



**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Propuesta de aprovechamiento de lodos residuales de una planta de  
tratamiento de agua como agregado fino para la producción de concreto en la  
provincia de Mala, Cañete

**TESIS**

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

**AUTOR**

Carcasi Canazas, Jimmy Roy

ORCID: 0000-0002-0740-1814

Vilchez Mendoza, Antony Jose

ORCID: 0000-0001-5738-9617

**ASESOR**

Sueldo Mesones, Jaime Pio

ORCID: 0000-0003-3760-8370

**LIMA-PERÚ**

**2022**

## **Metadatos Complementarios**

Datos del autor(es)

Carcasi Canazas, Jimmy Roy

DNI: 47101023

Vilchez Mendoza, Antony Jose

DNI: 74844780

## **Datos de asesor**

Sueldo Mesones, Jaime Pio

DNI: 43703437

## **Datos del jurado**

JURADO 1

Estrada Mendoza, Miguel Luis

DNI: 10493289

ORCID: 0000-0002-8646-3852

JURADO 2

Fano Miranda, Gonzalo Ramcés

DNI: 0917

ORCID: 0000-0002-4401-8654

JURADO 3

Donayre Córdova, Oscar Eduardo

DNI: 06162939

ORCID: 0000-0003-4778-3789

## **Datos de la investigación**

Campo del conocimiento OCDE: 02.01.01

Código del Programa: 732016

## **DEDICATORIA**

Este trabajo está dedicado a todas las personas que brindaron apoyo moral, económico o de cualquier otro género, para la elaboración de la presente investigación.

Carcasi      Canazas,      Jimmy      Roy

Este trabajo se lo dedico a mi familia, a mis padres, hermano y tía Clara, quienes me han brindado su apoyo en esta etapa de mi vida.

Además de mi tío Carlos que en el momento más crítico de mi tesis me apoyó para conseguir todo lo que necesitaba.

Vilchez Mendoza, Antony Jose.

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	i
ABSTRACT	¡Error! Marcador no definido.ii
INTRODUCCIÓN	¡Error! Marcador no definido.iii
<b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.1</b>
1.1 Descripción del problema .....	1
1.1.1 Formulación del problema .....	10
1.2 Objetivo General y Específico	¡Error! Marcador no definido.11
1.2.1 Objetivo General	¡Error! Marcador no definido.11
1.2.2 Objetivos Específicos	¡Error! Marcador no definido.11
1.3 Delimitación del estudio.	¡Error! Marcador no definido.11
1.3.1 Delimitación Espacial.	¡Error! Marcador no definido.11
1.3.2 Delimitación Temporal.	¡Error! Marcador no definido.12
1.3.3 Delimitación Temática.	¡Error! Marcador no definido.12
1.4 Importancia y justificación del estudio	¡Error! Marcador no definido.12
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.14</b>
2.1 Antecedentes	¡Error! Marcador no definido.14
2.1.1 Antecedentes nacionales	¡Error! Marcador no definido.14
2.1.2 Antecedentes internacionales.	¡Error! Marcador no definido.17
2.2 Investigaciones y bases teorías relacionadas con las variables de estudio	¡Error!
<b>Marcador no definido.20</b>	
2.2.1 Tipos de plantas de tratamiento de agua potable.	¡Error! Marcador no definido.20
2.2.2 Composición principal de los lodos provenientes de plantas de tratamiento	..¡Error! Marcador no definido.22
2.2.3 Economía circular	¡Error! Marcador no definido.28
2.2.4 Análisis de Ciclo de vida (ACV)	¡Error! Marcador no definido.31
2.2.5 Normativa técnica para la aplicación de concreto	¡Error! Marcador no definido.35
2.2.6 Elementos que constituyen el concreto	¡Error! Marcador no definido.36
2.2.7 Proceso de producción del cemento	¡Error! Marcador no definido.37
2.2.8 Propiedades del concreto.....	41
2.2.9 Factores que alteran las propiedades del concreto .....	45
2.2.10 Diseño de mezclas del concreto .....	48
2.3 Definición de términos básicos.....	50
2.3.1 PTAP.....	50
2.3.2 Lodos Residuales.....	50

2.3.3 Vertederos	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>	50
2.3.4 Aprovechamiento de Residuos.....		51
2.3.5 Impacto Ambiental.....		51
2.3.6 Acondicionamiento.....		51
2.3.7 Lodos de Aluminio (Lodos Alumbre).....		51
2.3.8 Aditivos.....		51
2.3.9 Dosificación.....		52
2.3.10 Análisis Costo-Beneficio.....		52
<b>CAPÍTULO III: HIPÓTESIS</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>	<b>53</b>
3.1 Hipótesis.....		53
3.1.1 Hipótesis Principal.....		53
3.1.2 Hipótesis Secundarias.....		53
3.2 Variables.....		53
3.2.1 Definición conceptual de las variables	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>	53
3.2.2 Operacionalización de las variables.....		53
<b>CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>	<b>54</b>
4.1 Tipo o enfoque de la investigación.....		54
4.2 Nivel o Alcance de la investigación.....		54
4.3 Diseño de la investigación.....		54
4.3.1 Tipo de diseño de la investigación.....		54
4.3.2 Tipología del diseño experimental - puro.....		55
4.3.3 Método de investigación.....		55
4.4 Población y muestra.....		55
4.4.1 Población.....		55
4.4.2 Muestra.....		56
4.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....		56
4.6 Procedimientos para la recolección de datos.....		56
4.7 Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....		56
<b>CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> .....		<b>58</b>
5.1 Muestreo.....		58
5.1.1 Ubicación de la planta.....		52
5.1.2 Toma de Muestras.....		63
5.1.3 Características de la muestra.....		64
5.2 Caracterización de los agregados.....		64

5.2.1 Análisis granulométrico (NTP 400.012).....	66
5.2.2 Contenido de humedad (%H).....	67
5.2.4 Peso específico del agregado grueso y porcentaje de absorción.....	70
5.3 Diseño de Mezclas.....	72
5.3.1 Datos iniciales para determinar la dosificación de la mezcla.....	72
5.3.2 Procedimiento para la determinación de la dosificación. (Método ACI).....	74
5.3.3 Cantidad de cilindros por porcentaje de lodo.....	81
5.4 Ensayos realizados al concreto.....	83
5.4.1 Ensayo del Cono de Abrams (NTP 339.035).....	84
5.4.2 Ensayo de Flexión de viga (NTP 339.078).....	85
5.4.3 Ensayo de Compresión Uniaxial NTP 339.034.....	86
5.5 Presentación de Resultados.....	89
5.5.1 Ensayo de agregados.....	89
5.5.2 Ensayo de diseño de mezclas.....	90
5.5.3 Análisis del lodo.....	95
5.5.4 Ensayo de Cono de Abrams.....	98
5.5.4 Ensayo de Compresión Uniaxial.....	101
5.5.5 Ensayo de Flexión de viga.....	113
5.6 Factibilidad económica.....	114
5.7 Evaluación Ambiental.....	119
5.7.1 Identificación del objetivo y el alcance.....	119
5.7.2 Análisis del inventario (ICV).....	121
5.7.3 Evaluación del impacto (EICV).....	122
5.7.4 Análisis de impactos generados en la producción de concreto con lodos.....	126
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b> 129
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b> 130
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b> 131
<b>ANEXOS</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b> 138
Anexo 1. Carta de uso del laboratorio de ensayo de materiales de la U.R.P.....	138
Anexo 2. Diagrama de funcionamiento de una planta de tratamiento de osmosis inversa.....	139
Anexo 3. Matriz de Consistencia.....	140
Anexo 4. APU habilitado y colocación de acero para la construcción de un muro de contención.....	141
Anexo 5. APU Encofrado de muros de contención.....	142

Anexo 6. APU Vaciado de Zapatas para muro de contención.....	143
Anexo 7. APU Vaciado de muros de Contención.....	144
Anexo 8. Factura de agregados para la elaboración de concreto.....	145
Anexo 9. Factura de materiales varios de construcción.....	146
Anexo 10. Ensayos químicos realizados al laboratorio.....	147
Anexo 11. Resultados de ensayos químicos.....	148
Anexo 12. Resultado del ensayo de compresión uniaxial a los 7 días para cada tipo de mezcla.....	149
Anexo 13. Resultado del ensayo de compresión uniaxial a los 14 días para cada tipo de mezcla.....	150
Anexo 14. Resultado del ensayo de compresión a los 21 días para cada tipo de mezcla.....	151
Anexo 15. Resultados del ensayo de flexión de vigas.....	152
Anexo 16: Datos iniciales del agregado Fino.....	153
Anexo 17: Datos iniciales del agregado Grueso .....	154
Anexo 18: Datos iniciales de la muestra de lodos. ....	155
Anexo 19: Datos iniciales del cemento .....	156
Anexo 20: Diagrama de flujo del proceso de elaboración del concreto convencional....	157
Anexo 21. Diagrama de flujo del proceso de elaboración del concreto con lodos de Ptap.....	158
Anexo 22: Método TRACI 2.1 con 12 categorías de impacto ambiental.....	159
Anexo 23. Dióxido de Carbono emitido para la elaboración de concreto con sustitución de 3% de lodos en un lapso de 100 años. ....	160
Anexo 24. Dióxido de Carbono emitido para la elaboración de concreto con sustitución de 5% de lodos en un lapso de 100 años.....	161
Anexo 25. Dióxido de Carbono emitido para la elaboración de concreto con sustitución de 10% de lodos en un lapso de 100 años.....	162
Anexo 26. Carta de autorización para uso de datos de la empresa.....	163

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Residuos Sólidos diarios generados per cápita a nivel mundial.	¡Error! Marcador no definido.1
Figura 2. Proyección de toneladas de basura generada por año.	¡Error! Marcador no definido.2
Figura 3. Uso del agua a nivel mundial.	¡Error! Marcador no definido.3
Figura 4. Residuos anuales generados del tratamiento de agua de 15 países.	¡Error! Marcador no definido.5
Figura 5. Residuos Sólidos municipales dispuestos en rellenos sanitarios.	¡Error! Marcador no definido.7
Figura 6. Residuos sólidos generados en la provincia de Lima 2012-2020.	¡Error! Marcador no definido.9
Figura 7. Ubicación de la PTAP, Mala.	¡Error! Marcador no definido.12
Figura 8. Planta de tratamiento de agua potable convencional.	¡Error! Marcador no definido.20
Figura 9. Planta potabilizadora de agua móvil.	¡Error! Marcador no definido.21
Figura 10. Esquema de funcionamiento de una planta de osmosis inversa .....	22
Figura 11. Ciclo de vida: desde la materia prima hasta su eliminación	¡Error! Marcador no definido.32
Figura 12. Fases en la metodología del análisis de ciclo de vida.	¡Error! Marcador no definido.34
Figura 13. Proceso general de producción del cemento Portland.	¡Error! Marcador no definido.39
Figura 14. Tipos de Rotura de probetas	¡Error! Marcador no definido.44
Figura 15. Pasos para realizar una dosificación de mezclas.	¡Error! Marcador no definido.50
Figura 16. Ubicación Planta de tratamiento de Agua Potable de Mala	¡Error! Marcador no definido.58
Figura 17. Presión Osmótica en proceso de ósmosis	¡Error! Marcador no definido.59
Figura 18. Centro de bombeo de la Ptap de Mala	¡Error! Marcador no definido.60
Figura 19. Tanques de agua bruta en la Ptap de Mala	¡Error! Marcador no definido.60
Figura 20. Tanques filtros de zeolita de la planta de tratamiento de aguas de Mala	¡Error! Marcador no definido.61

Figura 21. Diagrama de los tanques filtros de zeolita	¡Error! Marcador no definido.61
Figura 22. Tuberías de luego del tratamiento de aguas de la Ptap Mala	¡Error! Marcador no definido.62
Figura 23. Tanque de aguas de rechazo	¡Error! Marcador no definido.63
Figura 24. Agitador mecánico para tamices. Fuente: Elaboración propia.	¡Error! Marcador no definido.65
Figura 25. Material retenido en las mallas para la granulometría fina.	¡Error! Marcador no definido...65
Figura 26. Material retenido en las mallas para la granulometría final.	¡Error! Marcador no definido.65
Figura 27. Peso del agregado grueso y agregado fino, para el contenido de humedad.	666
Figura 28. Balanza hidrostática, laboratorio de materiales, URP.....	67
Figura 29. Saturación del agregado grueso durante 24 hrs.	¡Error! Marcador no definido.68
Figura 30. Canastilla para la balanza hidrostática.	¡Error! Marcador no definido.68
Figura 31. Verificación de la condición saturada superficialmente seca.	¡Error! Marcador no definido.69
Figura 32. Cono y apisonador para la verificación del estado saturado SSS.....	69
Figura 33. Peso de la fiola vs peso de la fiola con muestra de agregado fino.	¡Error! Marcador no definido.70
Figura 34. Materiales usados para determinar el peso unitario del agregado fino.	¡Error! Marcador no definido.71
Figura 35. Recipiente de 1/2 ft <sup>3</sup> de capacidad.	¡Error! Marcador no definido.71
Figura 36. Peso del recipiente más agregado grueso compactado.	¡Error! Marcador no definido.72
Figura 37. Agregados proporcionados por la empresa “PEP Contratistas S.A.C”	¡Error! Marcador no definido.73
Figura 38. Fórmula de la cantidad de Cemento en Kg	¡Error! Marcador no definido.76
Figura 39. Fórmula del peso del agregado grueso	¡Error! Marcador no definido.77
Figura 40. Fórmula del peso del agregado grueso para la mezcla	¡Error! Marcador no definido.78
Figura 41. Fórmula del peso del agregado grueso.	¡Error! Marcador no definido.78
Figura 42. Fórmula del volumen del agregado fino	¡Error! Marcador no definido.79
Figura 43. Fórmula del peso del agregado fino	¡Error! Marcador no definido.79
Figura 44. Fórmula del peso de los agregados	¡Error! Marcador no definido.80
Figura 45. Fórmula del aporte de agua de los agregados	¡Error! Marcador no definido.80
Figura 46. Formula del agua efectiva	¡Error! Marcador no definido.81
Figura 47. Formula de las proporciones de la mezcla	¡Error! Marcador no definido.81

Figura 48. Dimensiones de los moldes trabajados.	<b>¡Error! Marcador no definido.83</b>
Figura 49. Materiales empleados en la elaboración de los testigos.	<b>¡Error! Marcador no definido.83</b>
Figura 50. Ensayo del Cono de Abrams	<b>¡Error! Marcador no definido.85</b>
Figura 51. Cálculo del coeficiente de permeabilidad	<b>¡Error! Marcador no definido.86</b>
Figura 52. Vigas de concreto con 10% de lodos y 0% de lodos.	<b>¡Error! Marcador no definido.86</b>
Figura 53. Probetas de concreto con 10% de Lodos en la mezcla.	<b>¡Error! Marcador no definido.87</b>
Figura 54. Cálculo de la resistencia a la compresión	<b>¡Error! Marcador no definido.87</b>
Figura 55. Curado de probetas en el laboratorio de ensayo de materiales.	<b>¡Error! Marcador no definido.88</b>
Figura 56. Prensa digital ACCU-500, laboratorio de materiales, U. Ricardo P.	<b>¡Error! Marcador no definido.88</b>
Figura 57. Curva granulométrica del agregado fino	<b>¡Error! Marcador no definido.90</b>
Figura 58. Curva granulométrica del agregado grueso	...9393
Figura 59. Dosificación para la mezcla de concreto del proyecto	<b>¡Error! Marcador no definido.98</b>
Figura 60. Rotura de probetas con 0% de lodos a los 7 días.	<b>¡Error! Marcador no definido.103</b>
Figura 61. Rotura de probetas con 3% de lodos a los 7 días.	<b>¡Error! Marcador no definido.103</b>
Figura 62. Rotura de probetas con 5% de lodos a los 7 días.	<b>¡Error! Marcador no definido.104</b>
Figura 63. Rotura de probetas con 10% de lodos a los 7 días.	<b>¡Error! Marcador no definido.104</b>
Figura 64. Gráfico de las resistencias Promedio de los 4 tipos de mezclas ensayadas.....	105
Figura 65. Rotura de probetas con 0% de lodos a los 14 días.	<b>¡Error! Marcador no definido.106</b>
Figura 66. Rotura de probetas con 3% de lodos a los 14 días.	<b>¡Error! Marcador no definido.107</b>
Figura 67. Rotura de probetas con 5% de lodos a los 14 días	<b>¡Error! Marcador no definido.107</b>
Figura 68. Rotura de probetas con 10% de lodos a los 14 días.	<b>¡Error! Marcador no definido.108</b>
Figura 69. Gráfico de las resistencias Promedio de los 4 tipos de mezclas ensayadas.....	108
Figura 70. Rotura de probetas con 0% de lodos a los 21 días.	<b>¡Error! Marcador no definido.110</b>

- Figura 71. Rotura de probetas con 3% de lodos a los 21 días. **¡Error! Marcador no definido.110**
- Figura 72. Rotura de probetas con 5% de lodos a los 21 días. **¡Error! Marcador no definido.111**
- Figura 73. Rotura de probetas con 10% de lodos a los 21 días. **¡Error! Marcador no definido.111**
- Figura 74. Figura: Resistencias Promedio de los 4 tipos de mezclas ensayadas. **¡Error! Marcador no definido.112**
- Figura 75. Gráfico de la evolución de la resistencia del concreto **¡Error! Marcador no definido.113**
- Figura 76. Rotura de vigas con porcentajes de 0% y 10% de lodos de Ptap. **¡Error! Marcador no definido.114**
- Figura 77. Gráfico de costo de producción de concreto por tipo **¡Error! Marcador no definido.118**
- Figura 78. Límites del sistema a evaluar ambientalmente. **¡Error! Marcador no definido.120**
- Figura 79. Gráfico resumen de emisiones de CO<sub>2</sub> (kg) o en un periodo de 100 años.  
....1278

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ventajas y desventajas de Bloques de Hormigón Creados a Partir de CLD.	¡Error! Marcador no definido.10
Tabla 2. Características físicas de los LPTAP según diversos autores.	¡Error! Marcador no definido.26
Tabla 3. Composición Química de los LPTAP según diversos autores.	¡Error! Marcador no definido.27
Tabla 4. Principales compuestos moleculares del cemento Portland.	¡Error! Marcador no definido.40
Tabla 5. Capacidad de los recipientes de medición.	¡Error! Marcador no definido.42
Tabla 6. Impureza y valores máximos recomendados para la preparación de mezcla.	466
Tabla 7. Características del Cemento	¡Error! Marcador no definido.73
Tabla 8. Determinación de la resistencia Promedio ( $f'_{cr}$ )	¡Error! Marcador no definido.74
Tabla 9. Porcentaje de aire atrapado en la mezcla	¡Error! Marcador no definido.74
Tabla 10. Cantidad de agua por metro cúbico de concreto	¡Error! Marcador no definido.75
Tabla 11. Relación Agua/Cemento	¡Error! Marcador no definido.76
Tabla 12. Volumen del agregado grueso	¡Error! Marcador no definido.77
Tabla 13. Distribución de Ensayos realizados	¡Error! Marcador no definido.82
Tabla 14. Ensayos realizados a las muestras de Concreto	¡Error! Marcador no definido.84
Tabla 15. Granulometría del agregado fino	¡Error! Marcador no definido.89
Tabla 16. Peso Unitario Suelto del agregado fino ( $Kg/m^3$ )	¡Error! Marcador no definido.90
Tabla 17. Peso Unitario Compactado del agregado fino ( $Kg/m^3$ ).	¡Error! Marcador no definido.91
Tabla 18. Peso Específico del agregado fino ( $g/cm^3$ ).	¡Error! Marcador no definido.91
Tabla 19. Contenido de humedad del agregado fino (%)	¡Error! Marcador no definido.91
Tabla 20. Porcentaje de absorción del agregado grueso (%)	¡Error! Marcador no definido.92
Tabla 21. Granulometría del agregado grueso	¡Error! Marcador no definido.92
Tabla 22. Peso Unitario Suelto del agregado grueso ( $Kg/m^3$ )	¡Error! Marcador no definido.93
Tabla 23. Peso Unitario Compactado del agregado grueso ( $Kg/m^3$ )	¡Error! Marcador no definido.94
Tabla 24. Peso específico del agregado grueso ( $g/cm^3$ )	¡Error! Marcador no definido.94
Tabla 25. Contenido de humedad del agregado grueso (%)	¡Error! Marcador no definido.95
Tabla 26. Porcentaje de absorción del agregado grueso (%)	¡Error! Marcador no definido.95
Tabla 27. Características de los agregados	¡Error! Marcador no definido.96
Tabla 28. Resultados iniciales del diseño de mezclas	¡Error! Marcador no definido.96

Tabla 29. Volúmenes absolutos por m <sup>3</sup> de concreto	<b>¡Error! Marcador no definido.97</b>
Tabla 30. Determinación del peso del agregado fino	<b>¡Error! Marcador no definido.97</b>
Tabla 31. Cantidad de agregados por m <sup>3</sup> de concreto	<b>¡Error! Marcador no definido.97</b>
Tabla 32. Cantidad de agregados para las mezclas de diseño de la investigación	<b>¡Error! Marcador no definido.98</b>
Tabla 33. Peso específico de la muestra	<b>¡Error! Marcador no definido.99</b>
Tabla 34. Peso unitario suelto de la muestra	<b>¡Error! Marcador no definido.99</b>
Tabla 35. Peso unitario compactado de la muestra.	<b>¡Error! Marcador no definido.100</b>
Tabla 36. Contenido de humedad de la muestra.	<b>¡Error! Marcador no definido.100</b>
Tabla 37. Contenido orgánico en la muestra de lodos.	<b>¡Error! Marcador no definido.101</b>
Tabla 38. Composición química de la muestra	<b>¡Error! Marcador no definido.101</b>
Tabla 39. Principales metales pesados encontrados en la muestra de lodos	<b>¡Error! Marcador no definido.101</b>
Tabla 40. Asentamiento de las muestras según porcentaje de lodos.	<b>¡Error! Marcador no definido.102</b>
Tabla 41. Resultado de ensayo a compresión axial a los 7 días	<b>¡Error! Marcador no definido.102</b>
Tabla 42. Resultado de ensayo a compresión axial a los 14 días	<b>¡Error! Marcador no definido.106</b>
Tabla 43. Resultado de ensayo a compresión axial a los 21 días	<b>¡Error! Marcador no definido.109</b>
Tabla 44. Asentamiento de las muestras según porcentaje de lodos.	<b>¡Error! Marcador no definido.113</b>
Tabla 45. Costo de movilización de lodos.	<b>¡Error! Marcador no definido.115</b>
Tabla 46. Costo de producción de concreto con 0% lodos	<b>¡Error! Marcador no definido.115</b>
Tabla 47. Costo de producción de concreto con 3% lodos	<b>¡Error! Marcador no definido.116</b>
Tabla 48. Costo de producción de concreto con 5% lodos	<b>¡Error! Marcador no definido.117</b>
Tabla 49. Costo de producción de concreto con 10% lodos	<b>¡Error! Marcador no definido.117</b>
Tabla 50. Ahorro generado por tipo de concreto	<b>¡Error! Marcador no definido.119</b>
Tabla 51. Entradas y salidas del sistema, según el límite establecido.	<b>¡Error! Marcador no definido.121</b>
Tabla 52. Procesos utilizados en el Software openLCA	<b>¡Error! Marcador no definido.122</b>
Tabla 53. Emisión de CO <sub>2</sub> (kg) según IPCC 2013 GWP 100a, de cada agregado en la elaboración de concreto convencional	<b>¡Error! Marcador no definido.123</b>
Tabla 54. Emisión de CO <sub>2</sub> (kg) según IPCC 2013 GWP 100a, de cada agregado en la elaboración de concreto con 3% de lodos.	<b>¡Error! Marcador no definido.124</b>

Tabla 55. Emisión de CO <sub>2</sub> (kg) según IPCC 2013 GWP 100a, de cada agregado en la elaboración de concreto con 5% de lodos.....	125
Tabla 56. Emisión de CO <sub>2</sub> (kg) según IPCC 2013 GWP 100a, de cada agregado en la elaboración de concreto con 10% de lodos. <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	126
Tabla 57. Emisión de CO <sub>2</sub> (kg) totales de los agregados para la producción de concreto de cada tipo de mezcla. <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	127
Tabla 58. Emisión de CO <sub>2</sub> (kg) para la elaboración de concreto de cada tipo de mezcla.....	128

## RESUMEN

En el Perú uno de los principales problemas es la disposición de los residuos generados por las diferentes industrias de producción, una de ellas las empresas de potabilización del agua, que no cuentan con un adecuado sistema de disposición de residuos, y aunque estos residuos no representan una contaminación inmediata a lo largo de los años estas producen la eutrofización de los ríos y los mares, afectando el medio ambiente. Uno de los recursos más importantes para los procesos industriales es el agua ya sea para el consumo humano, la elaboración de productos o incluso mantenimiento de equipos y maquinarias; el agua es uno de los recursos más importantes.

Actualmente en el Perú se encuentra vigente la ley N° 1278.- Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos (2016); la cual establece una serie de derechos y obligaciones que se deben cumplir para fomentar la economía circular, disminuir la cantidad de residuos generados, para minimizar el impacto ocasionado al medio ambiente.

Por lo que la presente tesis propone aprovechar los lodos residuales provenientes de las plantas de tratamiento de agua potable, dando un segundo uso al material fino proveniente del proceso de potabilización del agua; para realizar concreto de resistencia  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> el cual es el más común para la construcción de infraestructuras a nivel nacional.

Para el desarrollo de la investigación se tomó muestras de lodos de una planta de tratamiento de osmosis inversa, ubicada en San Antonio de Mala, de las cuales se utilizaron en porcentajes de 3%, 5% y 10% de lodos, en reemplazo del agregado fino del concreto, en contraste con una muestra de control realizada con concreto convencional.

Se realizaron ensayos con la empresa certificada “Slab” a la muestra de lodos para su caracterización dando como resultado un porcentaje de humedad de 22%, un contenido

orgánico de 0.26% y con un contenido de Óxido de silicio de 59.44% y de óxido de silicio de 22.40%

Se concluyó el agregar porcentajes mayores a 3% de lodos en sustitución al agregado fino, genera un ahorro de 14 céntimos, así como también se determinó que existe una disminución en la emisión de gases de efecto invernadero a medida que se van incrementando los porcentajes de lodos, sin embargo, a su vez existe una disminución en la resistencia del concreto.

**Palabras clave:** Ptap, Lodos residuales, Impacto ambiental, aprovechamiento, dosificación, vertederos, costo-beneficio, acondicionamiento, aditivos.

## **ABSTRACT**

In Peru, one of the main problems is the disposal of waste generated by the different production industries, one of them being the water purification companies, which do not have an adequate waste disposal system, and although this waste does not represent immediate contamination over the years, it causes eutrophication of rivers and seas, affecting the environment. One of the most important resources for industrial processes is water, whether for human consumption, product manufacturing or even equipment and machinery maintenance; water is one of the most important resources.

Currently in Peru, Law No. 1278.-Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos (2016) is in force; which establishes a series of rights and obligations that must be fulfilled to promote the circular economy, decrease the amount of waste generated, to minimize the impact caused to the environment.

Therefore, the present thesis proposes to take advantage of the residual sludge from drinking water treatment plants, giving a second use to the fine material from the water potabilization process; to make concrete of resistance  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> which is the most common for the construction of infrastructures at a national level.

For the development of the research, samples of sludge were taken from a reverse osmosis treatment plant located in San Antonio de Mala, of which 3%, 5% and 10% of sludge were used to replace the fine aggregate in the concrete, in contrast to a control sample made with conventional concrete.

Tests were carried out with the certified company "Slab" on the sludge sample for its characterization, resulting in a moisture percentage of 22%, an organic content of 0.26% and a silicon oxide content of 59.44% and silicon oxide of 22.40%.

It was concluded that adding percentages greater than 3% of sludge to replace the fine aggregate generates a savings of 14 cents, and it was also determined that there is a decrease in the emission of greenhouse gases as the percentages of sludge increase, however, in turn there is a decrease in the strength of the concrete.

**Keywords:** Ptap, residual sludge, environmental impact, use, dosage, landfills, cost-benefit, conditioning, additives

## INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional a través de los años ha ido en aumento, así como la dotación de agua necesaria para satisfacer las necesidades básicas; es por ello que la potabilización del agua se ha vuelto una tarea indispensable, por lo que cada vez, es más significativa la contaminación generada por los procesos de potabilización del agua. Dependiendo de la calidad del efluente y del proceso de potabilización, varían considerablemente los insumos requeridos en cada planta de tratamiento.

Como consecuencia de la contaminación generada por los procesos de tratamientos y sus residuos son cada vez más las leyes, normas y certificaciones que buscan garantizar un menor impacto dentro de las etapas que conforman los proyectos. La reutilización de los recursos es una forma de mitigar el impacto generado, por ello el uso de los lodos generados en las plantas de tratamiento de agua potable (Ptap) a nivel nacional, puede representar una solución, tanto para minimizar la cantidad de lodos descargados hacia el lecho de los ríos que terminan contaminando aguas abajo de la Ptap y terminarán desembocando en el mar causando la eutrofización de los mismos dando como consecuencia un desequilibrio en el ecosistema.

En el capítulo I se comienza a desarrollar la investigación partiendo con la descripción y delimitación del problema, se formuló el problema, se plantearon los objetivos, tomando como objetivo general, elaborar concreto, como propuesta para el aprovechamiento de lodos provenientes de una planta de tratamiento de agua potable que cumpla con los

requerimientos físico/químicos, su viabilidad económica, y su impacto en el medioambiente. Se analizó la justificación e importancia de esta investigación, la limitación del estudio y su viabilidad.

En el capítulo II se recopiló información que nos serviría como base teórica para la justificación de la presente investigación, basándonos en Investigaciones relacionadas al tema presentando antecedentes, el uso de diferentes normas y manuales.

En el capítulo III se planteó las hipótesis tomando como hipótesis general, la elaboración de concreto, como propuesta para el aprovechamiento de lodos provenientes de la planta de tratamiento de agua potable cumplirá con los requerimientos físico/químicos y su viabilidad económica.

En el capítulo IV empleamos una metodología a nivel experimental predictiva de carácter cuantitativo, la cual, a través de la manipulación de la variable independiente y una muestra de control, tomando como muestra, lodos residuales provenientes de un tanque de aguas de rechazo de la planta de osmosis inversa- Mala para realizar probetas de concreto con porcentajes de 3%, 5% y 10% de lodos en sustitución al agregado fino.

En el capítulo V se presentaron los resultados de la investigación donde se desarrollaron los problemas, se cumplieron los objetivos y se contrastaron las hipótesis de la presente investigación.



# CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

## 1.1 Descripción del problema

La generación de residuos es un producto natural de la urbanización, el desarrollo económico y el crecimiento de la población. A medida que las naciones y las ciudades se vuelven más pobladas y prósperas, ofrecen más productos y servicios a los ciudadanos y participan en el comercio e intercambio mundial, se enfrentan a cantidades correspondientes de residuos que se deben gestionar mediante el tratamiento y la eliminación de residuos (The World Bank Group, 2022, p 18).

El mundo genera 2,01 billones de toneladas de residuos sólidos municipales anualmente, de los cuales al menos el 33% de forma extremadamente conservadora, no se gestiona de forma segura para el medio ambiente. A nivel mundial, los desechos generados por persona por día tienen un promedio de 0,74 kilogramos, pero varían ampliamente, de 0,11 a 4,54 kilogramos. Aunque solo representan el 16 por ciento de la población mundial, los países de altos ingresos generan alrededor del 34 por ciento, o 683 millones de toneladas, de los desechos del mundo (The World Bank Group, 2022, p 3).

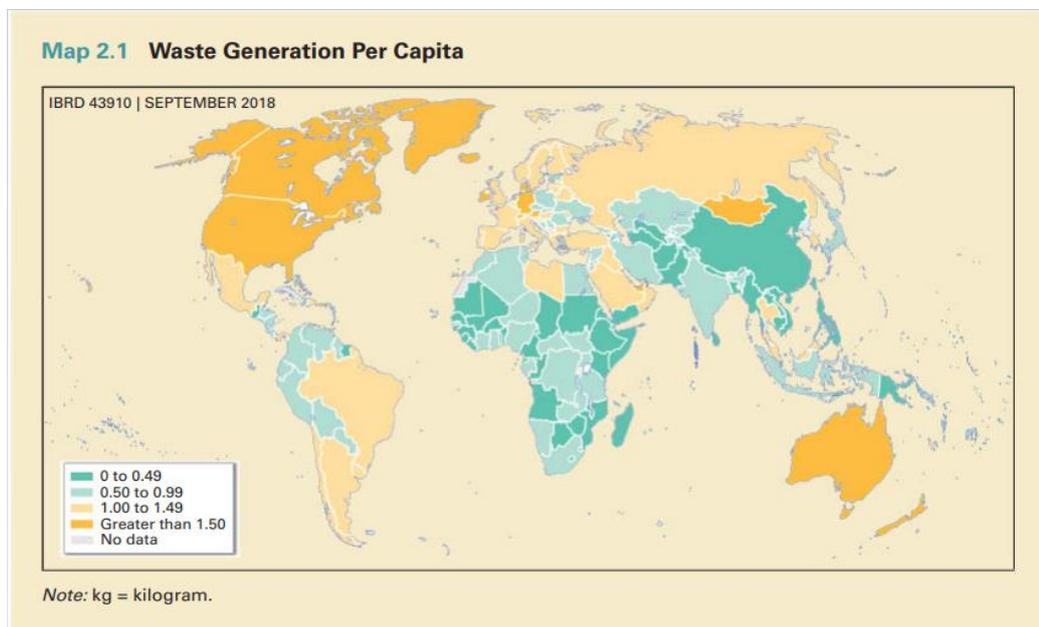


Figura 1. Residuos Sólidos diarios generados per cápita a nivel mundial.

Fuente: The World Bank Group (2022).

Mirando hacia el futuro, se espera que los desechos globales crezcan a 3,40 billones de toneladas para 2050. En general, existe una correlación positiva entre la generación de desechos y el nivel de ingresos. En el informe publicado por The World Bank Group (2022), se prevé que la generación diaria de desechos per cápita en los países de ingresos altos aumenta un 19 % para 2050, en comparación con los países de ingresos bajos y medianos, |donde se prevé que aumente aproximadamente un 40 % o más.

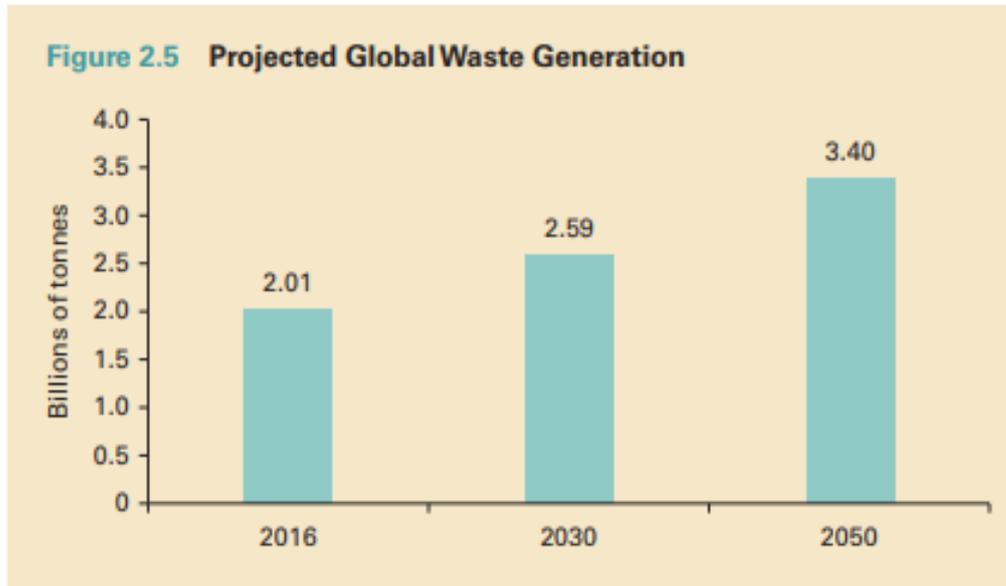


Figura 2. Proyección de toneladas de basura generada por año.

Fuente: The World Bank Group (2022).

Según Marín, Demaria, Ofelio, Serra, Turiel, Ripple, Mukul y Costa (2022) Identifican a la sociedad de los siglos XX y XXI como la "Sociedad del Despilfarro", como consumidores despilfarradores de altas cantidades de agua, materiales y energía debido a un metabolismo social ecológicamente insostenible basado en recursos no renovables. El concepto de metabolismo social se refiere a la forma en que las sociedades humanas organizan sus intercambios de energía y materiales con el medio ambiente, y dentro de la economía (Demaria, 2022). La termodinámica establece que cualquier conversión de masa y/o energía está constreñida por límites físicos. Desde este punto de vista, los residuos se consideran un subproducto inevitable en la producción industrial de bienes y servicios deseados. Sin embargo, la cantidad de residuos generados depende del grado de eficiencia con que se operen estos procesos.

En tal sentido el agua, siendo un recurso valioso y esencial para el desarrollo de la sociedad, se ve altamente afectada. AQUASTAT (2010) señala que “El uso de agua dulce se ha multiplicado por seis en los últimos cien años y sigue creciendo a un ritmo anual de casi un 1% desde los años 80. Gran parte de este aumento se debe a una combinación de factores, como el crecimiento demográfico, el desarrollo económico y el cambio en los patrones de consumo” (UNESCO World Water Assessment Programme, 2021, p 12).

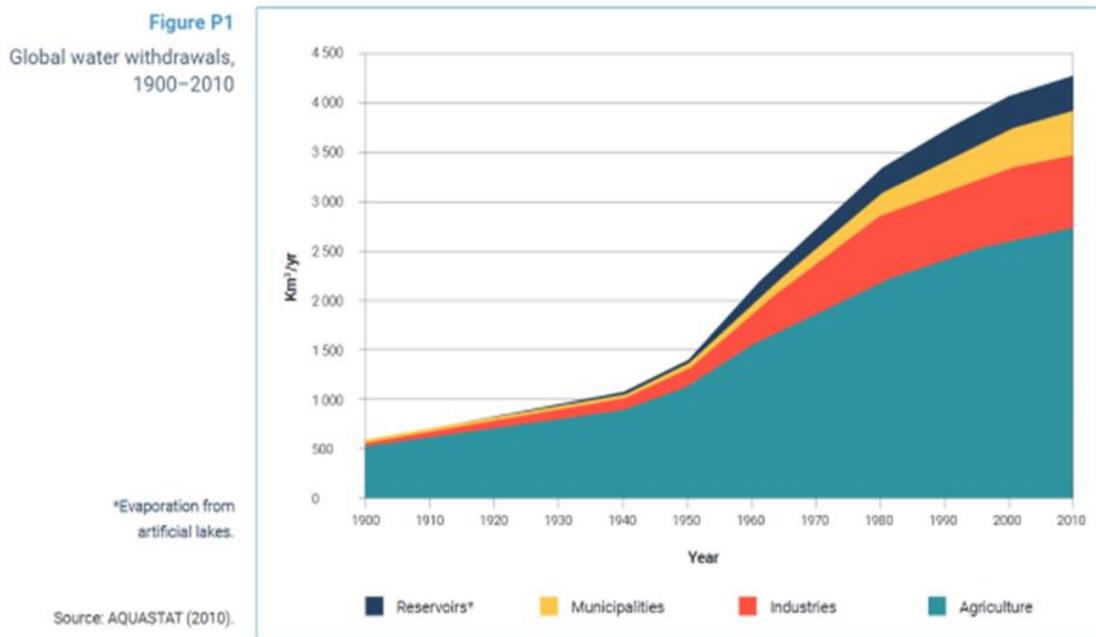


Figura 3. Uso del agua a nivel mundial.

Fuente: AQUASTAT (2010).

Sin embargo, la producción de agua potable limpia requiere procesos de tratamiento que también generan subproductos inevitables, especialmente lodos de potabilización. El término lodo de potabilización se refiere a los residuos sólidos generados en los procesos de tratamiento del agua potable, en el momento en que las partículas en suspensión sedimentan por acción de la fuerza de gravedad. Sus características varían en función de las propiedades del agua de origen y de los métodos de tratamiento (Romero Rojas, 2015, pp 117-152).

En el proceso de potabilización del agua se utilizan productos químicos como el cloro (desinfectante) y coagulantes inorgánicos como el policloruro de aluminio (Pachacama, 2020). Este proceso genera residuos, principalmente lodos, compuestos tanto por sólidos e impurezas provenientes del agua a tratar como de los químicos que se utilizan. Generalmente estos lodos son descargados a las fuentes de agua (Paredes, Y., Chisaguano, W. y Malacatus,

P. (2017). Estos lodos causan un impacto ambiental considerable, pues deterioran la calidad del agua superficial, limitando las posibilidades de esta para uso doméstico, agrícola e industrial. Por lo que es importante realizar una gestión eficiente de los mismos (Fouad, M., El-Gendy, A., Khalil, M. y Razek, T.,2021).

Los lodos de potabilización pueden procesarse de forma que su impacto ambiental sea menor. Se han utilizado para la elaboración de cemento, cerámicas, abonos para el suelo o se han sometido a diversos tratamientos como secado y acidificación, para disminuir el aluminio presente en ellos (De Carvalho, S., Zhou, J., Li, W. y Long, G.,2019).

Según Victor Casto y Jose Reyes (2022) en la mayoría de las empresas de potabilización, no se realiza un tratamiento a los lodos, directamente se descargan a cuerpos de agua o al suelo. En algunos casos, se realiza un procedimiento de secado y compactación de lodos que permite disminuir el volumen de los lodos y también la concentración de metales (Pereira et al., 2017).

Turner, Wheeler, Stone, y Oliver, (2019), mencionan que en todo el mundo se generan millones de toneladas de residuos sólidos cada año, a partir de los procesos de tratamiento del agua, y que el volumen de lodos aumenta con el incremento de la demanda de agua. La producción de los residuos sólidos en el tratamiento del agua potable se estima generalmente en un 1% - 3% del volumen de agua bruta utilizada durante el proceso de tratamiento (Baiming Ren, 2020).

Sin embargo, los datos específicos a nivel global o regionales muestran que la generación de residuos sólidos provenientes de las plantas de tratamiento de agua potable rara vez está disponible porque las autoridades locales suelen publicar las estadísticas de residuos en una categoría amplia en lugar de especificar cada tipo de residuo, como ejemplo, los residuos sólidos provenientes del tratamiento de agua potable siempre se asocian erróneamente a los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales (Zhao, Liu, Awe, Yang, y Shen, 2018).

Haciendo un seguimiento de la figura propuesta por, Baiming Ren et al (2020), podemos observar que China es el país con la mayor generación de residuos sólidos provenientes de las plantas de tratamiento de agua potable con 2.3 millones de toneladas al año, sin embargo, la mayor cantidad de generación anual de residuos sólidos provenientes de las plantas de tratamiento de agua potable por persona es Corea del Sur. Por el contrario, Dinamarca es el

país que menos generación de residuos sólidos provenientes de las plantas de tratamiento de agua potable con 10.000 toneladas al año, así como la cantidad de generación anual de residuos por persona.

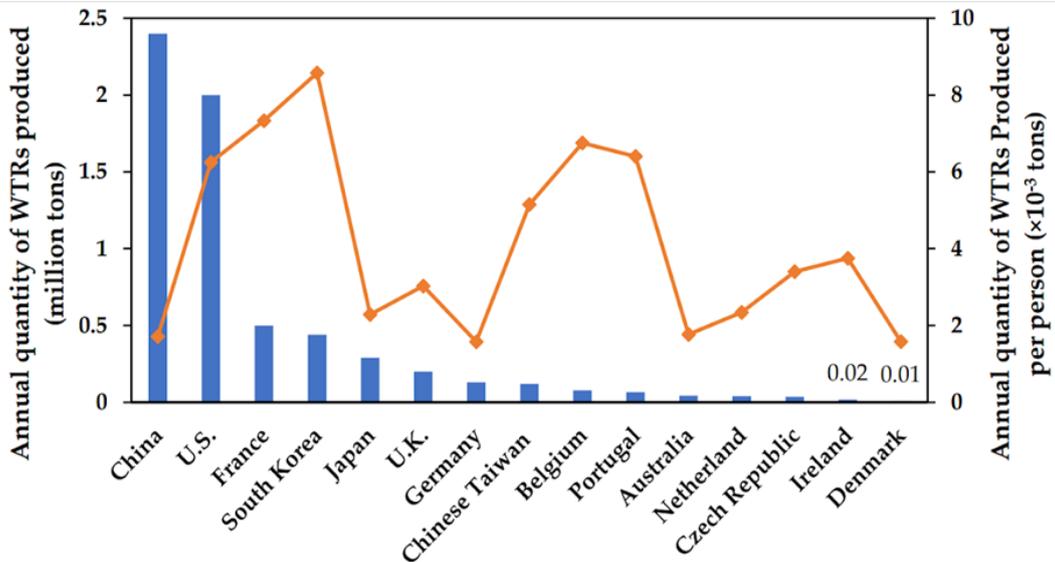


Figura 4. Residuos anuales generados del tratamiento de agua de 15 países.

Fuente: Baiming Ren et al., (2020).

Zhao et al (2018) y Turner et al (2019) sostienen que el coste asociado a la eliminación de los residuos sólidos, así como el impacto ambiental generado por estos, siguen siendo problemas para todo el mundo. Históricamente la forma rápida y simple para eliminar los residuos sólidos, es decir, la descarga directa a cuerpos de agua natural, descarga a lagunas, vertederos de residuos, y rellenos de ingeniería, traen consigo impactos ambientales adversos. Según Ren, Lyczko, Zhao, y Nzihou (2020) el uso de vertederos de residuos ha sido el método más aplicado en la mayoría de los países del mundo, países tales como: China, Irlanda, Francia, etc. Método que sigue teniendo la posibilidad de contaminar las masas de agua y los suelos a causa de los productos químicos utilizados en el tratamiento.

En América Latina, México es uno de los países Latinoamericanos que más ha estudiado los problemas provocados por la ausencia de tratamiento de los lodos generados en la potabilización del agua, demostrando con hechos la importancia del tema y brindado las pautas para que el resto de países de la zona, inicien con las respectivas medidas para la mitigación de los posibles impactos de la acumulación de los lodos por la falta de tratamiento de lodos, dentro de las cuales se destaca el hecho que los recursos para la operación de

sistemas de tratamiento de lodos en las plantas potabilizadoras de América Latina, son escasos; punto que de vital importancia a tenerse en cuenta al proponer alternativas para aplicarlas en la región (Juan Foreros y Erwin trigos, 2020).

Según Paula Castro y Paula Delgado (2020) en Colombia la mayoría de las plantas de potabilización no cuentan con un sistema de tratamiento de lodos, por lo que generalmente estos son depositados sin un procedimiento previo a lagos, cuencas, ríos y fuentes cercanas contaminando la fauna y flora del ecosistema, sin ver el potencial de aprovechamiento que se le puede dar al residuo tratado y las diferentes disposiciones.

Según Víctor Castro y José Reyes (2020), en Ecuador la mayoría de las plantas de tratamiento de agua potable del país descargan los lodos directamente a las fuentes de agua (ríos) o suelo. La única planta potabilizadora que posee un sistema de tratamiento de lodos es PTAP San Juan, que provee de agua potable a las parroquias de Posorja y el Morro del cantón Guayaquil y es gestionada por la empresa Interagua (Paredes et al., 2017).

Según el MINAM (2017) el Perú genera, cada día, alrededor de 20 mil toneladas de basura, cuyo destino es incierto debido a la falta de infraestructura para su depósito, así como a la poca cultura del reúso y reciclaje. Según publica el diario luego de la entrevista, cerca de la mitad de estos residuos sólidos termina en los 1200 botaderos ilegales que han podido contabilizar, o en las quebradas y los ríos, que al final desembocan en el mar. Ante este panorama que causa estragos en el medio ambiente, la ministra Elsa Galarza Contreras señaló que durante su primer año de gestión ha logrado establecer un marco legal a fin de dar solución a este grave problema. Sin embargo, reveló al diario Correo que existe un déficit en infraestructura de rellenos sanitarios equivalente a S/5 mil millones. Diario del correo (20 de agosto del 2017).



Figura 5. Residuos Sólidos municipales dispuestos en rellenos sanitarios.

Fuente: MINAM, (2021).

En la actualidad, uno de los principales problemas a los que se enfrenta el Perú es la inadecuada disposición de los lodos residuales provenientes de las plantas de tratamiento de agua potable, la cual se ve fuertemente agravada por la proliferación de botaderos informales que implican el desarrollo de focos infecciosos a nivel nacional esta problemática está estrechamente relacionada a la escasez de lugares adecuados de disposición final en el país (Ministerio del Ambiente, 2019).

El Perú cuenta solo con 65 infraestructuras de disposición final (rellenos) para tal fin. Por lo que es fundamental encontrar nuevas formas que involucren reutilización y el reuso del material en cuestión que son llevados a estos rellenos Ministerio del Ambiente (2021).

En el año 2016 se decretó la actual ley N° 1278.- Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos; la cual establece una serie de derechos y obligaciones que se deben cumplir para fomentar la economía circular, disminuir la cantidad de residuos generados, para minimizar el impacto ocasionado al medio ambiente dentro de las cuales nos habla en las disposiciones complementarias que los lodos generados por las plantas de tratamiento de agua para consumo humano, las plantas de tratamiento de aguas residuales y otros sistemas vinculados a la prestación de los servicios de saneamiento, son manejados como residuos sólidos no peligrosos, salvo en los casos que el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento determine lo contrario. En ningún caso los lodos provenientes de los mencionados sistemas

son utilizados sin considerar condiciones sanitarias y ambientales mínimas apropiadas, conforme lo dispone el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, regula el aprovechamiento de lodos generados en las plantas de tratamiento de agua para consumo humano, las plantas de tratamiento de aguas residuales y otros sistemas vinculados a la prestación de los servicios de saneamiento, de acuerdo con el tipo de actividad a desarrollar.

En contraste en Colombia se reglamenta en el artículo 125 de la resolución 0330 del 201731, todos los lodos deben ser sometidos a un tratamiento que incluye técnicas de homogeneización, espesamiento y deshidratación. Estas técnicas pueden realizarse haciendo uso de diferentes tipos de equipos, como se describe en el documento Lodos producidos en el tratamiento del agua potable.

En Perú, la potabilización del agua ha originado un problema de manejo y disposición de los lodos generados durante su tratamiento. El principal problema es que estos residuos presentan un alto contenido de agua (90% aproximadamente) según Edgar Quispe (2019), además de presentar una pobre capacidad de deshidratación, particularmente aquellos que son producidos por el uso de sulfato de aluminio, policloruro de aluminio como coagulante. Actualmente, estos lodos son descargados a los ríos y/o alcantarillas sin ningún tratamiento, provocando un severo daño al ambiente (Edgar Quispe, 2019).

Los recursos hídricos son indispensables para el desarrollo de las diversas formas de vida, que es utilizada en distintas actividades. En el año 2020, la producción de agua potable en Lima Metropolitana ascendió a 757 millones de metros cúbicos; el 79,9% provenía de fuentes superficiales y el 20,1% de fuentes subterráneas. La producción de agua aumentó en 1,2% respecto a lo producido en el año 2019 (748 millones de metros cúbicos) (INEI, 2021).

Los residuos son los materiales desechados que ya no son necesarios para el propietario o usuario. Se estima que en el año 2020 en la provincia de Lima se generaron 3 millones 881 mil toneladas de residuos sólidos municipales, representando un incremento del 7,4% respecto al año anterior (INEI, 2021).



Figura 6. Residuos sólidos generados en la provincia de Lima 2012-2020.

Fuente: MUNILIMA, 2021.

Cardona y Orozco (2018) realizaron una investigación bibliográfica sobre tecnologías y alternativas que puedan ser implementadas en la valorización de los lodos que se generan en una Planta de Tratamiento de Agua Residual, con el fin de recolectar información para determinar las mejores tecnologías adaptables en el caso de la ciudad de Manizales. De acuerdo con ese trabajo, el lodo empleado como materia prima en la fabricación de materiales para la construcción civil a gran escala como mampostería y bloques de hormigón, puede mejorar la situación medioambiental, así como los costos de eliminación de lodo que se realiza en las plantas de tratamiento de los sistemas de alcantarillado. Las propiedades mecánicas obtenidas mediante esta técnica, dependen de la proporción de arena, mármol y lodo (Jáuregui Noriega Juan Pablo, González Guzmán Juan Manuel, Isaza Aranguren Carolina, 2019).

Por otro lado, estudios en España realizados en una planta, determinaron la disminución de la porosidad y absorción y un aumento en la resistencia mecánica de la adición de ceniza de lodos de depuradoras (CLD), el cual es sustituido (15%) de arena al hormigón (Jáuregui, et al., 2019).

Tabla 1. Ventajas y desventajas de Bloques de Hormigón Creados a Partir de CLD.

Ventajas	Desventajas
<p>Adiciones de 5 al 50% generan propiedades positivas de aislante térmico y acústico, más porosos y menos densos.</p> <p>Puede ser utilizado para la fabricación de hormigón.</p> <p>Influencia significativa en propiedades mecánicas y de trabajabilidad.</p> <p>Comercialmente viable.</p>	<p>Afecta su resistencia al esfuerzo mecánico debido a una mayor porosidad.</p>
<p>Sustituciones de arena del 15% de CLD mejora las características de los bloques de hormigón como la resistencia a la compresión.</p> <p>Se pueden reducir residuos destinados a vertedero o incineración.</p>	

Nota. Fuente: Adaptado de Cardona y Orozco (2018).

### 1.1.1 Formulación del problema

#### a) Problema General

¿De qué manera se propone aprovechar los lodos provenientes de una planta de tratamiento de Agua Potable, como agregado fino, para la elaboración de concreto que cumpla con los requerimientos físico/mecánicos y su viabilidad económica?

#### b) Problemas Específicos

- ¿Cómo se caracterizan los lodos residuales provenientes de una planta de Tratamiento de agua potable para la elaboración de concreto?

- ¿Cómo incide la resistencia del concreto al sustituir 3%, 5% y 10% del agregado fino con lodos residuales de PTAP, en la elaboración de concreto?
- ¿Cómo determinar un beneficio económico en la elaboración de concreto al sustituir el 3%, 5%, y 10% del agregado fino con lodos residuales de PTP, en la elaboración de concreto?
- ¿Cómo realizar la evaluación y comparación del impacto ambiental en la producción de concreto con sustitución del agregado fino con lodos residuales de PTAP y concreto convencional, mediante la metodología del Análisis del Ciclo de Vida?

## 1.2 Objetivo General y Específico

En este sentido, el objetivo de la presente tesis tiene por intención, realizar un análisis de factibilidad del uso de lodos residuales provenientes de una PTAP para ser utilizados en reemplazo de un porcentaje de agregados finos, en la elaboración de concreto simple; buscando generar un impacto positivo en el reuso de lodos e incentivar a las empresas privada y municipalidades a fomentar la reutilización.

### 1.2.1 Objetivo General

Elaborar concreto, como propuesta para el aprovechamiento de lodos provenientes de una planta de tratamiento de agua potable que cumpla con los requerimientos físico/mecánicos y su viabilidad económica.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar los lodos residuales provenientes de la Planta de Tratamiento de Agua Potable para la elaboración de concreto.
- Analizar la incidencia en la resistencia del concreto, al sustituir 3%, 5%, y 10% del agregado fino con lodos residuales de PTAP, en la elaboración de concreto.
- Determinar el beneficio económico en la elaboración de concreto al sustituir el 3%, 5%, y 10% del agregado fino con lodos residuales de PTAP, en la elaboración de concreto.
- Realizar la evaluación y comparación del impacto ambiental en la producción de concreto con sustitución del agregado fino con lodos residuales de PTAP y concreto convencional, mediante la metodología del Análisis del Ciclo de Vida.

## 1.3 Delimitación del estudio.

### 1.3.1 Delimitación Espacial.

La PTAP de la cual esta tesis centra su investigación está ubicada en Mala en el kilómetro 89 de la Panamericana Sur, en el paradero “Bujama Alta”, luego doblar por la antigua panamericana y doblar en la carretera LM 85-5 y seguir hasta llegar a la minera Condestable.

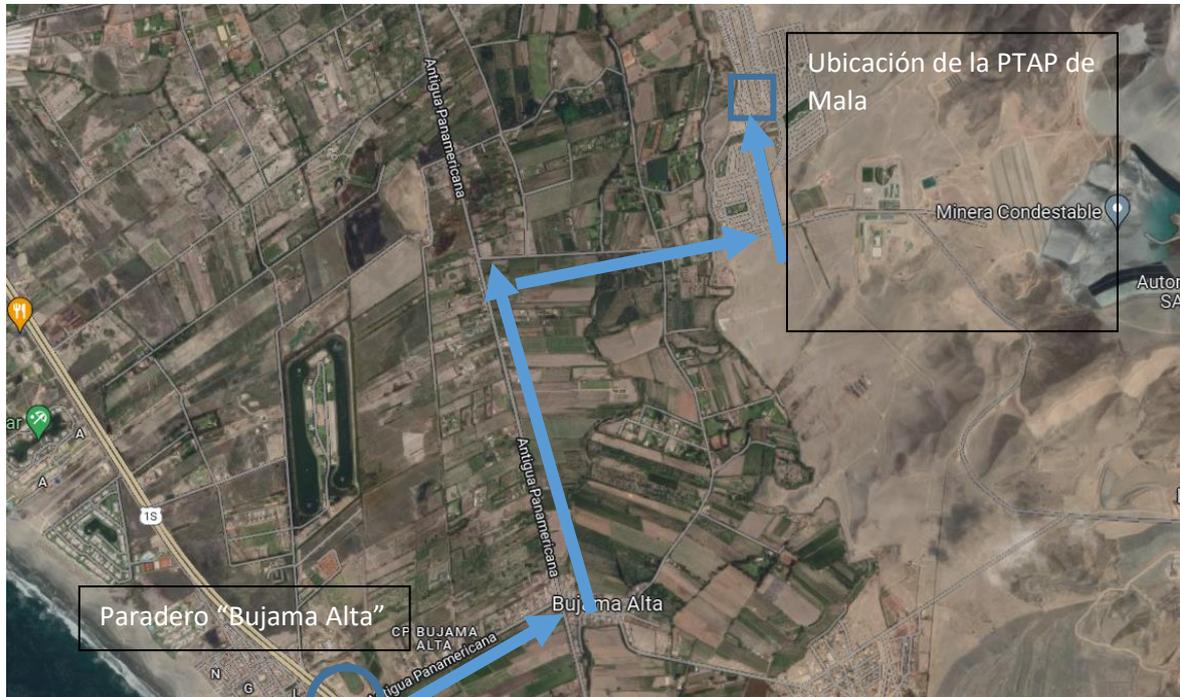


Figura 7. Ubicación de la PTAP, Mala.

Fuente: Elaboración propia, tomado de Google maps (2022).

### 1.3.2 Delimitación Temporal.

Esta investigación se realizó en el periodo comprendido entre los meses de mayo y noviembre del año 2022.

### 1.3.3 Delimitación Temática.

La presente investigación trata los conceptos de reutilización de los residuos sólidos provenientes de la PTAP y el diseño de mezclas de concreto. Así mismo el estudio está dirigido a las empresas del rubro de concreto premezclado, así como municipalidades para incentivar una nueva alternativa de aprovechamiento de residuos sólidos en plantas de tratamiento de agua potable.

## 1.4 Importancia y justificación del estudio

La cantidad y las propiedades de los residuos sólidos generados en las plantas de tratamiento de agua potable son específicas de cada lugar y dependen de varios factores, como los

cambios en la calidad del agua bruta, los procesos de tratamiento y el uso de productos químicos. Por lo que es necesario realizar estudios específicos para cada caso en particular, para su posterior aprovechamiento.

En el Perú el manejo de los lodos residuales es muy deficiente en gran parte del país, desde su recolección hasta su disposición final, por el desconocimiento de su aprovechamiento, y el bajo compromiso de diferentes sectores para con el ambiente. Los impactos que puede generar la mala disposición de los lodos residuales, son muy perjudiciales tanto para el suelo, aire y agua, como repercusiones en la salud, olores y diversas enfermedades.

El marco normativo nacional establece que los lodos generados en las PTAR y PTAP deben ser sometidos a procesos de estabilización y deshidratación como parte de los procesos de tratamiento de la línea de lodos siendo un requisito para su transporte, disposición final o reaprovechamiento. Sin embargo, en su mayoría estos lodos son desechados a ríos o rellenos sanitarios informales, que no garantizan su correcta disposición final.

El principal problema del manejo de residuos sólidos en el Perú es la escasez de rellenos sanitarios, debido a que solo el 52% de los residuos sólidos municipales son dispuestos en un relleno sanitario. (MINAM 2019). Alrededor del 63% de los residuos sólidos que van a los rellenos sanitarios son aprovechables en el 2018 según el MINAM, el 46% de los rellenos sanitarios atendían cada uno a un solo distrito a pesar de que en el Perú existen 1,874 distritos. Actualmente contamos con 65 rellenos sanitarios, sin embargo, no son suficientes para satisfacer la demanda; puesto que estos atienden 210 distritos (MINAM, 2021).

Se justifica la elaboración de este estudio, porque se busca una manera de aprovechar los lodos residuales generados en las plantas de tratamiento de agua potable, a fin de reducir la cantidad de lodos almacenados en rellenos sanitarios y/o vertidos informalmente en las masas de agua perjudicando el ecosistema y la cadena trófica.

Buscando incentivar tanto a las empresas privadas como al estado a buscar alternativas para el reúso y difundirlas de diferentes medios, para empezar una cultura de reutilización de residuos.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes

#### 2.1.1 Antecedentes nacionales

Edgar Espillico Quispe (2019). En la presente tesis titulada “Elaboración de ladrillos a partir de lodos generados por plantas de tratamiento de agua potable y el uso en la construcción” para optar por el título de ingeniero químico en la Universidad Nacional del Altiplano de Puno. Tiene como objetivo elaborar ladrillos a partir de lodos generados por las unidades compactas de la PTAP y determinar su posible uso en la construcción. En esta investigación se elaboró trece unidades de ladrillos conformado por una clase textural franco arenosa y arcillosa, de composiciones 23.79, 30, 45, 60 y 66.21 % de lodo a su vez se realizó el acondicionamiento físico de la textura del lodo conteniendo 72.40 % de arena; 17.48 % de limo y 10.12 % de arcilla que pertenece a la clase textural franco arenosa, con composición química de 46.78% de SiO<sub>2</sub>; 20.07% de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 4.28% de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> cuya pérdida de peso por ignición es del 10.21%. Se concluyó que los factores con efecto significativo en la elaboración de ladrillos fueron: la temperatura y la composición de lodo. Según la técnica Metodología de Superficie Respuesta de un Diseño Central Compuesto, corresponde un valor más eficiente para la absorción de agua de 9.16% a un nivel de temperatura de 941.42°C y una composición del lodo al 45%, con respecto a la resistencia a la compresión se obtuvo un valor óptimo de 54.16 kg/cm<sup>2</sup> para un nivel de temperatura de 941.42°C y una dosis de 45% de lodo.

Luis Chumpitaz Diaz y Robert Alonso Morales Hilario (2019). La presente tesis titulada “Estudio y evaluación del agua tratada proveniente de las plantas de tratamiento de Surco y San Borja para la elaboración de concreto en Lima metropolitana. Concreto hidráulico” para optar por el título profesional de Ingeniero Civil en la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Tiene como objetivo, brindar opciones sustentables y medio ambientales en la elaboración del concreto y evaluación del agua tratada proveniente de las plantas de tratamiento de Surco y San Borja para la elaboración de concreto en Lima metropolitana. Para ello, esta investigación propone producir concreto convencional simple con agua tratada proveniente de plantas de tratamiento con tecnologías físico-químicas-biológicas de primera y

segunda clase, ubicadas en los distritos de San Borja y Santiago de Surco. Durante el desarrollo de la investigación, Díaz y Robert y Morales (2019) pudieron comprobar que las aguas residuales vertidas provocan varias enfermedades de alto impacto, ya que estas aguas contienen principalmente arsénico inorgánico, plomo y cadmio, estos elementos traen consigo enfermedades muy graves como cáncer, diabetes mellitus y enfermedades cardiovasculares, también en la ciudad de Lima el contenido de arsénico inorgánico es de 13 a 193 mg/l y el límite según la OMS es de 10 mg/l. Los investigadores concluyeron que los beneficios ambientales de utilizar aguas residuales tratadas para la producción de concreto tienen un impacto significativo tanto en el medio ambiente como en el aspecto económico, durante la investigación encontraron en diferentes fuentes que por cada 1 litro de agua residual vertido en el cuerpo se arroja agua, los costos de salud pública aumentan en alrededor de 1 dólar, la planta de tratamiento seleccionada en su estudio procesa alrededor de 1200 m<sup>3</sup> de agua residual, ambos concluyen que si el agua tratada se utiliza de manera focalizada para la elaboración de concreto premezclado, esta cantidad de volumen significa un beneficio ambiental y económico de alrededor de \$ 1.200.000 por año.

Danny Bustamante Sigueñas (2020). La presente tesis titulada “Propuesta de tratamiento de lodos residuales de la planta de producción N°1 de EPSEL S.A. para minimizar el impacto ambiental sobre el canal Cois” para optar por el grado de Ingeniero Ambiental en la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. Tiene como objetivo principal proponer un sistema de tratamiento de los lodos residuales de esta planta potabilizadora y así poder minimizar su impacto ambiental. Para ello se realizó un análisis físico-químico del efluente, obteniendo como resultado un DBO= 300 mg/L; DQO = 480 mg/L y SST = 720 mg/L, además con la ayuda de la matriz de Leopold y la valorización del impacto ambiental se pudo identificar y valorizar los factores ambientales más importantes como son la generación de efluentes el consumo de agua y la calidad de las fuentes de agua. Para determinar los tratamientos necesarios para la propuesta el autor utilizó el método de factores ponderados, dando como resultado: la homogeneización, decantación, espesamiento por gravedad y la deshidratación mediante un filtro prensa. Permitiendo así poder cumplir con los LMP y disminuir el porcentaje de SST. Finalmente se concluyó en el análisis costo-beneficio se obtuvo una ganancia de \$0,60 por cada dólar invertido en la implementación de la propuesta. Además, se logró disminuir el impacto ambiental en un 60,36%.

En la tesis titulada “Propuesta del uso de agua residual de las plantas de tratamiento de Carapongo, San Antonio de Carapongo y Santa Clara para elaboración de concreto premezclado  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  y disminución del uso de agua potable en Lima Metropolitana” para optar por el título profesional de Ingeniero Civil en la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Planteada por las Investigadoras Sharlys Verde Bravo y Aderly Aranibar Huayhua (2021). Tiene como objetivo diseñar y evaluar un concreto hecho con aguas residuales cuya resistencia supere los  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  con la finalidad de disminuir el uso de agua potable en la producción de concreto premezclado en Lima Metropolitana. La Propuesta del uso de agua residual de las plantas de tratamiento de Carapongo, San Antonio de Carapongo y Santa Clara para elaboración de concreto premezclado  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  y disminución del uso de agua potable en Lima Metropolitana en la misma que se usaron 4 tipos de aguas, tres provenientes de las Plantas de Tratamiento de Agua Residuales (PTARs) de Santa Clara, Carapongo y San Antonio de Carapongo con sistema de tratamiento lodos activados, aireación y filtros de arena para la primera. Anaerobio-Aerobio para la segunda y lodos activados y aireación extendida para la tercera y agua potable del Laboratorio de Ensayo de Materiales (LEM-UNI) para la cuarta para elaborar concreto  $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ . Para la investigación se elaboraron 116 muestras en total para ensayos de compresión axial, tracción por compresión diametral, flexión en vigas y permeabilidad al agua una vez analizado de los resultados ambos investigadores llegaron a la conclusión que es factible elaborar concreto con aguas residuales tratadas procedentes de las 3 PTARs anteriormente mencionadas, ya que presentaron un comportamiento óptimo al ser evaluados en sus propiedades físicas, mecánicas y de durabilidad.

En la tesis desarrollada por Crystel Rios Joaquin (2021) titulada: “Uso de los lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales como aditivo para concreto” para optar por el grado académico de Ingeniero Ambiental en la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión. Plantea como objetivo utilizar los lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales como aditivo para la elaboración de concreto el estudio se realizó en el 2018, donde se desarrolló en la gestión de los lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales públicas y privadas del Perú y en su uso eficiente, específicamente en los desechos sólidos de las PTAR de la Junta Administradora de Servicio de Saneamiento del Asentamiento Humano Contigo Perú, ubicado en la provincia Huaral. Los resultados arrojados por la investigadora mostraron que las

características físicas del lodo en su estado natural era aproximadamente 85,67% de contenido de humedad y se destacó un alto contenido de materia orgánica. Como en este estado no era posible utilizar el lodo en mezclas estructurales, por lo tanto, se tuvo que reducir el contenido de humedad y volver a determinarse nuevamente y las propiedades físicas del material, esta vez con el nuevo contenido de humedad del 55,91%, luego se establecieron los diseños de las mezclas de lodo y cemento, diferenciadas por el tamaño de piedra que se utilizaron. Se realizaron 3 secuencias de mezclas con diferentes tamaños de piedras (1", 3/4", 1/2") y cantidad de cemento (5.8875, 6.0445, 6,0916) Kg. sometiéndose a ensayos de resistencia a la compresión. Como resultado de las pruebas realizadas, Crystel Rios (2021) determinó que el cemento de lodo residual de dichas PTARs no debe usarse como material de construcción, ya que es un material de baja resistencia y durabilidad. Sin embargo, recomendó que las características del lodo se investiguen más específicamente, incluyendo diferentes materiales.

#### 2.1.2 Antecedentes internacionales.

Chung-Ho Huang y Shun-Yuan Wang (2018), en su estudio titulado "Application of water treatment sludge in the manufacturing of lightweight aggregate". Evalúa el posible uso de lodos de planta de tratamiento de agua para la producción de agregado fino, y se centra en las propiedades de ingeniería del hormigón fabricado con estos agregados. Los experimentos de este estudio incluyen 10 lodos procedentes de diez plantas de tratamiento de aguas de Taiwán. Todos los lodos pudieron usarse para fabricar agregado fino en el laboratorio, y presentan una densidad de partículas ( $q_a$ ) de 0,65-2,05 g/cm<sup>3</sup> y una absorción de agua de 0,5-15%. Cinco lodos son adecuados para fabricar agregados finos estructurales ( $q_a = 1,2-1,8$  g/cm<sup>3</sup>) y agregados finos no estructurales ( $q_a < 1,0$  g/cm<sup>3</sup>), y los otros cinco lodos sólo son adecuados para fabricar agregados finos estructurales. Los lodos recogidos en la planta de Hsing-Zu se utilizaron con éxito para producir agregado fino estructural y no estructural a gran escala utilizando un horno rotatorio comercial. Los agregados resultantes tenían una densidad de partículas de 1,35 g/cm<sup>3</sup> o 0,98 g/cm<sup>3</sup> y una densidad aparente de 726 kg/m<sup>3</sup> o 518 kg/m<sup>3</sup> para el agregado fino estructural y el agregado fino no estructural, respectivamente. El agregado fino estructural cumple los requisitos de la norma ASTM C330, con una densidad aparente inferior a 880 kg/m<sup>3</sup> para el árido grueso ligero, y es un agregado fino adecuado para el hormigón estructural. Las propiedades

técnicas del hormigón fabricado con el agregado fino estructural cumplen los requisitos del hormigón ligero estructural.

de Oliveira, Chiaradia, Holsbach y da Silva (2018), en su estudio de investigación titulado “Performance of rendering mortars containing sludge from water treatment plants as fine recycled aggregate” realizado en la Pontificia Universidad Católica de Rio Grande del Sur - Brasil. Investigó las propiedades mecánicas (resistencia a la adherencia, resistencia a la compresión y resistencia a la flexión), la durabilidad (absorción de agua) y el análisis microestructural de morteros de enfoscado con diferentes niveles de sustitución (2,5 % en peso, 5 % en peso, 7,5 % en peso y 10 % en peso) de la arena natural por el agregado de lodo de tratamiento de aguas. Los resultados fueron analizados estadísticamente mediante modelos matemáticos y análisis de varianza. De este estudio se desprende que la inclusión de lodos aumenta la porosidad de los morteros, lo que influye en todas las propiedades físicas y mecánicas. La resistencia a la adherencia, que es la principal propiedad del mortero de enfoscado, mostró valores satisfactorios ( $> 0,2$  MPa) para los morteros con un 5% de lodos de depuración, a pesar de tener una alta variabilidad. Además, el análisis microestructural mostró la influencia de las características de las partículas en el rendimiento de los morteros con lodos de depuración. En general, este estudio demostró que el residuo, como fuente de agregados para morteros finos, podría considerarse una alternativa viable y sostenible para su uso en el sector de la construcción.

Ramírez y Cruz (2021). La tesis titulada “Estudio de factibilidad técnica, económica, ambiental, y legal para el uso de lodos provenientes de un sistema de tratamiento, como agregado en la producción de concreto de 21MPa a partir del concreto como residuo de construcción y demolición (R.C.D).” para optar el grado de ingeniero civil e ingeniero ambiental y sanitario de la Universidad de La Salle Bogotá - Colombia. Tiene como objetivo elaborar un análisis de factibilidad para lodos provenientes de un sistema de tratamiento en el municipio de Viotá - Cundinamarca y residuos de demolición y construcción (RCD), para su uso como agregado fino en la producción de CONCRETO LYR cumpliendo estándares técnicos, económicos, ambientales, y legales. Según su metodología primero se determinaron las fuentes de materiales tanto para RCD como para lodo, luego se realizó el análisis técnico de los materiales a partir de ensayos de caracterización físicos y químicos, posterior a ello se realizaron diseños de mezcla para 3 porcentajes de reemplazo de materiales gruesos y finos del 10, 20 y

30% en la producción estándar de concreto. También realizaron un análisis ambiental utilizando el software OPENLCA, análisis económico de oferta y demanda, y finalmente una revisión legal. Concluyendo que el aprovechamiento de RCD y lodos es viable en el componente ambiental e inviable en el componente legal, técnico y económico.

Nguyen, Thomas, Surapaneni, M. Moon, y A. Milne (2021) En su investigación titulada “Beneficial reuse of water treatment sludge in the context of circular economy”. Los procesos de tratamiento del agua producen grandes volúmenes de agua potable que deben cumplir los requisitos de calidad reglamentarios. Al hacerlo, el tratamiento del agua genera grandes volúmenes de "lodos aluminosos", un subproducto que suele considerarse un residuo y que se deposita en un vertedero. Sin embargo, la reducción del acceso a los vertederos, el aumento de los costes de eliminación y el concepto de conseguir un residuo cero están impulsando diferentes enfoques para la gestión y eliminación de los lodos. Los principios de la Economía Circular que buscan promover el diseño regenerativo, eliminando los residuos y el uso continuo de los recursos, son cada vez más importantes para las autoridades del agua. Este documento revisa exhaustivamente las propiedades generales de los lodos del tratamiento del agua, las prácticas contemporáneas de eliminación y su gestión sostenible de los recursos, incluidas las opciones de reutilización, reciclaje y recuperación de los lodos. También se analizan los posibles beneficios y obstáculos sociales, económicos y medioambientales de la aplicación de una gestión sostenible de los recursos con los lodos de depuración de aguas en el contexto de la economía circular. Se discuten las futuras oportunidades de investigación con un enfoque en la promoción de prácticas de gestión sostenible donde los lodos de tratamiento de agua se consideran un recurso de valor añadido.

Singh, Chaudhary, Kumar, Kanoung, y Goyal (2022) En su trabajo de investigación titulado “Impact of dry sewage sludge on characteristics of concrete”. Este caso de estudio tiene como objetivo, encontrar un método alternativo y eficaz de eliminación de los lodos secos de las plantas de tratamiento de agua potable para usarlos como material de construcción en el hormigón. En el estudio se informa de varias propiedades, como la trabajabilidad, la resistencia a la compresión, la velocidad de los impulsos ultrasónicos, la resistencia a la tracción dividida, la absorción de agua y el análisis de costes y beneficios. Según el estudio, es posible utilizar un 5% de lodos secos de la planta de tratamiento de agua como agregado fino sin que ello tenga una

influencia negativa significativa en las características del hormigón. Con el uso de lodos secos de la planta de tratamiento, el coste de fabricación del hormigón puede reducirse en un 1.63%.

## 2.2 Investigaciones y bases teorías relacionadas con las variables de estudio

### 2.2.1 Tipos de plantas de tratamiento de agua potable.

Según Rolando Mancha (2019), existen muchos tipos de plantas potabilizadoras que pueden ser clasificadas dependiendo del tipo y calidad de agua que presentan sus fuentes, sin embargo, se pueden agrupar en 3 principales grupos los cuales son:

#### a) Plantas de tratamiento de convencionales

Este tipo de plantas de tratamiento, así como el lugar donde se realizan los procesos de potabilización de agua generalmente están conformados por estructuras de concreto armado, las cuales sus principales procesos de potabilización son los floculadores, sedimentadores y en ocasiones filtros de grava de diferente granulometría, el tiempo de proceso es muy alto y de poca eficacia. (Blog Normas y Fibras, 14 de agosto de 2021).



Figura 8. Planta de tratamiento de agua potable convencional.

Fuente: Rolando Mancha, 2021.

#### b) Plantas de tratamiento compacta

Según Synertech, (2021) indica que las plantas para tratamiento de agua potable, Compacta están diseñadas para pequeños y medianos volúmenes de agua excelente para centros poblados. Indica que están diseñadas para satisfacer entre la cantidad de

2000 habitantes hasta 9000 habitantes. Según la patente esta planta está diseñada para una complejidad alta en el tratamiento de agua cruda.



Figura 9. Planta potabilizadora de agua móvil.

Fuente: Synertech, 2021.

c) Planta de tratamiento con filtración directa

Este tipo de planta depende de la calidad del agua ya que el sistema de tratamiento podría estar constituida por un sistema de filtración simple o doble a diferencia de las plantas de tratamiento anteriormente el agua debe pasar por los siguientes procesos para que el agua sea apta para el consumo humano: Los cuales son el Pre sedimentado, Sedimentado, Prefiltros de grava y Filtro Lento. (Aquaductos, 2021).

d) Planta de tratamiento por Osmosis Inversa

El tratamiento de osmosis inversa es un proceso de purificación de agua, en el cual se combinan factores como presión y permeabilización con el fin de separar partículas indeseadas del agua, y lograr obtener agua potable, pura y ultrapura, según sea la necesidad. Este proceso tiene grandes aplicaciones industriales y comerciales, entre las más comunes está la desalinización de agua de mar para convertirla en agua potable, la reducción de sólidos disueltos para la alimentación en procesos con calderas o sistemas de vapor, la separación y eliminación de virus para las industrias farmacéuticas, entre muchas aplicaciones más. (José Alberto Moreno Benavides, 2011).

Según Sebastián Zamora, (2018) las principales características del proceso de potabilización a través de la ósmosis inversa son:

- Permite remover la mayoría de los sólidos disueltos en el agua.
- Remueve los materiales suspendidos y microorganismos.
- Realiza el proceso de purificación en una sola etapa.
- Proceso de purificación de forma continua.
- Es modular y necesita poco espacio, de acuerdo a los caudales deseados.
- El proceso se realiza sin cambio de fase, consiguiendo ahorro de energía.
- Es una tecnología extremadamente simple que no requiere de mucho mantenimiento y puede operarse con personal no especializado.

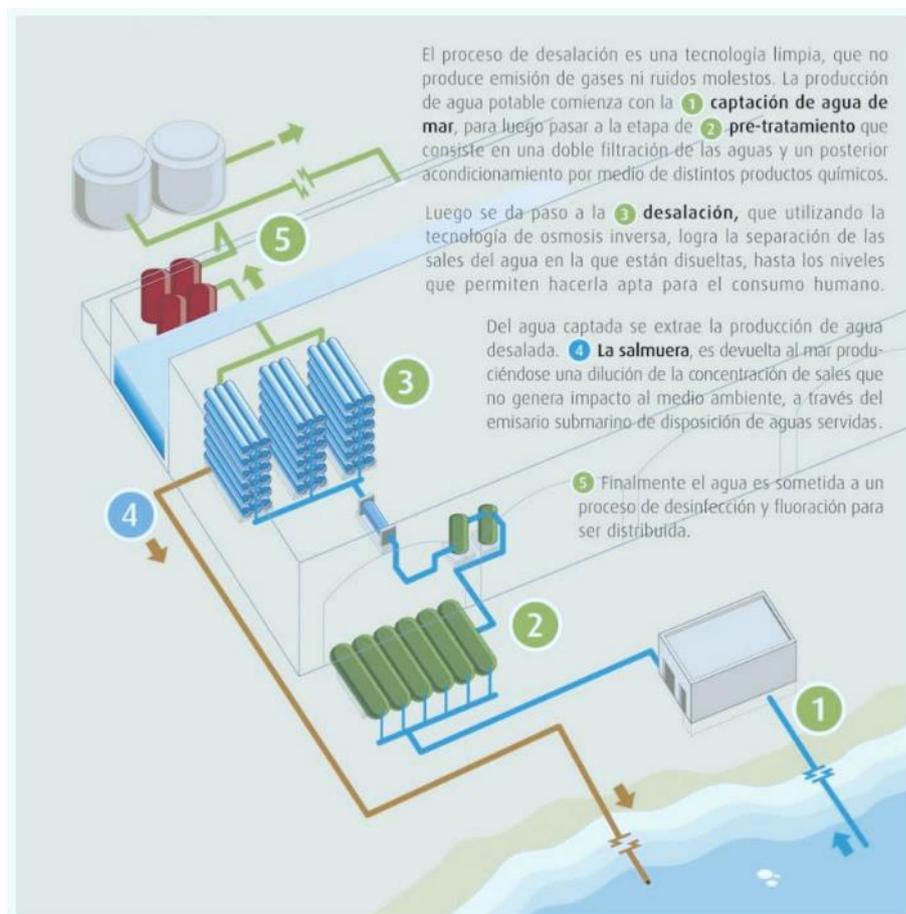


Figura 10. Esquema de funcionamiento de una planta de osmosis inversa.

Fuente: Aguasistec, (2018).

### 2.2.2 Composición principal de los lodos provenientes de plantas de tratamiento

Los lodos provenientes del tratamiento de agua potable (LPTAP) es un subproducto inevitable durante el proceso de tratamiento de agua (Ahmad, T., Ahmad, K., Alam, M., 2016).

Según Aldana Tique & Pérez Rojas (2017) los LPTAP son sólidos que presentan contenidos de humedad variables, estos se generan de la limpieza de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, de las plantas de tratamiento de agua potable y de las plantas de tratamiento de aguas residuales, las cuales no han sido recibido los correctos procesos de estabilización.

El contenido de aluminio varía mucho entre los LPTAP, pero en promedio, representa aproximadamente el 16 % de la composición química (en peso) del lodo de alumbre y otros orgánicos e inorgánicos importantes (Muisa, N., Nhapi, I., Ruziwa, W., Manyuchi, M.M.,2020).

Los componentes de los lodos reflejan elementos y compuestos como Ca, SiO<sub>2</sub>, Fe, Cl, SO<sub>4</sub> y ácidos húmicos, que se eliminan del agua cruda durante el tratamiento del agua procesada o se agregan dentro de los productos químicos de tratamiento. Sin embargo, en el lodo también se pueden encontrar otros óxidos, incluidos CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, así como algunos metales traza (Minh Duc Nguyen, Michael Thomas, Aravind Surapaneni, Ellen M. Moon, Nicholas A. Milne, 2022).

Los LPTAP en su mayoría son bajos en sólidos, por lo tanto, la eliminación de sus bajos sólidos requiere el manejo de un gran volumen de lodo. El principal problema en el tratamiento de lodos es, por tanto, concentrar los sólidos eliminando la mayor cantidad de agua posible y reducir su contenido orgánico. La cantidad de lodos producidos varía mucho según el proceso de tratamiento utilizado en cada planta. (Aldair Granoble y Leo Tarira, 2022). El volumen de lodo depende principalmente de su contenido de agua y muy poco del carácter del material sólido según los autores.

El contenido de agua se expresa normalmente como porcentaje en masa; por ejemplo, un lodo con 90% de humedad contiene 90% de agua en masa y un 10% de sólidos en masa. Aunque el volumen de lodos producidos por el tratamiento de aguas residuales, representa solo del 1 al 2% del volumen total de aguas residuales tratado, representa del 20 al 60% del total operativo gastos de LPTAP (G.M. Rabie, H.A. El-Halim, E.H. Rozaik, 2019).

a) Tipos de Lodos.

Existen diversos tipos de lodos, según el proceso, tratamiento u operación unitaria por la que se trate el agua se obtienen los siguientes subproductos (Gutiérrez Rosero, Ramírez Fajardo, Balmes Linares, & Paredes, 2014).

- Lodos de decantación primaria: Son de color negro y su olor, aunque puede alcanzar a ser desagradable.
- Lodos de decantación secundaria: Son de color marrón, relativamente claros y debido a que están bien ventilados, por lo general no generan olor tan desagradable. Sin embargo, si no están adecuadamente ventilados, su color cambia, se oscurece y produce un olor casi tan fuerte como el lodo de decantación primario.
- Lodos de lechos bacterianos: Son de color marrón y no producen olores desagradables, cuando están frescos. Se descomponen más lento que el lodo de decantación secundario, excepto en el caso de que contengan organismos superiores (ej. gusanos), y en este caso el olor puede tornarse desagradable rápidamente.
- Lodo digerido: Son de color negro y tienen un olor a tierra. Este lodo proviene de procesos digestivos aeróbicos. Suelen contener una proporción de materia orgánica entre 45 y 60%.
- Lodos de aprovechamiento: Son los lodos de un proceso de tratamiento que pueden reutilizarse directa o indirectamente en reciclaje, compostaje, fabricación de energía, entre otras cosas. La mayor parte de los lodos proceden de los procesos de tratamiento aeróbico y anaeróbico de plantas de tratamiento de aguas residuales que una vez estabilizadas, pueden usarse como fertilizantes, acondicionadores y restauradores de suelos.
- Lodos inutilizables: Son lodos que no tienen propiedades aceptables, ya que tienen muy poca o ninguna carga orgánica o rendimiento con un poder calorífico muy bajo, se pueden eliminar junto con los residuos sólidos de origen doméstico en vertederos municipales o rellenos sanitarios. Los retenidos por las mallas gruesas y finas de las plantas de tratamiento de aguas residuales entran en esta categoría.
- Lodos peligrosos: Son aquellos que contienen sustancias que pueden causar daño de la salud humana o del medio ambiente, que deben desecharse en lugares especiales con las medidas de seguridad adecuadas. Los términos lodo y biosólido a menudo se confunden. La principal diferencia es que el biosólido ya es un lodo

establecido, lo que significa que ha sido objeto de un proceso de tratamiento encaminado a la capacidad de fermentación, atracción de vectores y patogenicidad, logrando así la reducción del nivel de riesgo y aminorando su restricción para su reutilización.

#### b) Características de los Lodos

Los lodos procedentes de las Plantas de Tratamiento de Agua Potable están compuestos fundamentalmente por las materias presentes en el agua bruta y que por oxidación, coagulación y precipitación han sido retenidos en los decantadores (sedimentadores) y filtros (desarenadores) así como por sustancias (óxidos e hidróxidos) procedentes del floculante y otros reactivos como cal, permanganato, carbón, que se han empleado en el tratamiento (Angie Julieth Aldana Tique y Ricardo Andrés Pérez Rojas, 2017).

Las sustancias contenidas en el agua bruta son generalmente inertes, por ejemplo, arcillas, arenas, etc. Además de orgánicas como el plancton y otros microorganismos. De aquí que las características de los lodos varíen en función de la calidad del agua bruta y del tratamiento de potabilización aplicado a esta (Granoble García, Marcos y Aldair Tarira Santander, Leo Joel, 2022).

La característica física fundamental a tener en cuenta es el contenido de humedad ya que mientras más elevado sea el valor más difícil será manejarlo y almacenarlo, por consiguiente, representan un valor adicional para su tratamiento y posible aprovechamiento o disposición final. En un lodo primario la humedad está entre 92% a 96% de agua en peso de material base y en un lodo secundario está entre el 97.5% a 98% de agua en peso de material base (Gualoto Gualoto, 2016).

Según Aldana Tique & Pérez Rojas (2017) son sólidos con un contenido variable de humedad, provenientes de la limpieza de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, de las plantas potabilizadoras y de las plantas de tratamiento de aguas residuales, que no han sido sometidas a procesos de estabilización. Las características del lodo proveniente de una planta de tratamiento de agua potable dependen del origen del agua cruda y de los sistemas u operaciones unitarias usadas en el tratamiento del agua.

Diferentes procesos de 18 tratamientos generan diferentes tipos y volúmenes de lodo. En una planta en particular, las características del lodo pueden cambiar anual, estacional o diariamente.

Tabla 2. Características físicas de los LPTAP según diversos autores.

Parámetro	Unidad	Rango	Referencia
pH	-	5.12 – 8.0	Dassanayake et al. (2015)
TOC carbón orgánico t.	g/kg	17 – 149	Dayton y Basta (2001) y Yang et al. (2018)
Área superficial	m <sup>2</sup> /g	28.0 – 227	Zhao et al (2015), Maqbool et al. (2016)
EC conductividad e.	dSm <sup>-1</sup>	0.22 – 1.66	Brady et al. (2008) y Dayton y Basta (2001)
C. Intercambio cationes	cmol kg <sup>-1</sup>	13.6 – 56.5	Dayton y Basta (2001)

Nota. Fuente: Adaptado de Minh Duc Nguyen et al., (2022).

Estas características químicas están estrechamente relacionadas según sea el origen del afluente y al tipo de tratamiento que se le aplique tanto a las aguas residuales como a sus posteriores lodos resultantes. “Los parámetros para su caracterización son: contenido de materia orgánica (Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO, Demanda Química de Oxígeno DQO, Carbono Orgánico Total COT), metales pesados, conductividad, pH, parámetros inorgánicos (arenas y arcilla) y parámetros orgánicos (aceites y grasas)” (Gualoto Gualoto, 2016).

La cantidad y las propiedades de los lodos residuales provenientes del tratamiento de agua son específicas de cada ubicación y dependen de varios factores, como los cambios estacionales en la calidad del agua cruda, los procesos de tratamiento y el uso de productos químicos (Ahmad et al., 2017). SiO<sub>2</sub>, que proviene principalmente del agua cruda, representa una parte significativa de la composición de los lodos, seguida por Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Ahmad et al., 2016). Las proporciones de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> están directamente relacionadas con el volumen y tipo de coagulantes utilizados en el tratamiento del proceso. Los coagulantes metálicos (a base de aluminio y de hierro) son los productos químicos más populares utilizados para la coagulación y procesos

de floculación (Bahadori, A., Clark, M., Boyd, B., 2013). La popularidad de los coagulantes metálicos se debe a su costo comparativamente bajo, alta disponibilidad y eficiencia en la eliminación de turbidez y color (Bratby, 2016).

Sulfato de aluminio  $[Al_2(SO_4)_3]$  y el cloruro de aluminio  $(AlCl_3)$  son los coagulantes metálicos más comunes que se utilizan en el tratamiento de agua y aguas residuales. (Crittenden et al., 2012). Cuando se utilizan coagulantes a base de aluminio en el proceso de tratamiento de agua potable, el lodo residual generado se conoce generalmente como 'lodo de alumbre', que es el residuo más común en la potabilización del agua (Minh Duc Nguyen et al., 2022).

Tabla 3. Composición Química de los LPTAP según diversos autores.

Composición Química (%)								Descripción del análisis
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	
52.75	20.15	6.75	0.3	-	0.87	3.69	-	Espectrómetro de energía dispersa (EED)
24.68	30.39	11.59	0.16	0.17	-	0.35	-	Rayos X de difracción
9.41	51.01	0.7	1.31	0.22	0.07	0.2	0.36	Rayos X de fluorescencia
52.78	14.38	5.2	4.39	3.08	0.97	3.62	0.17	Rayos X de energía dispersa

Nota. Fuente: Adaptada de Minh Duc Nguyen et al. (2022, p. 5).

El lodo residual según sus características biológicas está conformado por un sinnúmero de microorganismos entre estos tenemos bacterias, virus y parásitos, por ende, se presenta como el factor que más afecta a una población derivando a la necesidad de un tratamiento específico para con los lodos residuales por su elevada concentración de patógenos con la finalidad de disminuir los mismos, sin embargo,

esto no asegura que dicho biosólidos no signifique un riesgo para la salud. (Gualoto Gualoto, 2016).

#### c) Destino final del lodo

Según Andreoli (2006), en Brasil, hay alrededor de 7500 Estaciones Tratamiento de Agua que utilizan el tratamiento convencional y arrojan sus desechos directamente a los cursos de agua. Además de los problemas ambientales generados por la industria del saneamiento desde 1997, ha habido una preocupación legal desde el establecimiento de la Política Nacional de Recursos Hídricos, que definió la concesión de la liberación de efluentes como un instrumento de gestión de los recursos hídricos. Con esto, la industria también comenzó a tener una preocupación financiera.

En todo el mundo ha habido un avance en la legislación de protección ambiental y, en consecuencia, se han desarrollado métodos para reducir el volumen de lodo y las tecnologías para recuperar el coagulante utilizado y las técnicas alternativas de utilización de lodo. Hay varias posibilidades para la eliminación de residuos de ETA. Entre ellos, los más utilizados en los países desarrollados son la disposición de vertederos, la aplicación controlada de tierras y el reciclaje (Andreoli, 2006).

Según Di Bernardo y Paz (2008), para determinar el tratamiento y el destino final del lodo es necesario conocer la cantidad generada y sus características. Para tener un manejo más eficiente y con más opciones de eliminación, el lodo debe tener la máxima concentración de sólidos posible. Esto depende principalmente del método de tratamiento del agua y del coagulante utilizado. ASCE y AWWA (1996) señalan que se están estudiando opciones innovadoras de eliminación final, como la aplicación de lodo ETA en el suelo y la incorporación como materia prima en la fabricación de ladrillos y bloques de hormigón. Estas alternativas pueden resultar más rentables que la eliminación tradicional de lodos ETA.

### 2.2.3 Economía circular

#### a) Definición

Kirchherr et al., (2017) define la economía circular como: “Un sistema económico que se basa en modelos de negocio que sustituyen el concepto de “fin de vida” por la reducción, reutilización, reciclaje y recuperación de materiales en procesos de producción, distribución y consumo, operando así a nivel micro (productos, empresas, consumidores), nivel meso (parques eco-industriales) y nivel macro (ciudad, región,

nación y más), con el objetivo de lograr un desarrollo sostenible, que implica crear calidad ambiental, prosperidad económica y la equidad social, en beneficio de las generaciones actuales y futuras”. El modelo de economía circular distingue entre ciclos técnicos y biológicos.

En los ciclos biológicos, los alimentos y los materiales biológicos (como el algodón o la madera) están diseñados para reintegrarse en el sistema a través de procesos como el compostaje y la digestión anaeróbica. Estos ciclos regeneran los sistemas vivos, como el suelo, que proporcionan recursos renovables para la economía. Por otro lado, los ciclos técnicos recuperan y restauran productos, componentes y materiales a través de estrategias como reutilización, reparación o en última instancia reciclado (Ellen MacArthur Foundation, 2017).

#### b) Principios de la economía circular

De acuerdo a Ellen MacArthur Foundation (2017), la economía circular se basa en tres principios, los cuales son:

- Conservar y mejorar el capital natural controlando las existencias finitas y equilibrando el flujo de recursos renovables, por ejemplo, reemplazando los combustibles fósiles con energía renovable o devolviendo nutrientes a los ecosistemas.
- Optimizar los rendimientos de los recursos haciendo circular los productos, los componentes y los materiales en uso a la máxima utilidad en todo momento tanto en ciclos técnicos como biológicos, por ejemplo, compartiendo o colocando productos en bucle y extendiendo la vida útil del producto. De acuerdo con Euromonitor International (2018), en Europa, la utilización de energía solar y eólica ha registrado un crecimiento de 2007 a 2017 de aproximadamente 1500%.
- Fomentar la efectividad del sistema evitando o eliminando las externalidades negativas, como la contaminación del agua, aire, suelo y acústica, el cambio climático, las toxinas, y efectos negativos para la salud relacionados con el uso de los recursos. Los tres principios de la economía circular se pueden traducir en seis acciones comerciales: Regenerate (regenerar), Share (compartir), Optimise (optimizar), Loop (crear bucles), Virtualise (virtualizar) y Exchange (cambiar), que corresponden al marco de referencia ReSOLVE.

#### c) Economía circular en la aplicación de lodos de PTAP

En la Economía Circular, la gestión de residuos desempeña un papel importante, y la estrategia de "residuos cero" es uno de los conceptos más visionarios. Una estrategia de residuo cero incluye el despilfarro cero de recursos (energía, materiales, humanos), cero emisiones/vertidos (agua, aire, suelo), cero residuos en las actividades (producción, administración), cero residuos en la vida del producto (transporte, uso fin de vida), y cero usos de materiales tóxicos (procesos y productos) (Curran y Williams, 2012). En este sentido, el lodo residual generado por las PTAP se considera una descarga del proceso de tratamiento del agua, que debe "diseñarse" implicando la innovación a lo largo de la cadena de valor para reducir la generación de residuos, reciclar los residuos y eliminar el vertido.

Smol et al. (2020) propusieron un marco de modelo de Economía Circular para el sector del agua y las aguas residuales que incluía: "Reducir, Regenerar, Reutilizar, Reciclar, Recuperar y Replanteo". A "Reducir" se le da la importancia que tiene en el proceso de diseño para fomentar el consumo mínimo de recursos y la generación de residuos. La "Recuperación" se centra en la eliminación de los contaminantes en los residuos del sistema en bucle para minimizar la huella en el medio ambiente. La "reutilización" busca mejorar la calidad ambiental reduciendo la presión de la sustitución de materias primas y los vertidos al medio ambiente. Reciclaje y recuperación son conservar los recursos recuperables en el sistema y reducir los flujos de residuos. El "replanteamiento" es la base para introducir cambios sistemáticos en toda la cadena de valor del agua para crear una economía sostenible en la que "no se desperdicie nada y donde se gestionan los recursos naturales" (Lee et al., 2017). Para aplicar estos enfoques hacia la economía circular, se requerirán cambios holísticos en el sistema, no solo en un sentido tecnológico y financiero, sino también organizativo, para crear una cultura sostenible y orientada al reciclaje en las organizaciones (Smol et al., 2020).

En el caso de la producción de lodos residuales, la investigación sobre la reducción del volumen de los lodos es muy limitada en la bibliografía. La cantidad de lodos producidos depende en gran medida de la calidad del agua bruta, los tipos de coagulantes y la dosificación. Mientras que la calidad del agua bruta varía significativamente con el cambio de estación, se puede conseguir una reducción de la producción de lodos con la selección de coagulantes y la optimización de la dosificación depende de las propiedades del agua bruta y de los resultados de las

pruebas de los tarros (Wilson, 2003). Sin embargo, es poco probable que la cantidad de lodos producidos se considere un factor crítico en comparación con la calidad del agua tratada y el coste químico en la optimización del proceso de tratamiento del agua. Por lo tanto, en la actualidad, no existe ningún factor legislativo o financiero significativo para el enfoque de "reducción" de lodos residuales.

En cuanto a la regeneración, la contaminación no es un problema importante en el tratamiento de agua potable. En comparación con los lodos del tratamiento de aguas residuales, los riesgos medioambientales asociados al tratamiento de agua potable son bajos debido a la relativa limpieza de la fuente de agua en lo que respecta a los metales pesados y la materia orgánica, así como a los niveles de patógenos (Dassanayake et al., 2015). El componente crítico en los lodos generados por las PTAP es el aluminio; por lo tanto, la principal preocupación es la lixiviación del aluminio en los vertederos o a partir de las aplicaciones terrestres de la STM (Codigo aplicaciones terrestres de los lodos de alumbre (Codling et al., 2007). La fitotoxicidad del aluminio está fuertemente relacionada con las condiciones ambientales del suelo que pueden aumentar la solubilidad del aluminio, y el pH es uno de los factores críticos. Las fases de aluminio presentes en las PTAP son más solubles en condiciones ácidas. Si el pH es superior a 5, es poco probable que el aluminio plantee algún peligro en el medio ambiente (Mahdy et al., 2009). El pH de los lodos aluminosos está generalmente en el rango de 5,12-8,0; por lo tanto, es poco probable que la lixiviación del aluminio sea significativa. El riesgo es mayor cuando los lodos aluminosos se aplican a suelos ácidos o el suelo tratado se vuelve a acidificar debido a las lluvias o a las actividades agrícolas normales (Dassanayake et al., 2015). Por lo tanto, la "recuperación" no se considera crítica en el marco de la gestión de residuos de PTAP. La reutilización, el reciclaje y la recuperación siguen siendo los enfoques clave del marco de gestión de residuos relevantes para las PTAP. Un resumen detallado de los estudios recientes sobre la reutilización de PTAP reciclaje y recuperación se presentarán en las siguientes secciones.

#### 2.2.4 Análisis de Ciclo de vida (ACV)

##### a) Historia del análisis del ciclo de vida

Según Guine et al. (2002) El ACV es una herramienta de gestión ambiental, que nos provee de un buen enfoque para evaluar el impacto ambiental, social y económico para

comprender e identificar los aspectos negativos y positivos del material o producto a lo largo de su ciclo de vida.

La evaluación del ciclo de vida se desarrolló por primera vez a finales de los 60 y principios de los 70, durante la crisis del petróleo. La gente hacía cola para conseguir gasolina y los costes de la energía se disparaban. Las empresas buscaban formas de ahorrar en sus facturas de energía, ya que sus clientes pedían productos eficientes desde el punto de vista energético. Las empresas también empezaron a utilizar el ACV internamente para mejorar sus productos. Así surgió el impulso de los primeros inventarios del ciclo de vida (Guine et al. 2002).

A finales de la década de 1980, se empezaron a realizar inventarios del ciclo de vida de la energía y la masa de los sistemas de productos. En 1990, la Sociedad de Toxicología y Química Ambiental Chemistry (SETAC) organizó talleres de ACV e identificó las distintas etapas del marco de ACV. Dos años más tarde, se revisó el marco del ACV, y se añadió la etapa "Objetivo y Alcance", fundamental para el ACV. Así se identificaron las cuatro partes de una ACV: Objetivo y alcance, análisis del inventario, evaluación del impacto, interpretación. (Guine et al. 2002).

No fue hasta que la ISO desarrolló una serie de normas de gestión medioambiental, que incluía un comité técnico encargado de desarrollar una norma de ACV. La culminación de este esfuerzo fue una norma internacional voluntaria que se mantiene hoy en día como norma para la realización de un ACV. (Guine et al. 2002).

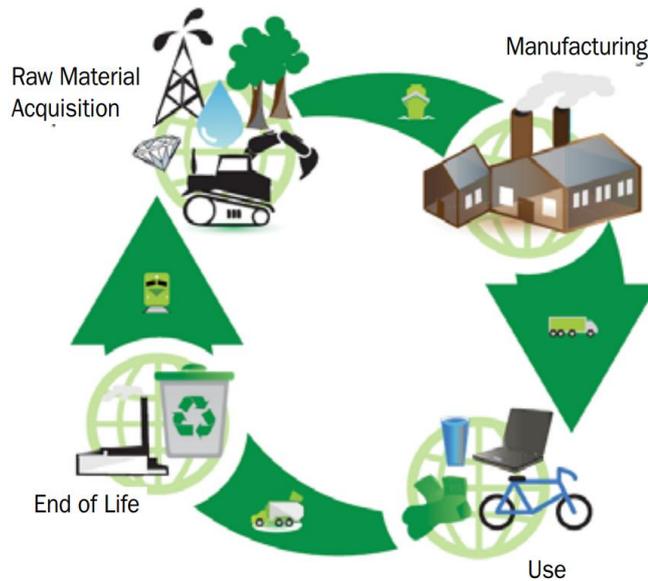


Figura 11. Ciclo de vida: desde la materia prima hasta su eliminación

Fuente: Guine, 2022.

En la figura 11, se muestra el proceso iterativo del ciclo de vida: desde la extracción de la materia prima (Raw Material Acquisition) hasta el final de su vida útil (End of Life).

b) Definición según normativa internacional

La international organization for standarization (ISO) logro establecer un documento base metodológico y se definió al análisis de ciclo de vida como una “técnica para determinar los aspectos ambientales e impactos potenciales asociados a un producto, compilando un inventario de las entradas y salidas relevantes del sistema, evaluando los impactos ambientales potenciales asociados a esas entradas y salidas, e interpretando los resultados de las fases de inventario e impacto en relación con los objetivos del estudio” (ISO 14040, 2006).

De acuerdo a la norma ISO 14040 hasta la ISO 14044, estandariza 4 fases para el desarrollo de la metodología del Análisis del Ciclo de Vida (ACV). Estas fases son, (figura 12): Objetivo y Alcance de estudio, Análisis del Inventario del ciclo de vida (ICV), Análisis del impacto e interpretación (ISO 14040, 2006).

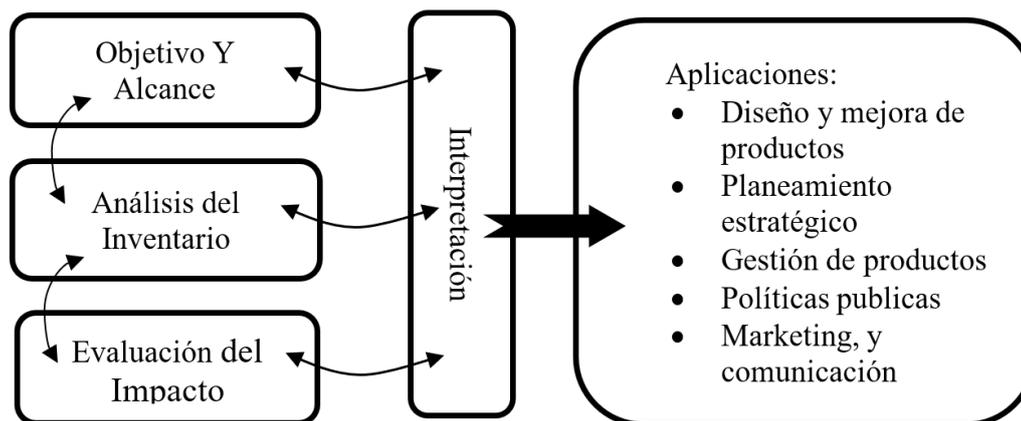


Figura 12. Fases en la metodología del análisis de ciclo de vida.

Fuente: Adaptación de ISO 14040, 2006.

La primera fase, objetivo y alcance, delimita los rasgos generales del producto a analizar relacionando su alcance con las posibles aplicaciones que pueda tener. Definiendo así los límites del sistema dentro de su cadena de producción; es decir, según el alcance, se podrá determinar los puntos críticos a evaluar. Ya que esta herramienta nos ofrece la facilidad de comparar, se debe de elegir una unidad funcional en común que permita establecer las diferencias entre los productos a evaluar y seguir con el siguiente proceso.

Con respecto al Análisis de Inventario, la ISO 14044 (2006) expone que el ICV se encuentra conformado de la cuantificación, y el registro de entradas (inputs) y salidas (outputs) para los productos a través del sistema y sus límites elegidos. Para esta fase se requiere hacer uso de bases de datos (cualitativos y cuantitativos).

La fase de evaluación del impacto (LCIA) trata de entender los impactos ambientales generados, evaluando su magnitud y significancia, dentro del contexto de los objetivos y alcance del producto a analizar, mediante el uso de categorías de impacto, indicadores de categoría, modelos de caracterización, factores de equivalencia, y valores de ponderación para traducir los datos brutos en impacto potencial sobre la salud humana y el medio ambiente. (ISO 14042, 2006).

La fase de interpretación, es una etapa importante que tiene lugar a lo largo de las tres primeras etapas como un proceso iterativo para evaluar los resultados en el contexto de los objetivos del proyecto. Los resultados deben validarse mediante un panel de

revisión crítica de terceros interesados. Los resultados del estudio deben indicar los impactos significativos y recomendar métodos para reducir el uso de materiales y cargas medioambientales.

El análisis de ciclo de vida se ha aplicado habitualmente a cuestiones de gestión de residuos sólidos, incluidos los lodos de aguas residuales (Pradel et al., 2016), pero hasta la fecha no se ha realizado ningún estudio realizado sobre la gestión de los lodos producto del tratamiento de agua potable. Existe una clara necesidad de realizar futuros estudios sobre el análisis de ciclo de vida de la gestión de los lodos del tratamiento del agua potable (Minh Duc Nguyen et al., 2022).

a) Software para el desarrollo del análisis de ciclo de vida.

Si bien para realizar un análisis de ciclo de vida, puede ser hecha de forma manual en una hoja utilizando una calculadora o bien creando una hoja de cálculo en la computadora, el proceso sería muy tardado, debido a la inmensa cantidad de variables que se manejan. Es por eso que en el mercado existen diverso software, según los requerimientos que se necesiten y con bases de datos que faciliten el análisis de ciclo de vida.

Según Nargessadat et al., (2020) los softwares más utilizados a nivel mundial son: SimaPro que puede cargar diversas bases de datos y GaBi, que cuenta con su propia base de datos.

Por otro lado, Lazaros et al., (2021) explica que OpenLCA es un software de código abierto, amigable con el usuario para la evaluación de sostenibilidad y análisis de ciclo de vida. Rivaliza con programas como SimaPro, Gabi y Umberto. Una de sus ventajas es que se pueden usar diversas bases de datos que pueden ser comerciales o de uso gratuito.

## 2.2.5 Normativa técnica para la aplicación de concreto

a) Normas Nacionales para el uso de agregados

NTP 400.037 AGREGADOS. Agregados para concreto. Requisitos.

NTP 400.12 AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global.

NTP 400.022 AGREGADOS. “Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino”.

NTP 400.017 AGREGADOS. “Método de ensayo para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (“Peso Unitario”) y vacíos en los agregados”

NTP 339.185 AGREGADOS. “Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado”

NTP 400.021 AGREGADOS. “Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso”

b) Normas Nacionales para el uso de concreto

NTP 339.034 CONCRETO. “Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas”

NTP 339.035 CONCRETO. “Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de Cemento Portland”

NTP 339.183 CONCRETO. “Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio”

NTP 339.072 CONCRETO. “Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo”

## 2.2.6 Elementos que constituyen el concreto

a) Cemento

El cemento es un conglomerante hidráulico, es decir, un material inorgánico finamente molido que mezclado con agua forma una pasta que fragua y endurece por medio de una reacción química denominada hidratación. Este material tiene la característica de que una vez formado el concreto y derivados, adquiere las propiedades de resistencia, durabilidad, masa unitaria, estabilidad de volumen y apariencia adecuadas para la construcción según Shetty. M.S, y Jain. S.K. (2020). Aunque existen muchos tipos de cemento, el más utilizado en la elaboración de obras civiles es el cemento Portland. Dentro de los ensayos más comunes que se realizan al cemento para conocer sus características y propiedades son: tiempo de fraguado, finura del cemento, consistencia de la pasta, solidez y resistencia M. Mamlouk y J. Zaniewski (2020).

b) Agregados

Los agregados dentro de la composición del concreto se dividen comúnmente en agregados finos (generalmente arena) y agregados gruesos (generalmente grava).

Estos son los principales materiales que componen el concreto, pero actualmente definir el concreto por esta composición es en muchos casos incorrecto debido a la cantidad de nuevos materiales y aditivos que se pueden incorporar. (Gianfranco Catanzaro y Óscar Zapana, 2019).

En la actualidad, también se debe incluir en la composición del hormigón la posibilidad de utilizar cemento con puzolana, ceniza volante, escoria de alto horno, ácido microsilícico, aditivos, árido reciclado del hormigón, áridos, polímeros, fibras, etc. Los procedimientos para obtener el producto final de hormigón también lo definen, ya que puede sufrir diferentes procesos como tipos de curado, inyección a presión, vibración, proyección a alta velocidad, etc. Los diversos procesos y materiales definen el concreto hoy en día, pero para los propósitos de esta investigación usaremos la definición de concreto simple, que es solo una combinación de cemento, agua, agregado fino y agregado grueso. (Enrique Pasquel, 1993).

Los ingenieros de control de calidad valoran más las propiedades mecánicas del concreto, dentro de las cuales incluyen la resistencia a la compresión, la resistencia a la tracción, el módulo de Young, la relación de Poisson, etc. En el diseño y control de calidad del hormigón, la resistencia a la compresión es la propiedad más valiosa. Porque en comparación con la mayoría de las otras propiedades, probar la resistencia a la compresión es relativamente fácil. Además, se cree que muchas propiedades del hormigón, como el módulo de Young, la impermeabilidad y la resistencia a la intemperie, incluida la agresión del agua, dependen de la resistencia y, por lo tanto, pueden hallarse una vez teniendo la resistencia a la compresión (Yuan, 2021).

#### 2.2.7 Proceso de producción del cemento

El proceso de producción del cemento Portland inicia con la extracción en cantera de las materias primas, las cuales constan principalmente de 2/3 de material calcáreo y 1/3 de material arcilloso. El material calcáreo es un óxido de calcio que para la fabricación del cemento se extrae principalmente de piedra caliza, mientras que el material arcilloso es una combinación de silicio y aluminio que puede obtenerse a partir de arcilla, esquistos o escorias de alto horno.

Otras materias primas que se utilizan son el sílice, alúmina y óxidos de hierro según M. Mamlouk y J. Zaniewski (2020). Luego de que el material es extraído y clasificado, inicia el proceso de trituración a través de una molidora con el fin de lograr la

fragmentación de la roca caliza y la arcilla, esto ocurre por medio de un proceso de fabricación en húmedo o seco; en otras canteras se emplea un proceso en seco, el cual es más eficiente debido a que se emplea un ciclo de recuperación de calor.

Seguidamente ocurre el proceso de pre-homogeneización, donde el material triturado se dosifica de acuerdo con el tipo de cemento que se deba producir. Posteriormente ocurre el proceso de homogeneización, en este el material es trasladado por medio de una banda transportadora hacia un molino a una temperatura de 320 °C para secar la caliza, capaz de reducir el material a polvo, obteniéndose así una mezcla denominada crudo, para lograr la homogeneización del crudo, se mezcla la harina cruda hasta obtener un material homogéneo para lo cual se utiliza aire comprimido. El sistema de homogeneización consiste en dos silos, uno para la recepción del producto de la molienda y otro para la homogeneización según A. León y V. Guillén (2020). Luego de este proceso la materia prima molida se introduce en la parte superior de un horno de cocción e inicia el proceso de clinkerización. A medida que el crudo desciende al interior del horno, los gases ascienden a contracorriente precalentando así el crudo hasta alcanzar temperaturas entre 1400°C a 1650°C.

En este punto se producen reacciones complejas que dan lugar al clinker (lo cual será explicado más adelante). Luego el material atraviesa un proceso de enfriamiento y se almacena. El proceso final, M. Mamlouk y J. Zaniewski (2020) señalan que añadir yeso al clinker para regular su tiempo de fraguado. Después de esta adición el cemento adquiere su característico color gris, por último, el producto acabado puede almacenarse y transportarse a granel o en sacos. Todo lo anterior descrito se sintetiza en la Figura 13.

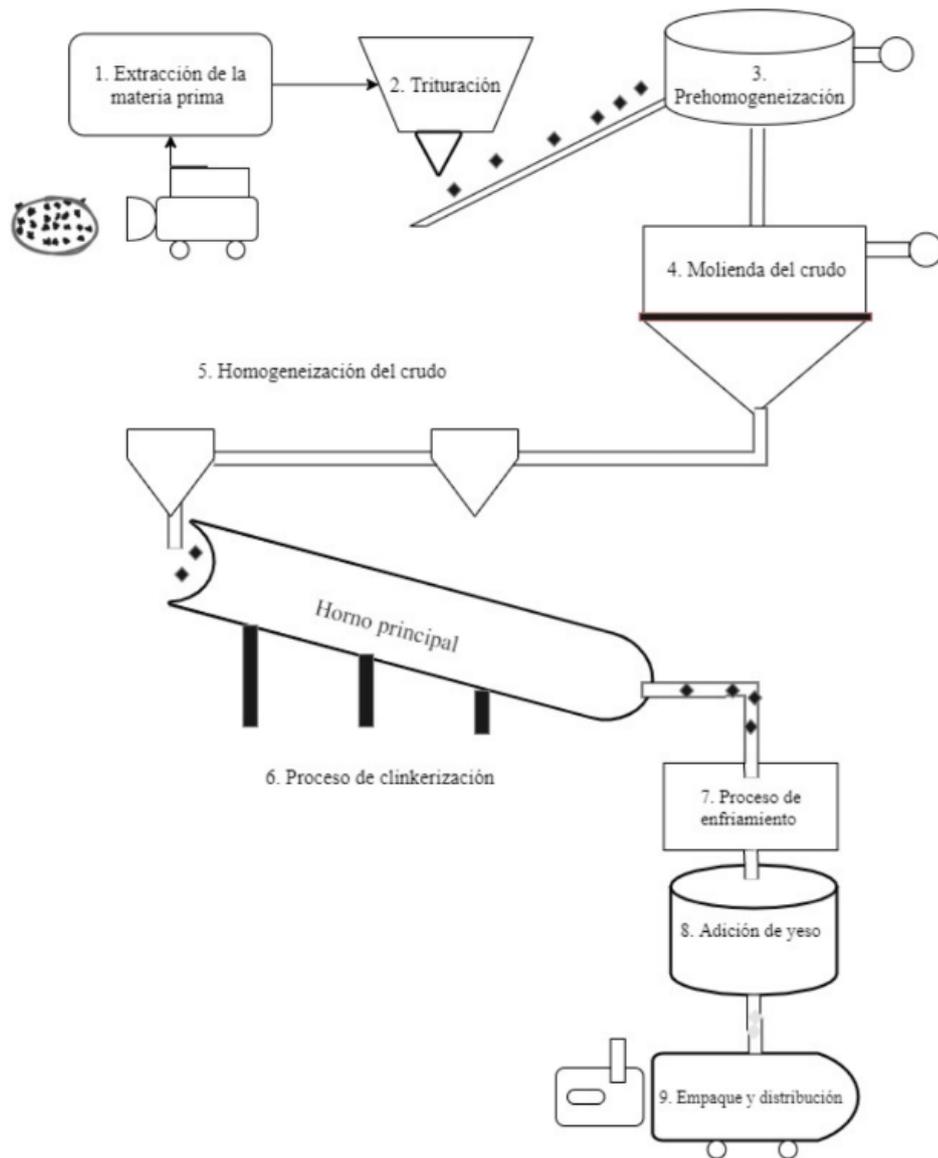


Figura 13. Proceso general de producción del cemento Portland.

Fuente: Nemesio Daza (2022)

a) Composición química e hidratación del cemento

Los materiales en bruto utilizados en la fabricación del cemento Portland (como la cal, la sílice, el óxido de aluminio y el óxido de hierro) interactúan en el horno principal donde ocurre la clinkerización a temperaturas comprendidas entre los 1350 y 1450 °C, P. Hewlett y M. Liska (2019). Formando compuestos químicos complejos, la denominada “calcínación” reestructura la composición molecular, dando origen a los 4 compuestos moleculares mostrados en la tabla 4.

Tabla 4. Principales compuestos moleculares del cemento Portland.

Compuesto	Fórmula química	Fórmula común	Rango usual en peso (%)
Silicato tricálcico	3CaO-SiO <sub>2</sub>	C3S	45-92
Silicato dicálcico	2CaO-SiO <sub>2</sub>	C2S	15-30
Aluminato tricálcico	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -3CaO	C3A	6-12
Aluminoferrita tetracálcica	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -4CaO	C4AF	6-8

Nota: Fuente: M. Mamlouk y J. Zaniewski (2020)

Cuando el cemento es mezclado con el agua sus principales compuestos generan una serie de reacciones químicas que son responsables del endurecimiento de la mezcla. A este proceso se le denomina hidratación. Cuando ocurre este proceso los silicatos de calcio forman hidróxido de calcio Ca (OH)<sub>2</sub> y silicato de calcio hidratado (C-S-H). Cada uno de los compuestos mencionados en la tabla 3 influye en diferentes características.

del cemento cuando ocurre la hidratación, como ejemplo, el silicato tricálcico (C3S), también conocido como fase alita, genera la hidratación rápida del cemento y es el responsable de la alta resistencia a la compresión. El silicato dicálcico, o fase belita, (C2S), es el responsable de la resistencia después de una semana y puede seguir hidratándose hasta periodos prolongados de tiempo (en ocasiones años). Por su parte, el aluminato tricálcico (C3A) genera una hidratación más temprana, libera una gran cantidad de calor y contribuye a la resistencia a edades tempranas. Debido a este compuesto se realiza la adición de yeso al clinker, pues de lo contrario la pasta de cemento se endurece instantáneamente. Nemesio Daza (2022) Por último, la aluminoferrita tetracálcica (C4AF), o fase ferrita, genera la hidratación rápida del cemento, pero no contribuye a su resistencia.

#### b) Cemento Portland

Según Pasquel (1993) se define como “aglomerante hidrófilo resultante de la calcinación de rocas calizas, areniscas y arcillas para obtener un polvo muy fino, que se endurece en presencia de agua y adquiere propiedades resistentes y adhesivas”. Asimismo, la elección de este material es fundamental, ya que es el componente más activo del hormigón, teniendo en cuenta que todas las propiedades del hormigón dependen de la cantidad y tipo de cemento a utilizar, estableciendo una dosificación idónea.

A nivel nacional existen diferentes tipos de cementos, los cuales se dividen principalmente en cementos portland tradicionales y cementos portland agregados. (Enrique Pasquel, 1993).

Según la NTP 334.009:2020 Los tipos de cemento Portland tradicionales son las siguientes:

Tipo I: Uso general

Tipo II: Moderado calor de hidratación y moderada resistencia a los sulfatos

Tipo III: Alta resistencia inicial

Tipo IV: Para lograr bajo calor de hidratación

Tipo V: Alta resistencia a sulfatos

El cemento Portland adquiere su color por este compuesto. A estos nuevos componentes se les denomina productos de hidratación del cemento y son los encargados de darle resistencia a la pasta de cemento. Esta reacción es de tipo exotérmica, por lo que en medio de la reacción se genera calor de hidratación, y se define como la cantidad de calor (J) por gramo de cemento no hidratado, desarrollada hasta una hidratación total a una temperatura dada. Durante este proceso, la hidratación de la fase alita(C3S) produce un 61% de silicato de calcio hidratado, también conocido como gel de Tobermorita, (C-S-H) y un 39% de hidróxido de calcio, o Portlandita,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Por su parte, la hidratación de la fase belita (C2S) da lugar a un 82% de calcio hidratado (C-S-H) y un 18% d.e  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (M. Mamlouk y J. Zaniewski, 2020)

## 2.2.8 Propiedades del concreto

### a) Propiedades del concreto en estado fresco

Se le llama concreto fresco, cuando la mezcla preparada está todavía en estado blando, donde se mantiene en estado plástico, este estado dura hasta que el concreto comienza a fraguar. (Eduardo Ayuque, 2019).

Consistencia - NTP 339.035:2015 (revisada el 2018)

Según Ayuque (2019), el porcentaje de humedad de la pasta de concreto se debe fundamentalmente al agua empleada. El ensayo para la determinación de la consistencia de un concreto fresco se le denomina ensayo de asentamiento o Slump Test, el cual consta de verter una muestra de concreto fresco en un molde tronco-cónico con las siguientes dimensiones.

Peso unitario - NTP 339.046:2008 (revisada el 2018)

Es la proporción entre el peso total del concreto en un volumen establecido. La capacidad de los recipientes de medida se ajustará a la siguiente tabla (Eduardo Ayuque, 2019).

Tabla 5. Capacidad de los recipientes de medición.

Tamaño máximo nominal del agregado grueso.		Capacidad del recipiente de medición (A)	
Pulg	Mm	Pie3	L
1	25	0.2	6
1 ½	37.5	0.4	11
2	50	0.5	14
3	75	1	28
4 ½	112	2.5	70
6	150	3.5	100

Nota: A: Tamaños indicados de recipientes de medición que se usarán para ensayar hormigón que contiene agregados de tamaño máximo nominal igual o más pequeño que

los listados. El volumen real del recipiente será por lo menos 95% del volumen nominal listado. Fuente tomada de la NTP 339.046:2008

#### Exudación - NTP 339.077:2013 (revisada el 2018)

Esta es una forma de desagregación o sedimentación, en la que parte del agua del concreto ya preparado tiende a ascender a la superficie para formar una pequeña lámina de agua. Esto es debido a que los agregados utilizados y mezclados no pueden conservar la totalidad del agua cuando el concreto se endurece (Eduardo Ayuque, 2019).

#### Contenido de aire - NTP 339.046:2008 (revisada el 2018)

Esta prueba se lleva a cabo para conocer la proporción de vacíos en el interior del concreto. Esta particularidad es especialmente significativa en zonas de baja temperatura, ya que se produce una gran presión al formarse cristales de hielo en los poros del concreto. Sin un volumen de aire adecuado en la mezcla, el concreto se expone a ciclos de congelación y podría fracturarse, lo que resultaría en una falla de durabilidad. (Eduardo Ayuque, 2019)

#### b) Propiedades del concreto en estado endurecido

Se llama concreto endurecido cuando la mezcla elaborada llega a pasar del estado plástico al estado endurecido, donde empieza a ganar consistencia y dureza, en este estadio la resistencia del concreto se vuelve mayor con el paso de los días. (Eduardo Ayuque, 2019).

#### Resistencia a la compresión - NTP 339.034:2015

La resistencia a la compresión del concreto se realiza en el laboratorio por medio de la toma de muestras de concreto, modelándolas y sometiéndose a cargas de compresión para así determinar la resistencia del concreto.

Según Ayuque (2019), la resistencia a la compresión se calcula dividiendo la carga máxima obtenida durante el ensayo de rotura entre el área de solicitud de carga. La resistencia del concreto está controlada por la proporción de cemento, agregados gruesos, agregados finos y agua.

La relación entre el agua y el cemento es el principal factor que determina la resistencia del concreto. A menor razón agua-cemento, mayor es la resistencia a la compresión del concreto.

Este procedimiento de ensayo se basa en la aplicación de una carga de compresión axial a moldes o encofrados cilíndricos a una velocidad que se sitúe en el rango indicado antes de que se produzca el fallo.

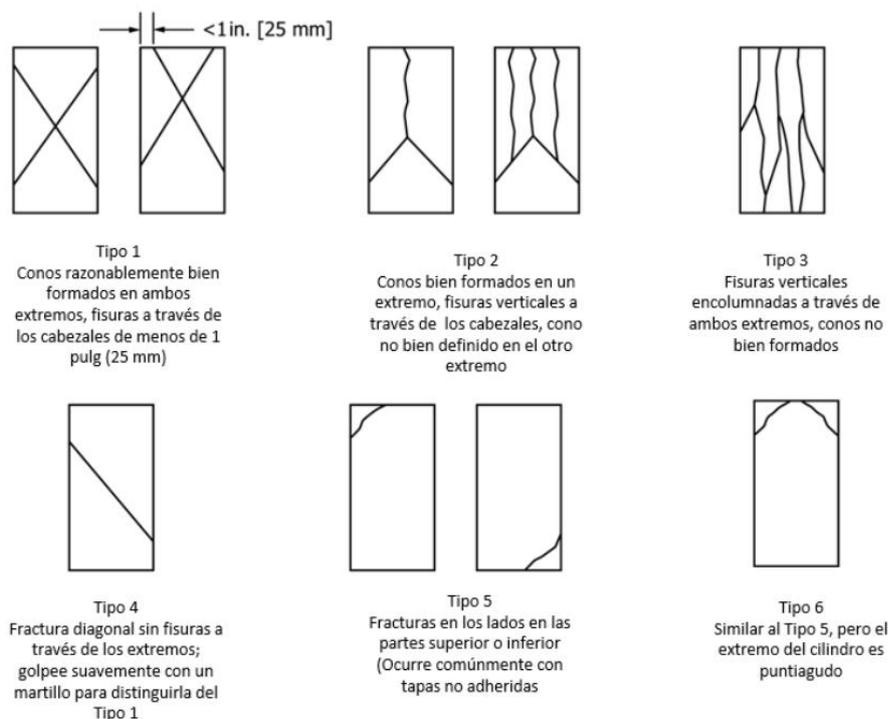


Figura 14. Tipos de Rotura de probetas

Fuente: Norma ASTM C39

Resistencia a la tracción por compresión diametral - NTP 339.084:2012 (revisada el 2017)

Esta prueba supone la aplicación de una compresión diametral a un cuerpo cilíndrico, aplicando una carga uniforme en las dos líneas o generatrices opuestas hasta la rotura. La pieza se somete a compresión a lo largo de un plano diametral vertical.

Para aplicar a la pieza fuerzas de compresión en un plano diametral vertical, se precisa un soporte de fijación, a través del cual se manifiesta el plano de carga. Como parte de este soporte, y en contacto directo con las generatrices diametralmente opuestas de la pieza, se disponen de elementos encargados de evitar la rotura local de la pieza durante el ensayo. Para ello se emplean placas de soporte curvadas, con un radio de curvatura equivalente al radio nominal de la pieza, de 12,7 o 25,4 mm de ancho, para que la distribución de esfuerzos no cambie significativamente y para así facilitar los cálculos del Módulo de Elasticidad y de Poisson al conservar el ángulo de carga

constante durante el ensayo. Como norma general, la velocidad de desplazamiento del sistema durante la carga será homogénea e igual a 50,8 mm/min, semejante a la del ensayo Marshall (Eduardo Ayuque, 2019).

La prueba de tracción indirecta tiene validez para aquellos materiales con un comportamiento esencialmente elástico y lineal. Se aconseja el uso de una temperatura de  $25\pm 1^{\circ}\text{C}$ , pero se permite el uso de otras temperaturas para analizar la sensibilidad a la temperatura de la mezcla en estudio y se recomienda no utilizar temperaturas mayores que el punto de reblandecimiento del ligante, dado que predomina el carácter viscoso del mismo (Eduardo Ayuque, 2019).

#### Módulo elástico (ACI 318)

El módulo elástico está altamente afectado por las propiedades de los agregados; a mayor porcentaje de agregado grueso con un alto módulo elástico, mayor será el módulo elástico del concreto. Cuando el concreto está húmedo, su módulo de elasticidad es un 15% mayor que cuando está seco. Esto se debe al efecto de secado de la fase de transición entre los áridos y la mezcla. El módulo elástico incrementa con la velocidad de deformación. Además, aumenta ya que el concreto está expuesto a muy bajas temperaturas (Eduardo Ayuque, 2019).

#### 2.2.9 Factores que alteran las propiedades del concreto

El agua no doméstica degrada las propiedades del concreto, además de la información de la Tabla 6, se dan los tipos de contaminación y los valores máximos recomendados. Según (Rivera, 2013) en su libro titulado “Concreto Simple”, se recomienda realizar una prueba química que el agua utilizada para el concreto y mortero que cumpla con los requisitos de la Tabla 6. Lo ideal es hacer una prueba de agua para tener datos sobre los componentes y poder comparar los resultados con un estándar (agua destilada) ya que esta agua tiene parámetros conocidos.

Tabla 6. Impureza y valores máximos recomendados para la preparación de mezcla.

Tipo de impureza	Valor máximo recomendado
Ácido sulfúrico	10000 ppm
Aceite mineral	2%
Aguas Sanitarias	20 ppm
Carbonato de Calcio y Magnesio	400 ppm
Carbonatos y bicarbonatos de sodio y potasio	1000 ppm
Cloruro de calcio	30000 ppm
Cloruro de magnesio	40000 ppm
Ph	6-8
Sales de hierro	40000 ppm
Sales de magnesio, estaño, zinc, cobre y plomo	500 ppm
Sulfato de magnesio	25000 ppm
Sulfato de sodio	1000 ppm
Sulfito de sodio	100 ppm

Nota: El contenido máximo de iones combinados de calcio, magnesio, sodio, potasio, bicarbonato, sulfato, cloruro, nitrato y carbonato es 20000 ppm Fuente: Crystel Rios 2021 Tomado del libro de Rivera (2013)

a) Sólidos en suspensión

Según Gerardo Rivera, “la norma general indica que el agua es adecuada para producir concreto si su composición química indica que es apta para el consumo humano, sin importar si ha tenido un tratamiento preliminar o no, es decir casi cualquier agua natural que pueda beberse y que no tenga sabor u olor notable sirve para elaborar concreto. Sin embargo, el agua que sirve para preparar estas mezclas puede no servir para beberla”

“Las aguas superficiales en particular a menudo contienen materia en suspensión tales como: sedimentos, arcillas, hojas y otros desechos vegetales lo cual puede hacerla inadecuada para emplearla sin tratamiento físico preliminar, como filtración o sedimentación para permitir que dicha materia en suspensión se elimine” (Rivera L, 2011)

#### b) Materia orgánica

Las impurezas orgánicas pueden afectar la adherencia de la pasta agregada disminuyendo la resistencia (Rivera, 2013) “Generalmente se refiere a la descomposición de materia vegetal (sobre todo ácido tánico y sus derivados) y se manifiesta en forma de humus o margas orgánicas. La materia orgánica puede interferir las reacciones químicas de hidratación, retrasar el fraguado y el endurecimiento del concreto, en algunos casos descomponerse produciendo deterioro afectando la durabilidad del hormigón. El azúcar puede impedir el fraguado del cemento durante algunos días” (Rivera, 2013)

#### c) Alcalinidad

“La reacción Alcalina de un agregado es una reacción desfavorable porque origina esfuerzos de tensión dentro de la masa endurecida del mortero o del concreto; dichos esfuerzos pueden causar fallas en la estructura debido a que la resistencia a la tensión del mortero o del concreto es baja, del orden de un 10% de su resistencia a la compresión” (Rivera, 2013). Asimismo, el autor sostiene que la reacción más común se produce entre los óxidos de sílice ( $\text{SiO}_2$ ) en sus formas inestables y los óxidos alcalinos de la pasta de cemento ( $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{K}_2\text{O}$ ). “Esta reacción que es del tipo sólido líquido, produce un gel hinchable que aumenta de volumen a medida que absorbe agua, lo cual origina presiones internas en el concreto que conducen a la expansión, agrietamiento y ruptura de la pasta de cemento, esto se conoce como reacción álcali-sílice” (Rivera, 2013)

d) Sulfatos

“Las sales en estado sólido no atacan al concreto, pero cuando se encuentran en solución pueden reaccionar con la pasta de cemento endurecido” (Riviera L, 2017). “La rapidez de ataque del sulfato aumenta al elevarse la concentración de la solución, pero más allá de una concentración alrededor del 0,5% de  $MgSO_4$  o del 1% de  $Na_2SO_4$  la rapidez con que aumenta el ataque es menor. Una solución saturada de  $MgSO_4$  causa graves deterioros en el concreto; aunque con una relación agua/cemento baja, esto tiene lugar solamente después de 2 o 3 años” (Rivera, 2013)

e) Cloruros

“La presencia de cloruros en el hormigón, ya sea que provengan del agua de mezcla, o de otras fuentes, presenta problemas potenciales con algunos cementos (generalmente con cantidades apreciables de Aluminato tricálcico - C3A) o cuando se presenta metales embebidos en el hormigón. Como guía, el contenido total de cloruros del agua no debe exceder generalmente de 0,5 g/l. Asimismo, en ocasiones es necesario aceptar concentraciones más altas, como en ciertas regiones áridas donde las aguas naturales son bastante salinas” (Rivera, 2013)

f) Ph

“Cualquier agua con un pH (grado de acidez) de 6 a 8 que no tenga un sabor salado es adecuada para su uso, pero un color oscuro o un mal olor no significan necesariamente que haya presentes sustancias nocivas. Las aguas naturales que son ligeramente ácidas son inofensivas, pero el agua que contiene ácidos húmicos u otros ácidos orgánicos puede afectar negativamente el endurecimiento del concreto” (Brooks & Neville, 2010).

#### 2.2.10 Diseño de mezclas de concreto

El diseño de mezclas es un proceso que determina la cantidad de aglutinante, relleno, agua y cualquier componente dentro de un concreto. Existen métodos analíticos, experimentales, semianalíticos y empíricos para dosificar los componentes de una mezcla de concreto. Estos métodos han evolucionado desde los métodos volumétricos arbitrarios de principios de este siglo hasta el método actual de peso y volumen absolutos propuesto por el American Concrete Institute. (Luis Terrero e Iván Carbajal, 2016)

El diseño de la mezcla de concreto tiene como objetivo optimizar los materiales para un rendimiento máximo, cada mezcla debe diseñarse tanto para el estado fresco como para el endurecido. Para conseguir una dosificación en fresco que satisfaga las necesidades de trabajabilidad, se deben cumplir los requisitos de deformabilidad y economía; de resistencia del hormigón endurecido, de durabilidad, de calidad superficial y, en su caso, de peso volumétrico. (Luis Terrero e Iván Carbajal, 2016)

De acuerdo con Sánchez (1996), todos los diseños de mezcla se basan en el uso del concreto (vigas, muros, cimientos, etc., etc.) Con base en lo anterior, se seleccionan trabajadores calificados.

Antes de dosificar una mezcla de concreto, además de conocer los datos de la estructura que se está levantando y las condiciones de transporte e instalación, también es necesario conocer las propiedades de los materiales con los que se realizará la mezcla.

El propósito de cada método es optimizar las proporciones de la mezcla de concreto y cumplir con las propiedades deseadas, esto se logra a través del sistema de ajuste y reajuste. (Luis Terrero e Iván Carbajal, 2016).

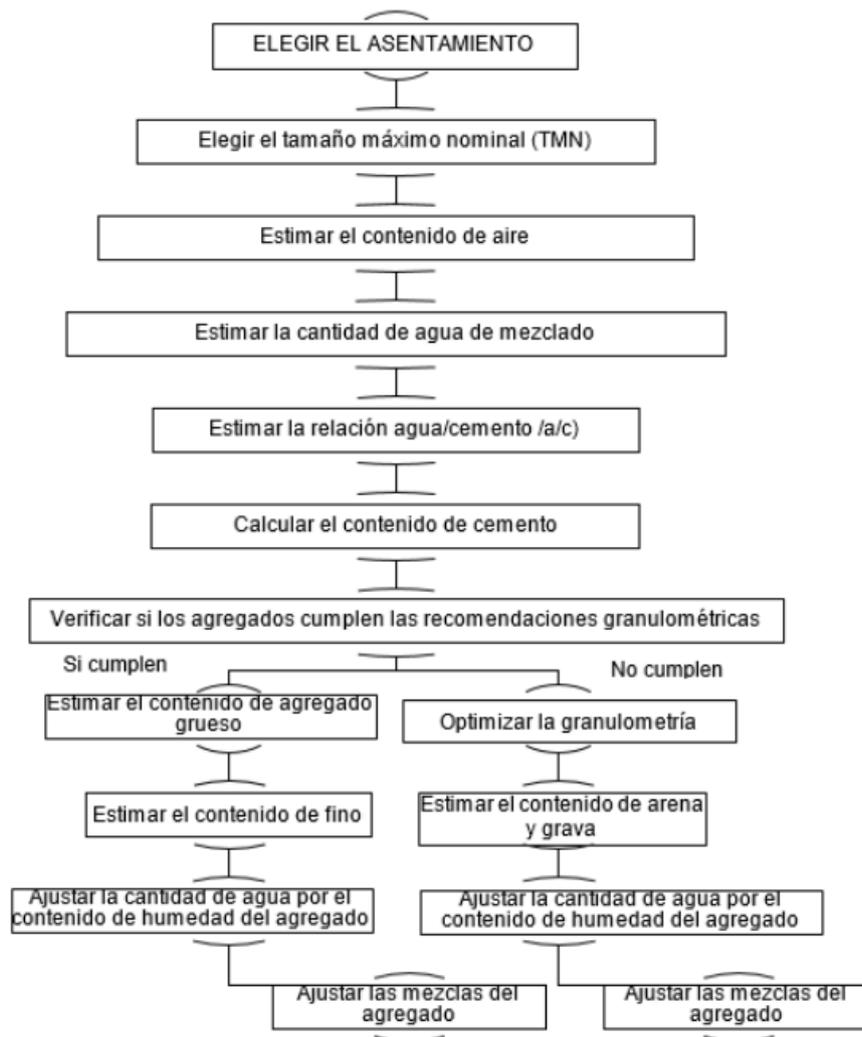


Figura 15. Pasos para realizar una dosificación de mezclas.

Fuente: Niño Hernández, Jairo René (2010, pp 228)

### 2.3 Definición de términos básicos

#### 2.3.1 PTAP:

Una Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) es un conjunto de sistemas y procesos de ingeniería en los que se trata el agua de manera que se vuelva apta para el consumo humano. (SPENA GROUP, empresa de ingeniería de Tratamiento de Aguas y Aguas Residuales en el Perú.)

#### 2.3.2 Lodos Residuales:

Se denominan lodos residuales a los biosólidos resultantes del tratamiento y limpieza de las aguas residuales. (Juan Vazques y Gabriela Vargas, 2018)

#### 2.3.3 Vertederos

Un vertedero es una instalación de eliminación de residuos mediante su depósito subterráneo o en superficie, por períodos de tiempo superiores a los considerados para el almacenamiento temporal. Por tanto, se incluyen también las instalaciones internas de eliminación de residuos, es decir, los vertederos en que un productor elimina sus residuos en el lugar donde se producen.

Los vertederos son depósitos controlados en los que existen una serie de dispositivos (entre ellos una impermeabilización total del suelo) cuya finalidad es la de evitar la contaminación del suelo, de las aguas superficiales y subterráneas, de la atmósfera...y en general, del medio ambiente. (MITECO, España 2018)

#### 2.3.4 Aprovechamiento de Residuos:

Según la RAE Conjunto de operaciones dirigidas a la obtención de los recursos contenidos en los residuos mediante la reutilización, valorización, reciclado o recuperación de los mismos.

#### 2.3.5 Impacto Ambiental:

Se define impacto ambiental como la “Modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza”. Un huracán o un sismo pueden provocar impactos ambientales, sin embargo, el instrumento Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) se orienta a los impactos ambientales que eventualmente podrían ser provocados por obras o actividades que se encuentran en etapa de proyecto (impactos potenciales), o sea que no han sido iniciadas. De aquí el carácter preventivo del instrumento. Gobierno de México, 2018.

#### 2.3.6 Acondicionamiento

Es manipular a nuestro favor las características del lodo, de tal manera que sean favorables a nuestras operaciones unitarias dentro del proceso de deshidratación. principalmente contenido de agua, porcentaje, características y tipo de sólidos presentes. (Mauricio Gil, 2019)

#### 2.3.7 Lodos de Aluminio (Lodos Alumbre)

El lodo de aluminio es un subproducto del tratamiento del agua potable. Las sales de aluminio se agregan al agua para eliminar partículas como las partículas coloidales y hacer que sea segura para beber. Una vez eliminadas, estas partículas se sedimentan debido a los procesos de floculación y coagulación y forman lodos. (Anahí Abeledo, 2022).

#### 2.3.8 Aditivos

Son productos químicos de naturaleza orgánica e inorgánica que modifican las propiedades de los concretos en estado fresco o endurecido, le brindan alguna propiedad que este no tiene

y son una forma simple y económica de hacerlo. El uso de aditivos para concreto permite la optimización de los diseños me mezcla, permite también alcanzar elevada fluidez, resistencia, durabilidad, impermeabilidad o lo que se desee. Sika Perú 2022.

### 2.3.9 Dosificación

Son las proporciones correspondientes de material que se debe utilizar para el concreto, esto con el fin de obtener unas características que le permitan utilizarlo de manera tranquila, esas características son la resistencia, la durabilidad y adherencia adecuada. La dosificación no es algo que surge porque sí y ya, se expresa en gramos por metro cúbico y es de mucha importancia en las construcciones. Cementos Inka, 2022

### 2.3.10 Análisis Costo-Beneficio.

Es un proceso generalmente relacionado con la evaluación de un proyecto o esquema específico para tomar decisiones de cualquier tipo. Los costos y beneficios totales de todas las alternativas se determinan explícita o implícitamente para seleccionar la mejor o la opción más rentable. Este análisis es el resultado de combinar varias técnicas administrativas y financieras con los campos de las ciencias sociales, que presentan tanto los costos como los beneficios en unidades de medida estándar, generalmente monetarias, para que puedan compararse de manera directa.

La técnica de costo-beneficio está directamente relacionada con la teoría de la decisión. Su objetivo es determinar la conveniencia de un proyecto en función de los costes y beneficios resultantes. Esta lista monetaria de elementos requiere evaluación y evaluación posterior. (Anailys Aguilera Díaz, 2017).

## **CAPÍTULO III: HIPÓTESIS**

### 3.1 Hipótesis

#### 3.1.1 Hipótesis Principal

La elaboración de concreto, como propuesta para el aprovechamiento de lodos provenientes de la planta de tratamiento de agua potable cumplirá con los requerimientos físico/mecánicos y tendrá viabilidad económica.

#### 3.1.2 Hipótesis Secundarias

- La caracterización de los lodos residuales provenientes de la Planta de Tratamiento de Agua Potable incidirá en la elaboración de concreto.
- La resistencia del concreto al sustituir 3%, 5% y 10% del agregado fino con lodos residuales de PTAP, incidirá en la elaboración de concreto.

- Existe un beneficio económico en la elaboración de concreto al sustituir el 3%, 5%, y 10% del agregado fino con lodos residuales de PTP, en la elaboración de concreto.
- El impacto ambiental en la producción de concreto con sustitución del agregado fino con lodos residuales de PTAP es menor en comparación al concreto convencional, al evaluarlos mediante la metodología del Análisis del Ciclo de Vida.

### 3.2 Variables

#### 3.2.1 Definición conceptual de las variables

##### a) Variable Independiente

Aprovechamiento de lodos residuales de una planta de tratamiento de agua potable como agregado fino

##### b) Variable dependiente

La producción de concreto en la provincia de Mala, Cañete.

#### 3.2.2 Operacionalización de las variables

Ver Anexo 3

## **CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### 4.1 Tipo o enfoque de la investigación:

El enfoque de la investigación es de carácter cuantitativo. Según Hernández Sampieri, Roberto. Fernandez Collado, Carlos. Baptista Lucio, Pilar (2014). Metodología de la investigación. El enfoque cuantitativo plantea un problema de estudio delimitado y concreto. Para luego revisar lo investigado anteriormente, según el autor a esta actividad se le conoce como la revisión de la literatura. Una vez planteadas el marco teórico y el sistema de hipótesis, estas últimas deben ser sometidas a pruebas apropiadas para ser valoradas.

### 4.2 Nivel o Alcance de la investigación:

El nivel de la investigación es experimental - predictiva. Según Caballero Romero (2014, pp. 39 - 42). En Metodología integral innovadora para planes y tesis la metodología de cómo formularlos. El nivel experimental de modo obligatorio implica que ya se sepa cómo es la

realidad objeto de la investigación y por qué es así (es decir, implican las investigaciones descriptivas y explicativas anteriores o parciales) y responden a la pregunta: Si la realidad es así por estas razones o causas, y si hago este cambio, ¿qué pasaría? La investigación experimental plantea hipótesis predictivas que, para ser contrastadas, requieren un experimento con poblaciones de condiciones o características uniformes, con grupo experimental (50%) y grupo de control o testigo.

#### 4.3 Diseño de la investigación.

##### 4.3.1 Tipo de diseño de la investigación.

El tipo de diseño de la investigación es experimental - puro. El tipo experimental se refiere a un estudio en el que se pueden manipular una o más variables independientes, para luego observar y analizar las consecuencias que dicha manipulación tiene sobre una o más variables dependientes, todo esto dentro de una situación de control para el investigador (Hernández et al., 2014).

Según Hernández et al. (2014). Para que el diseño sea experimental - puro deben de tener dos requisitos, el primer requisito requiere de grupos de comparación (manipulación de la variable independiente) y el segundo requisito; la equivalencia de los grupos (relacionar a los grupos con alguna variable específica que pueda influir de modo decisivo en la o las variables dependientes).

##### 4.3.2 Tipología del diseño experimental - puro

###### a) Diseño con posprueba únicamente y grupo de control

El concepto de esta tipología según Hernández et al. (2014, p. 142): “Este diseño incluye dos grupos: uno recibe el tratamiento experimental y el otro no (grupo de control). Es decir, la manipulación de la variable independiente alcanza sólo dos niveles: presencia y ausencia. Los sujetos se asignan a los grupos de manera aleatoria. Cuando concluye la manipulación, a ambos grupos se les administra una medición sobre la variable dependiente en estudio.”

###### b) Diseño experimental de series cronológicas múltiples.

Este diseño se aplica al anterior, ya que en la serie cronológica se efectúan varias observaciones o mediciones durante el transcurso del tiempo en la investigación sobre una o más variables, sea o no experimental. (Hernández et al., 2014).

#### c) Grado de manipulación de la variable independiente

El grado mínimo de manipulación de la variable independiente es de presencia o ausencia. En la bibliografía encontramos que: “Este nivel o grado implica que un grupo se expone a la presencia de la variable independiente y el otro no. Posteriormente, los dos grupos se comparan para saber si el grupo expuesto a la variable independiente difiere del grupo que no fue expuesto.” (Hernández et al., 2014, p 131).

#### 4.3.3 Método de investigación:

El método seguido para la investigación experimental cuantitativa es la medición de variables controladas en grupos experimentales, es decir, se identifican las variables experimentales para luego cambiar los parámetros de la variable independiente, esto afectará a la variable dependiente cambiando el resultado en un contexto de grupo de control. (Hernández et al., 2014).

#### 4.4 Población y muestra:

##### 4.4.1 Población:

La población de estudio de la investigación son los lodos residuales provenientes de las plantas de tratamiento de agua potable a nivel nacional, ya que cada una presenta distintas características que varían según su fuente de captación

##### 4.4.2 Muestra:

La muestra son los lodos recolectados de planta de ósmosis inversa, así como también los agregados de la cantera “Melchorita” los cuales se emplearon como agregados para la elaboración del concreto

#### 4.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos:

La técnica utilizada en la presente tesis es la observación cuantitativa. Este tipo de técnica permite a los investigadores recolectar información cuantificable. La recolección de datos a través de la observación cuantitativa permite que los investigadores se enfoquen en cuantificar un comportamiento específico de interés. Cuando requieren un juicio, se describe como codificación, así que necesitan una definición clara de un comportamiento objetivo. (Hernández, 2014, p. 217).

#### 4.6 Procedimientos para la recolección de datos

La investigación cuenta con el siguiente procedimiento:

- Recopilación de información. Se revisó bibliografía nacional e internacional relacionadas al tema de investigación, normativa legal, manuales (Norma Técnica Peruana).
- Ensayos de caracterización de agregados para la elaboración de concreto.
- Muestreo y ensayos de caracterización muestra. La muestra (lodos residuales) se obtuvo de la PTAP de Mala provenientes de los tanques de aguas de rechazo del proceso de potabilización de osmosis inversa.
- Ensayos realizados a probetas testigo. Se realizaron 36 Ensayos de compresión uniaxial a los testigos a diferentes edades (3, 7 y 21 días) con diferentes porcentajes de lodos (0%, 3%, 5% y 10%), sustituyendo a los agregados finos.

#### 4.7 Técnicas de procesamiento y análisis de datos.

- Caracterización de los agregados a utilizar para la elaboración de concreto
- Caracterización de la muestra de lodos, los valores obtenidos de los ensayos realizados a la muestra (lodos residuales) fueron delimitados siguiendo la NTP referida al manual de ensayo de suelos.

El análisis de los resultados obtenidos fue en base a los objetivos e hipótesis que planteamos al inicio de la investigación, sirviendo como base múltiples investigaciones relacionadas con el tema, para inspeccionar cada variable.

Una vez concretando nuestros objetivos y la realidad problemática y por motivos se procede de la recopilación de los resultados de los mismos de los ensayos de las probetas, con ayuda de los resultados de los ensayos de compresión, así como también los ensayos de

caracterización, se procedió a determinar cuál es el porcentaje de lodos más óptimo de acuerdo a la resistencia obtenida del ensayo de compresión uniaxial.

## **CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **5.1 Muestreo**

#### **5.1.1 Ubicación de la planta**

El lodo residual se obtuvo de la Planta de tratamiento de agua potable (PTAP) de Mala, ubicado a la altura del Km 89 de la panamericana sur.



Figura 16. Ubicación Planta de tratamiento de Agua Potable de Mala

Fuente: Elaboración propia, extraída de Google Maps

La planta de tratamiento de agua potable (PTAP) de Mala realiza la captación del agua mediante osmosis inversa en el pozo subterráneo que se encuentra en la ubicación. Para poder purificar el agua necesitamos llevar a cabo el proceso contrario al de ósmosis convencional, es lo que se conoce como Ósmosis inversa que consiste aplicar una presión mayor a la presión osmótica, esta presión es ejercida en el compartimiento que contiene la más alta concentración de sólidos disueltos. Esta presión obliga al agua a pasar por la membrana semipermeable en dirección contraria al del proceso natural de ósmosis, dejando las impurezas detrás. La permeabilidad de la membrana puede ser tan pequeña, que prácticamente todas las impurezas, moléculas de la sal, bacterias y los virus, son separados del agua. (Jose Moreno, 2011).

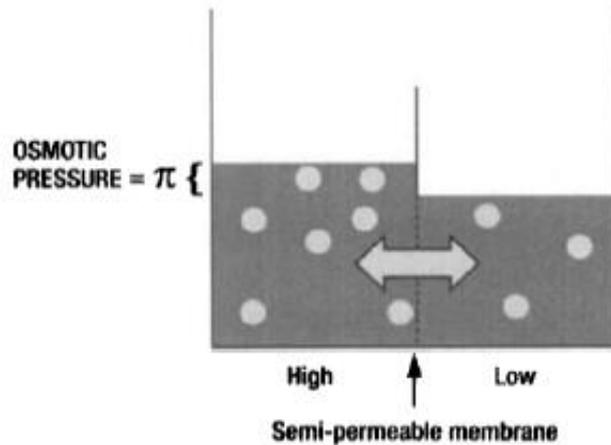


Figura 17. Presión Osmótica en proceso de ósmosis

Fuente: Kucera, Jane, 2010

La ósmosis es un fenómeno físico relacionado con el movimiento de un solvente a través de una membrana semipermeable. Se debe tener en cuenta que la ósmosis inversa es una tecnología de purificación del agua que utiliza una membrana semipermeable para eliminar iones, moléculas y partículas más grandes en el agua potable, a través de la membrana semipermeable sólo pasa agua, es decir, el agua de la zona de alta concentración pasa a la de baja concentración. (Sebastián Zamora, 2018).

a) Proceso de operación de la planta de tratamiento de Mala

La captación de agua de la planta de tratamiento de agua potable (Ptap) de mala es a través de 2 bombas las cuales a través de tuberías conectadas directamente a un pozo subterráneo como se observa en la figura 19, impulsando el agua cruda (sin tratar) hacia 3 tanques de almacenamiento de 25000 l cada uno (figura 19).



Figura 18. Centro de bombeo de la Ptap de Mala

Fuente: Elaboración propia.



Figura 19. Tanques de agua bruta en la Ptap de Mala

Fuente: Elaboración propia

Luego pasan a través de tuberías a unos tanques filtros de zeolita, en los cuales se retienen las partículas de suelos con mayor peso y volumen, aplicando una presión constante, haciendo que el material, descienda al fondo del tanque debido a su mayor peso. (figura 22). Estos tanques pasan a mantenimiento cada mes, donde se limpian y se retiran las partículas retenidas.



Figura 20. Tanques filtros de zeolita de la planta de tratamiento de aguas de Mala

Fuente: Elaboración propia

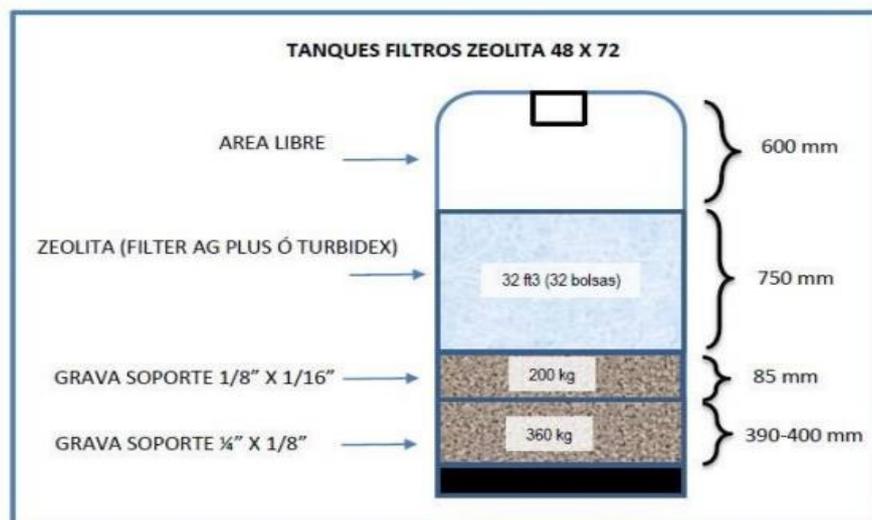


Figura 21. Diagrama de los tanques filtros de zeolita

Fuente: Kenyi Contreras, 2021

El equipo de ósmosis inversa es el centro del sistema, se encargará de reducir el contenido de sales del agua desde 3252 ppm hasta 1500 ppm, para que se mezcle con agua filtrada y se obtenga calidad de agua potable. El agua filtrada se envía a los tanques de almacenamiento y estos ya pueden ser usados para el uso doméstico. El agua con las partículas finas de residuos (aguas de rechazo) es enviada hacia un tanque; del cual se tomaron las muestras para esta investigación; y posteriormente bombeado hacia una PTAP de agua residual para ser procesada nuevamente y ser utilizada para el para agua de riego.



Figura 22. Tuberías de luego del tratamiento de aguas de la Ptap Mala

Fuente: Elaboración propia.

#### 5.1.2 Toma de Muestras

Con la autorización de los encargados de turno de la planta, el día 26 de Septiembre de 2022 la toma de muestra de 20 kilos Lodo Residual (LR), remanente de la limpieza del Estanque de aguas de rechazo N° 1 de la PTAP. Se encontró material en estado húmedo, de manera que se necesitaron sacos, botas de jebe y guantes para transportar, dentro de los cuales 5 kg se guardaron en un contenedor plástico desinfectado para poder preservar el material lo máximo posible para enviarlo a un laboratorio donde se analizará de las características de materia orgánica, coliformes fecales, porcentaje de Metales y porcentaje de humedad del material. Los otros 5kg serán transportados en sacos para ser llevados a la Universidad Ricardo Palma a someterlos a ensayos de suelos para determinar las características mecánicas de la muestra. Y los 10 Kg de material restante será usado en las probetas para ensayos de concreto en la obra

“Elaboración de Muros de Contención en viviendas unifamiliares Mala”. donde la empresa “Pep contratistas” se encontraba trabajando.



Figura 23. Tanque de aguas de rechazo

Fuente: Elaboración propia.

### 5.1.3 Características de la muestra.

#### a) Características mecánicas

Para realizar la caracterización física y mecánica de muestra se halló de 2 maneras, en el laboratorio de ensayo de materiales de la universidad Ricardo Palma, se determinó el porcentaje de humedad, el peso específico y el peso unitario, a través de los ensayos aplicados a los agregados del concreto.

Sin embargo, al pasar el 100% del tamiz N° 100 se determinó que la muestra contiene características de un suelo fino.

#### b) Características químicas

Para determinar la composición química, se llevó la muestra al laboratorio certificado “SLAB Perú”, en donde a través del ensayo de fluorescencia de rayos X nos dará la composición química principal, así como también el porcentaje de materia orgánica presente.

Además, se determinarán los principales metales pesados presentes en la muestra a través del Espectroscopio de emisión atómico de plasma de acoplamiento inductivo; realizado por el mismo laboratorio.

## 5.2 Caracterización de los agregados

Los agregados presentan un aporte fundamental en la elaboración del concreto. Estos materiales representan gran parte del volumen total de la mezcla, en tal sentido tener un agregado de buena calidad aporta mucho a las propiedades físicas y mecánicas del concreto en investigación. Por todo lo expuesto, se realizaron ensayos a los agregados en consideración a las normas actuales y que cumplan con los altos estándares de calidad y aporten a nuestro diseño patrón o matriz. Todos los ensayos de caracterización a los agregados se realizaron en el laboratorio de ensayo de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Ricardo Palma.

### 5.2.1 Análisis granulométrico (NTP 400.012)

Según la norma ASTM D75 mediante cuarteo se obtuvo una muestra representativa tanto para el agregado grueso, 5.92 kg; como para el agregado fino, 520.57 gr. Para mayor precisión durante el tamizado, ambas muestras se llevaron al horno durante 24 horas a una temperatura de  $\pm 110^{\circ}\text{C}$ . Se seleccionaron los tamices adecuados tanto para el agregado fino como para el grueso, luego se pesó la cantidad de material retenido en cada uno de los tamices utilizando balanzas de precisión de 0.1 y 0.5 gramos. Cabe señalar que el tamizado para el agregado fino se realizó con la ayuda de un agitador mecánico durante 5 minutos, mientras que para el agregado grueso se hizo de forma manual siguiendo las recomendaciones de la norma NTP 400.012.



Figura 24. Agitador mecánico para tamices.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 25. Material retenido en las mallas para la granulometría fina.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 26. Material retenido en las mallas para la granulometría final.

Fuente: Elaboración propia.

### 5.2.2 Contenido de humedad (%H)

Este ensayo se realizó con los lineamientos de la norma NTP 339.185. Y permite estimar la cantidad de agua que posee el agregado fino y grueso.

Para el contenido de humedad del agregado grueso, como procedimiento se obtuvo una muestra representativa del agregado grueso mediante cuarteo (ASTM C-702) luego se colocó en un recipiente metálico, para posteriormente llevarlo al horno durante 24 horas a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ , se registraron los pesos debidamente de acuerdo a la norma NTP 339.185.

Para estimar el contenido de humedad de la muestra se utiliza la siguiente ecuación:

$$\%H = \frac{(W_h - W_s)}{W_s} \times 100$$

Donde:

%H = Porcentaje de humedad

$W_h$  = Peso del agregado en estado húmedo

$W_s$  = Peso del agregado en estado seco.



Figura 27. Peso del agregado grueso y agregado fino, para el contenido de humedad.

Fuente Elaboración propia.

$$MF = \frac{\%RetN^{\circ}4 + \%RetN^{\circ}8 + \%RetN^{\circ}16 + \%RetN^{\circ}30 + \%RetN^{\circ}50 + \%RetN^{\circ}100}{100}$$

$$MF = \frac{\%Ret\ 3/4'' + \%Ret\ 3/8'' + \%RetN^{\circ}4 + 100 + 100 + 100 + 100 + 100}{100}$$

#### 5.2.4 Peso específico del agregado grueso y porcentaje de absorción

El procedimiento del ensayo se hizo de acuerdo a la norma NTP. 400.021. Se tomó una muestra de 5000 gr mediante cuarteo según la norma ASTM C702, se saturó la muestra seleccionada por 24 horas en un balde, luego con la ayuda de un trapo se secó la muestra superficialmente, hasta que el material pierda el brillo, a esta condición se le denomina muestra saturada superficialmente seca (Psss), se registró el Psss con una balanza de 0.1 gr de precisión. Para luego hacer uso de la balanza hidrostática, primero se registró el peso de la canastilla, y con mucho cuidado, siguiendo las recomendaciones de la NTP 400.021 se sumerge la canastilla más muestra para registrar el peso aparente sumergido. Finalmente se retiró la muestra de la canastilla a un recipiente, para llevarla al horno durante 24 horas a una temperatura de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



Figura 28. Balanza hidrostática, laboratorio de materiales, Universidad Ricardo Palma.

Fuente: Elaboración Propia



Figura 29. Saturación del agregado grueso durante 24 hrs.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 30. Canastilla para la balanza hidrostática.

Fuente: Elaboración propia.

#### 5.2.5 Peso específico del agregado fino y porcentaje de absorción (NTP N° 400.021.)

a) Materiales e instrumentos.

Primero se seleccionó una cantidad de muestra adecuada para el agregado fino, muestras obtenidas según las recomendaciones de la norma ASTM C702. La muestra de agregado fino se saturó con agua durante un periodo de 24 horas. Luego con la ayuda de un secador de cabello se llevó la muestra saturada a un estado de saturado superficialmente seco, esta condición se puede comprobar utilizando un cono y un pisón, tal como se observa en la Figura 32. Una vez lista la muestra se tomó 509.5 gr de muestra y se introdujeron en una fiola o picnómetro con agua, luego se agita el picnómetro para que el aire atrapado en la muestra salga, es decir se debe quitar los vacíos, luego se completó con agua hasta el límite que marca la fiola, luego se pesa el sistema. Para el porcentaje de absorción, todo el contenido de la fiola se vierte en una bandeja metálica, para llevarla al horno durante 24 horas a una temperatura de  $100 \pm 5 \text{ } ^\circ \text{C}$ . se registran los pesos. Los cálculos se muestran en la sección de resultados.



Figura 31. Verificación de la condición saturada superficialmente seca.

Fuente: Elaboración Propia.



Figura 32. Cono y apisonador para la verificación del estado saturado superficialmente seco

Fuente: Elaboración Propia.



Figura 33. Peso de la fiola vs peso de la fiola con muestra de agregado fino.

Fuente: Elaboración Propia.

#### 5.2.5 Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso y agregado fino.

El ensayo se realiza de acuerdo a lo establecido en la NTP 400.017 Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (“Peso Unitario”) y los vacíos en los agregados.

Para este ensayo se utilizó dos tipos de recipientes uno para el agregado fino de 1/10 ft<sup>3</sup> y otro de 1/2 ft<sup>3</sup> y se procede a calcular el Peso unitario suelto y compactado para ambos agregados, tomando en consideración el procedimiento de apisonado según la NTP 400.017.

$$P.U = \frac{Wt - Wr}{Vr}$$

Donde:

Wt: Peso del recipiente más muestra suelta/compacta (Kg).

Wr: Peso del recipiente (Kg).

Vr: Volumen del recipiente (m<sup>3</sup>).

P.U: Peso unitario (Kg/m<sup>3</sup>).



Figura 34. Materiales usados para determinar el peso unitario del agregado fino.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 35. Recipiente de 1/2 ft<sup>3</sup> de capacidad.

Fuente: Elaboración propia.

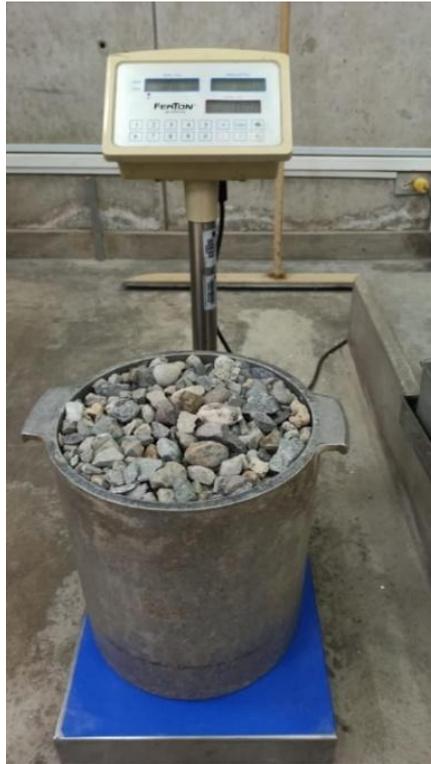


Figura 36. Peso del recipiente más agregado grueso compactado.

Fuente: Elaboración propia.

### 5.3 Diseño de Mezclas.

Se realizaron los ensayos anteriores a las muestras de lodo con el objetivo de llegar al óptimo porcentaje de lodo residual seco para una mezcla de concreto que al llegar a los 21 días tenga una resistencia a la compresión mayor o igual a  $f'c=210 \text{ kg/cm}^3$

Los ensayos de diseño de mezclas se realizaron en las instalaciones de la Universidad Ricardo Palma, con los permisos correspondientes los ensayos se realizaron en un periodo de 4 semanas para tener la dosificación de arena, piedra chancada, agua y aditivo. Se realizaron 3 probetas para analizar su resistencia a las edades de 7, 14 y 21 días para cada porcentaje de lodos empleados en sustitución de los agregados finos.

#### 5.3.1 Datos iniciales para determinar la dosificación de la mezcla

Con los resultados de los ensayos físicos obtenidos a los lodos residuales y con la ficha técnica del cemento Sol brindada por “UNACEM” y los datos de los agregados tomados de la cantera “Melchorita”. Se considera lo siguiente:

a) Cemento

Tabla 7. Características del Cemento

CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO		
TIPO	APU	I
f <sub>c</sub>	210	210
Pe	3,12	g/cm <sup>3</sup>
Slump	4	Pulg
Pe Agua	1000	kg/m <sup>3</sup>

Fuente: Elaboración propia, con datos tomados de una ficha técnica de “UNACEM”

b) Agregados

Los agregados utilizados en este ensayo fueron conseguidos de una ferretería en Mala, traídos de la cantera “Melchorita”, empleados en el proyecto “Elaboración de Muro Pantalla en viviendas multifamiliares Mala”, facilitados por la empresa “Pep Contratistas S.A.C”



Figura 37. Agregados proporcionados por la empresa “Pep Contratistas”

Fuente: Elaboración propia.

c) Lodos Residuales.

Para el ensayo se sustituyeron porcentajes de 3%, 5% y 10% de lodo residual seco en sustitución del agregado fino, con el objetivo de conocer los cambios en las resistencias en un lapso de 7, 14 y 21 días.

### 5.3.2 Procedimiento para la determinación de la dosificación. (Método ACI)

a) Cálculo del  $F'_{cr}$

La resistencia esperada para el concreto en un lapso de 21 días es de  $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$  ya que es la resistencia más común utilizada en los proyectos de edificación.

Para determinar la resistencia promedio, ya que no contamos con el valor de la desviación estándar (hallada en ensayos de probetas anteriores), se utilizará la Tabla 8; para la determinación de la resistencia promedio requerida.

Tabla 8. Determinación de la resistencia Promedio ( $f'_{cr}$ )

$F'_c$	$F'_{cr}$
Menor a 210	$F'_c + 70$
210-350	$F'_c + 84$
$\geq 350$	$F'_c + 98$

Fuente: Elaboración propia, tomada de la tabla 2.2 del manual ACI

b) Contenido de aire atrapado en la mezcla

Para la determinación del porcentaje de aire atrapado se toma la tabla 2.3 del ACI, en función al tamaño nominal del agregado grueso.

Tabla 9. Porcentaje de aire atrapado en la mezcla

Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso	Aire Atrapado
3/8"	3,0%
1/2"	2,5%
3/4"	2,0%
1"	1,5%
1 1/2"	1,0%
2"	0,5%

3"	0,3%
4"	0,2%

Fuente: Elaboración propia, tomada de la tabla 2.4 del manual ACI

c) Contenido de Agua

Para determinar el contenido de agua en la mezcla por m<sup>3</sup> de concreto se toma en cuenta el Slump del cemento, así como el tamaño máximo nominal del agregado grueso

Tabla 10. Cantidad de agua por metro cúbico de concreto

ASENTAMIENTO O SLUMP (mm)		Agua en lt por m <sup>3</sup> de concreto para los tamaños máximos de agregados gruesos y consistencia indicados.							
		10 mm (3/8")	12,5 mm (1/2")	20 mm (3/4")	25 mm (1")	40 mm (1 1/2")	50m m (2")	70m m (3")	150m m (6")
CONCRETOS SIN AIRE INCORPORADO									
30 a 50	(1" a 2")	205	200	185	180	160	155	145	125
80 a 100	(3" a 4")	225	215	200	195	175	170	160	140
150 a 180	(6" a 7")	240	230	210	205	185	180	170	---
CONCRETOS CON AIRE INCORPORADO									
30 a 50	(1" a 2")	180	175	165	160	145	140	135	120
80 a 100	(3" a 4")	200	190	180	175	160	155	155	135
150 a 180	(6" a 7")	215	205	190	185	170	165	160	---
Contenido total de aire incorporado (%), en función del grado de exposición.	Exposición suave	4,5	4	3,5	3	2,5	2	1,5*	1*
	Exposición moderada	6	5,5	5	4,5	4,5	4	3,5*	3*
	Exposición severa	7,5	7	6,5	6	5,5	5	4,5*	4*

Fuente: Elaboración propia, tomada de la tabla 2.2 del manual ACI

d) Relación agua/cemento (A/C)

Para determinar la relación de A/C se emplea la tabla 6.1 del ACI tomándose en cuenta la resistencia a la compresión promedio ( $f'_{cr}$ ) realizando una ecuación de correlación para determinar su verdadero valor.

Tabla 11. Relación agua/cemento

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DIAS (f <sub>cr</sub> ) (kg/cm <sup>2</sup> )	RELACIÓN AGUA/ CEMENTO DE DISEÑO EN PESO	
	CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO	CONCRETO CON AIRE INCORPORADO
	450	0,38
400	0,43	---
350	0,48	0,4
300	0,55	0,46
250	0,62	0,53
200	0,7	0,61
150	0,8	0,71

Fuente: Elaboración propia, tomada de la Norma ACI

e) Contenido de Cemento

Para calcular la cantidad de Cemento por metro cúbico de concreto empleamos la siguiente fórmula:

$$C = \frac{\text{£}}{\text{REL A/C}}$$

Figura 38. Fórmula de la cantidad de Cemento en Kg

Fuente: Norma ACI

Donde:

C= Peso del cemento

£= Cantidad de Agua en Litros

REL A/C= Relación agua/Cemento

f) Peso del Agregado Grueso

Para determinar el peso del agregado grueso por m<sup>3</sup> de concreto empleamos la siguiente fórmula:

$$Pag = \frac{b}{bo} * Pusc$$

Figura 39. Fórmula del peso del agregado grueso

Fuente: Norma ACI

Donde:

Pag= Peso del agregado grueso

b/bo=Volumen del agregado grueso

Pusc= Peso seco unitario del agregado grueso

Para hallar el volumen del agregado grueso se emplea la siguiente tabla X, la cual es tomada de la Norma ACI, la cual en función del módulo de fineza del agregado fino y el tamaño máximo nominal del agregado grueso.

Tabla 12. Volumen del agregado grueso

Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso		Volumen de agregado grueso, seco y compactado (*) por unidad de volumen de concreto, para diferentes módulos de fineza del agregado fino.			
		MÓDULO DE FINEZA DEL AGREGADO FINO			
mm.	Pulg.	2,40	2,60	2,80	3,00
10	3/8"	0,5	0,48	0,46	0,44
12,5	1/2"	0,59	0,57	0,55	0,53
20	3/4"	0,66	0,64	0,62	0,6
25	1"	0,71	0,69	0,67	0,65
40	1 1/2"	0,76	0,74	0,72	0,7
50	2"	0,78	0,76	0,74	0,72
70	3"	0,81	0,79	0,77	0,75
150	4"	0,87	0,85	0,83	0,81

Fuente: Norma ACI

Una vez determinado se obtiene finalmente el peso del agregado grueso.

$$Psag = \frac{b}{bo} * Pusc$$

Figura 40. Fórmula del peso del agregado grueso para la mezcla

Fuente: Elaboración propia

Donde:

Psag= Peso seco del agregado grueso

b/bo= volumen del agregado grueso por m<sup>3</sup> de concreto

Pusc= Peso unitario seco del agregado grueso

g) Volumen Absoluto

Para determinar el volumen del agregado fino en la mezcla de concreto, utilizamos el método de los volúmenes absolutos el cual al tener el volumen de los otros agregados que participan en el concreto podemos determinar el restante. Para ello empleamos la siguiente fórmula:

$$Volm = \frac{Pm}{Pum}$$

Figura 41. Fórmula del peso del agregado grueso.

Fuente: Norma ACI

Donde:

Volm= volumen del material

Pm= peso del material

Pum= peso unitario del material

$$V_{af} = 1 - V_c - V_{agua} - V_{ai} - V_{ag}$$

Figura 42. Fórmula del volumen del agregado fino

Fuente: Norma ACI

Donde:

$V_{af}$ = Volumen del agregado fino

$V_c$ = Volumen del cemento

$V_{agua}$ = Volumen del agua

$V_{ai}$ = Volumen del aire

$V_{ag}$ = Volumen del agregado grueso

h) Peso del Agregado Fino

Para determinar el peso del agregado fino que para 1m<sup>3</sup> de concreto se aplica la siguiente fórmula:

$$P_{saf} = V_{af} * P_{eaf}$$

Figura 43. Fórmula del peso del agregado fino

Fuente: Norma ACI

Donde:

$P_{saf}$ = Peso seco del agregado fino

$V_{af}$ = Volumen del agregado fino

$P_{eaf}$ = Peso específico del agregado fino

i) Corrección por humedad de los agregados

Para determinar el peso de los agregados en estado húmedo (estado natural) ya es necesario aplicar la siguiente fórmula:

$$P_{am} = P_{sm} * \left( \frac{W\%}{100} + 1 \right)$$

Figura 44. Fórmula del peso de los agregados

Fuente: Norma ACI

Donde:

$P_{am}$ = Peso del agregado

$P_{sm}$ = Peso seco del material

$W\%$ = Porcentaje de humedad

j) Aporte de agua a la mezcla

Para determinar la cantidad de agua que están incluidos en la humedad de los agregados empleamos la siguiente fórmula:

$$A_{am} = \left( \frac{(W\% - \%abs) * P_{sm}}{100} \right)$$

Figura 45. Fórmula del aporte de agua de los agregados

Fuente: Norma ACI

Donde:

$A_{am}$ = Aporte de agua del material

$P_{sm}$ = Peso seco del material

$W\%$ = Porcentaje de humedad

$abs\%$ = Porcentaje de absorción

k) Agua efectiva

Para determinar la cantidad de agua que efectiva que se agregara por cada m<sup>3</sup> de concreto hay que restar el aporte de agua de cada material y para ello empleamos la siguiente fórmula:

$$Ae = (F - Aag - Aaf)$$

Figura 46. Fórmula del agua efectiva

Fuente: Norma ACI

Donde:

Ae= Agua efectiva

Aag= Aporte de agua del agregado grueso

Aaf= Aporte de agua del agregado fino

#### 1) Proporciones de diseño

Para determinar las proporciones de diseño en función a las características de los agregados, una vez conociendo los resultados, empleamos la siguiente fórmula:

$$\frac{C}{C} : \frac{Paf}{C} : \frac{Pag}{C} : \frac{Ae}{Fc}$$

Figura 47. Fórmula de las proporciones de la mezcla

Fuente: Norma ACI

Donde:

C= Peso del Cemento

Pag= Peso del agregado grueso

Paf= Peso del agregado fino

Ae= Agua efectiva

Fc= Factor cemento

#### 5.3.3 Cantidad de cilindros por porcentaje de lodo

Para realizar determinar las resistencias del concreto para cada variante de mezcla se utilizaron 3 probetas por cada porcentaje de lodo, todos los concretos realizados se ensayaron a las edades de 7, 14 y 21 días; como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 13. Distribución de Ensayos realizados

<b>CANTIDAD</b>				
<b>PROBETAS POR ENSAYO Y DIA</b>	<b>0% LODOS</b>	<b>3% LODOS</b>	<b>5% LODOS</b>	<b>10% LODOS</b>
PROBETAS EN 7 DÍAS	3	3	3	3
PROBETAS EN 14 DÍAS	3	3	3	3
PROBETAS EN 21 DÍAS	3	3	3	3

Fuente: Elaboración Propia

Para realizar una mejor comparación de los concretos se realizó una muestra de control, la cual no contiene ningún porcentaje de lodos residuales.

a) Características de las probetas

Para realizar el ensayo se tomó como referencia la norma ASTM C31 empleando probetas de 20 cm x10 cm empleando como se observa en la figura 51

Al empezar con el ensayo se cubre el molde con un desmoldante para evitar maltratar el mismo, en nuestro caso utilizamos “Z cron” de Z aditivos, luego se rellena el molde en un tercio de su capacidad y se realiza 25 golpes alrededor de todo el cilindro para uniformizar la mezcla con ayuda de una varilla de metal y un martillo de goma, luego se repite el proceso en las siguiente 3 capas.

Al día siguiente se desmoldan las probetas y se llevan a las cámaras de curado para posteriormente ser ensayadas a compresión en sus respectivas edades.



Figura 48. Dimensiones de los moldes trabajados.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 49. Materiales empleados en la elaboración de los testigos.

Fuente: Elaboración propia.

#### 5.4 Ensayos realizados al concreto

Para determinar las propiedades mecánicas del concreto en estado fresco y endurecido, se realizaron 3 ensayos.

Tabla 14. Ensayos realizados a las muestras de Concreto

ENSAYO REALIZADO		MEZCLA	MEZCLA	MEZCLA	MEZCLA
		0%	3%	5%	10%
		LODOS	LODOS	LODOS	LODOS
CONO DE ABRAMS	CANTIDAD (PROBETAS)	3	3	3	3
	EDAD	21	21	21	21
COMPRESIÓN UNIAXIAL	CANTIDAD (PROBETAS)	3	3	3	3
	EDAD (DÍAS)	7	7	7	7
COMPRESIÓN UNIAXIAL	CANTIDAD (PROBETAS)	3	3	3	3
	EDAD (DÍAS)	14	14	14	14
COMPRESIÓN UNIAXIAL	CANTIDAD (PROBETAS)	3	3	3	3
	EDAD (DÍAS)	21	21	21	21

Fuente: Elaboración propia

#### 5.4.1 Ensayo del Cono de Abrams (NTP 339.035)

En este ensayo el concreto se coloca en un molde metálico troncocónico de 30 cm de altura y de 10 y 20 cm de diámetro, superior e inferior respectivamente. Colocando en una base plana para luego ser compactado y enrasado por la parte superior del molde, inmediatamente el molde es retirado y es colocado a lado de la mezcla fresca para poder medir con una varilla de la parte superior del molde hasta la parte superior de la mezcla; midiendo así el asentamiento (diferencia de altura entre el molde y mezcla) para así determinar la trabajabilidad de la mezcla.



Figura 50. Ensayo del Cono de Abrams

Fuente: Elaboración propia.

#### 5.4.2 Ensayo de Flexión de viga (NTP 339.078)

“Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo” nos permite el cálculo a la resistencia a flexión, esto ensayado con cargas a los tercios de la luz. La aplicación de este ensayo a las vigas se calculará mediante su ubicación, debe estar del tercio medio a una distancia no menor del 5% de la luz libre.

Esto se mide mediante la aplicación de fuerzas que se ejerce a la viga de dimensiones de 15 cm x 15 cm de su sección transversal y su luz debe ser como mínimo 3 veces menor al espesor.

El módulo de rotura en este ensayo se encuentra en el rango del 10% a 20% de la resistencia a compresión, pero todo esto depende de las dimensiones y volumen del agregado grueso que compone al concreto. (Luis Gabriel García Kriete, 2018)

El aparato empleado para realizar el ensayo se utilizó el equipo de la universidad Ricardo Palma.

Una vez que se obtuvo el valor de la carga se obtiene el módulo de rotura experimental obtenido a través de la siguiente fórmula:

$$Mre = k\sqrt{f'c}$$

Figura 51. Cálculo del coeficiente de permeabilidad

Fuente: NTP 339.078

Donde:

Mre = Módulo de rotura experimental en kg/cm<sup>2</sup>

k = Coeficiente de rotura

f'c = Resistencia del concreto en kg/cm<sup>2</sup>



Figura 52. Vigas de concreto con 10% de lodos y 0% de lodos.

Fuente: Elaboración propia

#### 5.4.3 Ensayo de Compresión Uniaxial NTP 339.034

Para obtener la resistencia a la compresión se realiza con el promedio de 3 probetas de 15x30 cm para las edades ensayadas (7, 14 y 21 días). Como se observa en la figura 56.



Figura 53. Probetas de concreto con 10% de Lodos en la mezcla.

Fuente: Elaboración propia.

Los ensayos a compresión se trabajaron con la MÁQUINA ELE INTERNATIONAL de compresión UNIAXIAL PRENSA DIGITAL ACCU-TEK 500 de la Universidad Ricardo Palma. Se pesaron todas las muestras con la balanza de precisión luego se colocaron las probetas centradas al eje a la prensa hidráulica aplicando una carga constante según la NTP 339.084 en el rango de  $0.25 \pm 0.05$  Pa/s (2 a 3 kg/cm<sup>2</sup> /s) hasta la falla del espécimen, registrando la carga máxima soportada finalmente para determinar la resistencia a la compresión se empleó siguiente fórmula:

$$f'c = \frac{P}{A} = \frac{4 * P}{\pi D^2}$$

Figura 54. Cálculo de la resistencia a la compresión

Fuente: Norma NTP 339.034

Dónde:

$f'c$  = Resistencia a la compresión axial, Kg/cm<sup>2</sup>

$P$  = Carga máxima indicado por la máquina de ensayo, Kg

$A$  = Área de la sección Transversal del espécimen,  $\text{cm}^2$

$D$  = Diámetro promedio de las probetas, cm



Figura 55. Curado de probetas en el laboratorio de ensayo de materiales.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 56. Prensa digital ACCU-500, laboratorio de materiales, U. Ricardo P.

Fuente: Elaboración propia.

## 5.5 Presentación de Resultados

En este capítulo se presentan los resultados de la data obtenida de los ensayos realizados en el Laboratorio de Ensayo de Materiales en la facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Ricardo Palma, sobre el diseño de mezcla para la producción de concreto con sustitución de agregado finos del 3%, 5% y 10% por lodos de PTAP y concreto convencional. Asimismo, las características físicas de los agregados y las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido. También se presentan los resultados de la caracterización de la muestra tomada de la PTAP.

### 5.5.1 Ensayo de agregados

En seguida, se muestran los resultados de los ensayos de análisis granulométricos del agregado grueso, agregado fino, peso unitario suelto, peso unitario compactado, peso específico, contenido de humedad y porcentaje de absorción.

#### a) Agregado fino

Tabla 15. Granulometría del agregado fino

Tamiz		%Ret	%Retacum	%Pasa	%Pasa (ASTM C33)
Pulg	mm				
3/8"	9.50	0.00	0.00	100.00	100
N°4	4.75	3.75	3.75	96.25	95-100
N°8	2.36	13.54	17.29	82.71	80-100
N°16	1.18	23.46	40.75	59.25	50-85
N°30	0.60	25.58	66.33	33.67	25-60
N°50	0.30	14.65	80.98	19.02	5-30
N°100	0.15	8.04	89.02	10.98	0-10
FONDO		10.98	100.00	0.00	

Fuente: Elaboración propia.

Con los valores del % que pasa y la abertura de los tamices de la Tabla 15, se obtiene la curva granulométrica para el agregado fino, tal como se muestra en la Figura 57, los límites min y max. corresponden al HUSO agregado fino (Specification E11), según la norma ASTM C33.

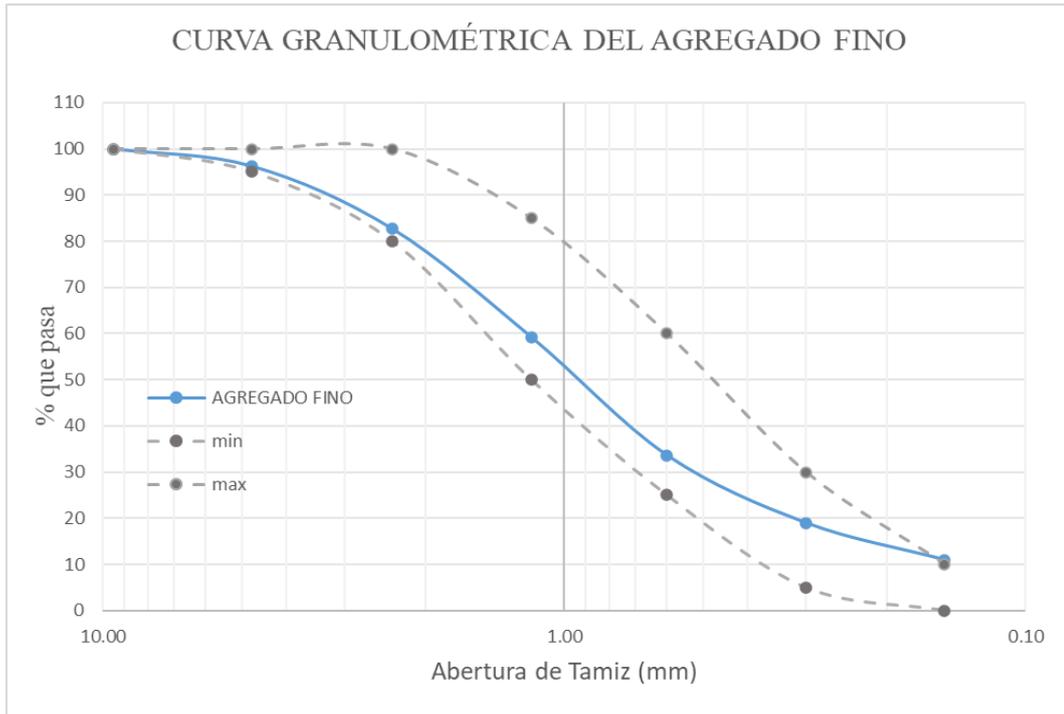


Figura 57. Curva granulométrica del agregado fino

Fuente: Elaboración propia.

### Módulo de fineza

El módulo de fineza se calcula con la siguiente ecuación.

$$MF = \frac{\%RetN^{\circ}4 + \%RetN^{\circ}8 + \%RetN^{\circ}16 + \%RetN^{\circ}30 + \%RetN^{\circ}50 + \%RetN^{\circ}100}{100}$$

$$MF = \frac{3.75 + 13.54 + 23.46 + 25.58 + 14.65 + 8.04}{100}$$

$$MF = 2.98$$

El módulo de fineza para la arena gruesa es 2.98.

Tabla 16. Peso Unitario Suelto del agregado fino (Kg/m<sup>3</sup>)

Peso de la muestra + recipiente (kg) A	6.38	
Peso del recipiente (kg) B	1.76	
Peso de la muestra (kg) (A-B)	4.62	
Volumen del recipiente (V)	1/10	Pie <sup>3</sup>
<b>Peso Unitario Suelto (A-B) / V</b>	<b>1650</b>	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17. Peso Unitario Compactado del agregado fino (Kg/m<sup>3</sup>).

Peso de la muestra + recipiente (kg) A	6.38	
Peso del recipiente (kg) B	1.76	
Peso de la muestra (kg) (A-B)	5.22	
Volumen del recipiente (V)	1/10	Pie3
<b>Peso Unitario Compactado (A-B) / V</b>	<b>1864</b>	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18. Peso Específico del agregado fino (g/cm<sup>3</sup>).

Agregado Fino		
Peso de Agregado SSS	509.5	g
Peso de agregado SSS + fiola + H <sub>2</sub> O	961.4	g
Peso fiola	150	g
Peso del agua	301.9	g
Peso del agregado seco en horno	500.6	g
Volumen de la fiola	500	ml
<b>Peso específico del agregado</b>	<b>2.53</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>
Peso espec. del agregado SSS	2.57	g/cm <sup>3</sup>
Peso espec. aparente	2.65	g/cm <sup>3</sup>
<b>Porcentaje de absorción</b>	<b>1.78</b>	<b>%</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19. Contenido de humedad del agregado fino (%)

Agregado Fino		
Peso de la muestra	2.22	kg
Peso de la muestra seca en horno	2.2	kg
Peso del agua perdida	0.02	kg
<b>Contenido de humedad</b>	<b>0.91</b>	<b>%</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20. Porcentaje de absorción del agregado grueso (%)

Agregado Fino	
Peso de Agregado SSS	509.5 g
Peso de agregado SSS + fiola + H2O	961.4 g
Peso fiola	150 g
Peso del agua	301.9 g
Peso del agregado seco en horno	500.6 g
Volumen de la fiola	500 ml
<b>Peso específico del agregado</b>	<b>2.53 g/cm<sup>3</sup></b>
Peso espec. del agregado SSS	2.57 g/cm <sup>3</sup>
Peso espec. aparente	2.65 g/cm <sup>3</sup>
<b>Porcentaje de absorción</b>	<b>1.78 %</b>

Fuente: Elaboración propia.

b) Agregado grueso

Tabla 21. Granulometría del agregado grueso

Pulg	Tamiz	%Ret	%Retacum	%Pasa	%Pasa (ASTM C33)
	mm				
1"	25.00	1.69%	1.69%	98.31%	90-100
3/4"	19.00	35.47%	37.16%	62.84%	40-85
1/2"	12.50	34.12%	71.28%	28.72%	10-40
3/8"	9.50	11.82%	83.11%	16.89%	0-15
N°4	4.75	6.42%	89.53%	10.47%	0-5
	FONDO	10.47%	100.00%	0.00%	

Fuente: Elaboración propia.

Con los valores del % que pasa y la abertura de los tamices de la Tabla 21, se obtiene la curva granulométrica, tal como se muestra en la Figura 58, los límites min y max. corresponden al HUSO 57, según la norma ASTM C33.

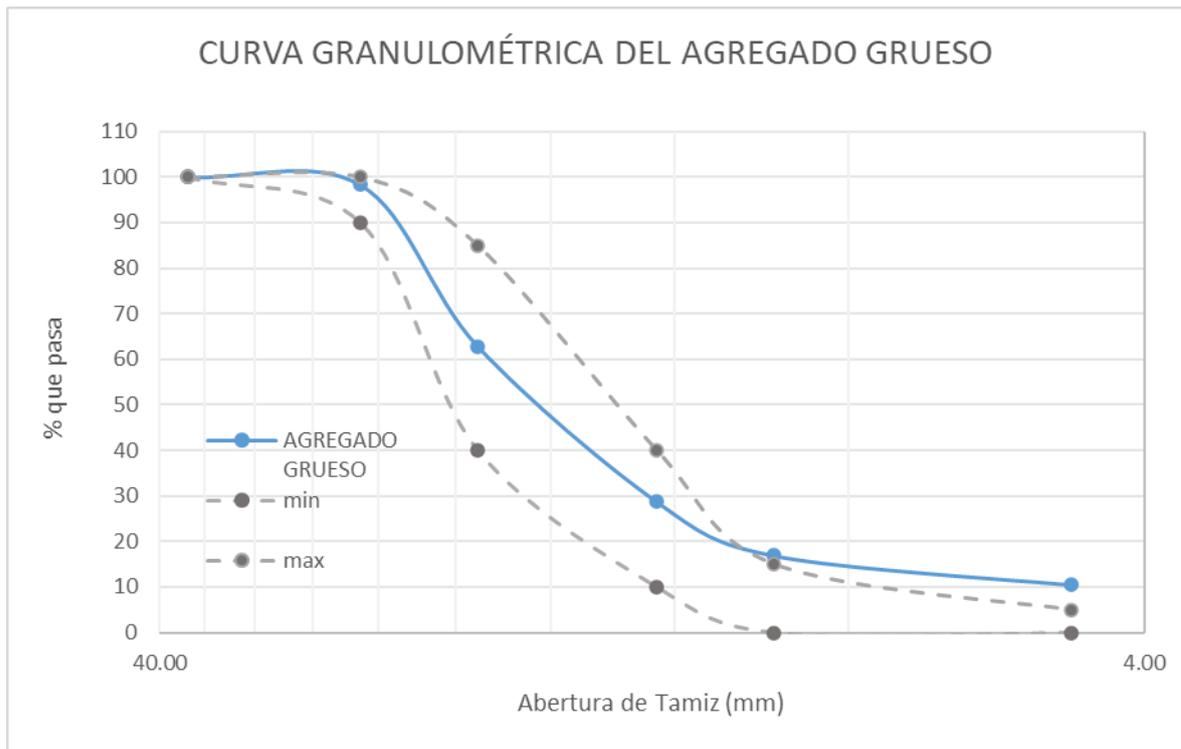


Figura 58. Curva granulométrica del agregado grueso

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 22. Peso Unitario Suelto del agregado grueso (Kg/m<sup>3</sup>)

Agregado Grueso		
Peso de la muestra + recipiente (kg) A	27.18	
Peso del recipiente (kg) B	5.92	
Peso de la muestra (kg) (A-B)	21.26	
Volumen del recipiente (V)	1/2	Pie3
<b>Peso Unitario Suelto (A-B)/V</b>	<b>1518.571</b>	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 23. Peso Unitario Compactado del agregado grueso (Kg/m<sup>3</sup>)

Agregado Grueso		
Peso de la muestra + recipiente (kg) A	28.76	
Peso del recipiente (kg) B	5.92	
Peso de la muestra (kg) (A-B)	22.84	
Volumen del recipiente (V)	1/2	Pie3
<b>Peso Unitario Compactado (A-B)/V</b>	<b>1631</b>	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24. Peso específico del agregado grueso (g/cm<sup>3</sup>)

Agregado grueso		
Peso del recipiente	0.58	kg
Peso recipiente + muestra seca en horno	5.54	kg
Peso de la muestra seca en horno (A)	4.96	kg
Peso de la muestra en condición SSS (B)	5	kg
Peso de la canastilla	1	kg
Peso de la muestra sumergido (C)	3.44	kg
<b>Peso específico de la muestra</b>	<b>3.18</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>
Peso específico. Muestra SSS	3.20	g/cm <sup>3</sup>
Peso espec Aparente	3.26	g/cm <sup>3</sup>
<b>Porcentaje de absorción</b>	<b>0.81</b>	<b>%</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25. Contenido de humedad del agregado grueso (%)

Agregado Grueso	
Peso de la muestra	5.32 kg
Peso de la muestra seca en horno	5.28 kg
Peso del agua perdida	0.04 kg
<b>Contenido de humedad</b>	<b>0.76 %</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 26. Porcentaje de absorción del agregado grueso (%)

Agregado grueso	
Peso del recipiente	0.58 kg
Peso recipiente + muestra seca en horno	5.54 kg
Peso de la muestra seca en horno (A)	4.96 kg
Peso de la muestra en condición SSS (B)	5 kg
Peso de la canastilla	1 kg
Peso de la muestra sumergido (C)	3.44 kg
<b>Peso específico de la muestra</b>	<b>3.18 g/cm<sup>3</sup></b>
Peso específico. Muestra SSS	3.20 g/cm <sup>3</sup>
Peso espec Aparente	3.26 g/cm <sup>3</sup>
<b>Porcentaje de absorción</b>	<b>0.81 %</b>

Fuente: Elaboración propia

### 5.5.2 Ensayo de diseño de mezclas

Con los datos obtenidos de los ensayos de granulometría determinamos las características iniciales de los agregados que vamos a usar para nuestra mezcla de concreto. Los cuales están resumidas en la siguiente tabla:

Tabla 27. Características de los agregados

**DATOS INICIALES DE LOS AGREGADOS PARA EL  
DISEÑO DE MEZCLAS**

<b>PROPIEDADES FÍSICAS</b>	<b>AG. FINO</b>	<b>AG. GRUESO</b>
Módulo de Fineza	3,38	6,11
Peso Unitario Suelto (Kg/m <sup>3</sup> )	1650	1519
Peso Unitario Compactado (Kg/m <sup>3</sup> )	1864	1631
Peso Específico (g/cm <sup>2</sup> )	2527	3179
Contenido de Humedad (%)	0,9	0,8
Porcentaje de Absorción (%)	1,8	0,8
Tamaño Máximo Nominal		1"

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28. Resultados iniciales del diseño de mezclas

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>SÍMBOLO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>
Factor Cemento	Fc	7,25	bol
Porcentaje de aire	¥	1,5	
Cantidad de agua	£	185	lt
Cantidad de cemento	C	308,33	kg
Peso del a. grueso	Psag	1060,43	kg

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29. Volúmenes absolutos por m3 de concreto

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>SÍMBOLO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>
Volumen de cemento	Vc	0,10	m3
Volumen de agua	Vagua	0,19	m3
Volumen de aire	Vai	0,02	m3
Volumen de a. Grueso	Vsag	0,33	m3
Volumen de a. Fino	Vsaf	0,37	m3

Fuente: Elaboración propia

Tabla 30. Determinación del peso del agregado fino

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>SÍMBOLO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>
Volumen seco a. Fino	Vsaf	0,37	m3
Peso específico a. Fino	Peaf	2527,01	g/cm2
Peso específico seco a. Fino	Psaf	928,90	kg

Fuente: Elaboración propia

Tabla 31. Cantidad de agregados por m3 de concreto

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>SÍMBOLO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>
Cemento	C	308,33	kg
Agregado fino	Paf	937,34	kg
Agregado grueso	Pág	1068,46	kg
Agua efectiva	Ae	179,91	lt

Fuente: Elaboración propia

Siguiendo los pasos para la elaboración de diseño de mezclas se tiene como resultado las proporciones finales para el diseño de mezcla para concreto convencional de  $f'c = 210$  kg/cm<sup>2</sup> las cuales sirven como referencia para los ensayos.

$$1 : 3.04 : 3.47 : 24.80 \text{ lts}$$

Figura 59. Dosificación para la mezcla de concreto del proyecto

Fuente: Elaboración propia

De esta manera las proporciones para un m<sup>3</sup> para las distintas mezclas de concreto con 3%, 5% y 10% de lodos se aprecian en la siguiente tabla:

Tabla 32. Cantidad de agregados para las mezclas de diseño de la investigación

CONCRETO CONVENCIONAL			CONCRETO CON 3% DE LODOS		
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UND	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UND
Cemento	308,33	kg	Cemento	308,33	kg
Agregado fino	937,34	kg	Agregado fino	909,22	kg
Muestra de Lodos	0,00	kg	Muestra de Lodos	28,12	kg
Agregado grueso	1068,46	kg	Agregado grueso	1068,46	kg
Agua efectiva(lt)	176,40	kg	Agua efectiva(lt)	176,40	kg
CONCRETO CON 5% DE LODOS			CONCRETO CON 10% DE LODOS		
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UND	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UND
Cemento	308,33	kg	Cemento	308,33	kg
Agregado fino	890,48	kg	Agregado fino	843,61	kg
Muestra de Lodos	46,87	kg	Muestra de Lodos	93,73	kg
Agregado grueso	1068,46	kg	Agregado grueso	1068,46	kg
Agua efectiva(lt)	176,40	kg	Agua efectiva(lt)	176,40	kg

Fuente: Elaboración Propia.

### 5.5.3 Análisis del lodo.

#### a) Características físicas.

Al realizar el ensayo de granulometría para la muestra de lodos toda la muestra pasó por la malla 100 (150  $\mu$ m), y otro porcentaje por la malla 200 (0.074 mm), por lo que se decidió realizar el ensayo de texturas en el laboratorio SLAB PERÚ, con la cual se determinó la cantidad de limos y arcillas presentes en la muestra. Dando como resultado la composición siguiente: 82.69% de arena, 4.94% de limo, y 12.37% de

arcilla. La muestra presenta una textura arenosa franco, tal como se muestra en el Anexo 10 sobre el ensayo de texturas.

Por otro lado, se realizó la caracterización básica de la muestra de lodos, encontrando los siguientes valores: peso específico, porcentaje de absorción, peso unitario suelto, peso unitario compactado y contenido de humedad. Los resultados se pueden observar desde la Tabla 33 hasta la Tabla 36. La caracterización básica del lodo como agregado se realizó en el Laboratorio de Ensayo de Materiales, de la Universidad Ricardo Palma.

Tabla 33. Peso específico de la muestra

Muestra de Lodo	
Peso de Agregado SSS	103.2 g
Peso de agregado SSS + fiola + H2O	711.9 g
Peso fiola	150 g
Peso del agua	458.7 g
Peso del agregado seco en horno	102.2 g
Volumen de la fiola	500 ml
<b>Peso específico del lodo</b>	<b>2.47 g/cm<sup>3</sup></b>
Peso específico. del agregado SSS	2.50 g/cm <sup>3</sup>
Peso específico. aparente	2.54 g/cm <sup>3</sup>
<b>Porcentaje de absorción</b>	<b>0.98 %</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 34. Peso unitario suelto de la muestra

Peso de la muestra + recipiente (kg) A	5.12
Peso del recipiente (kg) B	1.76
Peso de la muestra (kg) (A-B)	3.36
Volumen del recipiente (V)	1/10 Pie <sup>3</sup>
<b>Peso Unitario Suelto (A-B)/V</b>	<b>1200</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 35. Peso unitario compactado de la muestra.

Peso de la muestra + recipiente (kg) A	5.12	
Peso del recipiente (kg) B	1.76	
Peso de la muestra (kg) (A-B)	4.43	
Volumen del recipiente (V)	1/10	Pie3
<b>Peso Unitario Compactado (A-B)/V</b>	<b>1582</b>	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 36. Contenido de humedad de la muestra.

Agregado Fino		
		k
Peso de la muestra	2.36	g
		k
Peso de la muestra seca en horno	1.94	g
		k
Peso del agua perdida	0.42	g
<b>Contenido de humedad</b>	<b>21.6</b>	<b>%</b>

Fuente: Elaboración propia.

b) Características químicas.

Los resultados del ensayo de espectroscopía de emisión atómica con plasma de acoplamiento inductivo realizado por SLAB PERÚ, se pudo saber la composición química tal como se observa en la Tabla 38. Donde el contenido de óxido de aluminio es del 22.40%, mientras que el contenido de óxido de silicio es de 59.44%, estos valores se encuentran dentro de los rangos presentados según Minh Duc et al. (2022). Por otro lado, también se obtuvo las cantidades de metales pesados contenidos en la muestra de lodo de Ptap – Mala ver Tabla 39. También se determinó el contenido orgánico de la muestra que resultó 0.26% ver Tabla 37.

Tabla 37. Contenido orgánico en la muestra de lodos.

Muestra	Parámetro	Unidad	Resultado
Lodos Ptap-	Materia orgánica	%	0.26
Mala	Contenido de humedad	%	21.84

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 38. Composición química de la muestra

Muestra	Composición química	Unidad	Resultados
Lodos de la Ptap- Mala	Óxido de Silicio SiO <sub>2</sub>	%	59.44
	Óxido de Aluminio, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	22.40
	Óxido de Magnesio MgO	%	4.93
	Óxido de Hierro Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	4.82
	Óxido de Calcio CaO	%	4.35
	Óxido de Potasio, K <sub>2</sub> O	%	1.22
	Óxido de Azufre, SO <sub>3</sub>	%	0.54

Fuente: Elaboración propia, Anexo 11

Tabla 39. Principales metales pesados encontrados en la muestra de lodos

Muestra	Parámetro	Unidad	Método de ensayo	Resultados
Lodos de la Ptap- Mala	Arsénico, As	mg/Kg	Espectroscopía de Emisión Atómica con Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-OES)	0.90
	Cadmio, Cd	mg/Kg		<0.50
	Cromo, Cr	mg/Kg		14.39
	Mercurio, Hg	mg/Kg		<0.50
	Plomo, Pb	mg/Kg		4.42

Fuente: Elaboración propia.

#### 5.5.4 Ensayo de Cono de Abrams

Se realizó bajo la NTP 339.035:2015. Se realizó mediante el “Ensayo de Cono de Abrams” o “Slump”. Se realizaron 4 ensayos correspondientes a cada mezcla según el porcentaje de lodos en la mezcla.

Tabla 40. Asentamiento de las muestras según porcentaje de lodos.

Ensayo	Unidad	MUESTRAS			
		0% LODOS	3% LODOS	5% LODOS	10% LODOS
Asentamiento	Pulgadas	6,5"	6"	5,5"	6"

Fuente: Elaboración propia.

#### 5.5.4 Ensayo de Compresión Uniaxial

A continuación, se presentan los resultados de las roturas de probetas a la edad de 7 días de cada tipo de mezcla. Cada probeta fue ensayada en la Universidad Ricardo Palma con ayuda de los Laboratoristas.

Tabla 41. Resultado de ensayo a compresión axial a los 7 días

Muestra	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Resistencia a la compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	R.C. Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo de Fractura	Porcentaje respecto a diseño
7L0-1	81,71	14172,6	173,44		5	
7L0-2	80,12	12503,7	156,07	183	5	87,37
7L0-3	81,71	18053	220,93		5	
7L3-1	81,71	17109,2	209,38		5	
7L3-2	81,71	13252,5	162,18	177	5	84,09
7L3-3	81,71	12929,4	158,23		5	
7L5-1	81,71	14266	174,59		5	
7L5-2	80,12	13108,6	163,62	169	5	80,53
7L5-3	81,71	13819,8	169,13		5	
7L10-1	80,12	3222,5	40,22		5	
7L10-2	81,71	4641,6	56,80	53	5	25,32
7L10-3	81,71	5108	62,51		5	

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se aprecian las figuras con los tipos de fallas según cada tipo de mezcla.



Figura 60. Rotura de probetas con 0% de lodos a los 7 días.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 61. Rotura de probetas con 3% de lodos a los 7 días.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 62. Rotura de probetas con 5% de lodos a los 7 días.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 63. Rotura de probetas con 10% de lodos a los 7 días.

Fuente: Elaboración propia.

Para tener una mejor percepción de resultados se realizó un gráfico de barras para comparar los resultados entre los 4 tipos de mezclas.

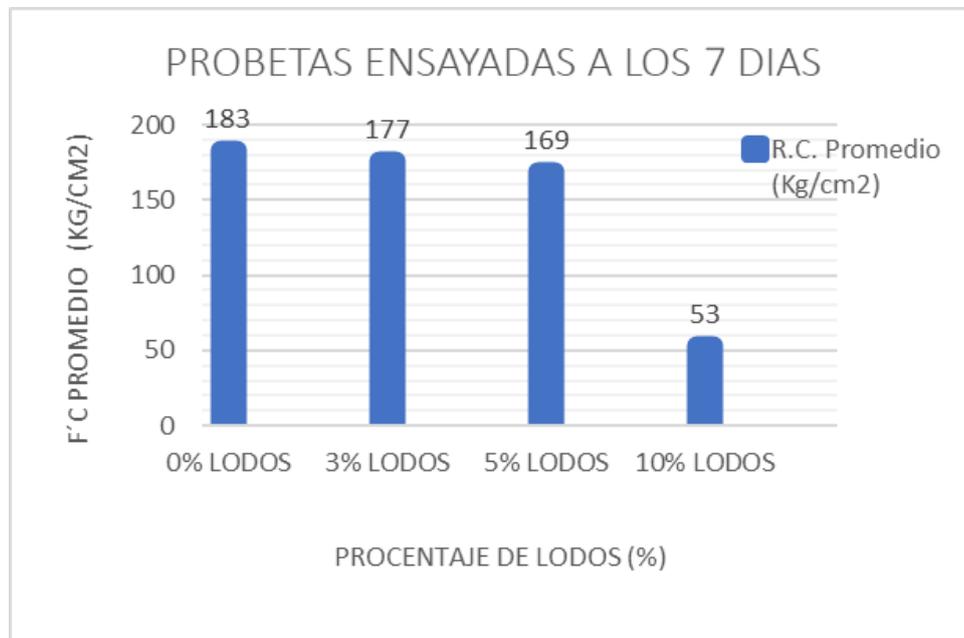


Figura 64. Gráfico de las resistencias Promedio de los 4 tipos de mezclas ensayadas.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 64 se muestra una disminución en la resistencia del concreto a medida que aumenta el porcentaje de lodos en la mezcla. En la tabla 41 la mezcla de 3% de lodos presenta una resistencia de 84.09% de la resistencia de diseño; la mezcla con 5% de lodos presenta una resistencia de 80.53% de la resistencia de diseño; sin embargo mezcla de 10% de lodos presenta una resistencia de 25.32% de la resistencia de diseño, no cumpliendo con el 70% de resistencia total esperado para la edad de 7 días.

A continuación, se presentan los resultados de las roturas de probetas a la edad de 14 días de cada tipo de mezcla. Cada probeta fue ensayada en la Universidad Ricardo Palma con ayuda de los Laboratoristas.

Tabla 42. Resultado de ensayo a compresión axial a los 14 días

Muestra	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Resistencia a la compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	R.C. Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo de Fractura	Porcentaje respecto a diseño
14L0-1	78,07	17992,3	230,465799		5	
14L0-2	77,76	16696,1	214,723212	221	2	105,35
14L0-3	78,23	17094,4	218,52589		5	
14L3-1	77,60	16818,7	216,735361		5	
14L3-2	78,23	15886,7	203,087284	209	2	99,60
14L3-3	77,91	16177	207,629676		2	
14L5-1	78,70	15204,8	193,206919		5	
14L5-2	77,91	13705,7	175,910865	178	5	84,59
14L5-3	77,91	12763,7	163,820418		5	
14L10-1	77,76	5400,5	69,4541063		5	
14L10-2	78,38	5024,5	64,1020609	73	2	34,88
14L10-3	78,07	6728,9	86,1913883		2	

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se aprecian las figuras con los tipos de fallas según cada tipo de mezcla.



Figura 65. Rotura de probetas con 0% de lodos a los 14 días.

Fuente: Elaboración propia



Figura 66. Rotura de probetas con 3% de lodos a los 14 días.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 67. Rotura de probetas con 5% de lodos a los 14 días

Fuente: Elaboración propia.



Figura 68. Rotura de probetas con 10% de lodos a los 14 días.

Fuente: Elaboración propia.

Para tener una mejor percepción de resultados se realizó un gráfico de barras para comparar los resultados entre los 4 tipos de mezclas.

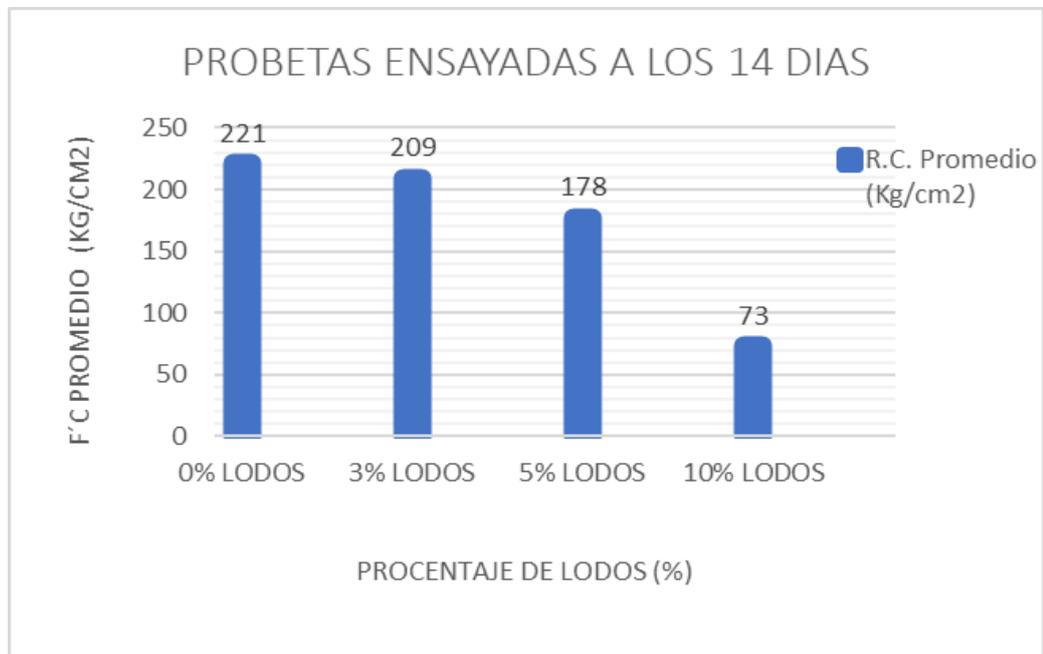


Figura 69. Gráfico de las resistencias Promedio de los 4 tipos de mezclas ensayadas.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 69 se muestra una disminución en la resistencia del concreto a medida que aumenta el porcentaje de lodos en la mezcla. En la tabla 42 la mezcla de 3% de lodos presenta una resistencia de 99.60% de la resistencia de diseño; la mezcla con 5% de lodos presenta una resistencia de 84.59% de la resistencia de diseño; sin embargo mezcla de 10% de lodos presenta una resistencia de 34.88% de la resistencia de diseño, no cumpliendo con el 90% de resistencia total esperado para la edad de 7 días; al igual que la muestra con 5% de lodos.

A continuación, se presentan los resultados de las roturas de probetas a la edad de 21 días de cada tipo de mezcla. Cada probeta fue ensayada en la Universidad Ricardo Palma con ayuda de los Laboratoristas.

Tabla 43. Resultado de ensayo a compresión axial a los 21 días

Muestra	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Resistencia a la compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	R.C.		
				Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo de Fractura	Porcentaje respecto a diseño
14L0-1	81,71	19992,8	244,6715068		5	
14L0-2	80,12	17958	224,1430815	231	2	109,78
14L0-3	80,12	17852,3	222,8237852		2	
14L1-1	80,12	16819,6	209,9341226		2	
14L1-2	80,12	16933,8	211,3595118	210	2	100
14L1-3	81,71	17011,9	208,1913092		2	
14L5-1	81,71	15446,1	189,0290785		2	
14L5-2	81,71	15183,1	185,8104895	186	5	88,37
14L5-3	84,95	15452	181,8980903		5	
14L10-1	80,12	6216,8	77,59509462		2	
14L10-2	80,12	6096,9	76,09856073	77	2	36,58
14L10-3	78,54	6030,9	76,7878037		2	

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se aprecian las figuras con los tipos de fallas según cada tipo de mezcla.



Figura 70. Rotura de probetas con 0% de lodos a los 21 días.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 71. Rotura de probetas con 3% de lodos a los 21 días.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 72. Rotura de probetas con 5% de lodos a los 21 días.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 73. Rotura de probetas con 10% de lodos a los 21 días.

Fuente: Elaboración propia.

Para tener una mejor percepción de resultados se realizó un gráfico de barras para comparar los resultados entre los 4 tipos de mezclas.

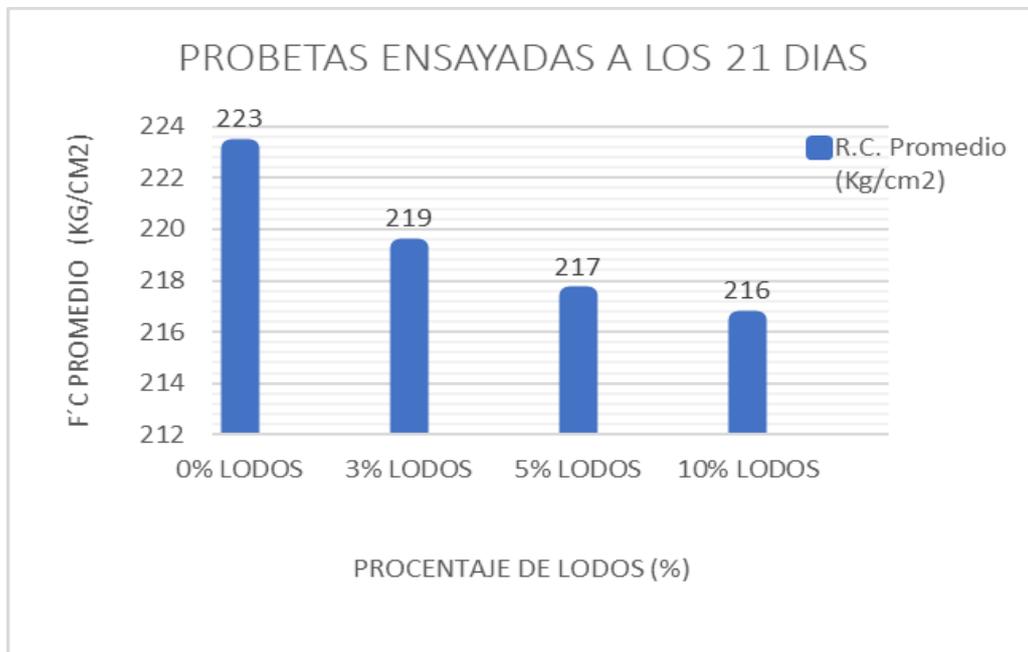


Figura 74. Figura: Resistencias Promedio de los 4 tipos de mezclas ensayadas.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 74 se muestra una disminución en la resistencia del concreto a medida que aumenta el porcentaje de lodos en la mezcla. En la tabla 43 la mezcla de 3% de lodos presenta una resistencia de 100% de la resistencia de diseño; la mezcla con 5% de lodos presenta una resistencia de 88.37% de la resistencia de diseño; sin embargo mezcla de 10% de lodos presenta una resistencia de 36.58% de la resistencia de diseño, no cumpliendo con el 92% de resistencia total esperado para la edad de 7 días; al igual que la muestra con 5% de lodos.

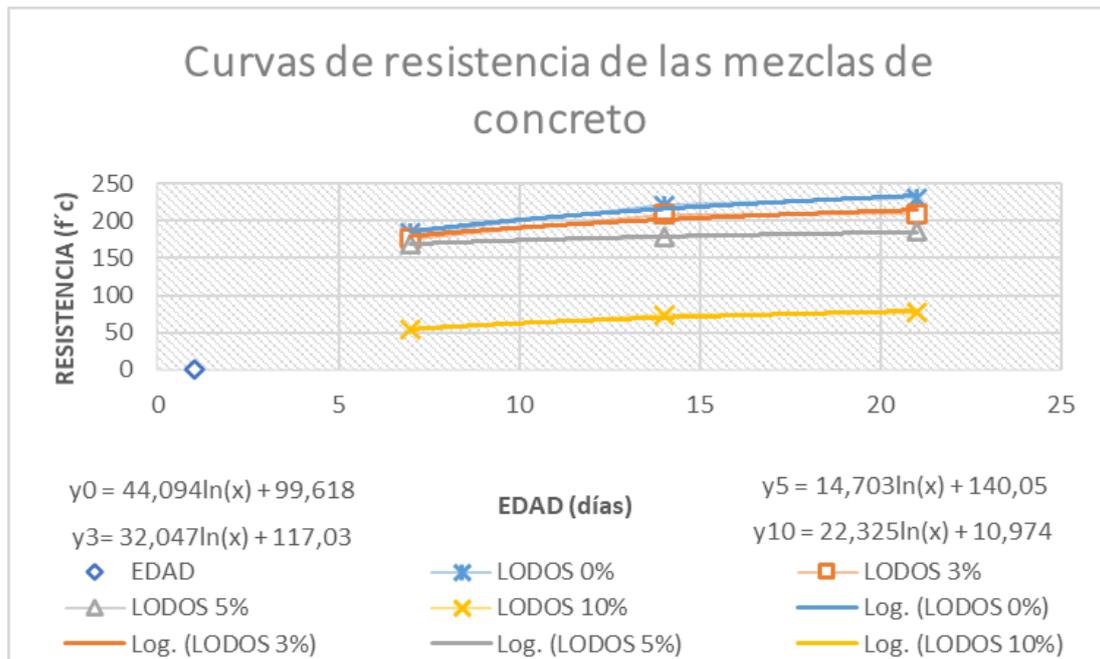


Figura 75. Gráfico de la evolución de la resistencia del concreto

Fuente: Elaboración propia.

#### 5.5.5 Ensayo de Flexión de viga

Se realizó bajo la NTP 339.078. 2 vigas de concreto con los moldes estándar del laboratorio de materiales de la Universidad Ricardo para los diseños de mezcla de 0% y 10% de lodos, obteniéndose así los resultados en la tabla 44

Tabla 44. Asentamiento de las muestras según porcentaje de lodos.

Muestra	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	LUZ (cm)	Carga (kg)	Módulo de rotura (Kg/cm <sup>2</sup> )	Observaciones
14L0-1	50	15,2	14,8	45,12	2039	27,64	Tercio Central
14L10-1	50	14,9	15,2	45,07	1672	21,89	Tercio Central

Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar que la resistencia a la flexión disminuye debido al incremento de la cantidad de lodos de la Ptap-Mala usados para la mezcla de 10% de lodos, con respecto a la mezcla de concreto convencional debido a que los lodos presentan elevada porosidad y alto porcentaje de absorción de agua durante el proceso de mezcla del concreto.



Figura 76. Rotura de vigas con porcentajes de 0% y 10% de lodos de Ptap.

Fuente: Elaboración propia

## 5.6 Factibilidad económica

Se calcularon los precios unitarios para la producción de 1 m<sup>3</sup> de concreto con una resistencia estimada de  $f'c=210$  kg/cm<sup>3</sup>, se realizó este análisis para la producción de concreto convencional y con 3%, 5% y 10% de lodo residual como agregado fino para determinar si existe un ahorro al momento de reemplazar los agregados para ello previamente se realizó un APU para determinar el costo que tendría el m<sup>3</sup> de lodo residual puesto en obra.

Tabla 45. Costo de movilización de lodos.

**MOVILIZACIÓN Y DESMOVILIZACIÓN DE LODOS**

CANTID	1	UND	M3	RENDIMIENTO VOL	40	M3/DIA	
AD				RENDIMIENTO MINI	160	M3/DIA	
<b>MATERIALES</b>						<b>TOTAL</b>	
CÓDIGO	Descripción	Cantidad	Unidad	Desperdicio	Precio	Total	0,00
M011						0	
<b>EQUIPOS</b>						<b>TOTAL</b>	
CÓDIGO	Descripción	Cantidad	Unidad	TIEMPO	Precio	Total	17,50
E011	VOLQUETE 20M2	1,00	VIAJE	2	280	560	
E011	MINICARGADOR	1,00	HORA	8	70	560	
<b>MANO DE OBRA</b>						<b>TOTAL</b>	
CÓDIGO	Descripción	Cantidad	Unidad	Jornal	Total	4,87	
	OPERADOR DE						
M002	MINICARGADOR	0,03	HH.DIA	168,23	4,21		
M003	VIGIA	0,01	HH.DIA	106,25	0,66		
<b>COSTO M3 TRANSPORTE DE LODOS</b>						<b>Soles</b>	<b>22,37</b>

Fuente: Elaboración propia

Una vez determinado el costo unitario del transporte de lodos a obra, se compara con el precio del material fino el cual es de 35 soles se obtienen las siguientes tablas.

Tabla 46. Costo de producción de concreto con 0% lodos

CANTID	1	UND	M3	RENDIMIENTO	20	M3/DIA	
AD							
<b>MATERIALES</b>						<b>TOTAL</b>	
CÓDIGO	Descripción	Cantidad	Unidad	Desperdicio	Precio	Total	234,33
M011	CEMENTO	7,26	BOL	5%	26	198,06	
M012	ARENA GRUESA	0,37	M3	5%	35	13,51	
	PIEDRA						
M013	CHANCADA	0,33	M3	5%	65	22,77	
<b>EQUIPOS</b>						<b>TOTAL</b>	
CÓDIGO	Descripción	Cantidad	Unidad	Cant.Días	Precio	Total	20,00
E011	MEZCLADORA	1,00	HORA	2	10	20	
<b>MANO DE OBRA</b>						<b>TOTAL</b>	
CÓDIGO	Descripción	Cantidad	Unidad	Jornal	Total	0,00	
M002	OPERARIO	0,00	HH.DIA	168,22	0		
M003	OFICIAL	0,00	HH.DIA	132,81	0		
M003	PEON	0,00	HH.DIA	106,25	0		
<b>COSTO M3 DE PRODUCCIÓN DE CONCRETO CON 0% DE LODOS</b>						<b>Soles</b>	<b>254,33</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 47. Costo de producción de concreto con 3% lodos

CANTID		UND		M3		RENDIMIENTO		20	M3/DI
AD	1								A
TOTAL									
MATERIALES									
CÓDIGO	Descripción	Cantidad	Unidad	Desperdicio	Precio	Total	234,19		
M011	CEMENTO	7,26	BOL	5%	26	198,06			
M012	ARENA GRUESA	0,36	M3	5%	35	13,10			
M013	LODOS RESIDUALES	0,01	M3	5%	22,37	0,26			
M013	PIEDRA CHANCADA	0,33	M3	5%	65	22,77			
TOTAL									
EQUIPOS									
CÓDIGO	Descripción	Cantidad	Unidad	Cant.Días	Precio	Total	20,00		
E011	MEZCLADORA	1,00	HORA	2	10	20			
TOTAL									
MANO DE OBRA									
CÓDIGO	Descripción	Cantidad	Unidad	Jornal	Total	0,00			
M002	OPERARIO	0,00	HH.DIA	168,22	0				
M003	OFICIAL	0,00	HH.DIA	132,81	0				
M003	PEON	0,00	HH.DIA	106,25	0				
<b>COSTO M3 DE PRODUCCIÓN DE CONCRETO CON 3% DE LODOS</b>						<b>Soles</b>	<b>254,19</b>		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 48. Costo de producción de concreto con 5% lodos

CANTIDAD		UND		M3		RENDIMIENTO		20	M3/DIA
	1								
MATERIALES									
CÓDIGO	Descripción	Cantidad	Unidad	Desperdicio	Precio	Total	TOTAL		
M011	CEMENTO	7,26	BOL	5%	26	198,06	234,09		
	ARENA								
M012	GRUESA	0,35	M3	5%	35	12,83			
	LODOS								
M013	RESIDUALES	0,02	M3	5%	22,37	0,43			
	PIEDRA								
M013	CHANCADA	0,33	M3	5%	65	22,77			
TOTAL									
EQUIPOS									
CÓDIGO	Descripción	Cantidad	Unidad	Cant.Días	Precio	Total	20,00		
E011	MEZCLADORA	1,00	HORA	2	10	20			
TOTAL									
MANO DE OBRA									
TOTAL									

CÓDIGO	Descripción	Cantidad	Unidad	Jornal	Total	0,00
M002	OPERARIO	0,00	HH.DIA	168,22	0	
M003	OFICIAL	0,00	HH.DIA	132,82	0	
M003	PEON	0,00	HH.DIA	106,25	0	
COSTO M3 DE PRODUCCIÓN DE CONCRETO CON 5% DE LODOS					<b>Soles</b>	<b>254,09</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 49. Costo de producción de concreto con 10% lodos

CANTIDAD	1	UND	M3	RENDIMIENTO	20	M3/DIA
MATERIALES						TOTAL
CÓDIGO	Descripción	Cantidad	Unidad	Desperdicio	Precio	Total
M011	CEMENTO	7,26	BOL	5%	26	198,06
M012	ARENA GRUESA	0,33	M3	5%	35	12,16
LODOS						
M013	RESIDUALES	0,04	M3	5%	22,37	0,86
PIEDRA						
M013	CHANCADA	0,33	M3	5%	65	22,77
						<b>TOTALE</b>
EQUIPOS						<b>S</b>
CÓDIGO	Descripción	Cantidad	Unidad	Cant.horas	Precio	Total
E011	MEZCLADORA	1,00	HORA	2	10	20,00
MANO DE OBRA						TOTAL
CÓDIGO	Descripción	Cantidad	Unidad	Jornal	Total	0,00
M002	OPERARIO	0,00	HH.DIA	168,23	0	
M003	OFICIAL	0,00	HH.DIA	132,81	0	
M003	PEON	0,00	HH.DIA	106,25	0	
COSTO M3 DE PRODUCCIÓN DE CONCRETO CON 10% DE LODOS					<b>Soles</b>	<b>253,85</b>

Fuente: Elaboración propia

Al determinar el ahorro generado al emplear lodos residuales en sustitución del agregado fino, encontramos que al reemplazar el 10% solo ahorramos 23 céntimos.

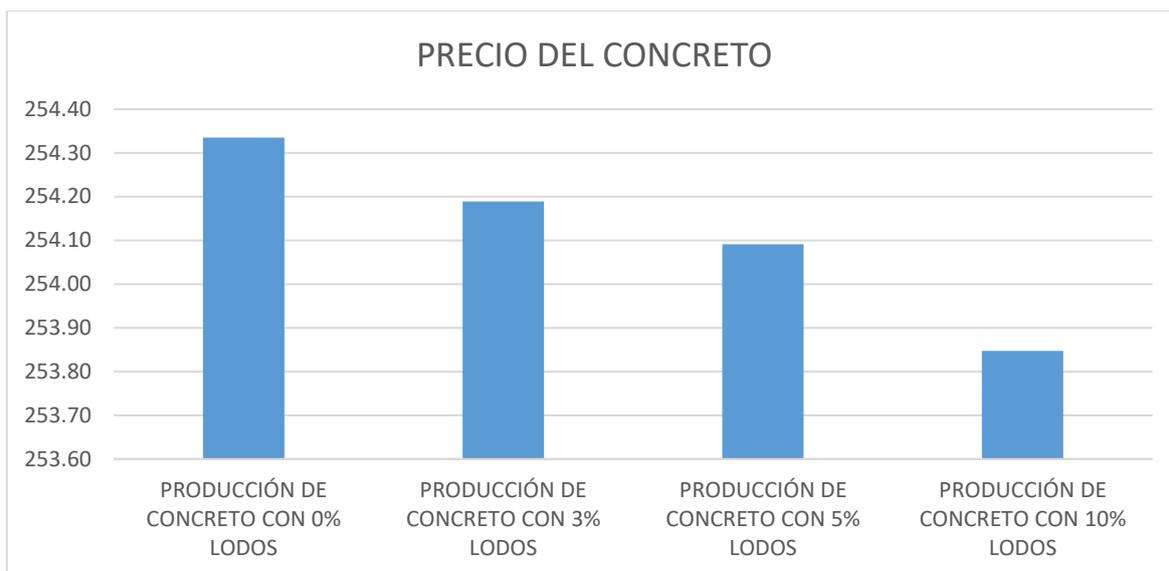


Figura 77. Gráfico de costo de producción de concreto por tipo

Fuente: Elaboración propia

Se genera solamente un ahorro del 0.10% del costo de producción del concreto como se aprecia en la tabla 50

Tabla 50. Ahorro generado por tipo de concreto

TIPO	COSTO	% DE AHORRO
CONCRETO CONVENCIONAL	254,33	
CONCRETO CON 3 % LODOS	254,19	0,06
CONCRETO CON 5 % LODOS	254,09	0,10
CONCRETO CON 10 % LODOS	253,85	0,19

Fuente: Elaboración propia

## 5.7 Evaluación Ambiental

Para evaluar y cuantificar los impactos ambientales asociados a la producción de concreto, con sustitución del agregado fino por lodos provenientes de la planta de tratamiento de agua potable en 3%, 5%, y 10% se usó la metodología del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) siguiendo la normativa ISO 14040, 2006. Esta normativa describe que para el desarrollo de esta metodología se deben de seguir 4 fases, estas son:

### 5.7.1 Identificación del objetivo y el alcance

El objetivo es identificar y comparar los impactos ambientales generados en la producción y transporte de la materia prima utilizada en la elaboración de concreto con sustitución de lodos y el convencional.

El alcance que tiene este estudio es importante, ya que, facilitará la toma de decisiones en favor a reducir el impacto ambiental. Con respecto a la política nacional se espera tener más conocimiento sobre las nuevas propuestas de aprovechamiento de materias primas, lo cual permitirá ampliar el desarrollo de reformas y planes medioambientales.

En cuanto a la unidad funcional a evaluar para desarrollar la metodología ACV, se tomará 1 m<sup>3</sup> de concreto producido, tomando en cuenta principalmente el esfuerzo a la compresión a 28 días (f'c), esta es la propiedad más importante y más utilizada en el diseño de elementos estructurales de concreto.

Los límites del sistema, la Norma ISO nombra los proyectos de análisis de ciclo de vida, de acuerdo a sus límites; por tanto, si su sistema va desde la obtención de la materia prima hasta su disposición final, se le conocerá como cuna a tumba (cradle to grave) (ISO 14044, 2006). Para este proyecto, por tratarse de un estudio que, básicamente, se centra en un sistema compuesto por la elaboración de concreto, ya sea con sustitución de lodos PTAP, o convencional y que va desde la obtención del lodo PTAP hasta la producción misma del material aglomerante, se definirá como cuna a puerta (cradle to gate). En palabras sencillas, va desde la obtención de la materia prima hasta la finalización de su mezcla.

Para los casos de estudio del tipo convencional, se trabajará bajo los estándares de producción de agregados pertenecientes de canteras, aplicación de procedimientos convencionales para la obtención de cemento, consumo de agua y mezcla de concreto. Para su caso contrario, se mantendrán los procesos de cemento, agua y agregados

finos; sin embargo, no será el mismo para la producción del agregado fino debido a que se trabajará con un porcentaje de áridos provenientes de los residuos sólidos (lodos) de la planta de tratamiento de agua potable.

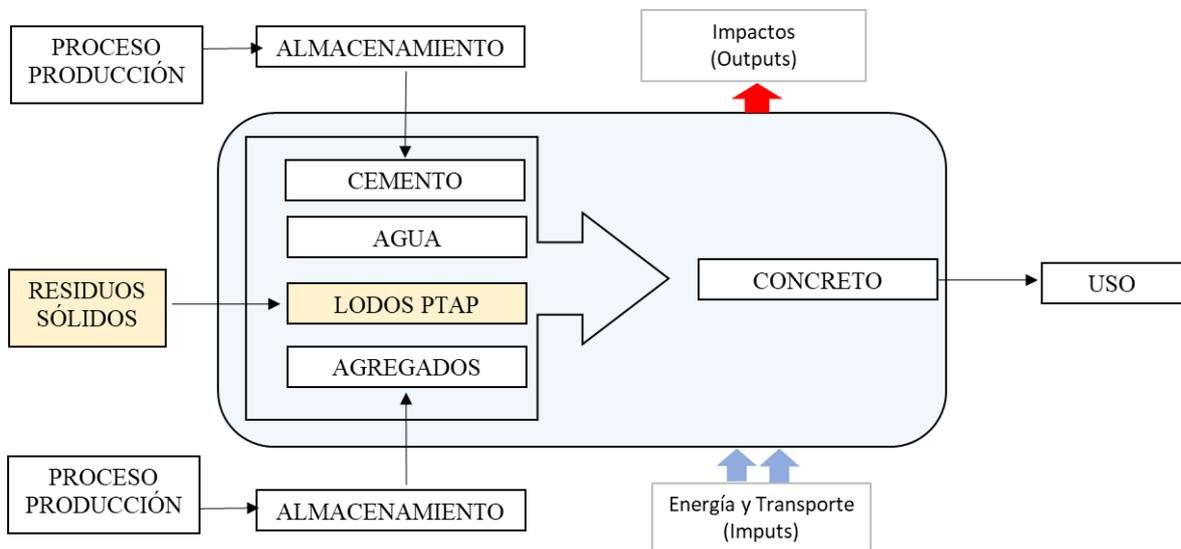


Figura 78. Límites del sistema a evaluar ambientalmente.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 78, se puede observar los límites del sistema, los cuales nos facilitarán la formulación del inventario de ciclo de vida, donde se puede apreciar los procesos de obtención de agregados, el agua y la producción de cemento. Tomando en consideración el transporte, la energía, y las emisiones que produce el sistema, en el contexto de la producción de concreto.

Cabe señalar que la unidad funcional elegida para el ACV es correspondiente con las dosificaciones de los casos de concreto con lodos PTAP y el convencional. Para ambas mezclas, se utilizaron la materia prima (agua, agregado fino y agregado grueso) de la base de datos de uso libre ELCD v2.18 en el software OpenLCA v1.11 ambos desarrollados por la compañía Greendelta. Mientras que, para el caso del cemento, se utilizó como dato el modelo de producción realizado para la investigación “Producción de cemento en Perú: comprensión de los impactos ambientales relacionados con el carbono y sus implicaciones políticas. Conservación y Reciclaje” por Vázquez-Rowe, et al. (2019). A su vez, para los casos de concreto con lodos de PTAP se creó y aplicó el proceso “lodos PTAP” en la cual tentativamente se replica el proceso de producción del lodo residual generado en la potabilización del agua, teniendo en consideración los límites del sistema para dicho proceso.

### 5.7.2 Análisis del inventario (ICV)

La información necesaria para realizar el análisis de ciclo de vida fue recolectada del Ministerio del ambiente (MINAM) del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 2016 (INGEI 2016), documentos técnicos y artículos tales como “Life Cycle Inventory of Portland Cement Concrete” (PCA, 2007). teniéndose en cuenta datos de entrada como consumo energético, transporte, agua, combustibles, y correcciones

Tabla 51. Entradas y salidas del sistema, según el límite establecido.

Entradas	Salidas
- Combustible (Kg de diesel, gas natural y oxígeno)	- Emisiones de (CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, etc)
- Electricidad (KWh)	- Consumo de recursos
- Agua	
- Materia prima (materiales constituyentes de concreto)	

Fuente: Elaboración Propia.

El modelo de ACV se realizó con el programa OpenLCA, utilizando la base de datos ELCD para la inserción de flujos básicos, desarrollado por la compañía Greendelta. La estructura de procesos simulados en el software corresponde a la tabla 52.

Tabla 52. Procesos utilizados en el Software openLCA

Producción de concreto convencional	Producción de concreto con sustitución del agregado fino por lodos de PTAP
Agregado Fino - PE	Agregado Fino - PE
Agregado grueso -PE	Agregado grueso -PE
Cemento Portland - PE	Lodo ptap canete - mala - Peru - PE
Electricity	Cemento Portland - PE
process steam from heavy fuel oil	Electricity
Water	process steam from heavy fuel oil
	Water

Nota. Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 52, se puede ver las materias primas utilizadas, para ambos casos, se debe aclarar que los procesos “Electricity” representa la energía estimada utiliza durante la mezcla, y

“process steam from heavy fuel oil” representa el consumo promedio de combustible estimado utilizado en el transporte de la mezcla de concreto. Revisar los anexos del 12 al 17, para entender mejor los procesos creados en el software OpenLCA, así como los esquemas generados por el mismo.

### 5.7.3 Evaluación del impacto (EICV)

El método de evaluación de impacto fue realizado con la base de datos de Ecoinvent v3.5, el método usado es el IPCC 2013 GWP 100a, proyectado a 100 años, el cual nos da cifras de los gases de efecto invernadero en equivalentes de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub> eq). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) centra sus esfuerzos a través de la caracterización de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) (IPCC, 2020).

En las siguientes tablas se presentan los valores más representativos de emisiones de gases de efecto invernadero en (Kg CO<sub>2</sub> eq), producto de los procesos utilizados en la elaboración de los 4 casos de diseño de mezcla en esta investigación.

Tabla 53. Emisión de CO<sub>2</sub> (kg) según IPCC 2013 GWP 100a, de cada agregado en la elaboración de concreto convencional

PROCESOS	AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO	LODO PTAP DE MALA	CEMENTO	UNIDAD
Electricidad 230 V	6.62.E+10	4.72.E+10	-	7.80.E+01	Kg CO <sub>2</sub> eq
Extracción de piedra chancada de 1/2"	8.47.E+04	-	-	-	Kg CO <sub>2</sub> eq
Lodo ptap cañete - mala - Perú	-	-	-	-	Kg CO <sub>2</sub> eq
Producción en planta/ tecnología	-	-	-	7.80.E+01	Kg CO <sub>2</sub> eq
Consumo de gasolina.	6.10.E+07	3.08.E+07	-	-	Kg CO <sub>2</sub> eq
Consumo de gas natural.	1.85.E+08	5.66.E+08	-	-	Kg CO <sub>2</sub> eq
Cemento Portland tipo I	-	-	-	1.33.E+03	Kg CO <sub>2</sub> eq

Combustibles ligeros(aceites).	5.36.E+08	2.84.E+08	-	-	Kg CO2 eq
Combustible pesado.	8.66.E+07	4.88.E+07	-	-	Kg CO2 eq
Extracción de Arena gruesa	-	7.84.E+04	-	-	Kg CO2 eq
Transporte en camión pequeño	5.97.E+04	5.24.E+04	-	1.77.E+02	Kg CO2 eq

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 54. Emisión de CO2 (kg) según IPCC 2013 GWP 100a, de cada agregado en la elaboración de concreto con 3% de lodos.

PROCESOS	AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO	LODO PTAP DE MALA	CEMENTO	UNIDAD
Electricidad 230 V	6.62.E+10	4.57.E+10	6.46.E+08	7.80.E+01	Kg CO2 eq
Extracción de piedra chancada de 1/2"	8.47.E+04	-	-	-	Kg CO2 eq
Lodo ptap cañete - mala - Perú	-	-	-	-	Kg CO2 eq
Producción en planta/tecnología	-	-	-	7.80.E+01	Kg CO2 eq
Consumo de gasolina.	6.10.E+07	2.99.E+07	-	-	Kg CO2 eq
Consumo de gas natural.	1.85.E+08	5.49.E+07	-	-	Kg CO2 eq
Cemento Portland tipo I	-	-	-	1.33.E+03	Kg CO2 eq
Combustibles ligeros(aceites).	5.36.E+08	2.84.E+08	-	-	Kg CO2 eq
Combustible pesado.	8.66.E+07	4.73.E+07	-	-	Kg CO2 eq
Extracción de Arena gruesa	-	7.61.E+04	1.48.E+05	-	Kg CO2 eq

Transporte en camión pequeño	5.97.E+04	5.08.E+04	3.20.E-01	1.77.E+02	Kg CO2 eq
------------------------------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

Fuente: Elaboración propia

Tabla 55. Emisión de CO2 (kg) según IPCC 2013 GWP 100a, de cada agregado en la elaboración de concreto con 5% de lodos.

PROCESOS	AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO	LODO PTAP DE MALA	CEMENTO	UNIDAD
Electricidad 230 V	6.62.E+10	4.48.E+10	1.08.E+09	7.80.E+01	Kg CO2 eq
Extracción de piedra chancada de 1/2"	8.47.E+04	-	-	-	Kg CO2 eq
Lodo ptap cañete - mala - Perú	-	-	-	-	Kg CO2 eq
Producción en planta/tecnología	-	-	-	7.80.E+01	Kg CO2 eq
Consumo de gasolina.	6.10.E+07	2.93.E+07	-	-	Kg CO2 eq
Consumo de gas natural.	1.85.E+08	5.37.E+07	-	-	Kg CO2 eq
Cemento Portland tipo I			-	1.33.E+03	Kg CO2 eq
Combustibles ligeros(aceites).	5.36.E+08	2.69.E+08	-	-	Kg CO2 eq
Combustible pesado.	8.66.E+07	4.64.E+07	-	-	Kg CO2 eq
Extracción de Arena gruesa	-	7.45.E+04	2.47.E+05	-	Kg CO2 eq
Transporte en camión pequeño	5.97.E+04	4.98.E+04	5.40.E-01	1.77.E+02	Kg CO2 eq

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 56. Emisión de CO2 (kg) según IPCC 2013 GWP 100a, de cada agregado en la elaboración de concreto con 10% de lodos.

PROCESOS	AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO	LODO PTAP DE MALA	CEMENTO	UNIDAD
Electricidad 230 V	6.62.E+10	4.24.E+10	2.15.E+09	7.80.E+01	Kg CO2 eq
Extracción de piedra chancada de 1/2"	8.47.E+04	-	-	-	Kg CO2 eq
Lodo ptap cañete - mala - Perú	-	-	-	-	Kg CO2 eq
Producción en planta/tecnología	-	-	-	7.80.E+01	Kg CO2 eq
Consumo de gasolina.	6.10.E+07	2.78.E+07	-	-	Kg CO2 eq
Consumo de gas natural.	1.85.E+08	5.09.E+07	-	-	Kg CO2 eq
Cemento Portland tipo I	-	-	-	1.33.E+03	Kg CO2 eq
Combustibles ligeros(aceites).	5.36.E+08	2.55.E+08	-	-	Kg CO2 eq
Combustible pesado.	8.66.E+07	4.39.E+07	-	-	Kg CO2 eq
Extracción de Arena gruesa	-	7.06.E+04	4.95.E+05	-	Kg CO2 eq
Transporte en camión pequeño	5.97.E+04	4.72.E+04	1.07.E+00	1.77.E+02	Kg CO2 eq

Fuente: Elaboración propia.

#### 5.7.4 Análisis de impactos generados en la producción de concreto con lodos de PTAP.

De las tablas presentadas en el apartado anterior se puede observar que la mayor parte de las emisiones de gases de efecto invernadero provienen del uso de energía para el procesamiento de las materias primas y convertirlas en un producto fungible, en este caso para la producción de concreto. También se debe destacar el uso de combustibles utilizados ya sea en el transporte de las materias primas hacia el lugar de procesamiento o de los productos hacia el lugar de destino.

En la tabla 48 se puede observar la cantidad total de emisiones de CO2 producto de la elaboración de concreto para cada caso de estudio. Se aprecia que mientras aumenta el porcentaje de sustitución con lodos, van disminuyendo las emisiones de CO2.

Tabla 57. Emisión de CO2 (kg) totales de los agregados para la producción de concreto de cada tipo de mezcla.

MATERIALES	CONCRETO CONVENCIONAL	CONCRETO CON SUSTITUCIÓN DEL 3% DE LODOS	CONCRETO CON SUSTITUCIÓN DEL 5% DE LODOS	CONCRETO CON SUSTITUCIÓN DEL 10% DE LODOS	UNIDAD
AGREGADO GRUESO	6.71.E+10	6.71.E+10	6.71.E+10	6.71.E+10	Kg CO2 eq
AGREGADO FINO	4.76.E+10	4.61.E+10	4.52.E+10	4.28.E+10	Kg CO2 eq
LODO PROCEDENTE DE LA PTAP DE MALA	-	6.46.E+08	1.08.E+09	2.15.E+09	Kg CO2 eq
CEMENTO	1.86.E+04	1.86.E+04	1.86.E+04	1.86.E+04	Kg CO2 eq
TOTAL	1.15.E+11	1.14.E+11	1.13.E+11	1.12.E+11	Kg CO2 eq

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 58. Emisión de CO2 (kg) para la elaboración de concreto de cada tipo de mezcla

TIPO DE CONCRETO	CANTIDAD	UNIDAD
CONCRETO CONVENCIONAL	1.15.E+11	KG
CONCRETO CON SUSTITUCIÓN DEL 3% DE LODOS	1.14.E+11	KG
CONCRETO CON SUSTITUCIÓN DEL 5% DE LODOS	1.13.E+11	KG
CONCRETO CON SUSTITUCIÓN DEL 10% DE LODOS	1.12.E+11	KG

Fuente: Elaboración propia.

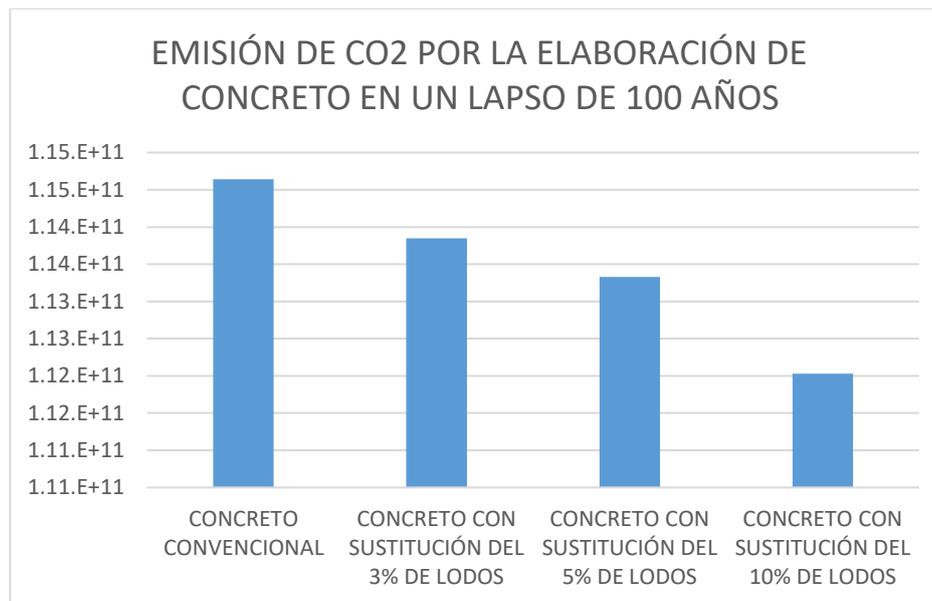


Figura 79. Gráfico resumen de emisiones de CO2 (kg) en un periodo de 100 años.

Fuente: Elaboración propia.

## CONCLUSIONES

1. Los lodos residuales presentan una humedad de 22%, pues se extrajeron del tanque de aguas de rechazo y al ser material procesado captado directamente del pozo subterráneo, presenta poco material orgánico, sin embargo, presenta contenidos considerables de aluminio, los cuales es un subproducto característico del proceso de potabilización del agua, y el gran contenido de material fino que representa el lodo residual incrementa la porosidad del concreto. La influencia de los metales pesados presentes en la muestra afecta la composición del cemento, y los agregados y a su vez estos causan una disminución en la resistencia del concreto.
2. Para la edad de 7 días, las mezclas de 3% y 5% de lodos superaron el 70% de la resistencia esperada del concreto, para la edad de 14 días solo la mezcla de 3% de lodos superó el 90% de la resistencia esperada del concreto al igual que a la edad de 21 días; quedando la mezcla de 5% de lodos residuales con una resistencia a la compresión de 186 kg/cm<sup>2</sup> y la mezcla de 10% de lodos residuales con 77 kg/cm<sup>2</sup>, concluyendo a ambas mezclas resultan inviables mecánicamente. Concluyendo así que agregar porcentajes mayores a 3% en lodos residuales provenientes de la planta de tratamiento de mala, disminuye significativamente la resistencia de concreto esperada.
3. Al sustituir 3% de agregado finos por lodos residuales se determinó que existe un ahorro de 14 céntimos por cubo elaborado de manera convencional, a lo cual, si bien no es un ahorro significativo, al elaborar grandes cantidades de concreto resultaría económicamente viable y generaría en las plantas de agua potable un ahorro en la movilización de los lodos.
4. Se puede observar la cantidad total de emisiones de CO<sub>2</sub> producto de la elaboración de concreto para cada caso de estudio. Se aprecia que mientras aumenta el porcentaje de sustitución por lodos, van disminuyendo las emisiones de CO<sub>2</sub>. El concreto convencional emite Gases de efecto invernadero equivalentes a 1.15. E+11 kg CO<sub>2</sub> eq, mientras que, para el concreto con 10 % de lodos de PTAP emiten 1.12. E+11 kg CO<sub>2</sub> eq para un periodo de retorno de 100 años.

## RECOMENDACIONES

1. Sobre la toxicidad de los metales pesados presentes en los lodos residuales producto de la potabilización del agua, y de los procedentes de otras industrias; tales como el cadmio, cromo, arsénico, plomo, zinc, mercurio, etc. Se recomienda realizar más investigaciones sobre cómo mejorar la disposición afectando mínimamente el ambiente por ejemplo económicamente no es viable la recuperación de metales pesados el impacto ambiental puede minimizarse mediante la inmovilización de los metales pesados en materiales de construcción como sustituto parcial de la arena en la producción de morteros y concreto. Se debe tener en cuenta los efectos que dichos metales afectan al ser humano por lo que es recomendable un análisis químico.
2. Se recomienda desmoldar las probetas y curarlas inmediatamente hasta el día del ensayo de compresión, para evitar la pérdida de la humedad y que varíe la resistencia.
3. Se recomienda realizar investigaciones a otras Ptaps para determinar su factibilidad técnica y económica, ya que cada lodo presenta distintas características que van de acuerdo a la fuente de abastecimiento y el proceso de potabilización realizado en la planta. Ya que podría resultar más viable si se aplicará en otra planta.
4. Se recomienda para realizar un buen análisis de ciclo de vida disponer de una base de datos amplia para tener mayor precisión en la determinación de los ingresos de información al sistema de análisis, esto nos permitirá determinar con mayor precisión de la cantidad de gases de efecto invernadero y otros contaminantes del medio ambiente y tener más certeza a la hora de elegir un proceso u otro.

## BIBLIOGRAFÍA

- Ahmad, T., Ahmad, K., Alam, M., 2016a. Characterization of water treatment plant's sludge and its safe disposal options. *Procedia Environ. Sci.* 35, 950–955.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878029616301773>
- Ahmad, T., Ahmad, K., Alam, M., 2016b. Sustainable management of water treatment sludge through 3'R' concept. *J. Cleaner Prod.* 124, 1–13.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095965261600250X>
- Alberto Cornejo Zea. (2021). “Propuesta de reaprovechamiento de lodos de filtración: caso planta de tratamiento de agua potable de filtros rápidos de majes”.  
<https://repositorio.urp.edu.pe/handle/urp/4458>
- Aldair Granoble y Leo Tarira, Uso de los lodos de la planta de tratamiento de agua potable daule mediante la valoración de los componentes residuales para el beneficio de la entidad y usuarios, Universidad San Vicente de Guayaquil. (2022).  
<http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/4878?mode=fullj.conbuildmat.2018.08.167>.
- Alejandro Caballero Romero. (2014). “Metodología integral innovadora para planes y tesis la metodología del cómo formularlos” obtenido de: (PDF)Metodologia integral innovadora para planes y tesis ALEJANDRO CABALLERO ROMERO | Christian Gonzales Quiroz - Academia.edu
- Aquaductos. (14 de Agosto de 2021). AQUADUCTOS Manejo Eficiente del Agua.  
<https://aquaductos.com.co/es/blogs/tipos-de-plantas-detratamiento-para-potabilizacion-del-agua>.
- Andreoli V. C. (2006). “Utilización de lodos aluminosos como materia prima en la industria cerámica, programa de pesquisas em saneamento básico”- Prosab, Companhia de Saneamento do Paraná.
- Angie Julieth Aldana Tique y Ricardo Andrés Pérez Rojas. (2017). Propuesta para el tratamiento y aprovechamiento de lodos en una PTAP convencional. Caso de estudio: planta de tratamiento de agua potable de El Espinal – Tolima.  
[https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_ambiental\\_sanitaria/702/](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/702/)
- Bahadori, A., Clark, M., Boyd, B., 2013. *Essentials of Water Systems Design in the Oil, Gas, and Chemical Processing Industries*. Springer Science & Business Media.

- Bergold, Jarg. (2007). "Participatory strategies in community psychology research—A short survey. in a. bokszczanin (ed.)" - Poland Welcomes Community Psychology: proceedings from the 6th European Conference on Community Psychology (pp.57-66).  
[https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=GvupR8jmmPYC&oi=fnd&pg=PP3&ots=eUO-czcJ42&sig=4\\_Wae291\\_OBebcua03kRh7SlvaY&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=GvupR8jmmPYC&oi=fnd&pg=PP3&ots=eUO-czcJ42&sig=4_Wae291_OBebcua03kRh7SlvaY&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)
- Bishop M. M., Rolan A. T., Bailey T. L., Cornwell D. A. (1987). "Testing of alum sludge for solids reduction and reuse"- Journal of The American Water Works Association, 79 (6), 76-83.
- Bratby, J., 2016. Coagulation and Flocculation in Water and Wastewater Treatment. IWA publishing.[https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=PabQDAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&ots=t2bOHqflCZ&sig=XaWJ8FnHARYmmp4JplLHH3uh4z0&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=PabQDAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&ots=t2bOHqflCZ&sig=XaWJ8FnHARYmmp4JplLHH3uh4z0&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)
- Canales Guerra, Veronica Nelly. (2021). "Influencia de los lodos residuales del proceso de regulación de la producción de la planta de tratamiento de agua potable de lima "la atarjea" en el mejoramiento de suelos – lima 2021".  
<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/11357>
- Caballero Romero. (2009). "Niveles de investigación" obtenido de:  
[http://grsanchez.blogspot.com/2013/06/niveles-de-investigacion\\_28.html](http://grsanchez.blogspot.com/2013/06/niveles-de-investigacion_28.html)
- Crittenden, J.C., Trussell, R.R., Hand, D.W., Howe, K.J., Tchobanoglous, G., 2012. MWH's Water Treatment: Principles and Design. John Wiley & Sons.  
[https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=ISIHA AAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR9&ots=p-lANHy0gt&sig=e--AM4P0cBp1O7kR6VfqYfNnf0c&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=ISIHA AAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR9&ots=p-lANHy0gt&sig=e--AM4P0cBp1O7kR6VfqYfNnf0c&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)
- Di Bernardo, L.; Sabogal Paz. (2008). "seleção de tecnologias de tratamento de água. são carlos: Editora Idibe Ltda. vol. i. 878p.
- Eduardo Ayuque Gomez, 2019. Propiedades del concreto en estado fresco y endurecido utilizando cementos comerciales en la ciudad de Huancavelica. Universidad Nacional de Huancavelica, Perú. <https://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/3178>

- Edgar Espillico Quispe. (2019). "Elaboración de ladrillos a partir de lodos generados por plantas de tratamiento de agua potable y el uso en la construcción" obtenido de: [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/unap/15691/espillico\\_quispe\\_edgar.pdf?sequence=3&isallowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/unap/15691/espillico_quispe_edgar.pdf?sequence=3&isallowed=y)
- Ellen Macarthur foundation. Urban Biocycles 2017. [https://archive.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Urban-Biocycles\\_EllenMacArthurFoundation\\_21-06-2017.pdf](https://archive.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Urban-Biocycles_EllenMacArthurFoundation_21-06-2017.pdf)
- Emami, N.; Heinonen, J.; Marteinsson, B.; Säynäjoki, A.; Junnonen, J.-M.; Laine, J.; Junnila, S. A Life Cycle Assessment of Two Residential Buildings Using Two Different LCA Database-Software Combinations: Recognizing Uniformities and Inconsistencies. *Buildings* 2019, 9, 20. <https://doi.org/10.3390/buildings9010020>
- Gianfranco Chumpitaz, 2019. Propiedades físicas y mecánicas de un concreto elaborado con agregado grueso proveniente del concreto reciclado. Universidad San Martín de Porres, Lima, Perú. <https://repositorio.usmp.edu.pe/handle/20.500.12727/6960>
- Guine, J., Gorrée, M., Heijungs, R., Huppes, G., Kleijn, R., Udo de Haes, H., Van der Voet, E., Wrisberg, M., 2002. Life cycle assessment. In: *An Operational Guide to ISO Standards, Vols: 1-3*. Guine: Life cycle assessment - Google Académico
- G.M. Rabie, H.A. El-Halim, E.H. Rozaik, Influence of using dry and wet wastewater sludge in concrete mix on its physical and mechanical properties, *Ain Shams Eng. J.* 10 (4) (2019) 705–712. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2019.07.008>.
- Gualoto Gualoto, J. J. (2016). Escuela Politécnica Nacional, Propuesta de gestión de lodos residuales municipales. caso de estudio: planta de tratamiento de agua residual de la parroquia rural de nono. Quito. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/17066/1/CD-7650.pdf>.
- Jace Kucena, *Reverse Osmosis. Industrial applications and processes*. 2 ed. New Jersey. Wiley, 2010. P 383.
- Jagdeep Singh, Akshay Chaudhary, Vishal Kumar Dhiman, Akhilesh Kumar, Abhishek Kanoung, Ajay Goyal. (2022). "Impact of dry sewage sludge on characteristics of concrete" <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S221478532106702x?token=c41f07b39e5f3ff60f1794b920708a2da3824ce342424c19d5dbc3b56c1ae925cebf2a6f98bd99300a551b3f83cbd47f&originregion=us-east-1&origincreation=20220628013946>

- Johnatan Alberto Gutiérrez-Rosero, Álvaro Ignacio Ramírez-Fajardo, Rodrigo Rivas, Balmes Linares, Diego Paredes. Tratamiento de lodos generados en el proceso convencional de potabilización de agua. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, vol. 13, núm. 25, julio-diciembre, 2014, ISSN 1692-3324. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75039185001>
- Jose Alberto Moreno Benavides. (2011). Diseño de planta de tratamiento de agua de osmosis inversa para la empresa “Dober Osmotech”, Colombia. <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/3077/TBM00990.pdf;jsessionid=F716718A441BDBE38BACDD1CF3BCC0EC?sequence=1>
- Juan Vasques y Gabriela Vargas. (2018). “Aprovechamiento de los lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de funza, como insumo de cultivo y mejoramiento del suelo”. <https://1library.co/document/y96138jy-aprovechamiento-planta-tratamiento-residuales-municipio-funza-cultivo-mejoramiento.html>
- Julian Kirchherr, Denise Reike, Marko Hekkert, Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions, *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 127, 2017, Pages 221-232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>.
- Lazaros Aresti, Paul Christodoulides, Georgios A. Florides, An investigation on the environmental impact of various Ground Heat Exchangers configurations, *Renewable Energy*, Volume 171, 2021, Pages 592-605, ISSN 0960-1481, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.02.120>.
- Luis Terreros e Iván Carvajal, 2019. Análisis de las propiedades mecánicas de un concreto convencional adicionando fibra de cáñamo. Universidad Católica de Colombia. <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/6831/4/TESIS-AN%C3%81LISIS%20DE%20LAS%20PROPIEDADES%20MEC%C3%81NICAS%20DE%20UN%20CONCRETO%20CONVENCIONAL%20ADICIONANDO%20FIBRA%20DE%20C%C3%81%C3%91A.pdf>
- Mancha Cutipa Rolando Jesus (2019). Análisis y propuesta de implementación de planta de tratamiento de agua potable en el CP Curva Alegre, Sandia, Puno 2021. Universidad Cesar Vallejo. [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/81277/Mancha\\_CRJ-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y4](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/81277/Mancha_CRJ-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y4)
- Mauricio Gil, 6 de Agosto de 2020. Beneficios del acondicionamiento de lodos. Blog Hidrika. <https://hidrika.co/beneficios-del-acondicionamiento-de-lodos/>

- Martinez, Maira. (2013). “Enfoques de la investigación”.  
mscomairametodologiadelainvestigacion.blogspot.com
- Miman (2021). Listado de rellenos sanitarios y de seguridad.  
<https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/279709-listado-de-rellenos-sanitarios>
- Minh Duc Nguyen, Michael Thomas, Aravind Surapaneni, Ellen M. Moon, Nicholas A. Milne, 2021. Beneficial reuse of water treatment sludge in the context of circular economy. *Environmental Technology & Innovation. Journal.* p 3  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352186422001997>
- Muisa, N., Nhapi, I., Ruziwa, W., Manyuchi, M.M., 2020. Utilization of alum sludge as adsorbent for phosphorus removal in municipal wastewater: A review. *J. Water Process Eng.* 35, 101187.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214714420300660>
- Nguyen, M., Thomas, M., Surapaneni, A., Ellen M., Nicholas A., 2022 Beneficial reuse of water treatment sludge in the context of circular economy, *Environmental Technology & Innovation*, Vol 28. Beneficial reuse of water treatment sludge in the context of circular economy - ScienceDirect
- Noemí Ramírez Aguilar y Oscar Julián Cruz Sanabria. (2021). "Estudio de factibilidad técnica, económica, ambiental y legal para el uso de lodos provenientes de un sistema tratamiento, como agregado en la producción de concreto de 21mp del concreto como residuo de construcción y demolición (r.c.d.)”.  
[https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=2943&context=ing\\_ambiental\\_sanitaria](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=2943&context=ing_ambiental_sanitaria)
- Normas y Fibras. (14 de agosto de 2021). Fibras y Normas de Colombia S.A.S. Ingeniería en Agua. <https://blog.fibrasynormasdecolombia.com/plantas-de-tratamiento-de-aguapotable-ptap-funcionamiento-y-tipos/>
- Omar Eusebio Gonzalez Aguilar. (2020). “Elaboración de unidades de albañilería cocida, con sustitución de lodo deshidratado procedente de la planta de tratamiento de agua potable, Trujillo”. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/26175>
- Pradel, M., Aissani, L., Villot, J., Baudez, J.-C., Laforest, V., 2016. From waste to added value product: towards a paradigm shift in life cycle assessment applied to wastewater sludge – a review. *J. Cleaner Prod.* 131, 60–75. From waste to added value product: towards a paradigm shift in life cycle assessment applied to wastewater sludge – a review - ScienceDirect

- Reason, Peter & Bradbury, Hilary. (2008). "Introduction. in Peter Reason & Hilary Bradbury (eds.)" - The Sage Handbook of Action Research. Participative Inquiry and Practice (2nd ed., pp.1-10).
- Richter, C. A. (2001). "Tratamento de lodos de estações de tratamento de água" (1ed.) são paulo: Editorial blucher. Isbn: 9788521202899
- Roberto Sampieri, Carlos Fernández, Pilar Baptista. (2014). "Metodología de la investigación". Hernández R. 2014 Metodologia de la Investigacion | OJEDA DIEGO - Academia.edu
- R.P. Mathyea, B.D. Ikotunb, G.C. Fanourakisc. (2020). "The effect of dry wastewater sludge as sand replacement on concrete strengths"- sciencedirect
- Sebastián Andrés Zamora. (2018). Ahumada Universidad Técnica Federico Santa María. <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/46100/3560901064280UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Synertech. (14 de agosto de 2021). Synertech Water Technologies. Obtenido de Plantas de Tratamiento de Agua Potable. <https://www.nyfdecolombia.com/plantas/tratamiento-de-agua-potable>
- Sandoval; Et. Al. (2009). "Tratabilidad de los lodos producidos en la potabilización del agua. <https://docplayer.es/21048550-tratabilidad-de-los-lodos-producidos-en-la-potabilizacion-del-agua.html>
- Spena. (14 de agosto de 2021). SPENA GROUP. Obtenido de SAFE H2O Planta de Tratamiento de Agua Potable. [https://spenagroup.com/plantatratamiento-aguapotable/?gclid=CjwKCAjw092IBhAwEiwAxR1IRvLh\\_aSU9HzO8RGoQvWRvd3Ruo69DYof4\\_u3RUI94mrRJIYDm-GVRoCql4QAvD\\_BwE](https://spenagroup.com/plantatratamiento-aguapotable/?gclid=CjwKCAjw092IBhAwEiwAxR1IRvLh_aSU9HzO8RGoQvWRvd3Ruo69DYof4_u3RUI94mrRJIYDm-GVRoCql4QAvD_BwE)
- S. Valls, A. Yague, E. Vázquez, C. Mariscal. (2005). "Physical and mechanical properties of concrete with added dry sludge from a sewage treatment plant physical and mechanical properties of concrete with added dry sludge from a sewage treatment plant" - <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S000888460400078X>
- Tsutiya, M. T. y Hirata, A. Y. (2001). "Aproveitamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água do estado de são paulo." - Abalho Técnico Apresentado no 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.
- Weber, W. (2003). "Control de la calidad del agua: procesos físicos químicos" Barcelona: Reverté. 654 p. isbn: 84-291-7522-9



## ANEXOS

### Anexo 1. Carta de uso del laboratorio de ensayo de materiales de la U.R.P

Lima, 21 de septiembre del 2022

Ing. Donayre Córdova, Oscar

Director de Escuela de Ingeniera Civil URP

PRESENTE:

Tengo el agrado de dirigirme a Ud., con el objeto de solicitar autorización para el uso del laboratorio de ensayo de materiales para realizar ensayos de compresión uniaxial y granulometría de los lodos.

Con el motivo de cumplir con los objetivos de nuestra investigación, titulada "Propuesta para el aprovechamiento de lodos secos residuales provenientes de la planta de tratamiento de agua potable, La Atarjea, como agregado fino para la producción de concreto".

Sin más por el momento y a la espera de una respuesta positiva, me despido y agradezco su atención.

ATENTAMENTE



Bach. ~~Carcasí~~ Carcasí Canazas, Jimmy



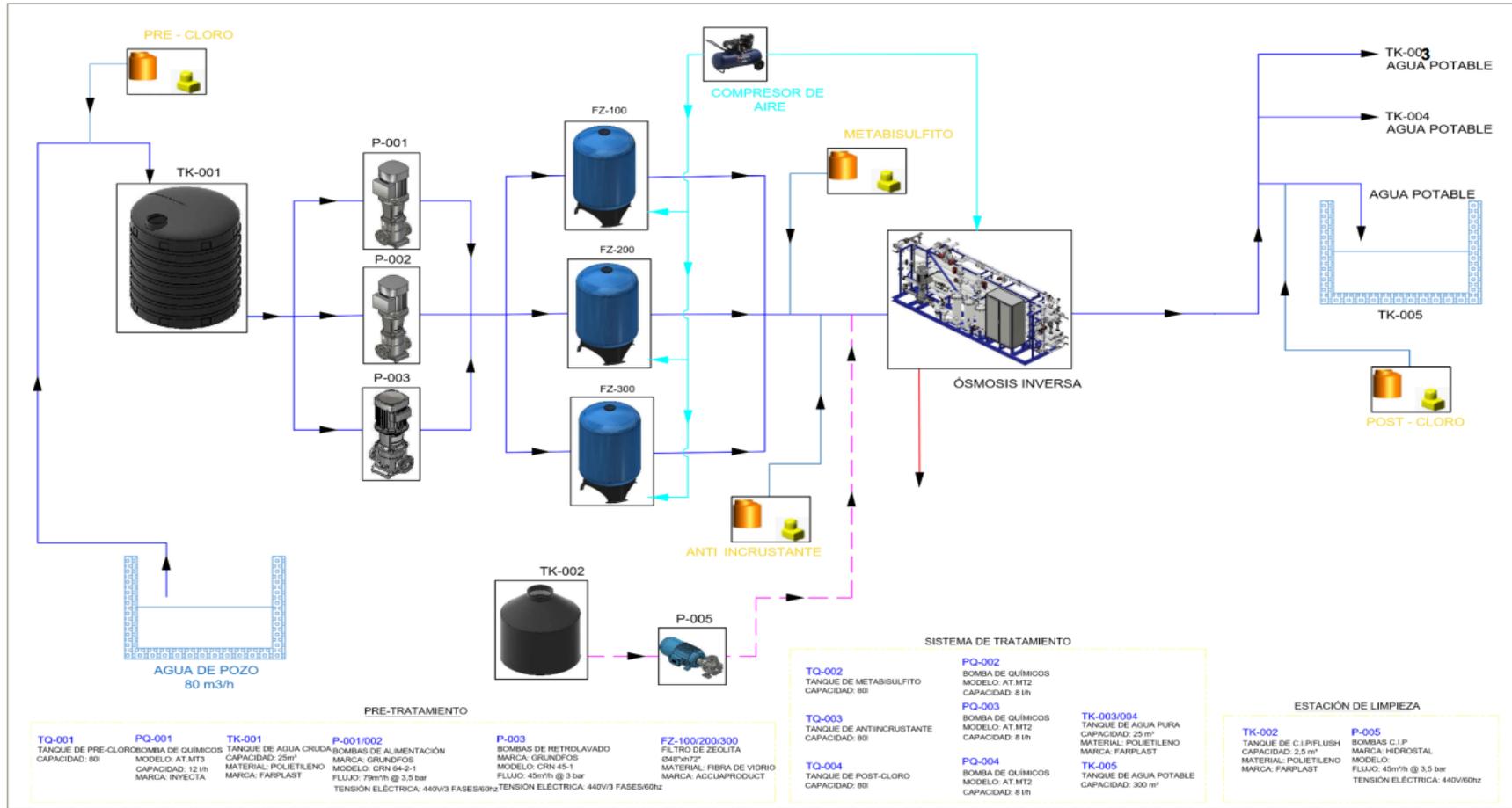
Bach. Vilchez Mendoza, Antony



Dr. Sueldo Mesones, Jaime

Fuente: Elaboración Propi

Anexo 2. Diagrama de funcionamiento de una planta de tratamiento de osmosis inversa



Fuente: Kenyi Contreras, 2021

### Anexo 3. Matriz de Consistencia

PROPUESTA DE APROVECHAMIENTO DE LODOS RESIDUALES DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA COMO AGREGADO FINO PARA LA PRODUCCIÓN DE CONCRETO EN LA PROVINCIA DE MALA, CAÑETE.						
PROBLEMAS GENERAL	OBJETIVOS GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE	VARIABLE DEPENDIENTE	METODOLOGÍA	
¿De qué manera se propone aprovechar los lodos provenientes de una planta de tratamiento de Agua Potable, como agregado fino, para la elaboración de concreto que cumpla con los requerimientos físico/mecánicos y su viabilidad económica?	<b>Elaborar concreto, como propuesta para el aprovechamiento de lodos provenientes de una planta de tratamiento de agua potable que cumpla con los requerimientos físico/mecánicos y su viabilidad económica.</b>	La elaboración de concreto, como propuesta para el aprovechamiento de lodos provenientes de la planta de tratamiento de agua potable cumplirá con los requerimientos físico/mecánicos y tendrá viabilidad económica.	Aprovechamiento de lodos residuales de una planta de tratamiento de agua potable como agregado fino	la producción de concreto en la provincia de Mala, Cañete.	Nivel de investigación: Experimental	El enfoque de la investigación es de carácter cuantitativo
PROBLEMAS ESPECIFICOS	OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPOTESIS ESPECIFICOS	DIMENSIONES X	DIMENSIONES Y	METODOLOGÍA	INDICADORES
¿Cómo se caracterizan los lodos residuales provenientes de una planta de Tratamiento de agua potable pa	<b>Caracterizar los lodos residuales provenientes de la Planta de Tratamiento de Agua Potable para la elaboración de concreto.</b>	La caracterización de los lodos residuales provenientes de la Planta de Tratamiento de Agua Potable incidirá en la elaboración de concreto.	X: Realizar una toma de muestras y análisis en el laboratorio.	Y: Clasificación de los lodos residuales	Diseño de investigación: Es experimental - predictiva.	-Ph de los lodos -% humedad -Peso específico y humedad relativa -Composición de los lodos
¿Cómo incide la resistencia del concreto al sustituir 3%, 5% y 10% del agregado fino con lodos residuales de PTAP, en la elaboración de concreto?	<b>Analizar la incidencia en la resistencia del concreto, al sustituir 3%, 5%, y 10% del agregado fino con lodos residuales de PTAP, en la elaboración de concreto.</b>	La resistencia del concreto al sustituir 3%, 5% y 10% del agregado fino con lodos residuales de PTAP, disminuirá en la elaboración de concreto.	X: Sustituir agregado fino por un porcentaje de lodos	Y: Analizar la resistencia del concreto		-Resistencia del concreto
¿Cómo determinar un beneficio económico en la elaboración de concreto al sustituir el 3%, 5%, y 10% del agregado fino con lodos residuales de PTP, en la elaboración de concreto?	<b>Determinar el beneficio económico en la elaboración de concreto al sustituir el 3%, 5%, y 10% del agregado fino con lodos residuales de PTAP, en la elaboración de concreto.</b>	Existe un beneficio económico en la elaboración de concreto al sustituir el 3%, 5%, y 10% del agregado fino con lodos residuales de PTP, en la elaboración de concreto.	X: Sustituir agregado fino por un porcentaje de lodos.	Y: Analisis economico		-Costos de elaboración del concreto
¿Cómo realizar la evaluación y comparación del impacto ambiental en la producción de concreto con sustitución del agregado fino con lodos residuales de PTAP y concreto convencional, mediante la metodología del Análisis del Ciclo de Vida?	<b>Realizar la evaluación y comparación del impacto ambiental en la producción de concreto con sustitución del agregado fino con lodos residuales de PTAP y concreto convencional, mediante la metodología del Análisis del Ciclo de Vida.</b>	El impacto ambiental en la producción de concreto con sustitución del agregado fino con lodos residuales de PTAP es menor en comparación al concreto convencional, al evaluarlos mediante la metodología del Análisis del Ciclo de Vida.	X: Realizar el análisis de ciclo de vida	Y: Realizar un análisis de impacto ambiental		-Energía utilizada -Procesos de fabricación

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 4. APU habilitado y colocación de acero para la construcción de un muro de contención }

HABILITADO Y COLOCACIÓN DE ACERO ACERO							
UNIDA							
CANTIDAD	1435	D	Kg	RENDIMIENTO	125	Kg/DIA	
MATERIALES							
CODIGO	Descripción	Cantidad	Unidad	Desperdicio	Precio	Total	TOTALES
M011	ACERO 3/8"	0,50	KG	5%	5,16	2,838	6,35
M012	ACERO 5/8"	0,50	KG	5%	4,99	2,7445	
M013	ALAMBRE N°16	0,06	KG	5%	7,00	0,77	
EQUIPOS							
CODIGO	Descripción	Cantidad	Unidad	Cant.Dias	Precio	Total	TOTALES
E011	TRAMPAS	2,00	DIA	30	10	600	0,42
MANO DE OBRA							TOTALES
CODIGO	Descripción	Cantidad	Unidad	Jornal	Total	2,20	
M001	OPERARIO	0,01	HH.DIA	168,2292	1,345833		
M003	OFICIAL	0,01	HH.DIA	132,8125	0,85		
COSTO DE KG DE ACERO-PEP CONTRATISTAS. S.A.C							8,97

Fuente: Pep. Contratistas S.A.C

Anexo 5. APU Encofrado de muros de contención

ENCOFRADO DE MUROS							
CANTIDAD	124	UNIDAD	M2	RENDIMIENTO	10	M2/DIA	
MATERIALES							
CODIGO	Descripción	Cantidad	Unidad	USOS	Precio	Total	TOTALES
M011	FENOLICO	0,35	UND	33%	150	17,36111	49,34
M012	SOLERA 2"x4"x3m	2,33	UND	33%	28,75	22,36111	
M013	BASTIDOR 2"x3"x3m	1,33	UND	33%	19,16667	8,518519	
M013	ALAMBRE N° 16	0,15	kg	105%	7	1,1025	
EQUIPOS							
MANO DE OBRA							TOTALES
CODIGO	Descripción	Cantidad	Unidad	Jornal	Total	38,74	
M002	OPERARIO E	0,10	HH.DIA	168,2292	16,82292		
M003	OFICIAL E	0,10	HH.DIA	132,8125	13,28125		
M002	OFICIAL D	0,03	HH.DIA	132,8125	3,320313		
M003	PEON D	0,05	HH.DIA	106,25	5,3125		
COSTO DE M2 DE ENCOFRADO-PEP CONTRATISTAS. S.A.C							88,08

Fuente: Pep contratistas. S.A.C

Anexo 6. APU Vaciado de Zapatas para muro de contención

VACIADO DE ZAPATAS							
CANTIDAD	12,8	UNIDAD	M3	RENDIMIENTO	20	M3/DIA	
MATERIALES							
							TOTAL
CODIGO	Descripción	Cantidad	Unidad	Desperdicio	Precio	Total	ES
M011	CEMENTO	10,00	BOL	5%	26	261,3	306,30
M012	ARENA GRUESA	0,40	M3	5%	35	15,75	
M013	PIEDRA DE 1/2"	0,40	M3	5%	65	29,25	
EQUIPOS							
							TOTAL
CODIGO	Descripción	Cantidad	Unidad	Cant.Dias	Precio	Total	ES
E011	MEZCLADORA	1,00	DIA	10	100	1000	93,75
E011	VIBRADORA	1,00	DIA	10	20	200	
							TOTAL
MANO DE OBRA							
							ES
CODIGO	Descripción	Cantidad	Unidad	Jornal	Total	72,60	
M002	OPERARIO	0,10	HH.DIA	168,2292	16,82292		
M003	OFICIAL	0,10	HH.DIA	132,8125	13,28125		
M003	PEON	0,40	HH.DIA	106,25	42,5		
COSTO DE M3 DE CONCRETO-PEP CONTRATISTAS. S.A.C							472,65

Fuente: Pep Contratistas S.A.C

Anexo 7. APU Vaciado de muros de Contención

VACIADO DE MUROS							
CANTIDAD	24,96	UNIDAD	M3	RENDIMIENTO	20	M3/DIA	
MATERIALES							TOTAL
CODIGO	Descripción	Cantidad	Unidad	Desperdicio	Precio	Total	ES
M011	CEMENTO	10,00	BOL	5%	26	261,3	306,30
M012	ARENA GRUESA	0,40	M3	5%	35	15,75	
M013	PIEDRA DE 1/2"	0,40	M3	5%	65	29,25	
EQUIPOS							TOTAL
CODIGO	Descripción	Cantidad	Unidad	Cant.Dias	Precio	Total	ES
E011	MEZCLADORA	1,00	DIA	15	100	1500	72,12
E011	VIBRADORA	1,00	DIA	15	20	300	
MANO DE OBRA							TOTAL
CODIGO	Descripción	Cantidad	Unidad	Jornal	Total	83,23	
M002	OPERARIO	0,10	HH.DIA	168,2292	16,82292		
M003	OFICIAL	0,10	HH.DIA	132,8125	13,28125		
M003	PEON	0,50	HH.DIA	106,25	53,125		
COSTO DE M3 DE CONCRETO-PEP CONTRATISTAS. S.A.C							461,64

Fuente: Pep Contratistas S.A.C



Anexo 9. Factura de materiales varios de construcción



**NEGOCIACION FERRETERA CAROLINA S.A.C.**

P.J. BENJAMIN DORO LOSSIO MZA. J LOTE 27 (ALTURA DEL MERCADO DE PUCUSANA LIMA) LIMA - LIMA -  
 VENTA DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN  
 Telf: (001) 530 8738, (001) 530 8717, (001) 998 122445.  
 Correo: neg.ferretera.carolina@hotmail.com

RUC 20472251750

**FACTURA ELECTRÓNICA**

Nro. F002-00008991

Emisión:	2022-09-19	Forma de pago:	Contado	Moneda:	SOLES
Vencimiento:	2022-09-19	Cuotas:		Orden de compra:	
Cliente:	PEP. CONTRATISTAS S.A.C				
R.U.C	20548317810				
Dirección:	LT. 14P MZ. 88 SEC. SIN - LIMA LIMA SAN JUAN DE MIRAFLORES				
Guías de remisión:					

Cont.	Unid Med	Código	Descripción	V. Unitario	P. Unitario	Desc	V. Item
25.0000	Unidad	2033	FIERRO CORRUGADO 5/8"	57.627119	68.000000		1440.68
50.0000	Unidad	2030	FIERRO CORRUGADO 3/8"	21.186441	25.000000		1059.32
50.0000	Unidad	2032	FIERRO CORRUGADO 1/2"	38.135593	45.000000		1906.78
50.0000	Unidad	2017	CEMENTO APU	20.338983	24.000000		1016.95
50.0000	Unidad	2037	ALAMBRE D.CONSTRUCCION # 16	5.932203	7.000000		296.61
5.0000	Unidad	2988	DISCO CORTE METAL DE 7" X 1/16" X 7/8"	10.169492	12.000000		50.85
<b>Op. Gravadas</b>							<b>5771.19</b>
IGV							<b>1038.81</b>
ISC							
OTROS							
Desc.Global							
<b>Total valor de venta</b>							<b>5771.19</b>
Descuentos total							<b>0.00</b>
Anticipos							<b>0.00</b>
<b>Importe Total</b>							<b>6810.00</b>

SON SEIS MIL OCHOCIENTOS DIEZ CON 00/100 SOLES



Software desarrollado por:  
**GRUPO ACASIETE CISNEROS**  
 Fijo: (056) 62-8352. Entel: 956 63-6068, 956 02-5813. Correo: ventas@grupoacasietecisneros.com  
 www.grupoacasietecisneros.com  
 Representación impresa de la factura electrónica generada desde el sistema facturador SUNAT. Puede verificarla utilizando su clave SOL.

HASH  
 qdoLHQmYOqWiB+KaE3H7w4jRPps=

Fuente: Pep Contratistas S.A.C

Anexo 10. Ensayos químicos realizados al laboratorio

# INFORME DE ENSAYO

## IE-101022-04

### 1. DATOS DEL CLIENTE

1.1 Cliente : JIMMY ROY CARCASI  
1.2 RUC/DNI : 47101023  
1.3 Dirección : No Indica

### 2. FECHAS

2.1 Inicio : 05 de Octubre de 2022  
2.2 Fin : 18 de Octubre de 2022  
2.3 Emisión de informe : 19 de Octubre de 2022

### 3. CONDICIONES AMBIENTALES DE ENSAYO

3.1 Temperatura : 20.2 °C  
3.2 Humedad Relativa : 56 %

### 4. ENSAYO SOLICITADO Y METODOLOGÍA UTILIZADA

#### 4.1. ENSAYOS FISICOQUÍMICOS

ENSAYO	MÉTODO
Materia orgánica, %	Vol. Redox
Contenido de humedad, %	Gravimétrico
Composición Química	Fluorescencia de Rayos X - FRX
Metales Pesados: Arsénico, Plomo, Mercurio, Cromo, Cadmio	Espectroscopia de Emisión Atómica con Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-OES)

### 5. MUESTRA / IDENTIFICACIÓN

Tabla N° 1: DATOS DE LA MUESTRA ANALIZADA

Código de Laboratorio	Descripción de Muestra	Datos adicionales
S-5005	COD DE MUESTRA: LMPTAP001 LODO PTAP-ESTADO SATURADO	26/09/2022 1Kg

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.

  
DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO  
QUÍMICO  
CQP. 1337

## Anexo 11. Resultados de ensayos químicos

### 6. RESULTADOS

#### 6.1. RESULTADOS OBTENIDOS

Tabla N°2: RESULTADOS FISICOQUÍMICOS

Muestra	Parámetro	Unidad	Resultado
S-5005	Materia orgánica	%	0.26
	Contenido de humedad	%	21.84

#### 6.2. RESULTADOS OBTENIDOS DE ENSAYO DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X

- Equipo Utilizado: SHIMADZU EDX-720 espectrómetro de fluorescencia de rayos X
- Barrido elemental del Na a U, expresados en óxidos.
- Muestra pulverizada pasante malla N°100

Tabla N°3: RESULTADOS DE COMPOSICIÓN (ÓXIDOS)

Muestra	Composición química	Unidad	Resultados
S-5005	Óxido de Silicio SiO <sub>2</sub>	%	59.44
	Óxido de Aluminio, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	22.40
	Óxido de Magnesio MgO	%	4.93
	Óxido de Hierro Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	4.82
	Óxido de Calcio CaO	%	4.35
	Óxido de Potasio, K <sub>2</sub> O	%	1.22
	Óxido de Azufre, SO <sub>3</sub>	%	0.54
	Óxido de Fósforo, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	0.38
	Óxido de Titanio TiO <sub>2</sub>	%	0.23
	Óxido de Manganeso MnO	%	0.05
	Perdida por Calcificación	%	1.64

Nota N°1: Balance de resultados al 100% de óxidos calculados del análisis elemental (del sodio al uranio) por espectrometría de fluorescencia de rayos X.

Tabla N°4: Resultados Metales Pesados

Código Interno de Muestra	Parámetro	Unidad	Método de ensayo	Resultados
S-5005	Arsénico, As	mg/Kg	Espectroscopia de Emisión Atómica con Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-OES)	0.90
	Cadmio, Cd	mg/Kg		<0.50
	Cromo, Cr	mg/Kg		14.39
	Mercurio, Hg	mg/Kg		<0.50
	Plomo, Pb	mg/Kg		4.42

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.

FIN DEL DOCUMENTO

  
 DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO  
 QUÍMICO  
 CQP. 1337

**INFORME DE ENSAYO  
IE-131022-02**

**1. DATOS DEL CLIENTE**

1.1 Cliente : JIMMY ROY CARCASI  
1.2 RUC/DNI : 47101023  
1.3 Dirección : No Indica

**2. FECHAS**

2.1 Inicio : 17 de Octubre de 2022  
2.2 Fin : 21 de Octubre de 2022  
2.3 Emisión de informe : 24 de Octubre de 2022

**3. CONDICIONES AMBIENTALES DE ENSAYO**

3.1 Temperatura : 20.2 °C  
3.2 Humedad Relativa : 54 %

**4. ENSAYO SOLICITADO Y METODOLOGÍA UTILIZADA**

**4.1. ENSAYOS FÍSICOQUÍMICOS**

ENSAYO	MÉTODO
Textura: Arena, Limo, Arcilla (%)	Hidrométrico - Bouyoucos

**5. MUESTRA / IDENTIFICACIÓN**

Tabla N° 1: DATOS DE LA MUESTRA ANALIZADA

Código de Laboratorio	Descripción de Muestra	Datos adicionales
S-5043	MUESTRA LODOS PTAP MALA	26/09/22 1Kg

**6. RESULTADOS**

**6.1. RESULTADOS OBTENIDOS**

Tabla N°2: RESULTADOS FÍSICOQUÍMICOS

Muestra	Parámetro	Unidad	Resultado
S-5043	Arena – Limo - Arcilla Textura	% Sin Unid.	82.69 – 4.94 – 12.37 Arenoso franco

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.

FIN DEL DOCUMENTO



.....  
DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIAGO  
QUÍMICO  
CQP. 1337

Anexo 12. Resultado del ensayo de compresión uniaxial a los 7 días para cada tipo de mezcla.

Muestra	Fecha		Peso (g)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Area (cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Resistencia a	R.C.	Tipo de Fractura
	Obtención	Ensayo						la compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	
7L0-1	27-09-2022	04-10-2022	3860	10,2	19,60	81,71	14172,6	173,44		5
7L0-2	27-09-2022	04-10-2022	3860	10,1	20,00	80,12	12503,7	156,07	183	5
7L0-3	27-09-2022	04-10-2022	3880	10,2	19,60	81,71	18053	220,93		5
7L1-1	28-09-2022	05-10-2022	3800	10,2	19,90	81,71	17109,2	209,38		5
7L1-2	28-09-2022	05-10-2022	3960	10,2	19,60	81,71	13252,5	162,18	177	5
7L1-3	28-09-2022	05-10-2022	3960	10,2	20,10	81,71	12929,4	158,23		5
7L5-1	29-09-2022	06-10-2022	3960	10,2	19,80	81,71	14266	174,59		5
7L5-2	29-09-2022	06-10-2022	3920	10,1	19,90	80,12	13108,6	163,62	169	5
7L5-3	29-09-2022	06-10-2022	3860	10,2	19,90	81,71	13819,8	169,13		5
7L10-1	30-09-2022	07-10-2022	3940	10,1	20,00	80,12	3222,5	40,22		5
7L10-2	30-09-2022	07-10-2022	3860	10,2	19,60	81,71	4641,6	56,80	53	5
7L10-3	30-09-2022	07-10-2022	3840	10,2	19,60	81,71	5108	62,51		5

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 13. Resultado del ensayo de compresión uniaxial a los 14 días para cada tipo de mezcla.

Muestra	Fecha		Peso (g)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Area (cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Resistencia a la compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	R.C. Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo de Fractura
	Obtención	Ensayo								
14L0-1	27-09-2022	11-10-2022	3860	9,97	20,15	78,07	17992,3	230,465799		5
14L0-2	27-09-2022	11-10-2022	3860	9,95	19,96	77,76	16696,1	214,723212	221	2
14L0-3	27-09-2022	11-10-2022	3840	9,98	19,98	78,23	17094,4	218,52589		5
14L1-1	28-09-2022	12-10-2022	3780	9,94	20,05	77,60	16818,7	216,735361		5
14L1-2	28-09-2022	12-10-2022	3860	9,98	20,07	78,23	15886,7	203,087284	209	2
14L1-3	28-09-2022	12-10-2022	3980	9,96	19,88	77,91	16177	207,629676		2
14L5-1	29-09-2022	13-10-2022	4000	10,01	20,14	78,70	15204,8	193,206919		5
14L5-2	29-09-2022	13-10-2022	3960	9,96	19,99	77,91	13705,7	175,910865	178	5
14L5-3	29-09-2022	13-10-2022	4000	9,96	20,13	77,91	12763,7	163,820418		5
14L10-1	30-09-2022	14-10-2022	3860	9,95	19,88	77,76	5400,5	69,4541063		5
14L10-2	30-09-2022	14-10-2022	3940	9,99	20,15	78,38	5024,5	64,1020609	73	2
14L10-3	30-09-2022	14-10-2022	3940	9,97	20,11	78,07	6728,9	86,1913883		2

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 14. Resultado del ensayo de compresión a los 21 días para cada tipo de mezcla

Muestra	Fecha		Peso (g)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Area (cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Resistencia a	R.C.	Tipo de Fractura
	Obtención	Ensayo						la	Promed	
								compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	io (Kg/cm <sup>2</sup> )	
21L0-1	27-09-2022	18-10-2022	3820	10,2	19,8	81,71	19992,8	244,67		5
21L0-2	27-09-2022	18-10-2022	3900	10,1	19,7	80,12	17958	224,14	231	2
21L0-3	27-09-2022	18-10-2022	3880	10,1	19,2	80,12	17852,3	222,82		2
21L3-1	28-09-2022	19-10-2022	3860	10,1	19,7	80,12	16819,6	209,93		2
21L3-2	28-09-2022	19-10-2022	3880	10,1	19,8	80,12	16933,8	211,36	210	2
21L3-3	28-09-2022	19-10-2022	3840	10,2	19,6	81,71	17011,9	208,19		2
21L5-1	29-09-2022	20-10-2022	3980	10,2	19,5	81,71	15446,1	189,03		2
21L5-2	29-09-2022	20-10-2022	4020	10,2	20,1	81,71	15183,1	185,81	186	5
21L5-3	29-09-2022	20-10-2022	3940	10,4	19,9	84,95	15452	181,90		5
21L10-1	30-09-2022	21-10-2022	3860	10,1	19,5	80,12	6216,8	77,60		2
21L10-2	30-09-2022	21-10-2022	3860	10,1	19,8	80,12	6096,9	76,10	77	2
21L10-3	30-09-2022	21-10-2022	3880	10	19,5	78,54	6030,9	76,79		2

Fuente: Elaboración propia

Anexo 15. Resultados del ensayo de flexión de vigas.

Muestra	Fecha		Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	LUZ (cm)	Carga (kN)	Carga (kg)	Modulo de rotura (Kg/cm <sup>2</sup> )	Observaciones
	Obtención	Ensayo								
14L0-1	07-10-2022	21-10-2022	50	15,2	14,8	45,1 2	20	2039	27,64	Tercio Central
14L10-1	07-10-2022	21-10-2022	50	14,9	15,2	45,0 7	16,4	1672	21,89	Tercio Central

Fuente: Elaboración propia.

## Anexo 16. Datos iniciales del agregado fino.

The screenshot shows the OpenLCA 1.11.0 interface. The main window is titled 'Inputs/Outputs: Agregado Fino'. It contains two tables: 'Inputs' and 'Outputs'.

**Inputs Table:**

Flow	Category	Amount	Unit	Costs/Revenues	Uncertainty	Avoided waste	Provider	Data quality entry	Description
Electricity	Energy carriers and technologies/Ele...	9.55000E6	MJ		none		Electricity fro...		
Gasoline (regular)	Energy carriers and technologies/Cru...	7.90000E5	MJ		none		Gasoline mix (...)		
heavy fuel oil	Energy carriers and technologies/Cru...	2.20000E6	MJ		none		Heavy fuel oil,...		
Light fuel oil	Energy carriers and technologies/Cru...	9.06000E6	MJ		none		Light fuel oil a...		
Natural gas, at consumer EU-27	Energy carriers and technologies/Nat...	1.59000E6	MJ		none		Natural Gas M...		
sand 0/2	Materials production/Other mineral ...	1.10000	kg		none		Sand 0/2, pro...		
transport in t*km	Transport services/Other transport	338.00000	t*km		none		Small lorry tra...		

**Outputs Table:**

Flow	Category	Amount	Unit	Costs/Revenues	Uncertainty	Avoided product	Provider	Data quality entry	Description
Agregado Fino - PE	Agregado Fino	1.00000	kg		none				

The interface also shows a navigation tree on the left with 'Agregado fino' selected, and a status bar at the bottom indicating 'Agregado fino / Agregado Fino - PE'.

Fuente: Elaboración propia, extraída del programa OpenLCA

## Anexo 17. Datos iniciales del agregado Grueso

openLCA 1.11.0

File Database Tools Help

Navigation

- New\_Database
- agnibalse\_v3\_03062020
- bioenergiedat\_18
- ecoinvent\_35\_Icia\_method\_20190514
- elcd\_3\_2\_greendelta\_v2\_18\_correction\_20220908
  - Projects
  - Product systems
    - Concreto
      - Concreto 03% lodo - PE
      - Concreto 05% lodo - PE
      - Concreto 10% lodo - PE
      - Concreto convencional - PE
    - Processes
      - Agregado fino
        - Agregado Fino - PE
      - Agregado grueso
        - Agregado Grueso - PE**
      - Cemento Portland
      - Dummy processes
      - End-of-life treatment
      - Energy carriers and technologies
      - Lodo PTAP
      - Materials production
      - Mezcla de Concreto
      - Systems
      - Transport services
    - Flows
    - Indicators and parameters
    - Background data

Welcome Concrete convencional - PE Analysis result of Concreto convencional - PE Agregado Fino - PE **Agregado Grueso - PE**

**P Inputs/Outputs: Agregado Grueso**

**Inputs**

Flow	Category	Amount	Unit	Costs/Revenues	Uncertainty	Avoided waste	Provider	Data quality entry	Description
Electricity	Energy carriers and technologies/Ele...	1.17600E7	MJ		none		Electricity fro...		
Gasoline (regular)	Energy carriers and technologies/Cru...	1.37000E6	MJ		none		Gasoline mix (...)		
gravel 2/32	Materials production/Other mineral ...	1.10000	kg		none		Gravel 2/32, p...		
Heavy fuel oil (1.0 wt.% S)	Energy carriers and technologies/Cru...	2.52000E6	MJ		none		Heavy fuel oil ...		
Light fuel oil	Energy carriers and technologies/Cru...	1.50300E7	MJ		none		Light fuel oil a...		
Natural gas, at consumer EU-27	Energy carriers and technologies/Nat...	4.12000E6	MJ		none		Natural Gas M...		
transport in t*km	Transport services/Other transport	338.00000	t*km		none		Small lorry tra...		

**Outputs**

Flow	Category	Amount	Unit	Costs/Revenues	Uncertainty	Avoided product	Provider	Data quality entry	Description
<b>Agregado grueso - PE</b>	<b>Agregado Grueso</b>	<b>1.00000</b>	<b>kg</b>		<b>none</b>				

General information Inputs/Outputs Administrative information Modeling and validation Parameters Allocation Social aspects Impact analysis

Fuente: Elaboración propia, extraída del programa OpenLCA

Anexo 18. Datos iniciales de la muestra de lodos.

openLCA 1.11.0

File Database Tools Help

Navigation

- New\_Database
- agribalyse\_v3\_03062020
- bioenergiadat\_18
- ecoinvent\_35\_lcia\_method\_20190514
- elcd\_3\_2\_greendelta\_v2\_18\_correction\_20220908
  - Projects
  - Product systems
    - Concrete
      - Concrete 03% lodo - PE
      - Concrete 05% lodo - PE
      - Concrete 10% lodo - PE
      - Concrete convencional - PE
    - Processes
      - Agregado fino
        - Agregado Fino - PE
      - Agregado grueso
        - Agregado Grueso - PE
      - Cemento Portland
      - Dummy processes
      - End-of-life treatment
      - Energy carriers and technologies
      - Lodo PTAP
        - Lodo ptap canete - mala - Peru - PE
    - Materials production
      - Glass and ceramics
      - Inorganic chemicals
      - Metals and semimetals
      - Organic chemicals
      - Other mineral materials
        - Bentonite granular, sodium activated, Producti
        - Bentonite powder, sodium activated, Producti
        - Calcium carbonate > 63 microns, at plant, Pn
        - Crushed stone 16/32, production mix, at plan
        - GCC dry, Production at plant, Ground Calciu
        - GCC slurry, Production at plant, Ground Calc
        - Gravel 2/32, production mix, at plant, wet and
        - Gypsum plaster (CaSO4 beta hemihydrates), i
        - Gypsum stone (CaSO4-dihydrate), productio
        - Kaolin coarse filler, at plant, Production - EU
        - PCC dry, Production at plant, Precipitated Ca
        - PCC slurry, Production at plant, Precipitated
        - Porocalce plaster production, Production mi
        - Portland cement (CEM I), CEMBUREAU prod
        - Sand 0/2, production mix, at plant, wet and d
        - Very fine milled silica sand d50 = 20 microme
      - Paper and cardboards
      - Plastics
      - Water
      - Wood
      - Mezcla de Concreto

Welcome | Concrete convencional - PE | Analysis result of Concrete convencional - PE | Agregado Fino - PE | Agregado Grueso - PE | Portland cement (CEM I), CEMBUREAU production mix, ... | Lodo ptap canete - mala - Peru - PE

### Inputs/Outputs: Lodo ptap canete - mala - Peru

Inputs

Flow	Category	Amount	Unit	Costs/Revenues	Uncertainty	Avoided waste	Provider	Data quality entry	Description
Electricity	Energy carriers and technologies/Ele...	4.36100E6	MJ		none		Electricity fro...		
sand 0/2	Materials production/Other mineral ...	69.39000	kg		none		Sand 0/2, pro...		
transport in t*km	Transport services/Other transport	0.06900	t*km		none		Small lorry tra...		
Water	Resource/in water	10.00000	kg		none				

Outputs

Flow	Category	Amount	Unit	Costs/Revenues	Uncertainty	Avoided product	Provider	Data quality entry	Description
Lodo ptap canete - mala - Peru - PE	Lodo PTAP	1.00000	kg		none				

General information | Inputs/Outputs | Administrative information | Modeling and validation | Parameters | Allocation | Social aspects | Impact analysis

Fuente: Elaboración propia, extraída del programa OpenLCA

### Anexo 19. Datos iniciales del cemento

openLCA 1.11.0

File Database Tools Help

Navigation

- New\_Database
- agribalyse\_v3\_03062020
- bioenergiadat\_18
- ecoinvent\_35\_Icia\_method\_20190514
- elcd\_3\_2\_greendelta\_v2\_18\_correction\_20220908
  - Projects
  - Product systems
    - Concrete
      - Concrete 03% lodo - PE
      - Concrete 05% lodo - PE
      - Concrete 10% lodo - PE
      - Concrete convencional - PE
    - Processes
      - Agregado fino
        - Agregado Fino - PE
      - Agregado grueso
        - Agregado Grueso - PE
      - Cemento Portland
      - Dummy processes
      - End-of-life treatment
      - Energy carriers and technologies
      - Lodo PTAP
      - Materials production
        - Glass and ceramics
        - Inorganic chemicals
        - Metals and semimetals
        - Organic chemicals
        - Other mineral materials
          - Bentonite granular, sodium activated, Product
          - Bentonite powder, sodium activated, Product
          - Calcium carbonate > 63 microns, at plant, Production
          - Crushed stone 16/32, production mix, at plant, Production
          - GCC dry, Production at plant, Ground Calcium
          - GCC slurry, Production at plant, Ground Calcium
          - Gravel 2/32, production mix, at plant, wet and dry
          - Gypsum plaster (CaSO4 beta hemihydrates), Production
          - Gypsum stone (CaSO4-dihydrate), production
          - Kaolin coarse filler, at plant, Production - EU
          - PCC dry, Production at plant, Precipitated Calcium
          - PCC slurry, Production at plant, Precipitated Calcium
          - Porocalce plaster production, Production mix
          - Portland cement (CEM I), CEMBUREAU production mix, at plant, CEMBUREAU technology mix, EN 197-1
          - Sand 0/2, production mix, at plant, wet and dry
          - Very fine milled silica sand d50 = 20 micrometers, Production

Inputs/Outputs: Portland cement (CEM I), CEMBUREAU production mix, at plant, CEMBUREAU technology mix, EN 197-1

Inputs

Flow	Category	Amount	Unit	Costs/Revenues	Uncertainty	Avoided waste	Provider	Data quality entry	Description
Aggregate, natural	Resource/in ground	47.09389	kg		none				
Barite	Resource/in ground	1.22878E-11	kg		none				
Barite	Resource/in ground	0.27543	kg		none				
Basalt, in ground	Resource/in ground	0.44527	kg		none				
Bauxite	Resource/in ground	1.53250	kg		none				
CaF2 (low radioactive)	Deposited goods/Radioactive waste	-8.09696E-5	kg		none		P Dummy_CaF2...		
Calcium carbonate, in ground	Resource/in ground	1310.07365	kg		none				
Calcium chloride	Resource/in ground	1.25808E-9	kg		none				
Carbon dioxide, in air	Resource/in air	1.22410	kg		none				
Chromium	Resource/in ground	6.02956E-5	kg		none				
Clay, bentonite, in ground	Resource/in ground	0.03408	kg		none				
Clay, unspecified, in ground	Resource/in ground	42.23617	kg		none				
Colemanite, in ground	Resource/in ground	3.90123E-5	kg		none				
Copper	Resource/in ground	0.00010	kg		none				
Dolomite, in ground	Resource/in ground	3.93427E-6	kg		none				
Energy, from biomass	Resource/biotic	0.00122	MJ		none				
Energy, from coal	Resource/in ground	1271.44330	MJ		none				
Energy, from coal, brown	Resource/in ground	317.91400	MJ		none				

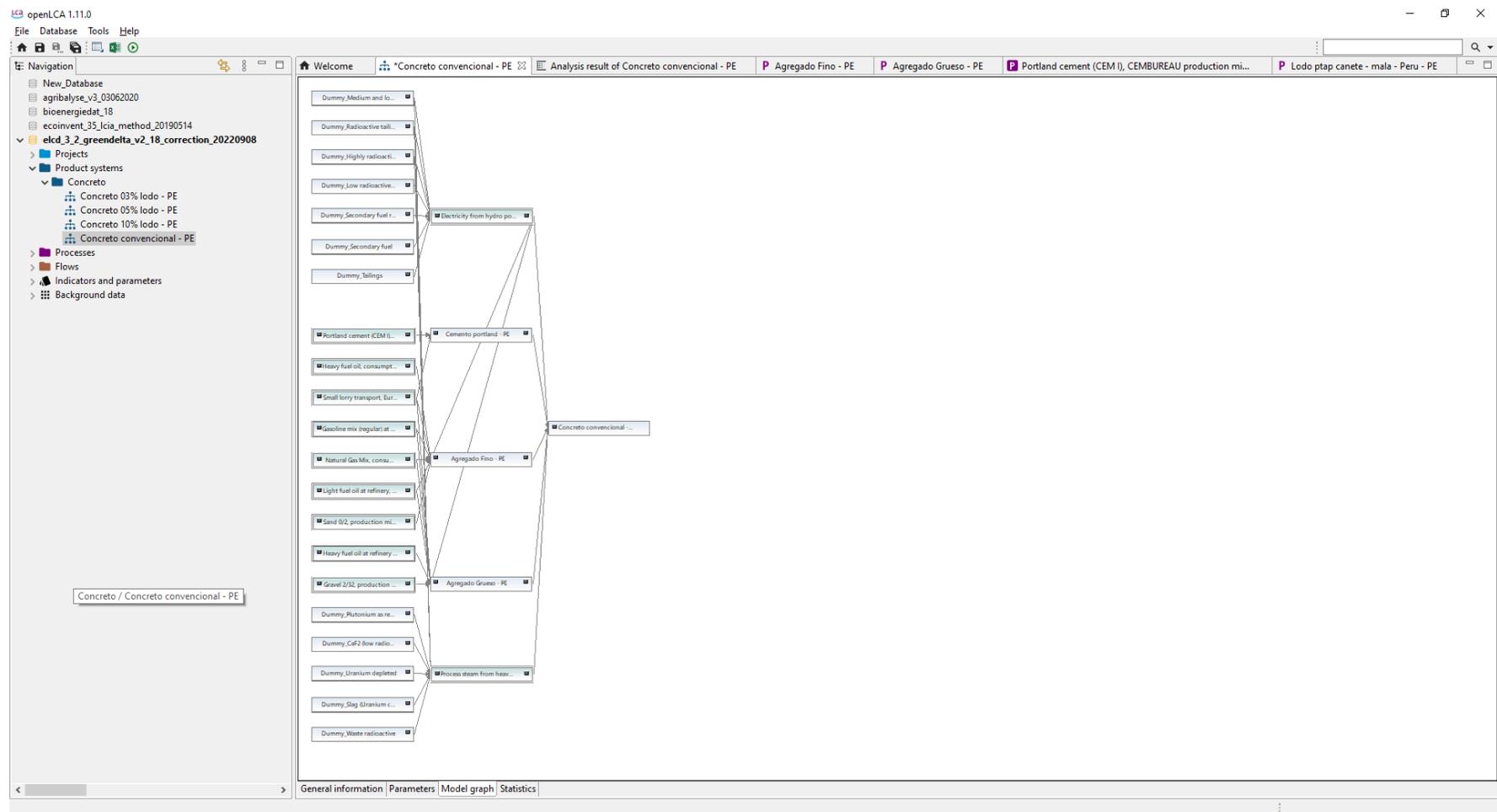
Outputs

Flow	Category	Amount	Unit	Costs/Revenues	Uncertainty	Avoided product	Provider	Data quality entry	Description
Acenaphthene	Emission to water/fresh water	2.19419E-9	kg		none				
Acenaphthene	Emission to water/ocean	5.01318E-8	kg		none				
Acenaphthylene	Emission to water/fresh water	8.33911E-10	kg		none				
Acenaphthylene	Emission to water/ocean	1.90955E-8	kg		none				
Acetaldehyde	Emission to air/unspecified	2.50419E-5	kg		none				
Acetic acid	Emission to air/unspecified	0.00013	kg		none				
Acetic acid	Emission to water/fresh water	2.37450E-6	kg		none				
Acetic acid	Emission to water/ocean	1.33458E-7	kg		none				
Acetone	Emission to air/unspecified	2.46918E-5	kg		none				
Acidity, unspecified	Emission to air/unspecified	5.92577E-5	kg		none				
Acidity, unspecified	Emission to water/fresh water	2.84644E-6	kg		none				
Acrolein	Emission to air/unspecified	3.71702E-9	kg		none				
Acrylonitrile	Emission to water/fresh water	3.21570E-9	kg		none				
Aluminium	Emission to soil/unspecified	2.12751E-6	kg		none				
Aluminium	Emission to water/fresh water	0.00054	kg		none				
Aluminium	Emission to water/ocean	5.27975E-10	kg		none				
Americium-241	Emission to water/fresh water	0.00084	kBq		none				
Ammonia	Emission to air/unspecified	0.03914	kg		none				

General information | Inputs/Outputs | Administrative information | Modeling and validation | Parameters | Allocation | Social aspects | Impact analysis

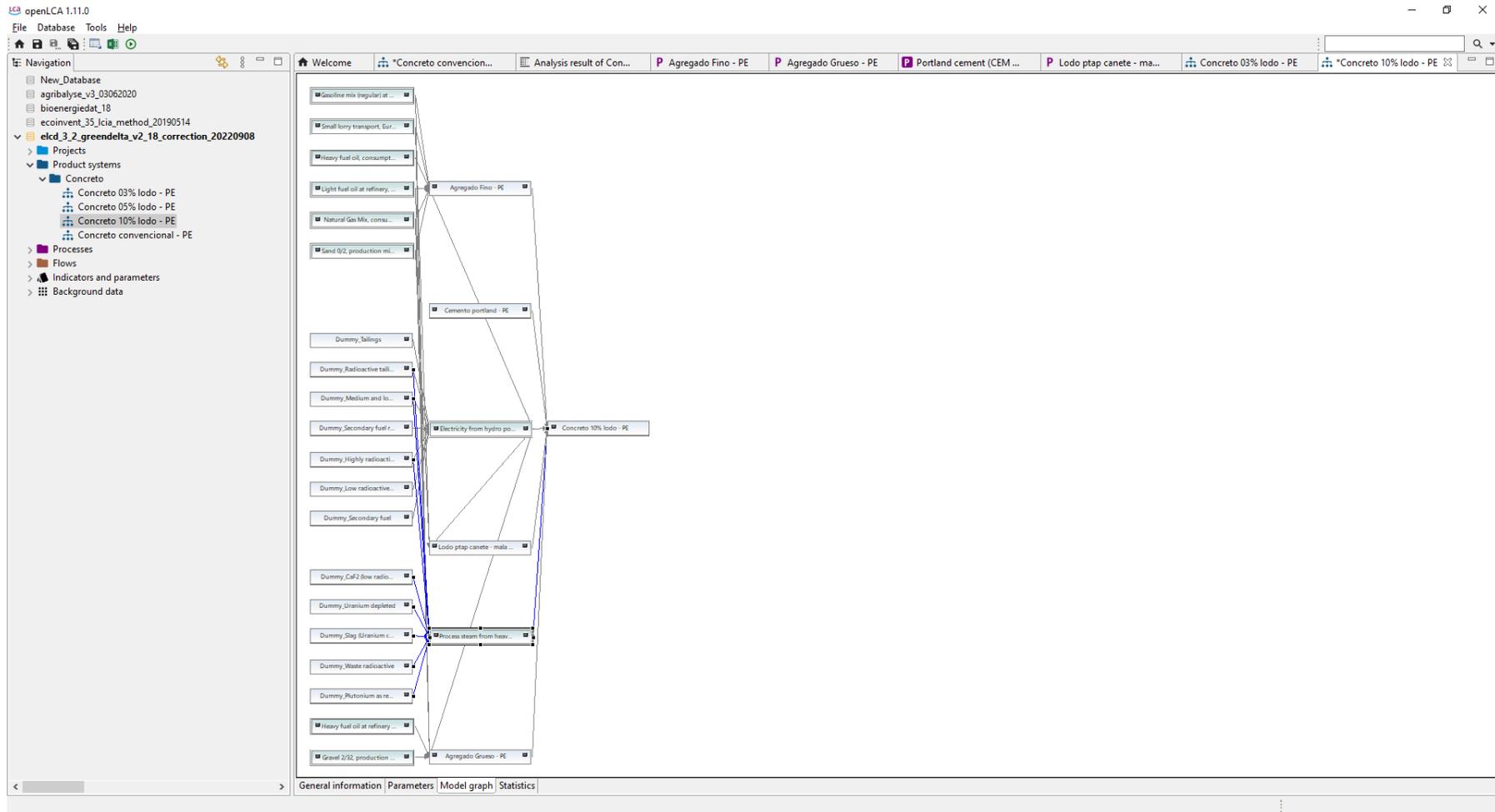
Fuente: Elaboración propia, extraída del programa OpenLCA Utilizando los valores expuestos por Vázquez Rowe et al., 2019

Anexo 20. Diagrama de flujo del proceso de elaboración del concreto convencional



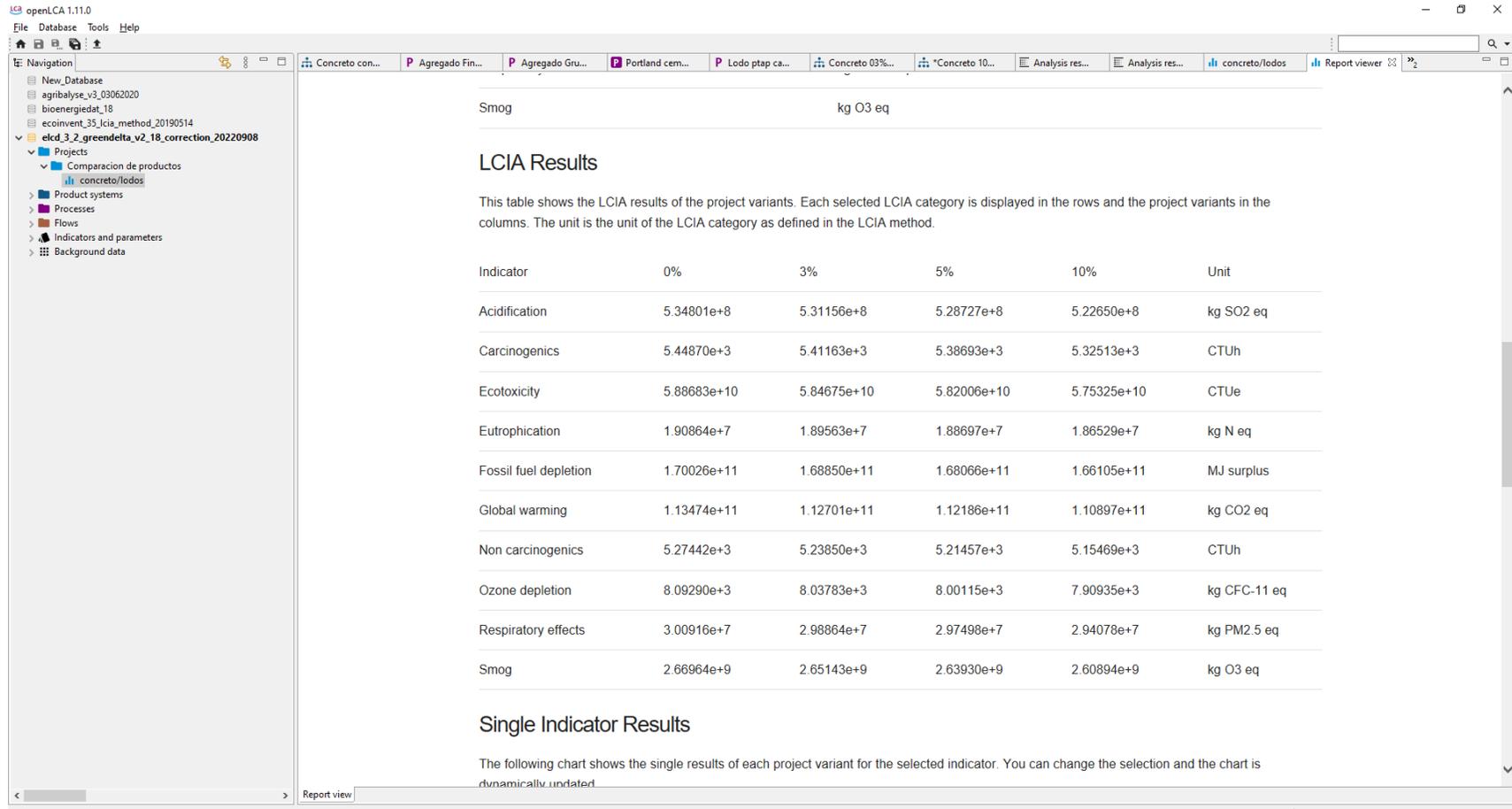
Fuente: Elaboración propia, extraída del programa OpenLCA.

Anexo 21. Diagrama de flujo del proceso de elaboración del concreto con lodos de Ptap



Fuente: Elaboración propia, extraída del programa OpenLCA.

## Anexo 22. Método TRACI 2.1 con 12 categorías de impacto ambiental



Fuente: Elaboración propia, extraída del programa OpenLCA

Anexo 23. Dióxido de Carbono emitido para la elaboración de concreto con sustitución de 3% de lodos en un lapso de 100 años.

Contribution	Process	Amount	Unit
100.00%	P Concreto 03% lodo - PE	1.13859E11	kg CO2 eq
58.90%	P Agregado Grueso - PE	6.70626E10	kg CO2 eq
58.14%	P Electricity from hydro power, production mix, at power plant, AC, 230V - RER	6.61931E10	kg CO2 eq
00.47%	P Light fuel oil at refinery, production mix, at refinery, from crude oil, fuel supply, 0.1 wt.% sulphur - EU-27	5.36407E8	kg CO2 eq
00.16%	P Natural Gas Mix, consumption mix, at consumer, technology mix, onshore and offshore production incl. pipeline and LNG transprt - ...	1.85355E8	kg CO2 eq
00.08%	P Heavy fuel oil at refinery (1.0wt.% S), production mix, at refinery, from crude oil, fuel supply, 1 wt.% sulphur - EU-27	8.66408E7	kg CO2 eq
00.05%	P Gasoline mix (regular) at refinery, production mix, at refinery, from crude oil and bio components, fuel supply, 10 ppm sulphur, 5.75 ...	6.09625E7	kg CO2 eq
00.00%	P Gravel 2/32, production mix, at plant, wet and dry quarry, undried - RER	8.46822E4	kg CO2 eq
00.00%	P Small lorry transport, Euro 0, 1, 2, 3, 4 mix, 7,5 t total weight, 3,3 t max payload - RER	5.97487E4	kg CO2 eq
40.53%	P Agregado Fino - PE	4.61499E10	kg CO2 eq
40.17%	P Electricity from hydro power, production mix, at power plant, AC, 230V - RER	4.57424E10	kg CO2 eq
00.24%	P Light fuel oil at refinery, production mix, at refinery, from crude oil, fuel supply, 0.1 wt.% sulphur - EU-27	2.75153E8	kg CO2 eq
00.05%	P Natural Gas Mix, consumption mix, at consumer, technology mix, onshore and offshore production incl. pipeline and LNG transprt - ...	5.49047E7	kg CO2 eq
00.04%	P Heavy fuel oil, consumption mix, at refinery, from crude oil - EU-15	4.73460E7	kg CO2 eq
00.03%	P Gasoline mix (regular) at refinery, production mix, at refinery, from crude oil and bio components, fuel supply, 10 ppm sulphur, 5.75 ...	2.99144E7	kg CO2 eq
00.00%	P Sand 0/2, production mix, at plant, wet and dry quarry, undried - RER	7.60626E4	kg CO2 eq
00.00%	P Small lorry transport, Euro 0, 1, 2, 3, 4 mix, 7,5 t total weight, 3,3 t max payload - RER	5.08439E4	kg CO2 eq
00.57%	P Lodo ptap canete - mala - Peru - PE	6.46172E8	kg CO2 eq
00.57%	P Electricity from hydro power, production mix, at power plant, AC, 230V - RER	6.46024E8	kg CO2 eq
00.00%	P Sand 0/2, production mix, at plant, wet and dry quarry, undried - RER	1.48396E5	kg CO2 eq
00.00%	P Small lorry transport, Euro 0, 1, 2, 3, 4 mix, 7,5 t total weight, 3,3 t max payload - RER	0.32101	kg CO2 eq
00.00%	P Cemento portland - PE	1.85694E4	kg CO2 eq
00.00%	P Small lorry transport, Euro 0, 1, 2, 3, 4 mix, 7,5 t total weight, 3,3 t max payload - RER	1.72419E4	kg CO2 eq
00.00%	P Portland cement (CEM I), CEMBUREAU production mix, at plant, CEMBUREAU technology mix, EN 197-1 - RER	1327.47586	kg CO2 eq
00.00%	P Electricity from hydro power, production mix, at power plant, AC, 230V - RER	78.01931	kg CO2 eq
00.00%	P Container glass (delivered to the end user of the contained product, reuse rate: 7%), production mix at plant, technology mix - RER	77.99479	kg CO2 eq
00.00%	P Dummy_Secondary fuel renewable	0.00000	kg CO2 eq
00.00%	P Dummy_Radioactive tailings	0.00000	kg CO2 eq
00.00%	P Dummy_Highly radioactive waste	0.00000	kg CO2 eq
00.00%	P Dummy_Low radioactive wastes	0.00000	kg CO2 eq
00.00%	P Dummy_Medium and low radioactive wastes	0.00000	kg CO2 eq
00.00%	P Dummy_Tailings	-1.00776E-17	kg CO2 eq
00.00%	P Dummy_Secondary fuel	-2.90760E-13	kg CO2 eq
00.00%	P Process steam from heavy fuel oil, consumption mix, at plant, heat plant, MJ - EU-27	10.36654	kg CO2 eq
00.00%	P Container glass (delivered to the end user of the contained product, reuse rate: 7%), production mix at plant, technology mix - RER	2.93423	kg CO2 eq
00.00%	P Dummy_CaF2 (low radioactive)	0.00000	kg CO2 eq
00.00%	P Dummy_Radioactive tailings	0.00000	kg CO2 eq
00.00%	P Dummy_Highly radioactive waste	0.00000	kg CO2 eq
00.00%	P Dummy_Plutonium as residual product	0.00000	kg CO2 eq

Fuente: Elaboración propia, extraída del programa OpenLCA.

Anexo 24. Dióxido de Carbono emitido para la elaboración de concreto con sustitución de 5% de lodos en un lapso de 100 años.

Contribution	Process	Amount	Unit
100.00%	P Concreto 05% lodo - PE	1.13338E11	kg CO2 eq
59.17%	P Agregado Grueso - PE	6.70626E10	kg CO2 eq
58.40%	P Electricity from hydro power, production mix, at power plant, AC, 230V - RER	6.61931E10	kg CO2 eq
00.47%	P Light fuel oil at refinery, production mix, at refinery, from crude oil, fuel supply, 0.1 wt.% sulphur - EU-27	5.36407E8	kg CO2 eq
00.16%	P Natural Gas Mix, consumption mix, at consumer, technology mix, onshore and offshore production incl. pipeline and LNG transprt - ...	1.85355E8	kg CO2 eq
00.08%	P Heavy fuel oil at refinery (1.0wt.% S), production mix, at refinery, from crude oil, fuel supply, 1 wt.% sulphur - EU-27	8.66408E7	kg CO2 eq
00.05%	P Gasoline mix (regular) at refinery, production mix, at refinery, from crude oil and bio components, fuel supply, 10 ppm sulphur, 5.75 ...	6.09625E7	kg CO2 eq
00.00%	P Gravel 2/32, production mix, at plant, wet and dry quarry, undried - RER	8.46822E4	kg CO2 eq
00.00%	P Small lorry transport, Euro 0, 1, 2, 3, 4 mix, 7,5 t total weight, 3,3 t max payload - RER	5.97487E4	kg CO2 eq
39.88%	P Agregado Fino - PE	4.51987E10	kg CO2 eq
39.53%	P Electricity from hydro power, production mix, at power plant, AC, 230V - RER	4.47996E10	kg CO2 eq
00.24%	P Light fuel oil at refinery, production mix, at refinery, from crude oil, fuel supply, 0.1 wt.% sulphur - EU-27	2.69482E8	kg CO2 eq
00.05%	P Natural Gas Mix, consumption mix, at consumer, technology mix, onshore and offshore production incl. pipeline and LNG transprt - ...	5.37731E7	kg CO2 eq
00.04%	P Heavy fuel oil, consumption mix, at refinery, from crude oil - EU-15	4.63702E7	kg CO2 eq
00.03%	P Gasoline mix (regular) at refinery, production mix, at refinery, from crude oil and bio components, fuel supply, 10 ppm sulphur, 5.75 ...	2.92978E7	kg CO2 eq
00.00%	P Sand 0/2, production mix, at plant, wet and dry quarry, undried - RER	7.44949E4	kg CO2 eq
00.00%	P Small lorry transport, Euro 0, 1, 2, 3, 4 mix, 7,5 t total weight, 3,3 t max payload - RER	4.97960E4	kg CO2 eq
00.95%	P Lodo ptap canete - mala - Peru - PE	1.07703E9	kg CO2 eq
00.95%	P Electricity from hydro power, production mix, at power plant, AC, 230V - RER	1.07678E9	kg CO2 eq
00.00%	P Sand 0/2, production mix, at plant, wet and dry quarry, undried - RER	2.47344E5	kg CO2 eq
00.00%	P Small lorry transport, Euro 0, 1, 2, 3, 4 mix, 7,5 t total weight, 3,3 t max payload - RER	0.53505	kg CO2 eq
00.00%	P Cemento portland - PE	1.85694E4	kg CO2 eq
00.00%	P Small lorry transport, Euro 0, 1, 2, 3, 4 mix, 7,5 t total weight, 3,3 t max payload - RER	1.72419E4	kg CO2 eq
00.00%	P Portland cement (CEM I), CEMBUREAU production mix, at plant, CEMBUREAU technology mix, EN 197-1 - RER	1327.47586	kg CO2 eq
00.00%	P Electricity from hydro power, production mix, at power plant, AC, 230V - RER	78.01931	kg CO2 eq
00.00%	P Container glass (delivered to the end user of the contained product, reuse rate: 7%), production mix at plant, technology mix - RER	77.99479	kg CO2 eq
00.00%	P Dummy_Tailings	5.03352E-34	kg CO2 eq
00.00%	P Dummy_Secondary fuel renewable	0.00000	kg CO2 eq
00.00%	P Dummy_Radioactive tailings	0.00000	kg CO2 eq
00.00%	P Dummy_Highly radioactive waste	0.00000	kg CO2 eq
00.00%	P Dummy_Low radioactive wastes	0.00000	kg CO2 eq
00.00%	P Dummy_Medium and low radioactive wastes	0.00000	kg CO2 eq
-00.00%	P Dummy_Secondary fuel	-2.91757E-13	kg CO2 eq
00.00%	P Process steam from heavy fuel oil, consumption mix, at plant, heat plant, MJ - EU-27	10.36654	kg CO2 eq
00.00%	P Container glass (delivered to the end user of the contained product, reuse rate: 7%), production mix at plant, technology mix - RER	2.93423	kg CO2 eq
00.00%	P Dummy_CaF2 (low radioactive)	0.00000	kg CO2 eq
00.00%	P Dummy_Radioactive tailings	0.00000	kg CO2 eq
00.00%	P Dummy_Highly radioactive waste	0.00000	kg CO2 eq
00.00%	P Dummy_Plutonium as residual product	0.00000	kg CO2 eq

Fuente: Elaboración propia, extraída del programa OpenLCA.

Anexo 25. Dióxido de Carbono emitido para la elaboración de concreto con sustitución de 10% de lodos en un lapso de 100 años.

Contribution	Process	Amount	Unit
100.00%	Concreto 10% lodo - PE	1.12036E11	kg CO2 eq
59.86%	Agregado Grueso - PE	6.70626E10	kg CO2 eq
59.08%	Electricity from hydro power, production mix, at power plant, AC, 230V - RER	6.61931E10	kg CO2 eq
0.48%	Light fuel oil at refinery, production mix, at refinery, from crude oil, fuel supply, 0.1 wt.% sulphur - EU-27	5.36407E8	kg CO2 eq
0.17%	Natural Gas Mix, consumption mix, at consumer, technology mix, onshore and offshore production incl. pipeline and LNG transprt - ...	1.85355E8	kg CO2 eq
0.08%	Heavy fuel oil at refinery (1.0wt.% S), production mix, at refinery, from crude oil, fuel supply, 1 wt.% sulphur - EU-27	8.66408E7	kg CO2 eq
0.05%	Gasoline mix (regular) at refinery, production mix, at refinery, from crude oil and bio components, fuel supply, 10 ppm sulphur, 5.75 ...	6.09625E7	kg CO2 eq
0.00%	Gravel 2/32, production mix, at plant, wet and dry quarry, undried - RER	8.46822E4	kg CO2 eq
0.00%	Small lorry transport, Euro 0, 1, 2, 3, 4 mix, 7,5 t total weight, 3,3 t max payload - RER	5.97487E4	kg CO2 eq
38.22%	Agregado Fino - PE	4.28197E10	kg CO2 eq
37.88%	Electricity from hydro power, production mix, at power plant, AC, 230V - RER	4.24416E10	kg CO2 eq
0.23%	Light fuel oil at refinery, production mix, at refinery, from crude oil, fuel supply, 0.1 wt.% sulphur - EU-27	2.55298E8	kg CO2 eq
0.05%	Natural Gas Mix, consumption mix, at consumer, technology mix, onshore and offshore production incl. pipeline and LNG transprt - ...	5.09428E7	kg CO2 eq
0.04%	Heavy fuel oil, consumption mix, at refinery, from crude oil - EU-15	4.39295E7	kg CO2 eq
0.02%	Gasoline mix (regular) at refinery, production mix, at refinery, from crude oil and bio components, fuel supply, 10 ppm sulphur, 5.75 ...	2.77558E7	kg CO2 eq
0.00%	Sand 0/2, production mix, at plant, wet and dry quarry, undried - RER	7.05739E4	kg CO2 eq
0.00%	Small lorry transport, Euro 0, 1, 2, 3, 4 mix, 7,5 t total weight, 3,3 t max payload - RER	4.71750E4	kg CO2 eq
0.92%	Lodo ptap canete - mala - Peru - PE	2.15383E9	kg CO2 eq
0.92%	Electricity from hydro power, production mix, at power plant, AC, 230V - RER	2.15334E9	kg CO2 eq
0.00%	Sand 0/2, production mix, at plant, wet and dry quarry, undried - RER	4.94635E5	kg CO2 eq
0.00%	Small lorry transport, Euro 0, 1, 2, 3, 4 mix, 7,5 t total weight, 3,3 t max payload - RER	1.06999	kg CO2 eq
0.00%	Cemento portland - PE	1.85694E4	kg CO2 eq
0.00%	Small lorry transport, Euro 0, 1, 2, 3, 4 mix, 7,5 t total weight, 3,3 t max payload - RER	1.72419E4	kg CO2 eq
0.00%	Portland cement (CEM I), CEMBUREAU production mix, at plant, CEMBUREAU technology mix, EN 197-1 - RER	1327.47581	kg CO2 eq
0.00%	Process steam from heavy fuel oil, consumption mix, at plant, heat plant, MJ - EU-27	10.36654	kg CO2 eq
0.00%	Container glass (delivered to the end user of the contained product, reuse rate: 7%), production mix at plant, technology mix - RER	2.93423	kg CO2 eq
0.00%	Dummy_CaF2 (low radioactive)	0.00000	kg CO2 eq
0.00%	Dummy_Radioactive tailings	0.00000	kg CO2 eq
0.00%	Dummy_Highly radioactive waste	0.00000	kg CO2 eq
0.00%	Dummy_Plutonium as residual product	0.00000	kg CO2 eq
0.00%	Dummy_Slag (Uranium conversion)	0.00000	kg CO2 eq
0.00%	Dummy_Medium and low radioactive wastes	0.00000	kg CO2 eq
0.00%	Dummy_Uranium depleted	0.00000	kg CO2 eq
0.00%	Dummy_Waste radioactive	0.00000	kg CO2 eq
0.00%	Electricity from hydro power, production mix, at power plant, AC, 230V - RER	0.00780	kg CO2 eq
0.00%	Container glass (delivered to the end user of the contained product, reuse rate: 7%), production mix at plant, technology mix - RER	0.00780	kg CO2 eq
0.00%	Dummy_Secondary fuel	7.67687E-20	kg CO2 eq
0.00%	Dummy_Tailings	3.69968E-22	kg CO2 eq
0.00%	Dummy_Secondary fuel renewable	0.00000	kg CO2 eq

Fuente: Elaboración propia, extraída del programa OpenLCA.

Anexo 26. Carta de autorización para uso de datos de la empresa



San Juan de Miraflores, 20 de octubre del 2022

**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**

Por la presente autorizamos a los Sres. Carcasí Canazas Jimmy Roy Vilchez Mendoza, Antony Jose a fin de que pueda utilizar los datos, figuras, o fotografías de la empresa para la elaboración de su tesis.

Sin otro particular, me despido

Atentamente,

**PEP CONTRATISTAS S.A.C.**

  
.....  
**PEDRO VILCHEZ LÓPEZ**  
GERENTE GENERAL

**PEDRO VILCHEZ LOPEZ**  
**GERENTE GENERAL**  
**PEP CONTRATISTAS SAC**

Fuente: Pep. Contratistas. S.A.C.