozono es la razón por la cual no puede ser almacenado y debe ser generado en el lugar de su aplicación. Por otro lado, su inestabilidad es beneficiosa ya que cede fácilmente uno de sus átomos a otros compuestos causando así su oxidación, razón por la cual es empleado como desinfectante y germicida [29].

TEMPERATURA [°C]	0	10	20	30	40	50	60
SOLUBILIDAD 100% O_3 [g/l]	1,09	0,78	0,57	0,40	0,27	0,19	0,14

Tabla 2.2. Solubilidad del ozono en agua. Fuente: [31].

Los mecanismos de desinfección asociados con el uso del ozono incluyen [29]:

- la oxidación o destrucción directa de la pared de la célula con la salida de componentes celulares fuera de la misma,
- las reacciones con los subproductos radicales de la descomposición del ozono,
- el daño a los componentes de los ácidos nucleicos (purinas y pirimidinas),
- la ruptura de las uniones de carbono-nitrógeno que conduce a la despolimerización.

Las dosis necesarias para desinfectar el agua varían según la calidad de la misma [27]. Los parámetros principales de control del proceso son la dosis, la mezcla y el tiempo de contacto. Estos sistemas de desinfección tienen como objetivo maximizar la solubilidad del O_3 en el agua residual ya que la desinfección depende de la transferencia de dicho gas al agua residual [29].

Tras el tratamiento, el ozono se descompone en oxígeno tras varios minutos sin dejar efecto residual, por lo que como consecuencia no existirá ningún efecto residual desinfectante que pudiera prevenir el crecimiento bacteriológico.

La aplicación del O_3 se puede llevar a cabo en distintas etapas del proceso, ya sea en una etapa inicial del tratamiento, en una etapa intermedia (posterior a un tratamiento anaeróbico y/o de sedimentación), o en una etapa final (posterior a un sedimentador secundario y utilizado principalmente para reutilización del agua residual).

Sistema de tratamiento domiciliario con ozono producido en Bariloche

Se llevó a cabo la visita a una empresa de Bariloche, *MH Hidráulica*, que utiliza la tecnología de aplicación de ozono para el tratamiento de aguas residuales, tanto domiciliarias como industriales. Dicha empresa lleva a cabo el tratamiento de efluentes en distintas etapas, la cual varía de acuerdo al nivel de tratamiento requerido por el usuario.

El sistema consiste primeramente en un tratamiento anaerobio del agua residual, realizado en un biodigestor, donde ocurre el fenómeno de sedimentación y posterior tratamiento anaerobio de los lodos. Luego el efluente es sometido a un proceso oxidativo en una cisterna que cuenta con la adición de ozono. A continuación, se somete al efluente a un proceso de sedimentación, para finalizar el tratamiento en un terreno de infiltración. Si se pretende llevar a cabo una reutilización del agua residual, luego del proceso de sedimentación se realiza nuevamente un tratamiento de desinfección con ozono.

Una parte de los lodos sedimentados en el sedimentador contiguo al tratamiento con ozono son recirculados nuevamente a la cisterna donde se lleva a cabo el tratamiento aeróbico. La fracción de lodos que no fue recirculada debe ser purgada, los cuales ya se encuentran prácticamente sanitizados. Los lodos que deben ser retirados por un camión atmosférico en la ciudad, son aquellos que sedimentaron en el biodigestor.

La generación de ozono se lleva a cabo *in situ*, mediante la tecnología del efecto corona descripto anteriormente, por lo que es necesario contar con energía en el sitio en donde se va a llevar a cabo el tratamiento. El generador de ozono se localiza en el interior de la cisterna, y el tablero control del sistema debe estar ubicado en un sitio al resguardo de las inclemencias climáticas. El biodigestor y el resto de las cisternas no es necesario que sean enterrados en el terreno.

Los productos ofrecidos por la empresa tienen una garantía por defectos de fabricación de un año. Durante el plazo de dicha garantía realizan, sin costo adicional para el cliente, un plan de seguimiento y control de los equipos colocados, la capacitación necesaria a quién el cliente designe para el posterior traspaso de dicho plan, o bien la empresa puede continuar con el mantenimiento una vez vencido dicho plazo.

Terreno de infiltración

Los terrenos o lechos de infiltración no son un sistema de tratamiento independiente en sí, sino que son contiguos a un sistema de cámara séptica o biodigestor. El agua residual que se halla entre la capa de barro y espumas de la cámara o biodigestor fluye hacia los lechos de infiltración. Se puede decir que este último es la segunda etapa de tratamiento, donde la primera ocurrió en la cámara séptica o biodigestor. En esta segunda etapa se dan dos situaciones: una de ellas es la continuación del tratamiento secundario, por medio de la biodegradación de la materia orgánica disuelta en el efluente de la fosa o biodigestor. Este proceso es realizado por las bacterias adheridas al material poroso del cual está constituido el lecho; la otra situación es la que representa la capacidad de absorción del terreno existente, en donde influirá el tipo de suelo en donde se lleve a cabo la infiltración y percolación del agua residual.

En la Figura 2.12 se muestra, de forma esquemática, el terreno de infiltración contiguo a un sistema de cámara séptica.

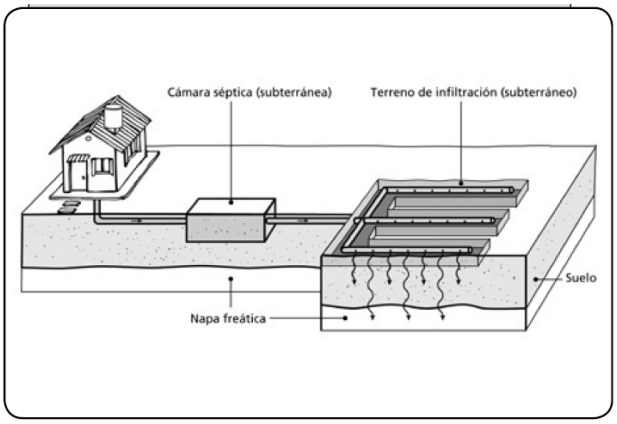


Figura 2.12. Terreno de infiltración. Fuente: [18].

Este consiste en una red de caños perforados, colocados en zanjas rellenas con material poroso (puede ser grava, escombro o piedra partida) cubiertos con suelo. Dicho material se emplea para mantener la estructura de las zanjas, proporcionar un tratamiento aerobio del efluente, distribuir el mismo en el terreno y proveer capacidad de almacenamiento temporal a las zanjas para las fases de caudal pico. Dicho medio actúa como un filtro percolador aerobio [22].

El tratamiento se produce al circular el efluente a través y por encima del medio poroso, y al percolar el líquido en el terreno (Figura 2.13). A medida que el efluente fluye por el lecho de infiltración, en las superficies del sistema se desarrolla progresivamente una película biológica. El grosor de la biopelícula crece a medida que los microorganismos metabolizan la materia orgánica presente en el efluente proveniente de la fosa séptica. Al producirse las reacciones de conversión biológica, también se forman precipitados minerales. En función de las condiciones ambientales, estos precipitados se pueden acumular en la película biológica o eliminarse por lixiviación. Las zanjas de infiltración actúan como filtro mecánico y biológico [22].

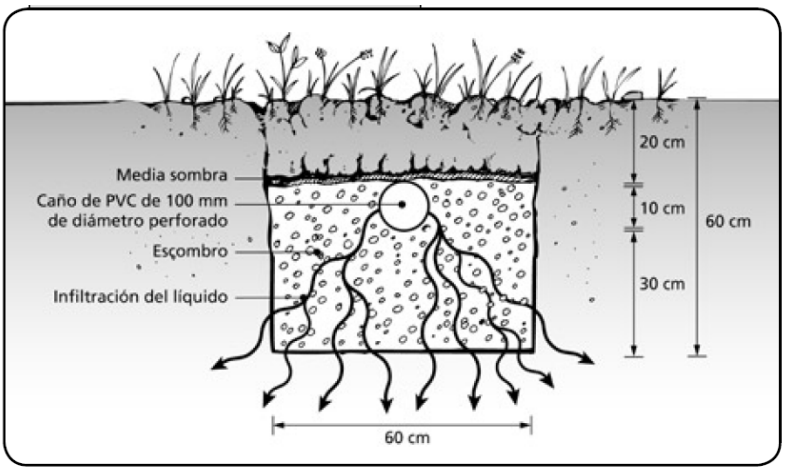


Figura 2.13. Circulación del efluente por medio poroso. Fuente: [18].

Cabe recordar que el lecho de infiltración se compone del material poroso y el suelo. La zona porosa se debe construir con piedra en tamaños relativamente pequeños, entre 7 y 10 cm, ya que aportan mayor superficie de contacto y menos vacíos que la “piedra bruta” o de gran tamaño tradicionalmente usada; y sin la colocación de plásticos, con el propósito de permitir la evapotranspiración que se obtendrá de la actividad biológica que se debe desarrollar y la interacción de esta etapa con los rayos solares que podrían incidir en esa zona [32].

Por otro lado, el suelo, debido a que está formado por granos de distintos tamaños (arenas, limos y arcillas) entre los que quedan espacios vacíos (poros), realiza un tratamiento físico (filtración) y biológico (degradación bacteriana) de las aguas residuales. El tratamiento físico consiste en la retención de partículas que se encuentran en el agua residual dado que su tamaño es mayor al de los poros. Las partículas más pequeñas y algunas moléculas quedan adheridas a los agregados del suelo por sus cargas eléctricas. Algunos nutrientes que se encuentran en las aguas residuales, como el fósforo, se combinan con otros minerales presentes en el suelo que contienen calcio, hierro y aluminio, quedando así retenidos, e impidiendo que pasen a las aguas subterráneas. En lo que respecta al tratamiento biológico es importante destacar que el suelo contiene una comunidad de bacterias, protozoos y hongos, que puede alimentarse de los nutrientes y de la materia orgánica del agua residual, logrando así la disminución o eliminación de dichos contaminantes. Este proceso es mucho más eficiente si hay presencia de oxígeno. Por lo tanto, es de suma importancia que el suelo en el terreno de infiltración no esté inundado, ni saturado con agua, para evitar impactos sobre el agua subterránea y el ambiente en general.

El suelo es un ambiente muy hostil para los microorganismos patógenos que vienen con las aguas domiciliarias. Cuando son retenidos en el suelo estos agentes patógenos mueren por los cambios de temperatura y de humedad, por la falta de alimento adecuado, atacados por los antibióticos producidos por los hongos del suelo. En una instalación bien diseñada, construida y mantenida, los patógenos serán destruidos y los sólidos filtrados [18].

A continuación, en la Figura 2.14, se presenta el funcionamiento del área con material poroso y el suelo al momento de recibir el efluente.

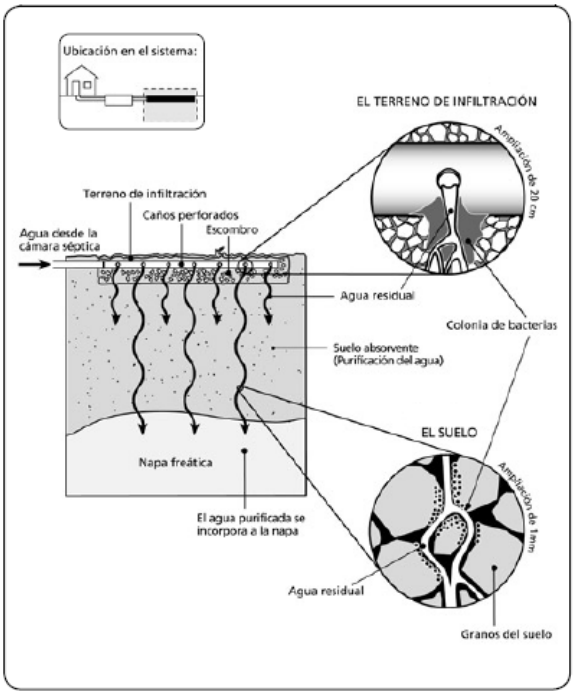


Figura 2.14. Acción del material poroso y el suelo en el efluente.
Fuente: [18].

Para llevar a cabo el dimensionamiento del lecho de infiltración es necesario hacer un estudio de infiltración en el terreno. El mismo permitirá saber si el sitio es apto para su construcción. Para que el tratamiento sea eficiente, el agua residual debe atravesar como mínimo una distancia de 1,20 m de

suelo seco entre el fondo de la zanja y la napa freática. La profundidad de esta última debe ser mayor a 2 m [18].

El estudio permite obtener la tasa de infiltración[15] del terreno, así en aquellos suelos donde dicha tasa es alta la superficie del lecho deberá ser mayor que en aquellos donde la misma es baja. Respecto al área del terreno de infiltración, al igual que con el dimensionamiento de las cámaras sépticas, varía según distintos autores. En el Anexo V se presenta un cuadro comparativo entre distintos autores relevados y las dimensiones establecidas por cada uno.

Cabe destacar que la información brindada respecto a los lechos de infiltración es de forma general. No se encontraron estudios de infiltración en ambientes de alta montaña, ni en relación a un perfil de suelo correspondiente a dicho ambiente. Sería recomendable realizar un análisis en la zona del refugio San Martín, para conocer el tipo de suelo presente en el sitio en donde se quiera instalar un lecho, así como la altura de la napa freática.

Inodoro seco con separación de orina y tratamiento *in situ* en cámara de compostaje

Un sistema de saneamiento seco o simplemente baño seco o baño ecológico, es una de las tecnologías apropiadas para la disposición, aislamiento, almacenamiento y tratamiento de las excretas humanas. Está basado en el principio del reciclaje, a través del aprovechamiento y recuperación completa de todos los nutrientes de las heces y orina [8].

Un inodoro seco no necesita agua para funcionar y de hecho ésta no se debe agregar al sistema; el agua de limpieza anal se debe reducir al mínimo o excluirla si es posible, ya que si la cámara de almacenamiento recibe agua u orina las condiciones para llevar a cabo el compostaje pueden verse alteradas. El propósito del sanitario[16] es el de recoger material fecal humano y orina de forma separada, de manera tal que dichos materiales puedan ser utilizados como compost y/o fertilizante respectivamente. Para ello el inodoro cuenta con dos compartimientos, en donde en la parte delantera se ubica el receptáculo para la orina, y la parte trasera está destinada para la excreta de las heces (Figura 2.15).

Figura 2.15. Inodoro seco con separación de orina. Fuente: modificado de [14].

Para llevar a cabo la separación de la materia fecal y la orina se aprovecha la anatomía del ser humano, que excreta heces y orina de forma separada. En un baño seco con separación de orina, esta última se drena a través de un reservorio con un pequeño orificio en la parte frontal, mientras que las heces caen por un agujero más grande en la parte trasera. Esta recolección separada, *in situ*, no

[15] Tasa de infiltración: representa el tiempo transcurrido por longitud de profundidad de infiltración del líquido a través del suelo. Las unidades más comúnmente usadas son [mín/cm].
[16] Se entiende como sinónimos las palabras sanitario, inodoro y retrete.

requiere que el usuario cambie de posición al momento de orinar o defecar, aunque se necesita un mínimo cuidado para asegurar que esté en la posición adecuada [8].

La materia fecal se recoge en un recipiente con buena ventilación, el cual provee el medio óptimo para que se realice la descomposición biológica y física del excremento, en condiciones aeróbicas controladas y sanitarias. La orina se puede almacenar en bidones o en un tanque para su aplicación en agricultura. Dado su contenido alto de nutrientes, ésta puede usarse como un buen fertilizante líquido [14]. Otro de los métodos de gestión de la orina es realizar su infiltración directamente en la tierra o en un pozo de absorción, siempre y cuando las condiciones y normas lo permitan. Este último procedimiento proporciona una elevada carga de nutrientes al sitio de infiltración, principalmente N, pero reduce marcadamente la carga de patógenos en comparación a los sistemas en donde la materia fecal y la orina no son separadas.

Este tipo de sitio de almacenamiento de las heces consiste en una cámara de tipo doble en donde primero se utiliza una de ellas; una vez que la misma está llena se la cubre quedando temporalmente fuera de servicio. Mientras la segunda cámara se llena con excretas, el contenido de la primera se deja descansar y descomponerse como mínimo dos años antes de usarla. Solo cuando ambas cámaras están llenas se vacía la primera y se pone en servicio de nuevo. Este ciclo se puede repetir indefinidamente [14].

Este sistema tiene características excelentes para las siguientes aplicaciones (pero cuyo uso no está limitado a estas): áreas distantes en donde el agua es escasa, o en zonas en donde la percolación es lenta, el nivel del agua freática es elevado, el suelo es poco profundo, o el terreno es abrupto. Debido a que los inodoros de compostaje eliminan la necesidad de inodoros con descarga de agua, se reduce significativamente el uso de la misma y brinda la oportunidad de reciclar nutrientes [33]. Se puede además instalar un orinal para el almacenamiento eficaz de la orina. Existen varios diseños de esta tecnología con adaptaciones para diferentes preferencias.

A continuación, en la Figura 2.16, se presenta de forma esquemática el sistema de saneamiento de un baño seco con separación de orina.

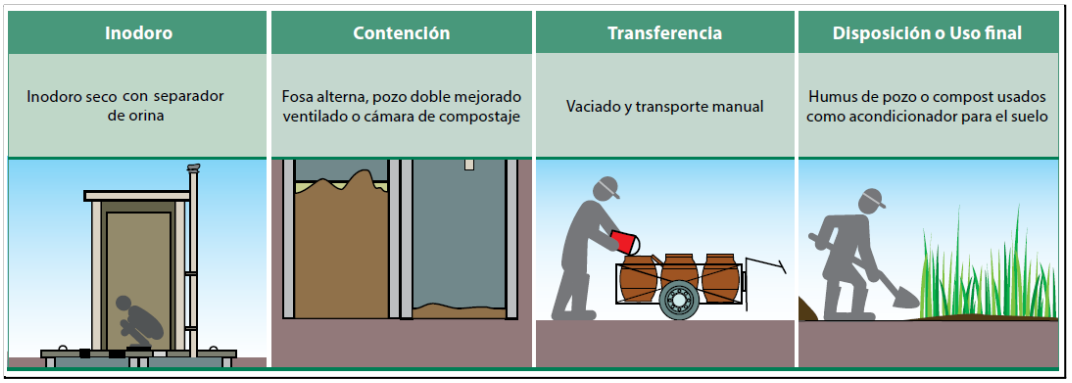


Figura 2.16. Sistema de saneamiento seco con separación de orina. Fuente: modificado de [14].

El éxito de este sistema depende de la separación eficaz de la orina y las heces, así como del uso de un material de cubierta apropiado. Se debe mantener al alcance un suministro constante de tierra o aserrín para cubrir las heces.

En el proceso de compostaje la materia orgánica se transforma mediante la acción de bacterias y hongos, los cuales se encargan de descomponer el excremento a un producto final oxidado parecido al humus, denominado compost. Estos organismos crecen vigorosamente con aireación, siempre y

cuando las condiciones de temperatura sean las óptimas para que ocurra dicho proceso. Es necesario controlar varios factores ambientales (O_2, temperatura, humedad) para optimizar el proceso [33].

La principal ventaja de los baños secos con separación de orina, comparadas con las letrinas secas convencionales, es la conversión de las heces en un material seco y sin olor. Esto lleva a un inodoro libre no sólo de aromas sino de insectos; sumado al hecho de que una vez que el contenedor de excretas se ha llenado, el manejo de las materias fecales es mucho más simple y menos riesgoso. Además, el riesgo de la polución acuífera se ve minimizado a través de la contención segura de las heces en cámaras, lo que también permite la construcción de estos inodoros en lugares donde los sistemas basados en pozos no son apropiados [8].

Dado que el sistema es permanente y puede utilizarse de manera indefinida, es adecuado donde el espacio es limitado. Además, puesto que la extracción del producto de tratamiento debe ser manual, este sistema sirve en zonas donde no pueden acceder los camiones para el vaciado mecánico [14].

Para el usuario, este sistema es económico en cuanto al costo de inversión. Los únicos costos de mantenimiento serán los costos de limpieza del inodoro, mantenimiento de la estructura y organización del vaciado de los contenedores; el sistema genera un producto final que el usuario puede usar o vender [14].

Inodoro seco con separación de orina y tratamiento *in situ* en cámara de deshidratación

Este sistema, es similar al mencionado anteriormente, con la diferencia que las heces son tratadas mediante su deshidratación.

A continuación, en la Figura 2.17, se presenta de forma esquemática las etapas de saneamiento de dicho sistema.

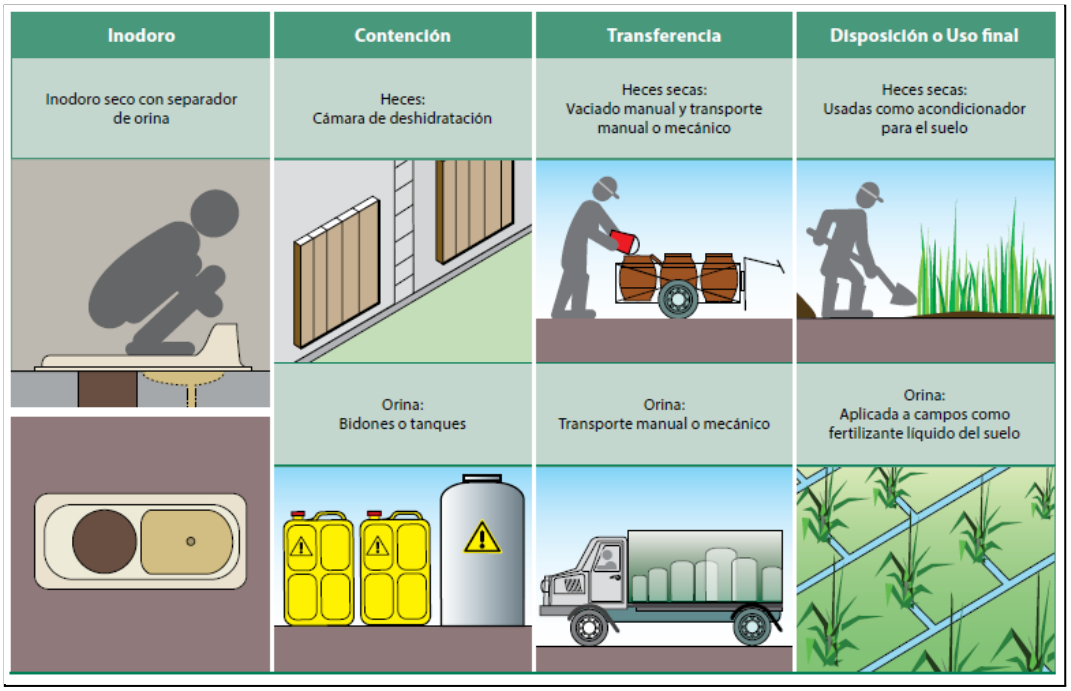


Figura 2.17. Inodoro seco con separación de orina y tratamiento in situ en cámara de deshidratación. Fuente: [14].

Las cámaras de deshidratación se usan para la contención de las heces. Se deben mantener lo más secas posible a fin de propiciar la deshidratación y la reducción de patógenos. Después de cada uso, las heces se cubren con ceniza, cal, tierra o aserrín y esto ayuda a absorber la humedad, disminuir al mínimo los olores y proveer una barrera entre las heces y los posibles vectores de enfermedades. Las cámaras deben ser herméticas al agua; el agua de limpieza nunca debe ir a las cámaras de deshidratación [14].

El tratamiento de las heces comienza en la recolección y continúa durante el período de almacenamiento. Los cuatro factores más importantes para el tratamiento son el contenido de humedad, duración, elevación de temperatura y valor de pH. La deshidratación describe la pérdida de humedad en las heces en un cierto período de tiempo. El contenido de humedad en las heces frescas es de aproximadamente 80% y decrece gradualmente a lo largo del proceso de recolección y almacenamiento, evacuándose el vapor de agua por los caños de ventilación del baño.

La mayor parte de la muerte de los patógenos en el tratamiento ocurre en el proceso de deshidratación. Ésta también provoca cambios físicos en las heces, desde el cambio en la textura hasta el abatimiento del olor, lo que la hace menos ofensiva a la hora de su manipulación [8].

La orina, como se mencionó en el sistema anterior, se puede almacenar en bidones o en un tanque para su aplicación en agricultura, transportarla mediante tecnologías manuales o mecánicas o realizar su infiltración directamente en un terreno de infiltración.

Para el usuario, este sistema es económico en cuanto al costo de inversión y genera productos finales que se pueden usar o vender [14].

Hasta aquí se mencionaron sistemas de baño seco en donde la separación de la orina y la materia fecal ocurre en la superficie de la taza del inodoro, es decir que dicha separación la realiza el usuario, por lo que la efectividad del sistema depende en gran medida de los mismos. Esto puede ser dificultoso en un comienzo, ya que demandará información y educación constante hacia los visitantes, en el caso del refugio, así como también un mantenimiento constante del sistema para garantizar la efectividad del mismo.

Inodoro seco con separación de orina. Tecnología ECODOMEO

La tecnología ECODOMEO lleva a cabo la separación de orina y heces por debajo de la taza, es decir dicha separación no es realizada por el usuario. El sistema consiste en una cinta transportadora, la cual se ubica por debajo del inodoro, y es fabricada por la empresa francesa ECODOMEO. Actualmente dicha empresa cuenta con distribuidores en distintas partes del mundo, siendo el sitio más próximo a Argentina la empresa distribuidora Toilet Tech, ubicada en Estados Unidos. La tecnología se encuentra en funcionamiento hace más de 20 años, en distintos sitios remotos de Europa y más recientemente en América.

Como se mencionó anteriormente, la cinta transportadora se ubica debajo del inodoro y es accionada por el usuario mediante un pedal.

Sobre dicha cinta caen las excretas humanas, la orina se filtra por la cinta depositandose en la parte inferior, la cual luego puede ser direccionada a un terreno de infiltración. Las heces permanecen en la cinta, al accionar el pedal esta última se desplaza depositando los sólidos en un contenedor. Aquí las heces pueden ser tratadas mediante compostaje y/o vermicompostaje. No se necesita agente de carga, solo es necesario mantener la humedad de la pila de sólidos.

A continuación, en las Figuras 2.18 y 2.19 se presenta de forma esquemática el funcionamiento.

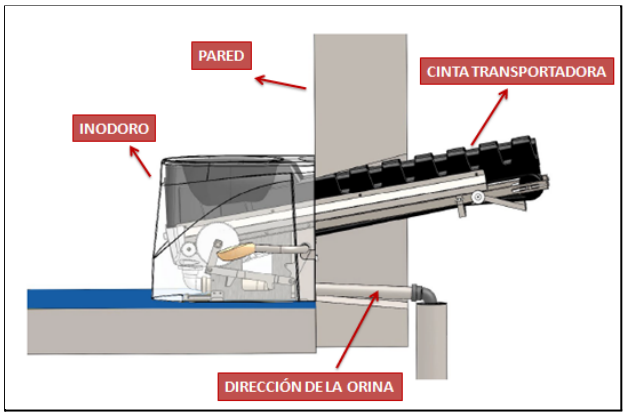


Figura 2.18. Distintos compartimentos del sistema ECODOMEO. Fuente: modificado de [34].

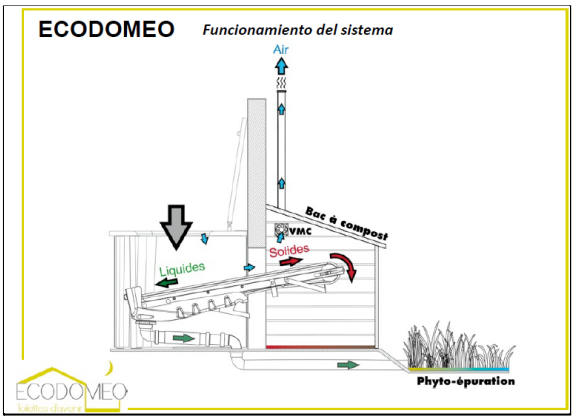


Figura 2.19. Funcionamiento del sistema ECODOMEO. Fuente: [34].

Al producirse la separación de orina y heces se reduce el volumen final en un 60-80%, en comparación a un sistema en donde no ocurre dicha separación. La descomposición ocurre de 6 a 12 meses. No genera olores. El sistema es modular y fácil de ensamblar (Figura 2.20). Las longitudes de las cintas son variables, de 10 cm, 45 cm y 85 cm.

Figura 2.20. Mecanismo del sistema. Fuente: [34].

Las cintas de separación de orina están hechas de polietileno moldeado, y el marco que las contiene es de aluminio. Son adaptables a casi cualquier estructura. Tiene una garantía de 10 años y aún no fueron reemplazadas en ninguno de los sitios en donde fueron instaladas, por lo que su vida útil supera los 20 años. En caso de que sea necesario realizar un recambio, la empresa se encarga de reponer una nueva cinta.

Requerirá el agregado de un espacio de recepción y acopio para los sólidos, cuyo tamaño dependerá del uso estimado. El sitio de acopio o compostaje se puede encontrar al mismo nivel que los baños o en el nivel inferior (Figuras 2.21 y 2.22) y su acceso debe ser desde afuera del baño.

El contenedor de compostaje debe tener una capacidad para contener 3 pilas de sólidos, como se muestra en la Figura 2.23. La zona A es aquella ubicada debajo del extremo de la cinta, donde llegan los sólidos frescos. La zona B es aquella en donde, una vez llena, se ubicará la pila A. La zona C es el sitio de compostaje final y almacenamiento.

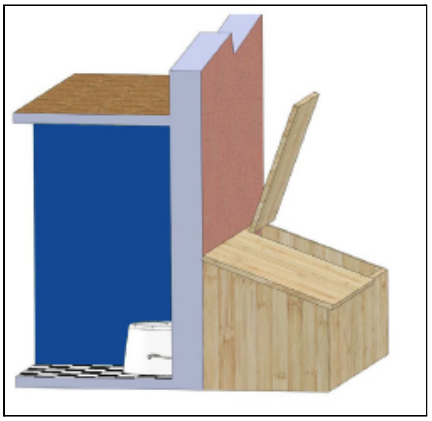


Figura 2.21. Sitio de acopio al nivel del suelo. Fuente: [34].

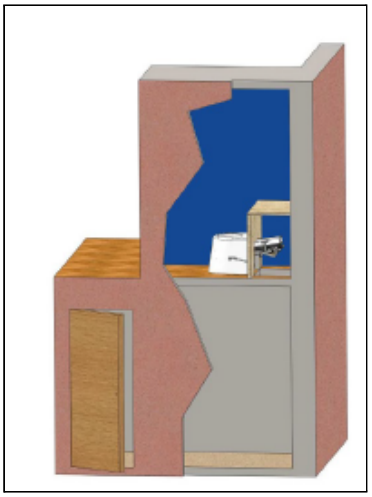


Figura 2.22. Sitio de acopio al nivel inferior de los baños. Fuente: [34].

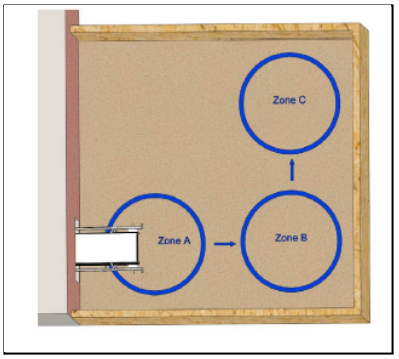


Figura 2.23. Zonas de almacenamiento de heces. Fuente: [34].

Esta tecnología fue instalada en diversos refugios de montaña de América y Europa. Se adjuntan imágenes en el Anexo VI.

Tratamientos de heces

Se hace una mención distintiva del tratamiento de las heces humanas provenientes de sistemas tratamiento de efluentes cloacales sin utilización de agua debido a que es considerado relevante en el siguiente TFI.

Existen distintas técnicas para el tratamiento de las heces, una vez llevado a cabo su almacenamiento. Si bien varios de los tratamientos fueron mencionados anteriormente como una de las etapas del sistema de saneamiento de algunos de los sistemas, a continuación se describen con mayor detalle y se mencionan otras técnicas.

Deshidratación

Como se mencionó anteriormente, el contenido de humedad en las heces frescas es de aproximadamente 80% y decrece gradualmente a lo largo del proceso de recolección y almacenamiento, evacuándose el vapor de agua por los caños de ventilación del baño [8]. Cuando se logra un nivel de humedad menor al 5%, se considera el saneamiento completo de las heces y muerte de los huevos de helmintos; sin embargo, estos niveles no pueden ser obtenidos sin que haya condiciones muy cálidas, áridas y tiempos muy prolongados de almacenamiento. Dicho tiempo juega un rol crucial en el tratamiento de heces, dado que la mayoría de los patógenos mueren naturalmente una vez que se encuentran fuera del cuerpo humano (exceptuando a los huevos de helmintos). Después de la excreción, la carga de patógenos se reduce de forma natural a través de la competencia con otros microorganismos, así como la acción de antibióticos. La temperatura ambiental, el pH y la humedad, entre otros factores, afectarán la inactivación de los patógenos, así como también la competición biológica. Las condiciones durante el almacenamiento varían, y de igual manera lo hacen las tasas de decrecimiento de microorganismos, por lo que se dificulta la predicción de tiempos apropiados de almacenamiento [35].

Si se aplica la “zona de seguridad” que se presenta en la Figura 2.24, es necesario como mínimo un año de almacenamiento a temperatura ambiente, sin tratamiento adicional. Un año sería suficiente

bajo condiciones tropicales (28-30°C), mientras que para temperaturas más bajas (17-20°C) se necesitan 18 meses [8].

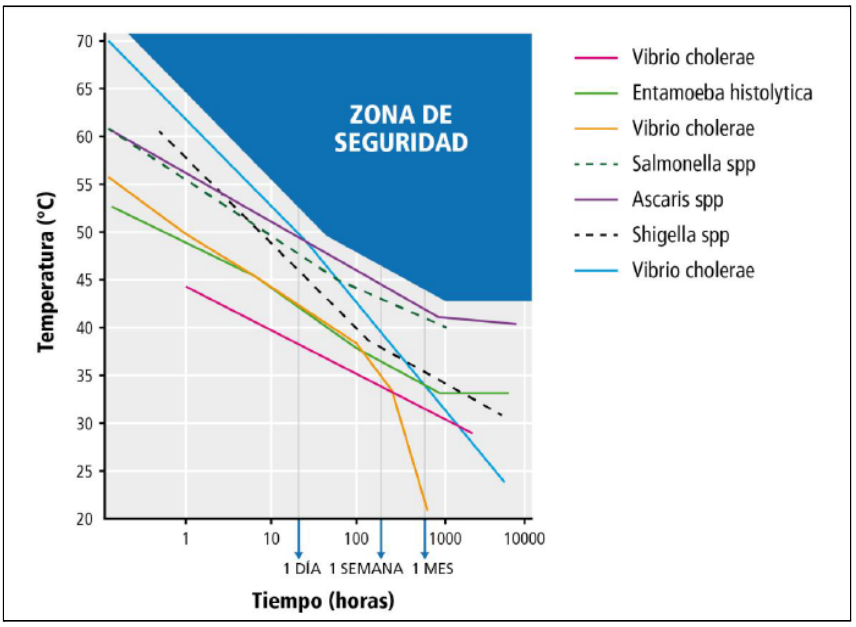


Figura 2.24. Zona de seguridad en el tratamiento de excretas. Fuente: [8].

Si bien llevar a cabo el almacenamiento para que se produzca la deshidratación de las heces es la forma más simple de tratarlas, la inactivación de patógenos es generalmente lenta y son necesarios tiempos de almacenamiento en el rango de meses para la reducción bacteriana a años para algunos helmintos y, de esta forma, alcanzar una higienización segura del producto.

Tratamiento térmico

El calor es una de las maneras más efectivas de matar los patógenos. Como se presentó anteriormente en la Figura 2.24, la inactivación de patógenos se traza en función de la temperatura y el tiempo. Esto crea y define una "zona de seguridad". Si la relación correspondiente tiempo-temperatura es alcanzada en todo el material expuesto, se puede considerar microbiológicamente seguro para su manipulación y uso.

Para tratar la excreta, la digestión termofílica (50°C durante 14 días) es recomendable. Para ello se pueden exponer los sólidos al sol en cámaras de recolección o compartimentos fecales de una estructura similar a una cama de secado.

Debido a que la mayoría de los microorganismos muere rápidamente en altas temperaturas (más de 40° o 50°C); en este sentido, la tasa de mortalidad de patógenos desciende en zonas con temperatura ambiente de entre 4-20°C en comparación a aquellas con temperaturas de 20-35°C [8].

El compostaje también es considerado un tratamiento térmico, pero el mismo se trata con más detalle más adelante.

Alcalinidad con adición de ceniza y cal

El tratamiento de alcalinidad involucra el incremento del pH en el sitio de almacenamiento. La adición de material alcalino, como ceniza de madera o cal puede lograr un valor de pH por arriba de 9, lo que reduce de forma significativa la carga de patógenos durante la recolección y almacenamiento. La mayoría de patógenos prefieren un pH neutro, es decir alrededor de 7. Un pH de

9 o superior reducirá la carga de patógenos con el tiempo, pero para obtener una rápida inactivación es deseable un pH de 11-12 [35].

La adición de ceniza o cal a la excreta, practicada desde hace mucho tiempo, tiene algunos beneficios [35]:

- Reduce el mal olor.
- Cubre el material, lo que reduce el riesgo de moscas y mejora las condiciones estéticas.
- Reduce el contenido de humedad.
- Promueve el decrecimiento de los patógenos a través del efecto del pH alto.

A continuación, en la Tabla 2.3 se presentan los resultados de estudios donde las heces han sido tratadas con un aditivo para elevar el pH.

ÁREA DE INVESTIGACIÓN	TIPO DE INODORO	ADITIVO	pH - T° - H°	RESULTADOS MÁS IMPORTANTES	REFERENCIAS
Vietnam (durante la estación seca y cálida).	12 letrinas, todas desviadoras de orina, la mayoría de doble cámara o de varios contenedores.	Cenizas vegetales y hojas. 200-700 ml por uso.	pH: 8,5-10,3 T°: 31-37 °C H°: 24-55% (valores promedio para cada letrina).	Experimentos controlados del decrecimiento en pruebas de desafío. El pH es considerado el factor más importante para el decrecimiento. La viabilidad de *Ascaris* es del 0-5% después de 9 semanas (excepto en 2 letrinas). El pH en combinación con la T° afecta el decrecimiento.	[36]
Sudáfrica (clima cálido a frío)**.**	Varios inodoros desviadores de orina.	pH:8,6-9,4 H°: 4-40% .	Viruta de madera.	Organismos presentes en el material *Después de 10 meses:* todos los indicadores presentes en grandes cantidades. Se encontró presente *Salmonella. Después de 12 meses más*: *Streptococcus* fecal, clostridios y coliformes presentes, *Salmonella* ausente.	[37]
Sudáfrica	2 inodoros desviadores de orina.	Viruta de madera + volteo.	pH:8,4-8,6 H°: 4-9%.	Organismos presentes en el material *Después de 2 meses:* Indicadores presentes, excepto coliformes. *Salmonella* ausente.	[36]
El Salvador	118 letrinas de doble cámara con desviación de orina, 38 letrinas solares de una cámara.	Cal, cenizas o mezcla de tierra y cal.	pH: 6,2-13,0	Organismos presentes en el material Coliformes fecales inactivados después de 500 días. El pH fue el factor más importante. *Ascaris* inactivados después de 450 días (pH >11), después de 700 días (pH 9-11). La T° fue el mayor agente de inactivación.	[38]
China	2 letrinas	Cenizas vegetales mezcladas con heces en una relación 1:3	pH: 9-10 T°:-10-10°C	Pruebas de desafío controladas y organismos presentes en el material *Después de 3 meses* reducción de *Salmonella typhimnurium* y coliformes fecales. 1% de viabilidad de *Ascaris*	[39]

Tabla 2.3. Resumen de los resultados de estudios donde las heces han sido tratadas con un aditivo para elevar el pH. Fuente: modificado de [35].

La adición de un químico elevador de pH tendrá varios beneficios y tiene el potencial de inactivar patógenos. Las condiciones para lograr una remoción total de patógenos pueden variar debido a circunstancias locales.

Incineración

La incineración de las heces minimiza el riesgo de transmisión de enfermedades relacionado con el uso final de la ceniza ya que todos los patógenos serán removidos. La ceniza es un buen fertilizante rico en fósforo y potasio. De todos modos la manipulación primaria involucra riesgos higiénicos.

Compostaje

El compostaje es la descomposición biológica, controlada y aeróbica de un sustrato orgánico. El mismo involucra varias fases, que pueden ser termofílica y mesofílica si se considera la evolución de la temperatura; y activa y de estabilización si se considera la intensidad de la actividad microbiana. A su vez, estas fases están interrelacionadas y dependen de las características del sustrato y la composición de la flora microbiana, que también evolucionan a lo largo del proceso [40]. En lo que respecta a las etapas térmicas, el proceso comienza con una etapa mesofílica inicial donde actúan microorganismos mesófilos. Esta etapa es relativamente corta (1 a 3 días), si las condiciones de aireación y estructura son adecuadas. Cabe destacar que los materiales susceptibles a ser compostados poseen diversas relaciones C/N, razón por la cual la proporción de los distintos materiales a incorporar deberá, en la medida de lo posible, encontrarse en el rango de una relación C:N de 25-30. Luego ocurre la etapa termofílica, donde la temperatura se encuentra en un rango de 45 a 75°C. La microflora mesófila es sustituida por la termófila y normalmente en esta etapa se eliminan los patógenos mesófilos, hongos, esporas y la mayoría de los compuestos u organismos indeseables. Esta etapa es crítica para la higienización del material [41]. Luego ocurre la segunda etapa mesofílica, esta fase comienza con el descenso de la temperatura, que se sitúa por debajo de los 40°C. En esta etapa se desarrollan nuevamente microorganismos mesófilos que utilizan los materiales más resistentes a la biodegradación. Finalmente ocurre la etapa de maduración, aquí la temperatura desciende hasta valores cercanos al ambiente. Se producen reacciones de condensación y polimerización que forman sustancias húmicas y se degradan sustancias fitotóxicas, además desciende la actividad metabólica [41].

En la Figura 2.25 se presenta el esquema de las distintas fases mencionadas.

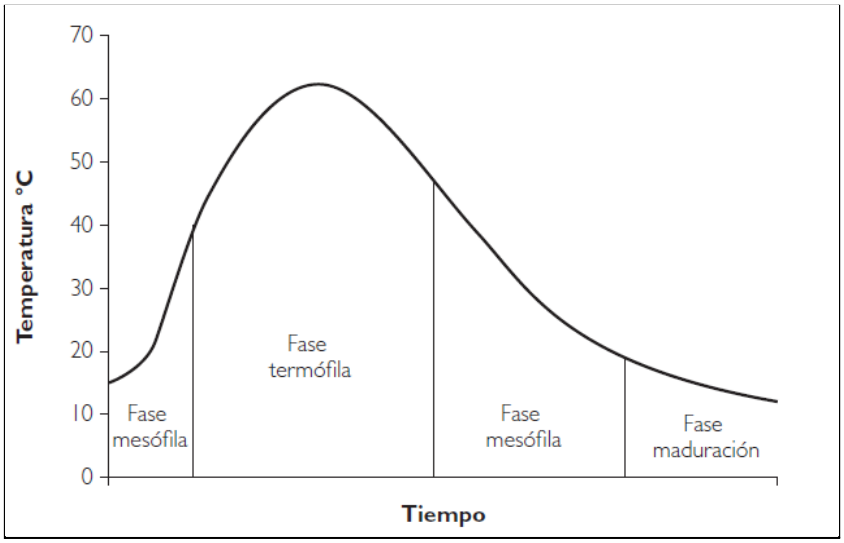


Figura 2.25. Fases del compostaje en función de la temperatura. Fuente: [41].

El compostaje de heces humanas es un proceso natural que ha sido considerado una opción viable para el tratamiento de la materia fecal recolectada de forma separada de la orina. Sin embargo, es difícil lograr a pequeña escala un compostaje térmico con una degradación efectiva del material orgánico y temperaturas termofílicas. El contenido de humedad, la aireación y la relación C:N tienen que ser los apropiados para que el proceso siga su curso con suficiente aislamiento y/o abultamiento para permitir el incremento de temperatura. En el compostaje mesofílico la inactivación de los patógenos ocurre a grados de temperaturas variables dentro de semanas o meses. Por tanto no es recomendado a menos de que los procesos mesofílicos estén combinados con otros procesos [8].

Para compostar las heces es necesario añadir material voluminoso, como madera o astillas de la corteza, para permitir la aireación. Se conoce que el pH óptimo para el crecimiento de las bacterias y otros organismos que actúan en el compostaje está en el rango de 6,0 a 8,0 [35].

Lombricompostaje

El lombricompostaje o vermicompostaje es una variante del proceso de compostaje que también se utiliza actualmente de manera eficaz para la bioconversión de subproductos orgánicos en recursos agrícolas [39].

Las lombrices son agentes de fragmentación y aireación y obtienen los nutrientes necesarios para su metabolismo de los microorganismos que crecen en la materia orgánica. A medida que el material es ingerido, es particulado y aumenta su actividad microbiana [40]. Las lombrices transforman la materia orgánica a través de la acción enzimática llevada a cabo en su sistema digestivo concentrando, en sus deyecciones, nutrientes los cuales luego se presentan más disponibles para las plantas [42].

Las lombrices son animales invertebrados del tipo anélidos, es decir, gusanos segmentados. Son hermafroditas y depositan sus huevos protegidos en una cápsula llamada cocón. Hasta la actualidad se conocen entre 6 y 7 mil especies diferentes de lombrices, siendo la más conocida la *Lumbricus terrestris* (lombriz de tierra); esta vive exclusivamente en la tierra y se alimenta de la materia orgánica descompuesta presente en los suelos [43]. Solo algunas especies son usadas para el vermicompostaje, siendo la especie *Eisenia fetida*, más conocida como lombriz roja californiana, la más utilizada. Esto es debido a que dicha especie posee tasas de reproducción altas y son más voraces que otras especies.

Las principales diferencias entre el proceso de compostaje y vermicompostaje es que este último involucra la acción conjunta de lombrices y microorganismos, y transcurre a temperaturas mesofílicas, ya que temperaturas > 35ºC resultan letales para las lombrices. Además, la humedad requerida durante el vermicompostaje (70-90%) es mayor que en el compostaje [40].

Una desventaja del vermicompostaje es que el material original debe ser extendido para evitar altas temperaturas, lo cual requiere mucha superficie para producción a gran escala [40].

En algunos casos, sobre todo a gran escala, también se utiliza una combinación de compostaje y vermicompostaje. En otras palabras, se realiza un compostado del subproducto orgánico previo al agregado de las lombrices, lo cual presenta la ventaja de incluir una etapa termofílica para la reducción de patógenos [40]. Las lombrices son incorporadas luego de ocurrida dicha etapa termofílica, es decir en la segunda etapa mesofílica.

El vermicompostaje de heces humanas es un tema menos estudiado hasta el momento, que el vermicompostaje de otros residuos orgánicos, como restos de vegetales y estiércol de animales. En el apartado siguiente se menciona un trabajo de doctorado en donde se realizó un estudio con

vermicompostaje de heces humanas, y una experiencia llevada a cabo en un Parque Nacional en Canadá, donde también se utilizaron lombrices como tratamiento de las heces humanas.

Disposición final de las heces

La forma más simple y efectiva para la disposición de la materia fecal que ya sufrió un tratamiento previo, como los anteriormente mencionados, es el enterramiento *in situ*. Este método es posible en áreas rurales o periurbanas con suficiente espacio. La materia fecal tratada debería enterrarse a una profundidad mínima de 25 cm para prevenir que ésta vuelva a la superficie en caso de lluvias copiosas o excavaciones, ya sean humanas o animales. Dichos sólidos deben estar enterrados al menos 1,5 m por sobre la capa freática, y a un mínimo de 30 m de los pozos de agua potable. Con el tiempo, éstos se mineralizan y se convierten en un material libre de patógenos. Sin embargo, la muerte total de los huevos de algunos gusanos en el suelo puede ser bastante más lenta: el ascaris, por ejemplo, es viable por más de 10 años en suelos húmedos. Por lo tanto, los sitios de disposición deben estar claramente delimitados.

Otra de las opciones es utilizar el producto final como abono para los suelos en el lugar o en otro sitio. Esto puede ocurrir únicamente si el tratamiento se llevó a cabo correctamente y si se tiene la certeza de la eliminación completa de patógenos. Debido a esto es recomendable realizar un análisis en laboratorio de dichos sólidos y poder constatar si el tratamiento que sufrieron resultó efectivo.

Investigaciones relevantes sobre la temática

Se llevó a cabo un estudio, en el marco de una tesis doctoral, cuyo autor es Geoffrey Becker Hill [44] en donde se realiza un análisis de tratamiento y gestión de los desechos humanos en sitios remotos de entre 50 y 2200 msnm, y de una amplia variedad de condiciones climáticas de América del Norte, Suiza y Francia. Se tuvo en cuenta costos operativos y de gestión, rendimiento con respecto a reducción de masa y patógenos, y el riesgo que representan para los usuarios, operadores y el ambiente.

En uno de los capítulos del trabajo se menciona el análisis de compostajes de desechos humanos provenientes de baños tipo letrinas (MLMC, por sus siglas en inglés) donde se mezclan las materias primas juntas (orina y heces) y los microorganismos llevan a cabo la descomposición de forma aeróbica; y en baños con compostaje (SSVC, por sus siglas en inglés) con lombrices (vermicompostaje) donde la orina y la materia fecal están separadas. Las lombrices de tierra se utilizan para degradar la materia fecal. La humedad se conserva con algún tipo de revestimiento, como paja o algún material similar.

En las letrinas, como se dijo anteriormente, no hay desviación de orina. En ellas se introduce orina, heces, papel higiénico y agente de carga, como aserrín y/o viruta. El líquido se filtra y el sólido es retirado para su compostaje. Este sistema requiere el mezclado y rastrillado de los sólidos con el agente de carga. En cambio, en los baños de vermicompostaje, los sólidos son depositados en algún contenedor, donde las lombrices de tierra convierten la materia fecal y el papel higiénico en vermicompost. Los gusanos pueden sobrevivir a temperaturas cercanas a cero, sus capullos pueden sobrevivir a temperaturas de congelación y las poblaciones se han mantenido igual de viables incluso a 2400 msnm.

El estudio concluye en que los inodoros SSVC tienen bajos costos anuales de operación y mantenimiento, un mecanismo de reducción considerable de patógenos y de masa, requiere riesgos operacionales mínimos, no requiere agente de carga, reduce los productos finales al 41% de la masa seca de materia prima inicial de excrementos y produce un producto final maduro con pH neutro, todo esto incluso cuando el sólido se encuentra expuesto a bajas temperaturas. Además el producto

final presentó bajo contenido de amoníaco libre y abundante nitrato. La edad promedio del material muestreado fue de 3 años.

Los MLMC tienen costos de operación y mantenimiento 10 veces más altos, no emplean mecanismos comprobados de reducción de patógenos, prácticamente no se detectaron temperaturas > 50°C en las pilas analizadas, presentan recuentos altos y altamente variables de *E. coli*, producen 10 veces más eventos de exposición del operador, requieren agente de carga lo que produjo un aumento en masa del producto final en un 274%, y no producen un producto final maduro. El producto final de MLMC de todos los sitios estudiados no fue apto para descargar en ambientes de parques públicos.

En otro de los capítulos de la tesis se describe el análisis llevado a cabo en el Parque Provincial Bugaboo, Canadá, en donde realizaron el diseño y la prueba de 3 sistemas alternativos de tratamiento de desechos humanos en una cabaña, similar a un refugio de montaña, ubicado a 2100 msnm. Los 3 sistemas eran inodoros con separación de orina. Se realizaron 3 pruebas distintas para el tratamiento de las heces. Una de ellas consistió únicamente en llevar a cabo la desviación de orina, en otra prueba se realizó la desviación de orina más deshidratación, por medio de radiación solar, de las heces; y el tercer sistema consistió en realizar la separación de la orina para luego someter las heces a un proceso de desecación mediante su incineración. Los resultados obtenidos fueron que la desviación de orina de las heces redujo en un 60% el volumen total de excretas (orina + heces); el proceso de deshidratación redujo en un 34% la masa de excretas pero la tecnología utilizada requería un alto nivel de amperaje constante, lo cual es poco probable en zonas remotas. En cuanto al último tratamiento, la incineración no fue efectiva.

En relación a la orina se hace mención que, al desviarla de la materia fecal, es posible obtener un mejor control de la humedad del excremento sólido, así como evitar la presencia de amoníaco en el mismo, el cual es tóxico para las condiciones de desarrollo de las lombrices y algunos microorganismos. De esta forma se logran las condiciones para el vermicompostaje. También, al realizar la separación de la orina, es posible tratarla o eliminarla en el sitio.

La orina puede ser desviada en sistemas de aguas grises preexistentes para lograr su dilución y así reducir la posibilidad de que ocurra la precipitación de estruvita, la cual puede causar obstrucciones en el sistema. Además, si no se presenta diluida, puede causar problemas de eutrofización. Debido a los recursos limitados, se menciona que solo dos métodos de tratamiento de orina pueden aplicarse de manera realista en ubicaciones remotas: dispersión en terreno de infiltración y/o evaporación.

Las condiciones que afectan la velocidad y la fiabilidad de la evaporación dependen de la latitud, clima, estación, aspecto y topografía del sitio. Sin embargo, existen numerosos desafíos prácticos que deben superarse antes de que la evaporación de orina se convierta en una herramienta confiable y de bajo costo para el manejo de desechos que incluye: almacenamiento de orina durante períodos de baja demanda de evaporación (noche, mal tiempo, invierno); suministro de orina durante la alta demanda de evaporación (durante el día + verano); gestión de olores (amoniaco volatilizado); manejo de plagas; operación y mantenimiento y resistencia estructural contra el clima de montaña.

A la hora de infiltrar la orina en un terreno de infiltración, se menciona que la misma se presenta de forma mucho más concentrada que en los efluentes provenientes de un sitio urbano, como un hogar, ya que en este último la orina se encuentra diluida con el resto de los efluentes domiciliarios. Las dimensiones de un terreno de infiltración son establecidas para estos últimos efluentes por lo que, al estar concentrada, se requerirá un área más grande para así evitar una posible eutrofización del terreno, así como efectos negativos sobre la actividad microbiana. Para minimizar el riesgo, se define que la orina podría ser descargada en un campo diez veces mayor que el requerido por los

cálculos estándar de terrenos de infiltración. De todos modos se menciona que dicho factor de ajuste de diseño puede ser mayor si se realizan investigaciones futuras.

En otro de los capítulos se analizó el efecto del vermicompostaje sobre la reducción de patógenos, principalmente sobre *E. coli* y anquilostomas, usando para el análisis de estos últimos óvulos de la especie *Ascaris suum,* la cual es un nemátodo parásito, que puede estar presente en el intestino humano. Se llevó a cabo la inoculación de una alta concentración de *Ascaris suum* en heces humanas, agregando lombrices rojas californianas como las encargadas del proceso de lombricompostaje. Se concluyó que es necesario un tratamiento adicional para asegurar la destrucción de anquilostomas, ya que el proceso de vermicompostaje no garantiza la remoción de dicho patógeno. En cambio sí se observó una amplia reducción de *E.coli.*

Como postratamiento de los desechos sólidos se sugiere el agregado urea (aumenta la concentración de amoníaco) y cenizas (aumenta el pH) para elevar las concentraciones de amoníaco, y de este modo lograr la desinfección deseada. Si bien aquí se mostró que el vermicompostaje no pudo completar la desinfección, se puede utilizar como un método de bajo costo para estabilizar y madurar las heces; procesos que son valiosos en los aspectos prácticos de la gestión de residuos y esencial en el desarrollo de compost adecuado y beneficioso cuando se reutiliza. El vermicompostaje también es muy útil para estabilizar y aumentar el contenido de nitrato del producto final aumentando su valor como fertilizante.

Experiencia en Parque Nacional y Reserva Denali, Alaska

En el Parque Nacional y Reserva Denali, Alaska llevó a cabo un estudio [45] de compostaje de desechos humanos. Dicho Parque cuenta con un gran número de visitantes, siendo un gran porcentaje escaladores, ya que es un ambiente de montaña. Debido a esto los excrementos humanos son un tema importante para las autoridades del Parque.

El Parque exige, hace varios años, a los visitantes el uso del sistema Clean Mountain Can (CMC) el cual es un inodoro portátil que consiste en un contenedor cilíndrico con tapa y tiene la capacidad de almacenar desechos humanos de 10 a 14 usos. Dichos desechos constan principalmente de heces humanas y papel higiénico. El contenido de los mismos era vaciado y transportado hacia una planta de tratamiento de aguas residuales de una localidad cercana. Para evitar esto el Parque llevó a cabo un estudio realizando vermicompostaje de los desechos, con asesoría de Hill [44].

Llevaron a cabo la construcción de dos cajas o contenedores de madera al aire libre, sobre el suelo, sin aislar, uno como control (con solo contenido del CMC) y otro como contenedor de estudio (con contenido del CMC más gusanos y adiciones menores). El volumen de cada una fue de aproximadamente 0,7 m^3. El contenido de CMC en ambos casos fueron heces humanas y papel higiénico. El contenedor de estudio almacenó contenido de CMC al cual se le agregó un peso igual de compost de jardín, que incluía una pequeña cantidad de gusanos locales (*Dendobaena octaedra*). El compost fue incorporado con la finalidad de proporcionar a los gusanos una base de materia orgánica estable para sus actividades de descomposición. Luego de un par de días se agregaron 4000 lombrices rojas compradas comercialmente (*Lumbricus rubella*), que son más voraces, para acelerar el proceso de vermicompostaje. Todo esto fue llevado a cabo durante el primer mes de la estación estival del año 2012.

Un aspecto clave del estudio fue que los desechos humanos tenían que estar relativamente libres de orina. Las bolsas de revestimiento del CMC y el papel higiénico podrían ser compostados, pero si los desechos humanos hubiesen contenido demasiada orina, las sales y el amoníaco habrían sido letales para los gusanos. Hacia fines de la temporada de verano se analizaron muestras tomadas del

contenedor en estudio, las cuales arrojaron resultados demostrando que los gusanos habían reducido los niveles de bacterias en aproximadamente un 90% en relación a lo que se esperaría de los desechos humanos en bruto, e indicaron que el contenedor presentaba un ambiente ideal para vermicompostaje.

El estudio continuó durante el año 2013. Durante la temporada invernal 2012-2013 el compost alcanzó temperaturas mínimas de -10°C. Las lombrices rojas introducidas resultaron sensibles al congelamiento, no sobrevivieron, por lo que en mayo de 2013, fueron agregados más gusanos locales al contenedor de estudio. Estos últimos, al ser autóctonos, sobrevivieron al ambiente de Alaska. Para octubre de 2013, el contenedor de estudio contenía el producto de casi dos veranos de vermicompostaje. El material se encontraba estabilizado, de características similares al suelo negro. Se analizaron muestras, las cuales indicaron niveles no detectables de coliformes fecales y *E. coli* (99,99% de destrucción de patógenos). Sin embargo, realizaron un paso de desinfección adicional para asegurarse de que hubo una muerte del 100% de todos los patógenos nocivos, incluidos virus, protozoos y anquilostomas. Para ello agregaron una combinación de fertilizante de urea y cenizas; la urea aumenta la concentración de amoníaco y la ceniza aumenta el pH. Los niveles altos de amoníaco y de pH son letales para todas las formas de vida, incluidos los patógenos más resistentes y los gusanos. Luego de un mes de dicho agregado y coincidiendo con el inicio de la etapa invernal se volvieron a tomar muestras para su respectivo análisis. Los resultados confirmaron que no había rastros de coliformes fecales ni *E. coli* en el compost. En cuanto al contenedor de control, el tiempo solo no fue suficiente para compostar los desechos del CMC, la materia fecal presentaba las mismas características estructurales dos años después. No se llevaron a cabo análisis debido a que, por las características que presentaban las excretas, fue supuesto que no hubo reducción de patógenos ni estabilización de las mismas.

Experiencia El Chaltén - Entrevista a voluntario de la experiencia

En la localidad de El Chaltén, Santa Cruz, más precisamente dentro del Parque Nacional Los Glaciares, Argentina, se llevó a cabo la construcción de un baño con separación de orina. El mismo fue construido en las inmediaciones de la Laguna Capri, uno de los sitios agrestes más visitados del Parque. La construcción fue realizada en el año 2016, por la ONG Acceso Panam.

Se realizó una entrevista a Rolando Garibotti, quien fue una de las personas que ideó el proyecto de la construcción de dicho baño, además de recorrer refugios en distintos sitios de Europa y América, interesado por la problemática y en constante accionar para su solución. A continuación, a modo de ítems se menciona la información brindada por Garibotti.

- *En los senderos y campamentos de la zona norte del Parque Nacional Los Glaciares se utilizan letrinas de pozo, actualmente hay unas 12 letrinas en el Parque. El problema es que este tipo de sistema concentra los desechos en el suelo pero éstos no reciben un tratamiento adecuado y, en ciertos lugares por ser de características morenicas y por haberse excavado letrinas desde los años 90, resulta complicado encontrar lugares donde excavar nuevos pozos.*
- *Las letrinas de pozo no sólo no tratan los desechos, sino que también son muy olorosas y por ello la gente no las usa, haciendo sus necesidades en el bosque.*
- *El área recibe 120000 turistas por año, el 95% de ellos en los tres meses de verano. En los senderos más populares, Laguna de los Tres, o Laguna Torre, se llegan a encontrar más de 1000 personas en un solo día.*
- *Hay preocupación de que los pozos llenos de desechos humanos sin tratar estén contaminando la napa y los cursos de agua adyacentes.*
- *Cerca del año 2010 tomé contacto por primera vez con Geoff Hill (autor de la tesis doctoral [40] anteriormente mencionada). Cuando en 2015 un grupo de escaladores*

norteamericanos, Steffan Gregory, Ethan Neuman, y otros, se acercaron a mí buscando que les sugiriera un proyecto voluntario para la zona, les sugerí intentar mejorar el tratamiento de los desechos, por lo que los puse en contacto con G.Hill. Él los asesoró y sugirió utilizar un sistema con desviación de orina que podía ser construidos con materiales nacionales, debido a los problemas con la importación que hay en el país. (Aquí es importante destacar que desde 2016 aproximadamente, Toilet Tech, la empresa de G. Hill, comercializa los productos de Ecodomeo en EEUU y Canada).

- *La cintas transportadoras estilo ECODOMEO fueron inventadas por la compañía Sanisphere, que las comenzó a comercializar a mitad de los años 90. Están en uso en centenares de refugios de montaña, descansos en autopistas, y otros, tanto en Francia, como Suiza, España, y más recientemente Norteamérica.*
- *G.Hill tenía un diseño propio, que realizó antes de comenzar a comercializar las cintas transportadoras. Es un sistema que consiste en una símil tabla de plástico (ultra high molecular weight polyethylene – material con muy baja porosidad, similar a las tablas plasticas de carnicería), ubicada por debajo del inodoro, en forma inclinada a la cual se incorpora un sistema similar a un limpiaparabrisas. Las heces caen en la tabla y son derivadas a la pila de acopio cuando el usuario abre la puerta del baño, la cual acciona el limpiaparabrisas. Debido a que la tabla de plástico está de forma inclinada, ocurre la separación del líquido y sólido por debajo de la taza, sin requerir acción alguna por parte del usuario.*
- *Para baños públicos en lugares remotos, que no pueden ser mantenidos diariamente, la separación del líquido y sólido no puede ser en la taza ya que ésta se ensucia con demasiada facilidad.*
- *Debido al diseño del sistema, el lugar de acopio de los sólidos era un pozo. A dicha pila se incorporaron lombrices de tierra de la zona de la Laguna Capri. Se realizó un estudio, llevado a cabo por Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química (INTEC) para identificar la especie, obteniendo como resultado que las mismas pertenecen a la especie Dendrodrilus rubidus, de la familia Lumbricidae. El informe de INTEC menciona que Dendrodrilus rubidus es exótica, de origen europeo y fue introducida en América del Norte y Sur, principalmente por el transporte de suelo. En la Argentina está citada en la provincia de Córdoba, Chubut, La Rioja, Santa Cruz, Tierra del Fuego e Islas Malvinas.*
- *Debido a que la pila de acopio se encontraba en un pozo tuvimos inconvenientes, ya que en primavera y otoño se llenaba de agua, por lo que había percolación a la napa freática. Se probó hacer drenajes alrededor de la estructura, pero el problema persistía. No supimos si el problema fue que el agua percolaba desde arriba y los costados, o si se producía un ascenso de la napa freática.*
- *Después de observar las fallas volvimos a contactar a G. Hill, quien nos sugirió cambiar el sistema por una de las cintas transportadoras de ECODOMEO que no solo son más eficientes (mejor separación), sino que pueden ser colocadas en superficie, sin los problemas que ocasiona un pozo.*
- *Actualmente el baño construido en las inmediaciones de la laguna Capri se encuentra cerrado.*
- *Con la tecnología de las cintas se hace la separación de los desechos por debajo de la taza, entonces el usuario no tiene que hacer absolutamente nada. Los he usado en refugios en Suiza y Francia. No se ve nada hacia el interior. Luego de hacer las necesidades, se aprieta el pedal 3 veces y los desechos desaparecen de la vista.*
- *El papel higiénico se puede depositar en la misma cinta, por lo es compostado junto con los sólidos.*

- *El único riesgo en lo que respecta a su funcionamiento es que el usuario tire alguna otra basura que no sea desecho humano o papel higiénico. La ventaja de implementar esto en un refugio, a diferencia de una zona agreste como la laguna Capri, es que un operario controlaría de forma periódica el contenedor de los sólidos.*
- *Todos los refugios en Suiza y en los alpes franceses, donde el agua es un recurso limitado, tienen este tipo de baños, sobre todo en las zonas periglaciares. Todos funcionan de maravilla.*
- *Usé los dos sistemas de baños secos, sin la cinta, en donde la separación de las excretas ocurre en la taza (como en el refugio Ilón) y con la cinta; son dos cosas completamente distintas. Con la cinta solo ves eso, la cinta, no ves los desechos, por lo que la experiencia es agradable. El único problema es cuando algún usuario está con diarrea, ya que eso iría al lecho junto con la orina.*
- *Justo abajo de la cinta hay un símil contenedor que es parte de la unidad, donde se almacena la orina o todo lo que sea líquido. Dicho contenedor se conecta por un tubo al lecho, dirigiendo así el fluido hacia el terreno de infiltración por gravedad. Esto se debe limpiar una vez por semana o cada dos semanas.*
- *El mantenimiento es prácticamente nulo, ya que no se ensucia la taza. El asiento es un cono invertido por lo que es más fino arriba y más ancho abajo. De lo que he escuchado por personas que hacen mantenimiento, lo único desagradable de realizar es la limpieza del contenedor de orina, debido al olor de la misma o de algún otro desecho líquido.*
- *Los desechos sólidos comienzan a almacenarse en el contenedor, ubicado en el exterior del baño, en forma cónica por lo que el único mantenimiento es romper ese cono cada cierto tiempo, con la ayuda de un pala de mano. Cuando no haya más capacidad hay que remover hacia un costado la pila de sólidos.*
- *G. Hill me comentó que en algunos sitios agregó 2 kg de lombrices cuando arranca la temporada, así comienzan a actuar desde un principio, ya que su accionar puede verse disminuido en el invierno, debido a una reducción de su metabolismo o a la cantidad de lombrices producto de la muerte de algunas. De este modo las lombrices se duplican durante la temporada garantizando el tratamiento.*
- *Para la instalación de las cintas transportadoras lo único que se necesita es un suelo sólido (de material, como cemento) y realizar un agujero en la pared para que la cinta se conecte con el contenedor de sólidos, el cual se encuentra por fuera de la edificación del baño. La cinta se atornilla al piso y comienza a funcionar.*
- *En el Parque Nacional Torres del Paine, Chile se implementó este sistema hace 3 años. Tuvieron muchísimo éxito y ahora están instalando 2 más. La intención es instalar esto en todo el Parque ya que es la primera vez que funciona un sistema, luego de haber probado varias tecnologías* (Se muestran imágenes de la experiencia en el Anexo VII).
- *El compostaje realmente ocurre. Ellos no utilizaron lombrices. Tengo los informes de avance de la persona que instaló el sistema en Paine, el baño tuvo más o menos 40000 usos en la temporada. Al finalizar la misma el operador dejó reposar la pila y al cabo de un año observó un material estable, sin olor. No se distinguían los desechos.*
- *Cada unidad de cinta cuesta 2000*[17] *euros pero desde la empresa están trabajando para reducir el costo a 1000 euros.*

[17] 2000 euros es el valor por unidad, al mes de mayo del año 2020.

2.3 CARACTERÍSTICAS DEL SITIO

El sitio de estudio se ubica en el ambiente del refugio San Martín, más precisamente en donde se ubican los baños externos del mismo. Estos últimos se encuentran ubicados aproximadamente a unos 85 m en dirección noroeste del refugio.

El refugio San Martín es un refugio de montaña, el cual se ubica dentro del Parque Nacional Nahuel Huapi, mas precisamente en la zona sur del mismo. El Parque Nacional se encuentra ubicado en la República Argentina, en la región patagónica. El mismo se extiende entre el suroeste de la provincia del Neuquén y el noroeste de la provincia de Río Negro (Figura 2.26), aproximadamente entre los 40° 08´18" y 41° 35´19" S y los 71° 50´52" y 71°04´45" O [2]. El PNNH integra la Reserva de Biosfera Andino Norpatagónica, declarada por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) en 2007.

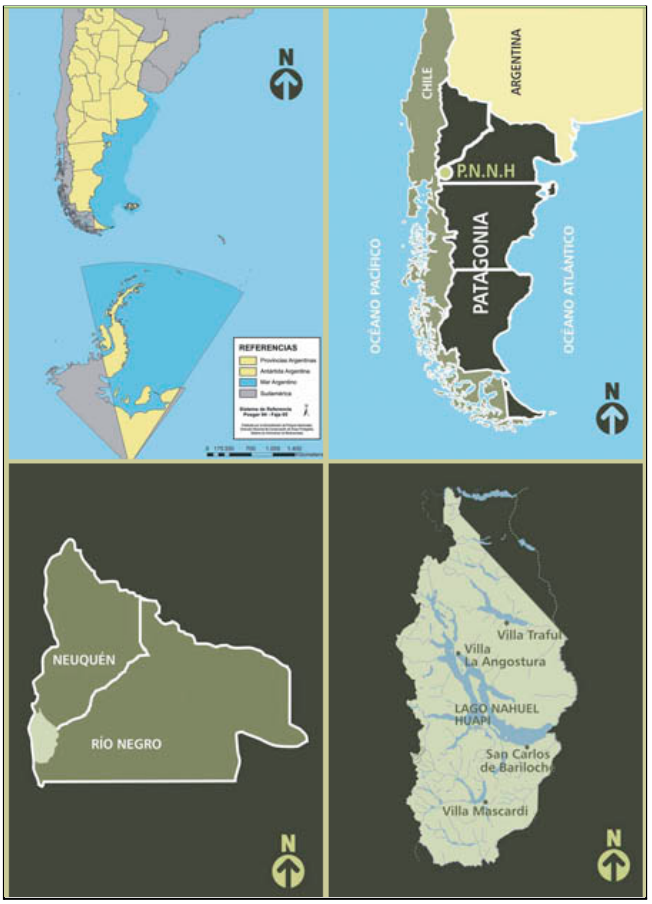


Figura 2.26. Ubicación geográfica del PNNH.
Fuente: extraído de [45].

En la Figura 2.27 se muestra la ubicación del PNNH y el sitio aproximado en donde se encuentra el refugio San Martín dentro del Parque.

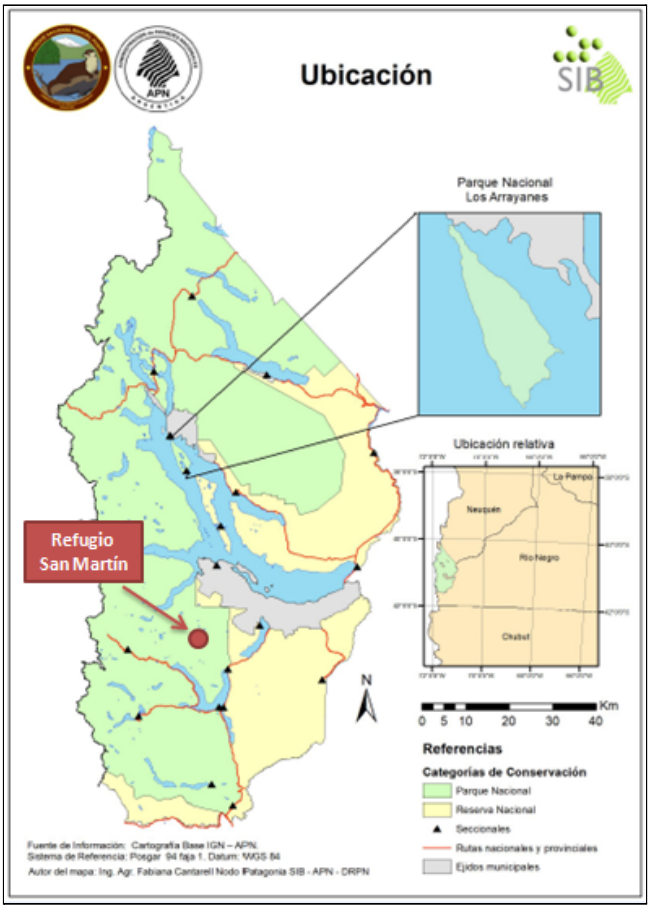


Figura 2.27. Ubicación geográfica del PNNH y el refugio San Martín.
Fuente: modificado de [2].

El refugio San Martín se encuentra en el macizo del C° Catedral, en una zona de alta montaña. El mismo se ubica a orillas del lago Jakob, sobre el margen norte, a 1564 msnm. Es comúnmente denominado refugio Jakob, debido al nombre del lago.

A continuación se muestra la ubicación del refugio en relación a la ciudad de San Carlos de Bariloche (Figura 2.28). Como se mencionó anteriormente, la forma de acceso al sitio es después de varias horas de caminata, arrancando en el Tambo de Baez para continuar por el valle Casa de Piedra, recorriendo así un total de 18 km aproximadamente y un desnivel de 800 m; o por travesía desde el refugio Frey (Figura 2.29).

Figura 2.28. Ubicación del refugio San Martín. Fuente: elaborado en Google Earth.

Figura 2.29. Acceso al refugio San Martín. Fuente: elaborado en Google Earth.

El refugio cuenta con una capacidad de 60 camas aproximadamente, servicio de cocina y sanitarios dentro del refugio (estos últimos utilizados principalmente por el personal y en temporada invernal) y fuera del mismo. Estos últimos son los más utilizados por los visitantes y los estudiados en el presente TFI. A continuación se muestra su ubicación (Figura 2.30).

Figura 2.30. Ubicación de los baños externos. Fuente: elaborado en Google Earth.

2.3.1 Características ambientales

La información disponible en cuanto a clima, vegetación y fauna específica del sitio es escasa, por lo que a continuación se describen dichos factores ambientales en relación al ambiente de alta montaña, que es la zona en donde se ubica el refugio San Martín. No hay estudios realizados por el PNNH en relación al ambiente hídrico y geológico de la zona y tampoco han sido encontrados estudios realizados por otros investigadores.

El ambiente altoandino está conformado por una sumatoria de microhábitats que presentan condiciones ambientales diferentes, las cuales son determinadas por múltiples factores, como el gradiente de precipitaciones oeste-este, la altitud, la exposición, la insolación, el tipo de sustrato, la existencia de grietas y la presencia de plantas nodrizas. Estos microhábitats determinan una

diversidad ambiental y de especies muy grande. Las glaciaciones del período Cuaternario tuvieron los efectos más importantes, casi todo el relieve está condicionado, directa o indirectamente, por geoformas y sedimentos de origen glacial, glacifluvial y glacilacustre. En particular, en la región ocurrieron procesos geomórficos de tipo glaciar de montaña [2].

Clima

El clima de la región está dominado, principalmente, por las masas de aire provenientes del Océano Pacífico. El movimiento estacional de los sistemas de baja y alta presión determina el patrón de las precipitaciones. El 46% de la precipitación anual ocurre durante el invierno, mientras que en el otoño se acumula el 27% [2]. El período estival corresponde a la etapa más seca del año.

La información disponible sobre precipitación nívea es escasa e incompleta en la zona, por la ausencia de registros meteorológicos en sitios de alta montaña.

La estación[18] meteorológica del C° Catedral, ubicada a 2000 m de altura y cuyas coordenadas son longitud: -71,62° y latitud: -41,25°, es representativa de la zona de alta cordillera y registra una temperatura media anual de 2,1°C. En cambio, las estaciones de Pampa Linda y Tronador, ubicadas a 830 y 800 m de altura, presentan una temperatura media anual de 7,0 y 7,4°C. La temperatura media del mes más cálido (enero) es de 8,0°C en el C° Catedral; y durante la estación invernal, las temperaturas medias del mes más frío (julio) alcanzan los -2,6°C [2]. La precipitación total anual es de 1200 mm. Estos datos fueron obtenidos durante el período de años de 1961-1970 y 1981-1990.

El refugio se ubica aproximadamente a 7,5 km de la cumbre del C° Catedral, y a unos 18,5 km de Pampa Linda, ambas distancias en línea recta (valor estimado en Google Earth).

Es importante destacar que, si bien no se tienen registros de precipitaciones níveas, la zona en donde se encuentra el refugio es un sitio que recibe fuertes nevadas, alcanzando valores aproximados de hasta más 2 m de altura de nieve, pudiendo superar dichos valores en algunos inviernos muy fríos.

A consecuencia del cambio climático se espera que, durante los próximos 20-30 años, se profundice la tendencia hacia veranos cada vez más cálidos e inviernos más templados y secos en la Patagonia Norandina. Al 2010, la isoterma de los 0ºC ascendió altitudinalmente 300 m durante los 20 años previos y, consecuentemente, la línea de nieve regional se ubicó 200 m más alta [2].

Flora

La vegetación de alta montaña se conoce como semidesierto de altura, dado que la cobertura vegetal es de alrededor del 20%. Predomina un estrato arbustivo herbáceo con una altura inferior a los 25 cm. Las plantas altoandinas son, en su mayoría, hierbas perennes y subarbustos con forma de cojín o arrosetados. Las formas de vida arbustivas están restringidas a los sitios de menor altitud y las plantas anuales son escasas. Si bien predomina el semidesierto, también existen prados o vegas de altura. Éstos se forman en las cabeceras de cuenca, en donde convergen numerosos cursos de agua, las pendientes son más suaves y los suelos presentan mal drenaje. El bosque de lenga ocupa las laderas de mayor altitud dentro del PN, desde los 900 hasta los 1600 msnm, en formaciones monoespecíficas, aunque en las zonas más bajas crece junto al coihue. La especie se caracteriza por su crecimiento en forma de matorrales achaparrados en las zonas altoandinas [2] .

[18] Se hace mención de la estación del C° Catedral considerando a ésta como la más representativa del clima de alta montaña, ya que no hay estaciones meteorológicas más cercanas al refugio San Martín.

Fauna

En la región predomina fauna de origen austral que está relacionada con la de Nueva Zelandia, Australia y Tasmania, aunque también incorpora elementos de origen neártico y tropical, así como algunos endemismos a nivel de géneros *(Irenomys*,*Hylorina, Batrachyla,* etc.) o familias (Microbioteridae, Rhinodermatidae y otras). Una característica destacable de la diversidad faunística de la zona andina del Parque Nacional es el alto nivel de endemismos, particularmente de anfibios, reptiles e insectos [2].

La zona altoandina cuenta con mallines de altura, algunos de ellos son valiosos por su integridad ecológica y representan hábitats claves para sostener la biodiversidad y poblaciones de Especies de Valor Especial (EVE) amenazadas. Algunos humedales se encuentran asociados a lagos o lagunas, como es el caso del contiguo al lago Jakob, el cual cuenta con fauna acuática y semiacuática prioritarias para la conservación [2].

2.4 MARCO NORMATIVO

Normativa Internacional

Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible [46]: documento que se aprobó en la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible realizada en Nueva York en septiembre de 2015. Los Estados Nacionales miembros de la Organización de Naciones Unidas (ONU) aprobaron en dicho documento 17 Objetivos y 169 Metas que deberían ser cumplidos de aquí al 2030. Esta iniciativa, que instala la vinculación de la sostenibilidad ambiental con la inclusión social y atención de las necesidades de los más vulnerables, entró en vigencia el 1 de enero del 2016. Argentina se adhirió a dicha agenda, donde en el año 2016 inició el proceso de adaptación de las metas a la realidad nacional.

Dentro de los 17 objetivos, se destaca aquí el número 6, denominado “agua limpia y saneamiento”, el cual está conformado por 6 metas. Aquí se menciona la meta 6.3, la cual establece *mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos, reduciendo el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial.* También se destaca la meta 6.6, la cual menciona *proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos los bosques, las montañas, los humedales, los ríos, los acuíferos y los lagos.*

Normativa Nacional

Artículo 41 de la Constitución Nacional [47]: garantiza que todos los habitantes gozan del derecho a un ambiente sano, equilibrado, apto para el desarrollo humano y para que las actividades productivas satisfagan las necesidades presentes sin comprometer las de las generaciones futuras; y que tienen el deber de preservarlo. También indica que las autoridades proveerán a la protección de este derecho, a la utilización racional de los recursos naturales, la preservación del patrimonio natural y cultural, y de la diversidad biológica, y a la información y educación ambientales.

Ley N° 25675/02 “Ley General del Ambiente”[48]: es una ley de presupuestos mínimos, que establece en el Artículo 1 los presupuestos mínimos para el logro de una gestión sustentable y adecuada del ambiente, preservación y protección de la diversidad biológica y la implementación del desarrollo sustentable; fija los objetivos que debe cumplir la política ambiental nacional.

Ley N° 22351/80 “Parques Nacionales”[49]: entró en vigencia en el año 1980 y hace referencia a la creación y dominio público de De los Parques Nacionales, Monumentos Naturales y Reservas Nacionales.

En el Artículo 1 se menciona que dichas áreas deben ser protegidas y conservadas para investigaciones científicas, educación y goce de las presentes y futuras generaciones, con ajuste a los requisitos de Seguridad Nacional. En el Artículo 6 se detalla que “a tales fines y siempre que resulte justificado en virtud de un interés general manifiesto, el Poder Ejecutivo Nacional a propuesta de la Administración de Parques Nacionales (APN), que exprese que no significará una modificación sustancial del ecosistema del lugar, podrá acordar, mediante decreto singular, autorización para construir edificios o instalaciones destinados a la actividad turística y, en tal caso, se faculta al Poder Ejecutivo Nacional a otorgar -con todos los mencionados recaudos- concesiones de uso, de hasta treinta (30) años”.

En el Artículo 14 se menciona que la APN será autoridad de aplicación de la presente ley, quien tiene competencia y capacidad para actuar respectivamente en el ámbito del derecho público y privado.

En el Artículo 18, relacionado a Las Atribuciones y Funciones de los Parques Nacionales, se menciona, entre otras atribuciones, que son los encargados de conservación y manejo de los Parques Nacionales en su estado natural, de su fauna y flora autóctonas y, en caso necesario, su restitución, para asegurar el mantenimiento de su integridad, en todo cuanto se relacione con sus particulares características fisiográficas y asociaciones bióticas animales y vegetales.

Continuando con el Artículo 18, se agrega que las mencionadas instalaciones podrán ser construidas por la actividad privada o por la APN, pero no explotadas directamente por ésta sino por concesión. En los casos en que la actividad privada no tenga interés, podrá explotarlas directamente con fines de fomento. También se deben encargar de la autorización de los proyectos de construcción privados, fijando normas para su ejecución, a fin de asegurar la armonía con el escenario natural, sin alterar los ecosistemas ni provocar contaminación ambiental y teniendo en cuenta las normas legales atinentes a Zonas de Seguridad y Zonas de Frontera.

También se agrega, en el mismo Artículo 18, que “salvo el caso previsto en el párrafo del artículo 6 mencionado anteriormente, dentro de las áreas que integran el sistema de la ley, la APN será la autoridad exclusiva para la autorización y reglamentación de la construcción y funcionamiento de hoteles, hosterías, refugios, confiterías, grupos sanitarios, campings, autocampings, estaciones de servicio u otras instalaciones turísticas, así como para el otorgamiento de las respectivas concesiones y la determinación de su ubicación, la que coincidirá en todos los casos con los objetivos y políticas fijadas tanto para el turismo como la Seguridad Nacional”.

En el Artículo 32 se menciona que el PNNH integra el sistema de Parques Nacionales, Monumentos Naturales y Reservas Nacionales establecido en la ley 12103 y modificatorias, leyes 14487, 19292,20594, 21602.

Resolución HD 241/07 [50]: establece el Reglamento de Construcciones para los Parques Nacionales, Monumentos Naturales y Reservas Nacionales. En la sección tercera se hace mención a la instalaciones sanitarias, citando que es obligatoria la instalación de servicios sanitarios en todos los predios en los que se construyan edificios destinados a vivienda, comercio, lugar de trabajo y/o esparcimiento con ajuste a las reglamentaciones establecidas por Obras Sanitarias de la Nación, a las normas específicas que establece este Reglamento y toda otra especificación que supletoriamente resulte de aplicación. Dentro de dichos servicios sanitarios, aquí se destaca la mención a la

eliminación de aguas servidas. En relación a esto dicha resolución hace mención que en las zonas sin red colectora es obligatoria la ejecución de instalación para el vertido de aguas servidas, mediante sistema estático para la disposición final de los efluentes, quedando expresamente prohibido su vertido a terreno natural sin tratamiento ni a cursos o espejos de agua en forma alguna.

Resolución HD N 203-16 [51]: la misma complementa a la ley 22351, en la cual se establece el Reglamento para la Evaluación de Impacto Ambiental en áreas de la APN. Dicho reglamento, en su Artículo 1, menciona que el mismo tiene por objeto establecer el procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) y los instrumentos o herramientas de evaluación y monitoreo ambiental que se requerirán para la evaluación y toma de decisión con respecto a la ejecución de proyectos públicos o privados a llevar a cabo en las áreas sujetas al régimen de la ley 22351.

Resolución 378-E/2017 [52]: el Ministerio de Salud de la Nación, mediante dicha resolución, resuelve en su Artículo 1 las directrices sanitarias para baños secos. Éstas tienen como objetivos establecer pautas sanitarias de calidad, comunes para todo el país, para el uso adecuado de baños secos con separación de orina a fin de prevenir riesgos. También proponer acciones de divulgación y programas de educación al usuario y establecer un indicativo de parámetros de control y vigilancia, a fin de mejorar el esquema regulatorio a nivel local y, minimizar y manejar los riesgos, a través de una rápida y eficiente intervención de los organismos responsables, así como en la preservación de la salud ambiental (minimizar los riesgos de origen ambiental para disminuir impactos negativos en la salud) en todos sus aspectos. El Ministerio de Salud considera que de todos los sistemas de tratamiento conocidos, el único que tiene un círculo virtuoso alimento-humano—tierra— alimento, es el baño seco con separación de orina no requiriendo aporte de energía extra en todo su proceso. Que al no utilizar agua potable o aguas grises para evacuar las heces, no contamina las napas freáticas y además aporta nutrientes de fácil absorción a los suelos.

Normativa Provincial

Constitución de la Provincia de Río Negro [53]: la misma, en la Segunda Parte, Sección Quinta, define las políticas de recursos naturales.

En el Artículo 70, en relación al dominio de los mismos, se hace mención que la provincia tiene la propiedad originaria de los recursos naturales existentes en el territorio, su subsuelo, espacio aéreo y mar adyacente a sus costas, y la ejercita con las particularidades que establece para cada uno. La ley preserva su conservación y aprovechamiento racional e integral, por sí o mediante acuerdo con la Nación, con otras provincias o con terceros, preferentemente en la zona de origen. La Nación no puede disponer de los recursos naturales de la Provincia, sin previo acuerdo mediante leyes convenio que, contemplen el uso racional del mismo, las necesidades locales y la preservación del recurso y de la ecología.

En el Artículo 71, en relación al régimen de aguas, establece que son de dominio del Estado las aguas públicas ubicadas en su jurisdicción, que tengan o adquieran aptitud para satisfacer usos de interés general. El uso y goce de éstas debe ser otorgado por autoridad competente. El Código de Aguas regla el gobierno, administración, manejo unificado e integral del recurso, la participación directa de los interesados y el fomento de aquellos emprendimientos y actividades calificados como interés social. La Provincia concerta con las restantes jurisdicciones el uso y aprovechamiento de las cuencas hídricas comunes.

En el Artículo 77, en relación a los Parques, la Provincia declara zonas de reserva y zonas intangibles a los mismos. Reivindica el derecho a participar en forma igualitaria con la Nación en la

administración y aprovechamiento de los parques. En las zonas de reserva promueve por sí el poblamiento y desarrollo económico.

Continuando en la Segunda Parte de la Constitución, en la Sección Séptima, se hace mención de la política ecológica.

En el Artículo 84 se hace mención en relación a la defensa del ambiente. Se establece que todos los habitantes tienen el derecho a gozar de un medio ambiente sano, libre de factores nocivos para la salud, y el deber de preservarlo y defenderlo.

Con este fin, el Estado:

- previene y controla la contaminación del aire, agua y suelo, manteniendo el equilibrio ecológico.
- conserva la flora, fauna y el patrimonio paisajístico.
- protege la subsistencia de las especies autóctonas; legisla sobre el comercio, introducción y liberación de especies exóticas que puedan poner en peligro la producción agropecuaria o los ecosistemas naturales.
- para grandes emprendimientos que potencialmente puedan alterar el ambiente, exige estudios previos del impacto ambiental.
- reglamenta la producción, liberación y ampliación de los productos de la biotecnología, ingeniería nuclear y agroquímica, y de los productos nocivos, para asegurar su uso racional.
- establece programas de difusión y educación ambiental en todos los niveles de enseñanza.
- gestiona convenios con las provincias y con la Nación para asegurar el cumplimiento de los principios enumerados.

En el Artículo 85 se menciona en relación a la custodia de los ecosistemas naturales. Se define que la custodia del ambiente está a cargo de un organismo con poder de policía, dependiente del Poder Ejecutivo, con las atribuciones que le fija la ley.

Los habitantes están legitimados para accionar ante las autoridades en defensa de los intereses ecológicos reconocidos en esta Constitución.

Ley N° 2952/95: “Código de Aguas de la Provincia de Río Negro”[54]: el Código constituye un cuerpo único ordenado que involucra la tutela y administración de las aguas públicas y su uso por los particulares; el servicio de riego y drenaje; el servicio de agua potable y desagües cloacales; la ejecución de obras públicas de saneamiento e hidráulicas y los aspectos ambientales de protección y conservación de los recursos hídricos.

En su Artículo 2 se menciona que son aguas del dominio público provincial, todas las que se encuentren dentro de sus límites territoriales, incluyendo las correspondientes al Mar Argentino adyacente y que no pertenezcan al dominio privado de particulares o del Estado, según el Código Civil.

En el Artículo 16 se menciona que El Departamento Provincial de Aguas (DPA), es la autoridad de aplicación del presente Código, el cual tendrá a su cargo todo lo relativo a la tutela, gobierno, administración y policía de los recursos hídricos provinciales, así como a la regulación de su uso, goce y la prevención contra sus efectos nocivos.

Resolución N° 885/15 [55]: la misma complementa al anteriormiente mencionado Código de Aguas de la provincia de Río Negro. Establece que el Departamento Provincial de Aguas define los límites permitidos de los distintos parámetros de vuelco mediante dicha resolución. Que es necesario asegurar, mediante controles y monitoreos efectivos, el cumplimiento con los parámetros de calidad y sus límites permitidos de vuelco en los distintos cuerpos receptores de modo tal que se garantice la no contaminación de los recursos hídricos. En consecuencia, la presente resolución establece las condiciones que permiten fiscalizar el proceso de protección y conservación de los recursos hídricos.

Dicha resolución, en su Artículo 1, presenta una tipificación de distintas actividades, como generadoras de efluentes líquidos. Se considera aquí al Refugio San Martín dentro del Tipo VI: Hospedajes y Viviendas colectivas. Los parámetros de vuelco de efluentes a analizar según la presente resolución son DBO_5, Sólidos Suspendidos (SS), sulfuros, grasas y aceites, detergentes, N total, P total y Coliformes Termotolerantes.

Los parámetros de vuelco son establecidos de acuerdo al sitio de descarga de los efluentes, clasificándose el vertido a cuerpos superficiales (ríos, arroyos, mar abierto y rías) y a colectores e infiltración subsuperficial (colectores de drenaje y pluviales, colectora cloacal e infiltración subsuperficial).

Para el refugio San Martín se considera que el vertido de los efluentes cloacales de los baños externos ingresa dentro de la clasificación de infiltración subsuperficial. Los valores de los distintos parámetros de vuelco generales y de iones se presentan en Anexo IV.

Se consultó al Departamento Provincial de Aguas en relación a la realización de controles vinculados a la toma de agua para consumo del refugio San Martín, la cual se encuentra en el lago Jakob, el cual posee un uso recreativo por los visitantes. La respuesta obtenida fue que los sitios donde se realizan muestreos son aquellos considerados “balnearios”, donde cuentan con guardavidas, situación que no ocurre en el lago Jakob. En relación a la toma de agua para consumo, el DPA no es responsable de la calidad del agua de consumo en áreas que no tienen agua potable es decir, en el caso del refugio, los usuarios son los responsables de la toma del agua y de la calidad de prestación de la misma.

Normativa Municipal

La Carta Orgánica del Municipio de San Carlos de Bariloche [56] no es aplicable al sitio de estudio, ya que el refugio San Martín no se encuentra dentro del ejido urbano.

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

3.1 RELEVAMIENTO Y EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

Se evaluó el estado funcional del sistema de tratamiento cloacal de los baños externos del refugio realizando visitas a campo; además se entrevistó a los refugieros[19] acerca del manejo de los efluentes cloacales de dichos baños en forma histórica.

Se llevaron a cabo 7 visitas a campo, 2 visitas en los meses de mayo de 2019, una en noviembre y otra en diciembre del mismo año. En el transcurso del 2020 se realizaron 3 visitas, una en el mes de enero y 2 visitas durante el mes de febrero. Desde junio a octubre del 2019 no realizaron visitas debido a que dicho período corresponde a la etapa invernal y los baños externos permanecen cubiertos de nieve, motivo por el cual no son utilizados. El incremento de las visitas se llevó a cabo a partir de noviembre hasta fines de febrero, correspondiente a la etapa estival, en la cual el refugio recibe el mayor número de visitantes y con ello el aumento en el uso de los baños externos.

A continuación, en la Tabla 3.1, se presentan las fechas de las visitas, la razón o motivo de las mismas y las condiciones climáticas en cada una de ellas. Además se agregan las temperaturas mínimas y máximas del día, así como la velocidad mínima y máxima del viento durante el día.

La estación meteorológica utilizada fue una de las estaciones del servicio de Windguru, ubicada en Lomas del Cauquen, Bariloche. La misma se encuentra a 927 msnm y sus coordenadas son latitud: -41,1692; longitud: -71,3705. La elección de la estación fue debido a que, dentro de las estaciones ofrecidas por Windguru, es aquella a la que mayor altitud se encuentra y a menor distancia del refugio, por lo tanto se podría decir que sus datos son más próximos a las condiciones climáticas del sitio. Se consultó a personal del refugio acerca de cuál previsión meteorológica utilizan, manifestando utilizar los datos provistos por el servicio de Windguru, siendo este otro de los motivos que llevaron a la elección de dicha estación.

	FECHA	RAZÓN O MOTIVO	CONDICIONES CLIMÁTICAS
1° relevamiento	09/05/19	Conocer el sitio e identificar la problemática del sistema de tratamiento de efluentes cloacales presente.	T°: 2-8°C. Precipitación: 0 mm. Viento: 14 km/h.
2° relevamiento	26/05/19	Fecha en la que se encontraría uno de los refugieros que formó parte de la construcción de los baños externos.	T°: 2- 6°C Precipitación: 0 mm Viento: 8-14km/h
3° relevamiento	08/11/19	Finalización de la etapa invernal y con ello la posibilidad de utilización de los baños externos y del sistema de tratamiento de efluentes cloacales.	T°: 2-16°C. Precipitación: 0 mm. Viento: 0-14 km/h.
4° relevamiento	08/12/19	Limpieza de las cámaras sépticas y con ello la posibilidad de poder observar con mayor detalle el sistema.	T°: 5-19°C. Precipitación: 0 mm. Viento: 10-22km/h.
5° relevamiento	20/01/20	Finalización de la primera quincena de enero, la cual es el período del año de mayor número de visitantes al refugio. Como consecuencia de	T°: 10-27°C. Precipitación: 0mm. Viento: 2-10km/h.

[19] La palabra “refugieros” es atribuida al personal del refugio.

		esto se produce un mayor uso de los baños externos y generación de efluentes cloacales, por lo que el objetivo fue ver el funcionamiento y estado del sistema de tratamiento luego de dicho período.	
6° relevamiento	02/02/20	Observar cómo se encontraba el sistema de tratamiento de efluentes cloacales luego de la segunda quincena de enero, que es la quincena más visitada después de la primera. Además en esta visita se llevó a cabo la utilización de marcadores para constatar las conexiones de los baños con las CS, de las cámaras entre sí y de éstas con el mallín.	T°: 3-19°C. Precipitación: 0 mm Viento: 6-28 km/h.
7° relevamiento	23/02/20	Observar cómo se encontraba el sistema de tratamiento de efluentes cloacales luego de transcurridos los primeros 20 días de febrero. Dicho mes el refugio recibe un menor número de visitantes que el mes de enero. De todos modos, cabe destacar que el 16 de febrero es el aniversario del refugio, por lo que en dicha fecha el mismo invita a visitantes a celebrarlo, motivo por el cual recibe mucha gente el fin de semana respectivo al aniversario.	T°: 9-22°C. Precipitación: 0 mm. Viento: 8-30 km/h.

Tabla 3.1: Fechas, motivos y condiciones climáticas de los relevamientos en el sitio. Fuente: propia.

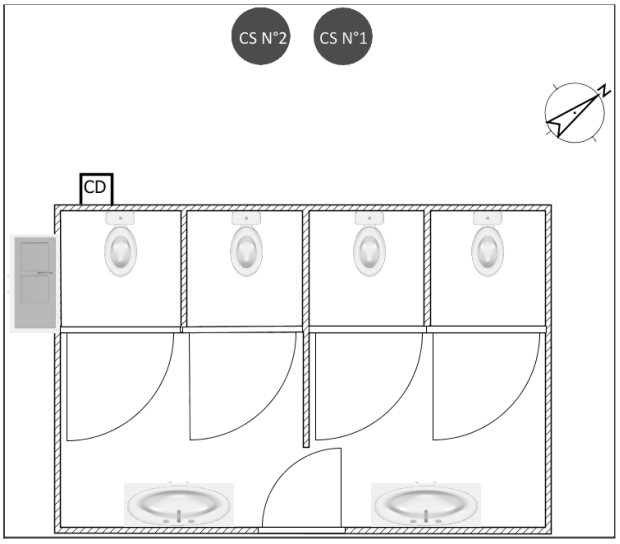
Primer Relevamiento

El refugio San Martín se ubica en el margen oeste del lago Jakob (Figura 3.1 (a)). Los baños se encuentran en el interior de una edificación, cuyas paredes se presentan construidas con piedras y madera. El techo es de madera y chapa (Figura 3.1 (b)).

Figura 3.1 (a) Refugio San Martín. Fuente: [3].

Figura 3.1 (b). Construcción en cuyo interior se ubican los baños. Fuente: propia.

En el interior de dicha estructura se encuentran los 4 baños, los cuales son 4 compartimientos dispuestos de forma contínua. Los mismos están separados entre sí por paredes de madera, siendo las puertas de dichos compartimientos del mismo material. En cada uno de ellos se ubica un único inodoro con arrastre hidráulico. En la misma construcción, pero por fuera de dichos compartimentos, se encuentran 2 lavatorios de manos. Por fuera de la construcción, empotrada sobre una de las paredes de la misma, se ubica otro lavatorio. Este último es usado para lavar los utensilios de cocina utilizados por los acampantes (Esquema 3.1).



CS: cámara séptica.

CD: cámara desengrasadora.

Esquema 3.1. Plano de los baños externos al refugio.
Fuente: propia.

Detrás de dicha construcción se encuentra el sistema de tratamiento de efluentes cloacales de los respectivos baños. El mismo cuenta con dos cámaras sépticas (CS), de 1 m^3 cada una, conectadas en serie entre sí. De una de dichas cámaras se extiende la cañería correspondiente que termina en un sitio de infiltración, siendo este un mallín de altura. En la Figura 3.2 se presenta la ubicación de los baños externos y el mallín.

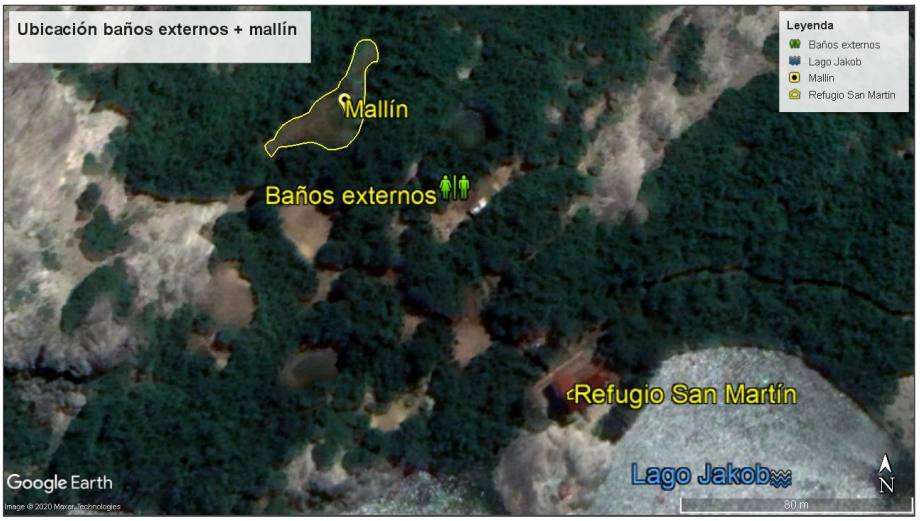


Figura 3.2. Ubicación de los baños externos y el sitio de infiltración (mallín).
Fuente: elaborado en Google Earth.

El acceso a los baños se encontraba clausurado al momento de este relevamiento (Figura 3.3). Según se pudo averiguar con uno de los refugieros presentes al momento, el motivo fue por la finalización de la temporada de verano, motivo por el cual el número de visitantes que acampan disminuye drásticamente, en concordancia con la utilización de los baños externos. En dicho momento los visitantes usaban los baños presentes en el interior del refugio.

Figura 3.3. Baño clausurado. Fuente: propia.

El lavatorio externo a la construcción está conectado por medio de cañería de PVC a una cámara desengrasadora (Figura 3.4). Al momento de la visita se evidenció que la misma no se encontraba en uso hace un largo tiempo, esto se pudo determinar al observar en el interior de dicha cámara; ésta sólo contenía agua y restos de vegetación (Figura 3.5). La cañería que sale de la cámara desengrasadora se encontraba tapada, por lo que el agua presente en su interior permanecía estancada.

Figura 3.4. Lavatorio externo con conexión a cámara desengrasadora. Fuente: propia.

Figura 3.5. Interior de cámara desengrasadora. Fuente: propia.

Al momento del relevamiento ambas cámaras sépticas se encontraban con sus respectivas tapas (Figura 3.6). Desde la cámara séptica N°2 se extiende la cañería que conecta a ésta con el sitio de infiltración (Figuras 3.7 y 3.8). No se observó presencia de efluente fluyendo hacia el mallín.

Figura 3.6. Cámaras sépticas. Fuente: propia.

Figura 3.7. Cañería hacia el mallín. Fuente: propia.

Figura 3.8. Cañería vista desde el mallín. Fuente: propia.

Como se mencionó anteriormente, la zona de infiltración del sistema de tratamiento es un mallín de altura. El efluente, previamente tratado en ambas cámaras sépticas, es vertido al mallín desde el año 2004 aproximadamente. Este último dato fue brindado por personal del refugio.

A continuación, en la Figura 3.9, se muestra la ubicación de las cámaras sépticas y el sentido y dirección supuesta a la fecha de las cañerías hacia el mallín. Cabe destacar que el sistema de tratamiento fue construido hace aproximadamente 15 años y el refugiero que estuvo presente durante su instalación no recordaba cómo fue llevado a cabo la conexión del sistema. El rectángulo de color rojo que se muestra en la Figura 3.9 representa una zanja que fue construida para direccionar el efluente proveniente de las cámaras hacia ese sitio y lograr su contención e infiltración únicamente en esa zona, evitando así que el mismo se distribuya por todo el mallín. Dicha zanja es de aproximadamente 0,3 m de ancho, 0,5 m de profundidad y 7 m de largo; por encima de ésta originalmente se colocó una lona de nylon negra.

El mallín posee una leve pendiente, la cual no pudo ser medida con precisión. Se puede decir que, a grandes rasgos, la misma es del orden de los centímetros, en dirección norte.

Figura 3.9. Sentido y dirección de las cañerías. Fuente: modificada de Google Earth.

En el relevamiento a campo se observó que la zanja se encontraba rebalsada, es decir que recibió una excesiva cantidad de efluente, por lo que sufrió un desborde, el cual se direccionó hacia el centro del mallín (Figuras 3.10 y 3.11). La lona de nylon presentaba efluentes por encima de ella, dando indicios del excesivo caudal de agua residual[20] que recibió la zanja, es decir debido al exceso de descarga. Cabe destacar que la lona de nylon originalmente tenía como finalidad cubrir la zanja, para evitar que el efluente recibido por la misma se encuentre a la intemperie, es decir en contacto con el ambiente circundante.

El efluente se encontraba en un estado de lodo fecal poco digerido en la región próxima al inicio de la zona de descarga, presentándose con características de un fluido más ligero a mayor distancia de dicha zona.

[20] Agua residual se entiende como sinónimo de efluente.

Figura 3.10. Zanja de infiltración y zona de desborde. Fuente: propia.

Figura 3.11. Zona de desborde y dirección del efluente hacia el centro del mallín. Fuente: propia.

Cabe mencionar que una de las características organolépticas más destacadas en la zona fue el olor, el cual es característico de un efluente proveniente de aguas negras. Se intentó avanzar hacia el fondo del mallín pero las condiciones saturadas del suelo debido a la presencia de efluentes no lo permitieron.

Durante el relevamiento no se pudo identificar o conocer el período de tiempo en que el sitio se encontraba en estas condiciones.

Segundo Relevamiento

El segundo relevamiento consistió en obtener mayor información respecto al sistema de tratamiento de efluentes cloacales de los baños externos mediante una entrevista con uno de los refugieros.

A continuación se presenta la información brindada.

- Los baños fueron construidos en el año 2003 aproximadamente y puestos en funcionamiento ese mismo año o a comienzos del 2004 (no recordaba específicamente la fecha).
- Antes del año 2003 la zona de acampe del refugio contaba con dos letrinas. Cuando se procedió a la construcción de los actuales baños, el antiguo sistema fue desmantelado y los pozos de las respectivas letrinas fueron tapados y cubiertos con tierra.
- Respecto a los actuales baños, ambas cámaras sépticas presentes son las mismas que fueron colocadas en su construcción, en el año 2003. El efluente previamente tratado en dichas cámaras es enviado hacia la zanja presente en el mallín desde el momento en que comenzaron a funcionar los baños (en el 2004 aproximadamente).
- Nunca se llevó a cabo una gestión de los lodos de las cámaras sépticas debido a que no presentaron inconvenientes con el sistema de tratamiento desde la construcción de los baños hasta hace unas semanas atrás (fines de abril de 2019) cuando se notó, por parte de los refugieros, el desborde de la zanja en el mallín.
- Los baños se encuentran clausurados desde el momento en que se observó el desborde de la zanja en el mallín.
- El personal del refugio esperará a que pase la temporada invernal para llevar a cabo alguna solución al problema presentado.

Se observó el sitio en donde se encontraban las letrinas y no se evidenció rastro de desechos fecales, es decir la materia orgánica ya se encontraba completamente estabilizada e integrada al suelo.

Al momento de la visita el mallín presentaba características similares al primer relevamiento (Figura 3.12). La imagen fue capturada desde el fondo del mallín (Figura 3.13), aquí no se detectó presencia de efluente. Continuando por este sitio se observó la finalización de las características de una zona mallinosa y el comienzo de una marcada pendiente cubierta por lenga achaparrada.

El olor a efluente cloacal era menor en relación a la fecha del anterior relevamiento, sólo era detectable próximo al sitio de descarga, en donde la concentración de lodos era mayor, pudiéndose atribuir dicha disminución de la característica organoléptica al descenso de la temperatura ambiente desde el primer relevamiento, producto de la llegada de la estación invernal. Fue confirmado, por personal del refugio, que la zanja que contiene los efluentes sufrió un desborde debido a la saturación del sistema de tratamiento.

Figura 3.12. Zona central del mallín. Fuente: propia.

Figura 3.13. Zona final del mallín. Fuente: propia.

Tercer Relevamiento

La zona del refugio y de los baños externos se encontraba con abundante presencia de nieve. El mallín estaba cubierto de nieve (Figura 3.14).

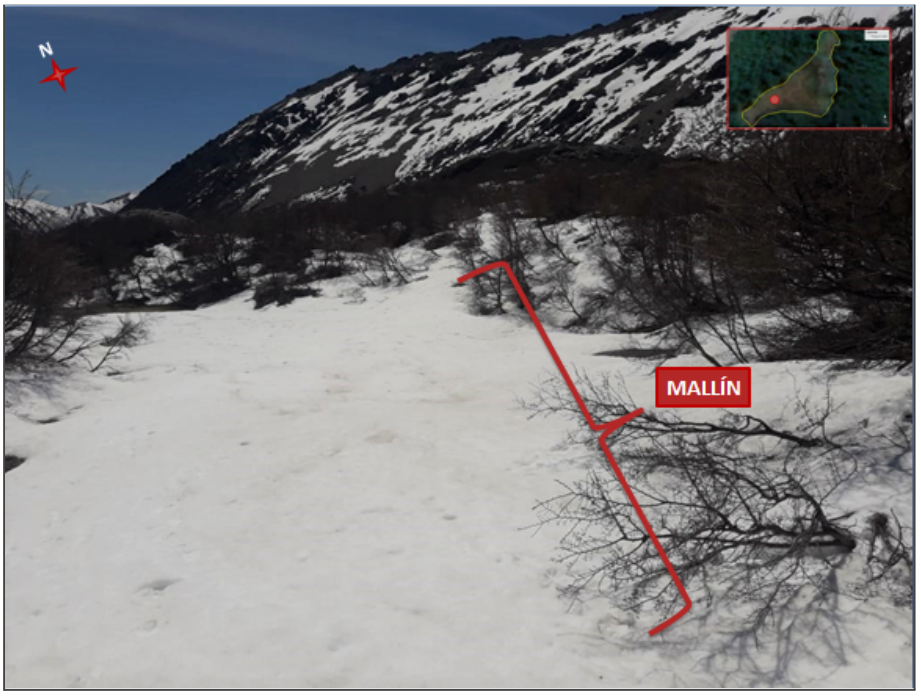


Figura 3.14. Mallín cubierto de nieve. Fuente: propia.

Con el permiso de uno de los refugieros fue posible ingresar a la construcción en cuyo interior se ubican los baños y los dos lavatorios (Figuras 3.15, 3.16 y 3.17).

En la Figura 3.17 se observa un cartel en el interior de la construcción, en donde se pide a los usuarios no arrojar papeles ni demás materiales de higiene en los inodoros, con el objetivo de evitar que los mismos se estanquen en las cañerías que van desde los inodoros hacia las cámaras sépticas. La gestión de los papeles es su incineración, la cual se lleva a cabo en un recipiente ubicado en la parte trasera de la construcción. Dicha operación es realizada por los mismos refugieros.

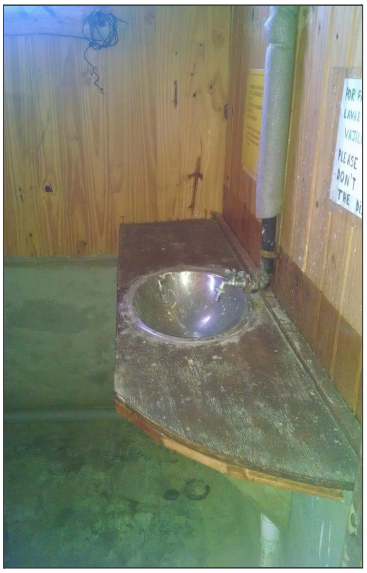


Figura 3.15. Lavatorio del lado derecho al ingreso. Fuente: propia.

Figura 3.16. Lavatorio del lado izquierdo al ingreso. Fuente: propia.

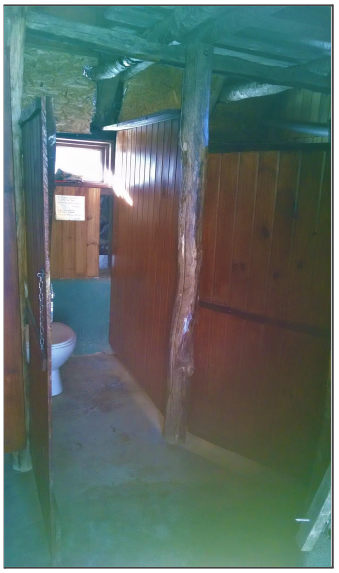


Figura 3.17. Uno de los compartimientos con inodoro de arrastre hidráulico. Fuente: propia.

Se accedió a la zona en donde se encuentra el sistema de tratamiento de los efluentes, en presencia de uno de los refugieros. Se intentó abrir las cámaras sépticas pero solo se pudo lograr la apertura de la 2° cámara debido a que la 1° presentaba una gran cantidad de nieve en su superficie. Al abrir la 2° CS se pudo observar que la misma se encontraba llena de lodo fecal (Figura 3.18). No se detectó presencia de olor a desechos fecales luego de abrir dicha cámara. Después de la observación la misma fue cerrada con su tapa correspondiente.

Figura 3.18. Interior de 2° cámara séptica. Fuente: propia.

Debido a que al momento del relevamiento la presencia de nieve en el sitio era abundante, la limpieza de las cámaras se vería postergada para dentro de un mes aproximadamente.

Cuarto Relevamiento

El día de la visita los refugieros se encontraban limpiando las cámaras sépticas. Manifestaron que el efluente contenido en el interior de las mismas presentaba una proporción de líquido muy elevada en relación a los sólidos, principalmente en la 1° cámara, motivo por el cual optaron por limpiar la

2° cámara y de este modo poder extraer la mayor proporción de lodos posible. Esto se pudo constatar observando en el interior de las CS, en donde la 1° cámara presentaba efluente de consistencia mucho más líquida en comparación con la CS N°2 (Figuras 3.19 y 3.20). La 2° cámara séptica ya se encontraba vaciada hasta la mitad aproximadamente al momento de la visita (Figura 3.20).

Figura 3.19. Interior de la 1° cámara séptica. Fuente: propia.

Figura 3.20. Interior de la 2° cámara séptica. Fuente: propia.

La limpieza de la 2° cámara la llevaron a cabo con un balde de plástico perforado, con el objetivo de simular un colador, para así lograr retener el sólido en el interior del mismo, y el líquido dejarlo en el interior de la cámara. El sólido retenido en el balde fue pasado por una malla de alambre (Figura 3.21), con la finalidad de retener sólidos en ella y de esta forma realizar un segundo filtrado, el primero en el balde y el segundo en la malla. Esta última fue dispuesta en el suelo, aproximadamente a unos 2 m de las cámaras sépticas, en donde realizaron un pozo de 1 m x 0,5 m y una profundidad de 0,5 m aproximadamente, el cual fue delimitado con la respectiva malla. Debido a que la consistencia del lodo era muy ligera no se retuvo prácticamente nada en la malla y todo el barro[21] se depositó en el centro de la misma, es decir en el pozo, de forma directa en el suelo; este último no fue impermeabilizado.

Figura 3.21. Malla de alambre. Fuente: propia.

[21]Barro y lodo se entienden como sinónimos.

Debido a que el día de la visita los refugieros realizaron parte del vaciado de la CS N°2, los baños fueron puestos en funcionamiento. La cámara desengrasadora correspondiente al lavatorio utilizado para acampantes aún se encontraba con agua en su interior, por lo que todavía no había sido habilitada para su uso.

El mallín ya no presentaba nieve en su superficie. Se observó elevada cantidad de lodo fecal, encontrándose el mismo en estado sólido en su superficie, sobre todo en la zona próxima a la descarga y en la zanja (Figura 3.22). Hacia la zona central del mallín y más alejada de la zona de descarga, el efluente presentaba características más fluidas, es decir la consistencia ya no era de lodo, sino más bien de efluente líquido (Figura 3.23).

Figura 3.22. Zanja de infiltración y zona de desborde. Fuente: propia.

Figura 3.23. Zanja de infiltración y zona de desborde. Fuente: propia.

En este relevamiento se identificó un nuevo curso de agua pequeño, ubicado a unos 10 m aproximadamente en dirección este de la zona de descarga, el cual fluía hacia el centro del mallín (Figura 3.24). Su naciente provenía de una zona rocosa que se encuentra fuera del mallín y cuya fuente de agua era producto del deshielo de las zonas más altas.

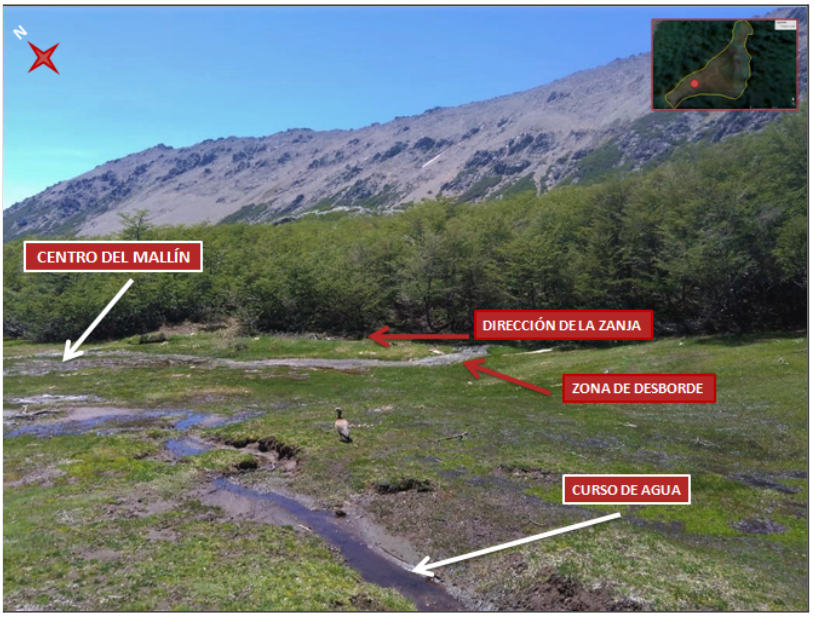


Figura 3.24. Curso de agua en dirección hacia el mallín. Fuente: propia.

Cabe destacar que en el mallín se detectó la presencia de excremento equino (Figura 3.25). Se consultó a los refugieros al respecto y mencionaron que en ocasiones dos o tres caballos son utilizados como animales de carga para subir mercadería hasta el refugio, los cuales son llevados a pastar a dicho mallín.

Figura 3.25. Excremento equino en el mallín. Fuente: propia.

En la zona próxima a la descarga se detectó la presencia de olor a desecho cloacal. El suelo del mallín presentaba condiciones saturadas en casi toda su superficie, producto del deshielo de la nieve presente anteriormente sobre el mismo y del efluente.

Quinto Relevamiento

El lavatorio utilizado por los acampantes se encontraba en uso. La cámara desengrasadora presentaba gran cantidad de efluente producto de la limpieza de los utensilios (Figura 3.26).

Aquí es importante destacar que durante toda la temporada estival, tanto las personas que acampan como aquellas que pernoctan en el interior del refugio, deben usar los baños externos. Esta práctica fue establecida por los refugieros.

Figura 3.26. Cámara desengrasadora. Fuente: propia.

El caño de salida de la cámara presentaba una pérdida en un tramo del mismo. Esta se encontraba en una conexión del caño de salida de la cámara con otro caño de menor diámetro (Figura 3.27). Dicha pérdida se produce a escasos metros de la cámara desengrasadora. La descarga del efluente proveniente de ésta era directamente al suelo (Figura 3.28), en una zona de pendiente próxima a las CS, por lo que el mismo escurría hasta un área más plana, en donde permanecía estanco (Figura 3.29). El sitio plano corresponde al área en donde se encuentra el pozo delimitado con la malla de alambre, en donde fueron depositados los lodos de la CS N°2.

*Figura 3.27.*Pérdida del efluente en conexión. Fuente: propia.

Figura 3.28. Descarga del efluente. Fuente: propia.

Figura 3.29. Sitio de disposición final del efluente. Fuente: propia.

En cuanto a las cámaras sépticas, las mismas se encontraban con su respectiva tapa (Figura 3.30). Se procedió a destapar las mismas; la CS N°1 se encontraba llena y el efluente era de una consistencia

más sólida respecto al relevamiento anterior (Figura 3.31). La CS N°2, que anteriormente había sido vaciada aproximadamente hasta la mitad, se encontraba llena nuevamente (Figura 3.32).

Figura 3.30. Ambas CS con su respectiva tapa. Fuente: propia.

Figura 3.31. 1° cámara séptica. Fuente: propia.

Figura 3.32. 2° cámara séptica. Fuente: propia.

Cabe recordar que ambas CS se encuentran enterradas. Por detrás de las mismas se observa una zona de pendiente (Figura 3.33). De aquí es donde se presenta el caño que sale de la 2° cámara (Figura 3.34), el cual se dedujo que conecta a dicha cámara con el mallín. Éste presentaba una pequeña rotura. En el momento de la observación no manifestaba pérdidas por la misma, pero sí se pudo evidenciar que el suelo colindante se encontraba húmedo, señal de que hace poco tiempo se produjo una pérdida de efluentes por allí.

Figura 3.33. Pendiente detrás de las CS. Fuente: propia.

Figura 3.34. Caño proveniente de la 2° CS. Fuente: propia.

El pozo que contiene a los lodos proveniente de la limpieza de la CS N°2, el cual se mencionó anteriormente, se encontraba prácticamente seco (Figura 3.35). En la Figura también se observa la malla que delimita al pozo.

Figura 3.35. Pozo con lodo fecal. Fuente: propia.

En la zona del mallín, en la Figura 3.36, se muestra el sitio de descarga. Puede verse allí la lona de nylon anteriormente mencionada, ésta tenía como función cubrir la zanja. Aquí se puede observar que el efluente circula por encima de la misma, cuando en realidad debería fluir por debajo de ésta. El mallín se encontraba con gran presencia de efluente. En la zona de descarga se presentaba como lodo (Figura 3.37 y 3.38), tornándose más fluido hacia el centro del mallín (Figura 3.39), como en los relevamientos anteriores. El olor a desecho cloacal era muy fuerte hasta prácticamente el centro del mallín, principalmente en el sitio de descarga.

Figura 3.36. Zona de descarga. Fuente: propia.

Figura 3.37. Lodo en zona de descarga. Fuente: propia.

Figura 3.38. Zona de desborde. Fuente: propia.

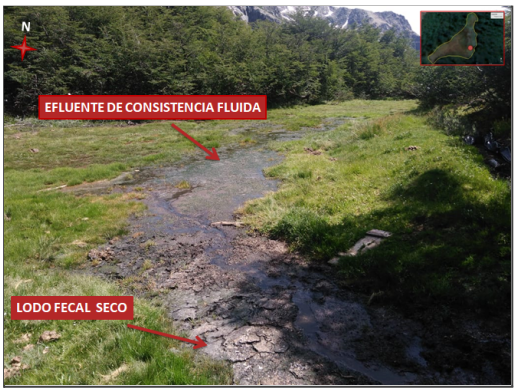


Figura 3.39. Centro del mallín. Fuente: propia.

Pudo observarse nuevamente restos de excremento equino, los cuales se encontraban muy próximos a toda la zona en donde había presencia de desechos cloacales (Figuras 3.40 y 3.41).

El curso de agua mencionado en el relevamiento anterior, el cual ingresaba al mallín en dirección hacia el centro del mismo, se encontraba prácticamente seco (Figura 3.42). En la misma figura puede observarse la presencia de una carpa, la cual se encuentra próxima a la región del mallín con presencia de efluentes cloacales.

Figura 3.40. Excremento equino. Fuente: propia.

Figura 3.41. Excremento equino. Fuente: propia.

Figura 3.42. Curso de agua y presencia de carpa. Fuente: propia.

Como se mencionó anteriormente, en la zona central del mallín el efluente se presentaba más fluido. En la Figura 3.43 se observa una coloración más verdosa en algunos sectores. Hacia el fondo del mallín se ve cómo sigue el fluido, el cual ya se encuentra con características más bien de un efluente con menor carga de sólidos pero con alta coloración verdosa (Figuras 3.44 y 3.45).

Figura 3.43. Centro del mallín. Fuente: propia.

Figura 3.44. Efluente en dirección hacia el fondo del mallín. Fuente: propia.

Figura 3.45. Efluente en el fondo del mallín. Fuente: propia.

Hacia el final del mallín el terreno comienza a cambiar su característica. El suelo ya no es mallinoso y comienza a producirse una leve pendiente descendiente y vegetación densa de lenga achaparrada, por lo que el acceso al sitio es dificultoso. Donde finaliza el terreno mallinoso se genera un pequeño

curso de agua, el cual sigue la dirección de la pendiente. Al momento del relevamiento el curso de agua se presentaba con características cristalinas y sin olor.

Sexto Relevamiento

Al llegar al sitio se pudo observar que la cámara desengrasadora contenía menor volumen de aguas grises que en el relevamiento anterior y la misma no presentaba abundante espuma en su superficie (Figura 3.46).

Figura 3.46. Cámara desengrasadora. Fuente: propia.

La descarga de la cámara desengrasadora continuaba siendo al suelo de forma directa, como se mencionó en el relevamiento anterior.

Las CS se encontraban con sus respectivas tapas. Se pudo detectar que las cámaras presentan un pequeño desnivel entre ellas, encontrándose la CS N°1 a una altura levemente superior a la CS N°2. Del caño que sale de la 2° cámara se pudo observar, en el suelo colindante al sitio en donde se encuentra la rotura descripta en el relevamiento anterior, la presencia de humedad (Figura 3.47), señal de que por alguna región de la cañería estaba ocurriendo una pérdida de efluente. Por la rotura no se observaron pérdidas.

Figura 3.47. Zona de humedad del suelo próxima al sitio de rotura del caño.
Fuente: propia.

En el sitio próximo donde anteriormente depositaron los lodos extraídos de la 2° cámara, uno de los refugieros se encontraba llevando a cabo la realización de una zanja, con el objetivo de instalar allí un lecho de infiltración. De este modo se anularía la descarga al mallín para direccionar la misma al respectivo lecho.

Para llevar a cabo el análisis de las conexiones del sistema de tratamiento se utilizó agua coloreada como trazador, la cual se obtuvo de mezclar témpera de colores con abundante agua en una botella (Figura 3.48). Se utilizaron distintos colores a fin de no confundir la trazabilidad de cada caño.

Primero se destaparon ambas cámaras observando una pequeña disminución de volumen de efluente en la CS N°1 y presentándose el mismo de una consistencia más líquida al relevamiento anterior. Luego se procedió a volcar el agua coloreada por cada uno de los lavatorios ubicados en el interior de la construcción en donde se ubican los baños para, de este modo, constatar si las cañerías de evacuación de las mismas se conectan con la CS N°1 o N° 2°. Se pudo observar que el caño que ingresa a la CS N°1 descargaba agua coloreada hacia el interior de la misma (Figura 3.49), por lo que los lavatorios anteriormente mencionados se conectan con la 1° cámara.

Se pudo observar que el agua de la cámara desengrasadora conectada al lavatorio utilizado por los acampantes presentó coloración. Esto no se pudo constatar por qué ocurrió ya que dicha cámara solo tiene conexión al lavatorio externo a la construcción, no a los lavatorios internos, de donde fue volcado el colorante.

Luego se volcó agua coloreada en cada uno de los 4 inodoros para corroborar que los mismos se encuentren en conexión a la 1° CS. Nuevamente se observó que el caño que ingresa a esta última descargó agua coloreada en su interior (Figura 3.50).

Figura 3.48. Agua coloreada. Fuente: propia.

Figura 3.49. Agua coloreada proveniente de los lavatorios. Fuente: propia.

Figura 3.50. Agua coloreada proveniente de los inodoros. Fuente: propia.

A continuación se procedió a analizar la conexión entre las CS. La 1° CS cuenta con dos caños en su interior, uno proveniente de los baños, el cual se verificó anteriormente, y otro caño del cual se sospechaba que se conecta con la 2° CS. El inconveniente presentado fue que la 1° cámara no se encontraba completamente llena, como puede observarse en las Figuras 3.49 y 3.50, y la boca del

caño se presenta en lo más alto de la cámara, por lo que el efluente ingresaría al mismo únicamente cuando la CS se encuentre completamente llena, situación que no ocurría el día del relevamiento. Para asegurar esta situación y constatar de que no había una conexión en un sitio más profundo de la cámara, se introdujo agua coloreada en ella, con el objetivo de ver si el efluente de la 2° cámara se teñía. Esto último no ocurrió, por lo que se pudo suponer que la conexión ocurría por el caño supuesto. Esto además se pudo verificar observando en el interior de la 2° CS, en la cual también se encuentran presentes dos caños, siendo uno de éstos en forma de "T", el cual se sospechaba que podría llegar a derivar en el mallín, y el otro que podría venir de la 1° CS.

Continuando con el análisis de la conexión entre las cámaras, es importante destacar que no se pudo constatar el día del relevamiento dicha conexión. De todos modos, analizando las imágenes obtenidas en el 4° relevamiento, se pudo observar un pequeño caudal de efluente en el caño de la 2° CS del cual se deducía que se conecta con la 1° cámara. Esto se muestra en la Figura 3.51.

Se procedió a analizar el caño en forma de "T". La parte superior del mismo es hueca. Por allí se introdujo agua coloreada. Se suponía que el fondo del caño también es hueco, por lo que al agregar el colorante el efluente de dicha cámara debería teñirse. Se llevó a cabo el agregado del trazador pero la coloración no ocurrió. Esto pudo haberse debido al gran volumen de efluente en la cámara.

Debido a que era difícil agregar el colorante en el sitio en "T" del caño y de este modo constatar que el mismo se conectaba con el mallín, se procedió a volcar el mismo en la zona de atrás de las cámaras, en donde el caño presentaba una rotura. Se introdujo el colorante por allí observándose en el sitio de descarga del mallín agua coloreada. De esta forma se pudo constatar que el caño en forma de "T" de la 2° cámara se conecta con el mallín.

A continuación se presenta la Figura 3.51, en la cual se muestran los caños mencionados en el interior de la 2° CS y el efluente proveniente de la 1° CS. Cabe recordar, como se mencionó anteriormente, que la imágen no fue capturada el día del relevamiento sino que pertenece a la fecha del 4° relevamiento. La misma se agrega aquí ya que en dicho relevamiento la 2° CS no se encontraba llena por lo que en la imágen se puede observar de forma clara ambos caños; además se evidencia la presencia del efluente proveniente de la 1° CS.

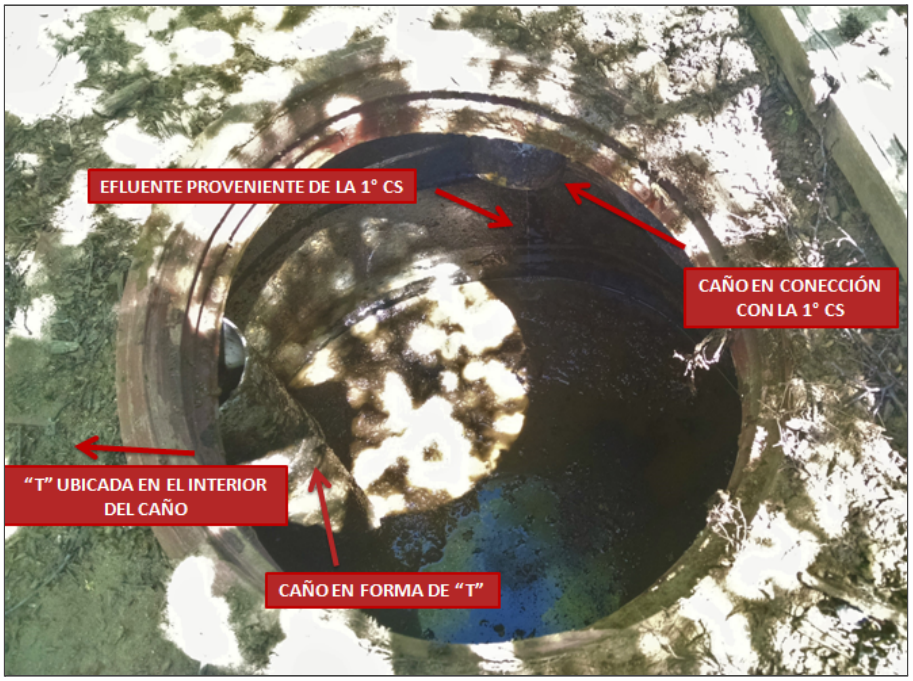


Figura 3.51. Ubicación de cañería en el interior de la 2° CS. Fuente: propia.

En la zona de descarga en el mallín se observó nuevamente efluente con características de lodo fecal (Figura 3.52). El olor proveniente del mismo era abundante en la zona. En el sitio de desborde y hacia el centro del mallín el efluente se presentaba como lodo fecal y en partes con características más fluidas, sobre todo hacia el centro del mallín (Figuras 3.53 y 3.54).

Figura 3.52. Zona de descarga. Fuente: propia.

Figura 3.53. Zona de desborde. Fuente: propia.

Figura 3.54. Centro del mallín. Fuente: propia.

En la zona próxima al centro del mallín nuevamente se observó la presencia de excremento de caballo (Figura 3.55).

Figura 3.55. Excremento equino en la zona central del mallín. Fuente: propia.

Hacia el fondo del mallín se observó que el pequeño curso de efluente que iniciaba desde el centro del mallín, descripto en el anterior relevamiento, continuaba en dirección hacia el fondo del mallín (Figura 3.56). Se observó una coloración verdosa en el curso, lo que puede indicar señal de eutrofización (Figura 3.57).

Figura 3.56. Efluente en dirección al fondo del mallín. Fuente: propia.

Figura 3.57. Efluente indicando posible eutrofización. Fuente: propia.

En cuanto al curso de agua que se genera en el fondo del mallín, se ingresó unos pequeños metros por el terreno de características no mallinosas, y el mismo se encontraba con agua pero ésta se hallaba estancada. No se evidenció olor a efluente cloacal en el sitio, pero si en partes del curso presentaba coloración verdosa.

Séptimo relevamiento

La cámara desengrasadora proveniente del lavatorio externo se encontraba con abundante agua jabonosa (Figura 3.58), detectandose, en la zona de conexión de los caños que desagotan la cámara,

nuevamente pérdidas (Figura 3.59). La descarga de la misma continuaba siendo al suelo de forma directa pero la desembocadura del caño se encontraba enterrada (Figura 3.60).

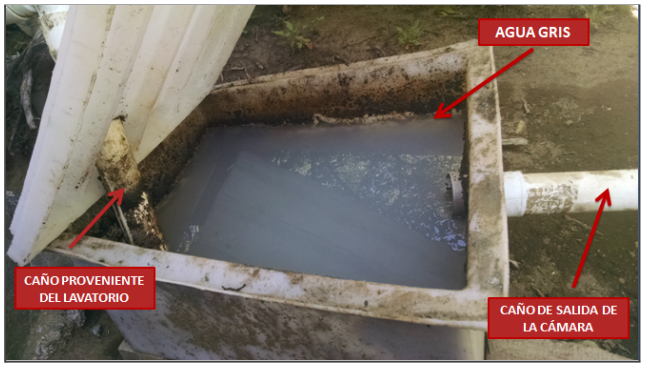


Figura 3.58. Cámara desengrasadora. Fuente: propia.

Figura 3.59. Descarga del efluente. Fuente: propia.

Figura 3.60. Disposición final de aguas grises. Fuente: propia.

Las cámaras sépticas se encontraban con sus respectivas tapas. Procedimos a abrir la 2° CS, ya que los refugieros nos solicitaron no abrir la 1° cámara, debido a que luego era muy complicado poder cerrarla. La 2° CS se encontraba llena, pudiéndose observar que contenía gran cantidad de restos de papel higiénico en su interior. Además se pudo observar la presencia de una gran cantidad de gusanos de color blanco en la superficie del efluente (Figura 3.61).

El caño que sale de la 2° cámara séptica hacia el mallín nuevamente presentaba humedad en la zona próxima a la rotura del mismo, pero por esta última no se observó pérdida ni rastro de efluente (Figura 3.62).

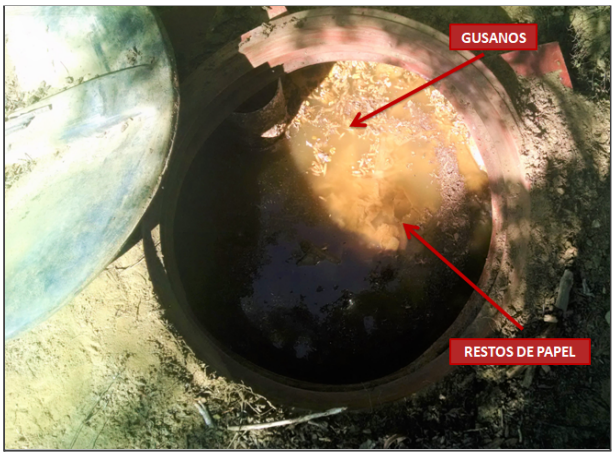


Figura 3.61. Interior de 2° CS. Fuente: propia.

Figura 3.62. Caño proveniente de la 2° CS. Fuente: propia.

El sitio en donde fueron vertidos los lodos provenientes de la 2° CS se encontraba en las mismas condiciones, es decir el pozo seguía delimitado con la malla de alambre y los barros se encontraban secos en su superficie. A escasos metros de allí se observó la zanja, realizada para la construcción de un futuro lecho, ya terminada (Figuras 3.63 y 3.64).

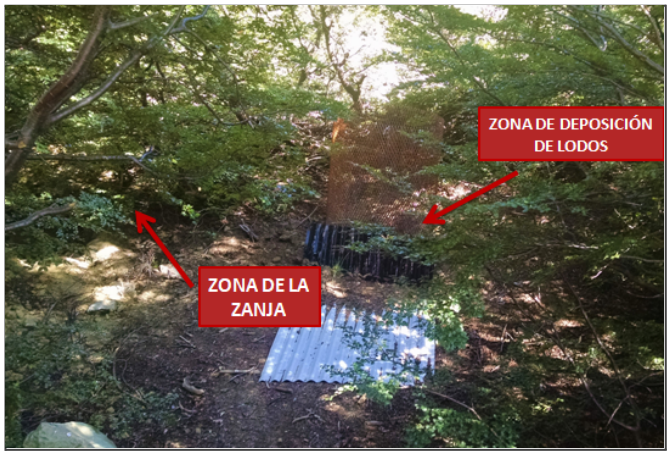


Figura 3.63. Zona de disposición de lodos e inicio de la zanja. Fuente: propia.

Figura 3.64. Zanja. Fuente: propia.

Se procedió a medir la profundidad, ancho y largo de la zanja (Figuras 3.65 y 3.66), obteniéndose como resultado una profundidad de 60 cm, un ancho de 70 cm y un largo de 12 m aproximadamente. El sitio final de la zanja fue tapado con rocas (3.67).

Figura 3.65. Medición de la profundidad de la zanja. Fuente: propia.

Figura 3.66. Medición del ancho de la zanja. Fuente: propia.

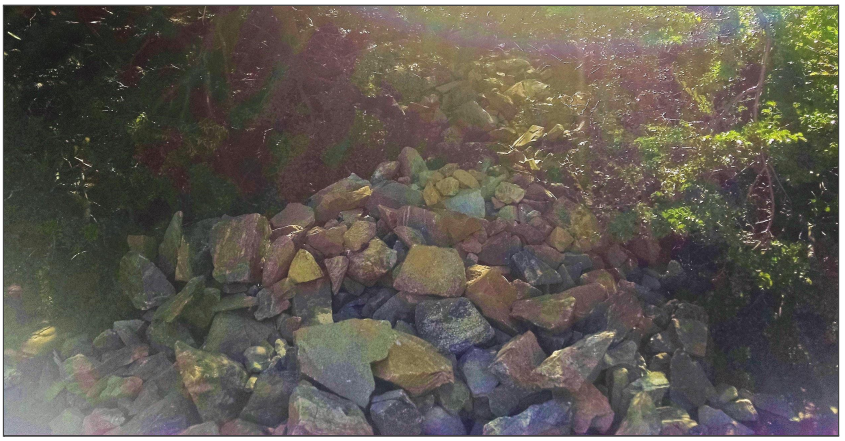


Figura 3.67. Rocas dispuestas al final de la zanja. Fuente: propia.

La cañería que descarga en el mallín presentaba una pérdida en la zona próxima a la descarga (Figura 3.68). Es posible que la misma ocurra en la zona de conexión entre ambos caños, es decir que dicha conexión no esté correctamente instalada. De todos modos, cabe destacar que también se observó efluente por debajo de la cañería en la zona anterior al sitio de la conexión entre caños, por lo que es posible que haya otra zona de ésta en donde también haya alguna pérdida. Es importante tener en cuenta que la zona anterior a la conexión se ubica levemente elevada debido a la pendiente del terreno.

Figura 3.68. Cañería hacia el sitio de descarga. Fuente: propia.

El mallín continuaba presentando efluente con características de lodo fecal en la zona de descarga (Figura 3.69). El olor respectivo al mismo era abundante. Hacia el sitio de desborde y centro del mallín el efluente se encontraba con características similares a los relevamientos anteriores; lodo fecal en algunas partes y con características más fluidas hacia el centro del mallín (Figura 3.70). Es importante destacar que, la zona en donde en la Figura 3.68 se indica como marcada por pisadas de caballo, en el relevamiento anterior allí el efluente se encontraba sólido en su superficie.

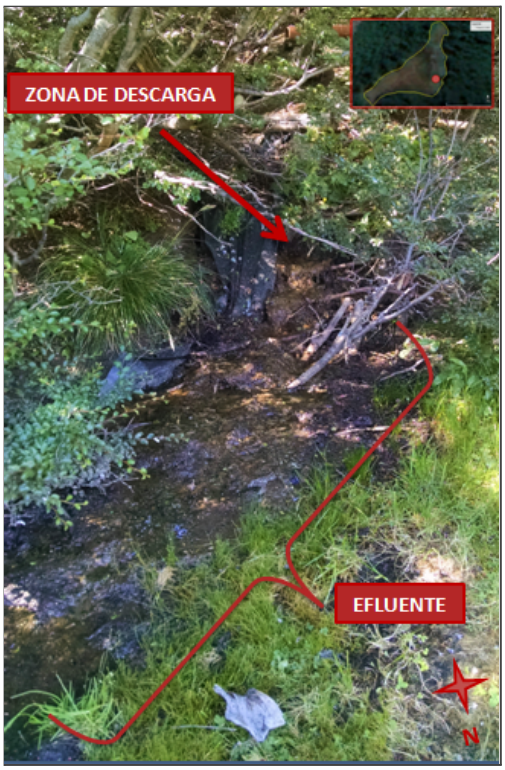


Figura 3.69. Zona de descarga del efluente. Fuente: propia.

Figura 3.70. Zona de desborde y centro el mallín. Fuente: propia.

En el centro del mallín se pudo observar una gran presencia de vectores (moscas) sobre el efluente. Además este último se encontraba por partes con una coloración oscura tornando a negro y por partes coloración verde (Figuras 3.71 y 3.72).

Figura 3.71. Efluente en el centro del mallín. Fuente: propia.

Figura 3.72. Efluente de coloración verde. Fuente: propia.

En la Figura 3.73 se muestra la zanja en donde, antes del desborde, los efluentes iban dirigidos. Se puede observar el nylon negro cubriendo dicha zanja y por encima restos de tierra. Al fondo (inicio de la zanja) se observa la zona de desborde.

Hacia el centro del mallín pudo detectarse la presencia de gusanos vivos en el efluente. Fue posible fotografiar uno de ellos, el cual se muestra en la Figura 3.74. El mismo presentaba características similares a los observados en el interior de la CS N°2, mencionado anteriormente, aunque no se podría afirmar que corresponde a la misma especie.

Figura 3.73. Zanja en el mallín. Fuente: propia.

Figura 3.74. Gusano en el mallín. Fuente: propia.

Desde el centro hacia el fondo del mallín se pudo observar gran presencia de pisadas de caballo en el terreno (Figuras 3.75 y 3.76), lo que produjo que el curso, por donde circulaba el efluente hacia el fondo del mallín en relevamientos anteriores, ahora sea mayor, escurriendo más cantidad de líquido por el mismo (Figura 3.77). Incluso, debido a esto último, se observaron pequeños nuevos cursos desde el centro hacia el fondo del mallín (Figura 3.78). Además se pudo evidenciar la presencia de una tonalidad de color verde en todos ellos, señal de una posible eutrofización (Figuras 3.79, 3.80 y 3.81).

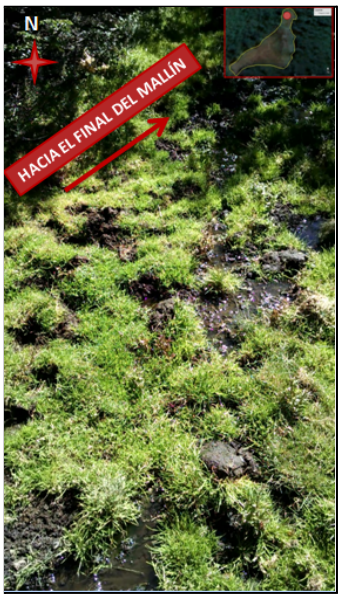


Figura 3.75. Pisadas de caballo en sitio próximo al final del mallín. Fuente: propia.

Figura 3.76. Pisadas de caballo en el fondo del mallín. Fuente: propia.

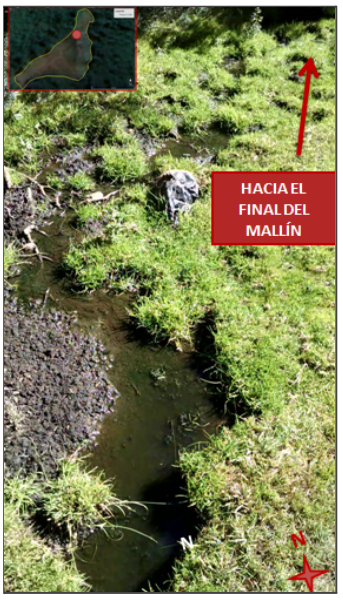


Figura 3.77. Curso del efluente de mayor dimensión. Fuente: propia.

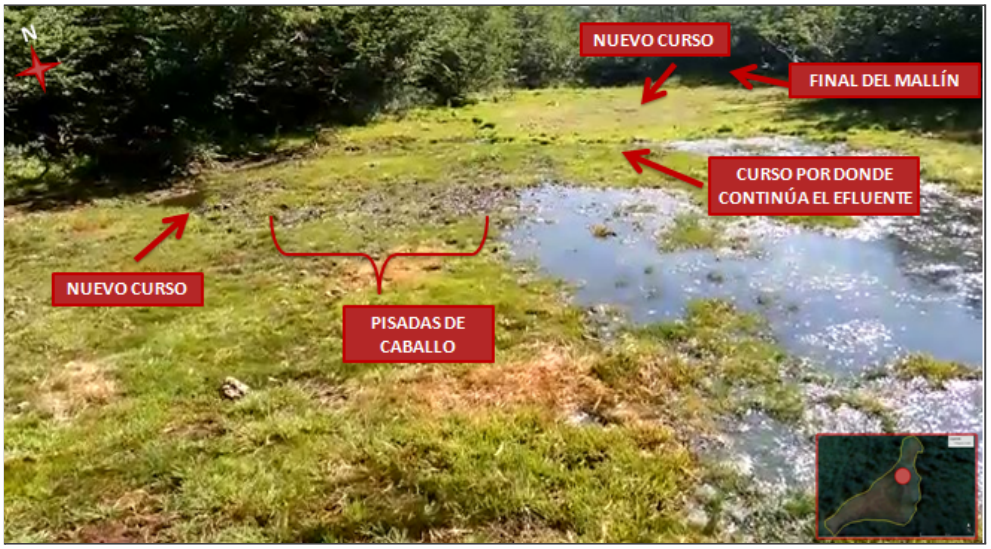


Figura 3.78. Zona central del mallín con presencia de nuevos cursos de efluente. Fuente: propia.

Figura 3.79. Nuevo curso de efluente con tonalidad verde. Fuente: propia.

Figura 3.80. Curso de efluente con tonalidad verde próximo al centro del mallín. Fuente: propia.

Figura 3.81. Curso del efluente en el fondo del mallín con tonalidad verde. Fuente: propia.

Es importante mencionar que se encontraba abundante presencia de excremento de caballo en toda la zona del mallín próxima al sitio en donde se encuentra el efluente (Figura 3.82).

Figuras 3.82. Excremento equino en distintos sectores del mallín. Fuente: propia.

Hacia el final del mallín, más precisamente en la zona en donde nace el curso de agua, se pudo observar agua escurriendo por el mismo. En el relevamiento anterior el agua no escurría, es decir permanecía estanca; esta vez el curso presentaba escorrentía (Figura 3.83).

Pudimos avanzar en dirección norte, siguiendo el curso de agua, aproximadamente 110 m. A 50 m aproximadamente desde el inicio del curso, se pudo observar que el agua continuaba escurriendo sin disminuir su caudal, presentándose en partes mezclada con barro. La coloración del agua era en partes verdosa. Con la ayuda de una rama se procedió a recoger algo de barro, de forma tal de detectar el olor del mismo al acercar la rama a la nariz (Figura 3.84). Se pudo percibir leve olor a lodo fecal.

Avanzando unos poco metros más hacia en norte, se pudo detectar la presencia de espuma de color blanca en el agua, presentandose en sectores de la misma una leve pigmentación verde (Figura 3.85).

Figura 3.83. Inicio del curso de agua contiguo al mallín. Fuente: propia.

Figura 3.84. Curso de agua a 50 m desde el mallín. Fuente: propia.

Figura 3.85. Presencia de espuma en el agua y de tonalidad verde en partes de la misma. Fuente: propia.

Continuando pendiente abajo, a los aproximadamente 70 m desde la naciente del curso se continuó observando pigmentación verde en el agua (Figuras 3.86 y 3.87).

Figura 3.86. Tonalidad verde en el curso de agua. Fuente: propia.

Figura 3.87. Imagen tomada en el mismo sitio que en la Figura 3.84, a menor distancia. Fuente: propia.

Se logró avanzar unos 30 m más hasta llegar a una zona más rocosa y con una marcada pendiente. En dicho sitio el agua continuaba su curso por entre medio de las rocas (Figura 3.88), aquí también se detectó la presencia de espuma en el agua (Figura 3.89). Cabe destacar que en esta zona se observó la presencia de musgos, los cuales no se encontraban presentes en los sitios anteriores, es decir pendiente arriba. Los mismos fueron encontrados tanto en las rocas como en troncos (Figuras 3.88 y 3.90).

Se pudo determinar con GPS que el desnivel fue de 8 m desde el inicio del curso de agua, es decir en el final del mallín, hasta el comienzo de la zona rocosa, donde la pendiente comienza a tener un marcado desnivel.

Figura 3.88. Curso de agua en zona rocosa. Presencia de musgos. Fuente: propia.

Figura 3.89. Espuma en el curso de agua. Fuente: propia.

Figura 3.90. Presencia de musgos en zona rocosa. Fuente: propia.

Auditorías realizadas por el Organismo de Control

El refugio San Martín se encuentra ubicado dentro del PNNH, por lo que el Parque es el Organismo de Control del refugio y es el encargado de realizar las auditorías correspondientes en el sitio. Se realizaron consultas a dicho Organismo en relación a las auditorías llevadas a cabo en el refugio, más precisamente en la zona de los baños externos. Cabe recordar que los mismos se encuentran en funcionamiento desde aproximadamente el año 2003. La información brindada corresponde a una auditoría realizada el 5 de abril del 2006, y otra el 6 de marzo del año 2007, realizada por el área de Gestión Ambiental del Parque.

La auditoría del año 2006 hace mención a los baños externos manifestando únicamente que los mismos se ubican en la zona del área de acampe, los cuales poseen 3 cámaras de inspección, 2 cámaras sépticas secuenciadas en serie y lecho nitrificante[22]. Además recomendaron cubrir el zanjeo del lecho con suelo mineral.

La auditoría realizada en el año 2007 fue en conjunto con personal de la Unidad Regional de Epidemiología y Salud Ambiental, Zona Andina (URESA) [23]. En dicha auditoría se hace mención que los baños cuentan con 2 cubículos por cada sexo, que la higiene es adecuada y que los recipientes para los desechos se encuentran sin bolsas ni tapas. Además indican que los desagües van a 2 cámaras de inspección conectadas y luego a un lecho para terminar, mediante una zanja abierta, en un sector a cielo abierto. A continuación se presentan 2 imágenes obtenidas del informe de la auditoría realizada (Figuras 3.91 y 3.92). Además agregan que los residuos del baño son quemados.

[22] Lecho nitrificante es sinónimo de lecho de infiltración.

[23] URESA: equipo interdisciplinario con sede en la localidad de San Carlos de Bariloche, dependiente del Ministerio de Salud, de la Provincia de Río Negro, República Argentina.

Figura 3.91. Pared de contención donde se ubican las cámaras sépticas. Fuente: PNNH.

Figura 3.92. Sitio de descarga de los efluentes provenientes de las CS. Fuente: PNNH.

Esta auditoría hace mención de distintas directivas, dentro de las cuales, en relación a los baños externos, mencionan que el sector a cielo abierto donde terminan los residuos líquidos deberá ser restringido, dado la cercanía a la zona de acampe.

URESA realizó una auditoría en el año 2014. En la misma mencionan que al momento de dicha auditoría, los efluentes se derivan a dos cámaras sépticas ubicadas lejos de las fuentes de agua. Además agregan que su cierre es adecuado y el drenaje filtra hacia un mallín. Por último mencionan que no se pudo apreciar malos olores en las inmediaciones.

En marzo del año 2017 el PNNH, más precisamente la Dirección Regional Patagonia Norte, llevó a cabo la Disposición 057, en la cual en su Artículo 1 menciona “eximir de la presentación del Informe Medioambiental (IMA) al proyecto de autorización al Club Andino Bariloche, para la administración y explotación del Refugio de Montaña San Martín - Laguna Jakob, sitio en jurisdicción del Parque Nacional Nahuel Huapi, en el marco del Convenio suscripto con la Administración aprobado por resolución del Directorio N° 192/2005”. Esto es debido a que anteriormente, en dicha disposición, se hace mención que la Intendencia del PNNH, mediante la nota 00029/2017 informa que las adecuaciones requeridas (mediante la auditoría llevada a cabo en el año 2014) fueron “resueltas y mejoradas ampliamente”. Cabe destacar que dicha disposición fue realizada previo a la fecha del incendio del refugio, la cual fue en julio del mismo año.

En el Artículo 2 de la misma Disposición se menciona que “La exención del IMA dictada precedentemente sólo ampara la prestación de servicios turísticos asociados a la infraestructura existente (pernocte, uso de sanitarios, cocina y demás instalaciones), y tendrá validez hasta el 20 de abril de 2019. Su posible renovación quedará supeditada a la realización de un Diagnóstico Ambiental de la infraestructura y el servicio, en el marco establecido por el Capítulo 8 del Reglamento para la Evaluación Ambiental de la APN, -Resolución del Directorio N° 203/2016- en el que verifique el funcionamiento general del servicio y la posible detección de impactos ambientales no evaluados oportunamente”.

No se pudo acceder a la información relacionada a la realización del Diagnóstico Ambiental que debió haberse realizado de forma previa a abril de 2019, por lo que se desconoce si la misma fue o no realizada.

3.2 RELEVAMIENTO DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES CLOACALES EN OTROS REFUGIOS A CAMPO

Dentro de PNNH existen otros refugios de montaña. Para el siguiente TFI se llevaron a cabo dos visitas a dos refugios respectivamente. La finalidad fue conocer y consultar el funcionamiento de sus respectivos sistemas de tratamiento de efluentes, si los mismos se encuentran funcionando correctamente en el ambiente de alta montaña y bajo condiciones climáticas desfavorables, y si presentan inconvenientes de mantenimiento y operación de los mismos.

Los sitios fueron el refugio Agostino Rocca, y el Refugio Ilón, ubicado este último junto a la laguna homónima. El motivo de la elección de dichos refugios fue debido a que, en el caso del refugio Rocca se utilizó, y en el refugio Ilón actualmente se utiliza, sistemas de tratamiento de efluentes cloacales de baños secos, cuyo sistema es de interés para el presente trabajo.

Tanto el refugio Agostino Rocca como el refugio Ilón se ubican dentro del PNNH (Figura 3.93), y pertenecen al Club Andino Bariloche, al igual que el refugio San Martín.

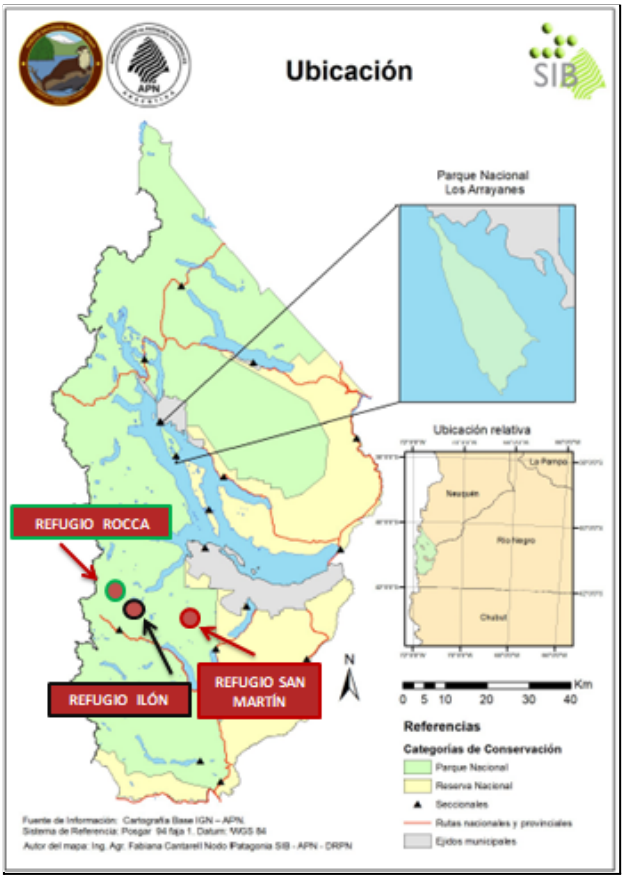


Figura 3.93. Ubicación geográfica del PNNH y los refugios A. Rocca, Ilón y San Martín. Fuente: modificado de [2].

A continuación se detallan las visitas a los respectivos sitios.

Refugio Agostino Rocca

La visita al refugio se llevó a cabo el 7 de febrero del 2020. Dicha fecha corresponde con la etapa estival en la zona, el mismo permanece abierto únicamente desde noviembre a abril. Se ubica a 1432 msnm, en la ladera este del cerro Tronador [57]. Su inauguración fue el 28 de abril del 2012, momento desde el cual se mantiene en funcionamiento.

Cuenta con capacidad para 80 personas, con 10 habitaciones, dependencia de refugieros, una cocina para que cada visitante pueda elaborar su propia comida, así como también la cocina utilizada únicamente por el personal del refugio, y baños. Es el refugio de mayor capacidad de pernocte en la zona sur del PNNH donde, como se mencionó anteriormente, también se encuentra el refugio San Martín.

Los baños están divididos para damas y caballeros. Son amplios y cuentan con dos compartimientos o boxes individuales, en donde cada uno de ellos actualmente cuenta con un inodoro con sistema de arrastre hidráulico. Además poseen dos bachas y dos duchas individuales cada uno. De este modo en cada baño (uno para hombres y otro para mujeres) cuenta con dos inodoros, dos bachas y dos duchas, teniendo en total 4 inodoros, 4 bachas y 4 duchas.

La zona de acampe posee capacidad para aproximadamente sólo 10 carpas. El refugio está abastecido de energía hidroeléctrica por una turbina, ubicada en un cauce de agua a 500 m del refugio. Todos los ambientes del refugio están calefaccionados con placas eléctricas, incluidas las habitaciones.

El día de la visita se pudo dialogar con el concesionario del refugio, a continuación se detalla la información obtenida de dicha entrevista.

El refugio inició con un sistema de tratamiento de baño seco. De este modo, los 4 inodoros, 2 por cada baño, eran inodoros sin separación de orina, conectados a un recipiente o receptáculo donde se llevaba a cabo el almacenamiento de la orina y heces. El sistema fue traído desde Sudáfrica, adquirido mediante la compra a una empresa encargada de desarrollar la tecnología. Ésta no funcionó y al cabo del año 2013 fue retirada. El período en el que se encontró en funcionamiento la concesión del refugio era gestionada por otra persona, por lo que el actual concesionario no tenía mucho conocimiento respecto a lo ocurrido con dicho sistema ni a su funcionamiento. Solo manifestó saber que el sistema sufrió el ingreso de agua al receptáculo donde se llevaba a cabo el almacenamiento de orina y heces, las cuales no habían sido retiradas luego de la temporada. Esto produjo la generación de olor, el cual llegó a manifestarse en el interior del refugio, generando desagrado en los visitantes. Uno de los motivos que se sospecha pudo haber ocurrido, es que dicho receptáculo se inundó con agua producto del deshielo de la nieve recibida durante el invierno, la cual pudo haber ingresado producto de una mala instalación del sistema o de una indebida gestión del mismo. Este hecho es solo una suposición, no hubo un análisis detallado de la situación.

Se consultó respecto al destino de dichos baños secos una vez retirados. Los mismos fueron enviados al Club Andino Bariloche y uno de ellos a un colegio de la zona, este último con la finalidad de realizar un análisis del sistema y ver la posibilidad de implementarlo en el establecimiento educativo.

En el período en que se encontraron los baños secos instalados (años 2012-2013) el afluente de visitantes registrados fue de aproximadamente 1700 personas (Figura 3.94). Aquí cabe aclarar que, como se mencionó anteriormente, el refugio fue inaugurado el 28 de abril del año 2012, por lo que el número de visitantes fue bajo en dicho año (*) debido a que solo corresponden a los registros de noviembre y diciembre. En cuanto al año 2013, la totalidad de personas corresponde a los meses del

año en que el refugio se encontró abierto, es decir enero-febrero-marzo-abril-noviembre y diciembre del respectivo año (**).

REFUGIO	Año				
	2010	2011	2012	2013	2014
Frey	4018	3080	3020	4187	5212
San Martín	1671	1483	1179	1860	1663
Italia	2226	1467	1250	2036	2439
López	1262	630	588	803	1010
Rocca	464	366	270 *	1401 **	1695
Meiling	2862	2167	1655	3359	2822
Viejo	41	25	76	158	127
Dormilón (*)	0	0	37	217	242
Total	**1544**	**9218**	**8075**	**14021**	**15210**

Figura 3.94. Número de visitantes al refugio Rocca en el período 2012-2013.
Fuente: modificado de [2].

Luego del año 2013 la concesión del refugio cambió al actual concesionario. Debido al retiro del sistema de baños secos, se implementó un nuevo sistema conformado por 2 biodigestores de 1 m^3 cada uno, destinando uno de estos para el tratamiento de los efluentes provenientes del baño de hombres y otro para el de mujeres. Previo a los biodigestores poseen un sistema de rejas, en donde quedan retenidos residuos[24] voluminosos. Esto es debido a que los visitantes muchas veces desechan en el inodoro objetos que deben ser depositados en los recipientes de basura presentes en los baños. Debido a esto, con el sistema de rejas se busca retener dichos desechos evitando que ingresen a cada biodigestor. Los residuos retenidos allí son recogidos e incinerados.

Los biodigestores anteriormente mencionados se conectan a un sitio de infiltración. El mismo fue construido realizando una zanja en el suelo, la cual fue rellenada con piedras en la parte inferior del mismo, por encima de estas fueron ubicados los caños provenientes de los biodigestores, para finalmente ser tapado con tierra. El sistema biodigestores-lecho nitrificante se encuentra en funcionamiento desde el año 2013. En el año 2019 ambos biodigestores fueron vaciados y limpiados debido a que se encontraban llenos. El lodo del interior de éstos fue agregado al compost que realizan en el refugio, el cual está conformado por los desechos orgánicos del sitio y de los visitantes. El sitio de disposición de los desechos orgánicos no fue posible conocer.

Al momento de la visita la zona de la superficie del suelo, por encima del lecho, se encontraba muy húmeda (Figura 3.95). El concesionario manifestó que dicha humedad se comenzó a observar en esta temporada (2019-2020), por lo que supone que el lecho se encuentra saturado. Se debe mencionar que el refugio fue construido sobre una zona rocosa, por lo que el terreno que puede ser destinado para infiltración es reducido en los sitios próximos al refugio.

[24] Aquí se menciona la palabra “residuo” como sinónimo de “desecho”.

Figura 3.95. Ubicación lecho nitrificante en el refugio A. Rocca.
Fuente: propia.

Se consultó respecto al uso de las duchas, las cuales el concesionario manifestó que los visitantes no tienen permitido el uso de acondicionador para el cabello. Una vez que el usuario solicita el uso de las mismas, los refugieros suministran un jabón biodegradable. De todos modos el control acerca del uso de productos para el cabello es complicado de realizar; se debe recurrir a la confianza en el usuario luego de comunicarles la prohibición del uso de los mismos. También mencionó la dificultad para controlar el tiempo en que el visitante permanece duchándose, lo que condiciona la generación de efluente. La demanda en el uso de las duchas fue creciendo a lo largo de los años, a pesar de que se intentó controlar su uso ofreciendo un servicio costoso.

En todo momento el concesionario manifestó su preocupación respecto al sistema de tratamiento de efluentes en el refugio, ya que considera que el problema debe ser resuelto a corto plazo, pero el mismo se hace dificultoso por la zona en la que se encuentra el refugio, la cual, al igual que el refugio San Martín, es una zona de alta montaña. Al sitio se llega luego de aproximadamente 4 a 6 h de caminata desde Pampa Linda, zona que se ubica a unos 70 km aproximadamente desde la ciudad de Bariloche.

En la Tabla 3.2 se presentan los datos del número de visitantes que subieron al refugio Rocca, registrados por el PNNH, desde el año 2015 al año 2020. El año 2019 y 2020 fueron suministrados por el Parque como datos preliminares (*), por lo que pueden diferir de los datos finales.

PERSONAS REGISTRADAS PARA SENDEROS Y TRAVESÍAS HACIA EL REFUGIO ROCCA					
2015	2016	2017	2018	2019 (*)	2020 (*)
1757	1952	1891	1676	2445	1856

Tabla 3.2. Personas registradas que visitaron el refugio Rocca en el período 2015-2020. Fuente: PNNH.

El refugio se ubica dentro de la zona de selva valdiviana del PNNH. La senda de acceso al mismo es de uso intensivo y en especial el tratamiento de aguas residuales es considerado un problema, según el Plan de Manejo del PNNH [2].

En esta visita no se pudo obtener más información respecto al tipo de tecnología de los baños secos usados en el refugio, motivo por el cual se llevó a cabo una visita al colegio en donde fue solicitado uno de los baños que funcionó en el refugio.

El establecimiento visitado fue el colegio Qmark, ubicado en Bariloche. Es un Bachillerato con orientación en Ciencias Naturales. En una de las asignaturas se llevó a cabo el estudio del sistema por parte de los alumnos y la docente a cargo. No se realizó la puesta en funcionamiento en el establecimiento debido a que la tecnología ofrece un producto deshidratado y ellos buscaban un sistema de baño seco que permita compostar el producto. Se pudo observar el baño desarmado y capturar la marca comercial (Enviro Loo) del mismo para luego buscar mayor información sobre su funcionamiento.

La tecnología del sistema consiste en un inodoro sin separación de orina en la tasa, el cual está conectado a un recipiente que recibe los desechos (Figura 3.96). En la fase inicial dichos desechos ingresan al recipiente, en donde los residuos líquidos drenan al fondo del mismo, mientras que los desechos sólidos permanecen en la placa de secado, la cual es perforada y se encuentra inclinada (Figura 3.97).

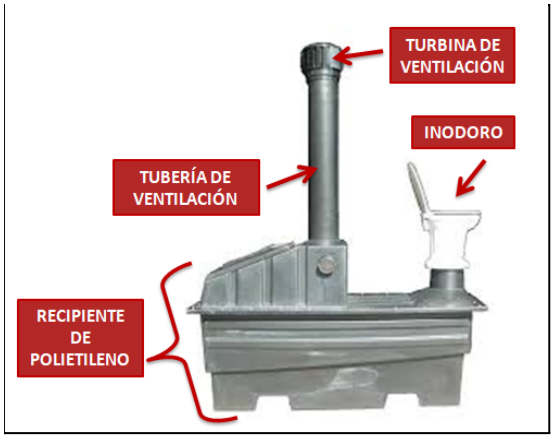


Figura 3.96. Sistema de baño seco.
Fuente: modificado de [58].

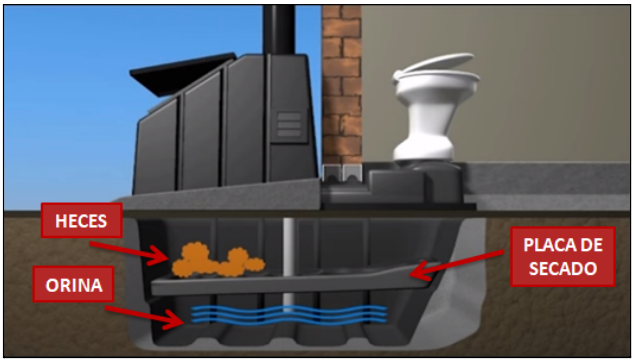


Figura 3.97. Funcionamiento del sistema.
Fuente: modificado de [59].

Los desechos se exponen a un flujo continuo de aire, el cual es constante, ingresando al sistema por el inodoro y la entrada de aire lateral del recipiente (Figura 3.98). A medida que el aire circula a través del sistema, deshidrata los desechos sólidos en la placa de secado. El líquido drenado al fondo del recipiente se evapora. Al mismo tiempo, la luz solar absorbida por el recipiente de polietileno negro aumenta la temperatura ambiente dentro del contenedor, por lo que el aire del interior se calienta (Figura 3.99).

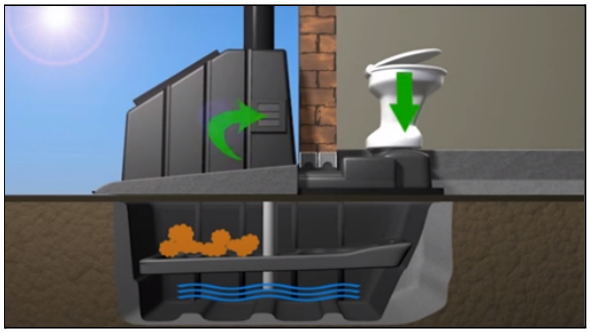


Figura 3.98. Ingreso de aire al sistema. Fuente: [59].

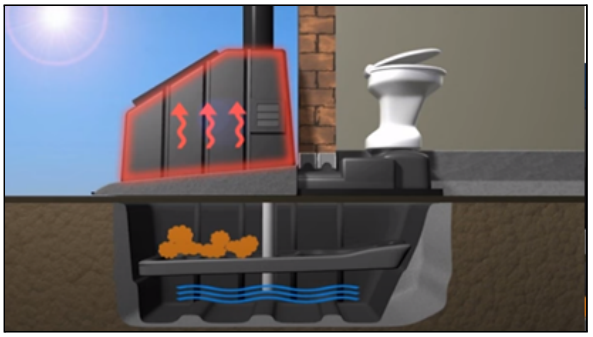


Figura 3.99. Absorción de luz solar del recipiente. Fuente: [59].

Debido a que el aire caliente es menos denso que el aire frío, asciende por la tubería de ventilación para liberarse a la atmósfera a través del extractor de ventilación (Figuras 3.100 y 3.101). Esta diferencia de densidades entre el aire caliente y el frío crea una leve diferencia de presión entre el interior y el exterior del sistema, lo que produce el ingreso del aire frío a través de la tapa del inodoro y la ventilación lateral, liberándose aire caliente, producto de su ascenso, por la tubería de ventilación. Además la diferencia de presión, que es menor dentro del recipiente, evita el escape de cualquier olor a través de la taza del inodoro o por las tuberías de entrada de aire. El olor se expulsa a la atmósfera a través del extractor accionado por el viento.

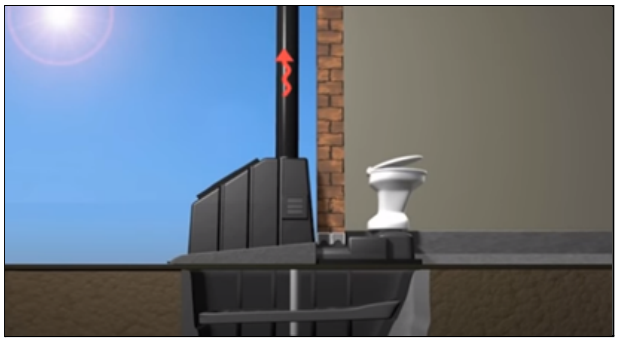


Figura 3.100. Ascenso del aire caliente por la tubería de ventilación. Fuente: [59].

Figura 3.101. Ascenso del aire caliente y liberación a la atmósfera. Fuente: [59].

El ingreso de aire al sistema favorece la creación de un entorno aeróbico en este, lo que producirá el aumento en el número de microorganismos aerobios y con ello la reducción de microorganismos patógenos [59]. Al final de este proceso, los desechos humanos se convierten en un material inofensivo, seco y estabilizado.

Refugio Ilón

La visita al refugio Ilón se realizó el 9 de febrero del 2020. Se ubica a 1350 msnm [60]. El refugio no es una construcción de material, sino que son 2 domos, por lo que más bien es un sitio de camping organizado [61]. El domo, denominado principal, es utilizado como cocina y salón, el domo restante es utilizado como dormitorio, con capacidad para aproximadamente 20 personas. Cuenta con una amplia zona de acampe. Anteriormente era un sitio sin refugio organizado ni personal, sólo había un refugio vivac. Desde el año 2019 el sitio cuenta con los domos mencionados junto con refugieros que se encargan de mantener la zona en condiciones y recibir a los visitantes. El sitio se caracteriza por la laguna Ilón, la cual se encuentra a escasos metros de los domos.

La información brindada por el PNNH en relación a las personas registradas en el registro de *trekking*[25] para senderos y travesías asociadas al refugio Ilón, fueron de 1171 personas para la temporada 2018-2019 y de 1711 personas para la temporada 2019-2020.

El sitio cuenta con baños secos con separación de orina, la cual ocurre en la taza del inodoro. Los mismos se encuentran en funcionamiento desde comienzos del año 2019, junto con el inicio del camping organizado. Los baños secos se encuentran en una construcción de madera (Figura 3.102), la cual cuenta con 3 baños, en el interior de 2 de ellos hay presente un inodoro con separación de orina y un tacho para depositar los papeles (Figura 3.103). Otro de los baños cuenta con un único mingitorio, por lo que solo es utilizado por los hombres para orinar (Figura 3.104).

Figura 3.102. Construcción con baños secos. Fuente: propia.

Figura 3.103. Interior de uno de los baños con inodoro con separación de orina. Fuente: propia.

Figura 3.104. Baño únicamente con mingitorio. Fuente: propia.

[25] *Trekking*: también llamado senderismo, se refiere a la actividad de realizar caminatas en un entorno natural o abierto.

Las heces son recogidas en tachos de 60 l; cada baño, por debajo del inodoro, cuenta con un tacho (Figura 3.105). El material de cobertura es agregado por parte de los refugieros, varias veces al día, por la parte trasera de la estructura de madera (Figura 3.106). Una vez que el recipiente se encuentra con heces hasta sus ⅔ partes aproximadamente, son transportados con la ayuda de un carrito, hacia el sitio donde se encuentran las composteras. Al momento de la visita realizaban el vaciado de un tacho cada dos días aproximadamente, y tenían un afluente aproximado de 120 personas por día. La orina proveniente de los dos inodoros y el mingitorio es enviada al suelo para su infiltración (Figura 3.107).

Figura 3.105. Cesto debajo del inodoro. Fuente: propia.

Figura 3.106. Parte trasera de los baños. Fuente: propia.

Figura 3.107. Orina dirigida hacia el sitio de infiltración. Fuente: propia.

El material de cobertura que utilizan es aserrín, hojas secas y cenizas. Los papeles de los tachos que se ubican en el interior del baño no son agregados al compost, sino que son incinerados. La higienización de los inodoros se realiza con vinagre de alcohol diluido, para evitar el uso de productos de limpieza agresivos, que puedan introducirse en el tacho de almacenamiento de heces y afectar luego al compost.

La estructura en donde se encuentran los baños no posee conexión a una fuente de agua, por lo que no cuenta con un lavatorio para la higienización de las manos. De todo modos, a menos de 30 m de los baños hay acceso a un lavatorio con agua, el cual es utilizado para la higienización como para lavado de alimento o utensilios de los acampantes.

El sitio donde se ubican las composteras está alejado de la zona de acampe. Actualmente cuentan con 2 composteras, cada una de 1 m^3 aproximadamente. Una de ellas contiene heces de la temporada pasada, es decir del verano del 2018-2019. A comienzos de la última temporada transcurrida, comenzaron a dar uso a la segunda compostera, la cual se encontraba llena en sus ⅔ de capacidad al momento de la visita.

Cuando finalizó la temporada de verano del 2019, llevaron a cabo dos métodos para el tratamiento de las heces, obtenidas en dicho período. Uno de ellos consistió en un tratamiento anaerobio, el cual consistió en almacenar la mitad del volumen recogido en una bolsa de vinilo, a la cual se agregó una manguera para la liberación de los gases. Con la mitad restante del volumen de

heces, se realizó un tratamiento aerobio, el cual fue realizado en la primera compostera, presentada anteriormente. Esta última fue construida con tarimas de madera fijadas con una malla de alambre. Durante el invierno fue cubierta con nylon. Transcurrida la etapa invernal observaron que el sistema anaerobio no funcionaba; las heces se encontraban con gran presencia de agua, por lo que la consistencia era más bien de lodo fecal. El mismo fue depositado en la compostera, donde se realizó el tratamiento aerobio. Los refugieros realizan volteos del material en su interior de forma periódica, para favorecer así el tratamiento. Al momento de la visita, no presentaba olor.

La segunda compostera fue puesta en funcionamiento a comienzos de la nueva temporada, en noviembre del 2019. También es sometida a volteos para favorecer la oxigenación del compost. Ambas composteras son tapadas con naylon cuando llueve. A continuación, en la Figura 108, se muestran ambas composteras.

Figura 108. Composteras de desechos fecales. Fuente: propia.

Se preguntó a los refugieros como manejaban el uso de los baños en relación a los visitantes. Mencionaron que la mayoría tiene buena aceptación del sistema, ya que el mismo no genera efluente y los desechos son compostados, por lo que contribuye con el cuidado del ambiente. De todos modos hay personas que en un comienzo manifiestan más rechazo que otras. Éstos, al momento de llegar al sitio, deben registrarse en una planilla, la cual es facilitada por los refugieros. Dicho momento es aprovechado por los mismos para informar acerca del funcionamiento de los baños, ya que en la zona no hay un sistema similar, es decir el resto de los refugios de la zona cuenta con baños con inodoros de arrastre hidráulico, por lo que utilizan agua para su funcionamiento, sistema que la mayoría cuenta en sus hogares de origen, por lo que no es necesario adaptarse a ningún hábito distinto.

Manifestaron que algunas veces notan que la separación de orina no es realizada debidamente por el usuario, presentando el tacho de almacenamiento de heces orina en su interior. Cuando esto ocurre suministran mayor cantidad de material de cobertura a las mismas. De todos modos este hecho ocurre pocas veces.

3.3 PROPUESTA DE SISTEMA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES CLOACALES EN EL REFUGIO SAN MARTÍN

Con el relevamiento bibliográfico de distintos sistemas de tratamiento de efluentes cloacales llevado a cabo anteriormente y con las visitas a campo a sitios ambientalmente similares al refugio San Martín, a continuación se proponen 4 sistemas de tratamientos que se consideran, podrían mejorar el sistema presente en los baños externos del refugio. Además se tuvo en cuenta las condiciones ambientales del sitio, la dificultad de acceso al mismo, la cantidad de visitantes que recibe el refugio, así como las condiciones en las que se presenta el actual sistema y que fueron analizadas en los distintos relevamientos realizados y descriptos anteriormente.

Para realizar la elección de uno de ellos y posteriormente elaborar un instructivo de buenas prácticas para la mantención del sistema propuesto, se realizó un análisis de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas (FODA) entre los 4 sistemas de tratamientos posibles a implementar.

Como se mencionó anteriormente, para realizar la elección y el dimensionamiento de un sistema de tratamiento de efluentes cloacales es necesario estimar la cantidad de usuarios que harán uso del mismo. Aquí se realiza una proyección de los sistemas de tratamiento a 10 años debido a que, tras el análisis de los datos que se presenta a continuación, se considera que sería poco certero llevar a cabo una proyección más prolongada en el tiempo.

En la Tabla 3.3, se presentan los datos brindados por el PNNH, los cuales muestran el número de visitantes que realizaron el registro de *trekking* correspondiente para visitar el refugio, en los últimos 10 años. Este registro debe ser realizado por todas las personas que visiten el refugio, de forma on-line, en la página web del PNNH. Algunos datos se presentan únicamente como el total del año, y otros de forma mensual. Cabe destacar que la cantidad de personas registradas en el mes de marzo de 2020 corresponde al período previo a la pandemia de Covid-19, por lo que no reflejan el total del mes.

PERSONAS REGISTRADAS POR EL PNNH QUE VISITARON EL REFUGIO SAN MARTÍN 2010-2020 (PNNH)											
AÑO	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**
ENERO							959	1195	737	1010	1228
FEBRERO							569	635	521	675	1013
MARZO							420	365	284	591	344
ABRIL							136	186	219	348	
MAYO							66	42	115	123	
JUNIO							27	2	16	167	
JULIO							7	7	9	30	
AGOSTO							0	11	20	32	
SEPTIEMBRE							33	2	29	123	
OCTUBRE							49	52	82	83	
NOVIEMBRE							231	88	185	193	
DICIEMBRE							465	363	381	444	
TOTAL	**1671**	**1483**	**1179**	**1860**	**1663**	**SIN DATOS**	**2962**	**2948**	**2598**	**3819**	
Se representa en color rosado los meses afectados por el incendio.											

Tabla 3.3. Personas registradas de forma on-line por el PNNH, que visitaron el refugio San Martín. Fuente: PNNH.

Los datos ofrecidos por el PNNH solo reflejan un porcentaje del total de personas que suben al refugio, es decir solo muestra los datos de aquellas personas que realizaron el registro de *trekking* de forma on-line, como se mencionó anteriormente. Según el Informe [62], en el cual se realizaron muestreos en sendas de acceso a refugio Frey[26] y refugio Italia Manfredo Segre (Laguna Negra), llevado a cabo por la División de Planificación y Gestión del Uso Público del Parque, durante la última temporada de verano (enero y febrero del año 2020), se obtuvieron datos que reflejan el promedio de personas no registradas. El valor de las mismas es de un 64%[27], es decir que solamente aproximadamente el 36% de las personas que realizan *trekking* dentro las sendas de los refugios anteriormente mencionados, utilizan el registro obligatorio. Cabe mencionar que el refugio Frey e Italia se encuentran en la zona sur del Parque, y se conectan por travesía con el refugio San Martín. Debido a esto, también se puede asumir un porcentaje similar de personas no registradas que realizan *trekking* hacia el refugio, por lo que el valor real de personas que suben al mismo es superior a los valores reportados en la Tabla 3.3, ya que éstos sólo representan aproximadamente el 36%.

Analizando la Tabla 3.3, se puede observar que la tasa de crecimiento de visitantes al refugio es creciente a lo largo de los años. Realizando una interpretación más exhaustiva, se observa que los años 2011 y 2012 reflejan un menor valor de visitantes en relación al año 2010. En junio del año 2011 ocurrió la erupción del complejo volcánico Puyehue-Cordón Caulle, cuyo fenómeno duró aproximadamente 10 meses y afectó a gran parte del PNNH. Debido a esto se produjo una reducción

[26] Refugio Frey: es uno de los refugios de montaña presentes dentro del PNNH, siendo el refugio más visitado en la zona sur del parque actualmente. Se encuentra próximo al refugio San Martín, ambos se conectan entre sí por travesía, a través de sendero de *trekking*.

[27] El valor obtenido del Informe del PNNH es de 63,24%, pero aquí, por fines conservativos, se utiliza 64%.

en el número de turistas que visitaron Bariloche, por lo que se puede decir que también afectó al número de personas que visitaron el refugio. Continuando con el análisis, se muestra en color fucsia, los meses afectados por el incendio ocurrido en el refugio en el mes de julio del año 2017. Las pérdidas fueron prácticamente totales, por lo que a lo largo de los siguientes meses se llevó a cabo la construcción de un nuevo refugio, el cual se inauguró en abril del año 2018. Durante la temporada de verano 2017-2018 se instalaron 2 domos en el sitio, para recibir a los visitantes, pero ofrecían menos camas para pernoctes. Debido a dicho suceso es que los valores presentados pueden verse disminuidos si se compara el total anual del año 2017 en relación al 2018, así como la reducción mensual en la mayoría de los meses de verano del año 2018, en comparación al 2017. También se observa que no se cuenta con los valores del año 2015. Otro aspecto a considerar es que los valores de marzo del año 2020 no reflejan el total mensual, ya que la pandemia por el virus Covid-19 fue declarada en Argentina el 20 de marzo, lo que produjo el cierre del refugio en dicha fecha.

Debido al análisis presentado, se observa que los datos del total de visitantes se ven influenciados por varios factores, además de que no se dispone de algunos datos, lo que dificulta a la hora de realizar una proyección, y que ésta se adecue lo más posible a la realidad.

En la Tabla 3.4 se presentan los datos de la Tabla 3.2 aplicando el 64% correspondiente a las personas no registradas, mostrando de esta manera valores más aproximados a los reales.

PERSONAS REGISTRADAS POR EL PNNH, QUE VISITARON EL REFUGIO SAN MARTÍN, CONSIDERANDO EL 64% DE PERSONAS NO REGISTRADAS DURANTE EL PERÍODO 2010-2020 (PNNH)											
AÑO	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**
ENERO							1573	1960	1209	1656	2014
FEBRERO							933	1041	854	1107	1661
MARZO							689	599	466	969	564
ABRIL							223	305	359	571	
MAYO							108	69	189	202	
JUNIO							44	3	26	274	
JULIO							11	11	15	49	
AGOSTO							0	18	33	52	
SEPTIEMBRE							54	3	48	202	
OCTUBRE							80	85	134	136	
NOVIEMBRE							379	144	303	317	
DICIEMBRE							763	595	625	728	
TOTAL	**2740**	**2432**	**1934**	**3050**	**2727**	**SIN DATOS**	**4858**	**4835**	**4261**	**6263**	
Se presenta en color rosado los meses afectados por el incendio.											

Tabla 3.4. Personas registradas de forma on-line por el PNNH, que visitaron el refugio San Martín.
Fuente: modificado de Tabla 3.3.

A continuación se realizan las proyecciones a 10 años para la generación de efluentes (debido a que 2 de los sistemas a proponer generan efluentes); y la proyección de generación de excretas (debido a que se proponen 2 sistemas de tratamiento en donde no hay generación de efluentes).

Proyección de generación de efluentes

Como se mencionó anteriormente, el mes en donde se muestra el valor más alto de visitantes al refugio y por consiguiente la mayor generación de efluentes, es en el mes de enero. Durante los meses de verano todo visitante, ya sea acampante o que realiza pernocte en el refugio, utiliza los baños externos. Debido a esto, es que para llevar a cabo la proyección de visitantes propuesta a 10 años, se tuvo en cuenta el número de personas durante los meses de enero.

Se analizaron los años en donde se presentan valores mensuales (2016, 2017 y 2018), obteniendo en promedio que el mes de enero representa aproximadamente el 34% del total anual de visitantes (Tabla 3.5).

	VISITANTES AÑO 2016	PORCENTAJE	VISITANTES AÑO 2017	PORCENTAJE	VISITANTES AÑO 2018	PORCENTAJE	PROMEDIO (%)
ENERO	1573	32	1960	41	1209	28	34

Tabla 3.5. Cálculo del porcentaje promedio del mes de enero. Fuente: modificado de PNNH.

Con dicho porcentaje se obtuvo el valor de los meses de enero en donde no se dispone de datos mensuales (2010, 2011, 2012, 2013 y 2014), los cuales en la Tabla 3.6 son presentados en negrita. Los datos de los años siguientes corresponden al período en donde sí se obtuvieron datos mensuales. En todos ellos se agregó el 64% correspondiente obtenido del Informe realizado por el PNNH, cuyo valor representa a aquellos visitantes que no realizan el registro de *trekking*. Con este cálculo se generó un mayor número de datos para poder realizar la proyección y, de este modo, obtener un valor más aproximado del total de personas que harán uso de los baños externos. Se eliminó el valor obtenido del año 2018, ya que fue afectado por un suceso antrópico, el cual se considera un hecho extraordinario; y el año 2015, en donde no se disponen datos del total anual, por consiguiente no se pudo obtener el valor estimado del mes.

AÑO	2010	2011	2012	2013	2014	2016	2017	2019	2020
ENERO	**932**	**827**	**657**	**1037**	**927**	1573	1960	1656	2014

Tabla 3.6. Estimación de las personas que visitaron el refugio San Martín en los últimos 10 años. Fuente: propia.

Con los valores presentados anteriormente se realizaron distintos gráficos con correlación lineal, parabólica y polinómica de grado 2. Se obtuvo un mejor ajuste con una correlación lineal, con un coeficiente de determinación (R^2) de 0,82. Se optó por utilizar la función “tendencia” en el programa de hoja de cálculo ofrecido por libre office. Esta fórmula considera los datos parciales de una tendencia lineal, para luego calcular una tendencia lineal ideal mediante el método de mínimos cuadrados. De este modo, para la extrapolación se utiliza dicha recta obtenida en el ajuste de mínimos cuadrados y se proyecta la misma a través de los años. En el Gráfico 3.1 se presenta la proyección al año 2030 del mes de enero. El valor del año 2015 y 2018 también fueron obtenidos con la función “tendencia” para, de este modo, contar con un mayor número de variables y así poder lograr una mejor proyección. Además se muestra la incerteza de cada uno de los datos.

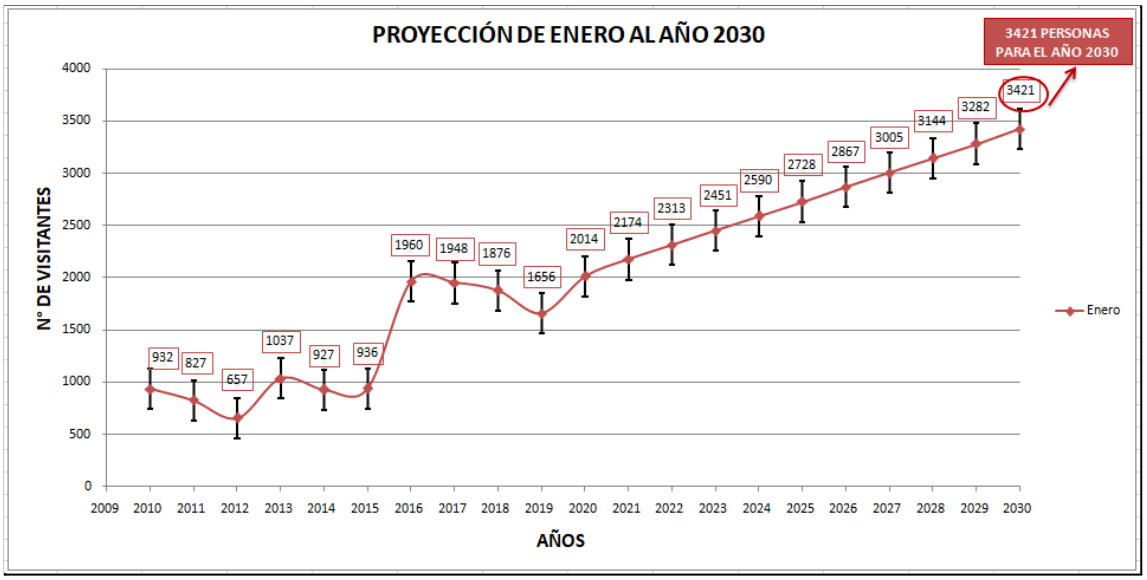


Gráfico 3.1. Proyección al año 2030 del mes de enero. Fuente: propia.

Para ser conservativos se consideran 3500 personas para el mes de enero del año 2030. De todos modos, como se mencionó anteriormente, el valor obtenido es una estimación, es decir es un valor aproximado, el cual posee incertezas.

Proyección de generación de excretas

Para realizar la siguiente proyección, se tuvo en cuenta el período en donde los baños externos se encuentran en funcionamiento y por lo tanto el período en que recibirán heces y orina. Esto se debe a que, a diferencia de la proyección realizada anteriormente, es necesario dimensionar los contenedores en donde se realizará el tratamiento de las heces, por lo tanto se requiere conocer la generación total de excretas y no así la generación máxima.

Los baños externos se encuentran en funcionamiento aproximadamente desde diciembre a mayo inclusive, considerados de aquí en adelante como meses de temporada. Se analizaron los años en donde se poseen valores mensuales (2016, 2017 Y 2018). Con dichos datos se obtuvo el porcentaje de cada mes correspondiente a cada año, es decir qué porcentaje del total anual corresponde a cada mes en donde se encuentran en funcionamiento los baños. Finalmente se realizó el promedio de cada mes entre los 3 años analizados para obtener así un porcentaje representativo de cada uno de los meses en los que funcionan los baños y con ellos poder obtener los datos faltantes de los años en los que no se cuentan con datos mensuales. Con esto se buscó aumentar el número de datos para realizar la proyección al año 2030 (Tabla 3.7).

MESES DE TEMPORADA	VISITANTES AÑO 2016	%	VISITANTES AÑO 2017	%	VISITANTES AÑO 2018	%	PROMEDIO (%)
ENERO	1573	32	1960	41	1209	28	**34**
FEBRERO	933	19	1041	22	854	20	**20**
MARZO	689	14	599	12	466	11	**13**
ABRIL	223	5	305	6	359	8	**6**
MAYO	108	2	69	1	189	4	**3**
DICIEMBRE	763	16	595	12	625	15	**14**
TOTAL ANUAL	**4858**		**4835**		**4261**		**90**

Tabla 3.7. Porcentaje de personas estimadas por cada mes. Fuente. propia.

Finalmente, se aplicó el porcentaje correspondiente a los meses de los años en los que no se cuentan con datos mensuales, como se muestra en la Tabla 3.8. Los datos presentados son aplicando el 64% correspondiente obtenido del Informe realizado por el PNNH, cuyo valor representa a aquellos visitantes que no realizan el registro de *trekking*. De este modo los datos indican el número de visitantes a lo largo de los años 2010 al 2019 durante el período en que funcionan los baños externos.

AÑO	2010	2011	2012	2013	2014	2016	2017	2019
ENERO	932	827	658	1037	927	1563	1948	1656
FEBRERO	548	486	387	610	545	929	1037	1107
MARZO	329	292	232	366	327	686	596	969
ABRIL	164	146	116	183	164	222	304	571
MAYO	82	73	58	92	82	108	69	202
DICIEMBRE	384	340	271	427	382	759	593	728
TOTAL	**2439**	**2164**	**1721**	**2715**	**2427**	**4266**	**4545**	**5233**

Tabla 3.8. Número de visitantes estimado durante los meses en que funcionan los baños externos. Fuente: propia.

Se eliminó el valor obtenido correspondiente al año 2018, ya que fue afectado por un suceso antrópico, el cual se considera un hecho extraordinario; y el año 2015 y 2020, en donde no se disponen datos del total anual, por consiguiente no se pudo obtener el valor estimado de los meses en temporada. Si bien el mes de diciembre del año 2017 también fue afectado por el incendio (color fucsia en la Tabla 3.8), es el único mes perjudicado de la temporada, por lo que se considera que el total anual se ve influenciado en una baja proporción por dicho suceso.

Con los valores obtenidos se optó por utilizar la función “tendencia” en el programa de hoja de cálculo ofrecido por libre office, como en la proyección anterior. Es importante aclarar que es una proyección lineal que posee incertezas. En el Gráfico 3.2 se presenta la proyección al año 2030 de la temporada. El valor del año 2015 también fue obtenido con la función “tendencia” para, de este modo, contar con un mayor número de variables y así poder lograr una mejor proyección.

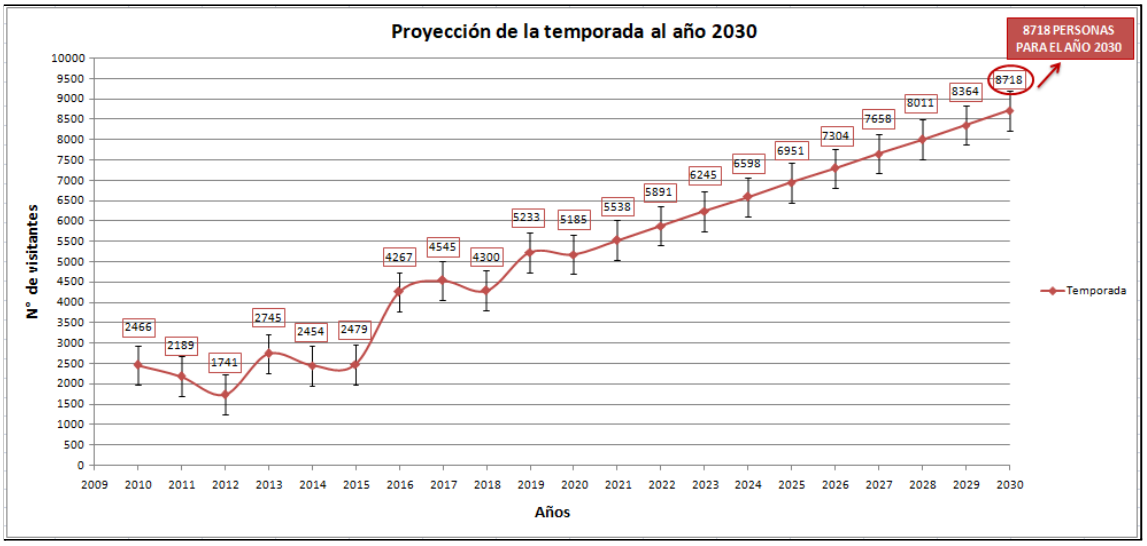


Gráfico 3.2. Proyección al año 2030 de la temporada. Fuente: propia.

Se obtiene que para el año 2030 subirán al refugio aproximadamente 8718 personas durante la temporada en la que se encuentran en funcionamiento los baños externos, por lo que para ser conservativos se utilizará un valor de 8800 personas. De todos modos, como se mencionó anteriormente, el valor obtenido es una estimación.

A continuación, se proponen 4 sistemas de tratamiento de efluentes cloacales, realizando un breve análisis y descripción de la implantación de cada uno de ellos en el sitio.

Sistema de tratamiento de efluentes con nuevos biodigestores domiciliarios

El siguiente sistema de tratamiento consiste en incorporar biodigestores domiciliarios a la etapa de contención y tratamiento del sistema de saneamiento actual en el sitio, ya que este último actualmente se encuentra subdimensionado debido al incremento en el número de visitantes a lo largo de los últimos años. Para ello se pueden utilizar las cámaras sépticas presentes actualmente, ya que en los distintos relevamientos no se observaron daños en las mismas. Cabe destacar que no se observaron daños en las condiciones dadas en los distintos relevamientos, es decir con presencia de lodo y efluente en su interior. Sería conveniente verificar si las cámaras no presentan fisuras en su parte inferior. De presentar daño deberían ser cambiadas.

Los nuevos biodigestores domiciliarios se incorporarán de forma contigua a dichas cámaras.

También será necesario realizar la conexión correspondiente del lavatorio externo a los baños, utilizado por los acampantes, con el sistema de tratamiento. En dicho lavatorio se generan aguas grises, las cuales actualmente no están conectadas a las CS y, luego de pasar por una cámara desengrasadora, son infiltradas directamente al suelo. El volumen de aguas grises generado se considera bajo en comparación al volumen de efluentes que actualmente ingresan al sistema de tratamiento, por lo que las mismas pueden ser incorporadas también a dicho sistema. Esto es siempre y cuando dichas aguas grises no cuenten con detergentes (el lavatorio externo es utilizado para lavar utensilios de cocina), cuyo uso no está permitido. Solo se puede utilizar jabón blanco, por lo que no afectaría la incorporación de las mismas al tratamiento del volumen total de efluentes. Si el volumen de aguas grises aumenta con el tiempo, se recomienda que las mismas sean tratadas en una CS o biodigestor sin conexión al resto del sistema para, de este modo, evitar el contacto de las mismas con las aguas negras. Con esto se pretende evitar que las aguas grises entren en contacto con patógenos presentes en las aguas negras.

Se deberá cubrir el tratamiento de la generación máxima de efluentes, la cual ocurre durante el mes de enero. Además será necesario modificar el sitio de disposición final del sistema, por lo que se deberá analizar un nuevo terreno de infiltración, debido a que se considera que el terreno actual de infiltración no debe continuar utilizándose. Dicha consideración es producto de lo observado en los distintos relevamientos; el área presenta una elevada carga de lodo y efluente en gran parte de su superficie, por lo que se considera que la misma se encuentra impactada negativamente. Como se mencionó anteriormente, el sitio de infiltración es un mallín de altura, los cuales son ambientes vulnerables y deben ser preservados debido al rol importante que tienen en el ambiente.

Considerando la proyección realizada, será necesario tratar el efluente generado por aproximadamente 3500 personas a lo largo del mes de enero, por lo tanto, si se tiene en cuenta los 31 días de enero, en promedio se obtienen aproximadamente 113 personas por día. Este cálculo se realiza debido a que el efluente debe tener un tiempo de residencia en las cámaras y biodigestores domiciliarios como mínimo de 1 día, para garantizar el tratamiento. Aquí es importante destacar que es una estimación producto de un promedio, puede ocurrir que haya días en donde el número de visitantes sea mayor o menor.

La capacidad de las mochilas de los inodoros de los baños es de 12 l. Se estima que el usuario realiza 3 descargas diarias, generando en total 36 l de efluente. A dicho valor se agrega el uso de los lavatorios para el lavado de manos, donde en un hogar se considera un valor de 20 l. Debido a que un porcentaje de los visitantes no permanece el día completo en el sitio y que el uso de los lavatorios es menor que en un hogar, se considerará un valor de 10 l por persona.

También se debe tener en cuenta el uso del lavatorio externo, el cual se utiliza para lavar utensilios. La generación de efluentes estimada es de 25 l por comida; hay personas que visitan el refugio en grupos o solos, y otros visitantes que acceden al servicio de cocina del refugio, por lo que es difícil realizar una estimación del volumen de aguas grises generado. Según estimaciones de los refugieros, aproximadamente el 32% de visitantes, durante la temporada 2018-2019, fueron acampantes. Considerando dicha estimación, de las 113 personas aproximadas por día, 36 acampan durante el mes de enero. Si se tiene en cuenta que la elaboración de comida es para 2 personas en promedio y se cocina una sola vez al día, de los 25 l se tiene aproximadamente 13 l de uso por persona, generando así por día aproximadamente 470 l de aguas grises proveniente del lavatorio utilizado por acampantes.

En total se tiene una generación diaria de aproximadamente 5668 l que, para ser conservativos, considerando que el total diario de visitantes es un promedio, y que puede haber días en donde el número de usuarios sea mayor, así como también el número de acampantes, se considera una generación diaria máxima de efluentes de 6000 l.

A continuación, en la Tabla 3.9, se presentan los cálculos estimados.

TOTAL DE PERSONAS EN ENERO	TOTAL DIARIO APROXIMADO (personas/día)	CONSUMO DE AGUA EN INODOROS (l/persona)	GENERACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCTO DEL LAVADO DE MANOS (l/persona)	GENERACIÓN AGUAS GRISES LAVATORIO EXTERNO (l)	GENERACIÓN DIARIA DE EFLUENTES (l/día)
3500	113	36	10	470	5668

Tabla 3.9. Generación máxima de efluentes estimada. Fuente: propia.

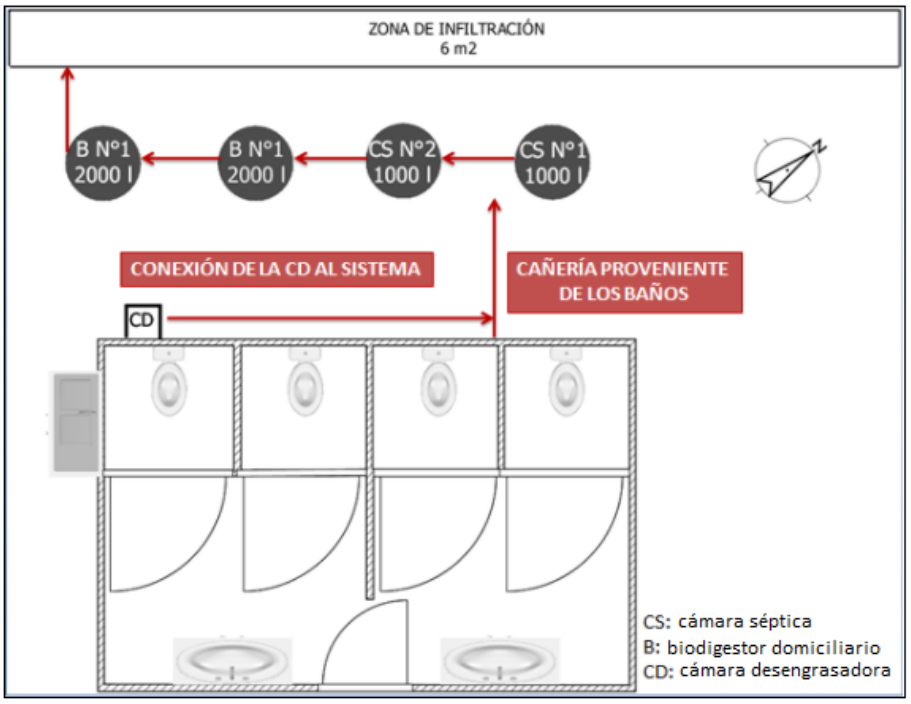
La capacidad del sistema actual es de 2000 l, correspondientes a 1000 l por CS, por lo que se debería incorporar biodigestores que complementen los 4000 l faltantes. De todos modos, aquí se

debe tener en cuenta el volumen requerido para el almacenamiento de lodos, lo que aumenta la capacidad necesaria de biodigestores.

En lo que respecta al lecho de infiltración, el dimensionamiento varía de acuerdo a distintos autores, y teniendo en cuenta a la tasa de infiltración obtenida luego de realizar un estudio de infiltración en el sitio. Si se considera una tasa de infiltración (min/cm) mínima, es decir una tasa de un suelo con buena capacidad de infiltración, la cual distintos autores coinciden en un valor de 2 min/cm, el área necesaria para una generación de efluentes de 1000 l diarios va de 10 m^2 a 20 m^2 aproximadamente, dependiendo el autor. La generación máxima de efluentes anteriormente calculada sería aproximadamente de 6000 l, por lo que el área necesaria de terreno de infiltración sería de 60 m^2 a 120 m^2, dependiendo del tipo de autor, y por consiguiente de metodología que se utilice. Es importante mencionar que estos valores presentados son orientativos, por lo que se recomienda realizar un estudio de infiltración en la zona para el correcto dimensionamiento del sitio de infiltración.

Cabe aclarar aquí que los suelos de los ambientes de alta montaña suelen ser de carácter somero, encontrándose la roca madre próxima a la superficie, lo que dificulta la instalación de lechos nitrificantes. Esto demuestra que el suelo, de presentar dichas características, no sería un sustrato adecuado ya que no cumpliría con su función de filtración del efluente. De todos modos, esto es una descripción general de los suelos de alta montaña, no se realizó un estudio de esto en la zona.

A continuación se presenta el Esquema 3.2, donde se muestra como se podría disponer el sistema. Se representan los volúmenes de los biodigestores domiciliarios necesarios para cubrir el tratamiento del efluente. De todos modos, como se mencionó anteriormente, el volumen requerido es superior ya que se debe tener en cuenta el tiempo de residencia de los lodos. El esquema se encuentra aproximadamente a escala, se presenta la dimensión de 1 ramal del terreno de infiltración para dar cuenta del espacio que ocuparía solo 6 m^2. La ubicación del mismo es solo esquemática, debería realizarse un análisis del sitio para estudiar cuál sería el lugar más apropiado para su ubicación.



Esquema 3.2. Sistema de tratamiento con biodigestores. Fuente: propia.

Otro de los aspectos a tener en cuenta es el tratamiento de los lodos. Se propone el retiro de los mismos al finalizar la temporada de verano para llevar a cabo un correcto mantenimiento del sistema. Se puede realizar un tratamiento de compostaje, vermicompostaje o deshidratación de los lodos en el sitio.

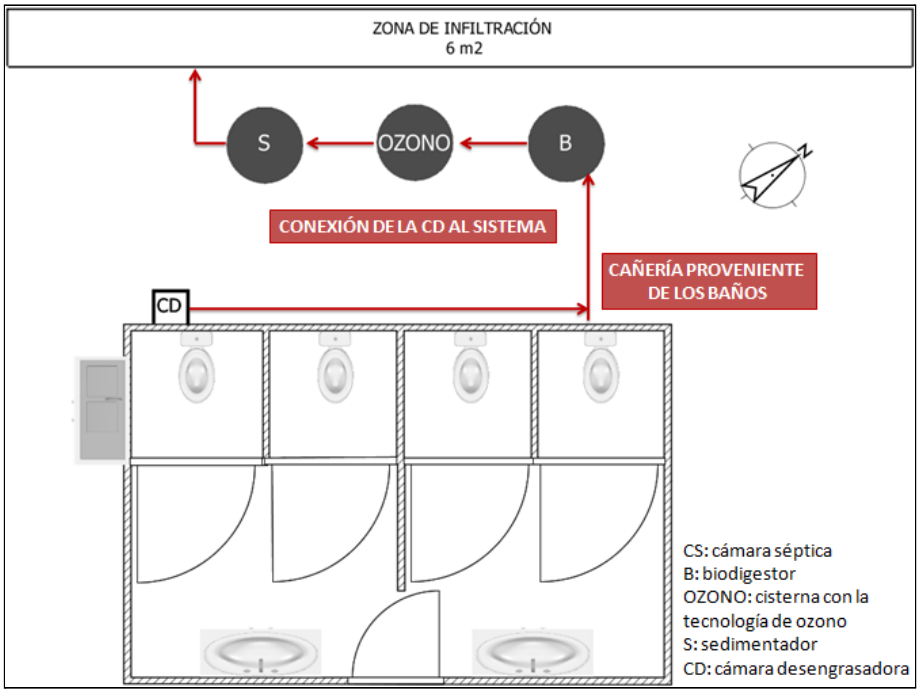
Sistema de tratamiento de efluentes con ozono

Para la implementación de la siguiente tecnología será necesario realizar un reemplazo de la etapa de contención y tratamiento del sistema de saneamiento actual. Se deberá dimensionar al mismo teniendo en cuenta el número de visitantes al refugio y cubrir el tratamiento de la generación máxima de efluentes, la cual ocurre durante el mes de enero, como se mencionó anteriormente. El sistema contaría con un biodigestor como primer etapa de tratamiento, luego el tratamiento aeróbico utilizando ozonización, y finalmente un sedimentador. Las CS hoy presentes deberán ser removidas. El efluente contenido en su interior puede ser tratado en el nuevo sistema. Para ello se deberá realizar un bombeo del efluente contenido en cada una de las cámaras hacia el nuevo biodigestor.

También será necesario realizar la conexión correspondiente del lavatorio externo a los baños con el nuevo sistema. En dicho lavatorio se generan aguas grises, las cuales pueden ser tratadas en el sistema de ozono.

Además, al igual que en el sistema de tratamiento anteriormente mencionado, se deberá modificar la etapa de disposición final, considerando un nuevo terreno de infiltración, debido a que el terreno actual de infiltración no puede seguir siendo utilizado.

Al igual que en el sistema de biodigestores, se deberá cubrir el tratamiento de los 6000 l estimados como generación máxima promedio por día. El lecho de infiltración debe considerarse de la misma superficie que en el tratamiento con biodigestores. A continuación, en el Esquema 3.3, se representa la posible ubicación del sistema de saneamiento con ozono. El esquema se encuentra aproximadamente a escala, se presenta la dimensión de 1 ramal del terreno de infiltración para dar cuenta del espacio que ocuparía solo 6 m^2. La ubicación del mismo es solo esquemática, debería realizarse un análisis del sitio para estudiar cuál sería el lugar más apropiado para su ubicación.



Esquema 3.3. Sistema de tratamiento con ozono. Fuente: propia.

Otro de los aspectos a tener en cuenta es el tratamiento de los lodos. Se propone el retiro de los mismos al finalizar la temporada de verano para, de esta forma, llevar a cabo un correcto mantenimiento del sistema. Se puede realizar un tratamiento de compostaje, vermicompostaje o deshidratación de los lodos en el sitio.

Sistema de tratamiento de efluentes con sistema de baño seco y cámara de lombricompostaje.

El siguiente sistema de baño seco consiste en la separación de orina en la taza del inodoro, por lo que el usuario es actor activo de dicha separación.

Para su implementación se deberá realizar un reemplazo de los inodoros actualmente presentes. Para realizar el tratamiento de las heces será necesario la implementación de un sistema nuevo en la etapa de contención y tratamiento; para el tratamiento de orina y aguas grises se puede continuar manteniendo la etapa de contención y tratamiento actual, siempre considerando que las CS se encuentren en perfecto estado.

Las heces se someterán a un proceso de lombricompostaje. Para ello se deberá realizar la construcción de composteras considerando la generación de heces por persona durante la temporada en que los baños externos se encuentran en uso, es decir desde diciembre a mayo inclusive.

Se deberá realizar el tratamiento de las aguas grises del lavatorio externo y de los lavatorios presentes en los baños en las CS. Como se mencionó anteriormente, en los distintos relevamientos no se observaron daños en las cámaras en las condiciones dadas, es decir con presencia de lodo y efluente en su interior. Sería conveniente verificar si las cámaras no presentan fisuras en su parte inferior. De presentar daño deberían ser cambiadas.

Se deberá conectar el lavatorio externo con las CS, situación que actualmente no ocurre. La orina puede ser incorporada en las CS junto con las aguas grises y el efluente proveniente de los lavatorios, y de este modo garantizar su dilución. Esto último se recomienda realizar para así disminuir la concentración de N, presente en la orina, en el sitio en donde la misma posteriormente será infiltrada. Finalmente se lleva a cabo la infiltración, tanto de aguas grises como de orina. Para esto se debe modificar el sitio de disposición final, analizando un nuevo terreno de infiltración.

En la proyección de excretas realizada anteriormente, se obtuvo que para el año 2030 subirían aproximadamente 8800 personas en temporada, las cuales harían uso de los baños. Con este cálculo es posible estimar la generación total de excretas.

A continuación, en la Tabla 3.10, se presentan los valores estimados de heces, papel higiénico, material de cobertura y orina por persona. Dicha información es obtenida del Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI).

TIPO	VOLUMEN POR DÍA
Orina	1,5 l/día
Heces	0,4 kg/día
Papel higiénico	0,025 kg/día
Material de cobertura	0,05 kg/día
Densidad estimada	1 kg /1 l
Margen de cobertura	20%

Tabla 3.10. Estimación de volúmenes de excretas generado en función de los usuarios. Fuente: adaptado de [63].

El margen de cobertura es un margen de seguridad utilizado para realizar el cálculo, ya que las heces tienden a formar una pila cónica en el contenedor, generando un considerable espacio vacío dentro de ella. Usando una pala o cualquier otra herramienta, pueden ser distribuidas de forma pareja, o puede sumarse un 20% al volumen requerido para contabilizar ese espacio. También se debe tener en cuenta que las heces frescas tienen un 80% de agua, la cual con el tiempo se va evaporando. Se estima que luego de 6 meses se produce una reducción de volumen del 20%.

Teniendo en cuenta esto, el volumen de heces calculado no sufre modificaciones, ya que se debería agregar un 20% correspondiente al volumen requerido para el espacio pero también se debe reducir en un 20% producto de la reducción del volumen, ocurriendo esto último cada 6 meses, coincidiendo con los 6 meses de temporada de los baños externos. Esta estimación puede variar según la locación geográfica, el clima, los recipientes, etc [63]. Aquí se decide mantener dicho valor, ya que, si bien el refugio San Martín presenta condiciones climáticas que podrían suponer un menor porcentaje de evaporación, no se realizó una estimación a campo, por lo que no se puede determinar la variación que podría presentar dicho porcentaje.

A continuación, en la Tabla 3.11, se presenta el cálculo de la generación de excretas.

VISITANTES DURANTE LA TEMPORADA	HECES GENERADAS (kg)	PAPEL HIGIÉNICO GENERADO (kg)	MATERIAL DE COBERTURA A UTILIZAR (kg)
8800	3520	220	440

Tabla 3.11. Cálculo de generación de excretas. Fuente: propia.

De acuerdo al cálculo realizado, se obtiene aproximadamente 4180 l de heces, papel higiénico y material de cobertura, por lo tanto será necesario contar con composteras que cubran un total de aproximadamente 4,2 m^3. Se podrían realizar 4 composteras de 1 m^3 cada una.

Debido a que aquí se sugiere un proceso de lombricompostaje teniendo en cuenta las investigaciones previas realizadas, será necesario que las composteras se ubiquen en un sitio al resguardo de la lluvia y nieve, además de garantizar las condiciones apropiadas de temperatura, para lograr la supervivencia de las lombrices.

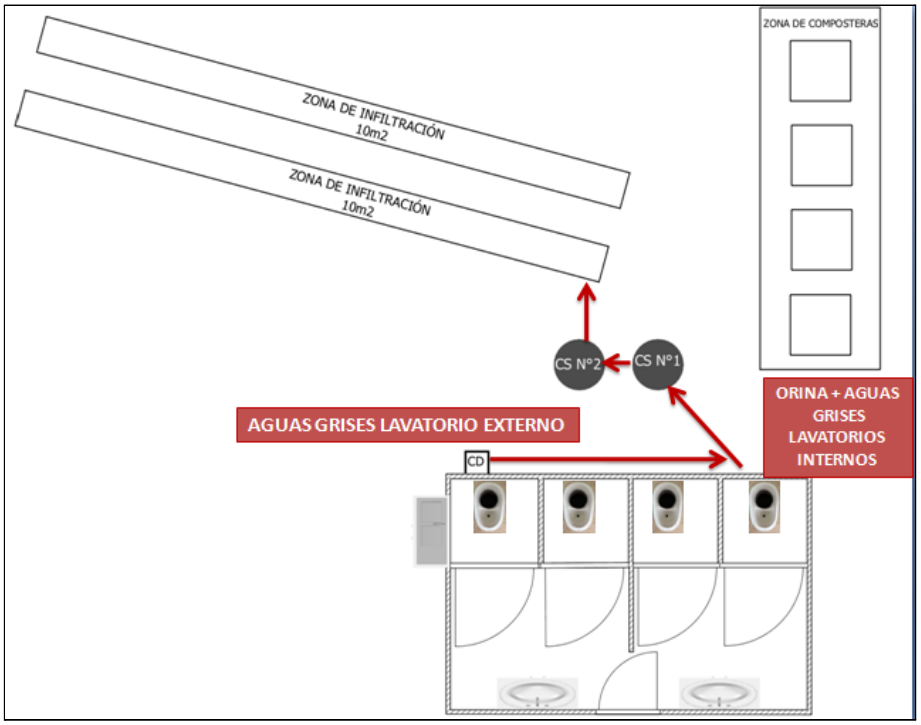
En cuanto a la orina, se tiene una generación de 13200 l durante los 6 meses de temporada. De los cálculos realizados en los sistemas anteriores, se obtuvo que la generación máxima de efluentes corresponde al mes de enero producto de 113 visitantes diarios en promedio. Considerando esto, se tiene una generación máxima de orina diaria de aproximadamente 170 l. En cuanto a las aguas grises, de los cálculos ya realizados, se obtiene una generación diaria promedio de 1130 l proveniente del

lavado de manos, y 470 l del lavatorio externo. En total se tiene aproximadamente 1770 l, que para ser conservativos se considera 2000 l de generación máxima a tratar.

De acuerdo a los cálculos realizados, las 2 cámaras sépticas presentes actualmente cubren el tratamiento de los efluentes generados. Aquí no es necesario tener en cuenta el volumen ocupado por los lodos, ya que no se producen.

En cuanto al lecho de infiltración, el área necesaria es de aproximadamente 20 m^2 a 40 m^2, dependiendo del tipo de autor, y por consiguiente de metodología, que se utilice.

A continuación, en el Esquema 3.4, se presenta la posible ubicación del sistema con sus respectivas conexiones.



Esquema 3.4. Sistema de tratamiento con vermicompostaje. Fuente: propia.

Sistema de baño seco ECODOMEO

El siguiente sistema de baño seco consiste en la separación de orina por debajo del inodoro, implementando la tecnología ECODOMEO, descripta anteriormente.

Para su implementación se deberá realizar un reemplazo de los inodoros actualmente presentes por el sistema ECODOMEO. Para llevar a cabo el tratamiento de las heces será necesario la implementación de un sistema de saneamiento nuevo en la etapa de contención y tratamiento; para el tratamiento de orina y aguas grises se puede continuar manteniendo la etapa de contención y tratamiento actual, siempre y cuando se haya constatado que las CS se encuentran en perfecto estado.

Las heces pueden ser tratadas con un proceso de lombricompostaje. Esta decisión se debe a que, según las investigaciones mencionadas anteriormente, hubo mayores ocasiones en donde el lombricompostaje fue efectivo en comparación al compostaje, presentando remoción de patógenos, además de demandar un menor control de variables. De todos modos, la experiencia en el Parque

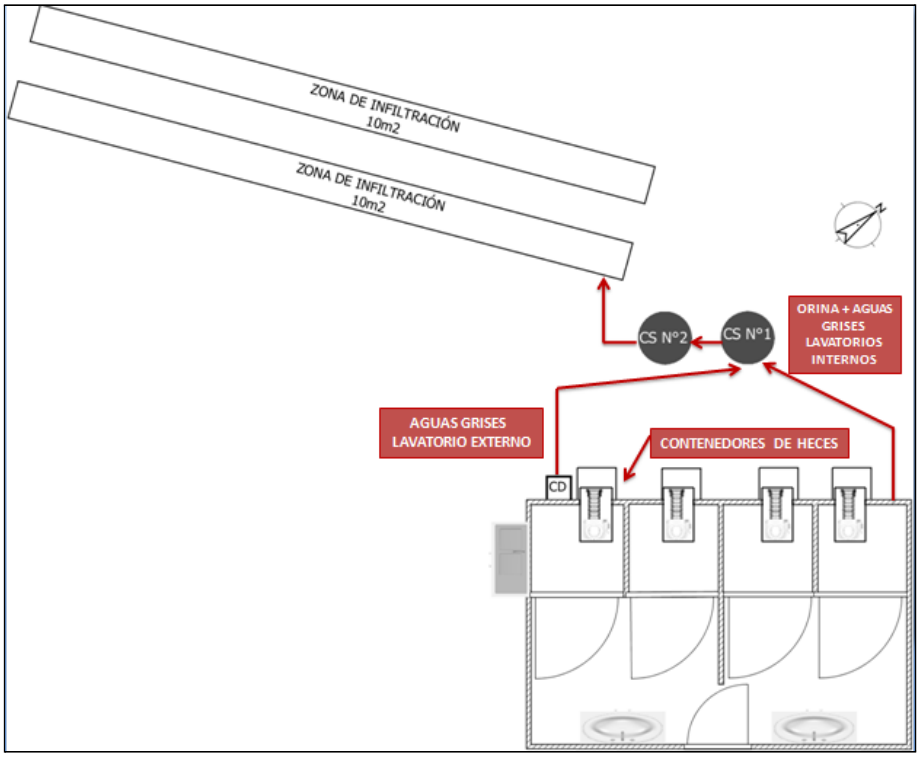
Nacional Torres del Paine también demostró buenos resultados con compostaje, pero en este último caso no se realizaron análisis de remoción de patógenos.

Para realizar el vermicompostaje se deberá efectuar la construcción del contenedor de los desechos sólidos. Se deberá considerar la generación de heces por persona durante la temporada en que los baños externos se encuentran en uso, es decir desde diciembre a mayo inclusive.

Se deberá realizar el tratamiento de las aguas grises del lavatorio externo y de los lavatorios presentes en los baños. Para ello se pueden utilizar las CS presentes actualmente en el sitio, siempre y cuando éstas se encuentren en perfecto estado.

Se deberá conectar el lavatorio externo con las CS. La orina puede ser incorporada en las CS junto con las aguas grises y de este modo garantizar su dilución. Finalmente se debe realizar la infiltración, tanto de las aguas grises como de la orina. Para esto se debe modificar el sitio de disposición final, analizando un nuevo sitio de infiltración.

A continuación, en el Esquema 3.5, se presenta una posible ubicación del sistema de saneamiento completo. Cabe destacar que la cantidad de cintas transportadoras son establecidas, desde la empresa ECODOMEO, de acuerdo a la cantidad de usos por persona. Aquí se estima que 1 cinta cubre la demanda de los usuarios, pero en el esquema se representan 4 cintas, para ser comparable con el resto de los sistemas.



Esquema 3.5. Sistema de tratamiento ECODOMEO. Fuente: propia.

Aquí el dimensionamiento de las composteras es diferente al sistema anterior. La empresa ofrece una tabla informativa en donde se calcula el tamaño de la compostera de acuerdo al uso estimado por cinta transportadora. En dicha tabla se establece un contenedor de sólidos de 0,9 m^3 considerando como máximo 30000 usos por cinta (Tabla 3.12).

TTS DECOMPOSE Planificación volumétrica	USUARIOS ANUALES DE LOS BAÑOS		
	1000	**10000**	**30000(*)**
PILA DE RESIDUOS CRUDOS (m^3)	0,03	0,3	0,9
VOLUMEN DESCOMPUESTO (m^3)	<0,01	<0,1	<0,3
VOLUMEN DESCOMPUESTO DESPUÉS DE 10 AÑOS	<0,10	<1,0	<3,0
(*)Agregar otro baño si la cantidad de usuarios por año excede los 30000, para evitar que se formen filas.			

Tabla 3.12. Cálculo del tamaño de los contenedores. Fuente: traducido de [64].

En este sistema no se agrega material de cobertura y se tiene en cuenta 3 usos por persona. Considerando esto, según la proyección realizada anteriormente, 8800 visitantes usarían los baños externos durante la temporada, por lo que al efectuarse 3 usos por persona, se tiene un total de 26400 usos. Esto muestra que una sola cinta cubriría la demanda de uso, pero esto confiere la utilización de un único baño, lo que puede causar demoras en su utilización, considerando la cantidad de visitantes que suben al refugio. Debido a esto sería conveniente utilizar 2 cintas, para así habilitar 2 baños. De este modo se tendría aproximadamente 13200 usos por cinta. Según la Tabla 3.12, para 10000 usos se generan aproximadamente 0,3 m^3 de heces, por lo cual se necesitará una compostera del mismo volumen. Como aquí se estiman 13200 usos por cinta, el tamaño de cada compostera sería aproximadamente de 0,4 m^3.

Si se desea utilizar los 4 compartimientos, se deberían colocar 4 cintas, dando como resultado 6600 usos por cinta. Para ser conservativos se estiman 7000 usos por cinta, realizando así 4 contenedores de 0,21 m^3 aproximadamente. Un aspecto importante en cuanto a los contenedores, es que los mismos preferentemente deben ser de un material que permita una cierta aislación del frío durante la temporada invernal, así como también una considerable resistencia de la estructura, ya que en el sitio de estudio se producen períodos de nevadas intensas, las cuales pueden dañar los recipientes, debido al peso que podrían generar sobre los mismos. También se debe tener en cuenta las precipitaciones no niveas, ya que se debe evitar que los contenedores sufran el ingreso de agua. Para ello se puede construir un pequeño techo de chapa u algún otro material por encima de los contenedores. Otra opción es que éstos, una vez finalizada la temporada, sean reubicados en el interior de los baños, para así garantizar el resguardo de la nieve y el frío.

Aquí se considera el uso de 2 cintas, principalmente para evitar demoras en los baños, es decir que los usuarios no tengan que esperar un tiempo prolongado para su uso.

En lo que respecta a la generación de aguas grises, ésta sería la misma que la calculada en el sistema anterior de baños secos, generando aproximadamente 2000 l/día, por lo que las 2 cámaras sépticas presentes actualmente cubren el tratamiento de los efluentes generados. En cuanto al lecho de infiltración, el área necesaria es de aproximadamente 20 m^2 a 40 m^2, dependiendo del tipo de autor, y por consiguiente de metodología, que se utilice.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS FODA DE LOS 4 SISTEMAS DE TRATAMIENTO PROPUESTOS

A continuación se realiza un análisis de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas (FODA), de los 4 sistemas de tratamiento propuestos, considerando factores comunes entre dichos sistemas y llevando a cabo una valoración numérica de los mismos. Dicha metodología es adaptada de [65], la cual consiste en realizar un análisis FODA con valoración numérica a cada uno de los aspectos seleccionados.

El análisis FODA consiste en realizar una evaluación de los factores internos y externos de un proyecto que, en su conjunto, diagnostican la situación. Se considera una situación interna aquella que se compone de dos factores controlables: fortalezas y debilidades, mientras que la situación externa se compone de dos factores no controlables: oportunidades y amenazas. A su vez son considerados factores positivos a las fortalezas y oportunidades, y factores negativos a las debilidades y amenazas.

Considerando esto último es que se realiza una valoración numérica con valores positivos a las fortalezas y oportunidades consideradas y con valores numéricos negativos a las debilidades y amenazas. A continuación, en la Tabla 4.1, se presenta como será llevada a cabo la valoración numérica.

FACTORES	VALORACIÓN SUBJETIVA	VALORACIÓN NUMÉRICA
NEGATIVOS (debilidades y amenazas)	**Alto**	**-6**
		-5
	Medio	**-4**
		-3
	Bajo	**-2**
		-1
POSITIVOS (fortalezas y oportunidades)	**Bajo**	**1**
		2
	Medio	**3**
		4
	Alto	**5**
		6

Tabla 4.1. Valoración de aspectos en el análisis FODA. Fuente: modificado de [65].

A continuación se mencionan los aspectos considerados comunes entre los 4 sistemas de tratamientos, los cuales posteriormente serán valorizados. Se aclara aquí que las valoraciones subjetivas (alto-medio-bajo) descriptas en el análisis FODA, son realizando una comparación entre los 4 sistemas de tratamiento propuestos.

Factores positivos

Fortalezas (interno)

- Disponibilidad: se refiere a la posibilidad de adquirir los bienes de uso, consumo y servicios en un tiempo prudencial, a fin de empezar a implementar el sistema de tratamiento escogido. Es decir, la facilidad con la que se pueden adquirir los insumos para poner en funcionamiento el sistema.
- Eficacia: es la capacidad de lograr el objetivo deseado, en este caso la capacidad de remoción de contaminantes (DBO,DQO, patógenos, N, P, entre otros) del sistema elegido.
- Vida útil del sistema: relacionado a la durabilidad de la tecnología en años.
- Instalación del sistema: aquí se considera la facilidad de instalación del sistema y la puesta a punto del mismo.

Oportunidades (externo)

- Beneficio ambiental: se refiere a la mejora ambiental del entorno afectado así como también la preservación del entorno a lo largo del tiempo.
- Aprovechamiento de la infraestructura del sistema actual: se refiere a la posibilidad de utilización del sistema de tratamiento actualmente presente en los baños externos del refugio.
- Beneficios indirectos: relacionado a la posibilidad de tratar los efluentes hoy presentes en el sitio y la adecuación o no de los usuarios al sistema, así como también la formación de conciencia ambiental en los usuarios. Esto último se refiere al entendimiento que tiene el ser humano de su impacto sobre el ambiente y sus recursos naturales. Se valora aquella tecnología que desarrolle la conciencia ambiental en los usuarios.
- Aprovechamiento de recursos materiales presentes en el sitio: relacionado a los materiales disponibles en el lugar para la construcción y mantenimiento del sistema, así como también al recurso energético. Aprovechar los recursos del sitio disminuye los gastos y la necesidad de recurso humano para su transporte hacia el refugio.

Aspectos negativos

Debilidades (interno)

- Costo inicial: se refiere a la inversión inicial necesaria para la construcción e implantación de la alternativa elegida.
- Recursos económicos para el mantenimiento del sistema: corresponde a los gastos económicos necesarios para las operaciones, luego de la puesta en funcionamiento del sistema.
- Recurso humano para el mantenimiento del sistema: se refiere a la necesidad o no de personal capacitado para el mantenimiento del sistema y capacitación de los mismos.
- Gestión de los lodos: relacionado a la necesidad de llevar a cabo un tratamiento de los lodos producidos durante el proceso de tratamiento.

- Monitoreo: aspecto relacionado a la necesidad de realizar monitoreos periódicos para constatar la eficiencia del sistema.

Amenazas (externo)

- Riesgos asociados a la sanidad del personal y usuarios: se refiere a la presencia de riesgos reales y potenciales que pudieran generarse hacia el personal y/o visitantes durante la implantación y/o desarrollo de la alternativa elegida.

- Condiciones climáticas del ambiente de alta montaña: se refiere a las condiciones climáticas que podrían ser consideradas adversas o desfavorables para el desarrollo del sistema de tratamiento elegido (bajas temperaturas, presencia de nieve, etc).

- Accesibilidad al sitio: se refiere a la dificultad de acceso al sitio, ya que la principal vía de acceso al mismo es por senda de *trekking*. Se puede llegar en helicóptero pero el costo es muy elevado.

- Falla eléctrica: riesgo asociado principalmente a alguna falla en la turbina de generación eléctrica, la cual es la única fuente de generación eléctrica en el sitio. También a fluctuaciones en la generación de energía, producto de variaciones en el caudal del arroyo, en donde se encuentra ubicada dicha turbina.

A continuación, en la Tabla 4.2, se presenta la matriz FODA con los aspectos anteriormente mencionados, el respectivo análisis de los mismos en cada una de las tres propuestas y la valoración numérica correspondiente.

FORTALEZAS		
DISPONIBILIDAD		**VALORACIÓN**
BIODIGESTORES DOMICILIARIOS	Insumos en Bariloche.	**6**
SISTEMA CON OZONIZACIÓN	Insumos en Bariloche.	**6**
BAÑOS SECOS	Es necesario el envío de inodoros con separación de orina desde otra región del país.	**4**
BAÑOS SECOS ECODOMEO	Es necesario importar la tecnología desde Estados Unidos.	**1**
EFICACIA		**VALORACIÓN**
BIODIGESTORES DOMICILIARIOS	Si bien los porcentajes de remoción de DBO, DQO y sólidos sedimentables es alta, depende principalmente de la temperatura para llevar a cabo una buena digestión de los lodos. En la zona las temperaturas son menores, en gran parte del año, a las óptimas para el sistema, lo que disminuye la acción de los microorganismos encargados del tratamiento. La eficacia del terreno de infiltración también depende de la temperatura, ya que a menor temperatura menor actividad de los organismos presentes en el suelo, encargados de llevar a cabo el tratamiento. Se deberá tener en cuenta la profundidad a la que se encuentra la napa freática para que el sistema cumpla su función. Esto es debido a que es necesario que el efluente percole a través del suelo, cumpliendo este con el tratamiento físico y biológico, sin entrar en contacto con dicha napa, evitando así su contaminación.	**3**
SISTEMA CON OZONIZACIÓN	La eficacia del tratamiento es alta, logra un alto nivel de remoción de contaminantes. Si no se cuenta con disponibilidad energética debido a alguna falla, la eficacia del sistema disminuye. La eficacia del terreno de infiltración también depende de la temperatura, pero el mismo recibe un efluente con mayor grado de tratamiento, por lo que su función es principalmente de infiltración y en menor medida de tratamiento biológico. Por esto último es que se considera que la profundidad de suelo necesaria para un tratamiento eficaz es menor en comparación al sistema de biodigestores.	**5**
BAÑOS SECOS	La eficacia del tratamiento es alta, según el estudio de lombricompostaje de heces llevado a cabo en un ambiente muy similar al del refugio, se logra porcentajes de remoción de la mayoría de patógenos de hasta un 99%, logrando una sanidad completa mediante el agregado de cenizas y urea. Esto depende en gran medida del correcto uso del usuario.	**4**

BAÑOS SECOS ECODOMEO	La eficacia del tratamiento es alta, según el estudio de lombricompostaje de heces llevado a cabo en un ambiente muy similar al del refugio, se logra porcentajes de remoción de la mayoría de patógenos de hasta un 99%, logrando una sanidad completa mediante el agregado de cenizas y urea. A esto se suma que la cinta garantiza, según la empresa, la separación de la orina >99%, por lo que no hay inconvenientes en lo que respecta a la separación y dependencia del correcto uso de los usuarios.	**5**
VIDA ÚTIL		**VALORACIÓN**
BIODIGESTORES DOMICILIARIOS	Los biodigestores son sistemas herméticos, sin filtraciones. La vida útil de los mismos es de aproximadamente 35 años (según datos del fabricante), por lo que puede considerarse una vida útil larga. De todos modos se debe tener en cuenta que las condiciones climáticas de alta montaña pueden reducir dicha vida útil. En cuanto al lecho de infiltración, su durabilidad también se encuentra influenciada por las condiciones climáticas y su vida útil es de 10 años aproximadamente (según estudios en ambientes que no son de alta montaña). Ésto demuestra que al cabo de unos años será necesario realizar otro terreno de infiltración. Para ello se recomienda analizar si el sitio cuenta con espacio para su nueva implantación.	**3**
SISTEMA CON OZONIZACIÓN	La parte del sistema conformada por biodigestor y cisternas son sistemas herméticos, sin filtraciones. La empresa que desarrolla esta tecnología posee instalaciones de hace más de 10 años, las cuales continúan aún en buen funcionamiento, sin inconvenientes. Se debe tener en cuenta que las condiciones climáticas de alta montaña pueden reducir la durabilidad del sistema. En cuanto al lecho de infiltración, el efluente que recibe se encuentra con un mayor grado de tratamiento que un sistema de biodigestores. Debido a esto el terreno cumpliría en mayor medida la función de infiltración, no de tratamiento final del efluente, por lo que puede presentar mayor durabilidad.	**4**
BAÑOS SECOS	La vida útil para el tratamiento de las heces puede considerarse ilimitada, ya que el mismo se lleva a cabo a través del lombricompostaje, el cual es un proceso natural. Esto se produce de forma continua, sin necesidad de adquirir nuevos insumos para mantener el tratamiento. El tratamiento de la orina y de las aguas grises puede requerir de una reubicación del lecho de infiltración transcurridos algunos años.	**5**
BAÑOS SECOS ECODOMEO	La tecnología ofrece una garantía de 20 años. La vida útil para el tratamiento de las heces puede considerarse ilimitada, ya que este se lleva a cabo a través del compostaje o lombricompostaje, el cual es un proceso natural. El mismo se produce de forma continua, sin necesidad de adquirir nuevos insumos para mantener el tratamiento. Al cabo de varios años, podría requerirse el cambio de la cinta transportadora. El tratamiento de la orina y de las aguas grises puede requerir de	**4**

	una reubicación del lecho de infiltración transcurridos algunos años.	
INSTALACIÓN		**VALORACIÓN**
BIODIGESTORES DOMICILIARIOS	Será necesario modificar parte del sistema de almacenamiento, tratamiento y disposición final. Para ello se deben conectar las CS a los nuevos biodigestores. Estos deben ser enterrados, lo que demandaría gran remoción de suelo. Se pueden ubicar en serie, conectando el último biodigestor a un lecho de infiltración, el cual es una instalación sencilla. Actualmente han realizado un zanjeo, pero el mismo deberá ampliarse para poder garantizar el tratamiento, por lo que se deberá remover vegetación y suelo. Se recomienda la supervisión de personal capacitado para la instalación.	**3**
SISTEMA CON OZONIZACIÓN	Será necesario modificar parte del sistema de almacenamiento, tratamiento y disposición final. Para ello se deberá bombear el efluente contenido actualmente en las CS al biodigestor, ya que las cámaras deben ser removidas. Se deberá conectar el sistema de ozono a una fuente de energía, la cual se encuentra disponible en el baño externo, y realizar la puesta a punto del mismo. Se debe realizar un lecho de infiltración, cuya instalación es sencilla. Actualmente hay un zanjeo, pero el mismo deberá ampliarse para poder garantizar el tratamiento, por lo que se deberá remover vegetación y suelo. Requiere de personal capacitado para la instalación pero la misma está a cargo de la empresa. No es necesario enterrar las cisternas, según información brindada por la empresa.	**4**
BAÑOS SECOS	Se deberá modificar los inodoros, parte del sistema de almacenamiento, tratamiento y disposición final. Se deberá acondicionar la infraestructura de los baños, instalando inodoros con separación de orina adecuando a los mismos en un sitio en altura para que, debajo de éstos, pueda llevarse a cabo la recolección de las heces. Se deben construir las composteras, cuya realización es sencilla. Para el tratamiento de aguas grises se pueden continuar utilizando las CS presentes actualmente y acondicionar el zanjeo para realizar la infiltración de las mismas. No es necesario personal capacitado para la instalación.	**3**
BAÑO SECOS ECODOMEO	Será necesario modificar los inodoros, parte del sistema de almacenamiento, tratamiento y disposición final. Se deberán reemplazar los inodoros actuales por la nueva tecnología, cuya instalación es sencilla, ya que es un sistema modular. Se deberá romper parte de la pared de madera trasera de los baños para permitir que la cinta descargue los sólidos en el contenedor, el cual se ubicará en la parte externa del baño. Para el tratamiento de aguas grises se pueden continuar utilizando las CS presentes actualmente y acondicionar el zanjeo para realizar la infiltración de las mismas. No es necesario personal capacitado para la instalación.	**3**

OPORTUNIDADES		
BENEFICIO AMBIENTAL		**VALORACIÓN**
BIODIGESTORES DOMICILIARIOS	Si bien se mejora el tratamiento del efluente cloacal y se anula la descarga al mallín, se debe ampliar el zanjeo presente, lo que producirá remoción de vegetación y suelo. Además, al cabo de unos años se deberá realizar un nuevo terreno de infiltración. También se generan lodos, los cuales es necesario gestionarlos.	**3**
SISTEMA CON OZONIZACIÓN	Se obtiene un efluente con un alto nivel de tratamiento y se anula la descarga al mallín. De todos modos es necesario ampliar el zanjeo presente, causando remoción de vegetación y suelo. Se deben gestionar los lodos, pero parte de los mismos poseen un grado de tratamiento mayor que en los biodigestores.	**4**
BAÑOS SECOS	No se utiliza agua ni se produce su contaminación, por lo que tampoco es necesario su tratamiento. Solo se requiere un terreno de infiltración, el cual es más pequeño que los dos sistemas anteriores, para la orina y las aguas grises tratadas previamente en las CS. Se disminuye así la probabilidad de contaminar la napa freática y el suelo, siendo este último de escasa profundidad en el área. Se anula la descarga al mallín. Del lombricompostaje de las heces se obtiene un producto estabilizado, que puede ser incorporado nuevamente al suelo.	**6**
BAÑOS SECOS ECODOMEO	No se utiliza agua ni se produce su contaminación, por lo que tampoco es necesario su tratamiento. Solo se requiere un terreno de infiltración, el cual es más pequeño que en los dos primeros tratamientos, para la orina y las aguas grises tratadas previamente en las CS. Se disminuye así la probabilidad de contaminar la napa freática y el suelo, siendo este último de escasa profundidad en el área. Se anula la descarga al mallín. Del lombricompostaje de las heces se obtiene un producto estabilizado, que puede ser incorporado nuevamente al suelo.	**6**
APROVECHAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA PRESENTE		**VALORACIÓN**
BIODIGESTORES DOMICILIARIOS	Los biodigestores serían una ampliación del sistema de tratamiento actual, por lo que se aprovecha en gran medida la estructura del sistema presente. Se utilizará el zanjeo ya realizado para el lecho de infiltración, pero el mismo debe ser ampliado. No es necesario acondicionar la infraestructura de los baños.	**6**
SISTEMA CON OZONIZACIÓN	La tecnología será una ampliación del sistema de tratamiento actual, por lo que se aprovecha en gran medida la estructura del sistema presente, solo será necesario remover las CS ubicadas en el sitio. Se utilizará el zanjeo ya realizado para el lecho de infiltración, pero el mismo debe ser ampliado. No es necesario acondicionar la infraestructura de los baños.	**5**

BAÑOS SECOS	Solo se aprovecharía el zanjeo presente para la realización del área de infiltración. Se deberá acondicionar la infraestructura de los baños, agregando inodoros con separación de orina, los cuales deben ubicarse en altura para recoger los sólidos por debajo de ellos. Se pueden utilizar las presentes CS para el tratamiento de las aguas grises y la orina.	**3**
BAÑOS SECOS ECODOMEO	Solo se aprovecharía el zanjeo presente para la realización del área de infiltración. Se deberá acondicionar la infraestructura de los baños, agregando la tecnología ECODOMEO, pero aquí no será necesario ubicar el sistema en altura. Se deberá romper parte de la pared de madera. Se pueden utilizar las presentes CS para el tratamiento de las aguas grises y la orina.	**3**
APROVECHAMIENTO DE RECURSOS PRESENTES EN EL SITIO		**VALORACIÓN**
BIODIGESTORES DOMICILIARIOS	Para la construcción del lecho se utiliza material poroso, como piedras, presentes en el sitio. También se utiliza el suelo, para finalizar el tratamiento. Para la gestión de los lodos se pueden utilizar materiales allí presentes, en caso que se lleve a cabo un tratamiento con compostaje o deshidratación. En lo que respecta a los biodigestores, es necesario adquirirlos, es decir, no se encuentran presentes en el lugar.	**3**
SISTEMA CON OZONIZACIÓN	Para la instalación del biodigestor y cisternas es necesario insumos no presentes en el sitio. Para la construcción del lecho se utiliza material poroso, como piedras, disponibles en el lugar. También se utiliza el suelo, para finalizar el tratamiento. Se aprovecha la disponibilidad energética presente en el refugio. Para la gestión de los lodos se pueden utilizar materiales allí presentes, en caso que se lleve a cabo un tratamiento con compostaje o deshidratación.	**4**
BAÑOS SECOS	El material estructurante necesario para el mantenimiento se puede conseguir en el sitio. Solo se deberá adquirir los inodoros y contenedores de heces. Las composteras pueden ser construidas con materiales ya presentes allí, como madera. Para la construcción del lecho se utiliza material poroso, como piedras, presentes en el lugar. También se utiliza el suelo, para finalizar el tratamiento.	**5**
BAÑOS SECOS ECODOMEO	Se debe adquirir la tecnología y se pueden requerir insumos para la construcción de los contenedores de sólidos o fabricarlos con material presente en el sitio. Para la construcción del lecho se utiliza material poroso, como piedras, presentes en el lugar. También se utiliza el suelo, para finalizar el tratamiento.	**5**

BENEFICIOS INDIRECTOS		VALORACIÓN
BIODIGESTORES DOMICILIARIOS	Se puede tratar el efluente hoy presente en las CS. No es necesario modificar hábitos en los usuarios.	4
SISTEMA CON OZONIZACIÓN	Se puede tratar el efluente hoy presente en las CS. No requiere modificar hábitos en los usuarios.	4
BAÑOS SECOS	Se genera conciencia ambiental en los usuarios en relación a la generación y tratamiento de los desechos humanos. Los visitantes deben adecuarse al sistema, ya que no es una tecnología convencional. Para ello es necesario informarles del funcionamiento del sistema y de su colaboración activa, ya que de esto depende la primera etapa del tratamiento.	5
BAÑOS SECOS ECODOMEO	Es mínima la modificación de hábitos en los usuarios ya que en lugar de accionar un botón para tirar la cadena se acciona un pedal. Se genera conciencia ambiental en los usuarios en relación a la generación y tratamiento de los desechos humanos.	6

DEBILIDADES		
COSTO INICIAL		VALORACIÓN
BIODIGESTORES DOMICILIARIOS	El costo se encuentra presente principalmente en los biodigestores domiciliarios nuevos.	-4
SISTEMA CON OZONIZACIÓN	La tecnología de ozono es costosa.	-6
BAÑOS SECOS	Es el sistema más económico, ya que el principal gasto sería los nuevos inodoros con separación de orina y la modificación en la estructura de los baños. Puede considerarse un pequeño gasto en la compra de lombrices.	-3
BAÑOS SECOS ECODOMEO	Se debe tener en cuenta la cantidad de cintas a utilizar. Se estima que con una sola cinta se cubre la temporada completa, pero para evitar demoras en los baños, se deberá adquirir como mínimo 2 cintas. Es una tecnología importada, lo que incrementa su costo debido al envío. Puede considerarse un gasto mínimo en la compra de lombrices.	-5
RECURSO ECONÓMICO PARA EL MANTENIMIENTO DEL SISTEMA		VALORACIÓN
BIODIGESTORES DOMICILIARIOS	El costo es bajo, no demanda un gasto económico en la mantención, a no ser que ocurra una rotura en el sistema.	-1

SISTEMA CON OZONIZACIÓN	El costo económico de mantención durante un año está a cargo de la empresa, por lo que no se considera. Si es necesaria la mantención de la fuente de energía, lo que demanda un costo económico en caso de alguna falla.	**-4**
BAÑOS SECOS	El único costo económico que podría considerarse para su mantención es la necesidad de material de cobertura superior al presente en el sitio. Se puede sumar la compra de lombrices, lo que es un costo bajo.	**-2**
BAÑOS SECOS ECODOMEO	El recurso económico para su mantención es prácticamente nulo, ya que la empresa ofrece garantía por 10 años en caso de falla. Si se debe cambiar la cinta, está a cargo de la empresa que la comercializa. No se requiere material de cobertura. Se puede sumar la compra de lombrices, lo que es un costo bajo.	**-1**
RECURSO HUMANO PARA EL MANTENIMIENTO DEL SISTEMA		**VALORACIÓN**
BIODIGESTORES DOMICILIARIOS	El costo de mantención del sistema se considera en la gestión de los lodos. Será necesario el retiro de éstos al finalizar cada temporada y proceder a su tratamiento, a través de un proceso de deshidratación o compostaje.	**-3**
SISTEMA CON OZONIZACIÓN	Es necesaria la mantención de la fuente de energía, lo que demanda un costo de recurso humano. Además se debe llevar a cabo el retiro de los lodos al finalizar cada temporada y proceder a su tratamiento, a través de un proceso de deshidratación o compostaje.	**-4**
BAÑOS SECOS	Posee un costo considerable de recurso humano, ya que demanda la gestión diaria del sistema. Es necesario observar periódicamente si la separación de los usuarios está ocurriendo de forma correcta, así como el agregado de material de cobertura y el vaciado de los contenedores de heces.	**-6**
BAÑO SECO ECODOMEO	El costo podría considerarse moderado, ya que es necesario que el personal efectúe la ruptura de la montaña de sólidos, la cual se forma a medida que los mismos se acumulan en el contenedor. Esta gestión no es diaria, sino al cabo de cierto tiempo. Una vez lleno el espacio, se deberá mover hacia un costado los desechos para que éste quede libre y pueda continuar recibiendo material. Esto último se busca que solo ocurra al final de la temporada. El contenedor donde primeramente se deposita la orina debe ser limpiado de forma periódica.	**-4**
GESTIÓN DE LOS LODOS		**VALORACIÓN**
BIODIGESTORES DOMICILIARIOS	Esta tecnología requiere del retiro de los lodos de los biodigestores al finalizar cada temporada y proceder a su tratamiento, como someter el mismo a un proceso de deshidratación o compostaje. Será necesario contar con una cama de secado o composteras para	**-6**

	su tratamiento, lo que demanda una gestión de los mismos por parte del personal.	
SISTEMA CON OZONIZACIÓN	Esta tecnología requiere del retiro de los lodos del biodigestor y del sedimentador al finalizar cada temporada. El lodo contenido en este último se encuentra con una menor carga de contaminantes, por lo que su tratamiento posterior es mínimo, así como el riesgo del personal. Será necesario someter el lodo del digestor a un proceso de deshidratación o compostaje. Se deberá contar con una cama de secado o composteras para su tratamiento, lo que demanda una gestión de los mismos por parte del personal.	**-4**
BAÑOS SECOS	Esta tecnología no genera lodos ya que no utiliza agua. El tratamiento se lleva a cabo en la materia fecal directamente, mediante el proceso de lombricompostaje. Sólo será necesario gestionar los lodos presentes actualmente en las CS.	**-1**
BAÑOS SECOS ECODOMEO	Esta tecnología no genera lodos ya que no utiliza agua. El tratamiento se lleva a cabo en la materia fecal directamente, mediante el proceso de lombricompostaje. Sólo será necesario gestionar los lodos presentes actualmente en las CS.	**-1**
MONITOREO		**VALORACIÓN**
BIODIGESTORES DOMICILIARIOS	Será necesario realizar un monitoreo del sistema, para saber si el mismo está llevando a cabo la remoción de los contaminantes. Para ello se deberá retirar los lodos todas las temporadas para evitar saturar el lecho de infiltración con lo mismos. Además se recomienda realizar muestreos periódicos para analizar remoción de DBO, patógenos, P, N, entre otros, en el efluente de salida del biodigestor que se conecta con el lecho de infiltración.	**-2**
SISTEMA CON OZONIZACIÓN	Será necesario realizar un monitoreo del sistema, para saber si el mismo está llevando a cabo la remoción de los contaminantes. Para ello se deberá realizar el control periódico del equipo de ozono y constatar su funcionamiento. Es necesario retirar los lodos todas las temporadas para evitar la saturación del lecho de infiltración con los mismos. Además se recomienda llevar a cabo muestreos periódicos para analizar remoción de DBO, patógenos, N, P, entre otros, en el efluente de salida del sedimentador que se conecta con el lecho de infiltración.	**-3**
BAÑOS SECOS	Será necesario llevar a cabo un monitoreo periódico, tanto de la correcta separación en el inodoro como en el proceso de lombricompostaje. Para garantizar la supervivencia de las lombrices y en consecuencia el tratamiento de las heces se deben monitorear parámetros de humedad, temperatura y pH principalmente, así como la correcta separación de la orina.	**-6**
BAÑOS SECOS ECODOMEO	Será necesario llevar a cabo un monitoreo periódico, principalmente en el proceso de lombricompostaje. Para garantizar la supervivencia	

	de las lombrices y en consecuencia el tratamiento de las heces se deben monitorear parámetros de humedad, temperatura y pH principalmente.	-5
AMENAZAS		
RIESGO ASOCIADO A LA SANIDAD DEL PERSONAL Y USUARIOS		**VALORACIÓN**
BIODIGESTORES DOMICILIARIOS	El riesgo del personal es principalmente en la gestión de los lodos. Si bien los biodigestores domiciliarios cuentan con un compartimiento de extracción de lodos que facilita su extracción, es necesario optimizar las condiciones de protección personal para la persona que lo lleve a cabo. En cuanto a los usuarios, es necesario que el lecho de infiltración se encuentre alejado de la zona de acampe.	-3
SISTEMA CON OZONIZACIÓN	El riesgo asociado del personal se encuentra en la gestión de los lodos, como se mencionó en el sistema anterior, con la diferencia que los barros obtenidos del sedimentador se encuentran prácticamente sanitizados, según información brindada por la empresa, lo que disminuye el riesgo en su gestión. En cuanto a los acampantes, es necesario que el lecho de infiltración se encuentre alejado de la zona de acampe.	-2
BAÑOS SECOS	El riesgo del personal es principalmente en la gestión del sistema. Deben utilizar elementos de protección personal (EPP) en todo momento, desde el retiro de las heces del contenedor ubicado por debajo de los inodoros, hasta su depósito en las composteras. En cuanto a los usuarios, es necesario que los mismos respeten las instrucciones de uso, pero no habría riesgo considerable.	-5
BAÑOS SECOS ECODOMEO	El riesgo del personal es principalmente en la gestión del sistema. De todos modos el personal remueve la montaña de sólidos con la ayuda de una pala, por lo que el contacto no es directo. Puede haber riesgo al momento de la limpieza del contenedor de orina. No hay riesgo hacia el usuario.	-3
CONDICIONES CLIMÁTICAS DE ALTA MONTAÑA		**VALORACIÓN**
NUEVOS BIODIGESTORES	Las bajas temperaturas son el principal factor condicionante en este sistema, ya que a menor temperatura menor actividad de los microorganismos encargados de la digestión de los lodos y del tratamiento en el terreno de infiltración.	-5
SISTEMA CON OZONIZACIÓN	Aquí una baja temperatura beneficia la solubilidad del ozono, pero afecta en el tratamiento llevado a cabo por los microorganismos en el biodigestor. La fuente de energía depende del caudal del arroyo, por lo que las variaciones en el mismo ocasiona fluctuaciones en la disponibilidad energética, pudiendo ser un problema para el sistema.	-2

BAÑOS SECOS	Según el estudio de lombricompostaje de heces realizado en un ambiente muy similar al del refugio, las lombrices nativas no se ven afectadas por las inclemencias climáticas, de todos modos este estudio debe realizarse en el sitio, para comprobar que las lombrices de la zona no se vean afectadas. Es necesario que las composteras se encuentren en un sitio al resguardo de la lluvia y nieve. Las bajas temperaturas disminuyen la actividad de los microorganismos en el terreno de infiltración.	**-3**
BAÑOS SECOS ECODOMEO	Según el estudio de lombricompostaje de heces llevado a cabo en un ambiente muy similar al del refugio, las lombrices nativas no se ven afectadas por las inclemencias climáticas, de todos modos este estudio debe realizarse en el sitio, para comprobar que las lombrices de la zona no se vean afectadas. Es necesario que las composteras se encuentren en un sitio al resguardo de la lluvia y nieve. Las bajas temperaturas disminuyen la actividad de los microorganismos en el terreno de infiltración.	**-3**
ACCESIBILIDAD AL SITIO		**VALORACIÓN**
BIODIGESTORES DOMICILIARIOS	Al sitio se accede principalmente a pie, por lo que el transporte de los biodigestores hacia el lugar es de gran dificultad y esfuerzo; así como también de tiempo. Si se accede con helicóptero se incrementan ampliamente los costos. El traslado de cualquier otro insumo en caso de alguna falla en el mantenimiento vuelve a demandar las dificultades mencionadas anteriormente.	**-4**
SISTEMA CON OZONIZACIÓN	Al sitio se accede principalmente a pie, por lo que el transporte del biodigestor y cisternas hacia el lugar es de gran dificultad y esfuerzo; así como también de tiempo. También requiere que personal capacitado se traslade hacia el sitio para la puesta a punto del sistema. Si se accede con helicóptero se incrementan ampliamente los costos. El traslado de cualquier otro insumo o del personal capacitado, en caso de alguna falla en el mantenimiento, vuelve a demandar las dificultades mencionadas anteriormente.	**-5**
BAÑOS SECOS	Los materiales necesarios para su instalación y mantención se pueden encontrar en su mayoría en el sitio. La dificultad se presenta únicamente en el traslado de los inodoros con separación de orina hacia el refugio que, de todos modos, se reduce en gran medida al traslado del equipamiento de los dos sistemas mencionados anteriormente.	**-2**
BAÑOS SECOS ECODOMEO	La dificultad se presenta únicamente en el traslado de la tecnología hacia el refugio. De todos modos la misma se adquiere de forma modular por lo que su transporte es sencillo.	**-2**
FALLA ELÉCTRICA		**VALORACIÓN**

BIODIGESTORES DOMICILIARIOS	El sistema no demanda energía eléctrica.	**0**
SISTEMA CON OZONIZACIÓN	Si ocurre una falla eléctrica la eficacia del sistema se ve perjudicada. Será necesario recurso humano y económico para realizar la reparación correspondiente.	**-3**
BAÑOS SECOS	El sistema no demanda energía eléctrica.	**0**
BAÑOS SECOS ECODOMEO	El sistema no demanda energía eléctrica.	**0**

Tabla 4.2. Análisis FODA de los 4 sistemas de tratamiento. Fuente: propia.

4.2 RESULTADOS DEL ANÁLISIS FODA

A continuación, en la Tabla 4.3, se presentan los resultados de la valoración de los distintos aspectos.

	BIODIGESTORES DOMICILIARIOS	SISTEMA CON OZONIZACIÓN	BAÑOS SECOS	BAÑOS SECOS ECODOMEO
F	15	19	16	13
O	16	17	19	20
D	-16	-21	-18	-16
A	-12	-12	-10	-8
TOTAL	3	3	7	9

Tabla 4.3. Resultados numéricos del análisis FODA. Fuente: propia.

4.3 MANUAL DE BUENAS PRÁCTICAS DEL SISTEMA A IMPLEMENTAR

De acuerdo al análisis FODA realizado, se obtuvo que el sistema de tratamiento más adecuado para implementar en los baños externos del refugio San Martín es el sistema de tratamiento de baño seco, con tecnología ECODOMEO. Como segunda opción se puede utilizar el sistema de baño seco convencional, es decir con separación en la tasa.

Debido a esto, a continuación se presenta un manual de buenas prácticas hacia el operario y usuario, cuya bibliografía es obtenida del manual de mantenimiento ofrecido por la empresa ECODOMEO [34].

Buenas prácticas hacia el operario

Mantenimiento diario

El mantenimiento diario es aquel que respecta a la limpieza de los sanitarios para el uso diario. Para limpiar el asiento del inodoro será necesario un trapo húmedo y un recipiente con agua, en donde se pueda preparar una solución de agua y vinagre, cloro o alcohol los cuales cumplen un rol desinfectante (en el Anexo VIII se presenta una descripción más detallada de cada uno de estos compuestos como agentes desinfectantes y las concentraciones recomendadas para su acción). Se procede a humedecer el trapo en el balde con la solución preparada para así limpiar el asiento del inodoro. El personal debe realizar dicha operación con todos los EPP, como guantes, botas y ropa adecuada.

La cinta transportadora es la parte que más se ensucia del sistema y se tendrá que limpiar cada 1 o 2 semanas. Para realizar su limpieza se debe verter lentamente agua sobre la misma accionando al mismo tiempo el pedal hasta remojar toda la cinta. A continuación se debe frotar la cinta transportadora con el cepillo accionando el pedal al mismo tiempo y vertiendo un poco de agua para humedecerla (Figura 4.1). La limpieza concluye cuando la cinta haya hecho todo el recorrido.

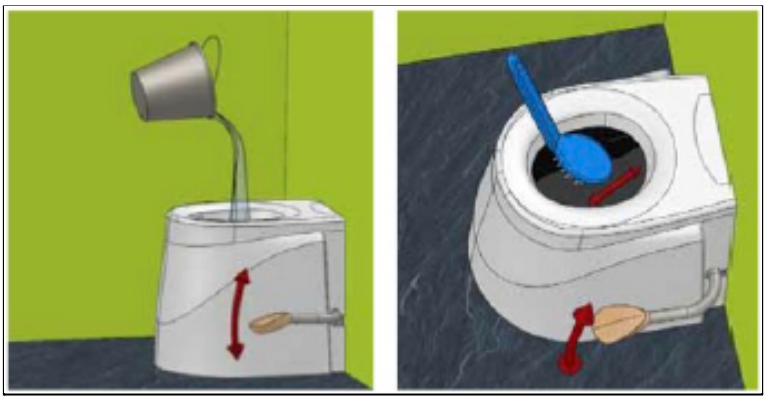


Figura 4.1. Limpieza del sanitario. Fuente: [34].

Mantenimiento periódico

El mantenimiento periódico se refiere al mantenimiento del sitio de disposición de las heces, de los raspadores, del recipiente de orina y del ventilador de extracción.

Sitio de disposición de heces

El sitio de disposición de heces, donde se realizará el compostaje, se encuentra conformado por 3 zonas:

Zona A : llegada de las materias sólidas provenientes del extremo de la cinta.

Zona B : primera zona de compostaje.

Zona C : zona de compostaje y de almacenaje final.

Las materias sólidas se mueven con un rastrillo. Con ayuda del mismo se debe desplazar la materia que se haya depositado bajo el final de la cinta (zona A) hacia la zona B (Figura 4.2). Se recomienda vigilar el funcionamiento de forma periódica el primer año para determinar la frecuencia de la intervención.

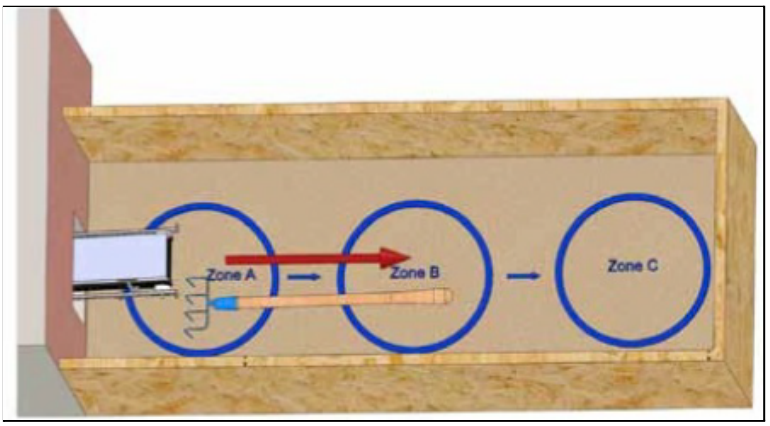


Figura 4.2. Desplazamiento de las heces de la zona A a la zona B.
Fuente: [34].

Al finalizar la temporada, será necesario desplazar las materias de la zona B hacia la zona C (Figura 4.3) y a continuación desplazar las materias de la zona A hacia la zona B.

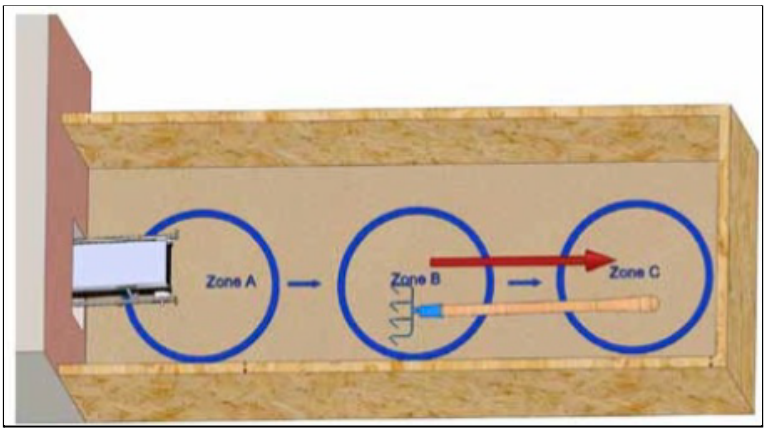


Figura 4.3. Desplazamiento de las heces de la zona B a la zona C.
Fuente: [34].

Una vez que se cuenta con material sólido en la zona B, se debe humedecerlo (Figura 4.4). Cuando se cuente con material sólido en la zona C se realiza el mismo procedimiento (Figura 4.5). Para ello se debe utilizar un cubo de agua (de 5 a 10 l por volumen de materia generado).

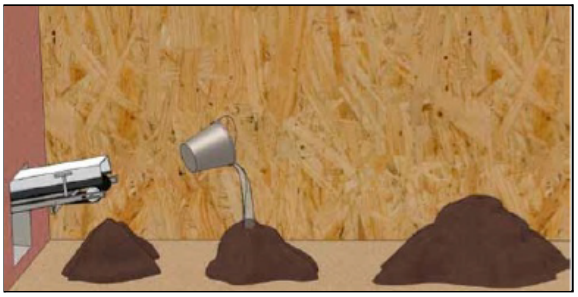


Figura 4.4. Humedecimiento de la zona B.
Fuente: [34].

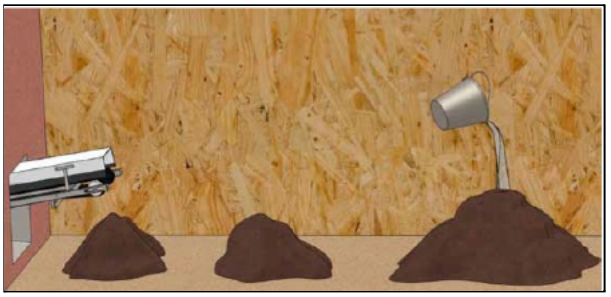


Figura 4.5. Humedecimiento de la zona C.
Fuente: [34].

Luego cubrir la zona C con plástico y paja o material de cobertura similar, para así mantener la humedad de la pila, la cual es una variable esencial para la supervivencia de las lombrices de tierra. Estas, según recomendación de la empresa, se introducen en el en el sitio de compostaje después de 6 meses a 1 año de funcionamiento, y sólo en las zonas C o B, añadiendo que con una veintena de lombrices es suficiente para sembrar el volumen de compost definido. En el caso del refugio, siguiendo con dicha recomendación, las lombrices se pueden incorporar después de los 6 meses, coincidiendo con la finalización de la temporada, correspondiente a la estación otoñal. De todos modos esto es algo que debe probarse, acorde a las condiciones del entorno. Es importante destacar que las lombrices actúan en las pilas de compost hasta agotar el alimento disponible, en este caso excretas humanas. Una vez que todo el material fue convertido en lombricompuesto, éstas se desplazarán a la pila más próxima, donde hay alimento disponible. Por ello es importante que las pilas se encuentren de forma contigua, para garantizar que las lombrices no se retiren del sitio de disposición de heces en búsqueda de alimento.

Se debe tener en cuenta que en el sitio de estudio, durante el período invernal, ocurren nevadas intensas y condiciones de muy baja temperatura. En dicha época, como se mencionó anteriormente, pueden reubicarse los contenedores en el interior de los baños, para garantizar su resguardo de las inclemencias climáticas, o bien realizar un monitoreo con mayor periodicidad, en el cual se deba retirar la nieve de la superficie de los mismos con determinada frecuencia, así como el control de la supervivencia de las lombrices, de forma visual.

Para la gestión periódica de las pilas, se recomienda que el personal del refugio realice una inspección de las mismas. Esto es realizar un monitoreo periodico del sitio en donde se almacenan los sólidos, para observar si las mismas no presentan un exceso de humedad (lo cual puede ser atribuible a que las mismas están recibiendo orina o algún tipo de fluido líquido) o la presencia de residuos, producto de un mal uso de los usuarios de los baños. En caso que esto ocurra, se debe considerar informar a los usuarios de forma continua acerca del uso de los sanitarios, recomendado comunicar esto al momento que los mismos llegan al refugio. Además se recomienda incrementar la presencia de cartelería en los baños. Si hay presencia de basura en las pilas se aconseja el retiro de la misma, realizando esto con todos los EPP y herramientas necesarias (pala o rastrillo), para evitar el contacto directo.

Mantenimiento de los raspadores

La cinta lleva 2 raspadores situados en el extremo para una mejor limpieza. Utilizar un trozo de madera o una herramienta para limpiar el raspador. El raspador 1 (Figura 4.6) debe limpiarse cuando se desplacen las materias de la zona A hacia la zona B. Dicho raspador se encuentra montado, basta presionar para separarlo de la cinta (Figura 4.7).

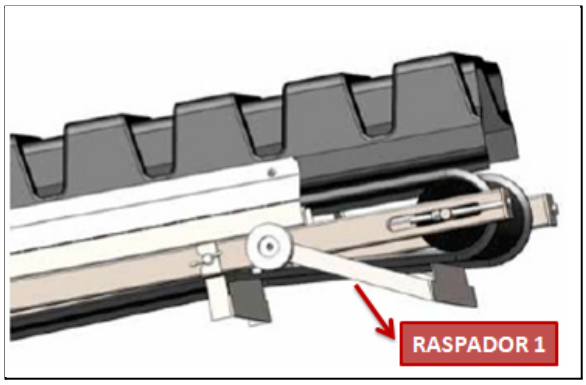


Figura 4.6. Raspador 1. Fuente: modificado de [34].

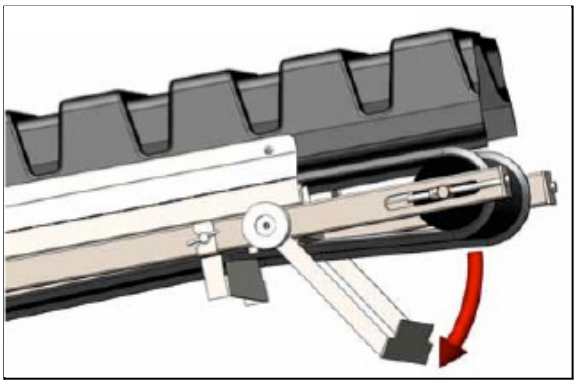


Figura 4.7. Raspador separado de la cinta. Fuente: [34].

Se debe realizar la limpieza con la ayuda de una herramienta (Figura 4.8). Una vez finalizada se suelta el raspador para que recupere la posición original (Figura 4.9).

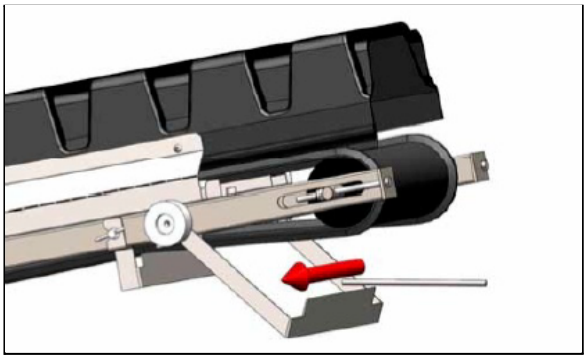


Figura 4.8. Limpieza del raspador. Fuente: [34].

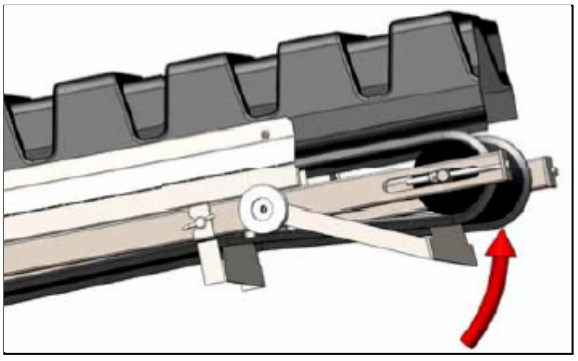


Figura 4.9. Raspador devuelto a su posición original. Fuente: [34].

El raspador 2 (Figura 4.10) se limpia una vez al año. Para ello se debe desatornillar la tuerca mariposa sin retirarla por completo, para así quitar el raspador (Figura 4.11).

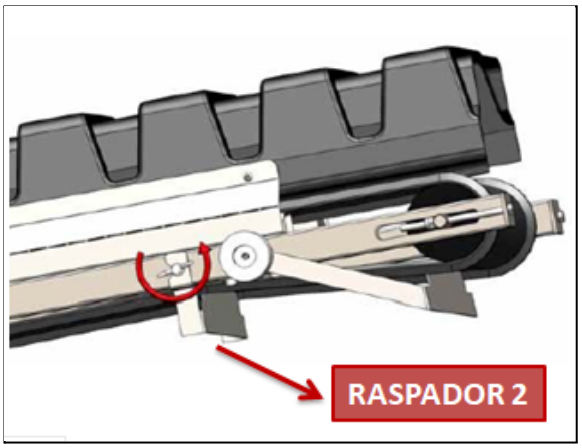


Figura 4.10. Retiro del rapador 2. Fuente: modificado de [33].

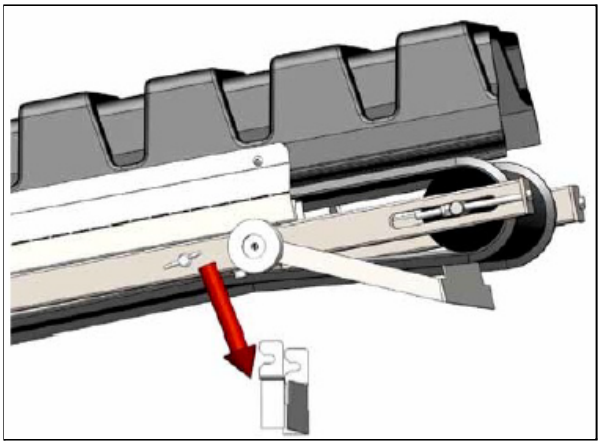


Figura 4.11. Raspador retirado de su posición original. Fuente: [33].

Limpiar el raspador y volver a colocarlo (Figura 4.12), luego atornillar la tuerca mariposa (Figura 4.13).

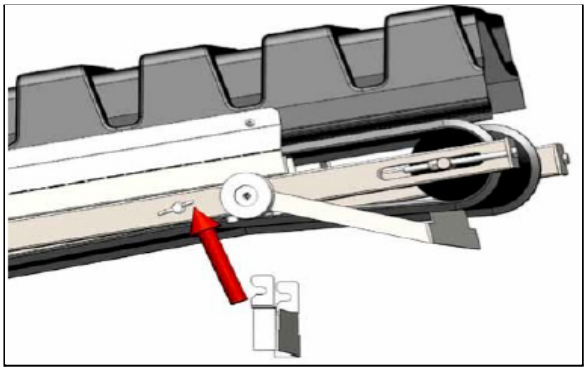


Figura 4.12. Raspador devuelto a su posición original. Fuente: modificado de [34].

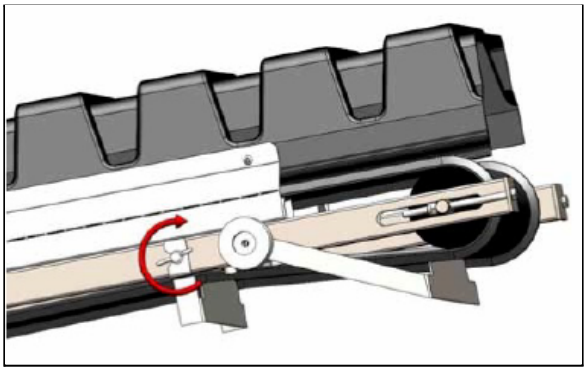


Figura 4.13. Atornillado de la tuerca mariposa. Fuente: [34].

Limpieza del recipiente de orina

Según el manual de buenas prácticas de la empresa ECODOMEO, el recipiente de orina se debe limpiar 2 veces al año. En este caso, en donde los baños externos se encuentran en funcionamiento 6 meses, bastaría con limpiarlo al finalizar la temporada.

Para su limpieza se debe retirar la taza del sanitario y desatornillar la tuerca mariposa de plástico (Figura 4.14).

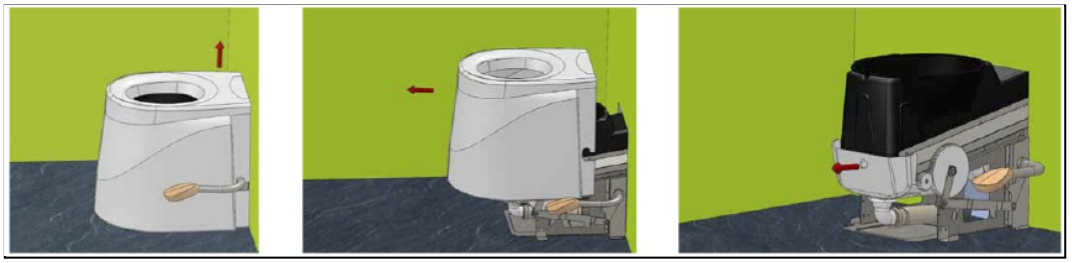


Figura 4.14. Retiro de la taza del inodoro. Fuente: [34].

Luego se debe retirar lentamente el recipiente; para ello es necesario desconectarlo de la cañería de orina a nivel del codo, debajo del recipiente (Figura 4.15). Luego retirar el sifón y la tubería conectada a él (Figura 4.16).

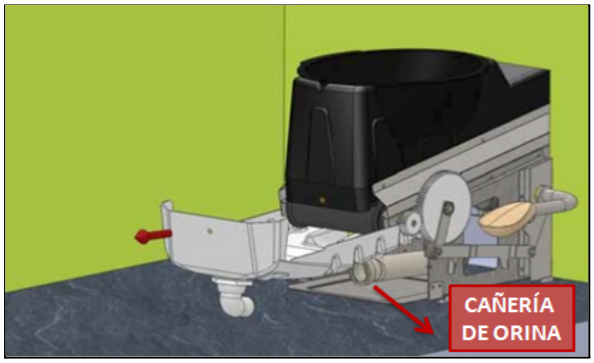


Figura 4.15. Retiro del recipiente. Fuente: modificado de [34].

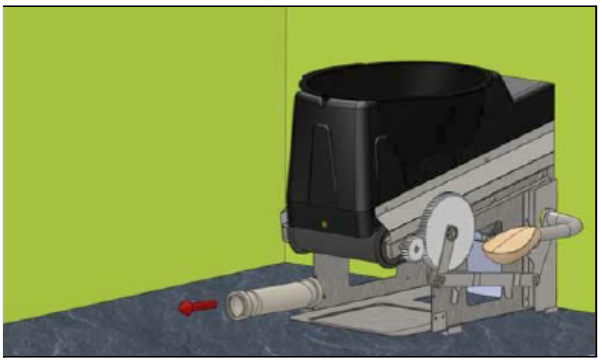


Figura 4.16. Retiro del sifón. Fuente: [34].

Limpiar la tubería y volver a colocarla en su sitio (Figura 4.17). Colocar el sifón prestando atención a la flecha que indica el sentido del desagüe (Figura 4.18). Volver a atornillar las 2 tuercas mariposa.

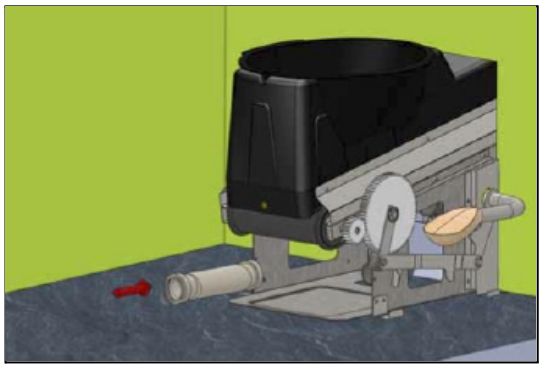


Figura 4.17. Colocado de la tubería en su sitio. Fuente: [34].

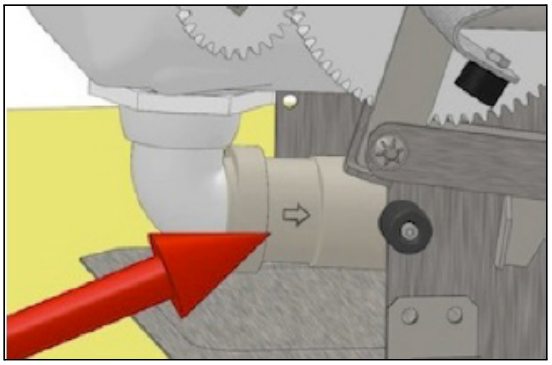


Figura 4.18. Atornillado de las tuercas mariposas. Fuente: [34].

Limpiar y subir el recipiente deslizándolo por las barras de la cinta transportadora. El recipiente debe colocarse sobre el eje del pedal y el cuello del recipiente debe entrar totalmente en la tubería. Mantener el recipiente en lo alto para atornillar la tuerca. No apretar muy fuerte. Conectar el sifón a la salida del recipiente (Figura 4.19).

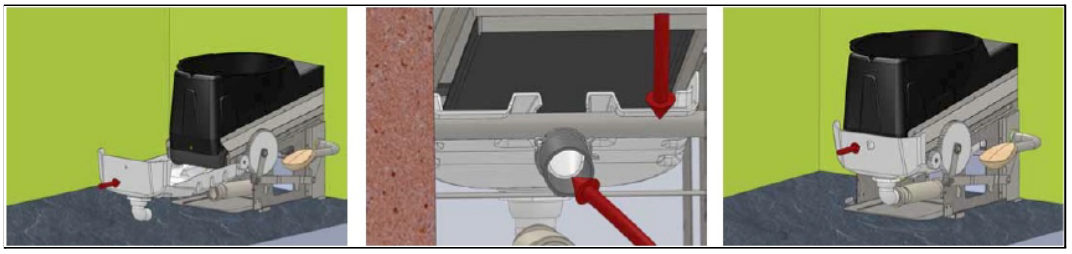


Figura 4.19. Limpieza y colocación del recipiente. Fuente: [34].

Colocar la taza del inodoro en su sitio haciendo coincidir con el pedal (Figura 4.20).

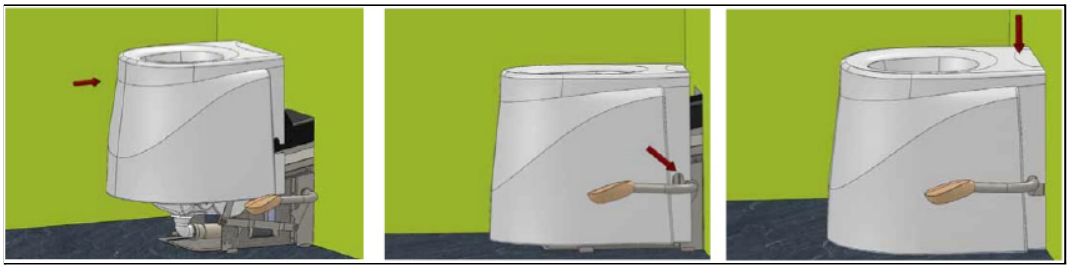


Figura 4.20. Colocación de la taza del inodoro. Fuente: [34].

Limpieza del ventilador de extracción

El ventilador (Figura 4.21) debe revisarse 1 vez al año. Será necesario limpiar la rejilla anti moscas y comprobar que el ventilador funcione sin ruido. En caso de duda, desmontarlo y limpiar el interior con un trapo mojado.

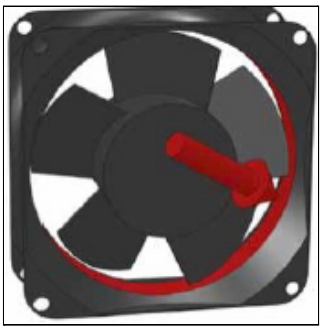


Figura 4.21. Limpieza del ventilador.
Fuente: [34].

En relación al sistema de tratamiento relacionado a la orina y aguas grises, donde se mencionó anteriormente que se propone mantener las 2 cámaras sépticas actuales (constatando previamente su buen estado) más la realización de un lecho de infiltración, se recomienda realizar un monitoreo al finalizar cada temporada y luego, al comienzo de la misma, para constatar que el sistema se encuentra en óptimas condiciones. Será necesario realizar una limpieza periódica de la cámara desengrasadora, la cual se deberá monitorear durante la temporada, para evitar su desborde. Los residuos obtenidos de dicha cámara se deben depositar con los residuos no reciclables, por lo que se recomienda que los mismos sean retirados del sitio y enviados a la planta de tratamiento de efluentes cloacales de la ciudad, o a un sitio donde se realice el tratamiento de dichos desechos.

Buenas prácticas hacia el usuario

Las buenas prácticas hacia el usuario se refiere principalmente a la conducta que debe tener la persona que utilice los sanitarios. La única diferencia en la utilización de esta tecnología, a comparación de la tecnología convencional de sanitario con arrastre hidráulico, es que en lugar de accionar una correa o un botón para evacuar los desechos del sanitario, aquí se debe accionar un pedal un par de veces.

Otra de las conductas que se debe considerar es el hecho de no arrojar ningún tipo de residuo, excepto papel higiénico, hacia el interior del sanitario. Será necesario que haya un cesto en el baño para que cada persona pueda depositar allí elementos de higiene personal, cómo toallitas, tampones, entre otros.

Para lograr estas buenas prácticas se deberá colocar cartelería informativa en los baños, las cuales permitan al usuario conocer dichas prácticas y, de esta forma, realizarlas de forma correcta.

CAPÍTULO 5: DISCUSIÓN FINAL Y CONCLUSIONES

5.1 DISCUSIÓN FINAL

En los distintos relevamientos realizados se observó que el sistema de tratamiento de efluentes cloacales de los baños externos del refugio San Martín se encuentra desbordado. El mismo está en funcionamiento desde el momento de su instalación, hace aproximadamente 15 años, período en el cual, según personal del refugio, no se realizó ningún tipo de mantenimiento a las cámaras sépticas, es decir que no se llevó a cabo el vaciado de los lodos ni su limpieza, situación que se reflejó en el sitio de descarga a lo largo de los distintos relevamientos realizados.

El último relevamiento, realizado el 23 de febrero del 2020, se observó un mayor desborde en el sitio de descarga, así como carga de efluente, lodos y olor abundante a desechos cloacales en el mallín. A esto se agrega la zona del curso de agua contiguo al mismo, donde se pudo observar escorrentía. En el relevamiento anterior esto no escurría, es decir el agua permanecía estanca ya que su afluente era mínimo; esta vez el curso presentaba escurrimiento, detectandose en algunos tramos coloración verdosa, indicando una posible eutrofización. Este aspecto pudo observarse a lo largo de 110 m, demostrando que la zona se encuentra con un importante impacto negativo, lo que da cuenta que el sistema actual de tratamiento no solo no realiza un tratamiento eficiente, sino que presenta un desborde continuo en la zanja del mallín, donde los efluentes deberían infiltrarse.

Es importante destacar que en uno de los relevamientos se vio la presencia de una tienda de acampe en un sitio próximo al área de descarga en el mallín. Según la auditoría realizada en el año 2007 por URESA en conjunto con el PNNH, se hace mención de que el sector a cielo abierto donde terminan los residuos líquidos deberá ser restringido, dado la cercanía a la zona de acampe. Esta acción no fue realizada durante la última temporada. Se desconoce si ocurrió en algún otro momento.

Se realizó una búsqueda bibliográfica de sistemas de tratamientos de efluentes que pudieran utilizarse en un ambiente de montaña, así como visitas a refugios ambientalmente similares. En la visita al refugio Rocca se pudo saber que cuenta con un sistema de tratamiento de efluentes cloacales conformado por biodigestores domiciliarios y lecho nitrificante. Dicho sistema comenzó a funcionar luego del año 2013, y transcurridos 6 años ya fue necesario realizar el vaciado y limpieza de los biodigestores domiciliarios. Dicho refugio recibe alrededor de 1000 visitantes menos por temporada que el San Martín, por lo que (si se utiliza el mismo sistema de tratamiento que el refugio Rocca) el tiempo de saturación en el refugio San Martín sería mucho menor. Se destaca aquí que el refugio San Martín posee sistema de cámara séptica, a comparación del refugio Rocca, donde son biodigestores domiciliarios. Estos últimos ofrecen una mayor facilidad en la extracción de los lodos, en comparación a las cámaras sépticas, aunque no se encontraron estudios científicos en donde se garantice una mejora en la eficiencia del tratamiento.

El lecho nitrificante en el refugio Rocca comenzó a presentar señales de humedad en su superficie luego de 7 años de funcionamiento, lo que da cuenta de que dicho tratamiento no posee una larga duración, en este caso debido principalmente a una subdimensión del mismo. De todos modos se debe destacar que el refugio mencionado presenta servicio de duchas, lo que incrementa la generación de efluentes, situación que no ocurre en el refugio San Martín. Aunque, como se citó anteriormente, este último recibe un mayor número de visitantes que el refugio Rocca, y su sistema de tratamiento se encuentra en funcionamiento un poco más del doble de tiempo, sin haber recibido mantenimiento.

En la visita al refugio Ilón, se observó que utilizan como sistema de tratamiento de excretas humanas (orina + heces) la tecnología de baño seco con separación de orina. Ésta tecnología separa las excretas en la taza del inodoro, es decir que el usuario es un actor activo de dicha separación. Los refugieros realizan un mantenimiento diario e informan a cada visitante acerca del funcionamiento de los baños ya que, como se mencionó anteriormente, es el único refugio en la zona sur del PNNH que actualmente cuenta con sistema de baño seco, por lo que la mayoría de los visitantes no está adaptado a la tecnología. En líneas generales el sistema se encuentra funcionando correctamente, solo en algunas ocasiones el personal del refugio manifestó que la separación de las excretas no es realizada correctamente por los usuarios, hecho que debe ser contrarrestado con el agregado de material de cobertura. Los visitantes, en su mayoría, aceptan la tecnología, según el personal del refugio. Al momento de la visita no se habían realizado análisis en laboratorio de la calidad del compostaje, por lo que se desconoce si el mismo está cumpliendo con sus distintas etapas térmicas, de la cual se destaca la etapa termofílica, de principal interés para la remoción de patógenos.

Estos relevamientos a campo a otros refugios de la zona permitieron notar realidades distintas en cada uno de ellos debido a que se utilizan tecnologías diferentes. En uno de dichos refugios se utilizó primeramente una tecnología que no funcionó, debido a que no era adecuada para un ambiente de alta montaña, destacándose la importancia de realizar un análisis previo de la tecnología a utilizar en dicho ambiente.

En relación a la tecnología de baño seco, la cual se destaca en el TFI es importante mencionar que es crucial la separación de las heces de la orina. Según Geoffrey Hill [44], la separación de las excretas redujo en un 60% el volumen total de las mismas. Además se agrega el hecho de que la orina actúa como contaminante de algunos micro y macroorganismos, que posteriormente se encargan del tratamiento de las heces.

Dentro de los distintos tratamientos de heces analizados, se distinguen el compostaje y lombricompostaje. Ellos se encargan del tratamiento de sustratos orgánicos, es decir de la bioconversión de subproductos orgánicos en recursos, siendo las heces humanas un sustrato en donde las investigaciones realizadas son más bien recientes, en comparación a otros sustratos. El ambiente de alta montaña trae consigo características ambientales que pueden ralentizar y/o reducir la efectividad de dichos procesos. Es determinante el conocimiento de las distintas etapas de desarrollo de estos tratamientos y de los factores ambientales que son necesarios controlar. En el trabajo se consideró realizar lombricompostaje debido a que, según los estudios y experiencias presentadas, el proceso garantiza la remoción de patógenos realizando un control más reducido de los factores ambientales, principalmente la temperatura, a diferencia del compostaje. En este último es necesario garantizar que ocurra la etapa termófila para la remoción de patógenos, situación que no se requiere en el lombricompostaje, es decir en este último proceso no ocurre dicha etapa pero, según las investigaciones realizadas, si ocurre la remoción de patógenos, la cual es llevada a cabo por las lombrices. Otra consideración que se puede tener en cuenta es desarrollar ambos procesos, es decir, someter las heces a un proceso de compostaje y, una vez que el mismo comienza con su segunda etapa mesófila, realizar el agregado de lombrices para efectuar el lombricompostaje. Es importante realizar una desinfección adicional para asegurarse de que hubo una muerte del 100% de los patógenos. Según la experiencia realizada en Parque Nacional y Reserva Denali, Alaska [45], luego de aplicar una combinación de fertilizante de urea y cenizas, se demostró, mediante análisis en laboratorio, que el lombricompost no presentaba coliformes fecales ni *E. coli*. Esta desinfección adicional puede realizarse una vez que las lombrices hayan culminado su función en el lombricompostaje, es decir, una vez que éstas se retiran de la pila de lombricompost debido a la disminución considerable de alimento. En el caso de la tecnología ECODOMEO, se puede realizar el

proceso de desinfección una vez que las lombrices se retiran de una de las pilas de excretas humanas, mencionada como zona C, hacia otra de las pilas, en este caso zona B.

En cuanto al uso de lombrices, si bien la especie *Eisenia foetida* es la más utilizada, en el PNNH es una especie exótica. Se recomienda realizar un análisis de las especies de lombrices rojas nativas en la zona para su utilización. Éstas, al encontrarse adaptadas al ambiente es más probable que sobrevivan a bajas temperaturas, cuyo factor es el más importante de considerar para su supervivencia. Según la experiencia realizada en un ambiente de alta montaña mencionada anteriormente [45], las especies nativas sobrevivieron temperaturas de hasta -10°C durante el invierno, en cambio las lombrices de especie introducida resultaron sensibles al congelamiento. Esta experiencia se considera importante tener en cuenta ya que fue realizada en un ambiente similar al del refugio San Martín.

En cuanto al tratamiento de la orina, según G. Hill [44], solo dos métodos de tratamiento pueden aplicarse de manera efectiva en ubicaciones remotas. Una de ellas es la infiltración en terreno o evaporación. Sin embargo, existen numerosos desafíos prácticos que deben superarse antes de que la evaporación de orina se convierta en una herramienta confiable y de bajo costo para el manejo de desechos.

Continuando con la tecnología de baño seco, es importante distinguir entre el sistema en donde la separación de excretas ocurre en la taza y en donde la separación ocurre por debajo de la misma. Esto es debido a la participación que debe tener el usuario en la separación de orina y heces, siendo un actor activo en el caso de baño seco con separación en la taza, y no así cuando ocurre la separación por debajo de la misma. En el caso de la separación en la taza, dicha tecnología demanda mayor educación hacia el usuario, situación demostrada en el refugio Ilón. Este hecho podría ser más demandante para el personal en el refugio San Martín, ya que su número de visitantes es considerablemente mayor a Ilón. De todos modos no se debe descartar dicha acción, ya que conlleva una toma de conciencia por parte de los visitantes, en lo que respecta a la generación de sus desechos y a la necesidad de tratamiento adecuado de los mismos.

En la separación de las excretas por debajo de la taza, aquí se analizaron 2 tecnologías. Una de ellas fue aplicada en el refugio Rocca, la cual no tuvo éxito. Esta tecnología fue diseñada en un ambiente mucho más seco y de mayores temperaturas medias. El sistema tiene como premisa el tratamiento de las heces por deshidratación, situación que en un clima como aquel en donde fue diseñado, es más factible que ocurra. En un ambiente de alta montaña, como al que se encuentra el refugio Rocca, y también el refugio San Martín, las condiciones son distintas. Hay varios meses en donde el ambiente se encuentra expuesto a abundantes lluvias y nieve, lo que dificulta el proceso de deshidratación. En el caso de la tecnología ECODOMEO, también la separación ocurre debajo de la taza, pero utiliza una cinta transportadora, la cual permite depositar las heces en un contenedor para luego realizar su tratamiento mediante compostaje y/o lombricompostaje. Esta tecnología se adaptaría a un ambiente de altura. En el Parque Nacional Torres del Paine, Chile, como se mencionó anteriormente, se implementó este sistema hace 3 años, con muchísimo éxito. Cabe destacar que en dicha experiencia, la cantidad de usos por temporada era considerablemente superior al que se proyecta en el refugio San Martín, por lo que se puede considerar que la tecnología se aplicaría correctamente en el refugio. También el sistema fue aplicado en otros refugios de ambientes de alta montaña en Europa, presentados en el Anexo VI, en donde funciona correctamente.

La tecnología de baño seco, al no utilizar agua potable o aguas grises para evacuar las heces, reduce la probabilidad de contaminación de las napas freáticas, si dichas aguas son vertidas al suelo sin tratamiento o con un tratamiento ineficiente. Además el material obtenido como producto aporta nutrientes de fácil absorción a los suelos.

Se propusieron 4 sistemas de tratamiento de efluentes cloacales, 2 de ellos con sistema de saneamiento con arrastre hidráulico y 2 con sistema de baño seco. El dimensionamiento de los mismos dio cuenta de la gran extensión de área necesaria para los sistemas en donde el agua funciona como medio de saneamiento. La superficie que puede ser destinada para la infiltración de los efluentes en un ambiente de alta montaña es escasa, los suelos son poco desarrollados y en muchas ocasiones éstos se encuentran próximos a una zona rocosa e incluso a una zona mallinosa o a algún cuerpo de agua. Además se debe considerar que puede ser necesaria la remoción de vegetación para la construcción del sitio de infiltración. Esto indica que las tecnologías con arrastre hidráulico no son las más óptimas para un ambiente de montaña. Dicha evaluación se ve reflejada en el análisis FODA realizado. En el mismo se analizaron aspectos ambientales, sociales y económicos de las distintas tecnologías, dando como resultado que aquellas basadas en un saneamiento donde se utiliza agua, como en este caso lo fueron las tecnologías de biodigestores y de ozonización, son las menos aptas de las 4 tecnologías analizadas.

5.2 CONCLUSIONES

En los relevamientos realizados en la zona en donde se ubica el sistema de tratamiento de efluentes cloacales de los baños externos del refugio San Martín, se pudo detectar que el sistema actual se encuentra desbordado en su capacidad de tratamiento. El mismo no está realizando de forma efectiva el tratamiento de los efluentes cloacales y la zona de descarga (mallín) de dichos efluentes se encuentra impactada negativamente.

En las visitas realizadas durante los meses de verano, principalmente enero y febrero, donde ocurre el mayor número de visitantes, se detectó que la zanja de infiltración, en donde originalmente se vertían los efluentes cloacales previamente tratados en las cámaras sépticas, presentaba un desborde continuo hacia el centro del mallín. Esto fue constatado debido a la abundante presencia de efluente y lodo cloacal en el sitio, lo cual demuestra que el sistema de tratamiento actual no logra cumplir su función. Contiguo al mallín se observó la presencia de un curso de agua, el cual con el transcurso de la temporada comenzó a presentar escorrentía y señales de eutrofización. No se pudo detectar el destino final de dicho curso, pero sí de la posible propagación de la contaminación por fuera de las inmediaciones de la zona mallinosa.

Debido a lo expuesto, y a los distintos análisis realizados en el TFI, los sistemas de tratamiento con arrastre hidráulico no son las tecnologías más apropiadas para el ambiente de alta montaña, ya que requieren una gran extensión del terreno para la infiltración del efluente, así como el mantenimiento de las cámaras sépticas o biodigestores domiciliarios mediante el retiro de los lodos y posterior tratamiento de los mismos, situación que puede resultar compleja y poco efectiva en un ambiente de altura. Cabe mencionar además que dicho mantenimiento no se vio reflejado de forma adecuada o estuvo ausente en los refugios con tecnología de arrastre hidráulico.

Tras el análisis FODA realizado, se destaca que los sistemas de saneamiento seco resultaron los más óptimos para un ambiente de montaña, presentando una mínima diferencia en los resultados entre el sistema de saneamiento seco con separación desde la taza y el propuesto con la tecnología ECODOMEO, con separación por debajo de la misma. La poca variabilidad de los resultados entre ambas tecnologías de saneamiento en seco muestra que podrían implementarse ambas en los baños externos del refugio San Martín. Se propone como primera opción el sistema de tratamiento de efluentes cloacales con la tecnología de baños secos ECODOMEO ya que requiere menor adecuación por parte del usuario, así como un menor mantenimiento. Se propone aquí realizar un contenedor de sólidos con material aislante adecuado y de una estructura rígida, la cual sea capaz de soportar las fuertes nevadas de la zona y, de este modo, garantizar la supervivencia de las lombrices. Tener en

cuenta esto último es crucial para garantizar el tratamiento de los sólidos mediante el lombricompostaje. En relación a la tecnología de baño seco con separación desde la taza, se sugiere a ésta como segunda opción.

La tecnología ECODOMEO debe ser importada, por lo que, en caso de presentar dificultades para su adquisición, no debe dejarse de lado la opción de utilización de los baños secos con separación en la taza. En estos últimos se requiere mayor compromiso del personal del refugio y usuarios, tareas que pueden ser cumplidas teniendo como premisa el cuidado del ambiente, el entorno del refugio San Martín y su preservación.

Estos sistemas permitirán reducir ampliamente la descarga de efluentes al medio del refugio San Martín, principalmente al mallín, el cual se recomienda la remoción de los lodos en su superficie y una restricción del área para permitir su recuperación natural.

Se desarrolló un manual de buenas prácticas dirigido al operario y usuario, con el cual se espera ampliar la vida útil del sistema con la tecnología ECODOMEO, en caso de que el mismo sea realizado.

El refugio San Martín se encuentra dentro de un sitio de condiciones climáticas rigurosas, como es el caso de un ambiente de alta montaña. Según las estimaciones realizadas, la cantidad de visitantes a lo largo de los años irá en aumento. Es importante que se tenga en cuenta ambos aspectos a la hora de implementar un nuevo sistema ya que, como se mencionó anteriormente, el actual sistema de tratamiento de efluentes cloacales presente en el sitio manifiesta un desborde continuo durante el período de temporada, por lo que es necesario tomar acciones. El impacto negativo hacia el mallín de altura es importante, por lo que no se debe continuar descargando efluentes cloacales allí.

Es indispensable que se incrementen las inspecciones por parte del organismo de control en el área, para constatar el buen funcionamiento del sistema. Además se debe destacar la realización de capacitaciones hacia el personal del refugio, en lo que respecta al mantenimiento del sistema de tratamiento, ya que en el refugio San Martín no se llevó a cabo ningún tipo de limpieza de las cámaras sépticas desde el momento en que se instaló el sistema, por lo que, si hubiese ocurrido lo contrario, el impacto negativo al ambiente podría haberse reducido o evitado.

Es necesario un accionar conjunto entre los distintos actores que tienen injerencia sobre el sitio, en este caso entre el PNNH, Club Andino y los concesionarios, teniendo como principal premisa el cuidado del ambiente y la preservación del mismo, dado el sitio en donde se encuentra el refugio. Se debe buscar el equilibrio entre la utilización del área para fines turísticos y recreativos, así como económicos, sin alterar la armonía natural del ambiente.

REFERENCIAS

- [1] Skavarca, V., Perucci, L. & Córdoba, V. (2010). El Sistema de Refugios de Montaña en el Parque Nacional Nahuel Huapi: aportes para el desarrollo sustentable de Bariloche (Argentina). Labor & Engenho, 4(4), 25-45.
- [2] Parque Nacional Nahuel Huapi (2018). Plan de Gestión del Parque Nacional Nahuel Huapi. Parte I – Introducción, Caracterización y Diagnóstico.
- [3] Refugio San Martín. Extraído de: https://www.refugiojakob.com.ar. Fecha de acceso: 05/05/2019
- [4] Club Andino Bariloche. Extraído de: http://www.clubandino.org/refugios-y-campings/refugio-jakob/. Fecha de acceso: 05/05/2019.
- [5] De Ecuador, G. (2008). Estrategia regional de conservación y uso sostenible de los humedales altoandinos: Agua, vida, futuro. Secretaría de la Convención de Ramsar.
- [6] Convención de Ramsar y Grupo de Contacto EHAA. 2008. Estrategia Regional para la Conservación y Uso Sostenible de Humedales Altoandinos. Gobiernos de Ecuador y Chile, CONDESAN y TNC-Chile.
- [7] Raffaele, E. (1999). Mallines: aspectos generales y problemas particulares. Tópicos sobre humedales subtropicales y templados de Sudamérica. Oficina Regional de Ciencia y Tecnología de la UNESCO para América Latina y el Caribe. ORCYT, Montevideo, Uruguay.
- [8] Fernandez Curutchet,M; Hock,D; Dabbah,F & Hernán E. 2015. Sistemas de saneamiento seco, baño seco. 1ª ed. Instituto Nacional de Tecnología Industrial - INTI, 2015. 142p.
- [9] Metcalf & Eddy, & Tchobanoglous, G. (1985). Ingeniería sanitaria: tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales. Labor.
- [10] Lozano-Rivas, W. (2012). Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales. Bogotá: Universidad Nacional Abierta y a Distancia–UNAD.
- [11] Water, U. (2017). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales, el recurso desaprovechado. Francia: UNESCO.
- [12] BRANCO, S. M., 1984. Limnología sanitaria, estudio de la polución de aguas continentales. Ser. Biol. Monogr. 28, OEA: 120 pp.
- [13] Valdez, E., & Vázquez, A. (2003). Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales. Fundación ICA, AC México DF México.
- [14] Guías para el saneamiento y la salud [Guidelines on sanitation and health]. Ginebra: Organización Mundial de la Salud; 2019. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- [15] Ramalho, R. S. (1996). Tratamiento de aguas residuales. Reverté.
- [16] Menéndez Gutiérrez, C., & Pérez Olmo, J. (2007). Procesos para el tratamiento biológico de aguas residuales industriales. Editorial Universitaria.
- [17] FAO. (2019). Guía teórico-práctica sobre el biogás y los biodigestores. Colección Documentos Técnicos N° 12. Buenos Aires. 104 pp. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- [18] Mariñelarena, A. (2006). Manual de autoconstrucción de sistemas de tratamiento de aguas residuales domiciliarias. La Plata: FREPLATA Editores.
- [19] Resolución N°2802-CM-16. Extraído de: http://www.digestobariloche.gov.ar/ordenanzas/2016/o-16-2802.doc. Fecha de acceso: 08/04/2021.
- [20] Talarico, T. I. C. A. (2007). Cátedra Ingeniería Sanitaria. Universidad tecnológica nacional de Buenos Aires. Argentina.
- [21] Fernando Martín (2019). Cátedra de “Tratamiento y Reutilización de Aguas Residuales”. Ingeniería Ambiental. Universidad Nacional de Río Negro.

- [22] Panigatti, M. C., Boglione, R., Griffa, C., Boidi, M., & Schierano, M. C. (2013). Tratamiento de efluentes cloacales utilizando cámara séptica y zanja filtrante. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica*, *6*(1), 62-72.
- [23] Miranda Medina, M. E. (2013). Tratamiento de aguas residuales con fosa séptica convencional y fosa séptica prefabricada (Tesis de grado). Universidad Nacional de Cajamarca, Perú.
- [24] Pepe, U. D. (2003). Tratamiento alternativo de efluentes cloacales individuales. Congreso Argentino de Saneamiento y Medio Ambiente, 13 (pp. 1-31).
- [25] Rondón Ríos, N. E. (2017). Análisis y propuesta de uso de biodigestor en el tratamiento de aguas residuales del sistema de desagüe del poblado de Pocrac del distrito de Ticapampa, Recuay-Ancash (Tesis de grado). Universidad Nacional de Ancash "Santiago Antúnez de Mayolo", Perú.
- [26] Tejada Zapana, C. A. (2016). Mejoramiento del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, modelo ROTOPLAS para familias del sector rural (Tesis de grado). Universidad Privada San Carlos - Puno, Perú.
- [27] Nuñez, J. (2013). Agua y saneamiento a nivel nacional. Alternativas de innovación. Cámara Argentina de la construcción, Argentina.
- [28] Posso, F. (1999). El agujero en la capa de ozono: origen, evolución y estado actual. *Geoenseñanza*, *4*(1), 157-189.
- [29] Medina, C. A. (2019). Estudio de la ozonización de la vinaza, como tratamiento complementario para la reducción de la carga orgánica (Maestría). Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Tucumán - Escuela de Posgrado, Argentina.
- [30] Freese, S. D., & Nozaic, D. J. (2005). Desinfección con cloro y desinfectantes alternativos, ventajas y desventajas. *Ingeniería sanitaria y ambiental*, *81*, 70-77.
- [31] Guevara Sáenz de Viteri, J. (2009). Cinética de la reacción química del ozono y los complejos cianurados presentes en las aguas residuales provenientes de las empresas recuperadoras de oro. Tesis de grado. Extraído de http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/1329 . Fecha: 15/06/2020.
- [32] Escalante, E. R. (2005). Tanques sépticos. Conceptos teóricos base y aplicaciones. *Tecnología en marcha*, *18*(2), 26-33.
- [33] Agency, E. P. (septiembre de 1999). Folleto de tecnología del uso eficiente del agua. Inodoros de compostaje. EPA 832-F-99-066. Washington D.C.
- [34] Tecnología ECODOMEO. Extraído de http://www.ecodomeo.com/. Fecha de acceso: 23/07/20.
- [35] Schönning, C., & Stenström, T. A (2004). Lineamientos para el Uso Seguro de la Orina y de las Heces en Sistemas de Saneamiento Ecológico. Instituto Ambiental de Estocolmo, Suecia.
- [36] Carlander, A. and Westrell, T. 1999. A microbiological and sociological evaluation of urine-diverting, double-vault latrines in Cam Duc, Vietnam. Report no. 91, International Office, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden.
- [37] Austin, A. (2001). 'Health aspects of ecological sanitation.' Abstract Volume, First International Conference on Ecological Sanitation. 5th-8th November, Nanning, China: 104-111.
- [38] Moe, C., & Izurieta, R. (2003). Longitudinal study of double vault urine diverting toilets and solar toilets in El Salvador. In Proceedings from the 2 nd International Symposium on Ecological Sanitation.
- [39] Wang, J. Q. (1999). Reduction of microorganisms in dry sanitation due to different adsorbents under low temperature conditions. In *9th Stockholm Water Symposium* (pp. 9-12).

- [40] Tognetti, C. (2007). Compostaje de residuos orgánicos urbanos: optimización del proceso para una mayor calidad del producto final (Tesis Doctoral). Universidad Nacional del Comahue. Río Negro, Argentina.
- [41] Mazzarino, M. J., & Satti, P. S. (2012). Compostaje en la Argentina. Experiencias en producción, calidad y uso. 1ª Ed, Editorial UNRN.
- [42] Barreto, L. F. C. (2008). Producción de abonos orgánicos, aplicando procesos de compostaje y lombricompostaje a residuos de las cadenas agrícolas y pecuarias enfocado al biomejoramiento del agro colombiano (Tesis doctoral), Universidad de Pamplona.
- [43] Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Lombricultura. Ministerio de Desarrollo Social de la Nación. Ushuaia, Tierra del Fuego. Extraído de: http://prohuerta.inta.gob.ar. Fecha: 21/07/2020.
- [44] Hill, G. B. (2013). An evaluation of waterless human waste management systems at North American public remote sites (Doctoral dissertation).University of British Columbia, Canadá.
- [45] Experiencia en el Parque Nacional y Reserva Denali, Alaska. Recuperado de https://www.nps.gov/articles/denali-mountain-compost.htm. Fecha: 22/4/2020.
- [46] Agenda 2030, para el Desarrollo Sostenible. Extraído de: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/lenguaje_claro_web.pdf. Fecha: 29/03/2021.
- [47] Constitución Nacional. Extraído de: https://www.casarosada.gob.ar/images/stories/constitucion-nacional-argentina.pdf. Fecha: 29/03/2021.
- [48] Ley General de Ambiente. Extraído de: http: http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/75000-79999/79980/norma.htm. Fecha: 29/03/2021.
- [49] Ley de Parques Nacionales. https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-22351-16299/actualizacion. Fecha:29/03/2021.
- [50] Resolución HD 241/07 Parques Nacionales. Extraido de https://www.nahuelhuapi.gov.ar/normativas/obras/RES_HD_REGC_241_07_20.pdf. Fecha: 10/03/2021
- [51] Resolución HD N 203-16. Extraído de: https://www.boletinoficial.gob.ar/pdf/linkQR/UjZEdXdCMUxYSzgrdTVReEh2ZkU0dz09. Fecha: 29/03/2021.
- [52] Resolución 378-E/2017. Extraído de https://www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primera/161732/20170407. Fecha: 29/03/2021.
- [53] Constitución de la Provincia de Río Negro. Extraído de https://web.legisrn.gov.ar/institucional/pagina/constitucion-de-la-provincia-de-rio-negro. Fecha: 29/03/2021.
- [54] Ley N° 2952/95. Código de Aguas de la Provincia de Río Negro. Extraído de: https://rionegro.gov.ar/download/archivos/00002557.pdf. Fecha: 29/03/2021.
- [55] Resolución 885/15. Extraído de: https://rionegro.gov.ar/download/boletin/5379%20supl.pdf. Fecha: 29/03/2021. Fecha: 29/03/2021.
- [56] Carta Orgánica de San Carlos de Bariloche. Extraído de: http://www.mininterior.gov.ar/municipios/pdf/co-bariloche-rio-negro.pdf. Fecha: 29/03/2021.
- [57] Parque Nacional Nahuel Huapi. Extraído de: https://www.nahuelhuapi.gov.ar/. Fecha de acceso: 29/03/20.

- [57] Refugio Agostino Rocca. Extraído de: http://www.clubandino.org/refugios-y-campings/refugio-agostino-rocca-paso-de-las-nubes/ Fecha: 28/04/2020.
- [58] Tecnología de baño seco Enviro Loo. Extraído de: https://www.swsloo.com/how-eloo-works. Fecha: 01/05/2020.
- [59] Enviro Loo. Sistema de baño seco sin separación de orina. Extraído de: http://www.enviro-loo.com/. Fecha: 01/05/2020.
- [60] Refugio Ilón. Extraído de https://www.refugioilon.com.ar/. Fecha: 02/05/2020.
- [61] Club Andino Bariloche-Camping organizado Ilón. Extraído de: http://www.clubandino.org/refugios-y-campings/vivac-papa-manuel-laguna-llon/. Fecha: 02/05/2020.
- [62] Informe de resultados del primer muestreo de tránsito de senderos en la red troncal del Parque Nacional Nahuel Huapi: vías de acceso al refugio Frey (2020). IF-2020-37491754-APN-DGA#APNAC.
- [63] Fernandez Curutchet, M; Dabbah,F & Hock. (2018). Alternativas y dimensiones. Sistemas de saneamiento seco. Programa de tecnologías sustentables. *1ª ed. Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI)*.Argentina.
- [64] Toilet Tech. Extraido de https://www.toilettech.com/. Fecha de acceso: 23/03/2020.
- [65] Bergara, R. A. (2019). Mejora del sistema de tratamiento cloacal de la ciudad de Colón Entre Ríos (Trabajo Final Especialización). Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Concepción del Uruguay, Argentina.
- [66] Seoánez Calvo, M. (1999). Ingeniería del medio ambiente: aplicada al medio natural continental: la contaminación del medio natural continental: aire, aguas, suelos, vegetación y fauna. Tecnologías de identificación, lucha y corrección. Ediciones Mundi-Prensa.
- [67] Higa, L. E. (2000). Criterios de selección de tecnologías de depuración de líquidos cloacales. Congreso Argentino de Saneamiento y Medio Ambiente, 11 (pp. 1-32). AIDIS.
- [57] Palacio, J. A. G. (2011). Efecto del uso de plantas y configuración de los sistemas en la remoción de organismos patógenos mediante el uso de humedales construidos para el tratamiento de aguas residuales domésticas en condiciones tropicales (Doctoral dissertation). Universidad Tecnológica de Pereira - Facultad de Ciencias Ambientales, Colombia.
- [58] Artículo Técnico. Rosales Escalante ¿Cómo hacer pruebas de infiltración? Extraído de http://cfia.or.cr/descargas/inflitracion.pdf. Fecha: 16/03/20.
- [59] ANMAT. Extraído de https://www.argentina.gob.ar/anmat/comunidad/que-son-los-productos-de-uso-domestico. Fecha: 30/08/2020.
- [60] ANMAT. Extraído de: https://opinionpublica.anmat.gob.ar/proyectos/239.pdf Fecha: 30/08/2020.
- [61] Arias Flores, A. I. (2019). Evaluación a nivel laboratorio, de la acción desinfectante y desengrasante del vinagre sintético blanco al 4%, con vida de anaquel caducada, como sustituto a productos químicos comunes (Tesis doctoral). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- [62] Ortiz Uribe, Nathalie Carolina (2017). Desinfección de cepillos dentales inoculados con Streptococcus mutans usando vinagre, clorhexidina y cloruro de cetilpiridinio. Proyecto de investigación presentado como requisito previo a la obtención del título de Odontóloga. Carrera de Odontología. Quito : UCE. p. 72.

ANEXO I: Características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales

Características físicas

La característica física más importante del agua residual es su contenido de sólidos totales, el cual está compuesto por materia flotante y materia en suspensión, en dispersión coloidal y en disolución [9]. Otras características físicas son temperatura, color y olor.

Sólidos Totales

Analíticamente, el contenido de sólidos totales de un agua residual se define como toda materia que permanece como residuo después de la evaporación y secado de la muestra a 103-105°C [9]. Un metro cúbico de agua residual posee aproximadamente 500 gramos de sólidos totales, es decir los sólidos de las aguas residuales constituyen menos del 0,02% en peso [13][20].

Los sólidos en las aguas residuales pueden clasificarse como sólidos suspendidos y sólidos filtrables (Figura 1). Estos últimos son aquellos que atraviesan un filtro que puede retener sólidos de diámetro mayor a 0,45 µm. La fracción de sólidos suspendidos son aquellos que presentan flotabilidad en el agua. Se subdividen a su vez en sólidos sedimentables y no sedimentables; los primeros son aquellos que se depositarán en el fondo de un recipiente en forma de cono (cono de Imhoff) durante un período de 60 min [9][21]. Los sólidos suspendidos son principalmente de naturaleza orgánica, siendo en su mayoría heces humanas, desperdicios de alimentos, papel, trapos y células biológicas que forman una masa de sólidos suspendidos en el agua [13].

Los sólidos filtrables y suspendidos se pueden clasificar de acuerdo al tamaño de partícula (Figura 2). Los primeros se componen de sólidos coloidales y disueltos. La fracción coloidal consiste en partículas con un diámetro aproximado que oscila entre 10 mm y 1 µm. Los mismos no pueden eliminarse por sedimentación, por lo general se requiere una coagulación u oxidación biológica seguida de sedimentación para eliminar estas partículas de la suspensión. Los sólidos disueltos se componen de moléculas orgánicas e inorgánicas e iones en disolución en el agua [9].

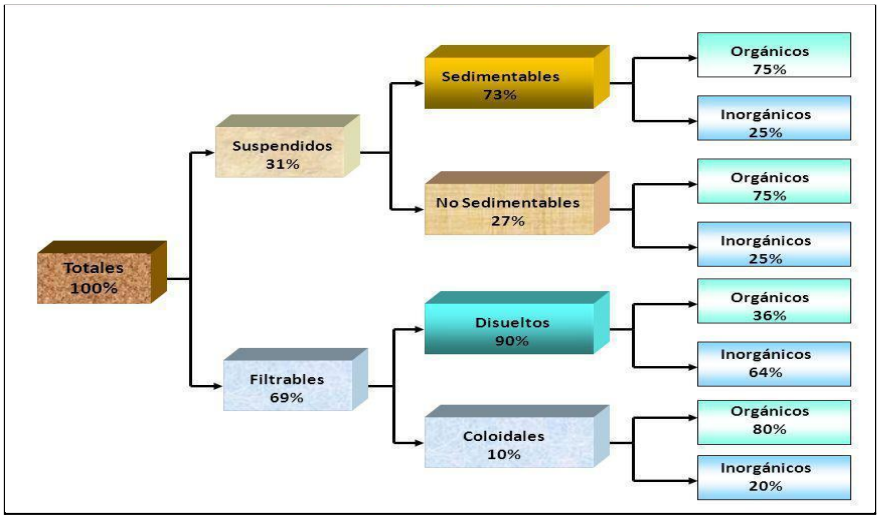


Figura 1. Clasificación de sólidos totales. Fuente: [21].

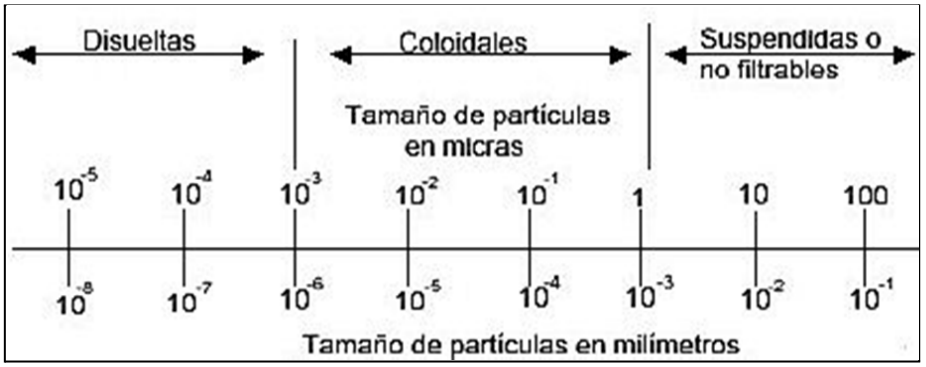


Figura 2. Clasificación de los sólidos de acuerdo a su tamaño. Fuente: [9].

A su vez, cada una de estas clases de sólidos puede clasificarse en base a su volatilidad a 600°C.

Olores

Normalmente los olores son debido a los gases producidos por la descomposición de la materia orgánica. El agua residual reciente tiene un olor peculiar algo desagradable, pero más tolerable que el agua residual séptica[28] [9]. El olor más característico de los desagües ya transformados en sépticos, por agotamiento del oxígeno disuelto, es el del sulfuro de hidrógeno producido por los microorganismos anaeróbicos que reducen los sulfatos a sulfitos [20].

La importancia de los olores en términos humanos está relacionada primeramente con la tensión psicológica que originan más que con el daño que producen al organismo. Los olores molestos pueden disminuir el apetito, inducir a menores consumos de agua, perjuicios a la respiración, náuseas y vómitos y crear perturbaciones mentales [9].

Temperatura

La temperatura del agua residual es generalmente más alta que la del agua de suministro, debido a la adición de agua caliente proveniente de las casas. Como el calor específico del agua es mucho mayor que el del aire, las temperaturas de las aguas residuales suelen ser más altas que las temperaturas locales del aire durante la mayor parte del año y solo son más bajas durante los meses más cálidos del verano [9].

La temperatura del agua residual es un parámetro muy importante por su efecto en la vida acuática, en las reacciones químicas y velocidades de reacción y en la aplicabilidad del agua a usos múltiples [20]. Por otro lado, el oxígeno es menos soluble en el agua caliente que en la fría. El aumento de las velocidades de las reacciones químicas que supone un aumento de la temperatura, junto con la disminución de oxígeno presente en las aguas superficiales, puede frecuentemente causar graves agotamientos, en los meses de verano, de las concentraciones de oxígeno disuelto. Cabe destacar que las temperaturas anormalmente elevadas pueden dar lugar a un crecimiento indeseable de plantas acuáticas y hongos [9].

[28] Agua residual séptica: se refiere al agua residual que se encuentra en un receptáculo hace un determinado tiempo, por lo que ya se encuentra sufriendo un proceso de descomposición anaeróbica.

Color

La edad del ARD puede ser determinada por su color y olor. El agua residual reciente suele ser gris, sin embargo, como los compuestos orgánicos son descompuestos por bacterias, el oxígeno disuelto en el agua residual se reduce a cero y el color cambia a negro [9].

Características químicas

Materia orgánica

Es la fracción más relevante de los elementos contaminantes en las aguas residuales domésticas y municipales debido a que es la causante del agotamiento de oxígeno de los cuerpos de agua. Está formada principalmente por carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno. Se encuentra constituida por proteínas (restos de origen animal y vegetal), carbohidratos (restos de origen vegetal), aceites y grasas (residuos de cocina e industria) y surfactantes (detergentes) [10]. Todos estos materiales contienen carbono, que puede ser convertido biológicamente a dióxido de carbono (CO_2) , ejerciendo así una demanda de oxígeno [13].

La urea, principal constituyente de la orina, es otro importante compuesto orgánico de las ARD. La urea, debido a su rápida descomposición, raramente es hallada en las aguas residuales, salvo que esta sea muy reciente [9].

Existen distintos indicadores para detectar la presencia y concentración de materia orgánica. Los métodos de laboratorio más utilizados hoy en día son la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), carbono orgánico total (COT) y demanda total de oxígeno (DTO). A continuación se describen cada uno de ellos.

DBO

La DBO permite obtener un estimado del oxígeno disuelto requerido por los microorganismos en la degradación de los compuestos biodegradables [16]. Esta prueba se basa en la premisa de que toda la materia orgánica biodegradable contenida en una muestra de agua será oxidada a CO_2 y agua (H_2O) por microorganismos que usan el oxígeno molecular [13].

Como la DBO es un parámetro fuertemente influido por el tiempo, se suele determinar dos tipos diferentes:

- DBO_5: variación de oxígeno disuelto determinado al cabo de cinco días; proporciona una idea del carbono orgánico biodegradable.
- $DBO_{última}$: oxígeno disuelto determinado al cabo de más de cinco días; representa la suma de la materia hidrocarbonada y nitrogenada bioxidable.

A continuación, en la Figura 3 se muestra la variación del porcentaje de DBO a lo largo del tiempo.

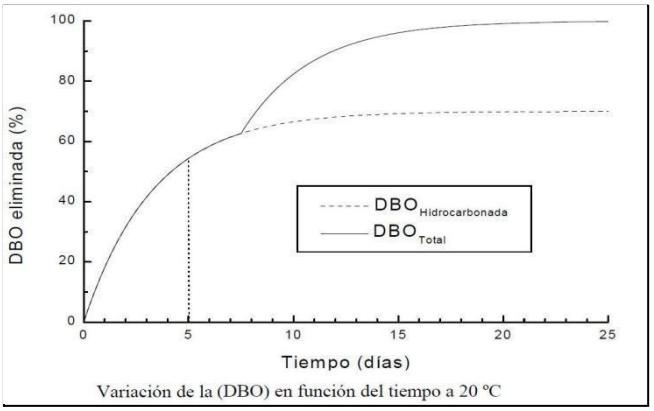


Figura 3. Gráfico de la eliminación de la DBO. Fuente: [20].

DQO

La DQO es una técnica frecuentemente utilizada en el análisis de efluentes, tanto industriales como domésticos, y el resultado se expresa en función del oxígeno necesario (mg O_2/L) para oxidar la materia orgánica presente en la muestra a CO_2 y H_2O. La técnica estima toda la materia orgánica susceptible de ser oxidada, tanto biodegradable como no biodegradable. Por lo tanto, la principal limitación de la técnica es que no permite discriminar entre la presencia/cantidad de materia orgánica biológicamente oxidable y no biológicamente oxidable [15]. El equivalente de oxígeno de la materia orgánica que puede oxidarse se mide utilizando un agente químico fuertemente oxidante en medio ácido (a pH < 2) y alta temperatura [9] [15]. Cabe destacar que los valores de DQO son mayores que los valores de DBO_5, ya que no toda la materia oxidable químicamente es oxidable biológicamente [21]. La relación entre la DQO y la DBO es usada para estimar la biodegradabilidad de un vertido [10].

DQO/DBO ≥ 5 (No biodegradable)

DQO/DBO ≤ 1,7 (Muy biodegradable)

COT

El carbono orgánico total es otro medio para medir la materia orgánica presente en el agua, especialmente aplicable a pequeñas concentraciones de materia orgánica [9]. Sin embargo, este parámetro no brinda información acerca del oxígeno necesario para la oxidación de las mismas [12].

El carbono orgánico total y los ensayos correspondientes se basan en la oxidación del carbono de la materia orgánica a CO_2 y determinación del mismo por absorción en hidróxido de potasio (KOH) o por análisis instrumental por radiación en el rango infrarrojo [15].

DTO

El método de DQO no oxida ciertos contaminantes, como piridina, benceno y amonio. En consecuencia, en la búsqueda de métodos analíticos mejorados para la determinación de la demanda de oxígeno se ha encontrado técnicas, como la demanda total de oxígeno. La ventaja de dicha técnica es que los resultados se conocen en pocos minutos y no en horas o días, además es adaptable a la automatización y control en continuo [15].

Materia inorgánica

Son varios los componentes inorgánicos de las aguas residuales y naturales que tienen importancia para el establecimiento y control de la calidad del agua. Las concentraciones de las sustancias inorgánicas en el agua aumentan por la formación geológica con la que dicho fluido entra en contacto y también por las aguas residuales, tratadas o sin tratar, que se descargan en ella.

Puesto que las concentraciones de los distintos constituyentes inorgánicos pueden afectar significativamente a los usos del agua, conviene examinar la naturaleza de algunos, especialmente de los añadidos al agua superficial por el ciclo de su utilización [9]. A continuación se detallan algunos de dichos constituyentes.

Nitrógeno

El nitrógeno es un elemento importante en las aguas residuales ya que es necesario para el crecimiento de los microorganismos. Si el agua residual no contiene suficiente N pueden ocurrir problemas por deficiencia de nutrientes requeridos por dichos microorganismos, por lo que será necesario la adición de N para que el agua residual pueda ser tratada. Sin embargo, es un contaminante en los efluentes cuando se encuentra en exceso. Cuando sea necesario el control del crecimiento de algas en el agua receptora, puede ser conveniente la eliminación o reducción del N en las aguas residuales antes de su evacuación [9] [21].

Puesto que es un elemento indispensable para la síntesis de proteínas, se necesitará conocer datos sobre el mismo para elaborar el sistema de tratamiento de las aguas residuales domésticas mediante procesos biológicos [9].

El N se puede encontrar en cuatro formas básicas: N orgánico, N amoniacal (el cual incluye amonio (NH_4^+) y amoníaco (NH_3)), nitritos (NO_2^-) y nitratos (NO_3^-) [21].

Una de las principales fuentes de nitrógeno en las aguas residuales sin tratar es la urea contenida en la orina del ser humano y animales. Ésta se descompone aportando nitrógeno amoniacal. Debido a la rapidez con que se descompone, la urea es muy raramente hallada en un agua residual. La misma se encuentra presente solo si el efluente es muy reciente, por lo que la edad del agua residual viene indicada por la cantidad de NH_3 presente [21].

Los NO_2^- y NO_3^- rara vez aparecen en las aguas residuales crudas, y cuando existen, se trata fundamentalmente de aguas residuales industriales.

Cuando un agua destinada para consumo humano presenta nitrógeno orgánico, o nitrógeno amoniacal, es indicio de contaminación fecal reciente, lo cual es un alerta sobre su peligrosidad. La urea contenida en la orina del hombre y animales, se descompone aportando nitrógeno amoniacal según muestra la siguiente ecuación [16]:

$$CON_2H_4 + H_2O \rightarrow CO_2 + 2NH_3$$

Además las heces fecales de animales contienen cantidades apreciables de proteínas las cuales son convertidas en nitrógeno amoniacal por las bacterias según [16]:

$$Nitrógeno\ orgánico + bacterias \rightarrow NH_3$$

El principal impacto asociado a la forma amoniacal del nitrógeno está relacionado con su oxidación en el curso receptor, lo cual produce la disminución del oxígeno disuelto en dicho cuerpo de agua. Más aún, el nitrógeno amoniacal no ionizado puede ser tóxico para varios organismos

acuáticos. En particular, valores que superen los 580 mg/l se consideran inhibidores para los microorganismos aerobios; mientras que, los 1500 mg/l de nitrógeno amoniacal se consideran inhibitorios para los microorganismos anaeróbicos responsables del tratamiento biológico de las aguas residuales [21].

El nitrógeno amoniacal puede ser posteriormente convertido en iones nitrito por las bacterias del género *Nitrosomonas* [16]:

$$2\,NH_{3(g)} + 3\,O_2 + bacterias \rightarrow 2\,NO_2^- + 2\,H^+ + 2\,H_2O$$

La presencia de iones nitrito en un agua destinada al consumo humano puede ser considerada también como indicativo de contaminación fecal. Esta secuencia de reacciones no termina sino en los iones nitrato, que constituyen la forma más oxidada del nitrógeno. Esto ocurre cuando los iones nitrito son oxidados por las bacterias del género *Nitrobacter* según [16]:

$$2\,NO_2^- + O_2\ bacterias \rightarrow 2\,NO_3^-$$

A su vez, los nitratos y los nitritos son nutrientes que efectivamente pueden llevar al crecimiento incontrolado de la biomasa acuática; por lo cual, el exceso de los mismos es la principal causa de eutrofización.

En la Figura 4 se presenta la secuencia de nitrificación de forma gráfica.

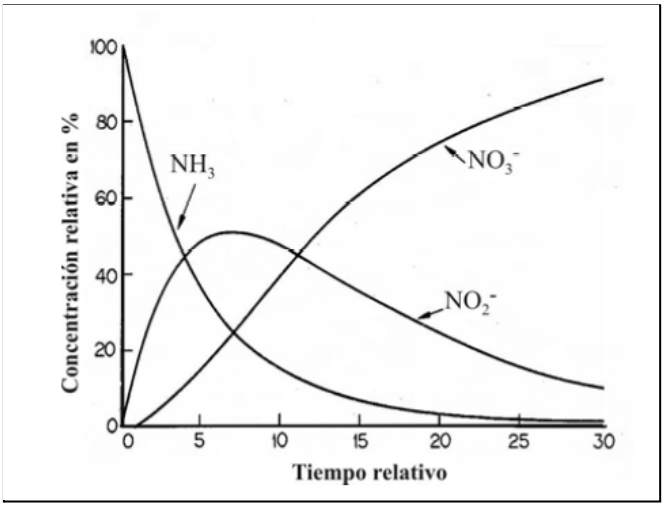


Figura 4. Secuencia de nitrificación. Fuente: [16].

Cabe destacar que las principales variables que pueden afectar la cinética y el mecanismo de la remoción del nitrógeno en su proceso global son:

- pH
- Alcalinidad
- Temperatura
- Concentración de oxígeno disuelto
- Relación entre materia orgánica y nitrogenada

Fósforo

El fósforo junto con el nitrógeno, son dos de los nutrientes fundamentales para la vida de todos los seres vivos, de forma que contenidos anormalmente altos de estos en las aguas pueden producir un crecimiento desmedido de la biomasa acuática (eutrofización). Además, particularmente, el fósforo es inorgánico y acumulable. El fósforo en las ARU proviene principalmente de los desechos humanos, actividades industriales, detergentes sintéticos y productos de limpieza [21]. Las aguas residuales de origen doméstico son relativamente ricas en fósforo debido a la utilización de detergentes sintéticos, los cuales son ricos en polifosfatos [16].

La presencia de compuestos de fósforo en cursos receptores induce el crecimiento de algas. Estas afectan de forma notable la calidad de las aguas ya que pueden ser el origen de toda una secuencia de fenómenos, dado que este elemento es el limitante para el desarrollo de estas formas de vida. La luz y los compuestos de nitrógeno (los cuales son los otros elementos imprescindibles) son generalmente abundantes.

El deterioro de la calidad del agua debido a la aparición de color o sabor desagradables no es el único problema que se genera como consecuencia de la presencia del fósforo en un cuerpo de agua. Es importante destacar que otro de los efectos que se producen es que, debido a la muerte de las algas se genera una contaminación de carácter orgánico en el agua.

Cloruros

Las aguas residuales de origen doméstico presentan contenido de cloruros. Las heces humanas contienen 6 g/persona*día [9].

Gases

Los gases presentes con mayor frecuencia en las aguas residuales sin tratar son el N_2 , O_2, CO_2, sulfuro de hidrógeno (H_2S), (NH_3) y (NH_4^+). Los tres primeros son gases presentes en la atmósfera y se encuentran en todas las aguas que estén expuestas al aire. Los tres últimos proceden de la descomposición de la materia orgánica presente en el agua residual [9].

pH

La concentración de iones hidrógeno (H^+) es un importante parámetro de calidad tanto de las aguas naturales como de las residuales [9].

Un pH elevado indica una baja concentración de iones H^+, y por lo tanto una alcalinización del medio. Por el contrario, un pH bajo indica una acidificación del medio. Un agua residual con una concentración ácida o básica es difícil de tratar por medios biológicos y si dicha concentración no se altera antes de la evacuación, el efluente puede modificar la concentración de iones H^+ de las aguas naturales a las cuales el mismo es volcado.

Turbidez

La turbidez del agua residual es debida a la presencia de materiales en suspensión. La determinación de la abundancia de dichos materiales mide el grado de turbidez. Esta última es mayor cuanto mayor es la contaminación del agua, por lo que es un indicador de interés en el control de la eficiencia de los sistemas de tratamiento de aguas residuales [54].

Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica está estrechamente ligada a la concentración de sustancias disueltas y a su naturaleza. Las sales minerales son, en general, buenas conductoras; en cambio la materia orgánica y los coloides tienen escasa conductividad [54]. Este parámetro indica la carga contaminante que puede presentar un agua residual.

Características biológicas

Las ARD contienen un gran número de microorganismos vivos, los cuales mantienen la actividad biológica produciendo fermentaciones, descomposición y degradación de la materia orgánica e inorgánica. Estos microorganismos son los considerados "benéficos" para el tratamiento de aguas residuales ya que crecen utilizando los contaminantes de las mismas como fuente de carbono y/o como fuente de energía, convirtiéndolos en nuevos microorganismos (biomasa), CO_2 y otros compuestos inocuos. Dentro del grupo de dichos organismos se encuentran las bacterias, protozoos, algas, hongos, rotíferos y nemátodos.

Además de organismos benéficos, en las aguas residuales se encuentran presentes organismos considerados patógenos para el ser humano. Los principales grupos que pueden encontrarse en las ARD incluyen a bacterias, virus, protozoarios y helmintos [13]. Estos organismos pueden proceder de heces humanas que estén infectadas o que sean portadores de una enfermedad determinada. Debido a esto las aguas residuales son una fuente potencial de ruta de transmisión de enfermedades cuando las mismas son descargadas sin un correcto tratamiento al ambiente.

A continuación (Tabla 1) se presentan las distintas clases de organismos que pueden encontrarse en las ARD con las enfermedades que pueden producir en el ser humano y los posibles síntomas.

ORGANISMOS	ENFERMEDADES	PRINCIPALES SÍNTOMAS
Bacterias		
Escherichia coli (serotipos patógenos)	Gastroenteritis	Diarrea, náuseas, postración, deshidratación
Vibrio cholerae	Cólera	Diarrea, vómitos, sed, dolor abdominal, coma
Salmonella typhi	Fiebre tifoidea	Dolor de cabeza, náuseas, pérdida de apetito, constipación o diarrea, anginas, bronquitis, dolor abdominal, hemorragia nasal, escalofríos, fiebre
Shigella spp.	Disentería bacilar	Diarrea, fiebre y evacuaciones conteniendo mucus y sangre.
Legionella pneumophila	Legionario	Neumonía, fiebre
Protozoos		
Giardia lamblia	Giardiasis	Diarrea intermitente
Entamoeba histolytica	Amebiasis	Diarrea alternando con constipación, disentería crónica con mucus y sangre
Balantidium Coli	Balantidiasis	Diarrea, disentería
Nematodos		

Ascaris lumbricoides	Ascariasis	Vómitos, lombrices vivas en las heces
ORGANISMOS	**ENFERMEDADES**	**PRINCIPALES SÍNTOMAS**
Trichiuris trichiura	Tricocefalosis	Dolor abdominal, diarrea, anemia, pérdida de peso
Ancylostoma duodenale	Uncinariasis	Dermatitis, náuseas, molestias gástricas, anemia, diarrea, bronquitis
Necator americanus	Uncinariasis	Dermatitis, náuseas, molestias gástricas, anemia, diarrea, bronquitis
Strongyloides stercoralis	Estrongiloidiasis	Puede ser asintomática. Eritemas, dolor abdominal, diarrea, náuseas, vómitos
Oxyuris vermicularis	Oxiuriasis	Prurito, síntomas nerviosos (alteraciones del sueño)
Virus		
Virus de la hepatitis	Hepatitis A	Fiebre, inflamación del hígado

Tabla 1. Posibles microorganismos patógenos presentes en las ARD. Fuente: modificada de [67][9][68].

La evaluación del tiempo de supervivencia de los patógenos en el ambiente es un componente fundamental a la hora de analizar los riesgos para la salud. Para que puedan representar un riesgo para la salud humana, los microorganismos deben persistir en el ambiente un tiempo suficientemente prolongado para infestar un nuevo hospedero. La extinción e inactivación natural es una medida importante de protección de la salud.

Existe una gran variabilidad en la persistencia de cada patógeno en el medio ambiente y las condiciones ambientales son un factor primordial, por lo que es difícil formular generalizaciones. A continuación (Tabla 2) se presentan los factores que influyen en la persistencia microbiana y, de forma resumida, los efectos en el ambiente.

FACTOR	EFECTO
Temperatura	Persistencia más prolongada a temperaturas inferiores.
Actividad microbiana	Variable, según las condiciones del microorganismo y el ambiente; en general una mayor actividad microbiana da lugar a una persistencia más corta en el ambiente.
Oxígeno disuelto	Se han encontrado resultados variables.
Materia orgánica	Puede proteger al microorganismo de la inactivación; otros estudios han revelado que la persistencia de materia orgánica puede retrasar de manera reversible la infecciosidad de los virus.
Tipo de microorganismo	En general, los helmintos tienen persistencia más prolongada, seguido de los virus y los protozoos, siendo las bacterias los organismos de menor persistencia.

pH	Varía según el microorganismo, pero la mayor persistencia se suele lograr con valores cercanos al pH neutro; muchos virus entéricos son estables en un intervalo de pH 3 a 9.
FACTOR	**EFECTO**
Contenido de humedad	Muchos microorganismos persisten más tiempo en suelos con un contenido de humedad mayor.
Adsorción a materiales sólidos	Se han reportado resultados variables. En muchos casos, la adsorción a materiales sólidos aumenta la persistencia ya que protege contra la depredación.
Propiedades del suelo	Los efectos sobre la persistencia se relacionan probablemente con el grado de adsorción al suelo.
Luz	La luz solar o de fuentes artificiales, es germicida. La exposición a la luz solar reducirá la supervivencia de virus, bacterias y protozoos en el agua y las superficies del suelo.

Tabla 2. Factores que influyen en la persistencia microbiana. Fuente: adaptada de [14].

ANEXO II - Relevamiento de distintos autores para construcción de cámaras sépticas

Relevamiento de distintos autores del dimensionamiento, caudal promedio de generación y tiempo de retención para la construcción de cámaras sépticas.

	ROSALES ESCALANTE [31][58]	MARIÑELARENA [18]	PANIGATTI [21]	PEPE, U.D. [23]
Ancho	a	a	a	a
Largo	3 a	3 a	3 a	2 a o 3 a
Profundidad	Mínimo 1 m		1 m	0,90 m a 1,2 m
Tiempo de retención		Mínimo 1 día	t=**0,7***Volumen/Q medio	Mínimo 1 día
Caudal medio de generación	162 l/hab.día	Q=250 l/hab.día. V mínimo de la C.S=750l	150 l/hab.día	*Casa rural*: 50 l/hab.día. *Casa urbana de barrio:* 150-200 l/hab.día. *Casa suntuosa:* 250 l/hab.día
			0,7: utilizan este factor ya que consideran que un 30% del volumen de líquido se pierde por decantación de lodos y flotación de grasas.	

Tabla 3: Relevamiento de distintos autores para la construcción de cámaras sépticas. Fuente: elaboración propia.

Dimensionamiento de cámara séptica según número de personas del hogar/establecimiento.

Autor: Mariñelarena [18].

Nº de personas	Vol (L)	largo (m)	prof (m)	ancho (m)
1 a 3	750	1,4	1,20	0,5
4	1000	1,6	1,20	0,5
5	1250	1,8	1,20	0,6
6	1500	1,9	1,20	0,6
7	1750	2,1	1,20	0,7
8	2000	2,2	1,20	0,7
9	2250	2,3	1,20	0,8
10	2500	2,5	1,20	0,8
11	2700	2,6	1,20	0,9
12	2900	2,6	1,20	0,9
13	3100	2,7	1,20	0,9
14	3300	2,8	1,20	0,9
15	3500	2,9	1,20	1,0

Figura 5. Dimensionamiento de cámara séptica según Mariñelarena.
Fuente: [18].

La distancia entre los caños de entrada y salida debe ser de por lo menos 1,20 m para evitar que los líquidos salgan sin tratar. La profundidad desde el caño de salida hasta el fondo de la cámara será de por lo menos 1,0 m. Con profundidades menores se corre el riesgo de que se resuspenda el sedimento. El caño de entrada debe estar 8 cm por encima del nivel del caño de salida para que los líquidos no vuelvan hacia la casa. Por encima del nivel de salida debe haber entre 20 cm de espacio libre para la formación de la costra de grasa [18].

Autor: Rosales Escalante [32].

El siguiente autor lleva a cabo la dimensión del sistema teniendo en cuenta el volumen de sedimentación más el volumen de digestión y el de almacenamiento, reflejado en el volumen total.

VOLÚMENES	m^3 según CANTIDAD PERSONAS					
	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
sedimentación	*0,810*	*0,972*	*1,134*	*1,296*	*1,458*	*1,620*
digestión	*0,109*	*0,131*	*0,153*	*0,175*	*0,197*	*0,219*
almacenamiento, n = 2 años	*0,376*	*0,451*	*0,526*	*0,602*	*0,677*	*0,752*
total	*1,295*	*1,554*	*1,813*	*2,073*	*2,332*	*2,591*

Figura 6. Dimensionamiento del sistema de tratamiento según Rosales Escalante. Fuente: [32].

Autor: Pepe, U.D [24].

Nºmax.pers.serv	C.Séptica vol.(lt)	Ancho (m)	Largo (m)	Prof.liquido(m)	Prof.Total(m)
4	1890	0,91	1,82	1,22	1,52
6	2270	0,91	2,13	1,22	1,52
8	2840	1,06	2,28	1,22	1,52
10	3400	1,06	2,59	1,38	1,68
12	4100	1,22	2,59	1,38	1,68
14	4920	1,22	3,05	1,38	1,68
16	5680	1,38	3,05	1,38	1,68

Figura 7. Dimensionamiento del sistema de tratamiento según Pepe. Fuente: [23].

Parámetros de funcionamiento y dimensionamiento [21]

- Volumen de sedimentación: Vs = Θs . P . C
  - P = población servida
  - C = aporte unitario de aguas residuales
  - Θs = residencia hidráulica en sedimentación. Varía entre 1 y 3 días, lo más frecuente es entre 1 y 2 días y nunca es inferior a 12 horas porque promueven la aparición de malos olores y baja eficiencia
- Volumen para la digestión de la materia orgánica: Vd = 0,5 . P . Θd / 1000
  - Θd = 28 . (1,035) 35 - T
- Volumen de almacenamiento de lodos: Va = Lf . P . N
  - Lf: aporte anual de lodo fresco por habitante. Estimado = 70 L/hab/año
  - N : intervalo entre operaciones de purga de lodos en años. Tiempo mínimo = 1 año
  - Volumen cámara séptica: V CS[29] = Vs + Vd + Va

Aporte por Persona	200	L/hab/d
Residencia en Sedimentacion	1	d
Temperatura Digestion	15	°C
Residencia en Digestión	56	d
Aporte de Lodos por Persona	70	L/hab/año
Purgas de Lodos por año	1	nro

Figura 8. Parámetros de almacenamiento de lodos. Fuente: [21].

ANEXO III: Condiciones necesarias para un proceso de biodigestión con generación de biogás

Temperatura: variable que determina la actividad de las bacterias encargadas de digerir la materia orgánica, a menor temperatura menor actividad biológica. La temperatura depende de muchas variables, como el tipo de tecnología del biodigestor, los materiales usados en su construcción, la región y el clima en donde se encuentre. El rango de temperatura en el que se puede producir el

[29] CS: Cámara séptica

proceso de biodigestión es bastante amplio, entre 10 y 55 °C. Según la temperatura, los biodigestores y los procesos pueden agruparse dentro de tres grupos principales:

- Psicrofílicos: operan en un rango de 10 a 25 °C.
- Mesofílicos: operan en un rango de 25 a 40 °C.
- Termofílicos: operan en un rango de 40 a 55 °C.

Para un mismo tiempo y material, se producirá más biogás a temperaturas termofílicas que a temperaturas psicrofílicas [17]. El crecimiento de las bacterias metanogénicas es lento en comparación con la mayoría de los otros microorganismos. El tiempo requerido por estas bacterias para regenerar es función de la temperatura. A 35°C algunas especies requieren cuatro días para duplicar su número, mientras que otras necesitan diez días o más [16]. La temperatura no es un factor fácil de manejar, ya que para mantener la mezcla en un biodigestor a 55°C cuando la temperatura externa ambiental promedia los 10°C se necesitan materiales y un buen sistema de aislación, así como también sistemas de generación de calor [17].

Tiempo de retención hidráulica (TRH): es el tiempo medio de permanencia del sustrato en el biodigestor, sometido a la acción de los microorganismos, y no es más que el cociente entre el volumen del reactor y el caudal diario de carga. Esta variable determina el volumen del reactor y se encuentra directamente relacionada con la temperatura y, en consecuencia, con la tecnología a utilizar. Para producir una determinada cantidad de biogás en rangos psicrofílicos se requieren valores de TRH mayores que en rangos mesofílicos o termofílicos. A mayor temperatura, menor TRH. Para los distintos procesos, los TRH pueden ser muy variables [17]:

- Psicrofílicos: de 50 a 120 días.
- Mesofílicos: de 25 a 50 días.
- Termofílicos: de 15 a 25 días.

pH: el control del pH es esencial para garantizar una buena operación de los procesos anaerobios. Las bacterias metanogénicas ejercen adecuadamente su función en un intervalo de pH comprendido entre 6,6 y 7,6. Cuando la velocidad de la producción de los ácidos volátiles es mayor que la de su transformación en CH_4, el proceso puede desequilibrarse, resultando en una disminución del pH, reducción de la producción de gas y aumento de las fracción de CO_2 en el gas producido [16].

Potencial redox: para que los microorganismos metanogénicos se desarrollen a su plena capacidad, es necesario que se encuentren en un medio reductor. Los valores de potencial redox necesarios oscilan entre -370 y -220 mV[30] [17].

Sustancias inhibitorias: existe una gran cantidad de compuestos biológicos y/o químicos que en determinadas concentraciones pueden inhibir el proceso de biodigestión [17]. En la Figura 9 se presentan algunos inhibidores con sus correspondientes concentraciones inhibitorias. Otros cationes como el zinc, cobre y níquel son tóxicos aún a bajas concentraciones. El amoniaco es tóxico a concentraciones superiores a 3000 mg/l e inhibitorio a 1500 mg/l. La toxicidad de amoniaco está relacionada con el pH, ya que este compuesto es más nocivo en su forma molecular que como catión amonio [16].

[30] mV: 10^{-3} (mili) volt o voltio.

Inhibidores	Concentración inhibidora
SO_4	5000 ppm
NaCl	40000 ppm
Nitrato	0,05 mg/ml
Cu	100 mg/l
Cr	200 mg/l
Ni	200-500 mg/l
CN	25 mg/l
ABS (detergente sintético)	20-40 mg/l
Na	3500-5500 mg/l
K	2500-4500 mg/l
Ca	2500-4500 mg/l
Mg	1000-1500 mg/l

Figura 9. Inhibidores con su correspondiente concentración inhibitoria. Fuente: [15].

Contenedor hermético: el biodigestor debe de estar perfectamente sellado para evitar el ingreso de oxígeno y de esta manera garantizar las condiciones anaeróbicas adecuadas.

ANEXO IV: Parámetros de vuelco de efluentes líquidos para infiltración subsuperficial según Resolución N° 885.

PARÁMETROS	INFILTRACIÓN SUBSUPERFICIAL	
GENERALES		
pH	6 a 9	-
Temperatura	45	°C
Conductividad	-	µS/cm
Sólidos sedimentables en 10 minutos	-	ml/l
Sólidos sedimentables en 2 horas	5	ml/l
Grasas y aceites	50	mg/l
Fenoles	0,5	mg/l
Detergentes	1	mg/l
DBO, 5 días 20°	100	mg/l
DQO	500	mg/l
Hidrocarburos Totales	10	mg/l
IONES		
Cianuros	0,2	mg/l

Cloruros	200	mg/l
Fluoruros	10	mg/l
Sulfatos	500	mg/l
Sulfuros	5	mg/l

Tabla 4: Parámetros de vuelco para infiltración subsuperficial según Resolución N° 885/15. Fuente [55].

Anexo V: Relevamiento de distintos autores para el dimensionamiento del terreno de infiltración

		CEPIS [30][31]	ROSALES ESCALANTE [29]	MARIÑELARENA [25]
Determinación del sitio de infiltración (distancias)	Cuerpos de agua	15m	No menciona	15m
	Perforaciones de extracción de agua	30m	No menciona	30m
	Límites del terreno	5m	No menciona	1,5m
Profundidad de napa freática		2m	2m	2m
N° de pozos para prueba de infiltración		Mínimo 4 (cada 10 m de zanja)	2 (para viviendas unifamiliares). Más conveniente 4.	6
Dimensionamiento del pozo de prueba	Trinchera	No propone su construcción	80 cm a 1m de lado. 30 a 60 cm de profundidad.	No propone su construcción
	Pozo de prueba	P/ prof. menores a 0,70m: pozo cuadrado de 0,3 x 0,3m. P/ profundidades mayores a 0,70m: pozo de 0,10m de diámetro.	10 a 30cm de diámetro. 30cm de profundidad.	30 cm de diámetro y 60cm de profundidad.
Preparación del pozo de prueba		Agregado de 5cm de arena gruesa o grava fina.	Agregado de 5cm de arena gruesa, grava fina o piedra partida.	Agregado de 5 cm de arena gruesa.
Saturación y expansión del suelo		Columna de agua de 0,3m durante un mínimo de 4hs (preferentemente toda la noche).	Durante 24hs.	Columna de agua de mas de 0,2m durante 12hs.
Medición de la tasa de infiltración	Columna de agua sobre el material filtrante	15cm	15cm	20cm
	Intervalo de tiempo entre mediciones	5 min	30 min	30 min
	N° de pozos	1 pozo cada 10m de zanja.	2 a 4	6
	N° de mediciones por pozo	6	De 4 a 8	6

	Finalización del ensayo	Transcurridos los 30 min de medición (las mediciones se realizan cada 5 min)	Transcurrido el tiempo requerido del ensayo (dependiente del N° de pozos)	Cuando las últimas tres medidas no difieren en más de medio centímetro (5 mm) entre sí (infiltración constante). De lo contrario seguir midiendo hasta lograr infiltración constante.
Cálculo de la tasa de infiltración		Toma los últimos dos valores de altura obtenidos	Solo toma el valor de la última altura obtenida	Realiza un promedio de las últimas tres mediciones de altura de cada pozo.
		El cálculo de la tasa [l/m2.día]* lo realiza mediante la siguiente fórmula: Q=315,5*(h/t)^1/2. Q =[l/m2 día]. h=[mm] t=seg	El cálculo de la tasa lo realiza mediante la siguiente fórmula: t[min]/Dato de la última altura [cm] t=30min	Con el valor de altura de cada pozo calcula la tasa de infiltración de cada uno de ellos t[min]/h[cm] t=30min.Luego realiza el promedio de estas 6 tasas de infiltración obtenidas.
		* Lo denomina como tasa, pero las unidades corresponden al aquí usado como coeficiente de infiltración.	Con el valor de la tasa de infiltración [min/cm] obtenida, por tabla se obtiene la velocidad de infiltración [m/s].	
Caudal		Lo define el usuario	162 l/persona. día	250 l/persona
Dimensionamiento del lecho	**Área**	A= Caudal/ tasa de infiltración. En caso de agregar efluentes de cocina y lavarropas propone un aumento del 20% por cada tipo de descarga. (La superficie será calculada teniendo en cuenta el promedio ponderado de la tasa de inf.de todos los pozos de prueba)	A= Caudal [m3/s]/ V de infiltración [m/s]. Considera un factor de precipitación (Fp)= 2,5. Además agrega un factor de revestimiento superior (rc), cuyo valor es "0" cuando el lecho se encuentra sin revestimiento superior y un valor de "1" cuando cuenta con revestimiento.	Propone calcular por separado el ancho y la longitud. A=largo*ancho
	Ancho	Puede variar entre un mínimo de 40cm y un máximo de 90cm.	El usuario establece el ancho del lecho (W).	Propone un ancho de 60cm.
	Profundidad	50cm como mínimo	No la define.	Propone 60cm.
	Longitud	L=A/ancho. Preferentemente debe ser de 20m permitiéndose hasta 30m.	Propone calcular el perímetro del lecho. Para ello además de fijar el ancho del lecho (W), considera la distancia (D) de grava bajo el tubo. Fórmula: Pe= [0,77(W+56+2D)]/W+116. Finalmente para el cálculo de la longitud se resuelve la siguiente fórmula: L= A/Pe	Con el valor de la tasa de infiltración, por tabla se obtiene el largo del lecho. Como máximo puede ser de 30m. En caso que el valor de tabla sea superior, la construcción del lecho debe ser en tramos.

	Finalización del ensayo	Transcurridos los 30 min de medición (las mediciones se realizan cada 5 min)	Transcurrido el tiempo requerido del ensayo (dependiente del N° de pozos)	Cuando las últimas tres medidas no difieren en más de medio centímetro (5 mm) entre sí (infiltración constante). De lo contrario seguir midiendo hasta lograr infiltración constante.
Cálculo de la tasa de infiltración		Toma los últimos dos valores de altura obtenidos	Solo toma el valor de la última altura obtenida	Realiza un promedio de las últimas tres mediciones de altura de cada pozo.
		El cálculo de la tasa [l/m2.día]* lo realiza mediante la siguiente fórmula: Q=315,5*(h/t)^1/2. Q =[l/m2 día]. h=[mm] t=seg	El cálculo de la tasa lo realiza mediante la siguiente fórmula: t[min]/Dato de la última altura [cm] t=30min	Con el valor de altura de cada pozo calcula la tasa de infiltración de cada uno de ellos t[min]/h[cm] t=30min.Luego realiza el promedio de estas 6 tasas de infiltración obtenidas.
		* Lo denomina como tasa, pero las unidades corresponden al aquí usado como coeficiente de infiltración.	Con el valor de la tasa de infiltración [min/cm] obtenida, por tabla se obtiene la velocidad de infiltración [m/s].	
Caudal		Lo define el usuario	162 l/persona. día	250 l/persona
Dimensionamiento del lecho	**Área**	A= Caudal/ tasa de infiltración. En caso de agregar efluentes de cocina y lavarropas propone un aumento del 20% por cada tipo de descarga. (La superficie será calculada teniendo en cuenta el promedio ponderado de la tasa de inf.de todos los pozos de prueba)	A= Caudal [m3/s]/ V de infiltración [m/s]. Considera un factor de precipitación (Fp)= 2,5. Además agrega un factor de revestimiento superior (rc), cuyo valor es "0" cuando el lecho se encuentra sin revestimiento superior y un valor de "1" cuando cuenta con revestimiento.	Propone calcular por separado el ancho y la longitud. A=largo*ancho
	Ancho	Puede variar entre un mínimo de 40cm y un máximo de 90cm.	El usuario establece el ancho del lecho (W).	Propone un ancho de 60cm.
	Profundidad	50cm como mínimo	No la define.	Propone 60cm.
	Longitud	L=A/ancho. Preferentemente debe ser de 20m permitiéndose hasta 30m.	Propone calcular el perímetro del lecho. Para ello además de fijar el ancho del lecho (W), considera la distancia (D) de grava bajo el tubo. Fórmula: Pe= [0,77(W+56+2D)]/W+116. Finalmente para el cálculo de la longitud se resuelve la siguiente fórmula: L= A/Pe	Con el valor de la tasa de infiltración, por tabla se obtiene el largo del lecho. Como máximo puede ser de 30m. En caso que el valor de tabla sea superior, la construcción del lecho debe ser en tramos.

	Distancia mínima entre zanjas.	2,10 m como mínimo	Ls= A/L	1,8m
Construcción del lecho	**Pendiente de las tuberías**	Pendiente mínima: 1,5 por mil. Pendiente máxima: 3,0 por mil. En ningún caso debe exceder los 4,5 por mil.	No propone pendiente	No propone pendiente
	Material filtrante debajo de la cañería	0,15m	No menciona	30 cm
	Material filtrante encima de la cañería	Se cubre toda la cañería con grava gruesa. Por encima de esta se agrega 10cm grava fina. Luego sobre la grava fina se debe colocar papel grueso o una capa de 5cm de paja. Por encima se agrega material de relleno hasta llegar a la altura del suelo.	No menciona	Se cubren las cañerías con material filtrante. Por encima de dicho material se agrega una capa de media sombra de 80% de cerrado de trama. Luego se agrega una capa de suelo hasta nivelar el terreno. No compactar
	Líneas de distribución	Mínimo 2	No menciona	No menciona

Figura 9. Relevamiento de distintos autores para el dimensionamiento del lecho de infiltración. Fuente: elaboración propia.

ANEXO VI: Refugios de montaña con tecnología ECODOMEO

Refugios europeos. Fuente: [34].

Figuras 10 (a) y (b). Sanitarios ECODOMEO en el refugio Collado Jermoso, Picos de Europa. Fuente: [34].

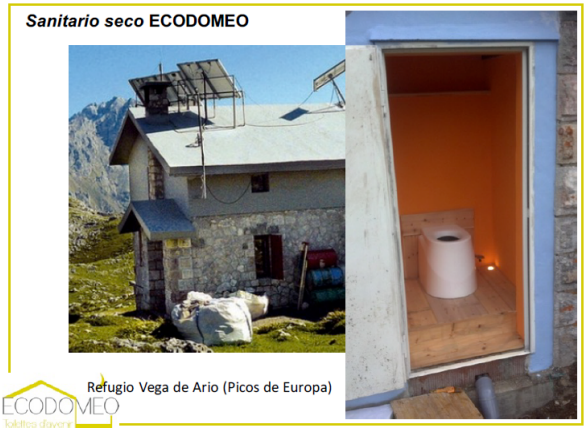


Figura 11. Sanitarios ECODOMEO en el refugio Vega de Ario, Picos de Europa. Fuente: [34].

Figura 12. Sanitarios ECODOMEO en el refugio de Malniu, Pirineos. Fuente: [34].

Parque Nacional Pan de Azúcar, sector Las Lomitas. Región de Atacama, Chile. Fuente: [34].

Figuras 13 (a) y (b). Sanitarios ECODOMEO en Parque Nacional Pan de Azúcar, Chile. Fuente: [34].

ANEXO VII: Experiencia con la tecnología ECODOMEO en el Parque Nacional Torres del Paine, Chile

Readaptación de la letrina ya existente con la cinta ECODOMEO. Año 2018. Fuente: Voluntario de la experiencia en El Chaltén.

Figura 14. Letrina existente

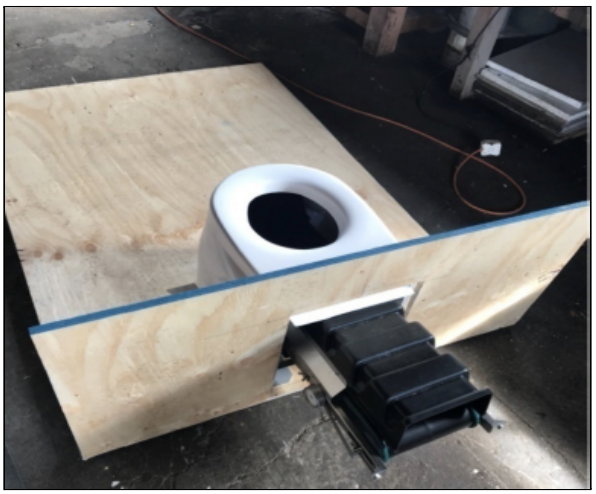


Figura 15. Tecnología ECODOMEO

Figura 16. Construcción de contenedor de sólidos.

Figura 17. Inodoro instalado, a la derecha se observa el pedal.

Figura 18. Cinta en la pared lateral, la cual se conectará con el contenedor de sólidos.

Figura 19. Letrina readaptada. A la derecha se observa el contenedor de sólidos.

Mantenimiento durante los años 2019-2020.

Figura 20. Después de un año se movió la pila hacia la derecha, cubierta con nylon.
Fecha: febrero de 2019.

Figura 21. Tierra negra inodora luego de 1 año. Solo se observan restos de papel higiénico.
Fecha: febrero de 2020.

Figura 22. Contenedor listo para otra temporada. Fecha: febrero de 2020.

Figura 23. Nueva pila de desechos. Fecha: febrero de 2020.

ANEXO VIII: Desinfectantes y Desengrasantes

Según la Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica (ANMAT) de Argentina, los productos de uso doméstico son aquellos que se emplean para la limpieza y desinfección de superficies inanimadas y ambientes, así como la desinfección (combate de insectos y roedores) en el hogar y en ambientes colectivos públicos y/o privados, tales como escuelas, hospitales y lugares de esparcimiento, entre otros [70].

La limpieza, efectuada correctamente, es un método efectivo para la remoción de grandes proporciones de los microorganismos ocluidos en los productos y superficies sucias. Esto se logra por arrastre mecánico de los mismos junto con la suciedad [71].

La desinfección comprende la aplicación de métodos físicos o químicos destinados a eliminar los microorganismos patógenos presentes sobre un producto médico o superficie inanimada. Un desinfectante es un producto que mata todos los microorganismos patógenos pero no necesariamente todas las formas microbianas esporuladas en productos médicos y superficies inanimadas [71]. La carga microbiana y la diversa sensibilidad de la población bacteriana al desinfectante, debido a la edad, formación de esporas y otros factores fisiológicos determinan el tiempo requerido para que el desinfectante sea eficaz [72].

Existen distintos tipos de desinfectantes, aquí se mencionan las características del vinagre, el alcohol y el hipoclorito de sodio.

Vinagre: las condiciones óptimas para la acción bactericida del vinagre sintético blanco son, a una concentración del 4% y un tiempo de exposición con el medio, aproximadamente de 3 min. A estas condiciones se observó que el vinagre sintético blanco al 4% tiene una capacidad bactericida contra coliformes totales (99%); y una capacidad bactericida contra coliformes fecales de aproximadamente un 92%. Según el mismo estudio, además una concentración de vinagre sintético blanco al 4% y un tiempo de exposición con la superficie inerte de 3 minutos, tiene una capacidad desengrasante óptima [61].

Según otro estudio [73] el vinagre sintético blanco tiene la capacidad de proporcionar una acidificación en el medio donde es aplicado, proporcionando, de este modo, propiedades antibacterianas y antifúngicas. Posee mayor eficacia frente a bacterias Gram (+) y Gram (-). Su

efectividad de acción depende de la concentración a la que es usada. Se lo utiliza como antiséptico en soluciones diluidas del 1 al 5% principalmente frente a hongos y protozoos; es una sustancia irrigante y desinfectante, la cual posee propiedades antimicrobianas que sirve para la limpieza del hogar.

Alcoholes: según la ANMAT, los principales compuestos utilizados son el etanol y el isopropanol en concentraciones óptimas entre 60 y 90% v/v en agua. Se utilizan en la desinfección de productos médicos no críticos. Por su evaporación rápida, se dificulta el contacto prolongado de los objetos a desinfectar, la cual sólo es factible por inmersión. Modo de acción es a través de desnaturalización de proteínas y alteración de la permeabilidad de la membrana plasmática. La actividad microbicida es bactericida, tanto frente a Gram (+) como a Gram (-). Son efectivos virucidas contra virus lipídicos y la mayoría de los virus no lipídicos, con eficacia comprobada frente a virus HIV, HBV y herpes virus, rotavirus, astrovirus y echovirus. Excelentes micobactericidas. No son esporicidas. Son desinfectantes de nivel intermedio [71].

Compuestos clorados: según la ANMAT, el producto más utilizado es el hipoclorito de sodio en concentraciones entre 5 y 6 g cada 100 ml, siendo la forma química responsable de la actividad antimicrobiana el ácido hipocloroso. No deja residuos tóxicos, no es afectado por aguas duras, es de rápida acción y económico. Los productos son corrosivos sobre metales en altas concentraciones (≥ 500 ppm de cloro), de poca estabilidad química y fácilmente inactivados por materia orgánica. Presentan una máxima actividad a pH ligeramente ácido, obtenido por dilución del producto concentrado [71].

Su modo de acción es por la combinación de varios mecanismos, tales como la oxidación de grupos sulfhidrilo en aminoácidos y enzimas, pérdida de componentes intracelulares, disminución en el ingreso de oxígeno a la célula, inhibición de síntesis de proteínas, disminución en la producción de ATP, rotura en la molécula de ADN y disminución de la síntesis de ADN. Su actividad microbicida es activa sobre micoplasmas, hongos, bacterias vegetativas, virus lipídicos y no lipídicos, protozoarios y esporas bacterianas. Son efectivos en la inactivación de HIV y a partir de concentraciones de 1000 ppm de cloro contra *Mycobacterium tuberculosis*. Son desinfectantes de nivel intermedio y de alto nivel, cuando la concentración de cloro activo supera las 5000 ppm.