

I

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**“REDUCCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA POR FILTROS DE
ARENA EN SERIE DE FLUJO DESCENDENTE”**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO SANITARIO

ELABORADO POR:

COSME TORRES, JULISSA KATHERINE

ASESOR

ING. ALARCÓN CONDOR, JUAN CARLOS

LIMA-PERÚ

2020

DEDICATORIA

A mis padres y hermanos.

AGRADECIMIENTO

A mi madre y mi padre, por el apoyo que me dieron en cada etapa de mi vida.

A mi asesor el Ing. Juan Alarcón Córdor, por el constante apoyo brindado, y recomendaciones realizadas hasta la culminación de la investigación y redacción de tesis.

Al Centro de Investigación Tratamiento Agua Residual y Residuos Peligrosos (CITRAR), por todas las facilidades brindadas a mi persona, tanto en la comodidad de sus módulos de investigación y sus laboratorios implementados.

A la Operadora de CITRAR, Ing Litza Jara, por estar siempre pendiente de las necesidades de los investigadores de CITRAR.

A personal de mantenimiento, Sr. Manuel Romero, Sr. Ramsés Huamán, y a la Brigada CITRAR-2018-II, por el apoyo brindado, en la continuidad del funcionamiento de la Planta de tratamiento de Agua Residual de CITRAR.

Al Laboratorio de Facultad de Ingeniería Ambiental (FIA-UNI), por las facilidades brindadas con los equipos de pruebas a lo largo de la Investigación.

Al personal de Laboratorio de la FIA, Sra margarita y al Sr Raúl, por todo el apoyo brindado y comprensión a lo largo de toda la investigación.

RESUMEN

En la presente tesis se investigó la reducción de materia orgánica producida, en un sistema de filtros de arena en serie de flujo descendente-descendente (SI) y en un sistema de filtro de arena en serie de flujo ascendente-descendente (SII), con la finalidad de asegurar una calidad superior de una unidad de UASB-Tanque Séptico.

Cada sistema presentaba dos filtros de una dimensión de 1.5m de alto por 6.2 cm de diámetro, teniendo en el primer filtro, de ambos sistemas, un filtro de lecho convencional de una capa de arena de 60cm de profundidad y un tamaño efectivo de 0.65mm, y un segundo filtro de lecho reducido con una capa de arena 30cm de profundidad y tamaño efectivo de 0.46mm, cada medio filtrante se encontró apoyado en una capa grava de 30 cm de profundidad de tamaño efectivo de 4.2mm.

La evaluación de ambos sistemas de filtros de arena en serie, se dio para tres tasas de filtración de 33.39, 19.08 y 9.54 m³/m²xdía, para las condiciones ambientales de la ciudad de Lima, durante los meses de agosto del 2018 y abril del 2019. Para cada tasa de filtración evaluada, la reducción de materia orgánica, se midió a partir de Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y Demanda bioquímica de oxígeno particulada (DBO₅ Particulada =DBO₅-DBO₅ Soluble).

De los resultados obtenidos, se tiene que para la tasa de filtración de 9.54, 19.08 y 33.39m³/m²xdía, el porcentaje de reducción de DBO₅ es de 41.62%, 34.64% y 22.5% para el SI, y en caso del SII es de 39.72%, 31.06%, 24.90% respectivamente.

De los resultados obtenidos se tiene que el porcentaje de reducción de DBO₅ se incrementa a medida que se reduce la tasa de filtración; así mismo, se verifica que el porcentaje de reducción de DBO₅, se encuentra por debajo del 50%, siendo el más incidente de este porcentaje la reducción de la DBO₅ particulada y no la DBO₅ Soluble, lo cual nos evidencia que en estos sistemas prioriza el mecanismo físico y no un proceso biológico, siendo este fundamental para concluir que no mejora la calidad de unidad UASB-Tanque Séptico de manera significativa como cuando se trabaja con efluente de una unidad secundaria.

ABSTRACT

In this thesis, the reduction of organic matter produced was investigated, in a series of down-stream (SI) series sand filter system and in an up-down series (SII) series sand filter system, with the purpose of ensuring superior quality of a UASB-Septic Tank unit.

Each system had two filters with a dimension of 1.5m high by 6.2cm in diameter, having in the first filter, of both systems, a conventional bed filter of a sand layer 60cm deep and an effective size of 0.65mm, and a second reduced bed filter with a 30cm deep layer of sand and an effective size of 0.46mm, each filter medium was supported by a 30cm deep gravel layer of an effective 4.2mm size.

The evaluation of both sand filter systems in series, was given for three filtration rates of 33.39, 19.08 and 9.54 m³/ m²xday, for the environmental conditions of the city of Lima, during the months of August 2018 and April 2019 for each filtration rate evaluated, the organic matter reduction was measured from Biochemical oxygen demand (BOD₅) and Biochemical demand of particulate oxygen (Particulate BOD₅ = BOD₅- BOD₅ Soluble).

From the results obtained, for the filtration rate of 9.54, 19.08 and 33. m³/ m²xday, the reduction percentage of DBO₅ is 41.62%, 34.64% and 22.5% for the SI, and in the case of SII is of 39.72%, 31.06%, 24.90% respectively.

From the results obtained, the percentage of reduction of DBO₅ is increased as the filtration rate is reduced; Likewise, it is verified that the percentage of reduction of BOD₅ is below 50%, the most incident of this percentage being the reduction of particulate BOD₅ and not Soluble BOD₅, which shows us that in these systems prioritizes the physical mechanism and not a biological process, this being fundamental to conclude that the quality of the UASB-Septic Tank unit does not improve significantly as when working with effluent from a secondary unit.

INDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO II	2
PLANTEAMIENTO DE INVESTIGACIÓN	2
1.1 Antecedentes	2
1.2 Justificación	5
1.3 Planteamiento del problema.....	5
1.4 Objetivos.....	5
1.4.1 Objetivo principal	5
1.4.2 Objetivo secundario	5
1.5 Hipótesis.....	6
CAPITULO III	7
MARCO TEÓRICO	7
1.6 Agua residual.....	7
1.6.1 Características del agua residual.....	7
1.6.2 Composición del agua residual.....	9
1.6.3 Contaminantes de importancia en el tratamiento.....	10
1.7 Filtración en medio granular.....	12
1.7.1 Descripción de la operación de filtración.....	12
1.7.2 Clasificación de los sistemas de filtración	13
1.7.3 Variables del proceso de filtración.....	17
1.7.4 Mecanismo de eliminación de las partículas	19
CAPITULO IV.....	21
METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	21
1.8 Periodo de investigación	21
1.9 Ubicación de los filtros de arena.....	21
1.10 Afluente de los filtros de arena.....	22
1.11 Sistema de filtro de arena en serie.....	22

VII

1.12	Etapas de la investigación filtros de arena en serie	23
1.12.1	Pruebas preliminares de los sistemas filtros	23
1.12.2	Construcción de los sistemas filtros de arena	24
1.12.3	Selección del medio filtrante de los sistemas filtros de arena	26
1.12.4	Determinación del tipo afluente y la tasa de filtración a evaluar en los sistemas filtros de arena.....	27
1.12.5	Determinación del tiempo de retención hidráulico.	29
1.13	Operación de los filtros de arena	30
1.13.1	Sistema de funcionamiento del Filtro	33
1.13.2	Operación de lavado de los filtros de arena.....	33
1.13.3	Operación de acondicionamiento de los filtros	34
1.14	Parámetros evaluados.....	34
1.14.1	Condiciones del Ambiente.....	34
1.14.2	Afluente y Efluente del Filtro de Arena	34
1.14.3	Carrera de Filtración	34
1.14.4	Agua de lavado de filtros de Arena	35
1.14.5	Sólidos fijos y volátiles en muestra del lecho filtrante.....	35
1.15	Frecuencia de monitoreo	35
1.16	Procedimiento de los monitoreo.....	36
1.16.1	Condiciones Ambientales.	36
1.16.2	Afluente y Efluente del Sistema de Filtro de Arena en serie.....	36
1.16.3	Sólidos generados por el lavado del filtro de arena.....	41
1.16.4	Sólidos retenidos en el medio filtrante de arena.....	42
CAPITULO V		44
RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN		44
1.17	Resultados obtenidos durante la selección del afluente a evaluar en los sistemas filtros de arena serie.....	44

VIII

1.18	Registro de los valores promedio, máximos y mínimos obtenidos para las tres tasas de filtración evaluadas.....	46
1.18.1	Para una tasa de filtración de 33.39 m ³ /m ² xdía.....	47
1.18.2	Para una tasa de filtración de 19.08 m ³ /m ² xdía.....	49
1.18.3	Para una tasa de filtración de 9.54 m ³ /m ² xdía.....	51
1.19	Registro mensual de los parámetros fisicoquímicos, por tasa de filtración.	53
1.19.1	PH.	53
1.19.2	Solidos suspendidos totales.	55
1.19.3	Solidos suspendidos volátiles.	57
1.19.4	Turbiedad.	59
1.19.5	Temperatura.....	61
1.19.6	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅).....	64
1.19.7	Demanda bioquímica de oxígeno particulada.....	66
1.20	Resultados obtenidos en la culminación de la carrera de filtración de los filtros de arena. 68	
1.20.1	Carrera de filtración.	68
1.20.2	Solidos generados después del mantenimiento de los filtros de arena.	70
1.21	Resultados obtenidos en la culminación de operación de los filtros de arena.....	72
CAPITULO VI.....		73
DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS		73
1.22	Comparación de parámetros fisicoquímicos, según el orden de filtros involucrados, en los sistemas de filtros de arena en serie (SI y SII).....	73
1.22.1	PH	73
1.22.2	Temperatura.....	75
1.22.3	Solidos suspendidos totales.	78
1.22.4	Solidos suspendidos volátiles.	81
1.22.5	Turbiedad.	84
1.22.6	Demanda bioquímica de oxígeno total.	88

1.22.7	Demanda bioquímica de oxígeno particulada.....	91
1.23	Eficiencia de reducción de distintos parámetros evaluados, por tasa de filtración, en los sistemas de filtros de arena en serie (Sistema I y II).	96
1.23.1	Sólidos suspendidos totales	97
1.23.2	Sólidos suspendidos volátiles.....	98
1.23.3	Turbiedad.	99
1.23.4	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅).	101
1.23.5	Demanda bioquímica de oxígeno particulada.....	103
1.24	Resumen de la eficiencia de reducción.	104
1.25	Relación de la eficiencia de reducción de materia orgánica y la capa biológica formada en el medio filtrante.....	107
	CAPITULO VII.....	108
	CONCLUSIONES.....	108
	CAPITULO VIII.....	111
	RECOMENDACIONES.....	111
	CAPITULO IX.....	112
	Bibliografía	112
	ANEXOS.....	114
	ANEXO N° 1: “Sistema del Reactor UASB-Tanque séptico, y sistema de bombeo del Efluente del UASB-Tanque séptico”	114
	ANEXO N° 2 “Sistemas de Filtro de Arena en serie (Sistema I y II)”	115
	ANEXO N° 3 “Pruebas preliminares de ubicación de Filtros de Arena en serie”	116
	ANEXO N° 4 “Construcción del Sistema de Filtros en Serie”.	117
	ANEXO N° 5 “Características Granulométricas del medio filtrante”.	119
	ANEXO N° 6 “Características Granulométricas del medio soporte”	124
	ANEXO N° 7 “Determinación de la porosidad del medio filtrante”	126
	ANEXO N° 8 “Operación de lavados y acondicionamiento de los filtros de arena”	128
	ANEXO N° 9 “Medición de sólidos eliminados, durante la operación de lavado de los filtros de arena”	130

ANEXO N° 10 “ Variación en la calidad agua residual captada ”	131
---	-----

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama esquemático de la estratificación del lecho después del lavado de filtros de medio único, doble y triple.	14
Figura 2. Ubicación de los Filtros de Arena a escala piloto en la Zona Biofilm de CITRAR.	21
Figura 3: Esquema del sistemas de filtros de arena de: Flujo descendente-descendente (SI-M1 y SI-E1), y el de flujo ascendente-descendente (SII-M2 y SII-E2).....	25
Figura 4 : Operación de Sistema de Filtro de Arena en serie: Filtro de flujo descendente (SI-M1) seguido Filtro de flujo descendente (SI-E1)	31
Figura 5: Operación de Sistema de Filtro de Arena en serie: Filtro de flujo descendente (SII-M2) seguido Filtro de flujo ascendente (SII-E2)	32
Figura 6: Variación mensual del PH para las tres tasas de filtración en el sistema de filtro de arena en serie de flujo descendente-descendente (Sistema I).	53
Figura 7: Variación mensual del PH para las tres tasas de filtración, en el sistema de filtro de arena en serie de flujo ascendente-descendente (Sistema II)..	54
Figura 8: Variación mensual de los SST para las tres tasas de filtración en el sistema de filtro de arena en serie de flujo descendente-descendente (Sistema I).	55
Figura 9: Variación mensual de los SST para las tres tasas de filtración en el sistema de filtro de arena en serie de flujo ascendente-descendente (Sistema II)..	56
Figura 10: Variación mensual de los SSV para las tres tasas de filtración en el sistema de filtro de arena en serie de flujo descendente-descendente (Sistema I).	57
Figura 11: Variación mensual de los SSV para las tres tasas de filtración en el sistema de filtro de arena en serie de flujo ascendente-descendente (Sistema II)..	58
Figura 12: Variación mensual de la turbiedad para las tres tasas de filtración en el sistema de filtro de arena en serie de flujo descendente-descendente (Sistema I).	59
Figura 13: Variación mensual de la turbiedad para las tres tasas de filtración en el sistema de filtro de arena en serie de flujo ascendente-descendente (Sistema II).	60
Figura 14: Variación mensual de la temperatura para las tres tasas de filtración en el sistema de filtro de arena en serie de flujo descendente-descendente (Sistema I).	61

Figura 15: Variación mensual de la temperatura para las tres tasas de filtración en el sistema de filtro de arena en serie de flujo ascendente-descendente (Sistema II).....62

Figura 16: Variación mensual de la DBO5 para las tres tasas de filtración en el sistema de filtro de arena en serie de flujo descendente-descendente (Sistema I). 64

Figura 17: Variación mensual de la DBO5 para las tres tasas de filtración en el sistema de filtro de arena en serie de flujo ascendente-descendente (Sistema II). .65

Figura 18: Variación mensual de la DBO5 Particulada para las tres tasas de filtración en el sistema de filtro de arena en serie de flujo descendente-descendente (Sistema I).66

Figura 19: Variación mensual de la DBO5 Particulada para las tres tasas de filtración en el sistema de filtro de arena en serie de flujo ascendente-descendente (Sistema II)..67

Figura 20: Variación del tiempo de carrera de filtración según disminuye la tasa de filtración69

Figura 21: Variación de la cantidad de sólidos generados después del lavado del filtro de arena, para cada filtro involucrado, de acuerdo a la tasa de filtración evaluada.70

Figura 22: Variación de la cantidad de sólidos generados mensualmente para cada filtro de arena involucrado.....71

Figura 23: Medición de sólidos suspendidos formados en una muestra sólida.72

Figura 24: Comparación de la variación de PH producido en el efluente del primer filtro, de ambos sistemas de filtros de arena evaluados (Sistema I y II).74

Figura 25: Comparación de la variación de PH producido en el efluente del segundo filtro, de ambos sistemas de filtros de arena evaluados (Sistema I y II)....74

Figura 26: Variación de temperatura en el efluente del primer filtro, de ambos sistemas de filtros de arena evaluados (I y II), relacionados con la variación de PH.76

Figura 27: Variación de Temperatura producido en el efluente del primer filtro, de ambos sistemas de filtros de arena evaluados (Sistema I y II), relacionados con la carrera de filtración.76

Figura 28: Variación de la temperatura producido en el efluente del segundo filtro, de ambos sistemas de filtros de arena evaluados (Sistema I y II), relacionados con la variación de PH.....77

Figura 29: Variación de Temperatura producido en el efluente del segundo filtro, de ambos sistemas de filtros de arena evaluados (Sistema I y II), relacionados con la carrera de filtración.78

Figura 30: Variación de SST en el efluente del primer filtro, de ambos sistema de filtros de arena evaluados (I y II), relacionados con la variación de PH y carrera de filtración (CF).	79
Figura 31: Variación de SST en el efluente del segundo filtro, de ambos sistema de filtros de arena evaluados (I y II), relacionados con la variación de PH y carrera de filtración (CF).	80
Figura 32: Variación de SSV en el efluente del primer filtro, de ambos sistema de filtros de arena evaluados (I y II), relacionados con la variación de PH y carrera de filtración (CF).	82
Figura 33: Variación de SSV en el efluente del segundo filtro, de ambos sistema de filtros de arena evaluados (I y II), relacionados con la variación de PH y carrera de filtración (CF).	83
Figura 34: Variación de la turbiedad en el efluente del primer filtro, de ambos sistema de filtros de arena evaluados (I y II), relacionados con la variación de PH, carrera de filtración (CF) y temperatura del afluente (T° AF).	85
Figura 35: Variación de la turbiedad en el efluente del segundo filtro, de ambos sistema de filtros de arena evaluados (I y II), relacionados con la variación de PH y carrera de filtración (CF).	87
Figura 36: Variación de DBO5 en el efluente del primer filtro, de ambos sistema de filtros de arena evaluados (I y II), relacionados con la variación de PH.	89
Figura 37: Variación de DBO5 en el efluente del segundo filtro, de ambos sistema de filtros de arena evaluados (I y II), relacionados con la variación de PH.	90
Figura 38: Variación de DBO5 Particulada en el efluente del primer filtro, de ambos sistema de filtros de arena evaluados (I y II), relacionados con la variación de PH y carrera de filtración (CF).	93
Figura 39: Variación de DBO5 Particulada en el efluente del segundo filtro, de ambos sistema de filtros de arena evaluados (I y II), relacionados con la variación de PH.	94
Figura 40: Variación de DBO5 Particulada en el efluente del segundo filtro, de ambos sistema de filtros de arena evaluados (I y II), relacionados con la variación de carrera de filtración.	95
Figura 41: Relación de la variación de temperatura y PH producido, para las tres tasas de filtración evaluadas (33.39,19.08 y 9.54 m3/m2xdía)	96
Figura 42: Eficiencia de reducción de SST (%), mostrada en relación a la variación de PH, carrera de filtración (CF), y temperatura del agua residual del afluente (T°-AF).	97

Figura 43: Eficiencia de reducción de SSV (%), mostrada en relación a la variación de PH, carrera de filtración (CF), y temperatura del agua residual del afluente (T°-AF).	98
Figura 44: Eficiencia de reducción de Turbiedad (%), mostrada en relación a la variación de PH, carrera de filtración (CF).	100
Figura 45: Eficiencia de reducción de DBO5 Particulada (%), mostrada en relación a la variación de PH, carrera de filtración (CF).	103
Figura 46: Comparación de la eficiencia de reducción de todos los parámetros evaluados.	105
Figura 47: Comparación de la eficiencia de reducción de DBO5, DBO5 Particulada y DBO5 Soluble	106
Figura 48: Relación de la eficiencia de reducción de materia orgánica, y solidos suspendidos volátiles identificados en el medio filtrante (%SS).	107
Figura 49: Reactor UASB-Tanque séptico de CITRAR	114
Figura 50: Sistema de bombeo del Tanque de recolección.....	114
Figura 51: Sistemas de filtro en serie (Sistema I y II).	115
Figura 52: Pruebas preliminares de los Sistemas de Filtros en Serie.....	116
Figura 53: Sistema de Almacenamiento	117
Figura 54: Válvula flotadora	117
Figura 55: Sistema de regulación.	117
Figura 56: Sistema de Filtros de Arena en Serie.....	118
Figura 57: Recolección de Arena de Rio.....	119
Figura 58: Selección de Arena.....	119
Figura 59: Lavado y Secado de la Arena recolectada.....	119
Figura 60: Secado de la Arena	120
Figura 61: Tamizado de muestra de Arena.	120
Figura 62: Zarandeo durante un intervalo de veinte minutos	120
Figura 63: pesado del material retenido en cada tamiz.....	120
Figura 64: Determinación del Tamaño efectivo (D60 y D10), para lecho convencional.....	122
Figura 65: Determinación del Tamaño efectivo (D60 y D10), para lecho reducido.....	123
Figura 66: Tamizado de la grava seleccionada.....	124
Figura 67: Granulometría obtenida del tamizado.	124
Figura 68: Determinación del Tamaño efectivo (D60 y D10), para la grava de soporte	125
Figura 69: Medio Filtrante de lecho Convencional	126

Figura 70: Medio Filtrante del lecho reducido.	126
Figura 71: Purgado de agua de agua colmatada en los filtros	128
Figura 72: Operación de lavado de filtros de arena.....	128
Figura 73: Expansión de filtro de arena	129
Figura 74: Registro de Presión de lavado de filtros de Arena	129
Figura 75: De izquierda a derecha, se verifica evacuación de agua de lavado con 20 litros de agua, y el agua eliminada durante el acondicionamiento de filtros de arena.	129
Figura 76: Evaluación de solidos generados.....	130
Figura 77: medición de sólidos sedimentables , después de 60min.....	130
Figura 78: Visualización de los sólidos suspendidos, generados durante la etapa de evaluación de solidos sedimentables (De izquierda derecha solidos acumulados en E1 y M2 para una tasa de 19.08 m ³ /m ² xdía)	130
Figura 79: Captura de la variación del color de agua residual captada en la fecha 02.02.19	131
Figura 80: Captura de la variación del color de agua residual captada en la fecha 13.02.19	131

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

La innovación de distintas tecnologías de tratamiento de agua residual de bajos costos de inversión, operación y mantenimiento; así como la demanda del área requerida para su uso, están siendo actualmente estudiados, dentro de ello los filtros de arena, el cual por el antecedente que presenta en relación la eficiencia para el tratamiento de agua, se ha estado evaluando su funcionamiento para el uso de tratamiento de agua residual, teniendo así, investigaciones realizadas con filtros lentos y rápidos, siendo el primero caracterizado, por tener una buena eficiencia de reducción de materia orgánica; sin embargo, cuestionado por el área que necesita para su implementación, por lo cual actualmente se están realizando investigaciones de filtros rápidos para agua residual.

En ese sentido con la finalidad investigar filtros que no requieran de mucha área, y que presenten una mejora en la reducción de materia orgánica se ha investigado el uso de filtros rápidos de arena en serie, después de unidad tratamiento UASB-Tanque Séptico; así mismo, por las dificultades que presenta el filtro rápido, por la colmatación del medio filtrante, se ha evaluado tasas de filtración, que mejore las condiciones de operatividad y reducción de materia orgánica.

En la presente investigación se ha implementado sistemas de filtros rápidos de arena en serie (SI y SII), cada uno conformado por un filtro de lecho convencional y filtro de lecho reducido, ubicados uno continuación de otro, con las mismas características física, solo diferenciándose cada sistema, en cuanto a la operación del sentido de flujo. Dichos sistemas de filtros de arena en serie fueron instalados en el Centro de Investigación de Agua Residuales y Residuos Peligrosos de la Universidad Nacional de Ingeniería (CITRAR-UNI).

Para verificar la reducción de materia orgánica producida por los filtros de arena en serie, se utilizó el parámetro de medición de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Total al quinto día y Demanda Bioquímica de Oxígeno particulada. En adición ello, con el objetivo de identificar los mecanismos que genera la reducción de la materia orgánica se ha medido los siguientes parámetros: Sólidos suspendidos totales (SST), Sólidos suspendidos totales (SSV), Turbiedad, PH, temperatura, carrera de filtración y la medición de sólidos fijos y volátiles registrados en medio filtrante de arena, en la culminación de la investigación.

CAPITULO II

PLANTEAMIENTO DE INVESTIGACIÓN

1.1 Antecedentes

(Zahid, 2003), investigo el uso de filtros rápidos de arena de flujos descendente, para mejorar la reducción de materia orgánica de unidades de tratamiento secundario. Para lo cual implemento filtros de arena de una dimensión de 9cm de diámetro por una altura de 2.5m, conformada por una capa de arena de 98cm de un tamaño efectivo de 1.8mm con coeficiente de uniformidad de 1.44 y una porosidad del 43%, ubicada sobre una capa de grava de soporte de 9cm de profundidad de tamaño efectivo de 5 a 8mm. Dicho filtro fue evaluado para tres tasas de filtración de 96, 192, y 288 m³/m²xdía.

Teniendo para la tasa filtración 96m³/m²xdía, un afluente a filtrar con 52mg/l de demanda bioquímica de oxígeno (DQO), para dicha condición, el filtro llego a reducir un 40% de materia orgánica, con una carrera de filtración de 2.5 días, y para la tasa de filtración de 192m³/m²xdía, la calidad del afluente a filtrar presentaba un promedio de 40mg/l de demanda bioquímica de oxígeno (DQO), para dichas condición el filtro llego a reducir un 43% de materia orgánica, para una carrera de filtración de 23 hrs, y para la tasa de filtración de 288m³/m²xdía, la calidad del afluente a filtrar presentaba un promedio de 92 a 96mg/l de demanda bioquímica de oxígeno (DQO), para dicha condición el filtro llego a reducir un 29% de materia orgánica, para una carrera de filtración de 21 hrs. De los resultados obtenidos en dicha investigación, se justifica que la variación de la reducción de materia orgánica, se debe a la variación de carrera de filtración y la formación de la capa biológica en medio filtrante.

(Hamoda, Al-Ghusain, & AL-Mutairi, 2004), investigo filtros rápidos de arena de flujo descendente a escala piloto, para mejorar la calidad de la reducción de contaminantes de una unidad de tratamiento secundario, para lo cual utilizo filtros conformados por una capa de arena de 60cm profundidad, soportada por una capa de grava de 40cm. Dicho filtro fue evaluado, para una tasa de filtración de 120m³/m²xdía, para un afluente que presentaba una DBO₅ de 9.1 mg/l, una DQO de 51.9mg/l, SST de 11.5mg/l y SSV 6.9 mg/l.

La investigación fue realizada durante el periodo de invierno (temperatura promedio 22°C) y verano (temperatura promedio 35°C), en la cual se llegó a

remover un 70% en los que respecta SST (5.2 mg/l), 38% en DQO (32.6 mg/l) y 54% en DBO₅ (2.7 mg/l), justificando que el porcentaje de reducción de DBO₅ y DQO podría ser ayudada por la eliminación de SSV, aunque esto indicaron que estaría en contradicción por el proceso de cloración que se realizaba antes de que efluente secundario ingrese al filtro de arena; así mismo, indicaron que esto no se puede generar porque el periodo de limpieza del filtro se realizaba diariamente, eliminado cualquier unión microbial que se podría formar.

(Rosas Bustamante & Ugaz Saabedra, 2014) investigaron el funcionamiento de filtros rápidos de arena para mejorar la reducción de contaminantes de una unidad de tratamiento de reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB), para lo cual utilizaron dos filtros en paralelo de 6cm diámetro por 1.5m de altura, en dos etapas, la primera etapa para evaluar el funcionamiento de los filtros en paralelo, de lecho convencional, con la única diferencia de la dirección del sentido de flujo. En la segunda etapa ambos filtros en paralelo con lecho filtrante reducido, con la única variación del sentido de flujo. Teniendo así, que el filtro de flujo descendente es más eficiente en ambas etapas, teniendo para la primera etapa una reducción de materia orgánica de 70% para un caudal de 288 l/día; y en la segunda etapa una reducción de materia orgánica de 30% para un caudal de 288 l/día.

(Alsaqqar, Khudair, & Al-Sulaiman, 2018), investigo el uso de sistema de filtros lentos de arena para mejorar la reducción de materia orgánica del tratamiento de efluentes secundarios. Para lo cual implemento filtros de arena de un metro de profundidad, conformada por un lecho filtrante de un tamaño efectivo de 0.35mm, soportada por una grava de tamaño efectivo 5mm y una profundidad de 0.2m, operados mediante el filtrado y eliminación de la población biológica y depósitos inertes generados en la superficie de lecho que genera una obstrucción filtro, siendo a aproximadamente esta capa los 2.5cm medidos a partir de la superficie del lecho. La calidad del efluente a filtrar presenta una DBO₅ de 79.91mg/l, una DQO de 155.74mg/l, SST de 81.80mg/l y un PH de 7.46. Dicha investigación se evaluó utilizando una tasa de infiltración de 4.8m³/m²xdía, la evaluación de dicho sistema en un periodo de 28 días, se llegó a remover hasta una DBO₅ de 20.43mg/l, DQO de 53.28mg/l, SST de 30.16mg/l y PH 7.20, justificando la formación de capa biológica hipogea en la superficie del filtro, la cual se llega a forma en condiciones normales a los 10 días.

Tabla 1: Resumen de los resultados obtenidos en los antecedentes.

Tipo de Filtro	Filtro Rápido					Filtro Lento	
Autor	(Zahid, 2003)		(Hamoda, Al-Ghusain, & AL-Mutairi, 2004)		(Rosas Bustamante & Ugaz Saabedra, 2014)	(Alsaqqar, Khudair, & Al-Sulaiman, 2018)	
Filtro de Arena							
H del Lecho filtrante (m)	0.98		0.6		0.6	0.3	1
Diámetro de filtrante (cm)	9				6	6	
Medio Filtrante							
Te (mm)	1.8				0.65	0.46	0.35
Cu	1.44				1.45	1.45	2.5
Tipo de Afluente	Secundario		Secundario		Primario (UASB)		Secundario
Tasas de filtración (m³/m²*d)	96	192	288	120	137	137	4.8
Resultados de Evaluación							
Carrera de filtración (d)	2.5	0.95	0.88	1			28
DQO (a)	28-52	28-40	92-96	51.9			155.74
DQO (e)	17-31	16-23	65-68	32.6			53.28
% de reducción	40	43	29	38			65.78
DBO ₅ (a)			9.1				79.91
DBO ₅ (e)			2.7				20.43
% de reducción			54		70	30	73.43

Fuente: Elaboración propia

1.2 Justificación

De acuerdo a las investigaciones desarrolladas anteriormente se verifica que los filtros rápidos de arena son adecuados para implementar después de una unidad de tratamiento secundario, porque ayuda a mejorar la calidad de un efluente, a partir de los altos porcentajes de reducción de materia orgánica; sin embargo, de acuerdo a la investigación desarrollada por (Rosas Bustamante & Ugaz Saabedra, 2014), el funcionamiento de los filtros rápidos después de una unidad tratamiento primario, como UASB, también ayuda a mejorar la calidad del efluente, quienes muestran que han llegado así tener eficiencia de reducción de DBO_5 del 60% para lecho convencional, y 30% para un lecho reducido. En ese sentido en la presente investigación, con el objetivo de mejorar la calidad del efluente UASB-Tranque Séptico, medido a partir de la reducción de la materia orgánica, se ha optado por investigar un sistema de filtros rápidos en serie.

1.3 Planteamiento del problema

¿Será factible que un sistema de filtros de arena en serie, permita incrementar las eficiencias de reducción de materia orgánica, a tal punto de mejorar la calidad del efluente de unidad de UASB-Tanque Séptico?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo principal

Reducir la materia orgánica del efluente de unidad de tratamiento UASB-Tanque Séptico, a partir de la implementación de filtro de arena en serie.

1.4.2 Objetivo secundario

- Evaluar el comportamiento entre la variación de la tasa de filtración y la reducción de materia orgánica producida, en el sistema de filtros de arena en serie, medida a partir de la DBO_5 .

- Analizar la diferencia de porcentajes de reducción de materia orgánica, en la implementación de filtros en serie del sistema de flujo ascendente-ascendente (SI) y el sistema de flujo descendente- descendente, partir de la DBO₅, DBO₅ Particulada, DBO₅ Soluble.
- Evaluar la relación que se presenta entre a reducción de la DBO₅, y la reducción de otros parámetros tales como: SST, SSV, PH, Turbiedad, temperatura

1.5 Hipótesis

Con la implementación de filtros de arena en serie, se espera llegar a un porcentaje de reducción de materia orgánica del 70%.

CAPITULO III

MARCO TEÓRICO

El tratamiento de agua residual doméstica tiene como objetivo, reducir la concentración de contaminantes presentes en el agua residual, con la finalidad de prevenir riesgos a la salud y la polución del medio ambiente.

En la actualidad se cuenta con varias tecnologías de tratamiento de agua residual, que son cuestionados por sus altos costos de implementación y operación, motivo por el cual se vienen investigando diferentes tecnologías, dentro de ello, los sistemas de filtros de arena, quienes se caracteriza por presentar bajos costos de implementación y operación para el tratamiento de agua; así mismo presentan diferentes mecanismos que justifican su alta eficiencia de reducción de contaminante, por lo cual está siendo investigado para la implementación en el tratamiento de agua residual.

1.6 Agua residual

Las aguas residuales son las aguas usadas que contiene solidos sedimentables, suspendidos y disueltos, que se caracterizan por presentar diferentes componentes ajenos a su composición natural, entre ellos los compuestos orgánicos e inorgánicos; así mismo, de acuerdo a su procedencia pueden contener diferentes tipos de microorganismos.

1.6.1 Características del agua residual.

La caracterización del agua residual, es fundamental para el planteamiento de su tratamiento a implementar y su evacuación a realizar.

Las aguas residuales se caracterizan por su composición física, química y biológica.

1.6.1.1 Características físicas.

Las características físicas más importantes del agua residual incluyen sólidos, tamaño de partícula, distribución de tamaño de partícula, turbidez, color, temperatura, conductividad. Los sólidos totales incluyen materia flotante, materia sedimentable, materia coloidal y materia disuelta. La densidad, la gravedad específica y el peso específico, de importancia general en el agua, también son importantes para el agua residual (Eddy & Metcalf, 2014, pág. 73).

1.6.1.2 Características químicas.

La característica química del agua residual va depender del contenido de materia orgánica e inorgánico, y los gases presentes en el agua residual.

1.6.1.2.1 La materia orgánica.

La materia orgánica es una composición de diferentes compuestos, generalmente formado por carbono, hidrogeno y oxígeno, con la presencia en determinados casos de nitrógeno (CHON).

La materia orgánica en el agua residual típicamente consiste en proteínas (40-60%), hidratos de carbono (25-50%), y las grasas y aceites (10%). Otro compuesto importante en el agua residual es la urea, este último no es común encontrar en agua residuales que no sean muy recientes, por la velocidad en el proceso de descomposición (Eddy & Metcalf, 2014, pág. 114)

1.6.1.2.2 La materia inorgánica.

Es la presencia sustancias inorgánicas en el agua, aumenta tanto por el contacto del agua con diferentes formaciones geológicas, como por agua residuales tratadas o sin tratan, que a ella se descargan.

1.6.1.3 Características biológicas.

Las características biológicas del agua residual son de fundamental importancia en el control de enfermedades causadas por organismos patógenos de origen animal, y porque es de fundamental importancia para la estabilización de la metería orgánica y la trasformación de componentes inorgánicos.

1.6.1.3.1 Microorganismos.

Los principales organismos presentes en las aguas residuales se clasifican eucariotas, eubacterias y arquebacterias.

- Bacterias: Las bacterias se pueden clasificar como eubacterias procariotas. Las bacterias están presentes en los procesos de descomposición y estabilización de la materia orgánica.
- Hongos: Los hongos son protistas eucariotas aerobias. Los hongos son considerados como principales responsables de la descomposición del carbono en la biosfera.

- Algas: El crecimiento excesivo de las algas, se caracterizan por formar lagos eutróficos.
- Protozoos: Son microorganismos eucariotas, siendo en su mayoría aerobios. Los protozoos importantes son las amebas, los flagelados y los ciliados libres y fijos, y se caracterizan por alimentarse de bacterias y otros microorganismos microscópicos, que ayudan a, mantener el equilibrio natural entre los diferentes tipos de microorganismos.
- Plantas y Animales: Las plantas y animales, se caracterizan por sus tamaños muy variados, desde gusanos y rotíferos microscópicos hasta crustáceos macroscópicos. El conocimiento de estos organismos resulta útil a la hora de clasificar el estado de lagos y toxicad de aguas residuales.
- Virus: Los virus son partículas formadas por un cordón de material genético.

1.6.1.3.2 Organismos Patógenos.

Los organismos patógenos pueden proceder de desechos humanos que estén infectados o sean portadores de determinada enfermedad. Siendo las principales las bacterias, virus, los protozoos y grupo de los helmintos.

1.6.2 Composición del agua residual.

La composición de agua residual va depender de las cantidades constituyentes físicos, químicos y biológicos. Los constituyentes típicos en agua residual doméstica son:

Tabla 2: Composición típica de agua residual domestica bruta

Contaminantes	Unidades	Concentración
Solidos totales (ST)	mg/l	720
Disueltos, totales (SDT)	mg/l	500
Fijos	mg/l	300
Volátiles	mg/l	200
Solidos Suspendidos (SS)	mg/l	220
Fijos	mg/l	55
Volátiles	mg/l	165
Solidos Sedimentable	ml/l	10
Demanda bioquímica de oxígeno: 5 días, 20°C (DBO ₅ , 20°C)	mg/l	220
Carbono orgánico total (COT)	mg/l	160
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/l	500
Nitrógeno (total en la forma N)	mg/l	40

Contaminantes	Unidades	Concentración
Orgánico	mg/l	15
Amoniaco Libre	mg/l	25
Nitritos	mg/l	0
Nitratos	mg/l	0
Fosforo (total en la forma P)	mg/l	8
Orgánico	mg/l	3
Inorgánico	mg/l	5
Cloruros	mg/l	50
Sulfatos	mg/l	30
Alcalinidad (como CaCO ₃)	mg/l	100
Grasa	mg/l	100
Coliformes Totales	n°/100ml	10 ⁷ -10 ⁸
Compuestos orgánicos volátiles (COVs)	µg/l	100-400

Fuente: **(Romero, 2004)**

1.6.3 Contaminantes de importancia en el tratamiento

El agua residual afecta en alguna manera la calidad del agua de la fuente o cuerpo receptor. Se dice que el agua residual causa polución cuando se descarga directamente sin ningún tipo de tratamiento, y/o cuando se introduce condiciones y características que hacen que agua de la fuente o cuerpo receptor sea inaceptable para el uso propuesto de la misma.

Tabla 1: Contaminantes de importancia en el tratamiento de agua residual

Contaminantes	Parámetro de medida	Razón de Importancia	Impacto Ambiental
Materia Orgánica	DBO ₅ , DQO	Compuesta principalmente por proteínas, carbohidratos, grasas animales, la materia orgánica biodegradable se mide, en la mayoría de las ocasiones, en función a la DBO ₅ (demanda bioquímica de oxígeno) y de la DQO (demanda química de oxígeno). Si se descarga al entorno sin tratar su estabilización biológica puede llevar agotamiento de los recursos naturales del oxígeno y desarrollo de condiciones sépticas.	Desoxigenación del agua, generación de olores indeseables.
Sólidos en Suspensión	SST, SSV	Deposición en los lechos de los ríos; si es orgánica se descompone y flota mediante reproducción empuje de los gases,; cubre el fondo e interfiere con la de los peces o trastorna la cadena alimenticia.	Causa turbiedad del agua, depósito de lodos.
Patógenos	CF	Pueden transmitir enfermedades contagiosas por medio de los organismos patógenos presentes en el agua residual.	Hace el agua insegura para el consumo y recreación.
Nutrientes	NH ₄ ⁺ -N, Ortfosfatos	El C, N, P son nutrientes. Cuando se descargan en las aguas residuales pueden producir crecimiento de vida acuática indeseable. Cuando se descargan en cantidades excesivas sobre el suelo pueden producir polución del agua subterránea.	Desoxigena el agua, es toxico para organismos acuáticos y puedes estimular crecimiento de algas.
Materia orgánica refractaria		Resiste los métodos convencionales de tratamiento. Ejemplos típicos son los agentes tensoactivos, los fenoles y los pesticidas agrícolas.	
Metales Pesados		Proviene de aguas residuales comerciales e industriales, y puede ser necesario eliminarlos si se puede reutilizar el agua residual.	Aumentan la dureza, limitan los usos industriales sin tratamiento especial , incremental el contenido de solidos disueltos a niveles perjudiciales para peces y vegetación, contribuyen eutrofización del agua.
Sólidos inorgánicos disueltos.		Los constituyentes inorgánicos tales como el calcio, sodio y los sulfatos se añaden al agua de suministro como consecuencia del uso del agua.	
Sustancias que causan turbiedad, temperatura, color y olor.		El incremento de la temperatura afecta a los peces; el color, olor y turbiedad hacen estéticamente inaceptable el agua para uso público.	La temperatura reduce la concentración de saturación de oxígeno en el agua, acelera el crecimiento de organismos acuáticos

Fuente: (Eddy & Metcalf, 2014) y (Romero, 2004)

1.7 Filtración en medio granular.

La filtración es una operación utilizada para remover sólidos, materiales no sedimentables, turbiedad, fosforo, DBO_5 , DQO, metales pesados, virus es decir, para asegurar la calidad superior del efluente (Romero, 2004, pág. 559).

1.7.1 Descripción de la operación de filtración.

La operación completa de un sistema de filtración rápida de arena consta de dos fases: filtración y lavado.

- La etapa de filtración se lleva acabo haciendo circular el agua a través del lecho granular, con o sin adición de reactivos químicos. Dentro del estrato granular, la eliminación de los sólidos en suspensión presentes en el agua residual, se realiza mediante un complejo proceso en el que intervienen uno o más mecanismo de separación como tamizado, interceptación, impacto sedimentación y adsorción.
- Las fases de lavado de los filtros de arena se diferencian en cuanto a los funcionamientos del filtro debido a que, puede desarrollarse de una manera continua o semicontinua.

1.7.1.1 Operación de Filtración Semicontinua

La fase de la filtración se produce uno a continuación del otro. El final de la fase de filtración se alcanza cuando empieza aumentar el contenido de sólidos en suspensión en el efluente hasta un nivel máximo aceptable, o cuando se produce una pérdida de carga prefijada en la circulación a través del lecho filtrante. Idealmente ambas circunstancias se producen simultáneamente.

Cuando se filtran efluentes secundarios, la acción principal del filtro se debe a la reducción superficial y, por tanto, la perdida de carga determina el final de la carrera del filtro, muy pocas veces la calidad del filtrado determina el final de la carrera de filtración. Por el contrario, al filtrar flocs químicos, de alumbre o sales de hierro, estos penetran dentro del lecho granular y la acción principal del filtro se debe a reducción en toda profundidad y, por consiguiente, el deterioro de la calidad del efluente determina el final de la carrera de filtro con pérdidas de cargas bajas, 0.9 a 1.8m (Romero, 2004, pág. 666).

1.7.1.2 Operación de Filtración Continua

La fase de filtración y lavado se producen de forma simultánea, motivo por el cual el contenido de sólidos en suspensión en el efluente, o cuando se produce una pérdida de carga prefijada en la circulación a través del lecho filtrante es un indicador de que el filtro culmino su carrera.

1.7.2 Clasificación de los sistemas de filtración

Los sistemas de filtración se pueden clasificar, de acuerdo a:

1.7.2.1 Tipo de Funcionamiento

De acuerdo al funcionamiento se clasifican en continuo y semicontinuo.

1.7.2.2 Sentido de flujo durante la filtración.

Se pueden clasificar en filtros de flujo Ascendente y Descendente.

1.7.2.3 Tipos de materiales filtrantes y configuración de los lechos filtrantes.

En relación a la configuración los filtros se pueden clasificar en función a número de capas de material filtrante, lo cual da lugar a los filtros de una única capa, la doble capa y los filtros de múltiple capa, tal como se muestra en la siguiente figura:

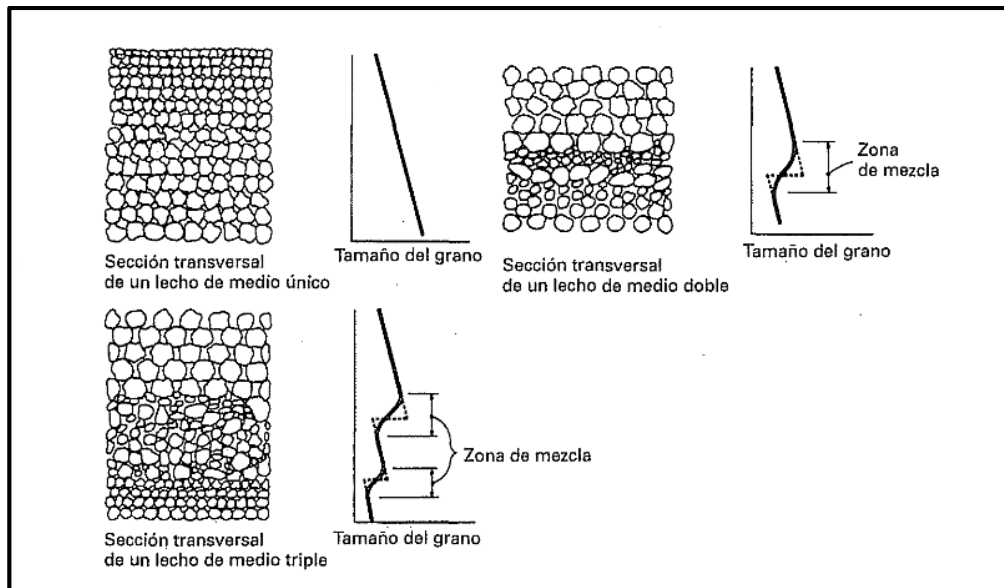


Figura 1: Diagrama esquemático de la estratificación del lecho después del lavado de filtros de medio único, doble y triple.
Fuente : (Eddy & Metcalf, 2014, pág. 1134)

En los filtros convencionales, los tamaños de los granos de cada capa se distribuyen de menor a mayor, después del lavado a contracorriente. En filtros que cuentan con más de una capa, el grado en que se mezclan los materiales de las diferentes capas depende de la densidad y de la diferencia de tamaños entre los granos del material que compone cada una de las capas.

Los lechos filtrantes de doble y triple capa, así como los de capa única profundo, se desarrollaron para permitir que los sólidos en suspensión presentes en el líquido a filtrar puedan penetrar a mayor profundidad dentro del lecho filtrante, con lo cual se aprovecha más la capacidad de almacenamiento de sólidos dentro del filtro. En cambio, en los filtros de capa única poco profundos, se ha podido comprobar que gran parte de la eliminación de sólidos en suspensión se produce en los primeros milímetros de la capa filtrante. El hecho de que los sólidos penetren a mayor profundidad, también permite ciclos de filtración más largos, puesto que se reduce el ritmo de aumento de las pérdidas de carga producidas (Eddy & Metcalf, 2014).

1.7.2.4 Control de flujo.

El ritmo de flujo a través de un filtro se puede expresar de la siguiente manera

$$Velocidad\ de\ flujo = \frac{Fuerza\ Impulsora}{Resistencia\ del\ filtro}$$

En la ecuación indicada la fuerza actuante representa la pérdida de presión en la circulación a través del filtro. Al poner en funcionamiento el filtro, la fuerza actuante solo debe vencer la resistencia que ofrece el lecho filtrante limpio y el sistema de recogida de agua filtrada. A medida que se van acumulando sólidos, la fuerza actuante deberá vencer la resistencia que ofrece el lecho filtrante obstruido y el sistema de recogida de filtrada. El control de flujo a través de los filtros de gravedad se puede dar a caudal constante o variable.

Tabla 3: Características físicas de los filtros de medio granular comúnmente utilizados

Funcionamiento del filtro	Tipo de filtro (nombre común)	Tipo de lecho filtrante	Medio filtrante	Profundidad típica del medio, cm	Dirección de flujo de fluido	Lavado a contracorriente	Caudal de circulación a través del filtro	Comentario
Semicontinuo	Convencional	Medio Único	Arena o Antracita	75	Descendente	Discontinuo	Constante/ Variable	Es el tipo de filtro más empleado
Semicontinuo	Convencional	Medio doble	Arena y antracita	90	Descendente	Discontinuo	Constante/ Variable	Filtro diseñado para aumentar la duración del ciclo
Semicontinuo	Convencional	Medio múltiple	Arena, antracita y granate	90	Descendente	Discontinuo	Constante/ Variable	
Semicontinuo	Lecho Profundo	Medio Único	Arena o antracita	120-180	Descendente	Discontinuo	Constante/ Variable	
Semicontinuo	Lecho Profundo	Medio Único	Arena	120-180	Ascendente	Discontinuo	Constante	
Semicontinuo	Lecho Pulsatorio	Medio Único	Arena	27.5	Descendente	Discontinuo	Constante	Se inyecta aire de forma intermitente para romper la capa superficial y aumentar la duración del ciclo
Continuo	Lecho profundo	Medio Único	Arena	120-180	Ascendente	Continuo	Constante	El lecho de arena se mueve en dirección contraria al flujo.
Continuo	Puente móvil	Medio Único	Arena	27.5	Descendente	Semicontinuo	Constante	El lavado a contracorriente de las celdas filtrantes individuales se realiza de forma secuncial
Continuo	Puente móvil	Medio Único	Arena	40	Descendente	Semicontinuo	Constante	El lavado a contracorriente de las celdas filtrantes individuales se realiza de forma secuncial

Fuente. (Eddy & Metcalf, 2014, pág. 1145)

1.7.3 Variables del proceso de filtración.

En la eliminación de sólidos en suspensión remante, mediante la filtración, se ha comprobado que las variables más importantes del proceso de diseño son, posiblemente, la naturaleza de las partículas presentes en el agua filtrar, el tamaño de material o materiales que componen el filtro, y caudal de filtración (Eddy & Metcalf, 2014, pág. 1162)

Tabla 4: Consideraciones de diseño para filtros de medio granular.

Variable	Significado
1. Calidad requerida del efluente.	Requisito reglamentario fijo, dependiendo del uso final del efluente.
2. Características de agua residual a tratar.	Afectan a las características de eliminación para una configuración dada del lecho filtrante. Las características indicadas del agua a tratar pueden ser controladas, hasta cierto punto, por parte del proyecto.
3. Características medias del filtro a) Tamaño efectivo, d_{10} . b) Coeficiente de uniformidad, UC. c) Tipo, forma de grano, densidad y composición.	Afecta la pérdida de carga de agua limpia, la eficiencia de eliminación de partículas y la pérdida de carga.
4. Características del lecho filtrante a) Profundidad de la cama b) Porosidad c) Estratificación d) Grado de entremezclado medio.	La porosidad afecta la cantidad de sólidos que se pueden almacenar dentro del filtro. La profundidad de la cama afecta la pérdida de carga inicial, duración de la carrera. El grado de entremezclado afectará el rendimiento del lecho.
5. Tasa de filtración.	Se utiliza en combinación con las variables 2,3 y 4 para calcular la pérdida de carga limpia.
6. Control de Caudal	Los principales métodos ahora utilizados para controlar la velocidad de flujo a través del filtro de flujo descendente. Los filtros pueden clasificarse como (1) filtración de velocidad constante con carga fija, (2) velocidad constante filtración con carga variable, y (3) filtración con velocidad de disminución variable.
7. Control de Caudal	La variable de diseño depende de si la fuerza impulsora será la gravedad o la presión aplicada.

Variable	Significado
8. Sistema de retrolavado	Metodos comúnmente utilizados para el lavado a contracorriente de lechos de filtro medio granular operados en el modo semicontinuo incluye (1) lavado a contracorriente con agua auxiliar de lavado de superficie agitación, (2) retrolavado de agua con fregado de aire auxiliar y (3) combinación de aire y agua de lavado a contracorriente. Con los primeros dos métodos, la fluidización del medio granular es necesario para lograr una limpieza efectiva del lecho filtrante al final de la ejecución. Con el tercer método, la fluidización no es necesaria.
9. Requisitos del retrolavado	Afecta el tamaño de la tubería del filtro y la galería de tubería.
10. Accesorios de filtro	Los accesorios del filtro influyen: (1) el sistema de drenaje usado para soportar los materiales de filtración, recoger el efluente filtrado y distribuir el agua y el aire de retrolavado (donde se use); (2) los canales de agua de lavado utilizados para eliminar el agua de retrolavado gastada del filtro; y (3) los sistemas de lavado de superficie utilizados para ayudar a eliminar el material adherido del medio filtrante.

Fuente (Eddy & Metcalf, 2014)

1.7.3.1 Características del agua filtrar.

Las características más importantes del agua a filtrar son la concentración de sólidos en suspensión, el tamaño y la distribución de tamaños de las partículas, y la consistencia de floculo.

1.7.3.2 Características del medio filtrante.

La característica del medio filtrante que más afecta el proceso de filtración es el tamaño del grano. El tamaño del grano afecta tanto a la pérdida de carga en la circulación del agua a través del filtro como a la tasa de variación de dicho aumento durante el ciclo de filtración. Si el tamaño del grano efectivo del medio filtrante es demasiado pequeño, la mayor parte de la fuerza actuante se empleará para vencer la resistencia de fricción provocada por el lecho filtrante, mientras que, si el tamaño efectivo es demasiado grande, muchas de las partículas de menor

tamaño presentes en el agua a filtrar pasaran directamente a través del filtro sin ser eliminadas.

1.7.3.3 Velocidad de Filtración.

La velocidad de filtración es un parámetro importante por cuanto afecta la superficie necesaria del filtro. Para una aplicación dada del filtro, la velocidad de filtración dependerá de la consistencia de los floculo y del tamaño de grano de grano del lecho filtrante. Por ejemplo, si los floculo son débiles de consistencia, las velocidades de filtración elevadas tenderán a romper los floculo y arrastrar gran parte de los mismos a través del filtro.

1.7.4 Mecanismo de eliminación de las partículas

Los principales mecanismos que parecen contribuir a la eliminación de las partículas sólidas de un filtro de medio granular se identifican y describen en la siguiente tabla.

Tabla 5: Principales mecanismos y fenómenos que contribuyen a la eliminación del material dentro de un filtro granular.

Mecanismo	Descripción
1. Retención a) Mecánica b) Contacto aleatorio	Las partículas de mayor tamaño que los poros del filtrante son retenidas mecánicamente. Las partículas de menor tamaño que los poros del medio filtrante quedan atrapados del filtro por contacto aleatorio.
2. Sedimentación o impactación	Las partículas pesadas que no siguen las líneas de corriente se asientan dentro del medio filtrante.
3. Intercepción	Muchas de las partículas que se mueven no siguen las líneas de corriente se eliminan cuando entran en contacto con la superficie del medio filtrante.
4. Adhesión	Las partículas se adhieren a la superficie del medio filtrante al pasar por él. Dada la fuerza creada por el agua que fluye, parte de la materia es arrastrada antes de quedar firmemente adherida y es transportada a zonas más profundas dentro del lecho. Al obturarse el lecho, la fuerza de arrastre superficial aumenta hasta el punto en el que no se puede eliminar más materia. Es posible que una cierta cantidad de material atraviese el fondo del filtro, causando la súbita aparición de turbidez del efluente.
5. Floculación	
6. Adsorción química a) Enlace b) Intercepción química	Una vez que una partícula ha entrado en contacto con la superficie del medio filtrante o con otras partículas,
7. Adsorción física	

a) Fuerzas electrostáticas b) Fuerzas electrocinéticas c) Fuerzas de Van der Waals	cualquiera de estos mecanismos, o ambos a la vez, pueden ser responsables de su retención.
8. Crecimiento biológico	El crecimiento biológico dentro del filtro reducirá el volumen del poro y puede mejorar la eliminación de partículas mediante alguno de los mecanismos de eliminación descritos (de 1 al 5).

(Eddy & Metcalf, 2014, pág. 1133)

CAPITULO IV

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

1.8 Periodo de investigación

La investigación de “Reducción de la Materia Orgánica por Filtros de Arena en Serie de Flujo Descendente”, se desarrolló durante un periodo de ocho meses. Iniciando este desarrollo desde mes de agosto del año 2018 hasta el mes de abril del año 2019.

1.9 Ubicación de los filtros de arena

Los filtros de arena fueron instalados en la Zona Biofilm de investigación (zona 2) del Centro de Investigación en Tratamiento de Agua Residuales y residuos Peligrosos (CITRAR) ubicado en la Puerta N°7 de la Universidad Nacional de Ingeniería.

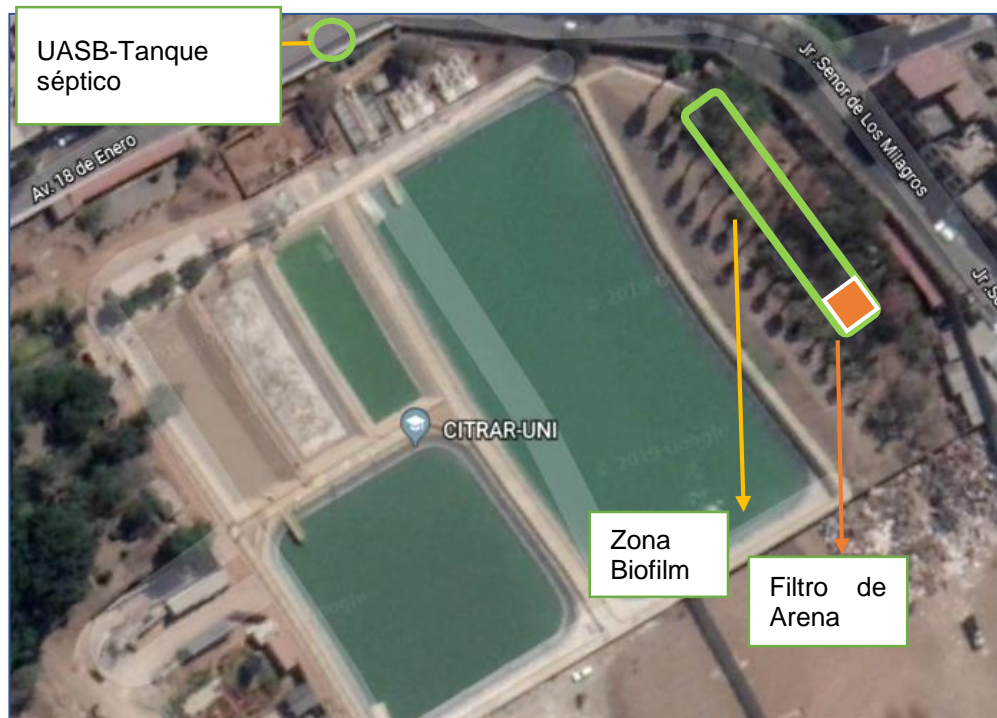


Figura 2. Ubicación de los Filtros de Arena a escala piloto en la Zona Biofilm de CITRAR.

1.10 Afluente de los filtros de arena

El afluente evaluado en el Sistema de Filtros de Arena en serie, fue tomada del efluente de un Reactor UASB-Tanque séptico. Este reactor se caracterizaba por presentar un efluente con un promedio de DBO_5 de 77.47 mg/l , 18.18mg/l de SST, para los meses evaluados (desde mes de octubre del año 2018 hasta el mes de abril del año 2019).

El efluente del Reactor UASB-Tanque séptico fue recolectado en un tanque de 200L, para posteriormente ser bombeado al Tanque de Abastecimiento del Sistema de Filtro de Arena en Serie. Esta operación se realizaba dos veces al día durante un intervalo de tiempo de 20 minutos (uno a las 10am y otro 5pm), con la finalidad de evitar variaciones en la característica del afluente por un proceso de sedimentación (Ver ANEXO N° 1).

1.11 Sistema de filtro de arena en serie

El sistema de filtros de arena en serie, implementado para verificar la reducción en la materia orgánica, estaba conformado por un sistema de filtro de arena en serie de flujo descendente de lecho convencional para el primer filtro, seguido de un filtro de flujo descendente de lecho reducido. La implementación del funcionamiento de los filtros en serie de flujo descendente, fue elegido por la simplicidad en la operación.

Los filtros en serie estaban interconectadas mediante una manguera de 3/8 pulg; y se caracterizaron por presentar una dimensión de 1.5m de alto, diámetro interno de 62mm y un espesor de 0.3mm. Estando el primer filtro de flujo descendente de lecho convencional, conformado por un medio filtrante arena de Coeficiente de Uniformidad (C_u)=1.45, tamaño efectivo (T_e)= 0.65mm y una profundidad de lecho filtrante de 600mm; y el segundo filtro de lecho reducido estaba conformado por un medio filtrante de C_u =1.45 y T_e de 0.46mm con una profundidad de lecho de 300mm. Ambos filtros presentaban una grava de soporte de C_u = 1.28 y T_e =4.21mm.

La determinación de características granulométricas (Coeficiente de uniformidad y Tamaño efectivo), tanto para medio filtrante y grava de soporte, fue considerada en base a los antecedentes; y el cálculo de estas fue desarrollado en base al análisis de granulometría explicado por (Lazares, 2006), tal como se muestra en el ANEXO N° 5 y ANEXO N° 6.

El sistema de filtro de arena en serie de flujo descendente-descendente (Sistema I), se implementó en paralelo al sistema de filtro de arena en serie de flujo ascendente-descendente (Sistema II). Este último sistema con las mismas características físicas, en relación a sus dimensiones y orden de medio filtrante del Sistema I; tendiendo así para el primer filtro de flujo ascendente un lecho convencional de 600mm de alto, y para el segundo filtro de flujo descendente un lecho reducido de 300mm de profundidad. Los estudios para ambos sistemas (Sistema I y II), fue con el objetivo de realizar estudios en paralelo (Ver ANEXO N° 2), que nos permitan Identificar las mejoras que se puede generar al cambiar el sentido de flujo operacional del sistema de filtros de arena.

1.12 Etapas de la investigación filtros de arena en serie

Para el desarrollo de la investigación de los Sistema de filtro de Arena en serie (SI y SII), se desarrolló cinco etapas detalladas a continuación:

1.12.1 Pruebas preliminares de los sistemas filtros

Antes de proceder con la etapa de construcción de los sistemas de filtros de arena en serie se hizo pruebas preliminares, que nos permitan verificar la carga hidráulica necesaria para el funcionamiento de los filtros en serie.

Para lo cual se hizo una instalación previa de los filtros en serie adosados a una tarima de 2m de alto, y ubicados en serie uno a continuación de otra, con una diferencia de 10 a 30cm entre ambos filtros en serie. Esto con el objetivo de verificar un funcionamiento hidráulico adecuado. Esto se desarrolló para ambos sistemas, mediante la circulación agua sin contaminantes (Ver ANEXO N° 3).

De la prueba preliminares desarrolladas se encontró que, para el funcionamiento hidráulico adecuado de los sistemas de filtros de arena en serie, tanto para el flujo descendente-descendente y ascendente-descendente, se determinó que los filtros deben ubicarse con una diferencia de 30cm de alto.

1.12.2 Construcción de los sistemas filtros de arena.

Teniendo en cuenta el de nivel adecuado de los sistemas de filtro en serie, se procedió a construir los sistemas de filtros de arena, para lo cual se hizo necesario de los materiales detallados a continuación:

1.12.2.1 Sistema de Almacenamiento.

Con la finalidad de mantener un abastecimiento continuo durante el periodo de funcionamiento, y evitar un proceso de sedimentación se utilizó para el almacenamiento, lo detallado a continuación:

- Tanque de 600L.
- Piezómetro, que permita verificar el volumen de agua en el almacenamiento.

Ver Figura 53 del ANEXO N° 4.

1.12.2.2 Sistema de Regulación de Caudal.

Para el control de flujo de caudal a través de los filtros en serie de los SI y SII, se utilizó los materiales:

- Galonera de 10L.
- Válvula flotadora
- Válvula de gas.

Ver Figura 54 del ANEXO N° 4.

1.12.2.3 Sistema de Filtración de Arena en Serie.

Para los sistemas de filtros de Arena en serie se utilizó los siguientes materiales detallados a continuación:

- Tarima de 2m de altura.
- Tablero de Madera, para empotrar los filtros, mediante el uso de abrazaderas.
- Manguera de 3/8 pulg, para interconectar los filtros en serie
- Plástico negro, para el recubrimiento solar.
- Filtros acrílicos de una dimensión de 1.5m de alto por un diámetro de 0.06m, y un espesor 3mm.

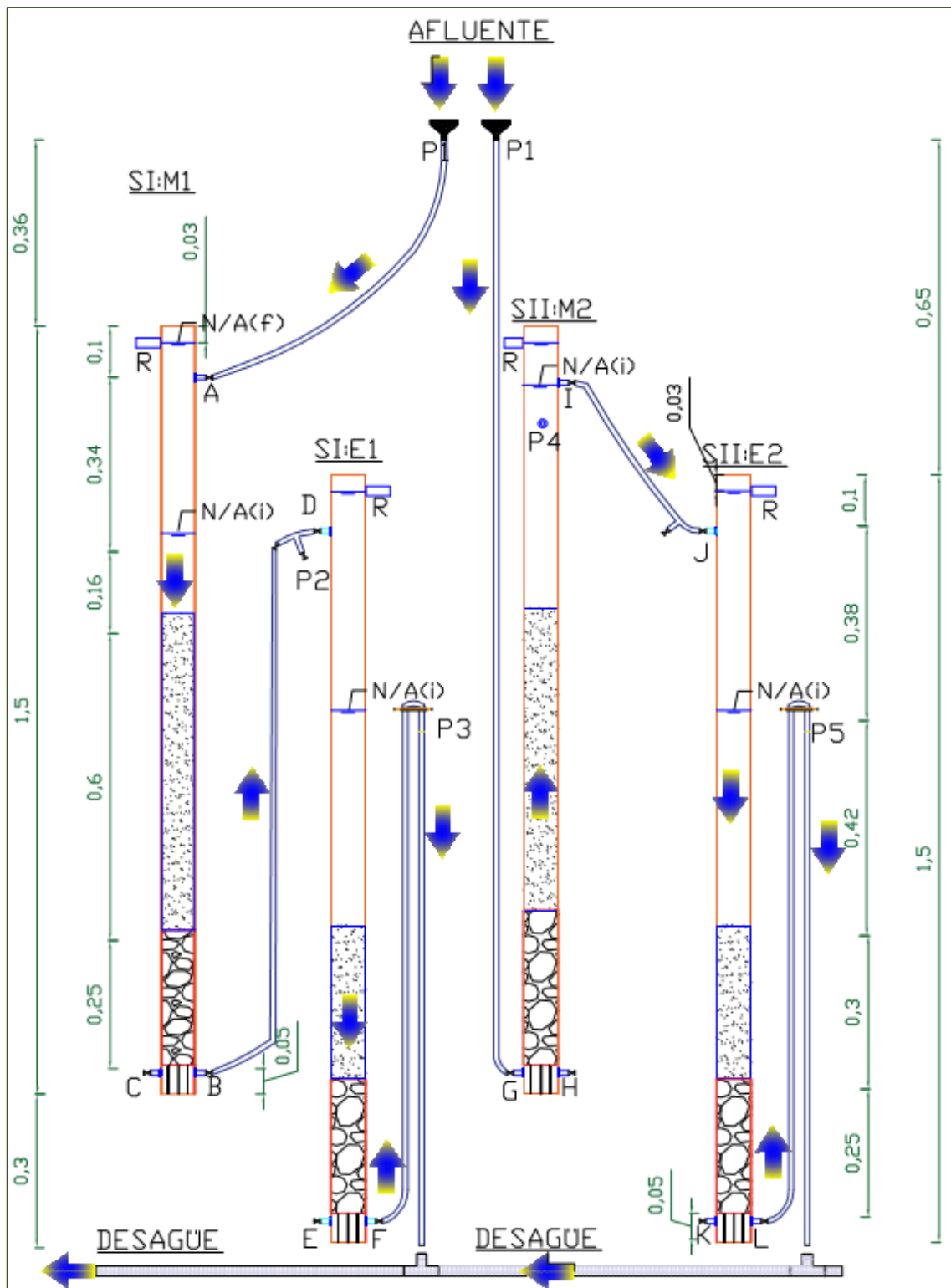


Figura 3: Esquema del sistemas de filtros de arena de: Flujo descendente-descendente (SI-M1 y SI-E1), y el de flujo ascendente-descendente (SII-M2 y SII-E2).
 Nota. P1, P2, P3 (Puntos de muestreo), R: Rebose, N/A (Nivel de agua)

Es importante indicar que, cuando se mandó a preparar los filtros acrílicos, se consideró aberturas circulares de diámetro de 3/8", para el ingreso del afluente, salida del efluente, y lavado del filtro, de acuerdo al antecedente (Rosas Bustamante & Ugaz Saabedra, 2014).

Para la ubicación de la tubería rebose, punto por donde se evacua el agua de lavado, se consideró una la altura necesaria para permitir la expansión durante el contralavado, para lo cual se tomó como referencia la investigación desarrollada por (Rosas Bustamante & Ugaz Saabedra, 2014), teniendo así la una tubería de rebose de diámetro de 3/4", ubicada con un desnivel de 0.04m de la clave inferior de la tubería de salida y lavado, para los filtros considerados en los sistemas de filtración de arena, tal como se muestra en la Figura 3.

1.12.3 Selección del medio filtrante de los sistemas filtros de arena

1.12.3.1 Características granulométricas

Para la selección las características técnicas, tanto en granulometría y profundidad del medio filtrante de los filtros en serie, se tuvo en consideración la recomendación de los antecedentes de filtros de arena utilizados el tratamiento de agua residual. En consideración a ello se procedió a seleccionar la granulometría para el medio filtrante de lecho convencional y reducido, y medio de soporte tal como se detalla en el ANEXO N° 5 y ANEXO N° 6.

1.12.3.2 Características Porosidad

Para determinar la porosidad del medio filtrante utilizado, se utilizó la metodología indicada en (Arboleda Valencia, 1972, págs. 494, 495). El cálculo de la porosidad se detalla en el ANEXO N° 7

De lo detallado anteriormente se ha permitido definir las características técnicas del medio filtrante, indicadas en la siguiente tabla.

Tabla 6: Caracterizas técnicas del medio filtrante

Características Técnicas del Medio Filtrante			
	Lecho Convencional	Lecho Reducido	Medio de Soporte
Coeficiente uniformidad	1.45	1.45	1.28
Tamaño efectivo (mm)	0.65	0.46	4.2
Profundidad (m)	0.6	0.3	0.3
Porosidad (%)	40.3	38.9	-

Fuente: Elaboración Propia

1.12.4 Determinación del tipo afluente y la tasa de filtración a evaluar en los sistemas filtros de arena

Teniendo en consideración las investigaciones desarrolladas en los antecedentes, se hizo la evaluación en los sistemas de filtro descendente- descendente (SI) y sistema de filtro ascendente-descendente (SII), con tres tipos de afluente; siendo el primero el que proviene de la unidades de tratamiento UASB (Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente), UASB Diluido (Mezcla en la relación de 2:1 de agua potable y afluente del tanque UASB) y UASB-Tanque séptico, tal como se muestra en la Tabla 7 y Tabla 8.

Para la definir el tipo de afluente a evaluar a lo largo de la investigación de filtros de arena implementados para la reducción de materia orgánica, se ha considerado, que afluente a utilizar nos brinde carreras de filtración largas y buena reducción de sólidos, este último por facilidades de laboratorio fue medida a partir de la turbidez, teniendo en cuenta que la turbidez es un buen indicador de reducción de partículas pequeñas (Eddy & Metcalf, 2014).

De los resultados mostrados en Tabla 7 y Tabla 8, se verifica que afluente que presenta una mejor composición de agua residual, para obtener carrera de filtración más largas , y mayor porcentaje de reducción de turbidez, es el afluente de un UASB-Tanque séptico, tanto en el sistema I y II.

Tabla 7 : Turbidez y Carrera de filtración del Sistema I

	UASB		UASB-Diluido	UASB-Tanque séptico	
Tasa (m3/m2*día)	95.39	33.39	33.39	19.08	9.54
Turbiedad (UNT)					
Afluente	64.25	59.5±5.56	20.15±4.14	86.5±18.5	66.27±20.54
Efluente 1	36.8	33.35±4.65	8.25±3.76	57.1±27.9	18.07±0.81
Efluente 2	-	46.43±13.3	6.79±3.62	36.4±19.4	18.63±2.40
Reducción (%)	42.72	21.97	66.30	57.92	71.89
Carrera de filtración (días)	1	3	>5	4	>5

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8 : Turbidez y Carrera de filtración del Sistema II

	UASB		UASB-Diluido	Tanque Séptico	
Tasa (m3/m2*día)	95.39	33.39	33.39	19.08	9.54
Turbiedad (UNT)					
Afluente	64.25	59.5±5.56	20.15±4.14	86.5±18.5	66.27±20.54
Efluente 1	54.2	-	7.75±6.08	39.70±8.52	54.07±11.60
Efluente 2	24.3	49.73±2.89	5.08±3.58	33.50±9.08	19.37±2.55
Reducción (%)	62.18	16.41	74.79	61.27	70.77
Carrera de filtración (días)	1	3	>5	4	>5

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la tasa de filtración, se tomó referencia los resultados obtenidos Tabla 7 y Tabla 8, para la calidad de afluente de UASB-Tanque séptico y lo indicado por (Latrach, y otros, 2016, pág. 294) que, “ las altas eficiencias de reducción de materia orgánica se verifican a bajas tasas de carga hidráulica”. Definiendo así las tasas las tasas de filtración a trabajar, tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 9: Tasas de filtración

Caudal		Tasa
ml/min	m3/día	m ³ /(m ² *día)
70	0.101	33.39
40	0.058	19.08
20	0.029	9.54

Fuente: Elaboración propia

1.12.5 Determinación del tiempo de retención hidráulico.

El tiempo de retención hidráulico en los sistemas de filtros de arena en serie, va diferir tanto para al filtro de lecho convencional y reducido, esto debido a la porosidad de ambos medios filtrantes y volumen de agua utilizado para la puesta en funcionamiento de cada filtro.

En ese sentido para determinar el tiempo de retención hidráulico teórico, para las tres tasas de filtración a evaluar, se determina teniendo en cuenta que al inicio de la carrera de filtración el lecho filtrante se encuentra limpio, y el volumen de agua utilizado para la puesta en funcionamiento de cada filtro (ver Figura 4 y Figura 5). Teniendo en cuenta ello se determina el TRH de cada medio involucrado, tal como se en muestra en la siguiente tabla:

Tabla 10: Tiempo de retención hidráulico producido en cada medio involucrado y por tasa de filtración.

MEDIO	Caudal de filtración (m ³ /min)		
	0.00007	0.00004	0.00002
Lecho Convencional	10.43	18.25	36.50
Lecho Reducido	5.03	8.81	17.62
Medio de Soporte	7.01	12.26	24.53
Del Vol. De Agua encima del SI-M1	6.90	12.08	24.15
Del Vol. De Agua encima del SI-E1	18.11	31.70	63.40
Del Vol. De Agua encima del SII-M2	18.98	33.21	66.42
Del Vol. De Agua encima del SII-E2	18.11	31.70	63.40

Es importante indicar que para determinar el tiempo retención hidráulico de cada filtro, se ha considerado el caudal a filtrar, el volumen libre del medio filtrante, el volumen libre de la grava y el volumen de agua utilizado para la puesta en funcionamiento de cada filtro. Permittiéndonos obtener los tiempos de retención hidráulico para cada filtro involucrado.

Tabla 11: tiempo retención hidráulico para filtro involucrado.

Caudal (m ³ /min)	Tiempo de Retención Hidráulico (min)			
	Sistema I		Sistema II	
	SI-M1	SI-E1	SII-M2	SII-E2
0.00007	24.34	30.16	36.41	30.16
0.00004	42.59	52.77	63.73	52.77
0.00002	85.18	105.55	127.45	105.55

1.13 Operación de los filtros de arena

La operación completa de los sistemas de filtración de arena implementados (Sistema I y II), se detalla en base a las etapas de filtración y lavado, tal como se muestra a continuación:

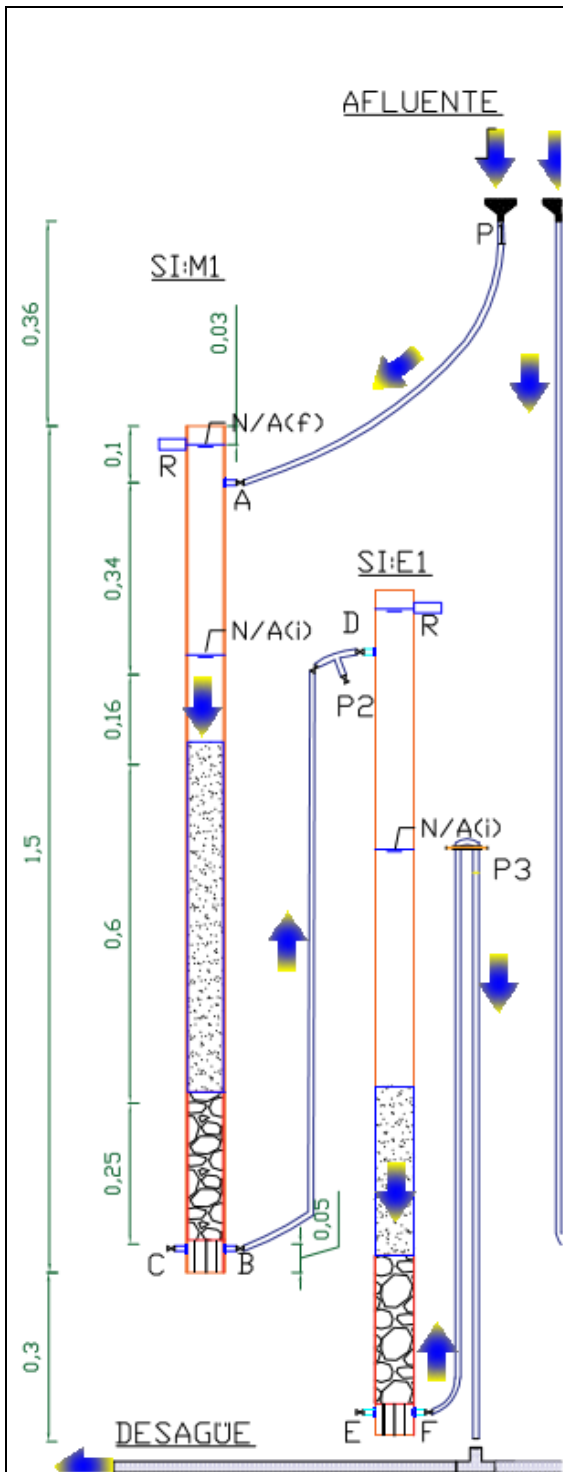


Figura 4 : Operación de Sistema de Filtro de Arena en serie: Filtro de flujo descendente (SI-M1) seguido Filtro de flujo descendente (SI-E1)

Nota. P1, P2, P3 (Puntos de muestreo).

R: Rebose

Secuencia de funcionamiento del Filtro

- Abrir la válvula A: Permite la entrada del afluente.
- Abrir la válvula B: Permite que el afluente fluya a través del filtro (SI-M1).
- Abrir la válvula D: Permite que el efluente del SI-M1 ingrese al SI-E1.
- Abrir válvula F: Permite que el efluente del filtro SI-M1 fluya a través del filtro SI-E1.
- Todas las demás válvulas deben estar cerradas.

Operación de lavado de los Filtros

Para Lavar el SI-M1, se debe:

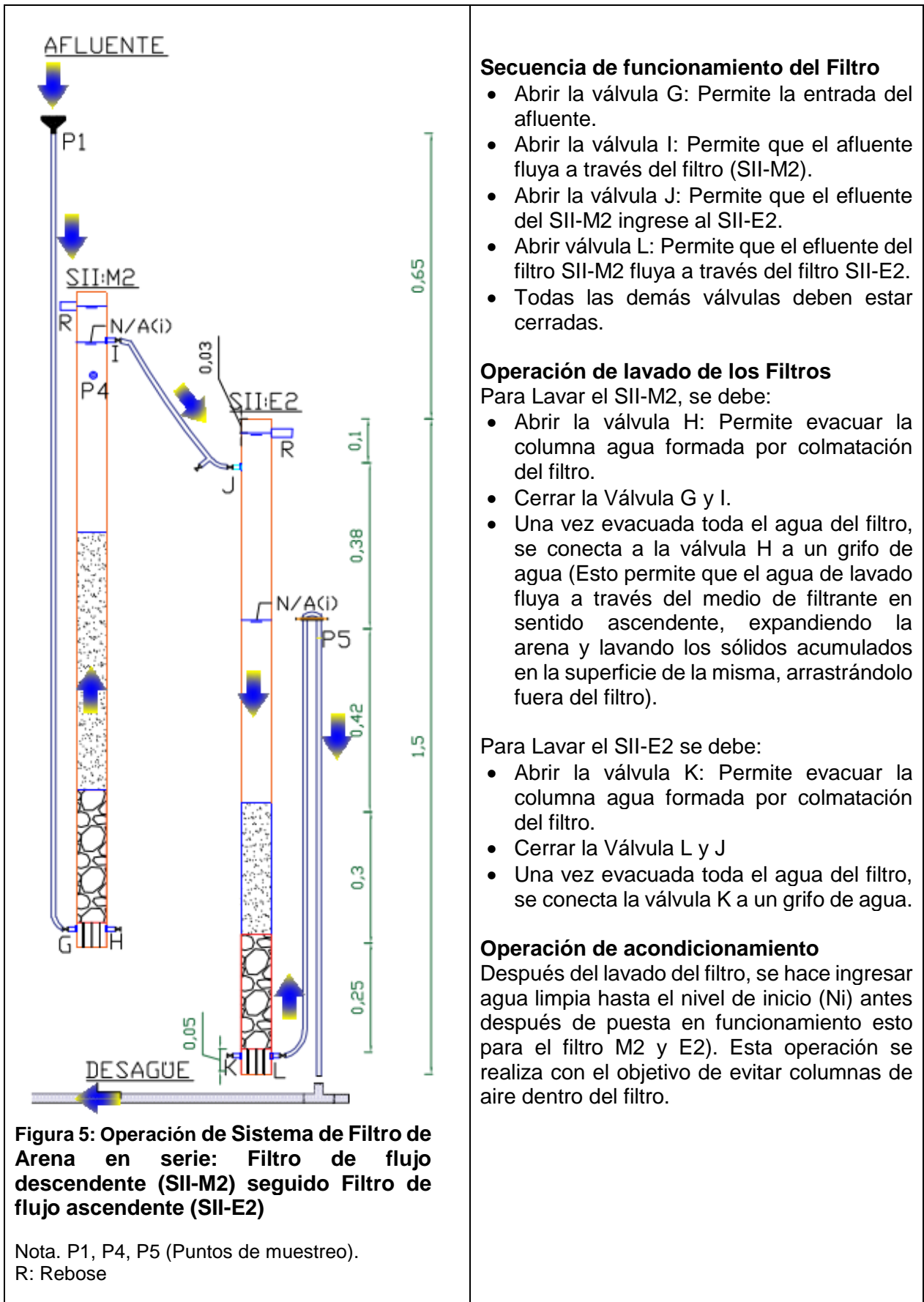
- Abrir la válvula C: Permite evacuar la columna agua formada por colmatación del filtro.
- Cerrar la Válvula A y C.
- Una vez evacuada toda el agua del filtro, se conecta a la válvula C a un grifo de agua (Esto permite que el agua de lavado fluya a través del medio de filtrante en sentido ascendente, expandiendo la arena y lavando los sólidos acumulados en la superficie de la misma, arrastrándolo fuera del filtro).

Para Lavar el SI-E1 se debe:

- Abrir la válvula E: Permite evacuar la columna agua formada por colmatación del filtro.
- Cerrar la Válvula D y F.
- Una vez evacuada toda el agua del filtro, se conecta la válvula D a un grifo de agua.

Operación de acondicionamiento

Después del lavado del filtro, se hace ingresar agua limpia hasta el nivel de inicio (Ni) antes después de puesta en funcionamiento esto para el filtro M1 y E1). Esta operación se realiza con el objetivo de evitar columnas de aire dentro del filtro.



Secuencia de funcionamiento del Filtro

- Abrir la válvula G: Permite la entrada del afluyente.
- Abrir la válvula I: Permite que el afluyente fluya a través del filtro (SII-M2).
- Abrir la válvula J: Permite que el efluente del SII-M2 ingrese al SII-E2.
- Abrir válvula L: Permite que el efluente del filtro SII-M2 fluya a través del filtro SII-E2.
- Todas las demás válvulas deben estar cerradas.

Operación de lavado de los Filtros

Para Lavar el SII-M2, se debe:

- Abrir la válvula H: Permite evacuar la columna agua formada por colmatación del filtro.
- Cerrar la Válvula G y I.
- Una vez evacuada toda el agua del filtro, se conecta a la válvula H a un grifo de agua (Esto permite que el agua de lavado fluya a través del medio de filtrante en sentido ascendente, expandiendo la arena y lavando los sólidos acumulados en la superficie de la misma, arrastrándolo fuera del filtro).

Para Lavar el SII-E2 se debe:

- Abrir la válvula K: Permite evacuar la columna agua formada por colmatación del filtro.
- Cerrar la Válvula L y J
- Una vez evacuada toda el agua del filtro, se conecta la válvula K a un grifo de agua.

Operación de acondicionamiento

Después del lavado del filtro, se hace ingresar agua limpia hasta el nivel de inicio (Ni) antes después de puesta en funcionamiento esto para el filtro M2 y E2). Esta operación se realiza con el objetivo de evitar columnas de aire dentro del filtro.

1.13.1 Sistema de funcionamiento del Filtro

El funcionamiento de los filtros detallados en Figura 4 y Figura 5, fue desarrollada para las tres tasas de filtración 33.39, 19.08 y 9.54m³/m²xdía, para ambos sistemas de filtración de arena (SI y SII).

Según (Eddy & Metcalf, 2014), el final del ciclo del filtrado se alcanza cuando empieza a aumentar el contenido de sólidos en suspensión en el efluente hasta alcanzar un nivel máximo aceptable, o cuando se produce una pérdida de carga prefijada en la circulación a través del lecho filtrante. En la presente investigación la culminación de las carreras de filtración para todos los filtros involucrados en los sistemas de filtración se dio cuando se llegó a aprovechar la máxima carga hidráulica disponible.

1.13.2 Operación de lavado de los filtros de arena

En cuanto culminó la carrera de filtración, los filtros entraron en una fase de regeneración o lavado del filtro. Teniendo como primera actividad el purgado de toda el agua acumulado en los filtros (ello se realizaba generalmente en un intervalo de cinco minutos para cada filtro). Dicha actividad se desarrolló por medio de las válvulas C y E, para los filtros del sistema I; y por la válvula H y K para los filtros del Sistema II (Ver Figura 4, Figura 5). Esta operación se realiza, con la finalidad de reducir, la presión necesaria de agua de grifo a utilizar en la etapa de lavado a contracorriente.

En cuanto se culminó la actividad de purgado, se procedió con el lavado del filtro, durante un intervalo de tiempo de 3 a 4 minutos para cada filtro, con agua de la red pública a una presión que oscilaba entre 4.1 a 7.1mca, reguladas por manómetro. En dicha etapa se utilizó 20 litros de agua para cada filtro involucrado (Ver ANEXO N° 8).

En la eliminación de agua de lavado, se hizo una medición de los sólidos acumulados, por medio de la metodología de sólidos sedimentables, permitiéndonos definir cuál sería la cantidad de sólidos a evacuar por filtro por carrera, mensualmente y anualmente (Ver ANEXO N° 9).

1.13.3 Operación de acondicionamiento de los filtros

La etapa de acondicionamiento de los filtros de arena, consiste en utilizar 20 litros de agua de grifo, para eliminar pequeño sólidos restantes y hasta que el nivel de agua sobre la superficie de arena este estable para dar inicio a su funcionamiento, y de esa manera se evite el ingreso de columnas de aire que aceleran la colmatación del filtro. A partir de entonces la evaluación de filtración comenzó hasta que se agote la carga hidráulica disponible (el máximo nivel de agua que puede alcanzar en el filtro (Ver ANEXO N° 9).

1.14 Parámetros evaluados

Los parámetros evaluados durante el periodo de investigación, a fin de determinar la reducción de la materia orgánica, y verificar el comportamiento de los sistemas de filtros de arena fueron los siguientes:

1.14.1 Condiciones del Ambiente

- Temperatura del ambiente
- Humedad relativa del ambiente (HR).

1.14.2 Afluente y Efluente del Filtro de Arena

- Temperatura del afluente y efluente del filtro.
- Turbidez del afluente y efluente del filtro (UNT).
- PH del afluente y efluente del filtro.
- Demanda Bioquímica de Oxígeno del afluente y efluente del filtro (DBO_5 mg/l).
- Demanda Bioquímica de Oxígeno soluble del afluente y efluente del filtro (DBO_5 Soluble mg/l).
- Sólidos suspendidos totales del afluente y efluente del filtro (SST mg/l).
- Sólido suspendidos volátiles del afluente y efluente del filtro (SSV mg/l).

1.14.3 Carrera de Filtración

- Hasta la colmatación del Filtro

1.14.4 Agua de lavado de filtros de Arena

- Presión de lavado de los filtros de Arena.
- Solidos sedimentables del agua de lavado de los filtros de arena.

1.14.5 Solidos fijos y volátiles en muestra del lecho filtrante.

- Solidos totales del medio filtrante (mg/l).
- Solidos volátiles del medio filtrante (mg/l).

1.15 Frecuencia de monitoreo

La frecuencia de monitoreo se desarrolló de acuerdo a lo detallado en la siguiente tabla.

Tabla 12: Frecuencia de Monitoreo de los Sistemas de Filtros de Arena

Medio	Parámetros evaluados	Frecuencia de Monitoreo
Condiciones Ambientales	Temperatura del ambiente	Diario (2 a 3 veces al día)
	Humedad relativa del ambiente (HR)	Diario (2 a 3 veces al día)
Afluente y Efluente	Temperatura	Diario (2 a 3 veces al día)
	Turbidez	Diario (2 a 3 veces al día)
	PH	Diario (2 a 3 veces al día)
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	2 a 3 veces por semana
	Demanda Bioquímica de Oxígeno soluble	2 a 3 veces por semana
	Solidos suspendidos totales	1 vez a la semana
	Solido suspendidos volátiles	1 vez a la semana
Carrera de Filtración	Periodo de Funcionamiento	De acuerdo a la colmatación del Filtro
Agua de lavado de los filtros	Presión de lavado de los filtros	De acuerdo a la colmatación del Filtro
	Solidos sedimentables del agua de lavado	
Medio filtrante de Arena	Solidos totales	Final de evaluación de los filtros
	Solidos volátiles	

Fuente: Elaboración propia

La medición diaria se desarrolló en las horas de 9am, 12pm y 16pm.

1.16 Procedimiento de los monitoreo

Los procedimientos establecidos para la caracterización de los parámetros fisicoquímicos y componentes orgánicos, se utilizó los métodos establecidos en (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 1992), detallados a continuación:

1.16.1 Condiciones Ambientales.

1.16.1.1 Temperatura y humedad relativa.

Para determinar la temperatura y humedad relativa del ambiente, se utilizó Termómetro Portátil Proskit NT-311.

1.16.2 Afluente y Efluente del Sistema de Filtro de Arena en serie.

1.16.2.1 Temperatura.

Para determinar la temperatura del agua residual, tanto antes del filtrado y después de filtrado, se utilizó un termómetro portátil marca HACH HQ-40d.

1.16.2.2 Turbidez.

La metodología elegida por su precisión, su sensibilidad y su fácil aplicación a un amplio margen de turbiedades, es el método nefelométrico de turbidez (UNT).

La medición de la turbiedad se lleva a cabo mediante un Turbímetro portátil marca HACH 2100Q

1.16.2.3 PH.

La determinación del PH, se realizó con un equipo HACH HQ11d portátil.

1.16.2.4 Demanda bioquímica de oxígeno total.

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), es utilizado como indicador de concentración bruta de materia orgánico mayores a 1.0mg/l (Eddy & Metcalf, 2014, pág. 114) . La determinación de dicho parámetro, está relacionada con la medición de oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica.

❖ Principio

El método consiste en llenar la con muestra, hasta rebosar, un frasco hermético de 300ml, e incubarlo a la temperatura estable (20°C) durante 5 días.

❖ Materiales y Equipos

- Frascos Winkler
- Nutrientes (Cloruro de calcio, Sulfato de Magnesio, Cloruro Ferrico y Solución Buffer)
- Equipo de aireación
- Pipeta de 25 a 50ml
- Incubadora a $20 \pm 1^\circ\text{C}$
- Medidor de oxígeno disuelto con electrodo de agitación.

❖ Procedimiento

- Dejar los frascos Winkler Limpios y secos, de acuerdo al número de puntos a muestrear (Nota: los frascos deben rotularse cuando estan secos.).
- Airear el agua destilada, de acuerdo a la cantidad a utilizar, durante un intervalo de tiempo de 2 horas como mínimo.
- Preparar el agua destilada, con los mismos nutrientes e inhibidor y medir el oxígeno disuelto en día 0.
- Llenar con el agua preparada con nutrientes, hasta la mitad de los frascos Winkler.
- Posteriormente mediante una pipeta de 20 o 50ml, succionar la cantidad necesaria de muestra, e inocular, la cantidad deseada en los frascos, de acuerdo a cada punto.
- Posteriormente llenar con el agua destilada preparada, hasta la mitad de cuello del frasco Winkler.
- Prepara dos blancos de agua dilución preparada sin inculo.
- Al quinto día medir el oxígeno disuelto de las muestras.

❖ Cálculo

$$DBO_5 \left(\frac{mg}{l} \right) = \frac{(D1 - D2) - (B1 - B2)f}{P}$$

Donde:

D1= OD de la muestra diluida inmediatamente después de su preparación, mg/l.

D2= OD de la muestra diluida después de 5 días de incubación a 20°C, mg/l.

P= Fracción volumétrica decimal de la muestra utilizada.

B1= OD de control de simiente antes de la incubación, mg/l.

B2= OD de control de simiente después de la incubación, mg/l.

f= Proporción de la simiente en la muestra diluida con respecto a la del control de simiente= (% de simiente en la muestra diluida) / (%simiente en el control de simiente).

1.16.2.5 Demanda bioquímica de oxígeno soluble.

La demanda bioquímica de oxígeno soluble (DBO₅ Soluble), está relacionada con la medición de oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica filtrada.

❖ Principio

El método consiste en llenar con la muestra filtrada, hasta rebosar, un frasco hermético de 300ml, e incubarlo a la temperatura estable (20°C) durante 5 días.

❖ Materiales y Equipos

Además de los materiales mencionados en el ítem 1.16.2.4, se requiere un:

- Filtro de porosidad de 0.45μm

❖ Procedimiento

El procedimiento a seguir es similar a la DBO₅ (ver Ítem 1.16.2.4), la única diferencia es que se agrega dos procedimiento previo a la inoculación de la muestra, que es la que se detalla a continuación:

- Instalar el sistema de filtrado y el filtro membrana, e iníciase la succión.
- Filtrese un volumen de muestra bien mezclada por el filtro de porosidad de 0.45 μ

1.16.2.6 Sólidos suspendidos totales.

Es la porción de materia obtenida luego de una operación del filtrado del agua residual cruda por un filtro de fibra de vidrio de una micra, y de ser sometido a un proceso de evaporación 103 y 105°C.

❖ Principio del método

Secar la muestra filtrada a una temperatura de 105°C \pm 5°C por un periodo de una hora. La fracción remanente corresponde al contenido de sólidos suspendidos totales y la fracción evaporada, al contenido de agua.

❖ Materiales y Equipos

- Balanza
- Capsula de porcelana
- Filtro de fibra de vidrio de porosidad de 1 micra.
- Estufa para el secado
- Pinzas para capsulas

❖ Procedimiento

Acondicionamiento del crisol y filtro Whatman

- Secar la Capsula y filtro Whatman en el horno a 105° \pm 5°C, durante una hora.
- En caso se mida sólidos volátiles, incinérrese a 550 \pm 50°C, durante una hora más en la mufla.
- Enfriar en desecador para equilibrar la temperatura
- Tarar la Capsula y filtro Whatman esterilizada (Wc+f).

Análisis de Muestra

- Instalar el sistema de filtrado y el filtro e inicie la succión.
- Filtrese un volumen medido de muestra bien mezclada por el filtro de fibra de vidrio.
- Sepárese cuidadosamente el filtro del aparato y trasladase al crisol ubicado en el desecador.
- Séquese la Capsula y filtro Whatman con sólidos en el horno a 105°C, durante una hora.
- Enfríese en el desecador para equilibrar la temperatura.
- Tarra la Capsula y el residuo tras la evaporación a 105°C (W+f a 105°C).

❖ Cálculo

Calcula el contenido de solidos suspendidos totales, expresado en mg/l

$$\text{SST} \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}} \right) = \frac{(\text{Wc} + \text{f a } 105^{\circ}\text{C, g}) - (\text{Wc} + \text{f, g})}{\text{Volumen de la muestra (L)}} \times 1000 \text{mg}$$

1.16.2.7 Solidos suspendidos Volátiles

Es la cantidad de solidos suspendidos totales, que se volatilizan a una temperatura de 550±50°C. A esta temperatura, la fracción orgánica se oxida y desaparece en forma de gas, quedando la forma inorgánica en cenizas. Permittiéndonos obtener Solidos Suspendidos Volátiles y Fijos para hacer referencia, a los componentes orgánicos e inorgánicos.

❖ Principio

El residuo obtenido de los sólidos suspendidos totales se incinera, a temperatura constante de 550±50°C.

❖ Material

Además de los materiales mencionados en el ítem 1.16.2.6, se requiere un:

- La Mufla

❖ Procedimiento

- Introducir a la mufla la capsula con el sólido suspendido total seco a 103-105°C, proveniente de la medición de solidos suspendidos totales.
- Lentamente subir la temperatura a 550°C. Mantener la temperatura durante 1h, y luego disminuir completamente hasta menos de 200°C
- Enfríese en el desecador para equilibrar la temperatura.
- Pesar la Capsula y el residuo tras la combustión a 550°C (W+f a 105°C).

❖ Calculo

Calcula el contenido de solidos suspendidos volátiles, expresado en mg/l

$$SSV \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}} \right) = \frac{(Wc + f \text{ a } 105^{\circ}\text{C}, \text{g}) - (Wc + f \text{ a } 550^{\circ}\text{C}, \text{g})}{\text{Volumen de la muestra (L)}} \times 1000 \text{mg}$$

1.16.3 Solidos generados por el lavado del filtro de arena.

1.16.3.1 Sólidos sedimentables

Es la expresión aplicada al material que se desprende de la suspensión en un periodo determinado.

❖ Materiales y Equipos

- Cono de Imhoff

❖ Procedimiento con el método Volumétrico

- Llenar un cono Imhoff hasta la marca 1-1 con una muestra bien mezclada.
- Dejar sedimentar durante 1 hora.

❖ Cálculo.

- Se determina midiendo los ml de sólidos sedimentables en L.

1.16.4 Sólidos retenidos en el medio filtrante de arena.**1.16.4.1 Sólidos totales de muestra sólida.**

Es la expresión que se aplica a los residuos de material que quedan en un recipiente después de la evaporación de una muestra y su consecutivo secado en estufa a temperatura definida.

- ❖ Principio: Se evapora una muestra correctamente mezclada en una placa pesada y secada a peso constante en el Horno a 103-105°C.

❖ Instrumentos

Se utilizan todos los materiales mencionados en el ítem 1.16.2.6.

❖ Procedimiento

Acondicionamiento del crisol

- Como se va medir sólidos volátiles, se incinera a 103-105°C durante una hora, posteriormente se incinera al crisol limpio a $550 \pm 50^\circ\text{C}$ durante una hora.
- Enfriar en desecador para equilibrar la temperatura
- Tara la Capsula (Pi)

Análisis de Muestra

- Pesar en la capsula con la muestra solida (Po) (25g a 50g de exactitud de muestra solida)
- Colocar en el horno de secado a una temperatura de 103-105°C, hasta una masa constante. Para la mayoría de las muestras, 16 a 24 horas son suficientes para alcanzar una masa constante).
- Retirar de la estufa y enfriar en el desecador.
- Tarar la Capsula y la muestra sólida secada a 105°C (Pf).

❖ Cálculos

Calcular el contenido de sólidos totales presente en el medio filtrante, se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Sólidos totales (\%)} = \frac{P_{f1} - P_o}{P_i - P_o}$$

1.16.4.2 Sólidos Fijos de Muestra sólida

❖ Principio: Se evapora una muestra correctamente mezclada en una placa pesada y secada a peso constante en el Horno a 550°C.

❖ Instrumentos

Se utilizan todos los materiales mencionados en el ítem 1.16.2.7.

❖ Procedimiento

Análisis de Muestra

- Transfiérase la muestra tarada de sólidos totales de la muestra sólida a un horno de mufla fría.
- Caliéntese hasta una temperatura de 550°C e incinérese durante una hora.
- Tarar la Capsula y la muestra sólida secada a 550°C (Pf2).

❖ Cálculos

Calcular el contenido de sólidos fijos presente en el medio filtrante, se calcula se la siguiente forma:

$$\text{Sólidos totales (\%)} = \frac{P_{f1} - P_{f2}}{P_i - P_o}$$

CAPITULO V

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

En el presente capítulo se muestra los resultados obtenidos durante la etapa de investigación de los sistemas de filtros de arena en serie de flujo descendente-descendente (SI) y del sistema de filtro de arena de arena en serie de flujo ascendente- descendente (SII); evaluados desde el mes de agosto del año 2018 hasta el mes de abril del año 2019. Es importante indicar que, el sistema II fue implementado con el objetivo de identificar las variaciones inherentes al sistema de filtro de arena y verificar las mejoras que se pueden producir al cambiar de sentido de flujo.

Para mostrar los registros de los resultados obtenidos, en cuanto a los parámetros fisicoquímicos, se utilizó el análisis estadístico de valores promedio, máximos y mínimos, con la finalidad de garantizar un nivel de confianza de 95% al 99%, de las mediciones realizadas. Esto fue desarrollado teniendo en cuenta las indicaciones de (Romero, 2004, pág. 112) para análisis de resultados.

1.17 Resultados obtenidos durante la selección del afluente a evaluar en los sistemas filtros de arena serie.

Para definir el tipo de afluente a evaluar a lo largo de la investigación en el sistema de filtro de arena en serie, implementado para verificar el porcentaje de reducción de materia orgánica, se ha considerado que el afluente a utilizar brinde carreras de filtración largas y buena reducción de sólidos, esta consideración se realizó teniendo en cuenta los resultados obtenidos en los antecedentes, por lo cual se ha realizado una evaluación, durante los meses de agosto y setiembre para tres tipos de afluente (UASB, UASB diluido, UASB-Tanque séptico). Es importante indicar que, por facilidades de laboratorio, se ha utilizado como indicador de porcentajes de reducción producidas en relación al parámetro de la turbidez; teniendo en cuenta que dicho parámetro se caracteriza por ser un buen indicador de reducción de partículas pequeñas, según lo indicado por (Eddy & Metcalf, 2014).

Tabla 13 : Resultados de la turbidez y carrera de filtración del Sistema de filtro de arena en serie de flujo descendente-descendente (Sistema I).

	UASB		UASB-Diluido	UASB-Tanque séptico	
Tasa (m³/m²x día)	95.39	33.39	33.39	33.39	9.54
Turbiedad (UNT)					
Afluente	64.25	59.5±5.56	20.15±4.14	86.5±18.5	66.27±20.54
Efluente 1	36.8	33.35±4.65	8.25±3.76	57.1±27.9	18.07±0.81
Efluente 2	-	46.43±13.3	6.79±3.62	36.4±19.4	18.63±2.40
Reducción (%)	42.72	21.97	66.30	57.92	71.89
Carrera de filtración (días)	1	2	>5	4	>5

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14 : Resultados de la turbidez y carrera de filtración del Sistema de filtro de arena en serie de flujo ascendente-descendente (Sistema II).

	UASB		UASB-Diluido	UASB-Tanque séptico	
Tasa (m³/m²* día)	95.39	33.39	33.39	33.39	9.54
Turbiedad (UNT)					
Afluente	64.25	59.5±5.56	20.15±4.14	86.5±18.5	66.27±20.54
Efluente 1	54.2	-	7.75±6.08	39.70±8.52	54.07±11.60
Efluente 2	24.3	49.73±2.89	5.08±3.58	33.50±9.08	19.37±2.55
Reducción (%)	62.18	16.41	74.79	61.27	70.77
Carrera de filtración (días)	1	2	>5	4	>5

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 12 se muestra los resultados obtenidos de los porcentajes de reducción de turbidez para el primer filtro (M1) y segundo filtro (E1) del sistema filtro de arena de flujo descendente-descendente (SI), y en la Tabla 14, se muestra los resultados obtenidos de los porcentajes de reducción de turbidez para el primer filtro (M2) y segundo filtro (E2) del sistema de filtro de arena de flujo ascendente-descendente (SII). Asimismo, se muestra los resultados de carreras de filtración para para los tres tipos de afluente utilizado en el sistema SI y SII.

De los resultados mostrados en Tabla 12

Tabla 14, se verifica que, el afluente que presenta una carrera de filtración más larga y mayor porcentaje de reducción de turbidez, para una misma tasa de filtración ($33.9 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{día}$), es afluente del UASB-diluido, con una carrera de filtración mayor a 5 días, y un porcentaje de reducción de turbidez mayor al 70%; sin embargo, dicho afluente se descarta en ser evaluado porque no caracteriza un afluente de agua residual real.

En ese sentido se optó por trabajar con el afluente del UASB-Tanque séptico, con quien se obtuvo carrera de filtración de cuatro días y un porcentaje de reducción de turbidez mayor al 55%, para una tasa de filtración de $33.39 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{día}$, evaluada en ambos sistemas de filtros de arena en serie (SI y SII). Asimismo, se verifico que al disminuir la tasa de filtración la eficiencia reducción de turbidez se incrementó hasta un promedio de 70%, para ambos sistemas de filtros de arena, por lo cual se evaluó la variación en el porcentaje de reducción de materia orgánica para tres tasas de filtración 33.39 , 19.08 y $9.54 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{día}$, en ambos sistemas de filtros de arena en serie (SI y SII).

1.18 Registro de los valores promedio, máximos y mínimos obtenidos para las tres tasas de filtración evaluadas.

El resumen de los registros obtenidos, se muestra mediante la presentación de valores promedio, valores máximos y mínimos, para los parámetros monitoreados tales como: SST, SSV, DBO_5 , DBO_5 particulada, PH, Temperatura, y Turbiedad, para las les tres tasas de filtración de 33.39 , 19.08 y $9.54 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{día}$.

1.18.1 Para una tasa de filtración de 33.39 m³/m²xdía.

Los datos recopilados para los sistemas de filtros de arena serie (SI y SII), para una tasa de filtración de 33.39 m³/m²xdía, se dieron durante los meses de octubre, noviembre y diciembre del año 2018; mostrando a continuación el resumen de los resultados obtenidos.

Los resultados de los valores promedio, máximo y mínimo mostrado en la Tabla 14, en cuanto a los parámetros fisicoquímicos evaluados, para una tasa de filtración de 33.39 m³/m²xdía, indican que, en relación a la calidad de afluente, la variación se mantuvo dentro del rango registrado a lo largo de toda la evaluación de los sistemas de filtro de arena en serie (SI y SII), teniendo así, una concentración mínima y máxima de: 13.73 a 18.00 mg/l de SST, 12.00 a 17.11 mg/l de SSV, 72.65 a 96.25 mg/l de DBO₅, 27.83 a 39.08mg/l de DBO₅ Particulada, y de 19.20 a 74.60 UNT de turbidez. En cuanto al efluente se verifica que la variación de valores máximos y mínimos, se presenta de manera similar para ambos sistemas de filtros de arena (SI y SII).

Tabla 15: Resumen de los valores promedio, máximo y mínimo obtenidos para una tasa de filtración de 33.39 m³/m²xdía.

Sistema	Parámetro	Tipo agua residual											
		Calidad de Afluente				Calidad del efluente (M1)				Calidad del efluente (E1)			
		Prom., (mg/l)	Max., (mg/l)	Min., (mg/l)	D.E	Prom., (mg/l)	Max., (mg/l)	Min., (mg/l)	D.S	Prom., (mg/l)	Max., (mg/l)	Min., (mg/l)	D.S
I	HR (%)	N.D				ND				ND			
	T.A (°C)	24.66	33.00	20.00	2.62	24.66	33.00	20.00	2.62	24.66	33.00	20.00	2.62
	SST	16.52	18.00	13.78	2.38	4.38	5.43	3.00	1.25	3.20	3.90	2.60	0.66
	SSV	15.04	17.11	12.00	2.69	4.38	5.43	3.00	1.25	3.20	3.90	2.60	0.66
	DBO ₅	84.78	96.25	72.65	6.68	75.85	85.62	65.25	7.47	70.13	83.90	59.55	7.68
	DBO ₅ -P	32.84	39.08	27.83	5.02	31.72	37.00	26.44	7.47	24.88	25.82	24.06	0.89
	PH	8.28	8.60	8.05	0.12	8.48	8.85	8.28	0.12	8.52	9.00	8.28	0.17
	T (°C)	23.24	29.50	19.50	2.31	22.83	29.10	19.50	2.25	22.38	29.20	19.10	2.09
	Turb (UNT)	38.13	74.60	19.20	12.39	20.31	33.00	12.50	4.89	17.53	27.50	11.90	3.53
	OD (mg/l)	0.13	0.29	0.04	0.07	0.13	0.25	0.05	0.07	0.13	0.25	0.07	0.07
C.F (días)					2				7				
II	SST	16.52	18.00	13.78	2.38	4.78	8.00	3.00	2.80	3.68	4.30	3.00	0.65
	SSV	15.04	17.11	12.00	2.69	4.74	7.87	2.90	2.73	3.47	3.90	3.00	0.45
	DBO ₅	84.78	96.25	72.65	6.68	78.52	95.05	59.55	9.60	66.67	80.34	47.39	10.50
	DBO ₅ -P	32.84	39.08	27.83	5.02	32.88	36.51	29.24	5.14	22.91	30.16	12.86	7.30
	PH	8.28	8.60	8.05	0.12	8.40	8.78	8.13	0.13	8.54	9.00	8.25	0.18
	T (°C)	23.24	29.50	19.50	2.31	23.32	29.20	19.60	2.31	22.88	28.40	19.70	2.15
	Turb (UNT)	38.13	74.60	19.20	12.39	18.34	27.40	12.80	3.30	17.90	26.40	12.70	3.35
	OD	0.13	0.29	0.04	0.07	0.12	0.20	0.07	0.05	0.11	0.19	0.08	0.04
C.F (días)					7				6				

Fuente: Elaboración propia

Nota: Sistema I (Sistema de filtro de arena de flujo descendente- descendente); Sistema II (sistema de filtro de arena de flujo ascendente- descendente); ND (No determinado); Demanda bioquímica de oxígeno particulado (DBO₅-P)

1.18.2 Para una tasa de filtración de 19.08 m³/m²xdía.

Los datos recopilados para los sistemas de filtros de arena serie (SI y SII), para una tasa de filtración de 19.08 m³/m²xdía, se dieron durante los meses de enero, febrero, marzo del año 2019; mostrando a continuación el resumen de los resultados obtenidos.

Los resultados de los valores promedio, máximo y mínimo mostrado en la Tabla 15, para la tasa de filtración de 19.08 m³/m²xdía, evaluada en el periodo de enero hasta marzo del año 2019, indican que la calidad de afluente presenta una amplitud de variación relativamente alta, respecto a la tasa de filtración de 33.39 m³/m²xdía , para los parámetros de SST, SSV, DBO₅ Total, DBO₅ Particulado y turbidez; teniendo así una concentración mínima y máxima de:17.73 a 30.33mg/l de SST, 17.73 a 25.33mg/l de SSV, 72.84 a 115.66mg/l de DBO₅, 32.66 a 62.79mg/l de DBO₅ Particulada, y de 38.08 a 87.60 UNT de turbidez, esta variación se podría justificar por el cambio de color del agua residual captada en la planta de tratamiento de agua residual de CITRAR durante los meses de febrero y marzo (ANEXO N° 10), que podría influir en la unidad de tratamiento UASB-Tanque Séptico.

Tabla 16: Resumen de los valores promedio, máximo y mínimo obtenidos para una tasa de filtración 19.08 m³/m²xdía.

Sistema	Parámetro	Tipo agua residual											
		Calidad de Afluente				Calidad del efluente (M1)				Calidad del efluente (E1)			
		Prom., (mg/l)	Max., (mg/l)	Min., (mg/l)	D.E	Prom., (mg/l)	Max., (mg/l)	Min., (mg/l)	D.S	Prom., (mg/l)	Max., (mg/l)	Min., (mg/l)	D.S
I	HR (%)	46.86	65.00	31.00	10.16	46.86	65.00	31.00	10.16	46.86	65.00	31.00	10.16
	T.A (°C)	29.44	36.00	23.00	2.75	29.44	36.00	23.00	2.75	29.44	36.00	23.00	2.75
	SST	17.73	30.33	9.33	7.30	6.40	15.11	2.36	3.61	5.13	8.55	1.80	2.90
	SSV	17.73	25.33	2.36	2.90	5.63	7.90	2.36	2.90	4.40	6.50	1.80	2.39
	DBO ₅	72.84	115.66	42.51	20.05	57.66	93.93	27.73	18.04	48.76	81.11	25.89	15.64
	DBO ₅ -P	32.66	62.79	16.92	10.93	24.55	41.58	8.94	8.58	19.97	31.06	7.50	5.90
	PH	8.27	8.69	7.84	0.23	8.45	8.80	8.10	0.19	8.60	8.96	8.24	0.17
	T (°C)	28.67	32.40	24.10	1.98	28.23	31.20	23.40	1.88	27.76	31.10	23.30	1.83
	Turb (UNT)	38.08	87.60	10.80	19.55	13.62	22.60	6.61	3.60	13.37	23.10	7.67	3.83
	OD (mg/l)	0.09	0.12	0.05	0.02	0.09	0.11	0.07	0.02	0.14	0.22	0.07	0.05
C.F (días)					5				8				
II	SST	17.73	30.33	9.33	7.30	5.72	14.00	2.87	1.29	4.33	8.55	1.71	2.55
	SSV	17.73	25.33	2.36	2.90	5.58	14.00	2.87	1.15	4.09	8.36	1.71	2.28
	DBO ₅	72.84	115.66	42.51	20.05	62.42	86.34	38.28	16.11	50.23	82.97	29.17	16.22
	DBO ₅ -P	32.66	62.79	16.92	10.93	26.63	35.16	15.79	7.20	20.51	36.87	8.64	7.48
	PH	8.27	8.69	7.84	0.23	8.44	8.80	8.00	0.20	8.53	9.01	8.02	0.22
	T (°C)	28.67	32.40	24.10	1.98	28.65	31.80	23.80	1.94	28.09	32.30	23.50	2.02
	Turb (UNT)	38.08	87.60	10.80	19.55	17.89	35.40	9.97	6.87	15.25	35.40	7.69	5.35
	OD (mg/l)	0.09	0.12	0.05	0.02	0.19	0.50	0.09	0.16	0.24	0.57	0.11	0.21
C.F (días)					9				8				

Fuente: Elaboración propia

Nota: Sistema I (Sistema de filtro de arena de flujo descendente- descendente); Sistema II (sistema de filtro de arena de flujo ascendente- descendente); ND (No determinado); DBO₅-P Demanda bioquímica de oxígeno particulado

1.18.3 Para una tasa de filtración de 9.54 m³/m²xdía.

Para la tasa de filtración de 9.54 m³/m²xdía, los registros de los datos fueron recopilados durante los meses de marzo a abril del año 2019, para ambos sistemas de filtro de arena en serie (SI y SII).

Los valores máximos y mínimos registrados para una tasa de filtración de 9.54 m³/m²xdía, en los sistemas de filtros de arena en serie (SI y SII), muestran que la variación de la calidad del afluente se presenta de manera similar a la tasa de filtración de 33.39 m³/m²xdía, teniendo así; una concentración mínima y máxima de: 18.00 a 23.43 mg/l de SST, 18.00 a 22.57 mg/l de SSV, 51.44 a 93.00 mg/l de DBO₅, 25.14 a 42.72mg/l de DBO₅ Particulada, y de 18.10 a 41.60 UNT de turbidez. En cuanto al efluente se verifica que la variación de valores máximos y mínimos, se presenta de manera similar para ambos sistemas de filtros de arena (SI y SII).

Tabla 17: Resumen de los valores promedio, máximo y mínimo obtenidos para una tasa de filtración de 9.54 m³/m²xdía.

Sistema	Parámetro	Tipo agua residual											
		Calidad de Afluente				Calidad del efluente (M1)				Calidad del efluente (E1)			
		Prom., (mg/l)	Max., (mg/l)	Min., (mg/l)	D.E	Prom., (mg/l)	Max., (mg/l)	Min., (mg/l)	D.S	Prom., (mg/l)	Max., (mg/l)	Min., (mg/l)	D.S
	HR (%)	51.43	74.00	37.00	10.12	51.43	74.00	37.00	10.12	51.43	74.00	37.00	10.12
	T.A (°C)	28.72	34.00	23.00	2.93	28.72	34.00	23.00	2.93	28.72	34.00	23.00	2.93
I	SST	20.89	23.43	18.00	2.73	3.70	5.71	2.40	1.77	3.80	6.60	2.20	2.43
	SSV	20.02	22.57	18.00	2.33	3.70	5.71	2.40	1.77	2.25	2.30	2.20	0.07
	DBO ₅	74.22	93.00	51.44	15.09	55.89	69.32	39.45	12.19	41.60	56.28	26.32	10.95
	DBO ₅ -P	31.03	42.72	25.14	10.12	27.22	32.03	22.28	4.88	16.30	21.46	9.50	6.15
	PH	8.04	8.21	7.81	0.10	8.23	8.41	8.08	0.08	8.39	8.53	8.12	0.11
	T (°C)	27.93	32.20	23.60	2.24	27.08	30.50	23.40	2.08	26.74	30.30	22.70	1.89
	Turb (UNT)	28.23	41.60	18.10	7.63	11.05	15.90	7.00	2.96	8.80	11.90	5.34	2.15
	OD (mg/l)	0.09	0.12	0.05	0.02	0.09	0.11	0.07	0.02	0.14	0.22	0.07	0.05
	C.F (días)					10				12			
II	SST	20.89	23.43	18.00	2.73	3.73	7.90	1.00	3.67	3.61	9.00	0.27	4.72
	SSV	20.02	22.57	18.00	2.33	3.63	7.60	1.00	3.50	3.41	8.40	0.27	4.37
	DBO ₅	74.22	93.00	51.44	15.09	62.02	78.88	48.25	13.16	42.11	60.23	26.72	11.32
	DBO ₅ -P	31.03	42.72	25.14	10.12	24.00	31.49	16.51	10.59	12.93	16.78	9.28	3.75
	PH	8.04	8.21	7.81	0.10	8.18	8.46	7.97	0.11	8.39	8.57	8.17	0.10
	T (°C)	27.93	32.20	23.60	2.24	27.42	31.20	24.70	1.94	26.45	30.90	22.70	2.08
	Turb (UNT)	28.23	41.60	18.10	7.63	10.51	14.50	6.43	2.42	9.10	12.60	5.27	2.17
	OD (mg/l)	0.09	0.12	0.05	0.02	0.19	0.50	0.09	0.16	0.24	0.57	0.11	0.21
	C.F (días)					16				12			

Fuente: Elaboración propia

Nota: Sistema I (Sistema de filtro de arena de flujo descendente- descendente); Sistema II (sistema de filtro de arena de flujo ascendente- descendente); ND (No determinado); DBO₅-P Demanda bioquímica de oxígeno particulado

1.19 Registro mensual de los parámetros fisicoquímicos, por tasa de filtración.

A continuación, se detalla el registro mensual de los parámetros fisicoquímicos evaluados, en el afluente y efluentes de los sistemas filtros de arena en serie (SI y SII), para las tres tasas de filtración (33.39 , 19.08 y $9.54\text{m}^3/\text{m}^2\text{xdía}$).

1.19.1 PH.

El monitoreo del parámetro físico de PH, fue realizado de 2 a 3 veces al día, durante el periodo de evaluación de los sistemas de los filtros de arena serie (SI y SII); mostrando a continuación mediante una gráfica, el resumen mensual los datos obtenido para las tres de filtración.

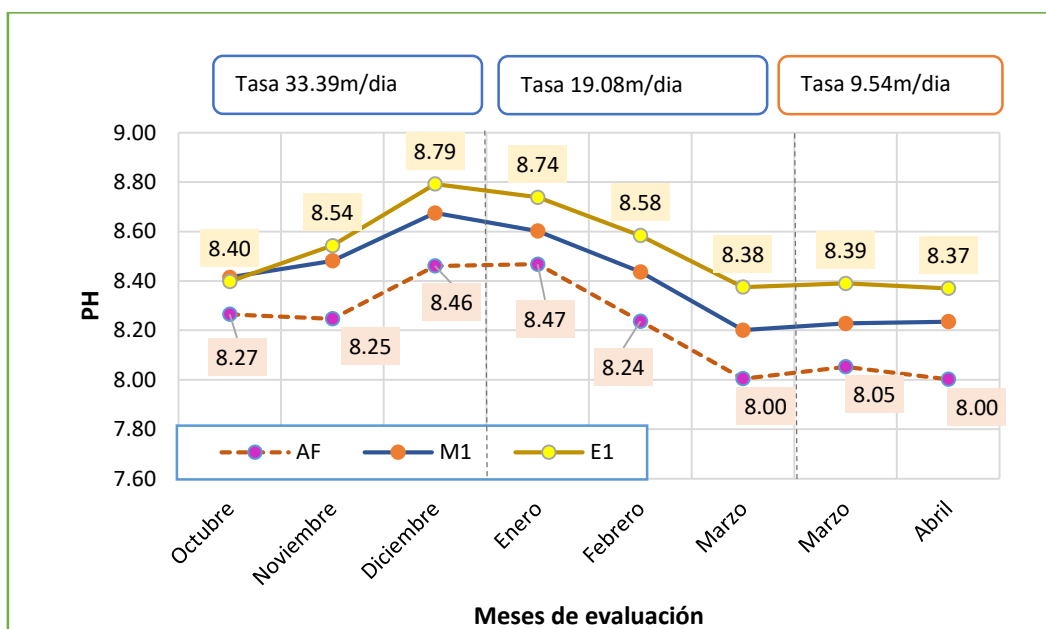


Figura 6: Variación mensual del PH para las tres tasas de filtración en el sistema de filtro de arena en serie de flujo descendente-descendente (Sistema I).

Nota: AF (afluente); M1 (primer filtro de flujo descendente); E1 (segundo filtro de flujo descendente).

La variación mensual mostrado en la Figura 6 para las tres tasas de filtración evaluadas, nos indica que la calidad PH se incrementa a medida que el agua residual recorre por los filtros de arena en serie del sistema I; teniendo así, un PH promedio para el afluente, efluente del primer filtro de flujo descendente (M1), y del segundo filtro de flujo descendente (E1) de: 8.28, 8.48 y 8.52 respectivamente para la tasa de filtración de $33.39\text{ m}^3/\text{m}^2\text{xdía}$; y un promedio de 8.27, 8.45, 8.60 respectivamente para la tasa de filtración de $19.08\text{ m}^3/\text{m}^2\text{xdía}$; y un promedio de 8.04, 8.23, 8.39 respectivamente para la tasa de filtración de $9.54\text{ m}^3/\text{m}^2\text{xdía}$.

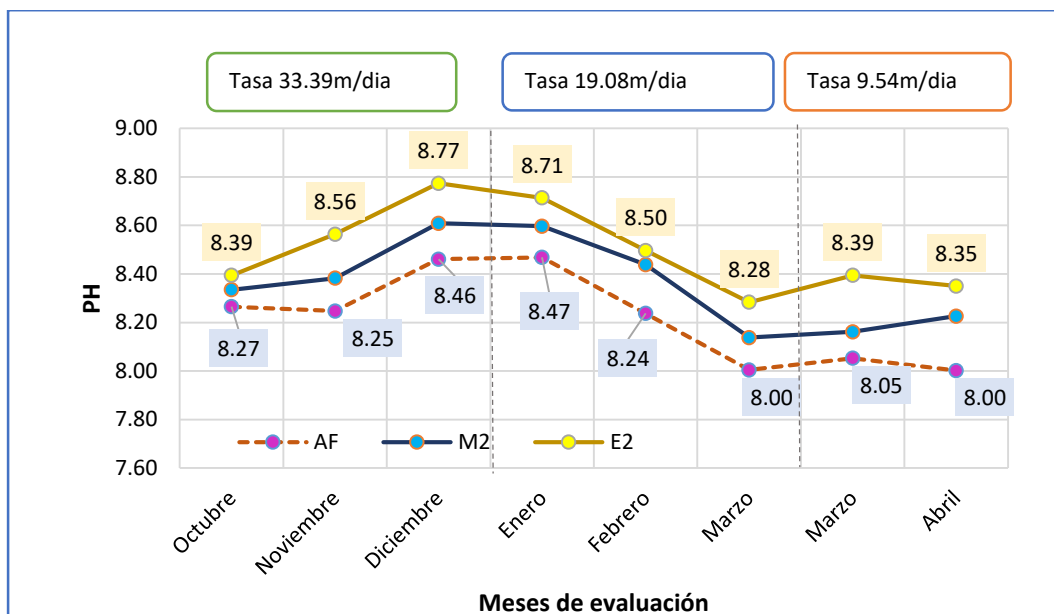


Figura 7: Variación mensual del PH para las tres tasas de filtración, en el sistema de filtro de arena en serie de flujo ascendente-descendente (Sistema II)..

Nota: AF (afluente); M2 (primer filtro de flujo ascendente M2); E2 (segundo filtro de flujo descendente E2).

La variación mensual de PH, mostrada en la Figura 7, para las tres tasas de filtración del sistema de filtro de arena en serie de flujo ascendente-descendente (SII), presenta un comportamiento similar al sistema de filtro de arena en serie de flujo descendente-descendente (SI); es decir el PH se incrementa a medida que agua recorre los filtros de arena; teniendo así, un PH promedio para el afluente, efluente del primer filtro de flujo ascendente (M2), y para el segundo filtro de flujo descendente (E2) de: 8.28, 8.40 y 8.54 respectivamente para la tasa de filtración de $33.39 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{día}$; y un promedio de 8.27, 8.44, 8.53 respectivamente, para la tasa de filtración de $19.08 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{día}$; y un promedio de 8.04, 8.18, 8.39 respectivamente para la tasa de filtración de $9.54 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{día}$.

Este incremento de PH, que se genera cuando el agua residual atraviesa los filtros de arena en serie, tanto para el sistema I y II, se podría justificar, porque el PH del afluente influye en la capacidad de intercambio iónico entre las partículas suspendidas y los granos medio filtrante, teniendo así para un PH superior a 7, un aumento de intercambio de cationes y un disminución de intercambio de aniones sobre las superficies negativas; así mismo, esto se podría contribuir por la oxidación bioquímica de ácidos orgánicos y la destrucción de sales de ácidos inorgánicos producen incrementos de PH, de acuerdo a lo indicado por (Romero, 2004, pág. 67).

1.19.2 Sólidos suspendidos totales.

El monitoreo del parámetro de sólidos suspendidos totales (SST), fue realizado de 1 vez por semana, durante el periodo de evaluación de los sistemas de los filtros de arena serie (SI y SII). Dichos resultados obtenidos son mostrados mediante un resumen mensual de los datos obtenido para las tres de filtración.

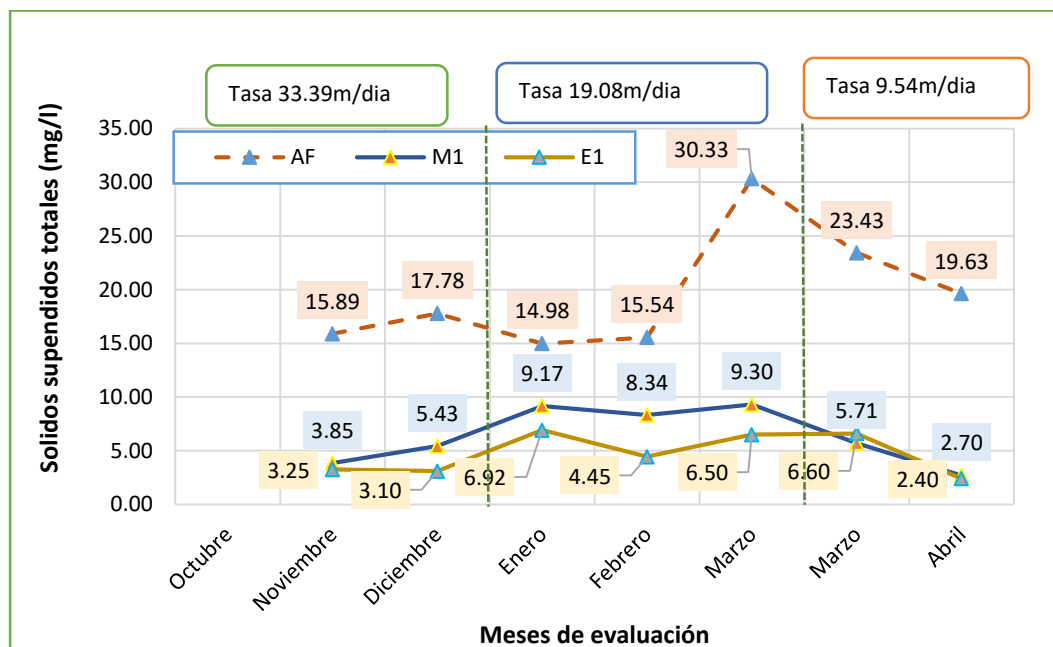


Figura 8: Variación mensual de los SST para las tres tasas de filtración en el sistema de filtro de arena en serie de flujo descendente (Sistema I).

Nota: AF (afluente); M1 (primer filtro de flujo descendente); E1 (segundo filtro de flujo descendente).

La variación mensual para los sólidos suspendidos totales (SST), en el sistema de filtro de arena en serie de flujo descendente-descendente (SI), para las tres tasas de filtración mostrada en la Figura 8, nos muestra que, la concentración de sólidos suspendidos totales disminuye a medida que, el afluente atraviesa los filtros de arena en serie del sistema I; así mismo, se verifica que la variación de la concentración de SST, es mayor en el primer filtro de flujo descendente (M1) que el segundo filtro de flujo descendente (E1), teniendo así, una concentración de SST para el afluente, efluente del primer filtro de flujo descendente (M1), y para el efluente del segundo filtro de flujo descendente (E1) de: 16.52, 4.38 y 3.20 mg/l respectivamente para la tasa de filtración de 33.39 m³/m²xdía; y un promedio de 17.73, 6.40, 5.13mg/l respectivamente, para la tasa de filtración de 19.08 m³/m²xdía; y un promedio de 20.89, 3.70, 3.80 mg/l respectivamente, para la tasa de filtración de 9.54 m³/m²xdía.

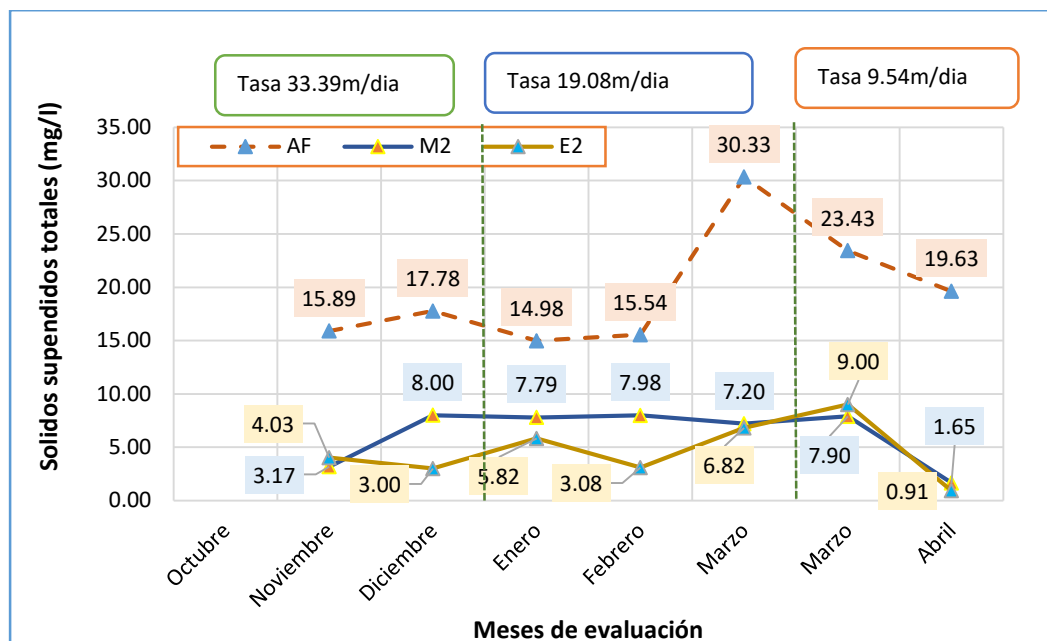


Figura 9: Variación mensual de los SST para las tres tasas de filtración en el sistema de filtro de arena en serie de flujo ascendente-descendente (Sistema II)..
 Nota: AF (afluente); M2 (primer filtro de flujo ascendente M2); E2 (segundo filtro de flujo descendente E2).

La variación mensual de sólidos suspendidos totales (SST) para las tres tasas de filtración, para el sistema de filtro de arena en serie de flujo ascendente-descendente (SII), mostrada en la Figura 9, presenta un comportamiento similar al sistema de filtro de arena en serie de flujo descendente-descendente (SI), es decir la calidad del agua residual disminuye a medida que atraviesa los filtros de arena; así mismo, la reducción de SST generada por el primer filtro de flujo ascendente (M2) es mayor que la reducción de SST producida por el segundo filtro de flujo ascendente (E2), teniendo así, una concentración promedio de SST para el afluente, efluente del primer filtro de flujo ascendente (M2), y para el segundo filtro de flujo descendente (E2) de, 16.52, 4.78 y 3.68mg/l respectivamente para la tasa de filtración de 33.39 m³/m²xdía; y un promedio de 17.73, 5.72, 4.33mg/l respectivamente, para la tasa de filtración de 19.08 m³/m²xdía; y un promedio de 20.89, 3.73, 3.61mg/l respectivamente, para la tasa de filtración de 9.54 m³/m²xdía.

La disminución de SST que se genera cuando el agua residual atraviesa los filtros de arena en serie, tanto para el SI y SII, se podría justificar; para el primer filtro de ambos sistemas, por la porosidad (40.3%); mientras que para el segundo filtro de ambos sistemas, que también genera una disminución de SST, se verifica que no es tan significativa como el primer filtro, esto se podría justificar porque la calidad del afluente que ingresa al segundo filtro presenta baja concentración de SST que

impide que su reducción se genera de manera tan significativa como primer filtro, dado que la porosidad es de 38.3%.

1.19.3 Sólidos suspendidos volátiles.

El monitoreo de parámetro de sólidos suspendidos volátiles (SSV), fue realizado de 1 vez por semana, durante el periodo de evaluación de los sistemas de los filtros de arena serie (SI y SII); mostrando a continuación mediante una gráfica, el resumen mensual de los datos obtenidos para las tres de filtración.

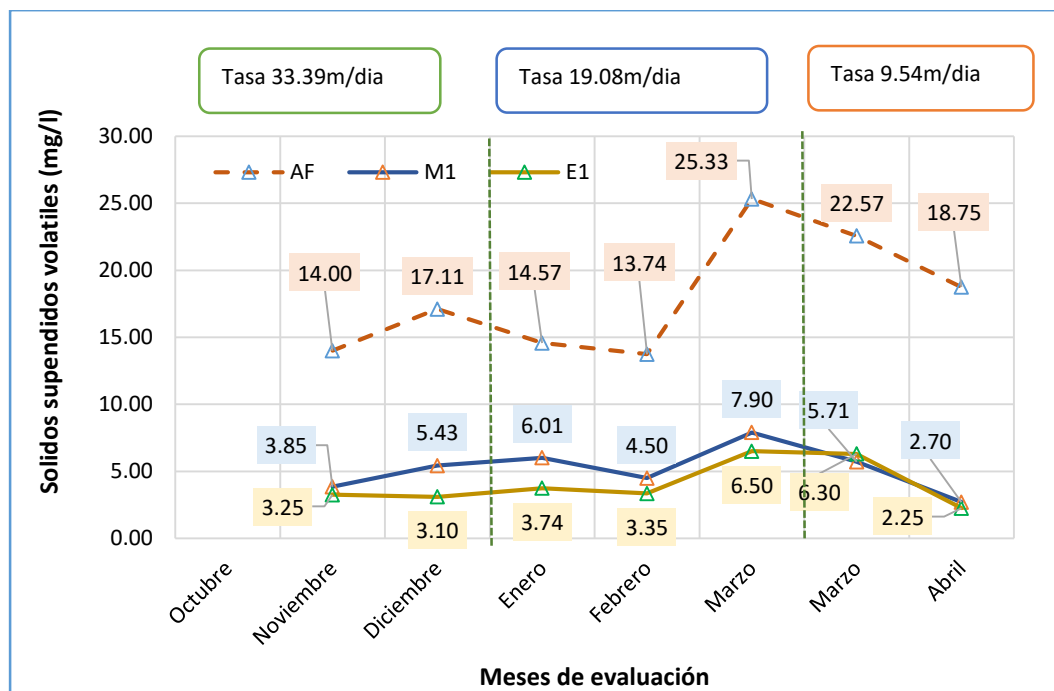


Figura 10: Variación mensual de los SSV para las tres tasas de filtración en el sistema de filtro de arena en serie de flujo descendente-descendente (Sistema I).
Nota: AF (afluente); M1 (primer filtro de flujo descendente); E1 (segundo filtro de flujo descendente).

La variación mensual para los sólidos suspendidos volátiles (SSV), en el sistema de filtro de arena en serie de flujo descendente-descendente (SI), para las tres tasas de filtración mostrada en la Figura 10, nos muestra que, la concentración de sólidos suspendidos volátiles disminuye a medida que el afluente atraviesa los filtros de arena en serie del SI; así mismo, se verifica que la variación de la concentración de SSV, es mayor en el primer filtro de flujo descendente (M1) que el segundo filtro de flujo descendente (E1), teniendo así, una concentración promedio de SSV para el afluente, efluente del primer filtro de flujo descendente (M1), y para el segundo filtro de flujo descendente (E1) de 15.04, 4.38 y 3.20 mg/l, respectivamente para la tasa de filtración de 33.39 m³/m²·día; y un promedio de 17.73, 5.63 y 4.40 mg/l respectivamente, para la tasa de filtración de 19.08

m³/m²xdía; y un promedio de 20.02, 3.70, 2.25mg/l respectivamente, para la tasa de filtración de 9.54 m³/m²xdía.

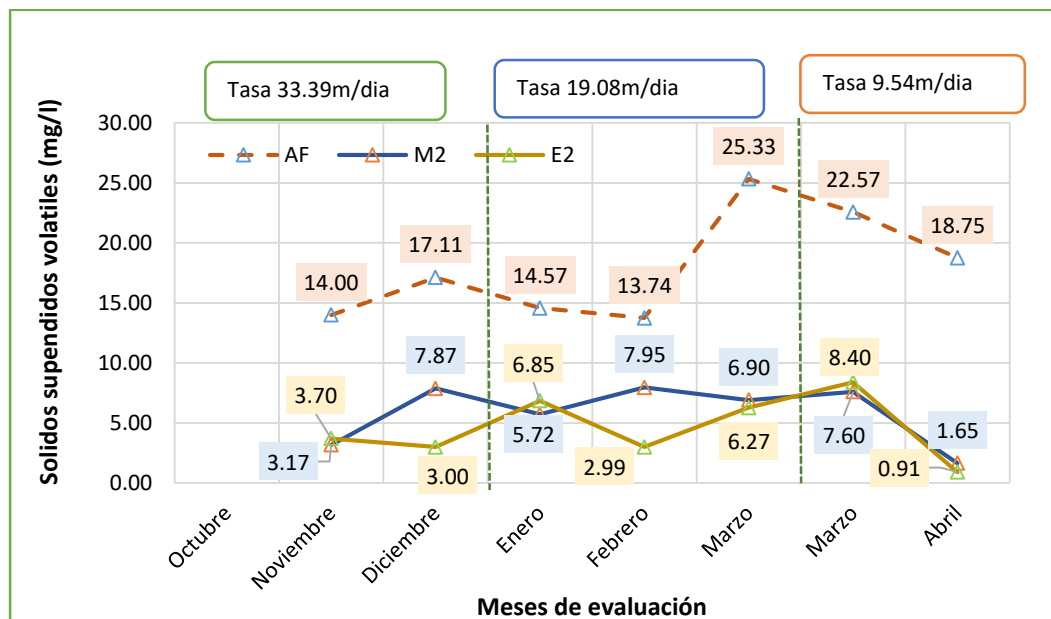


Figura 11: Variación mensual de los SSV para las tres tasas de filtración en el sistema de filtro de arena en serie de flujo ascendente-descendente (Sistema II)..

Nota: AF (afluente); M2 (primer filtro de flujo ascendente M2); E2 (segundo filtro de flujo descendente E2).

La variación mensual de solidos suspendidos volátiles (SSV) para las tres tasas de filtración, para el sistema de filtro de arena en serie de flujo ascendente-descendente (SII), mostrada en la Figura 11, presenta un comportamiento similar al sistema de filtro de arena en serie de flujo descendente-descendente (SI), es decir la calidad del agua residual disminuye a medida que atraviesa los filtros de arena; así mismo, la reducción de SSV generada por el primer filtro de flujo ascendente (M2) es mayor que la reducción de SSV producida por el segundo filtro de flujo descendente (E2). Teniendo así, una concentración promedio de SSV para el afluente, efluente del primer filtro de flujo ascendente (M2), y para el segundo filtro de flujo descendente (E2) de, 15.04, 4.74 y 3.47mg/l respectivamente para la tasa de filtración de 33.39 m³/m²xdía; y un promedio de 17.73, 5.58 y 4.09mg/l respectivamente, para la tasa de filtración de 19.08 m³/m²xdía; y un promedio de 20.02, 3.63, 3.41mg/l respectivamente, para la tasa de filtración de 9.54 m³/m²xdía.

Esta disminución de SSV que se genera cuando el agua residual atraviesa los filtros de arena en serie, tanto en el SI y SII, se podría justificar; para el primer filtro de ambos sistemas, por el mecanismo de retención y la oxidación bioquímica de compuestos orgánicos, por el tamaño efectivo del medio filtrante(0.65 mm); y para

el segundo filtro de ambos sistemas que también genera una disminución de SSV, pero de una manera no tan significativa como el primer filtro, se podría justificar por la porosidad similar al primer filtro y porque la oxidación bioquímica no se presenta de manera significativa por el bajo suministro de sustrato, a pesar de presentar un mayor área de contacto por el tamaño efectivo del medio filtrante de 0.45mm.

1.19.4 Turbiedad.

El monitoreo del parámetro de la turbiedad, fue realizado de 2 a 3 veces al día, durante el periodo de evaluación de los sistemas de los filtros de arena serie (SI y SII), mostrando a continuación mediante una gráfica, el resumen mensual los datos obtenidos para las tres de filtración.

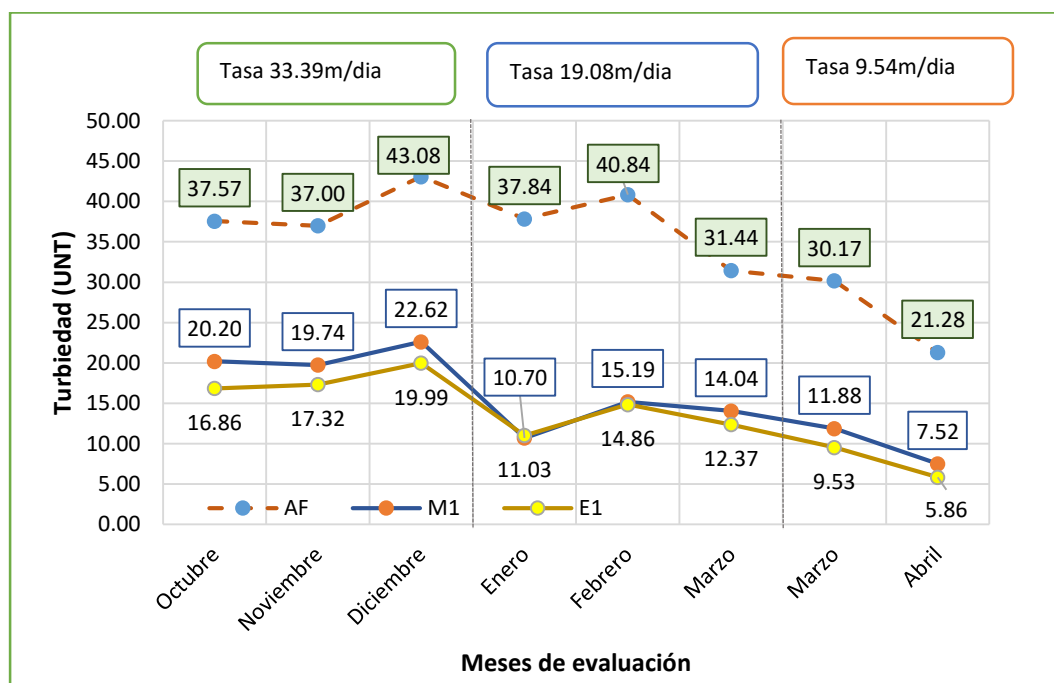


Figura 12: Variación mensual de la turbiedad para las tres tasas de filtración en el sistema de filtro de arena en serie de flujo descendente-descendente (Sistema I).
Nota: AF (afluente); M1 (primer filtro de flujo descendente); E1 (segundo filtro de flujo descendente).

La variación mensual de la turbiedad, en el sistema de filtro de arena en serie de flujo descendente-descendente (SI), para las tres tasas de filtración mostrada en la Figura 12, nos indica que, la turbiedad disminuye a medida que el afluente atraviesa los filtros de arena en serie del SI; así mismo, se verifica que la variación de la turbiedad generada por el primer filtro de flujo descendente (M1) es mayor que el segundo filtro de flujo descendente (E1), teniendo así, una turbiedad promedio para el afluente, efluente del primer filtro de flujo descendente (M1), y efluente del segundo filtro de flujo descendente (E1) de: 38.13, 20.31 y 17.53UNT

respectivamente para la tasa de filtración de $33.39 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{día}$; y un promedio de 38.08, 13.62, 13.37UNT respectivamente, para la tasa de filtración de $19.08 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{día}$; y un promedio de 28.23, 11.05, 8.80UNT respectivamente, para la tasa de filtración de $9.54 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{día}$.

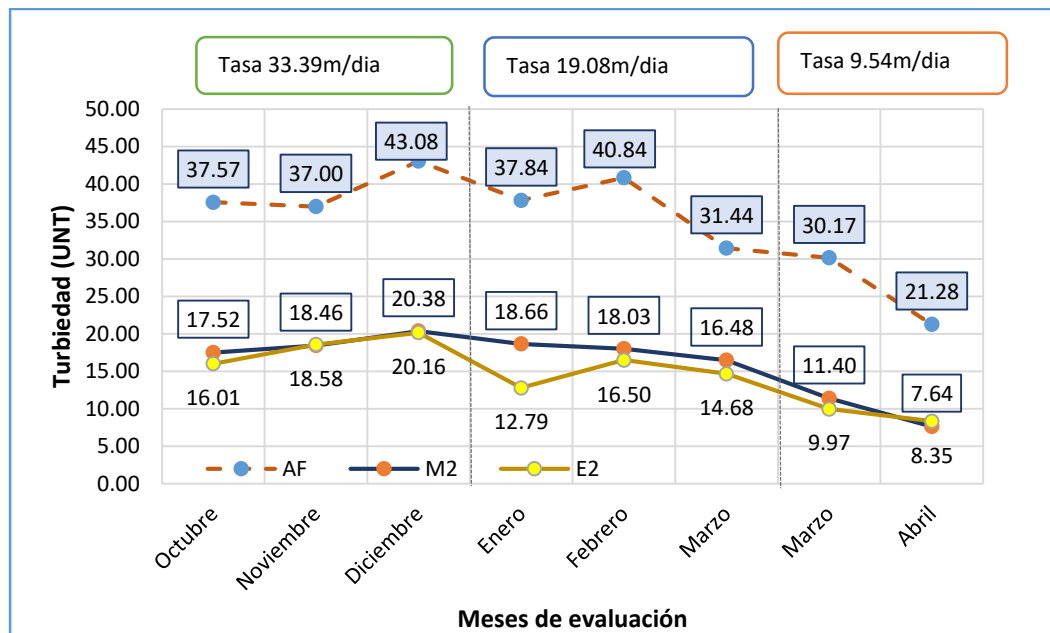


Figura 13: Variación mensual de la turbiedad para las tres tasas de filtración en el sistema de filtro de arena en serie de flujo ascendente-descendente (Sistema II).
 Nota: AF (afluente); M2 (primer filtro de flujo ascendente M2); E2 (segundo filtro de flujo descendente E2).

La variación mensual de la turbiedad para las tres tasas de filtración, para el sistema de filtro de arena en serie de flujo ascendente-descendente (SII), mostrada en la Figura 13, presenta un comportamiento similar al sistema de filtro de arena en serie de flujo descendente-descendente (SI), es decir la calidad del agua residual disminuye a medida que atraviesa los filtros de arena; así mismo, la reducción de turbiedad generada por el primer filtro de flujo ascendente (M2) es mayor que la reducción de turbiedad producida por el segundo filtro de flujo descendente (E2), teniendo así, una turbiedad promedio para el afluente, efluente del primer filtro de flujo ascendente (M2), y para el segundo filtro de flujo descendente (E2) de, 38.13, 18.34 y 17.90UNT, respectivamente, para la tasa de filtración de $33.39 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{día}$; y un promedio de 38.08, 17.89, 15.25UNT, respectivamente, para la tasa de filtración de $19.08 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{día}$; y un promedio de 28.23, 10.51, 9.10UNT, respectivamente, para la tasa de filtración de $9.54 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{día}$.

Esta disminución de turbiedad que se genera cuando el agua residual atraviesa los filtros de arena en serie, tanto para el SI y SII, se podría justificar para el primer por la porosidad (40.3%), por la oxidación bioquímica; mientras que para el segundo filtro de ambos sistemas, que también se genera una disminución de turbiedad, se verifica que no es tan significativa como el primer filtro, esto se podría justificar porque la calidad del afluente que ingresa al segundo filtro no presenta una concentración tan alta de partículas en suspensión que sean fáciles de degradar mediante un proceso físico o químico, a pesar que el tamaño efectivo del segundo filtro sea de 0.45mm.

1.19.5 Temperatura.

El monitoreo del parámetro de la temperatura, fue realizado de 2 a 3 veces al día, durante el periodo de evaluación de los sistemas de los filtros de arena serie (Sistema I y II); mostrando a continuación mediante una gráfica el resumen mensual los datos obtenidos para las tres de filtración.

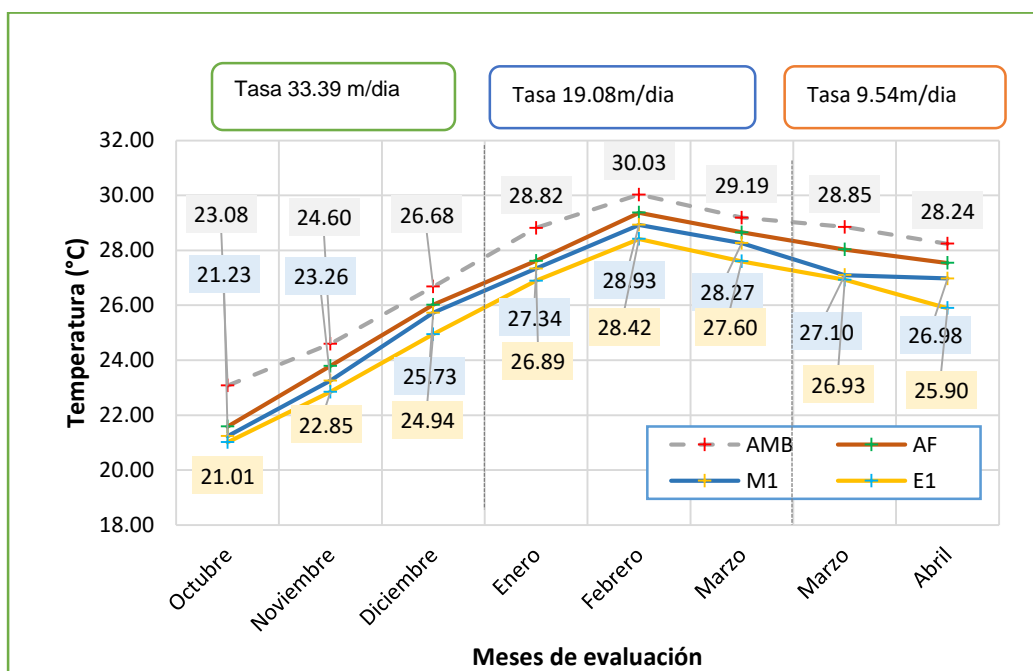


Figura 14: Variación mensual de la temperatura para las tres tasas de filtración en el sistema de filtro de arena en serie de flujo descendente-descendente (Sistema I).

Nota: AF (afluente); M1 (primer filtro de flujo descendente); E1 (segundo filtro de flujo descendente).

La variación mensual de la temperatura, en el sistema de filtro de arena en serie de flujo descendente-descendente (SI), para las tres tasas de filtración mostrada en la Figura 14, nos muestra que la temperatura del afluente de agua residual, se encuentra por debajo de la tempera ambiental; así se verifica que, temperatura disminuye a medida que, el afluente atraviesa los filtros de arena en serie del SI; teniendo así, una temperatura promedio del ambiente, del afluente, efluente del primer filtro de flujo descendente (M1), y para el efluente del segundo filtro de flujo descendente (E1) de, 24.66, 23.24, 22.83 y 22.38°C respectivamente para la tasa de filtración de 33.39 m³/m²xdía; y un promedio de 29.44, 28.67, 28.65, 28.09°C respectivamente, para la tasa de filtración de 19.08 m³/m²xdía; y un promedio de 28.72, 27.93, 27.08, 26.74°C respectivamente, para la tasa de filtración de 9.54 m³/m²xdía.

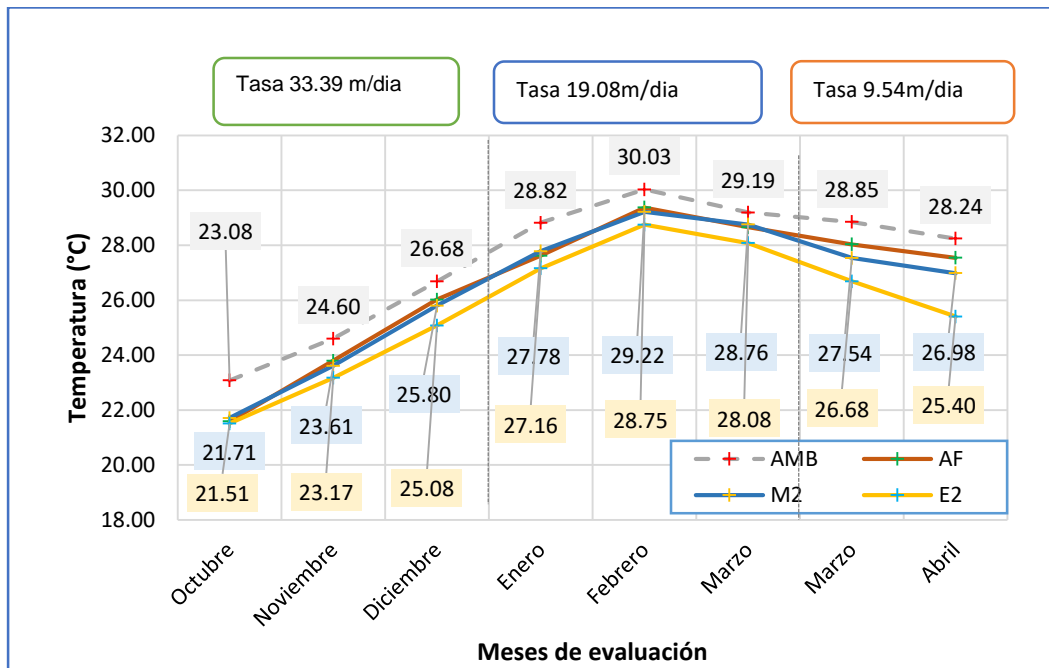


Figura 15: Variación mensual de la temperatura para las tres tasas de filtración en el sistema de filtro de arena en serie de flujo ascendente-descendente (Sistema II)..
 Nota: AF (afluente); M2 (primer filtro de flujo ascendente M2); E2 (segundo filtro de flujo descendente E2).

La variación mensual de la temperatura para las tres tasas de filtración, para el sistema de filtro de arena en serie de flujo ascendente-descendente (SII), mostrada en la Figura 15, presenta un comportamiento similar al sistema de filtro de arena en serie de flujo descendente-descendente (SI), es decir la temperatura ambiente se encuentra por encima de la temperatura afluente, y disminuye a medida que atraviesa los filtros de arena; así mismo, se verifica que la disminución de la temperatura generada por el primer filtro de flujo ascendente (M2) no es tan significativa como la variación de temperatura producida por el segundo filtro de flujo descendente (E2); teniendo así, una temperatura promedio del ambiente, el afluente, efluente del primer filtro de flujo ascendente (M2), y para el segundo filtro de flujo descendente (E2) de, 24,66, 23.24, 23.32 y 22.88°C respectivamente para la tasa de filtración de 33.39 m³/m²xdía; y un promedio de 29.44, 28.67, 28.65, 28.09°C respectivamente, para la tasa de filtración de 19.08 m³/m²xdía; y un promedio de 28.72, 27.93, 27.42, 26.45°C respectivamente, para la tasa de filtración de 9.54 m³/m²xdía.

La variación de la temperatura del agua residual, respecto de la temperatura ambiental en ambos sistemas de filtros de arena en serie (SI y SII), se puede justificar por las variaciones de las condiciones ambientales del lugar.

En cuanto a la disminución de temperatura del efluente de los sistemas de filtro de arena en serie (SI y SII), se podría justificar porque el intercambio iónico producido entre las partículas suspendidas del agua residual y el medio filtrante, genera un proceso endotérmico. Por otro lado, se tiene que, el primer filtro de flujo descendente del sistema I (M1) presenta una mayor variación que, el primer filtro de flujo ascendente del sistema II (M2), esta diferencia se podría justificar porque el sentido de flujo del filtro M1, va en sentido decreciente al tamaño granulométrico, permitiendo así una mayor área de contacto entre las partículas y el medio filtrante, y con ello mayor intercambio iónico que favorece una disminución de temperatura más pronunciada.

1.19.6 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

El monitoreo del parámetro de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅=DBO₅ Soluble+DBO₅ Particulada), fue realizado de 2 a 3 veces por semana, durante el periodo de evaluación de los sistemas de los filtros de arena serie (Sistema I y II); mostrando a continuación mediante una gráfica, el resumen mensual los datos obtenidos para las tres de filtración.

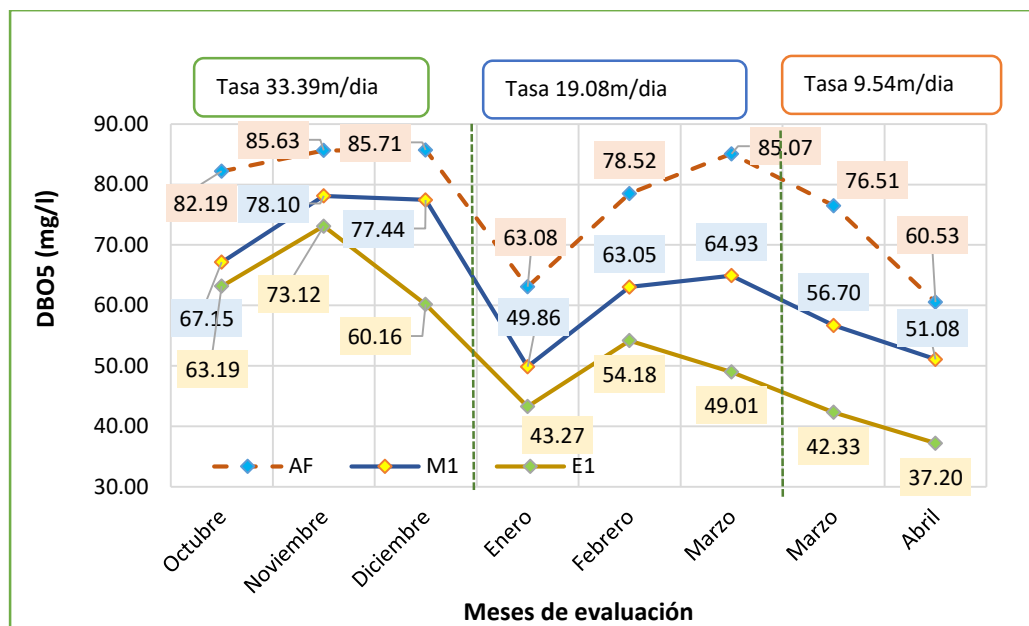


Figura 16: Variación mensual de la DBO₅ para las tres tasas de filtración en el sistema de filtro de arena en serie de flujo descendente-descendente (Sistema I).
 Nota: AF (afluente); M1 (primer filtro de flujo descendente); E1 (segundo filtro de flujo descendente).

La variación mensual de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), en el sistema de filtro de arena en serie de flujo descendente-descendente (SI), para las tres tasas de filtración mostrada en la Figura 16, nos muestra que, la concentración de la DBO₅ disminuye a medida que el afluente atraviesa los filtros de arena en serie del sistema I, teniendo así, una DBO₅ promedio para el afluente, efluente del primer filtro de flujo descendente (M1), y para el segundo filtro de flujo descendente (E1) de, 84.78, 75.85 y 70.13mg/l respectivamente para la tasa de filtración de 33.39 m³/m²xdía; y un promedio de 72.84, 57.66, 48.76 mg/l respectivamente, para la tasa de filtración de 19.08 m³/m²xdía; y un promedio de 74.22, 55.89, 41.60 mg/l respectivamente, para la tasa de filtración de 9.54 m³/m²xdía.

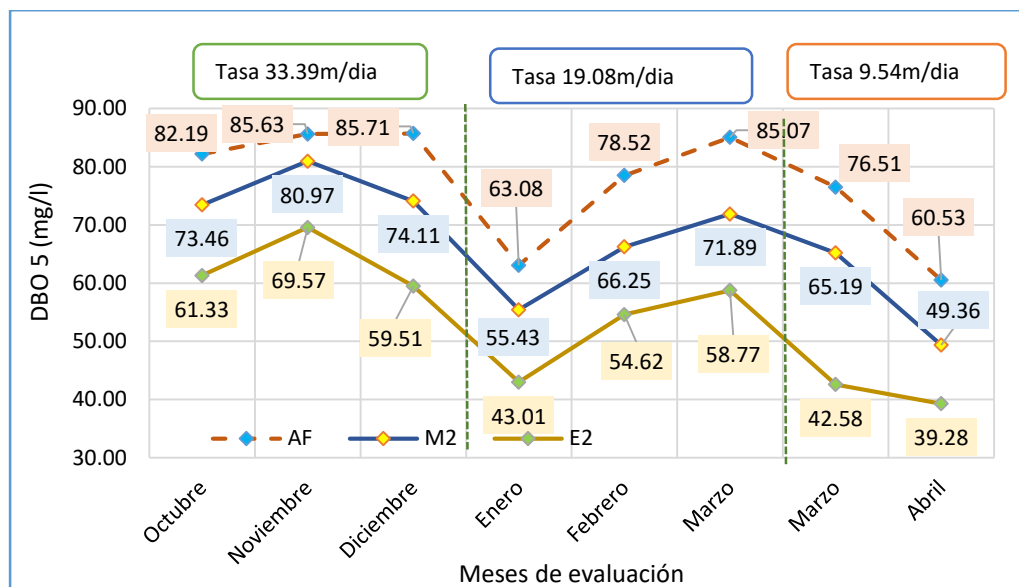


Figura 17: Variación mensual de la DBO₅ para las tres tasas de filtración en el sistema de filtro de arena en serie de flujo ascendente-descendente (Sistema II).

Nota: AF (afluyente); M2 (primer filtro de flujo ascendente M2); E2 (segundo filtro de flujo descendente E2).

La variación mensual de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) para las tres tasas de filtración, para el sistema de filtro de arena en serie de flujo ascendente-descendente (Sistema II), mostrada en la Figura 17, presenta un comportamiento similar al sistema de filtro de arena en serie de flujo descendente-descendente (SI), es decir la concentración de la DBO₅, disminuye a medida que atraviesa los filtros de arena; teniendo así, una DBO₅ promedio para el afluyente, efluente del primer filtro de flujo ascendente (M2), y para el segundo filtro de flujo descendente (E2) de, 84.78, 72.84 y 74.22 mg/l respectivamente para la tasa de filtración de 33.39 m³/m²xdía; y un promedio de 78.52, 62.42, 65.02 mg/l respectivamente, para la tasa de filtración de 19.08 m³/m²xdía; y un promedio de 66.67, 50.23, 42.11 mg/l respectivamente, para la tasa de filtración de 9.54 m³/m²xdía.

Esta variación generada de reducción de DBO₅, de manera similar en el primer y segundo filtro del sistema I y II, se podría justificar por la variación de PH generada en el efluente, producto de la oxidación bioquímica y el intercambio iónico generado en los filtros de arena.

1.19.7 Demanda bioquímica de oxígeno particulada.

El monitoreo del parámetro de la demanda bioquímica de oxígeno particulada (DBO_5 particulada), fue realizado de 2 a 3 veces por semana, durante el periodo de evaluación de los sistemas de los filtros de arena serie (SI y SII); mostrando a continuación mediante una gráfica, el resumen mensual los datos obtenidos para las tres de filtración.

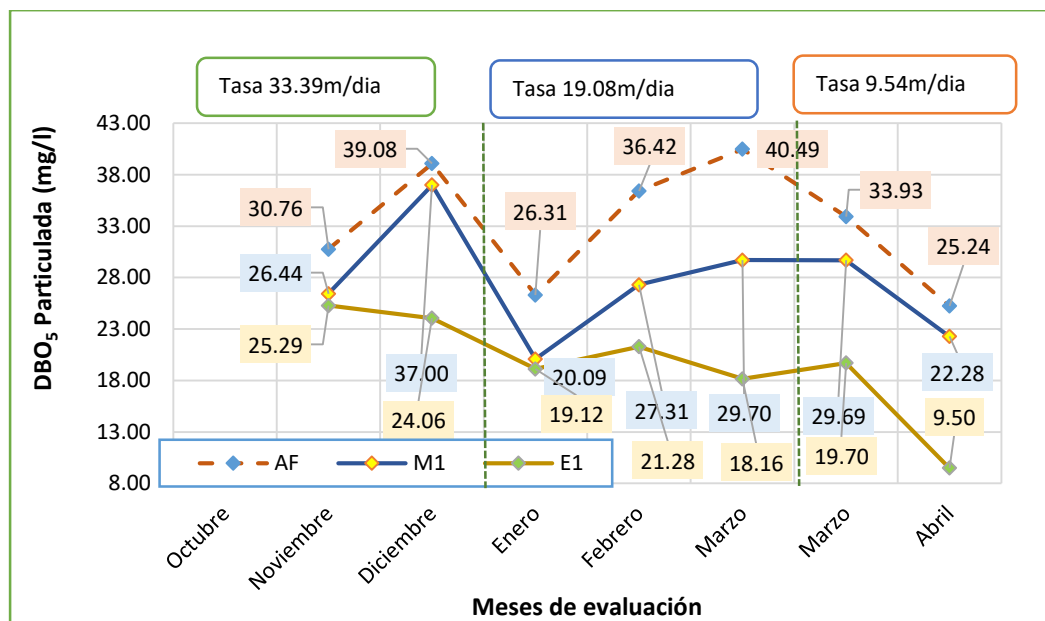


Figura 18: Variación mensual de la DBO_5 Particulada para las tres tasas de filtración en el sistema de filtro de arena en serie de flujo descendente (Sistema I).

Nota: AF (afluente); M1 (primer filtro de flujo descendente); E1 (segundo filtro de flujo descendente).

La variación mensual de la demanda bioquímica de oxígeno particulada (DBO_5 -P), en el sistema de filtro de arena en serie de flujo descendente-descendente (SI), para las tres tasas de filtración, mostrada en la Figura 18, nos indica que, la concentración de DBO_5 -P disminuye a medida que el afluente atraviesa los filtros de arena en serie del sistema I; así mismo, se verifica que la variación de la concentración de DBO_5 -P, es mayor en el segundo filtro de flujo descendente (E1) que en el primer filtro de flujo descendente (E1), teniendo una DBO_5 -P promedio para el afluente, efluente del primer filtro de flujo descendente (M1), y para el segundo filtro de flujo descendente (E1) de 32.84, 31.72 y 24.88mg/l respectivamente para la tasa de filtración de 33.39 $m^3/m^2 \times día$; y un promedio de 32.66, 24.55 y 19.97mg/l respectivamente, para la tasa de filtración de 19.08

$\text{m}^3/\text{m}^2\text{día}$; y un promedio de 31.03, 27.22, 16.30 mg/l respectivamente, para la tasa de filtración de 9.54 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{día}$.

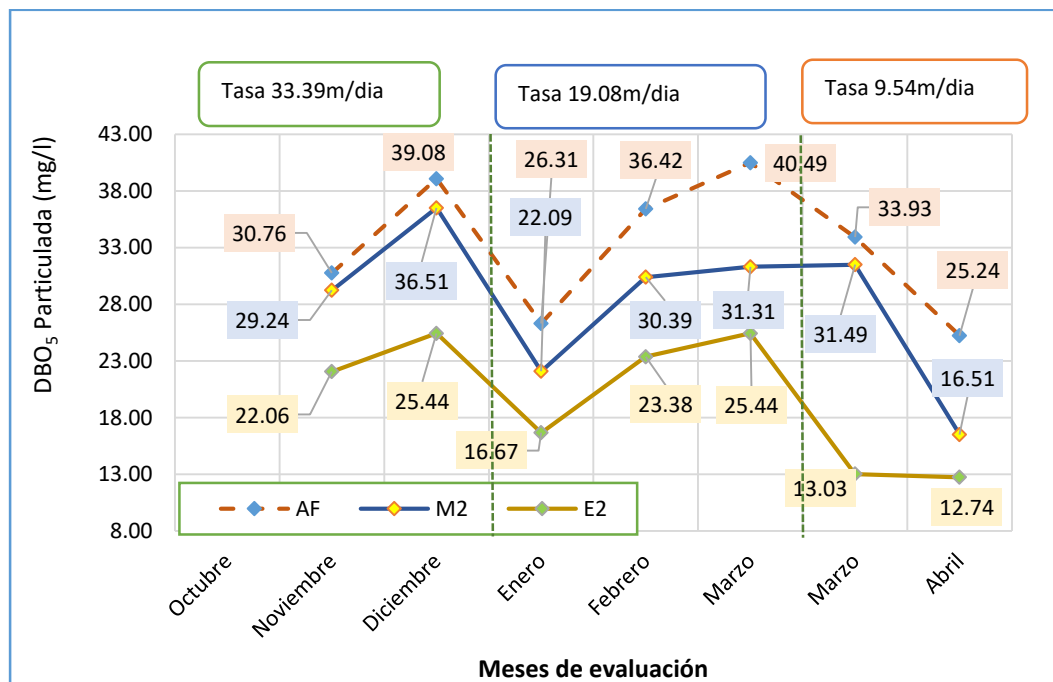


Figura 19: Variación mensual de la DBO₅ Particulada para las tres tasas de filtración en el sistema de filtro de arena en serie de flujo ascendente-descendente (Sistema II)..

Nota: AF (afluente); M2 (primer filtro de flujo ascendente M2); E2 (segundo filtro de flujo descendente E2).

La variación mensual de la demanda bioquímica de oxígeno particulada (DBO₅-P), para las tres tasas de filtración, para el sistema de filtro de arena en serie de flujo ascendente-descendente (Sistema II), mostrada en la Figura 19, presenta un comportamiento similar al sistema de filtro de arena en serie de flujo descendente-descendente (Sistema I), es decir la calidad del agua residual disminuye a medida que atraviesa los filtros de arena; así mismo se verifica que, la reducción de DBO₅-P, generada por el segundo filtro de flujo descendente (E2) es mayor que, la reducción de DBO₅-P producida por el primer filtro de flujo ascendente (M2), teniendo así, una DBO₅-P promedio para el afluente, efluente del primer filtro de flujo ascendente (M1), y para el segundo filtro de flujo descendente (E2) de 32.84, 32.88 y 22.91 mg/l respectivamente para la tasa de filtración de 33.39 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{día}$; y un promedio de 32.66, 26.63 y 20.51 mg/l respectivamente, para la tasa de filtración de 19.08 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{día}$; y un promedio de 31.03, 24.00, 12.93 mg/l respectivamente, para la tasa de filtración de 9.54 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{día}$.

Esta disminución de la $DBO_5\text{-P}$ que se genera cuando el agua residual atraviesa los filtros de arena en serie, tanto en el SI y SII, se podría justificar por la porosidad del medio filtrante, la oxidación bioquímica e intercambio iónico, así mismo, se verifica que en ambos sistemas, la reducción de la $DBO_5\text{-P}$, se genera de manera más significativa en el segundo filtro que el primer filtro, esto se podría justificar por la porosidad del primer filtro 40.3%, no genera una reducción tan representativa como en el segundo filtro, quien presenta una porosidad inferior que contribuye de manera más significativa en la reducción, además de ello por el tamaño efectivo del medio filtrante se contribuye a que aumente la oxidación bioquímica e intercambio iónico.

1.20 Resultados obtenidos en la culminación de la carrera de filtración de los filtros de arena.

El funcionamiento de los filtros involucrados en los sistemas de filtros de arena en serie, para las distintas tasas evaluadas de 33.39, 19.08 y $9.54\text{m}^3/\text{m}^2\text{xdía}$, culminaron una vez que se llegó a aprovechar la máxima carga hidráulica disponible.

1.20.1 Carrera de filtración.

La carrera de filtración para cada uno de los filtros involucrados, se determinó una vez que el filtro llegó a aprovechar la máxima carga hidráulica disponible, mostrando a continuación la carrera de filtración promedio identificado de acuerdo a la variación de la tasa de filtración.

La variación de la carrera de filtración mostrada mediante la Figura 20, nos indica que, la carrera de filtración de los filtros aumenta a medida que disminuye la tasa de filtración; teniendo así, una carrera de filtración para la tasa de filtración de 33.39 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{xdía}$, para el primer filtro de flujo descendente del sistema I (M1), para el segundo filtro de flujo descendente del sistema I (E1), para el primer filtro de flujo ascendente del sistema II (M2) y para el filtro de flujo descendente del sistema II (E2) de 2, 7,6 y 7 días respectivamente; y para la tasa de filtración de 19.08 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{xdía}$, para el filtro M1, E1, M2 y E2 una carrera de filtración de 5, 8, 8 y 9 días respectivamente; y para la tasa de filtración de 9.54 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{xdía}$, para el filtro M1, E1, M2 y E2 una carrera de filtración de 10, 12, 12 y 16 días respectivamente.

Esta diferencia de carrera de filtración, se puede justificar comparando ambos sistemas de filtros de arena (SI y SII); para el primer el filtro de ambos sistemas, se verifica que el filtro M2 del SII, presenta una carrera de filtración superior al filtro M1 del SI, para las tres tasas de filtración, esta superioridad se puede justificar porque el flujo del filtro M2 va en sentido decreciente del lecho filtrante, mientras que en el filtro M1, el flujo va en sentido creciente al tamaño del medio filtrante. Para el segundo filtro, de ambos sistemas, se sabe el sentido de flujo y estratificación de arena es igual; sin embargo, para la tasa de filtración 33.39 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{día}$, se verifica que, el filtro E1 presenta una mayor carrera de filtración, esto puede justificar por la calidad de agua que ingresa al filtro E1, presenta una menor cantidad de sólidos; este comportamiento no se verifica en la tasa de filtración de 19.08 y 9.54 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{día}$, porque la porosidad disminuye a medida que el filtro de arena es operado.

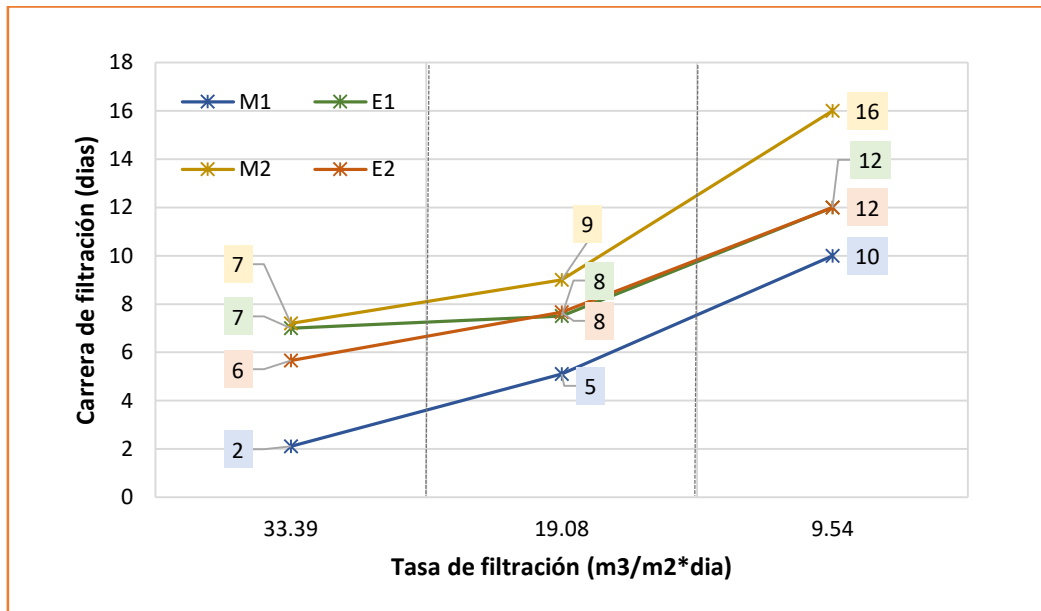


Figura 20: Variación del tiempo de carrera de filtración según disminuye la tasa de filtración

Nota: AF (afluente); M1 (primer filtro de flujo descendente del sistema I); E1 (segundo filtro de flujo descendente del sistema I); M2 (primer filtro de flujo ascendente del sistema II); E2 (segundo filtro de flujo descendente del sistema II).

1.20.2 Sólidos generados después del mantenimiento de los filtros de arena.

Los filtros fueron operados hasta el aprovechamiento máximo carga hidráulica disponible, después de ello los filtros entraban a una etapa de lavado con agua de grifo a una presión que oscilaba entre 4.2 a 7.2 m.c.a, el cual consistía expandir el lecho filtrante y eliminar los sólidos suspendidos que generaban la obstrucción de los filtros de arena. Motivo por el cual se aprovechó en realizar la medición de la cantidad de sólidos generados durante el lavado de cada filtro, para cada carrera de filtración, mostrando así en la siguiente grafica el promedio de la duración de carrera de filtración de cada filtro involucrado, en los sistemas de filtros de arena en serie, por tasa de filtración.

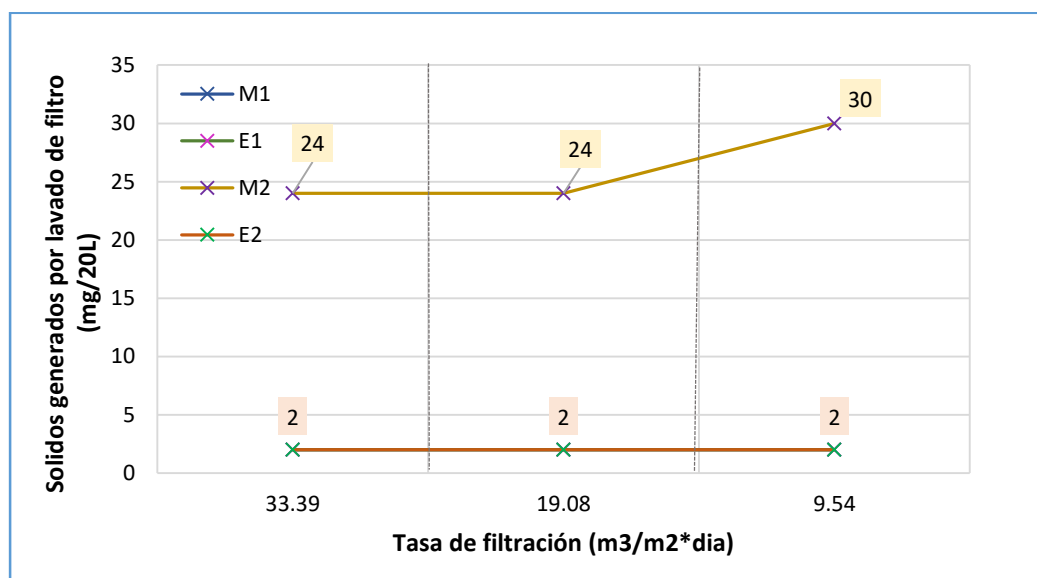


Figura 21: Variación de la cantidad de sólidos generados después del lavado del filtro de arena, para cada filtro involucrado, de acuerdo a la tasa de filtración evaluada.

Nota: M1 (primer filtro de flujo descendente del sistema I); E1 (segundo filtro de flujo descendente del sistema I); M2 (primer filtro de flujo ascendente del sistema II); E2 (segundo filtro de flujo descendente del sistema II).

La cantidad de sólidos generados después del lavado de cada filtro de arena, con 20l litros de agua de grifo, se diferencia de acuerdo a cada tasa de filtración evaluada; teniendo así, para la tasa de filtración de 33.39 m³/m²xdía, para el primer filtro de flujo descendente del sistema I (M1), para el segundo filtro de flujo descendente del sistema I (E1), para el primer filtro de flujo ascendente del sistema II (M2) y para el filtro de flujo descendente del sistema II (E2) de 2, 2, 24 y 2 mg respectivamente; y para la tasa de filtración de 19.08 m³/m²xdía, para el filtro M1, E1, M2 y E2 de 2, 2, 24 y 2 mg respectivamente; y para la tasa de filtración de 9.54 m³/m²xdía, para el filtro M1, E1, M2 y E2 de 2, 2, 30 y 2 mg respectivamente.

La variación de la cantidad de sólidos generados, se puede justificar por variación de la carrera de filtración.

En adición a la presentación de la cantidad de sólidos formados por lavado de cada filtro, en la Figura 22, se hace una presentación de la cantidad de sólido generado por mes, de acuerdo al periodo de carrera de filtración, para cada tasa de filtración evaluada.

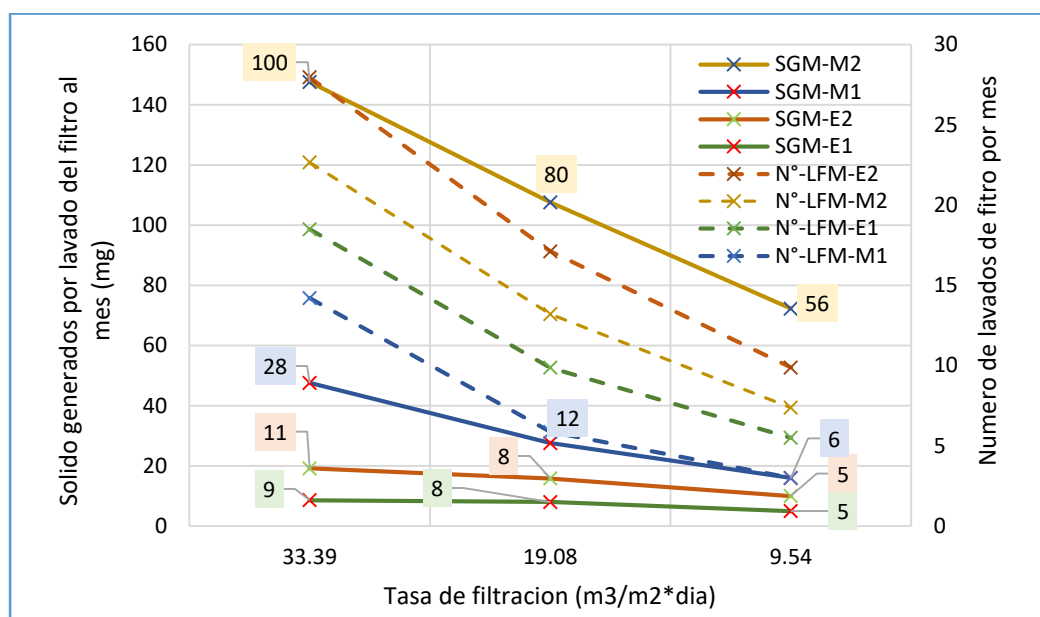


Figura 22: Variación de la cantidad de sólidos generado mensualmente para cada filtro de arena involucrado.

Nota: M1 (primer filtro de flujo descendente del sistema I); E1 (segundo filtro de flujo descendente del sistema I); M2 (primer filtro de flujo ascendente del sistema II); E2 (segundo filtro de flujo descendente del sistema II).

De la Figura 22, se tiene que, la cantidad de sólidos generados por mes disminuye a medida que la tasa de filtración disminuye, esto puede justificarse, porque la cantidad de sólidos que ingresa y el número de carreras de filtración por mes también disminuye, a medida que se reduce la tasa de filtración.

1.21 Resultados obtenidos en la culminación de operación de los filtros de arena.

Al finalizar la evaluación de los sistemas de filtros de arena en serie (SI y SII), se hizo una evaluación de los sólidos acumulados, mostrados en la figura Figura 23.

En dicha figura, se verifica que la cantidad de cantidad de sólidos en el filtro de flujo ascendente del sistema II (M2) presenta el mayor porcentaje de solidos suspendidos totales y fijos formados; y el filtro que presenta mayor porcentaje de solidos suspendidos volátiles es filtro de flujo descendente del sistema I (M1). Teniendo así, para el filtro M2 un porcentaje de solidos suspendidos totales de 78.72%, y en relación a los sólidos suspendidos fijos de 77.52%; y para el filtro de flujo descendente M1, se tiene un porcentaje de 2.23% de solidos suspendidos volátiles.

Esto indica que la mayor estabilidad de materia orgánica, se ha generado en el lecho filtrante de flujo descendente del sistema I (M1), luego se tiene al filtro de flujo descendente del sistema I (E1), luego se tiene al filtro de flujo ascendente del sistema II (M2) y después al filtro de flujo descendente (E2).

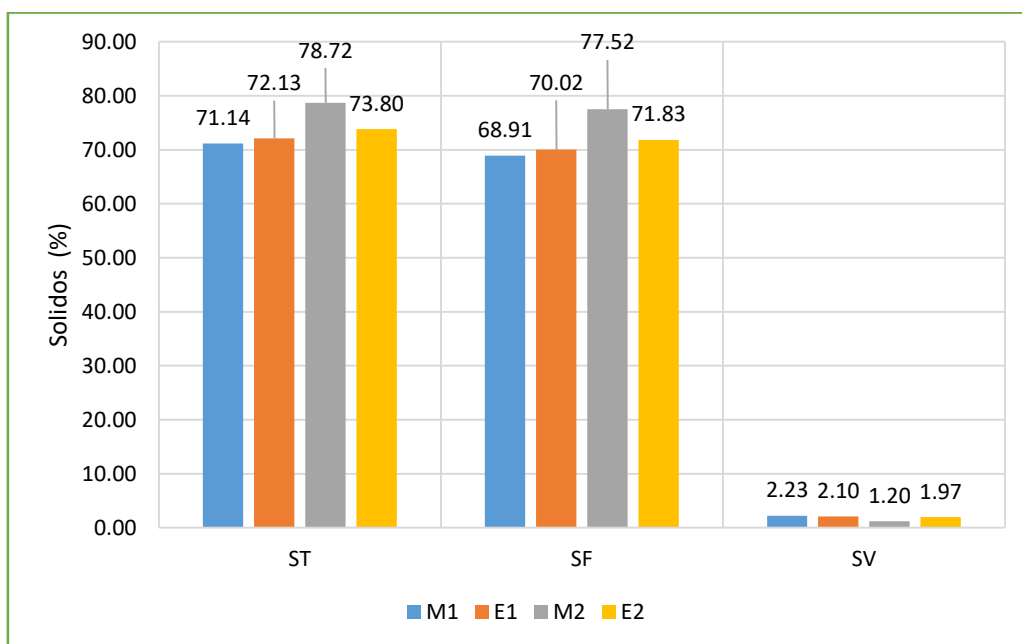


Figura 23: Medición de solidos suspendidos formados en una muestra sólida.

Nota: MF –SI (Medio filtrante del sistema I); MF-SII (Medio filtrante del sistema II); M1 (Filtro de flujo descendente del sistema I); E1 (Filtro del flujo descendente del sistema I); M2 (Filtro de flujo ascendente del sistema II); E2(Filtro de flujo descendente del sistema II).

CAPITULO VI

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En el presente capítulo se hace un análisis, relacionando el comportamiento de cada uno de los parámetros evaluados como PH, Temperatura, turbidez, Demanda bioquímica de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno particulada, sólidos suspendidos totales, sólidos suspendidos volátiles, carreras filtración, medición de sólidos suspendidos en el lecho filtrante, y la medición de sólidos generados durante la etapa de manto de filtros de arena. Esto se realiza para las tres tasas de filtración evaluadas en los sistemas de filtros de arena en serie (SI y SII).

1.22 Comparación de parámetros fisicoquímicos, según el orden de filtros involucrados, en los sistemas de filtros de arena en serie (SI y SII).

La comparación de los parámetros fisicoquímicos, en el efluente de los filtros involucrados, en ambos sistemas de filtros de arena (S I y SII), se realizó, teniendo en cuenta que, la calidad del afluente que ingresa en ambos sistemas presenta las mismas características.

1.22.1 PH

De los resultados obtenidos se sabe que, el PH aumenta a medida que el afluente atraviesa los filtros de arena; sin embargo, dicha variación es diferente para cada sistema de filtro de arena en serie evaluado. Motivo por el cual se hace un análisis de la variación de PH producida, de acuerdo al orden de cada filtro involucrado en cada sistema (SI y SII).

En la comparación de PH, para el efluente del primer filtro de ambos sistemas de filtros de arena en serie (SI y SII), mostrado en la Figura 24, se verifica que, el efluente del primer filtro del SI (M1) presenta un PH superior al primer filtro del SII (M2), para una tasa de filtración de 33.39, 19.08 y 9.54m³/m²xdía. Esto se podría justificar, porque la estratificación va en orden creciente, en el filtro M1, lo cual favorece la suspensión, área de contacto y adherencia de las partículas, incrementándose así, el intercambio iónico y la oxidación bioquímica de compuestos orgánicos, para afluente con un PH mayor a 7.

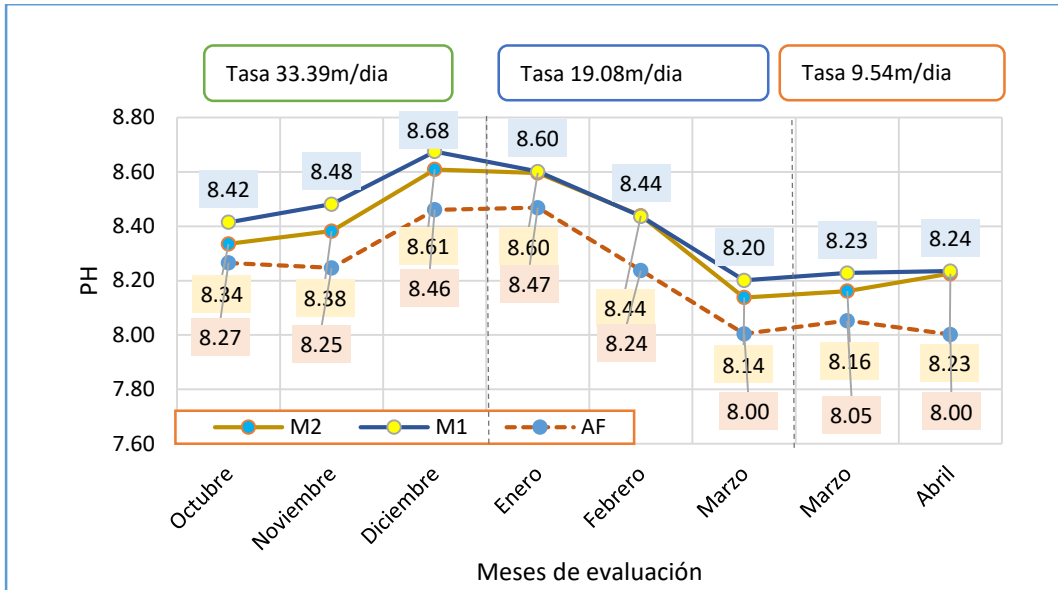


Figura 24: Comparación de la variación de PH producido en el efluente del primer filtro, de ambos sistema de filtros de arena evaluados (Sistema I y II).

Nota: AF (afluente); M1 (primer filtro de flujo descendente del SI); M2 (primer filtro de flujo ascendente del SII).

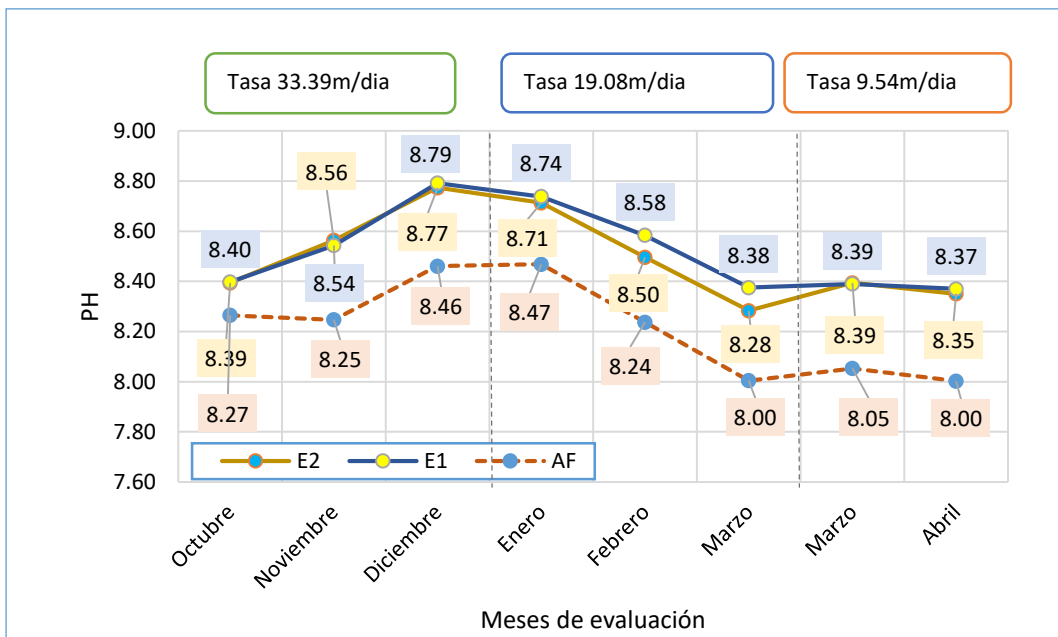


Figura 25: Comparación de la variación de PH producido en el efluente del segundo filtro, de ambos sistemas de filtros de arena evaluados (Sistema I y II).

Nota: AF (afluente); E1 (segundo filtro de flujo descendente del SI); E2 (primer filtro de flujo descendente del SII).

El segundo filtro de ambos sistemas de filtros de arena en serie (SI y SII), presentan el mismo sentido de flujo y estratificación de arena, motivo por el cual se espera que la variación de PH del efluente, se presente de manera similar; sin embargo de acuerdo a la Figura 25, se tiene que, el PH del segundo filtro del SI (E1), presenta una ligera superioridad de PH superior al segundo filtro del sistema II (E2); más aún en la tasa de filtración de $19.08\text{m}^3/\text{m}^2\text{xdía}$, esto se podría justificar por la variación en la calidad del afluente que ingresa al segundo filtro.

1.22.2 Temperatura.

De los resultados obtenidos se sabe que, la temperatura disminuye a medida que el afluente atraviesa los filtros de arena; sin embargo, dicha variación es diferente para cada sistema de filtro de arena en serie evaluado, por lo cual se hace el siguiente análisis.

La variación de la temperatura, para el efluente del primer filtro de ambos sistemas de filtros de arena en serie (SI y SII), mostrado en la Figura 26 en relación con la variación de PH producido, y mostrado en la Figura 27 en relación a la variación de carrera de filtración; nos indica que el efluente primer filtro del sistema I (M1), presenta un temperatura inferior al primer filtro del sistema II (M2), para la tasa de filtración de 33.39 , 19.08 y $9.54\text{m}^3/\text{m}^2\text{xdía}$.

Esta superioridad en variación de temperatura del filtro M1, respecto al filtro M2, se puede justificar por el incremento de PH. En adición a ello, es importante indicar que de la Figura 27, se verifica que, a medida que el filtro M2, disminuye su porosidad por el periodo de la carrera de filtración, se llega a producir, en algunos registros una misma disminución de temperatura que el filtro M1, esto se justifica por la diferencia de carrera de filtración.

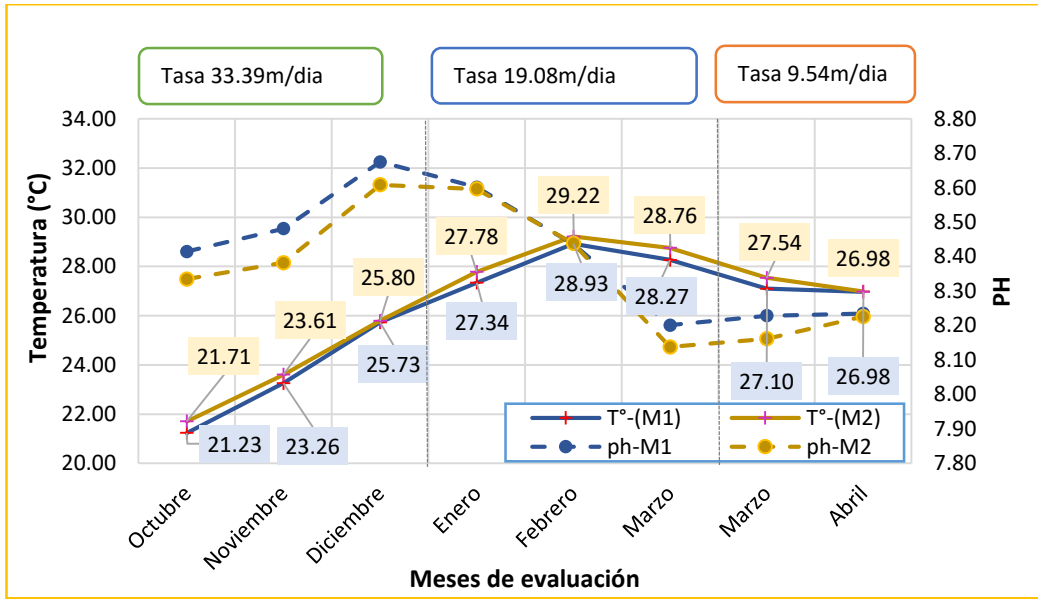


Figura 26: variación de temperatura en el efluente del primer filtro, de ambos sistema de filtros de arena evaluados (I y II), relacionados con la variación de PH.
 Nota: M1 (primer filtro de flujo descendente del sistema I); M2 (primer filtro de flujo ascendente del sistema II).

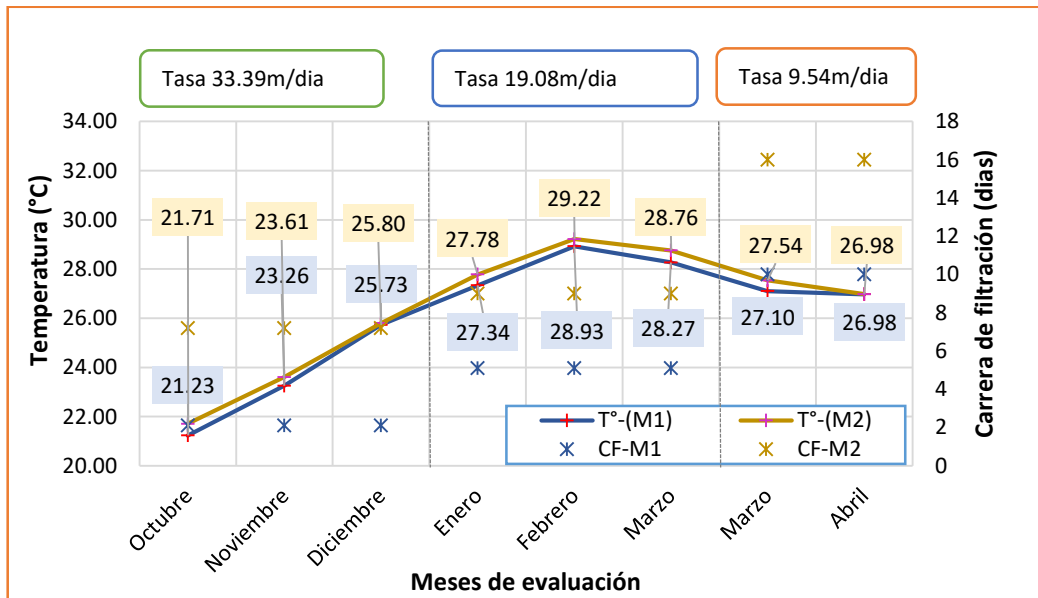


Figura 27: Variación de Temperatura producido en el efluente del primer filtro, de ambos sistema de filtros de arena evaluados (Sistema I y II), relacionados con la carrera de filtración.
 Nota: M1 (primer filtro de flujo descendente del sistema I); M2 (primer filtro de flujo ascendente del sistema II).

El segundo filtro de ambos sistemas de filtros de arena en serie (SI y SII), presentan el mismo sentido de flujo y estratificación de arena, motivo por el cual se espera que la calidad del efluente se presente de manera similar; sin embargo, de acuerdo a la Figura 28 que muestra la variación temperatura y el PH; y la Figura 29 que muestra la relación de la temperatura y carrera de filtración, se tiene que, la temperatura del efluente del segundo filtro de flujo descendente del SI (E1) presenta una menor temperatura que el segundo filtro de flujo descendente del SII (E2), para la tasa de filtración 33.39 y 19.08m³/m²xdía, y para la tasa de filtración de 9.54m³/m²xdía el filtro E2 presenta una menor temperatura que el filtro E1. Para el primer caso, se podría justificar, porque el filtro E1, presenta una mayor variación de PH que el filtro E2; en el segundo caso, se podría justificar porque el filtro E1 presenta una alteración de microorganismos presentes, por el mayor número de acondicionamiento producidos en el filtro que se le antepone (M1), es decir la cantidad de microorganismos que incrementan la oxidación bioquímica se ven alteradas por el número de lavados que se hace en el primer filtro; generando así que el filtro E2 presente una menor temperatura que el filtro E1.

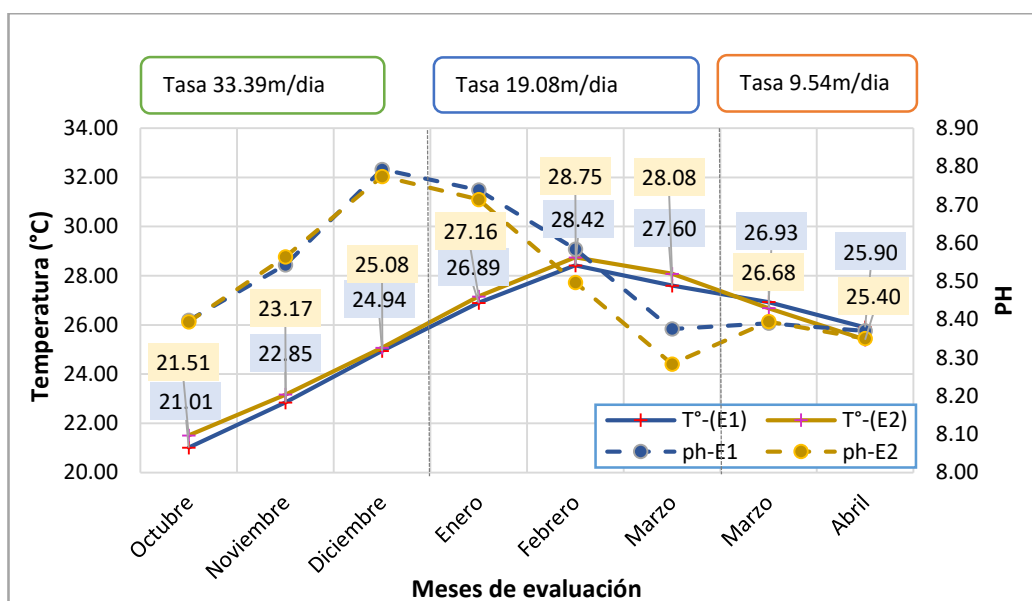


Figura 28: Variación de la temperatura producido en el efluente del segundo filtro, de ambos sistema de filtros de arena evaluados (Sistema I y II), relacionados con la variación de PH.

Nota: E1 (segundo filtro de flujo descendente del sistema I); E2 (primer filtro de flujo descendente del sistema II).

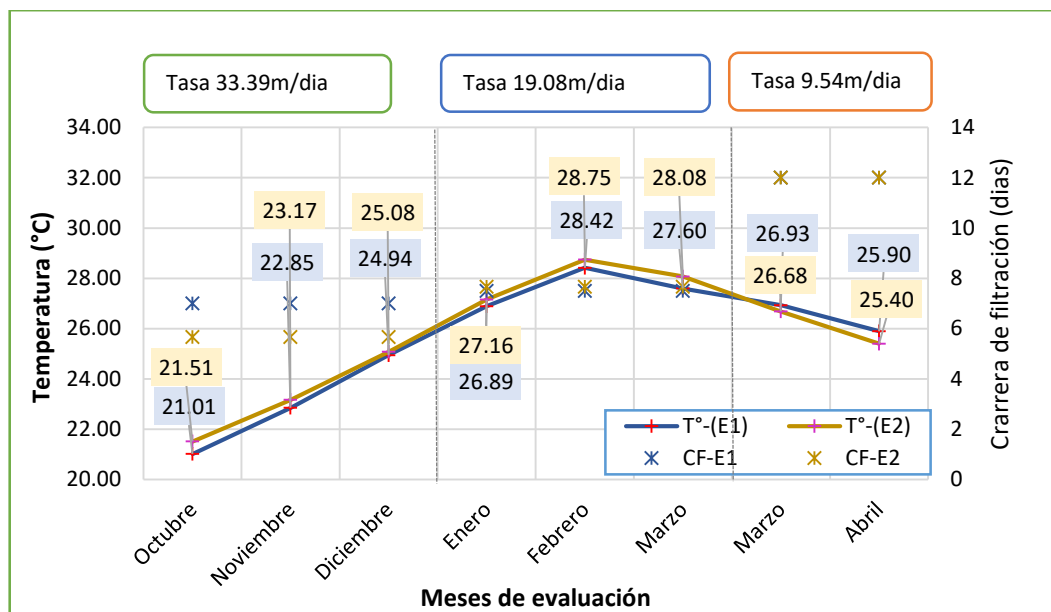


Figura 29: Variación de Temperatura producido en el efluente del segundo filtro, de ambos sistema de filtros de arena evaluados (Sistema I y II), relacionados con la carrera de filtración.

Nota: E1 (segundo filtro de flujo descendente del sistema I); E2 (primer filtro de flujo descendente del sistema II).

1.22.3 Sólidos suspendidos totales.

De los resultados obtenidos se sabe que, la concentración de sólidos suspendidos totales (SST) disminuye a medida que el afluente atraviesa los filtros de arena; sin embargo, dicha variación es diferente para cada sistema de filtro de arena en serie evaluado, por lo cual se hace el siguiente análisis.

La variación de la concentración de SST, para el efluente del primer filtro de ambos sistemas de filtros de arena en serie (SI y SII), mostrado en la Figura 30, en relación con la variación de PH y carrera de filtración, nos indica que, la calidad del efluente primer filtro del SI (M1) presenta una variación alternada en relación a la al primer filtro del SII (M2), para la tasa de filtración de 33.39 y 9.54m³/m²xdía; mientras que para la tasa de filtración de 19.08m³/m²xdía la concentración de SST en el filtro M2 es menor que, en el filtro M1.

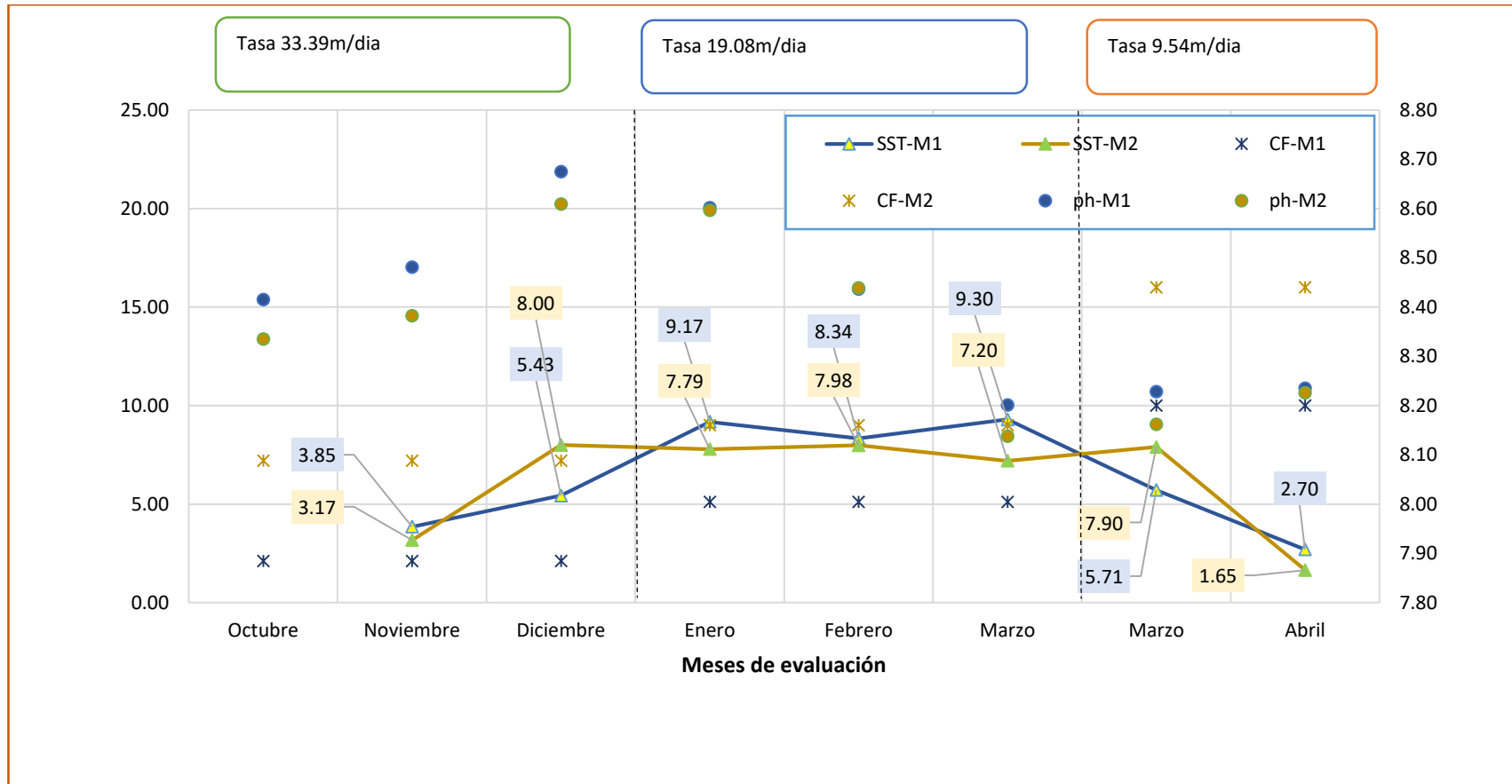


Figura 30: Variación de SST en el efluente del primer filtro, de ambos sistema de filtros de arena evaluados (I y II), relacionados con la variación de PH y carrera de filtración (CF).

Nota: M1 (primer filtro de flujo descendente del sistema I); M2 (primer filtro de flujo ascendente del sistema II).

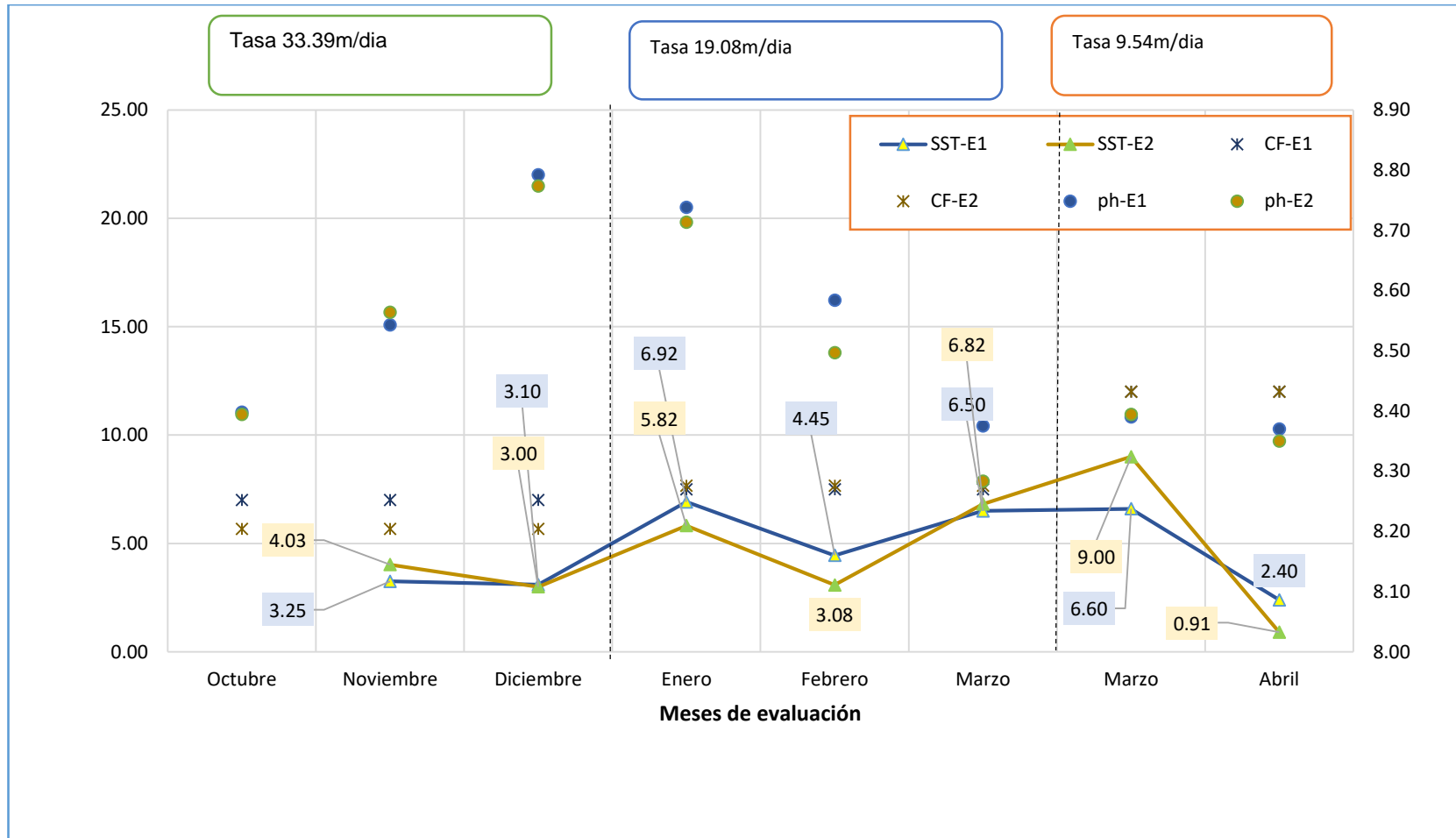


Figura 31: Variación de SST en el efluente del segundo filtro, de ambos sistema de filtros de arena evaluados (I y II), relacionados con la variación de PH y carrera de filtración (CF).

Nota: E1 (segundo filtro de flujo descendente del sistema I); E2 (primer filtro de flujo descendente del sistema II).

El segundo filtro de ambos sistemas de filtros de arena en serie (SI y SII), presentan el mismo sentido de flujo y estratificación de arena, motivo por el cual se espera que la calidad del efluente se presente de manera similar; sin embargo, de acuerdo a la Figura 31, se muestra que la concentración de SST en relación con la variación de PH y carrera de filtración, indican que, la concentración de SST del efluente del segundo filtro de flujo descendente del sistema I (E1) presenta una variación alternada en relación con el segundo filtro del sistema II (II), para la tasa de filtración 33.39, 19.08, 9.54 m³/m²xdía.

De la variación alternada del filtro E2 y el filtro E1, se podría justificar, porque a lo largo de evaluación el PH generado en el filtro E1 y E2 es similar, con ligera superioridad del filtro E1, lo cual podría conllevar a que la calidad del filtro E1 sea superior al filtro E2; sin embargo, esto no pasa porque que el filtro E1, presenta variación en la capa biológica que se genera producto del mayor número de acondicionamiento producidos en el filtro que se le antepone (M1).

1.22.4 Sólidos suspendidos volátiles.

De los resultados obtenidos, se sabe que, la concentración de sólidos suspendidos totales (SSV) disminuye a medida que, el afluente atraviesa los filtros de arena; sin embargo, dicha variación es diferente para cada sistema de filtro de arena en serie evaluado, por lo cual se hace el siguiente análisis.

La variación de la concentración de SSV, para el efluente del primer filtro de ambos sistemas de filtros de arena en serie (SI y SII), mostrado en la Figura 32, en relación con la variación de PH y carrera de filtración, nos indica que, la calidad del efluente primer filtro del sistema I (M1) presenta una variación alternada en relación a la al primer filtro del sistema II (M2), para la tasa de filtración de 33.39, 19.08 y 9.54m³/m²xdía.

La variación alternada en la tasa de filtración de 33.39, 19.08 y 9.54m³/m²xdía, en relación la concentración de SSV, en el efluente del primer filtro de arena de ambos sistemas (SI y SII), se puede justificar porque, el primer filtro del sistema I (M1), presenta un flujo en sentido creciente al lecho filtrante, lo cual genera un incremento en el área de contacto y con ello una mayor intercambio iónico y oxidación bioquímica; sin embargo, se verifica que esto es superado en algunos puntos por el primer filtro del sistema II (M2), por la mayor carrera de filtración que presenta el filtro M2.

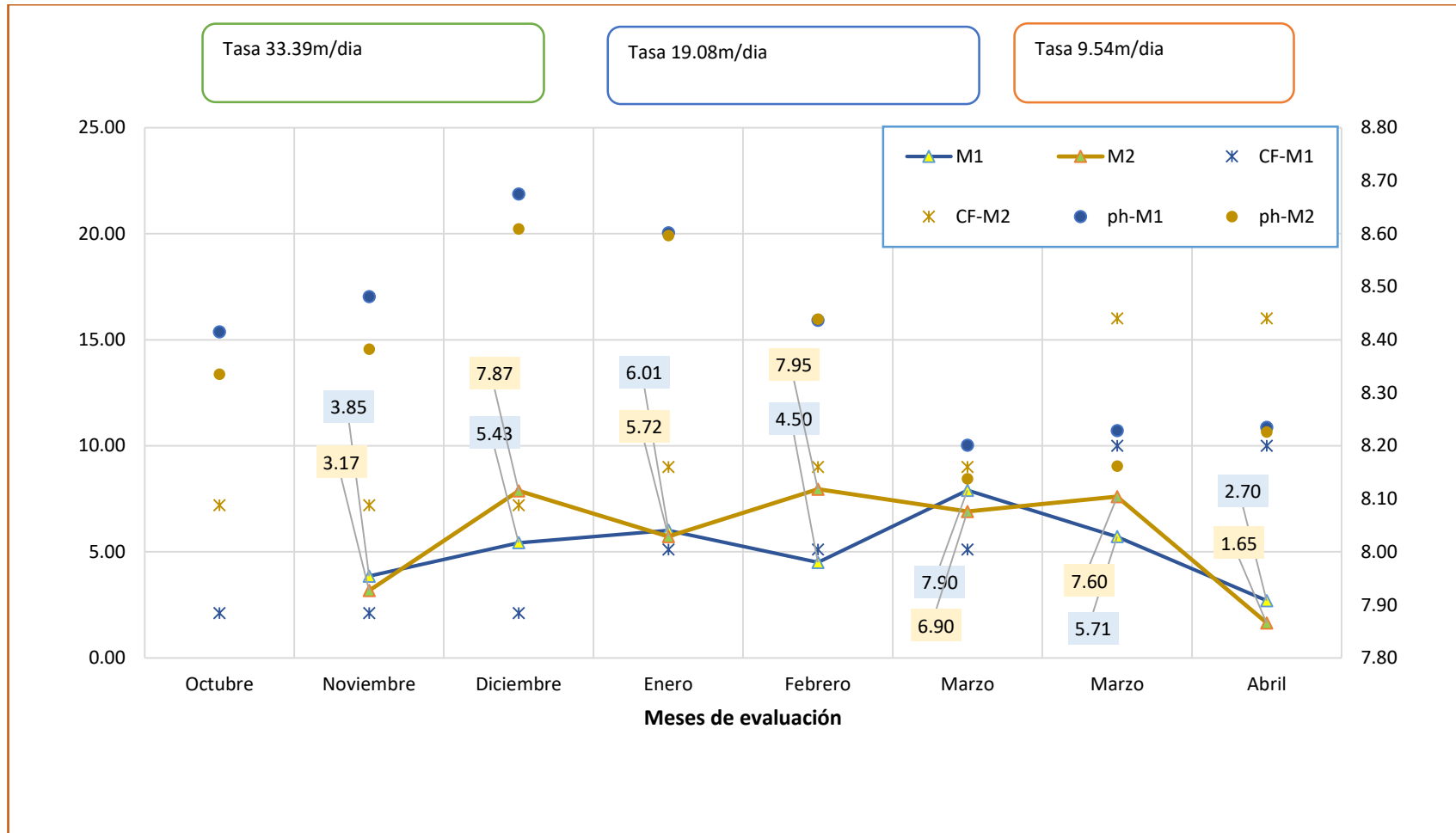


Figura 32: Variación de SSV en el efluente del primer filtro, de ambos sistema de filtros de arena evaluados (I y II), relacionados con la variación de PH y carrera de filtración (CF).

Nota: M1 (primer filtro de flujo descendente del sistema I); M2 (primer filtro de flujo ascendente del sistema II).

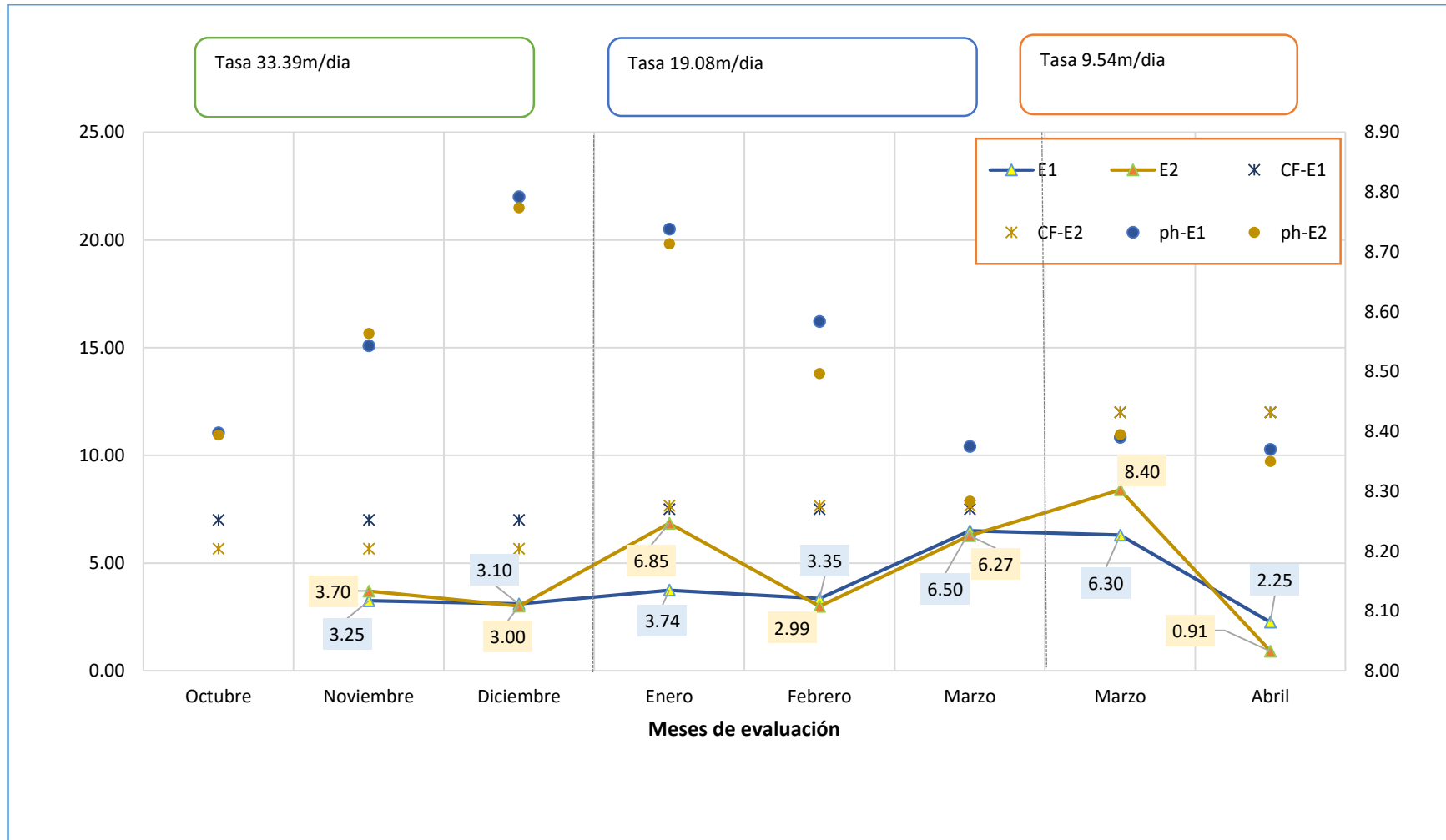


Figura 33: Variación de SSV en el efluente del segundo filtro, de ambos sistema de filtros de arena evaluados (I y II), relacionados con la variación de PH y carrera de filtración (CF).

Nota: E1 (segundo filtro de flujo descendente del sistema I); E2 (primer filtro de flujo descendente del sistema II).

El segundo filtro de ambos sistemas de filtros de arena en serie (SI y SII), presentan el mismo sentido de flujo y estratificación de arena, motivo por el cual se espera que la calidad del efluente se presente de manera similar; sin embargo, de acuerdo a la Figura 31, se muestra que la concentración de SSV en relación con la variación de PH y carrera de filtración, indican que, la concentración de SSV del efluente del segundo filtro de flujo descendente del sistema I (E1) presenta una variación alternada en relación con el segundo filtro del sistema II (E2), para la tasa de filtración 33.39, 19.08, 9.54 m³/m²xdía.

De la variación alternada del filtro E2 y el filtro E1, se podría justificar, porque a lo largo de evaluación el PH generado en el filtro E1 y E2 es similar, con ligera superioridad del filtro E1, lo cual podría conllevar a que la calidad del filtro E1 sea superior al filtro E2; sin embargo, esto no pasa porque que el que el filtro E1, presenta variación en la capa biológica que se genera producto del mayor número de acondicionamiento producidos en el filtro que se le antepone (M1).

1.22.5 Turbiedad.

De los resultados obtenidos, se sabe que, la turbiedad disminuye a medida que, el afluente atraviesa los filtros de arena; sin embargo, dicha variación es diferente para cada sistema de filtro de arena en serie evaluado, por lo cual se hace el siguiente análisis.

La variación de la turbiedad, para el efluente del primer filtro de ambos sistemas de filtros de arena en serie (SI y SII), mostrado en la Figura 34, en relación con la variación de PH, carrera de filtración producido; nos indica que la calidad del efluente primer filtro del sistema II (M2) presenta una mejor calidad que el efluente del primer filtro del sistema I (M1), para la tasa de filtración de 33.39m³/m²xdía; mientras que para la tasa de filtración de 19.08 y 9.54m³/m²xdía, la calidad del efluente del filtro M1 es mejor que el efluente del filtro M2.

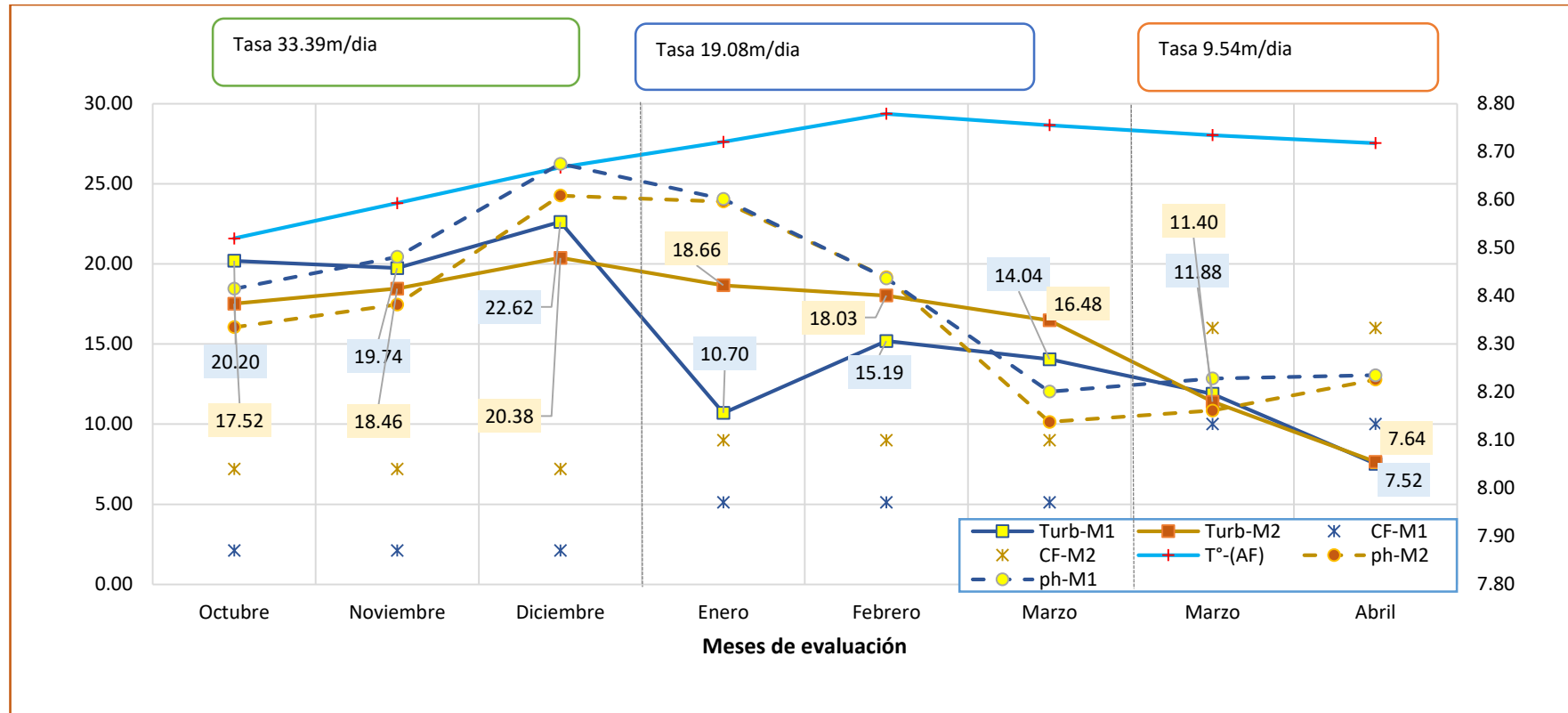


Figura 34: Variación de la turbiedad en el efluente del primer filtro, de ambos sistema de filtros de arena evaluados (I y II), relacionados con la variación de PH, carrera de filtración (CF) y temperatura del afluente (T° AF).

Nota: M1 (primer filtro de flujo descendente del sistema I); M2 (primer filtro de flujo ascendente del sistema II).

La variación presentada para la tasa de filtración de $33.39 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{día}$, nos muestra que a pesar que se produce un mayor incremento de PH para el filtro M1, la reducción de turbiedad es inferior, esto indica que la turbiedad para dicha tasa es priorizada por la estratificación de la arena del filtro M2, es sentido decreciente a la granulometría que permite una mayor acumulación de sólidos, y con ello una mayor dispersión que ayudan a reducir la disminución de porosidad y producir una mayor carrera de filtración. En cuanto a la tasa de filtración de 19.08 y $9.54 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{día}$, se tiene que en el filtro M1 presenta un mayor incremento de PH y Temperatura, lo cual ayuda a que aumente la difusión de partículas; así mismo producto de una menor tasa de filtración se genere una mejor distribución de partículas y con ello la superioridad en la reducción de la turbiedad del filtro M1 respecto al filtro M2.

El segundo filtro de ambos sistemas de filtros de arena en serie (SI y SII), presentan el mismo sentido de flujo y estratificación de arena, motivo por el cual se espera que la calidad del efluente se presente de manera similar; sin embargo, de acuerdo a la Figura 35, se muestra que la turbiedad en relación con la variación de PH y carrera de filtración, indican que, la turbiedad del efluente del segundo filtro de flujo descendente del sistema I (E1) presenta una variación alternada en relación con el segundo filtro del sistema II (E2), para la tasa de filtración $33.39 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{día}$; mientras que, para la tasa de filtración de 19.08 y $9.54 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{día}$, la turbiedad del efluente del filtro E1 es mejor que el filtro E2.

La variación alternada en la tasa de filtración de $33.39 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{día}$, en relación la turbiedad, en el efluente del primer filtro de arena de ambos sistemas (SI y SII), se puede justificar por la superioridad carrera de filtración, en algunos casos del filtro E1; mientras que para el filtro E2, se puede justificar por la calidad del afluente que ingresa es inferior, al filtro que se le antepone al E1. En caso de la tasa de filtración de 19.08 y $9.54 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{día}$, se verifica que, la calidad del efluente de filtro E1 es mejor que el filtro E2, por el incremento de PH producido.

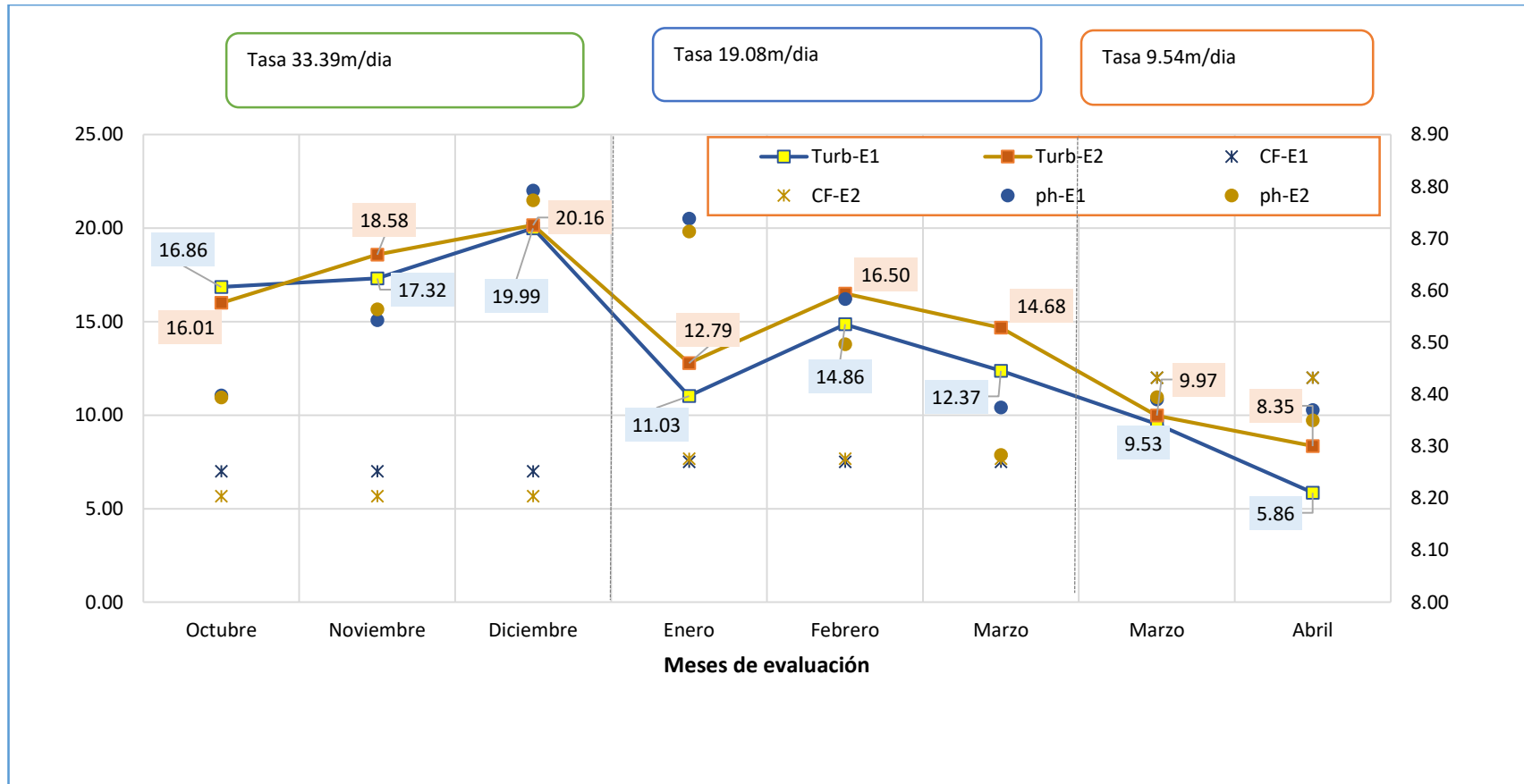


Figura 35: Variación de la turbiedad en el efluente del segundo filtro, de ambos sistema de filtros de arena evaluados (I y II), relacionados con la variación de PH y carrera de filtración (CF).

Nota: E1 (segundo filtro de flujo descendente del sistema I); E2 (primer filtro de flujo descendente del sistema II).

1.22.6 Demanda bioquímica de oxígeno total.

De los resultados obtenidos, se sabe que, la demanda bioquímica de oxígeno total disminuye a medida que, el afluente atraviesa los filtros de arena; sin embargo, dicha variación es diferente para cada sistema de filtro de arena en serie evaluado, por lo cual se hace el siguiente análisis.

La variación de la concentración de demanda bioquímica de oxígeno, para el efluente del primer filtro de ambos sistemas de filtros de arena en serie (SI y SII), mostrado en la Figura 36, en relación con la variación de PH, nos indica que, la calidad del efluente primer filtro del sistema II (M2) presenta una mejor calidad que el efluente del primer filtro del sistema I (M1), para la tasa de filtración de $33.39\text{m}^3/\text{m}^2\text{xdía}$; mientras que para la tasa de filtración de 19.08 y $9.54\text{m}^3/\text{m}^2\text{xdía}$, la calidad del efluente del filtro M1 es mejor que el efluente del filtro M2.

La mejor calidad del efluente del filtro M2 respecto a filtro M1, para la tasa de filtración $33.39\text{ m}^3/\text{m}^2\text{xdía}$, se podría justificar porque para dicha tasa filtración el PH generado es mayor en el filtro M2, respecto al filtro M1; mientras que, para la tasa de filtración de 19.08 y $9.54\text{m}^3/\text{m}^2\text{xdía}$, se verifica que la DBO_5 del efluente del filtro M1 es superior al filtro M2, esto se justifica porque el PH, del efluente del filtro M1 es superior al efluente del filtro M2.

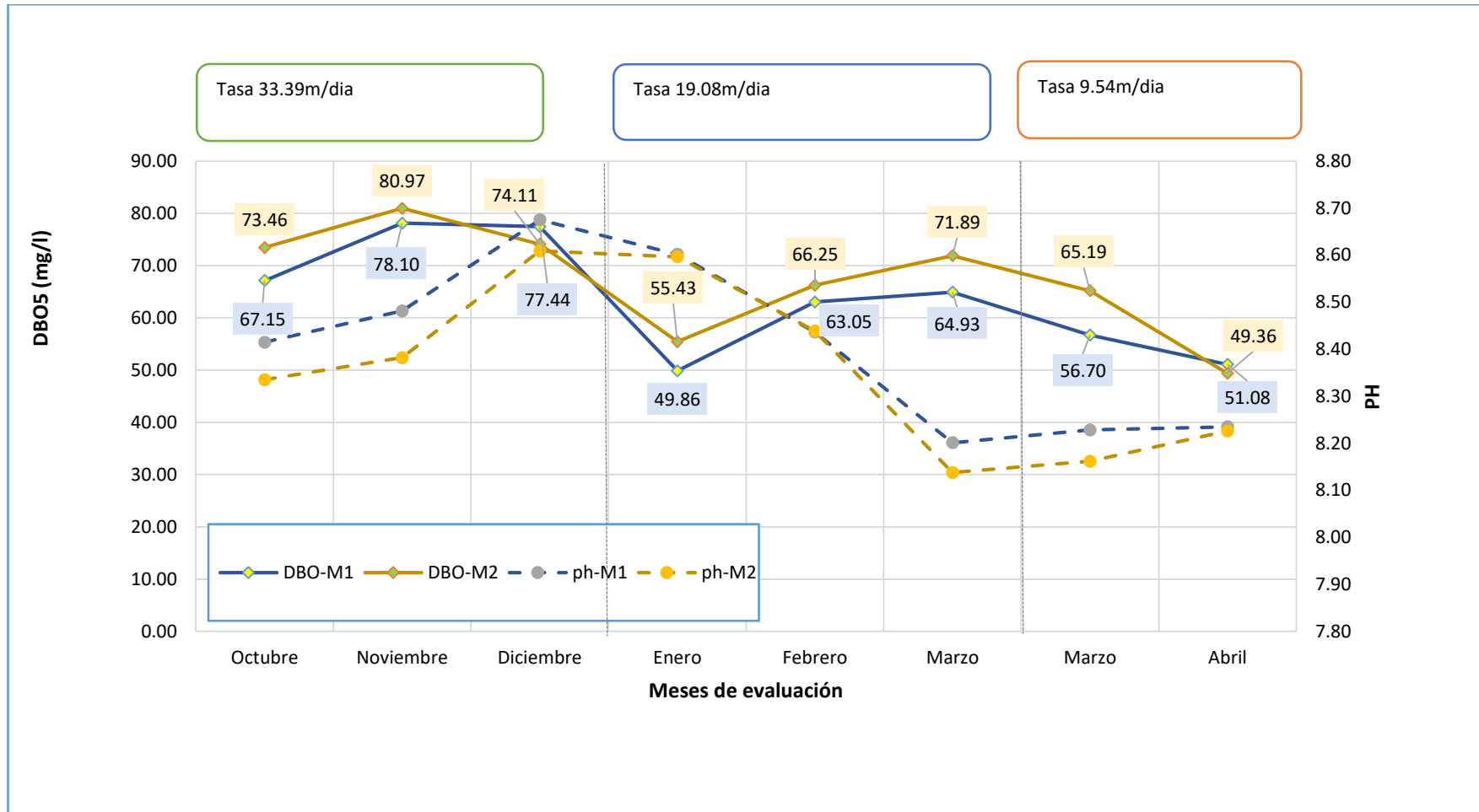


Figura 36: Variación de DBO₅ en el efluente del primer filtro, de ambos sistema de filtros de arena evaluados (I y II), relacionados con la variación de PH.

Nota: M1 (primer filtro de flujo descendente del sistema I); M2 (primer filtro de flujo ascendente del sistema II).

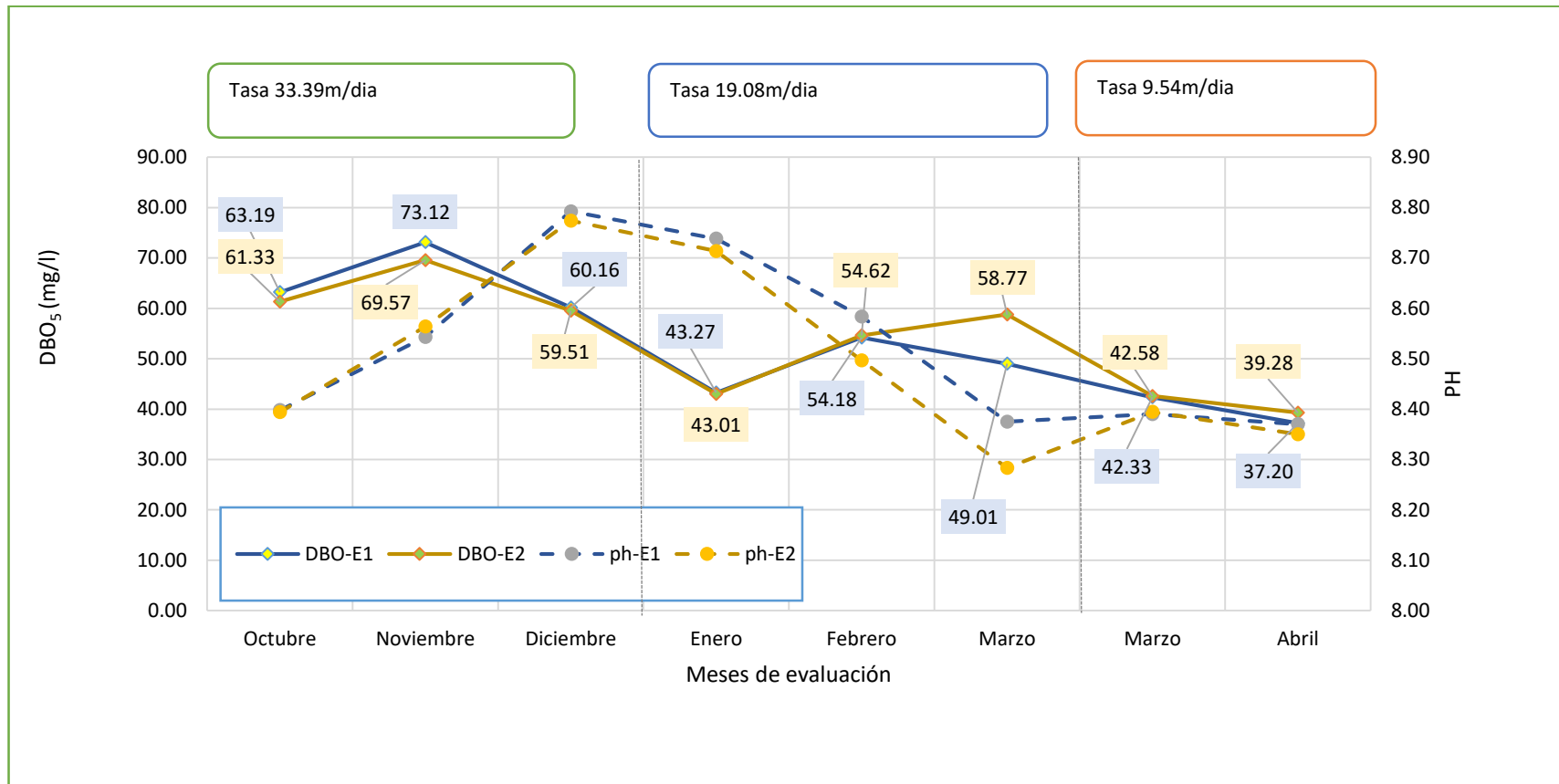


Figura 37: Variación de DBO₅ en el efluente del segundo filtro, de ambos sistema de filtros de arena evaluados (I y II), relacionados con la variación de PH.

Nota: E1 (segundo filtro de flujo descendente del sistema I); E2 (primer filtro de flujo descendente del sistema II).

El segundo filtro de ambos sistemas de filtros de arena en serie, presentan el mismo sentido de flujo y estratificación de arena, motivo por el cual se espera que la calidad del efluente se presente de manera similar; sin embargo, de acuerdo a la Figura 37, se muestra que la DBO_5 en relación con la variación de PH, indican que la DBO_5 del efluente del segundo filtro de flujo descendente del sistema I (E1) presenta una DBO_5 superior al segundo filtro del sistema II (E2), para la tasa de filtración $33.39\text{m}^3/\text{m}^2\text{xdía}$; mientras que, para la tasa de filtración de 19.08 y $9.54\text{m}^3/\text{m}^2\text{xdía}$, la DBO_5 del efluente del filtro E1 es mejor que el filtro E2.

La mejor calidad del efluente del filtro E2 respecto al filtro E1, para la tasa de filtración $33.39\text{m}^3/\text{m}^2\text{xdía}$, se podría justificar porque para dicha tasa filtración el PH generado entre el filtro E1 y E2 es similar, con ligera superioridad del filtro E1; sin embargo, no presenta una mejor calidad en el filtro E1, por la alteración en la capa biológica, por el mayor número de acondicionamiento producido en el filtro que se le antepone (M1). En cuanto a la tasa de filtración de 19.08 y $9.54\text{m}^3/\text{m}^2\text{xdía}$, se verifica que la DBO_5 del efluente del filtro E1 es superior al filtro E2, esto se justifica porque el PH del efluente del filtro E1 es superior al efluente del filtro E2, es importante indicar que, para estas dos últimas tasas no se evidencia una alteración en la capa biológica significativa, que altere la eficiencia, porque la carrera de filtración del filtro que se antepone, presenta una carrera de filtración más prolongada que la encontrada en la tasa $33.39\text{m}^3/\text{m}^2\text{xdía}$.

1.22.7 Demanda bioquímica de oxígeno particulada.

De los resultados obtenidos, se sabe que, la demanda bioquímica de oxígeno particulada disminuye a medida que, el afluente atraviesa los filtros de arena; sin embargo, dicha variación es diferente para cada sistema de filtro de arena en serie evaluado, por lo cual se hace el siguiente análisis.

La variación de la concentración de DBO_5 Particulada, para el efluente del primer filtro de ambos sistemas de filtros de arena en serie (SI y SII), mostrado en la Figura 38, en relación con la variación de PH y carrera de filtración, nos indica que, la calidad del efluente primer filtro del sistema I (M1) presenta una variación alternada en relación a la al primer filtro del sistema II (M2), para la tasa de filtración de 33.39 y $9.54\text{m}^3/\text{m}^2\text{xdía}$; mientras que para la tasa de filtración de $19.08\text{m}^3/\text{m}^2\text{xdía}$ la concentración de DBO_5 Particulada en el filtro M2 es menor que en el filtro M1.

La variación alternada en la tasa de filtración de 33.39 y 9.54 m³/m²xdía, en relación la concentración de DBO₅ Particulada, es pequeña, entre el efluente del primer filtro de arena de ambos sistemas (Sistema I y II); esto se podría justificar porque, el primer filtro del sistema I (M1) presenta un flujo en sentido creciente al lecho filtrante, genera mayor intercambio iónico y oxidación bioquímica; sin embargo, se verifica que esto es superado en algunos puntos por el primer filtro del sistema II (M2), por la mayor carrera de filtración que presenta, y con ello una mayor disminución de la porosidad y reducción de la DBO₅ Particulada. En caso de la tasa de filtración de 19.08 m³/m²xdía, se verifica que la reducción de DBO₅ Particulada del filtro M1 es ligeramente superior al filtro M2, esto puede justificar porque el PH del filtro M1 es superior al filtro M2.

El segundo filtro de ambos sistemas de filtros de arena en serie (SI y SII), presentan el mismo sentido de flujo y estratificación de arena, motivo por el cual se espera que la calidad del efluente se presente de manera similar; sin embargo, de acuerdo a la Figura 39 y Figura 40, se muestra que la concentración de la DBO₅ Particulada en relación con la variación de PH y carrera de filtración, indican que, la concentración de DBO₅ Particulada del efluente del segundo filtro de flujo descendente del sistema I (E1) presenta una variación alternada en relación con el segundo filtro del sistema II (II), para la tasa de filtración 33.39, 19.08, 9.54 m³/m²xdía.

De la variación alternada, se verifica que, en la mayor cantidad de puntos, el efluente del filtro E1 presenta una menor concentración de DBO₅ Particulada que el filtro E2, esto podría justificar, porque a lo largo de evaluación el PH generado por el filtro E1 es superior al filtro E2; sin embargo, en algunos puntos se verifica que el filtro E2 presenta un efluente de mejor calidad que el filtro E1, esto se podría justificar porque por el mayor número de acondicionamiento producidos en el filtro que se le antepone (M1), es decir se produce una alteración de capa biológica filtro E1 y se disminuye la capacidad de reducción de DBO₅ Particulada.

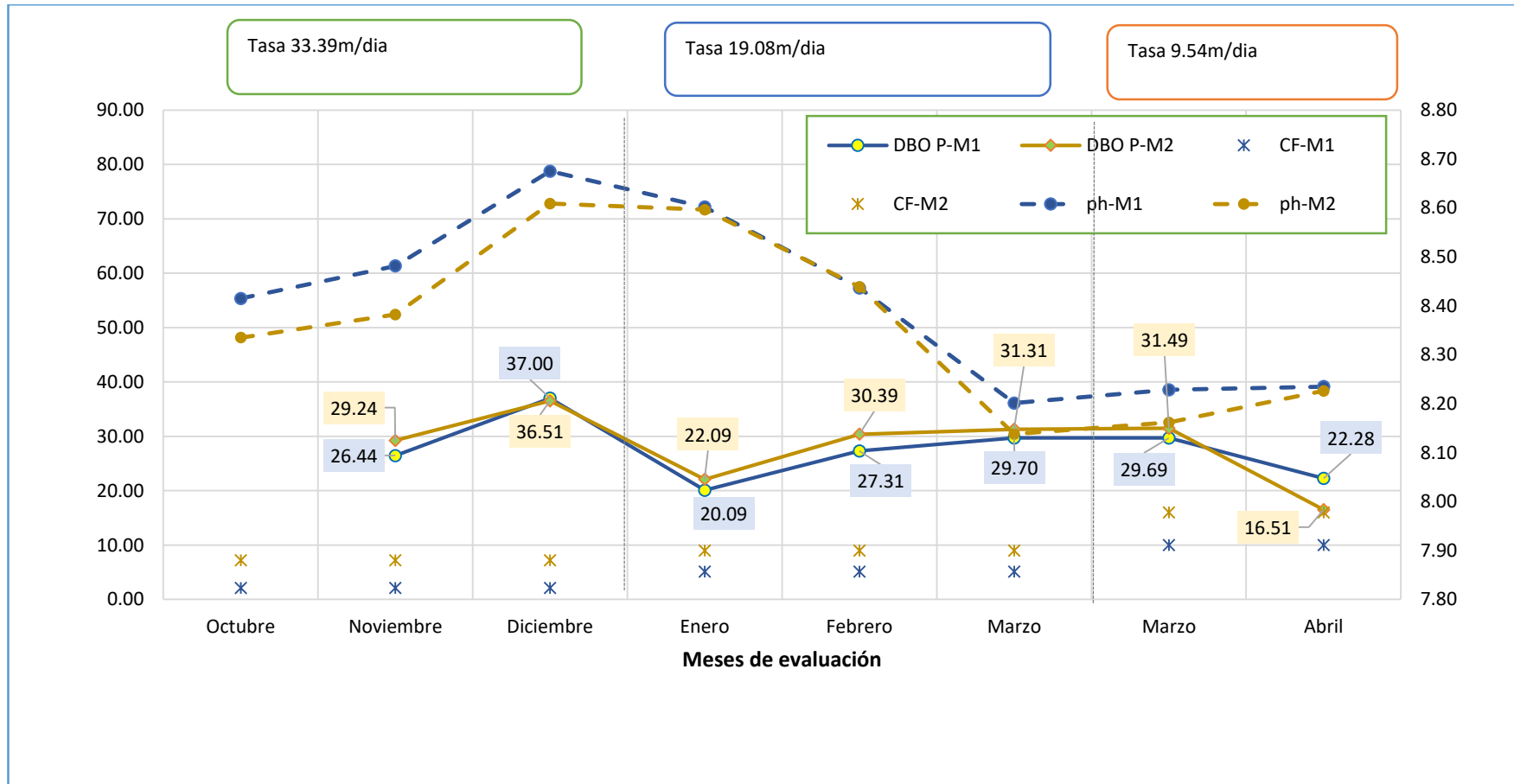


Figura 38: Variación de DBO₅ Particulada en el efluente del primer filtro, de ambos sistema de filtros de arena evaluados (I y II), relacionados con la variación de PH y carrera de filtración (CF).

Nota: M1 (primer filtro de flujo descendente del sistema I); M2 (primer filtro de flujo ascendente del sistema II).



Figura 39: Variación de DBO₅ Particulada en el efluente del segundo filtro, de ambos sistema de filtros de arena evaluados (I y II), relacionados con la variación de PH.

Nota: E1 (segundo filtro de flujo descendente del sistema I); E2 (primer filtro de flujo descendente del sistema II).

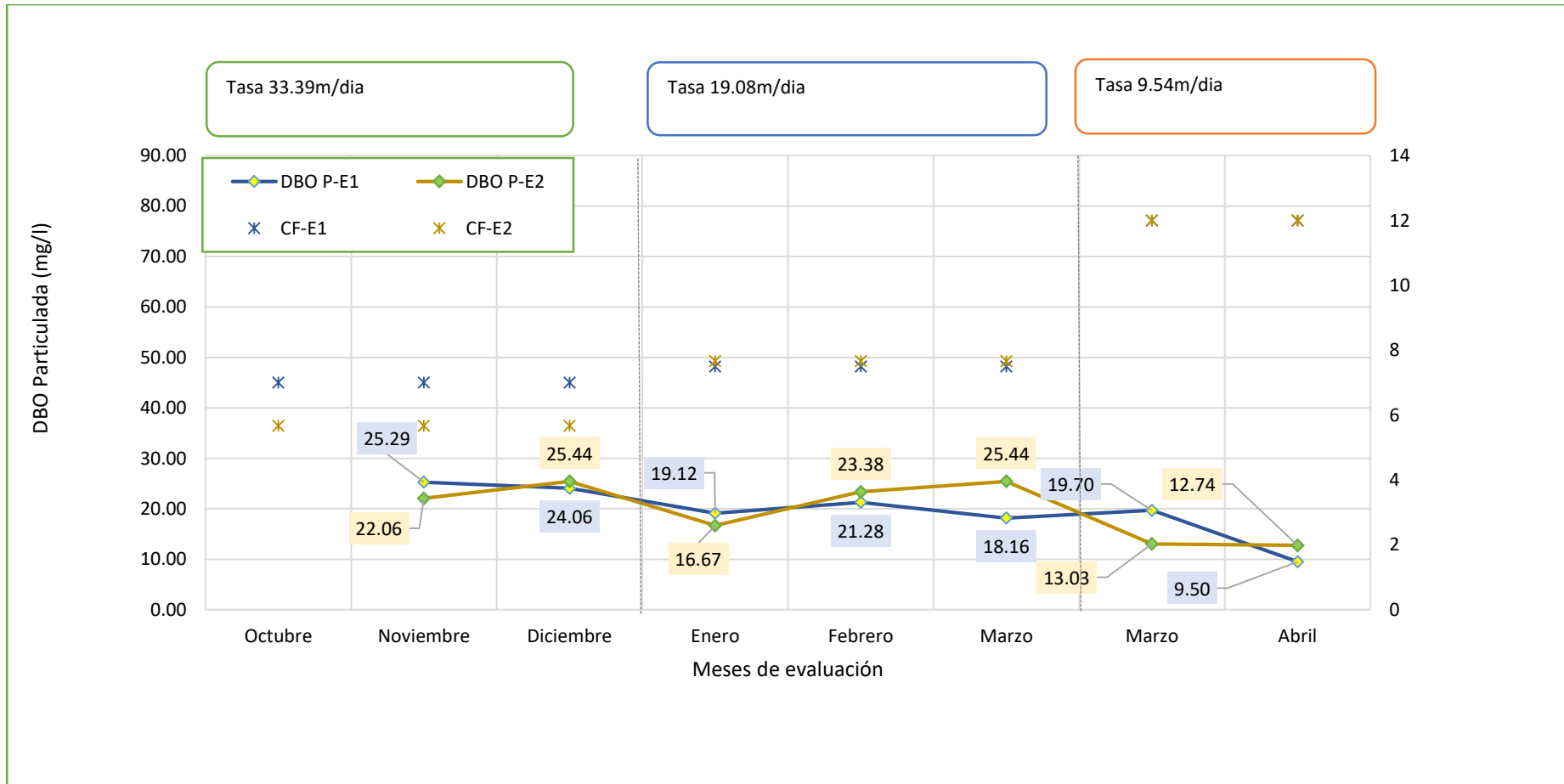


Figura 40: Variación de DBO₅ Particulado en el efluente del segundo filtro, de ambos sistema de filtros de arena evaluados (I y II), relacionados con la variación de carrera de filtración.

Nota: E1 (segundo filtro de flujo descendente del sistema I); E2 (primer filtro de flujo descendente del sistema II).

1.23 Eficiencia de reducción de distintos parámetros evaluados, por tasa de filtración, en los sistemas de filtros de arena en serie (Sistema I y II).

Antes de mostrar los resultados obtenidos de la eficiencia de reducción, se presenta, la relación identificada entre la variación de temperatura, PH y carrera de filtración, para las tres tasas de filtración de 33.39, 19.08 y 9.54 m³/m²xdía.

De la Figura 41 se verifica el incremento superior en la variación de la temperatura, y el PH en el sistema de filtro de arena de flujo descendente-descendente (SI), respecto al sistema de filtro de arena de flujo ascendente-descendente (SII), para la tasa de filtración de 33.39, 19.08 m³/m²xdía, esto se puede justificar por el sentido de flujo del sistema I, que va en orden creciente al tamaño del medio filtrante, lo cual incrementa la oxidación de bioquímica de compuestos orgánicos e intercambio iónico; esto cambia en la tasa de filtración de 9.54 m³/m²xdía, teniendo mayor variación de temperatura en el sistema II, y cierta similitud en el PH, esto se puede justificar por el incremento de la carrera de filtración en los dos filtros del sistema II.

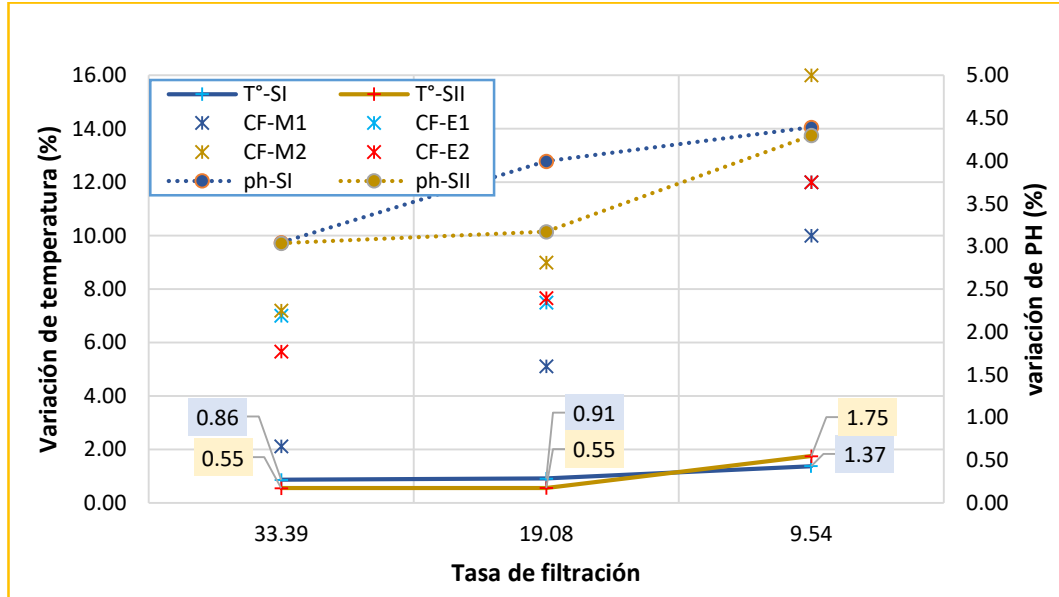


Figura 41: Relación de la variación de temperatura y PH producido, para las tres tasas de filtración evaluadas (33.39,19.08 y 9.54 m³/m²xdía)

Nota: SI (Sistema de filtro de arena de flujo descendente-descendente); SII (Sistema de filtro de arena de flujo ascendente- descendente).

1.23.1 Sólidos suspendidos totales

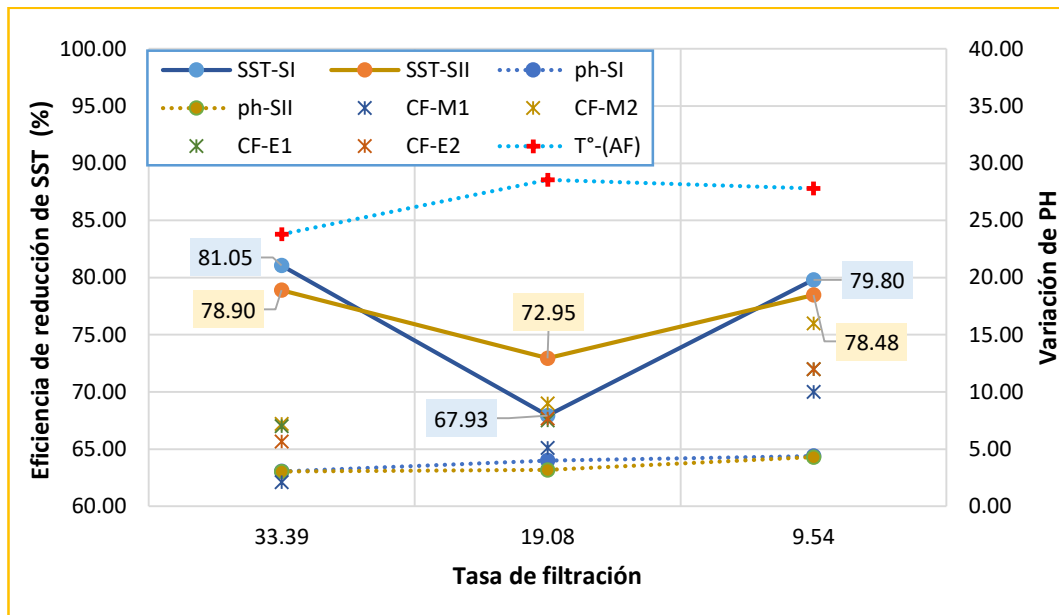


Figura 42: Eficiencia de reducción de SST (%), mostrada en relación a la variación de PH, carrera de filtración (CF), y temperatura del agua residual del afluente (T°-AF).

Nota: SI (Sistema de filtro de arena de flujo descendente-descendente); SII (Sistema de filtro de arena de flujo ascendente- descendente).

La eficiencia de reducción de SST, para la tasa de filtración de 33.39, 19.08 y 9.54 m³/m²xdía, nos muestra que la tendencia de filtración tiende a disminuir para el sistema de filtro de flujo en serie de flujo descendente- descendente (SI) y para el sistema de filtro de arena de flujo ascendente- descendente (SII); teniendo así una eficiencia de reducción de 81.05% y 78.90% respectivamente para la tasa de filtración de 33.39 m³/m²xdía; y una reducción de 67.93 % y 72.95% respectivamente para la tasa de filtración de 19.08 m³/m²xdía; y una reducción de 79.80 y 78.48% respectivamente para la tasa de filtración de 9.54 m³/m²xdía.

La tendencia a disminuir del porcentaje de reducción de sólidos suspendidos totales, se puede justificar, porque la cantidad de sólidos que ingresa en un determinado intervalo de tiempo, varía de acuerdo a la variación de la tasa de filtración; lo cual genera una mayor carrera de filtración y con ello una menor disminución porosidad en el tiempo, por lo cual el filtro presente mejor eficiencia para tasa más altas, a lo largo de sus evaluaciones. Este comportamiento presentado es similar a los resultados obtenidos por (Zahid, 2003), quien obtuvo una eficiencia de 72% para una tasa de 192 m³/m²xdía.

La variación alternada en la eficiencia de reducción de SST, entre el sistema I y II, se debe a la ligera superioridad de PH del SI, y la carrera de filtración del SII. En cuanto a la disminución verificada en ambos sistemas en la tasa de filtración de $19.08\text{m}^3/\text{m}^2\text{xdía}$, se puede justificar por el incremento de la temperatura del afluente, y con ello el incremento de difusión de partículas en el medio filtrante que, si bien contribuyen a una mayor reducción, también influyen en el arrastre de material sólido en el efluente.

1.23.2 Sólidos suspendidos volátiles.

La eficiencia de reducción de SSV, para la tasa de filtración de 33.39 , 19.08 y $9.54\text{m}^3/\text{m}^2\text{xdía}$, nos muestra que la tendencia de filtración tiende a aumentar a medida que disminuye la tasa, tanto para el sistema de filtro de flujo en serie de flujo descendente- descendente (SI) y para el sistema de filtro de arena de flujo ascendente- descendente (SII); teniendo así. una eficiencia de reducción de 79.33% y 78.02% respectivamente para la tasa de filtración de $33.39\text{m}^3/\text{m}^2\text{xdía}$; y 74.76% y 68.82% de reducción, para la tasa de filtración de $19.08\text{m}^3/\text{m}^2\text{xdía}$; y 80.04% y 78.97% de reducción para la tasa de filtración de $9.54\text{m}^3/\text{m}^2\text{xdía}$.

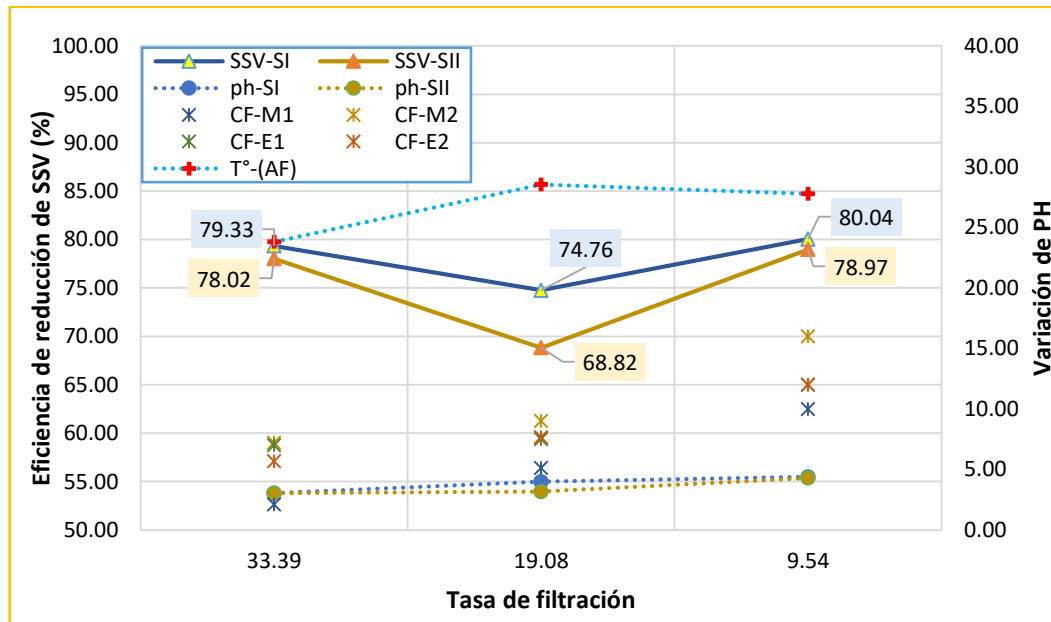


Figura 43: Eficiencia de reducción de SSV (%), mostrada en relación a la variación de PH, carrera de filtración (CF), y temperatura del agua residual del afluente (T°-AF).

Nota: SI (Sistema de filtro de arena de flujo descendente-descendente); SII (Sistema de filtro de arena de flujo ascendente- descendente).

La tendencia aumentar en porcentaje de reducción de sólidos suspendidos volátiles, se puede justificar, por el incremento de temperatura y con ello el incremento de la oxidación bioquímica de compuestos orgánicos, lo cual también se verifica con el incremento de PH.

En cuanto a la variación de la eficiencia, entre ambos sistemas (SI y SII), se puede justificar de la siguiente manera: Para la tasa de filtración de 33.39, 19.08 y 9.54 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{día}$, la superioridad del SI respecto al sistema II, se justifica por el sentido de flujo del sistema I, en sentido creciente a la granulometría, lo cual incrementa el área de contacto con el medio filtrante y con ello la oxidación bioquímica, y el incremento de PH del sistema I. En caso de la disminución producida en ambos sistemas, para la tasa de filtración de 19.08 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{día}$, se puede justificar por incremento de la temperatura del afluente, y con ello el incremento de difusión de partículas en el medio filtrante que, si bien contribuyen a una mayor reducción, también influyen en el arrastre de material sólido en el efluente.

De los antecedentes se tiene que, según (Alsaqqar, Khudair, & Al-Sulaiman, 2018) para un medio filtrante de tamaño efectivo de 0.35mm, y un afluente con una concentración de sólidos suspendidos en el orden de 81.80mg/l se puede llegar a una eficiencia de 62.9% para una carrera de 28 días. Estos resultados nos conllevan a ver que, para una calidad inferior en sólidos suspendidos, y con un tamaño efectivo del medio filtrante dentro del rango de 0.35 a 1mm, se puede obtener una eficiencia superior al 70%, con el implemento de sistemas de filtros de arena en serie, claro está que, en la evaluación realizada, se verifica que el filtro que más trabaja en la reducción de sólidos es el primer filtro de los sistemas.

1.23.3 Turbiedad.

La eficiencia de reducción de la turbiedad, para la tasa de filtración de 33.39, 19.08 y 9.54 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{día}$, nos muestra que la tendencia de filtración tiende a aumentar para el sistema de filtro de flujo en serie de flujo descendente- descendente (SI) y para el sistema de filtro de arena de flujo ascendente- descendente (SII); teniendo así una eficiencia de reducción de 53.93% y 53.47% respectivamente para la tasa de filtración de 33.39 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{día}$; y 65.26% y 60.08% de reducción, para la tasa de filtración de 19.08 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{día}$; y 70.09% y 64.38% de reducción para la tasa de filtración de 9.54 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{día}$.

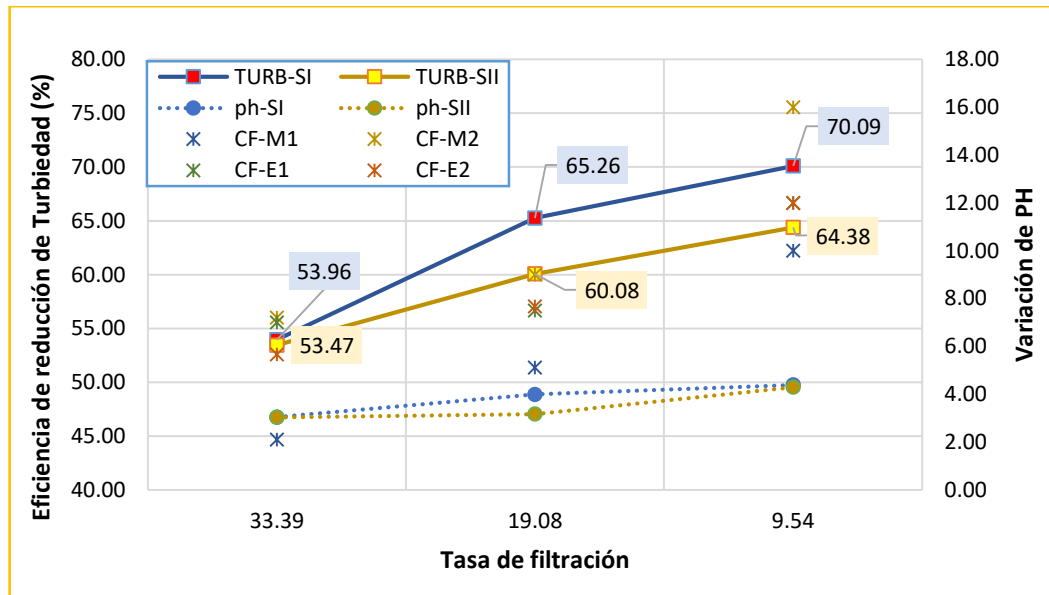


Figura 44: Eficiencia de reducción de Turbiedad (%), mostrada en relación a la variación de PH, carrera de filtración (CF).

Nota: SI (Sistema de filtro de arena de flujo descendente-descendente); SII (Sistema de filtro de arena de flujo ascendente- descendente).

La tendencia aumentar en la eficiencia de reducción de turbiedad, se puede justificar, por el sentido de flujo del sistema I, por la oxidación bioquímica de compuestos orgánico; siendo este último justificado por el incremento de PH, teniendo así mayor eficiencia en el sistema I, para las tres tasas de filtración.

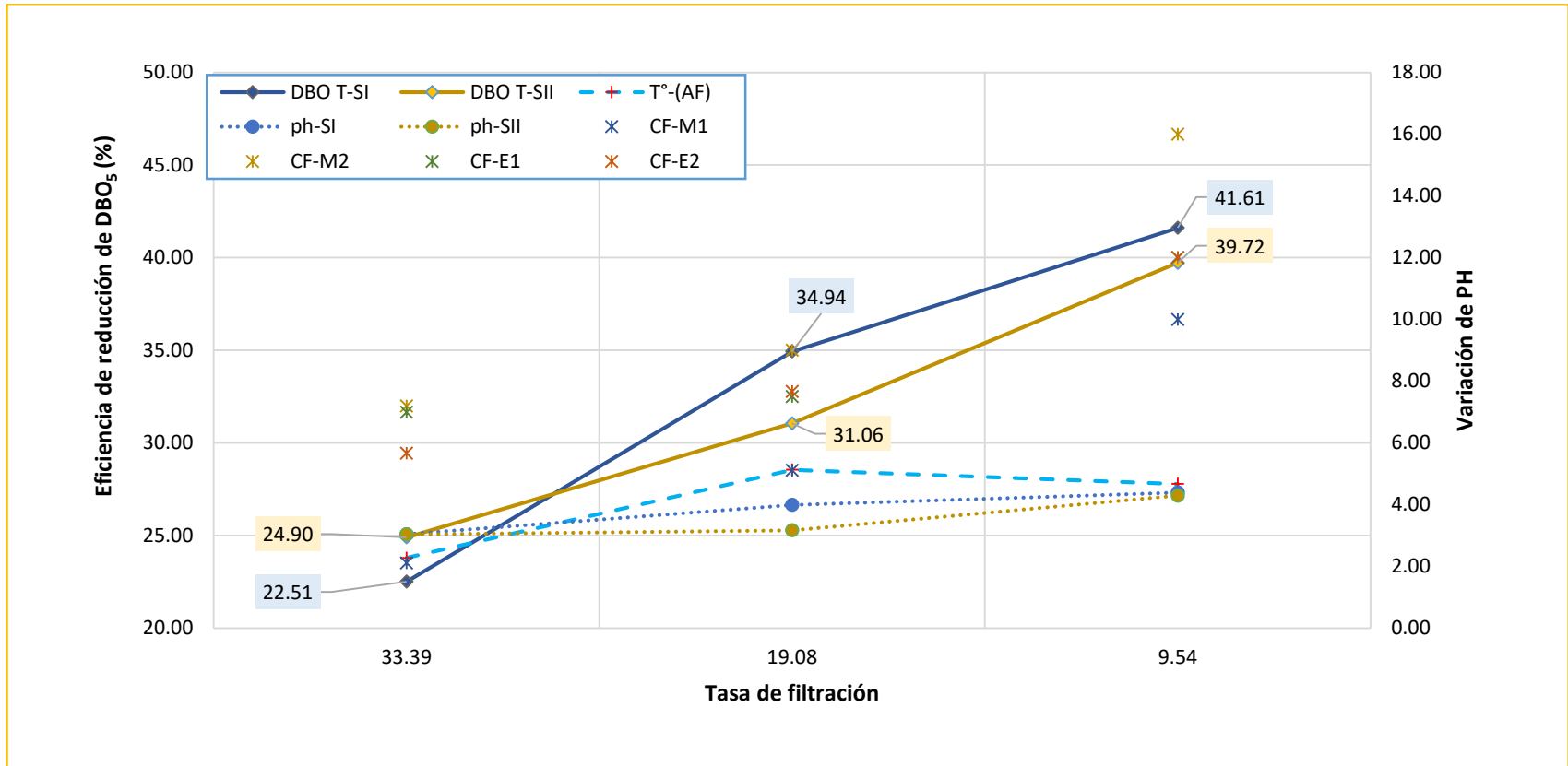
En cuanto a la variación de la eficiencia, entre ambos sistemas (Sistema I y II), se puede justificar de la siguiente manera: Para la tasa de filtración de 33.39, 19.08 y 9.54 $m^3/m^2 \times día$, la superioridad del SI respecto al sistema II, se justifica por el sentido de flujo del sistema I, en sentido creciente a la granulometría, lo cual incrementa el área de contacto con el medio filtrante y con ello la oxidación bioquímica.

1.23.4 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅).

La eficiencia de reducción de la demanda bioquímica de oxígeno aumenta, a medida que se reduce la tasa de filtración, teniendo para el filtro de flujo en serie de flujo descendente- descendente (SI) y para el sistema de filtro de arena de flujo ascendente- descendente (SII); una eficiencia de reducción de 22.51% y 24.90% respectivamente para la tasa de filtración de 33.39m³/m²xdía; y 34.94% y 31.06% de porcentaje de reducción para la tasa de filtración de 19.08m³/m²xdía; y 41.61% y 39.72% de reducción para la tasa de filtración de 9.54m³/m²xdía.

La tendencia aumentar en la eficiencia de reducción de la demanda bioquímica de oxígeno, se puede justificar, por el incremento de la capa biológica y con ello el incremento de oxidación bioquímica de compuestos orgánicos.

En cuanto a la variación de la eficiencia, entre ambos sistemas (SI y SII), se puede justificar de la siguiente manera: Para la tasa de filtración de 33.39m³/m²xdía, donde ambos sistemas presentan la misma variación de PH, se puede justificar la superioridad del SII respecto al sistema I, por carrera de filtración, y para la tasa de filtración 19.08 y 9.54m³/m²xdía, se puede justificar por incremento de PH y temperatura.



1.23.5 Demanda bioquímica de oxígeno particulada.

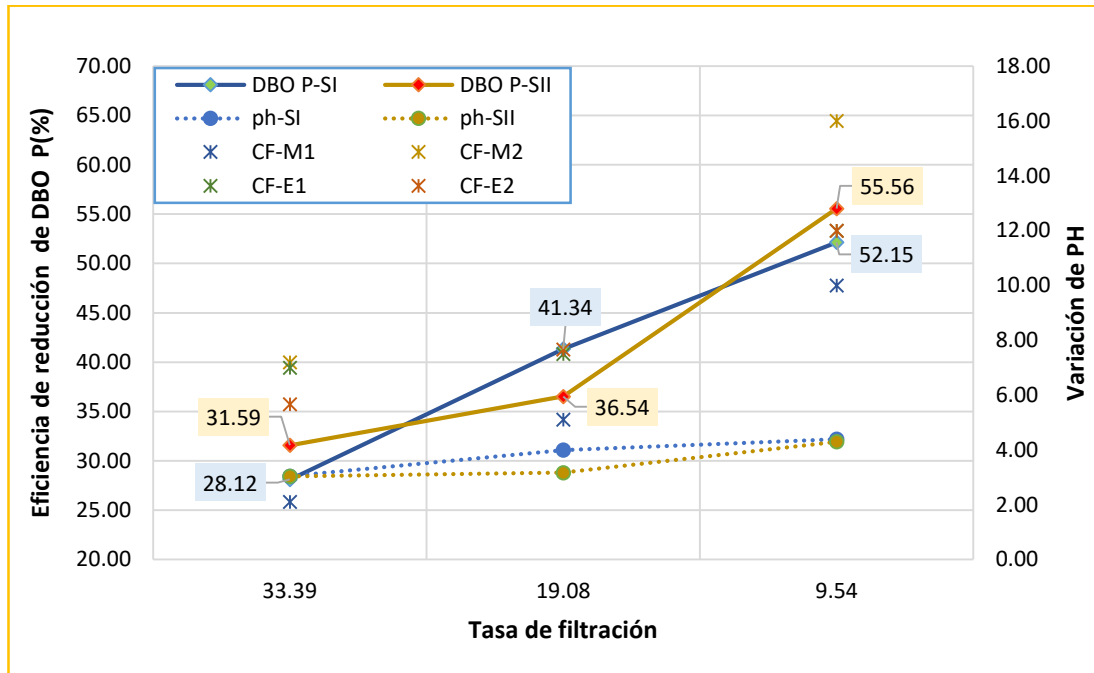


Figura 45: Eficiencia de reducción de DBO₅ Particulada (%), mostrada en relación a la variación de PH, carrera de filtración (CF).

Nota: SI (Sistema de filtro de arena de flujo descendente-descendente); SII (Sistema de filtro de arena de flujo ascendente- descendente).

La eficiencia de reducción de la demanda bioquímica de oxígeno particulada, para la tasa de filtración de 33.39, 19.08 y 9.54m³/m²xdía, nos muestra que la tendencia de filtración tiende a aumentar para el sistema de filtro de flujo en serie de flujo descendente- descendente (SI) y para el sistema de filtro de arena de flujo ascendente- descendente (SII); teniendo así. una eficiencia de reducción de 28.12% y 31.59% respectivamente para la tasa de filtración de 33.39m³/m²xdía; y 41.34% y 36.54% de reducción para la tasa de filtración de 19.08m³/m²xdía; y 52.15% y 55.56% de reducción para la tasa de filtración de 9.54m³/m²xdía.

La tendencia a aumentar en la eficiencia de reducción de la demanda bioquímica de oxígeno particulada, se puede justificar, por el incremento de la capa biológica y con ello el incremento de oxidación bioquímica y PH. En cuanto a la variación de la eficiencia, entre ambos sistemas (SI y SII), se puede justificar de la siguiente manera: Para la tasa de filtración de 33.39m³/m²xdía, donde ambos sistemas presentan la misma variación de PH, se puede justificar la superioridad del SII respecto al sistema I, por carrera de filtración, para la tasa de filtración 19.08 m³/m²xdía, se puede justificar por incremento de PH y temperatura; y para la tasa

de filtración de $9.54\text{m}^3/\text{m}^2\text{día}$, se puede justificar la superioridad del SII, respecto al SI, por su mayor carrera de filtración.

De los antecedentes según (Hamoda, Al-Ghusain, & AL-Mutairi, 2004) para un medio filtrante de tamaño efectivo de 0.5 a 1mm, y un afluente de 9.1mg/l, se llega una eficiencia de reducción de 54%. Esto resultados nos conllevan a ver que, para una calidad de DBO_5 promedio de 77mg/l, y con un tamaño efectivo de 0.45 a 65mm, se puede obtener una eficiencia de 42%, para una tasa de filtración de $9.54\text{m}^3/\text{m}^2\text{día}$, es decir se puede llegar a mejorar la eficiencia de reducción de afluentes con concentraciones altas, e incluso mejorando el tamaño efectivo de la granulometría que nos permita tener periodos largos.

1.24 Resumen de la eficiencia de reducción.

A continuación, se presenta un resumen de las eficiencias de reducción obtenidas de todos los parámetros evaluados.

De la Figura 46, se tiene que, no existe diferencia significativa en la reducción de sólidos suspendidos totales y volátiles, entre ambos sistemas, claro está que sí, se verifica un ligero incremento a medida que se reduce la tasa de filtración. En cuanto a la eficiencia de reducción de los parámetros de DBO_5 , DBO_5 -Particulada y turbiedad, si se verifica que existe un incremento de la reducción a medida que se reduce la tasa de filtración.; así mismo, se verifica que el sistema I, presenta superioridad sobre el sistema II.

En ese sentido en caso se define la eficiencia de un sistema por su calidad de agua filtrada, se podría indicar que, la tasa de filtración de $9.54\text{m}^3/\text{m}^2\text{día}$ presenta una mejor eficiencia; sin embargo, si el sistema de filtro de arena se evalúa por su calidad de agua producida, la cantidad de agua utilizada para el lavado del filtro y cantidad de agua producida, se podría decir que, la mejor tasa de filtración es $19.08\text{m}^3/\text{m}^2\text{día}$, dado que, a una menor tasa de filtración se necesita una mayor presión de agua de grifo para el lavado.

Asimismo, se verifica que, el sistema que mejor comportamiento tiene es el SI, verificando que para la tasa de filtración de $9.54\text{m}^3/\text{m}^2\text{día}$, presenta una buena eficiencia de reducción para la reducción de sólidos y materia orgánica; sin embargo, es importante añadir que dicha tasa se podría descartar en trabajar por un tema de mantenimiento, dado que, la presión de lavado es superior a la tasa $19.08\text{m}^3/\text{m}^2\text{día}$, por lo cual la tasa efectiva es de $19.08\text{m}^3/\text{m}^2\text{día}$.

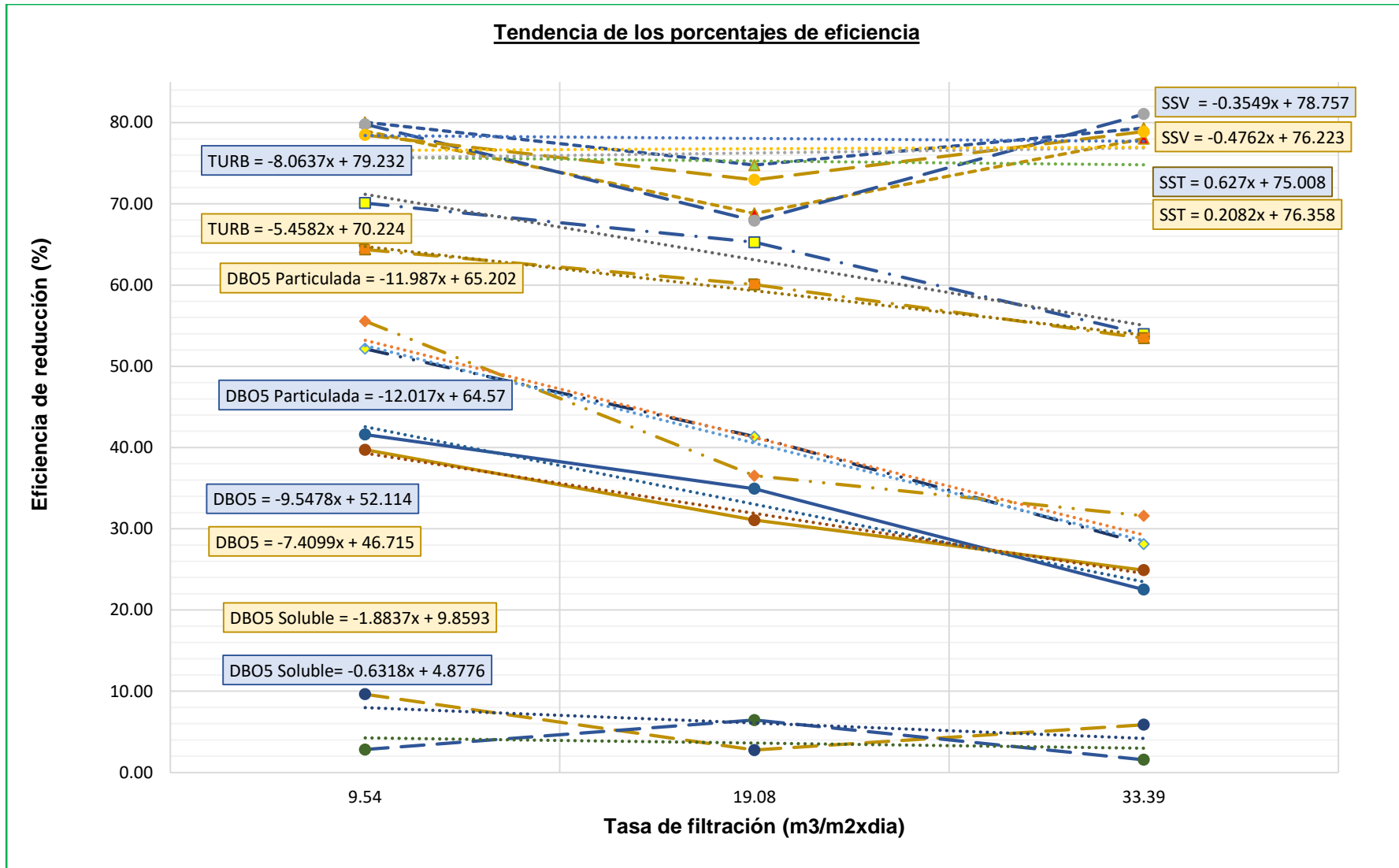


Figura 46: Comparación de la eficiencia de reducción de todos los parámetros evaluados.

Nota: SI (Sistema de filtro de arena de flujo descendente-descendente); SII (Sistema de filtro de arena de flujo ascendente- descendente).

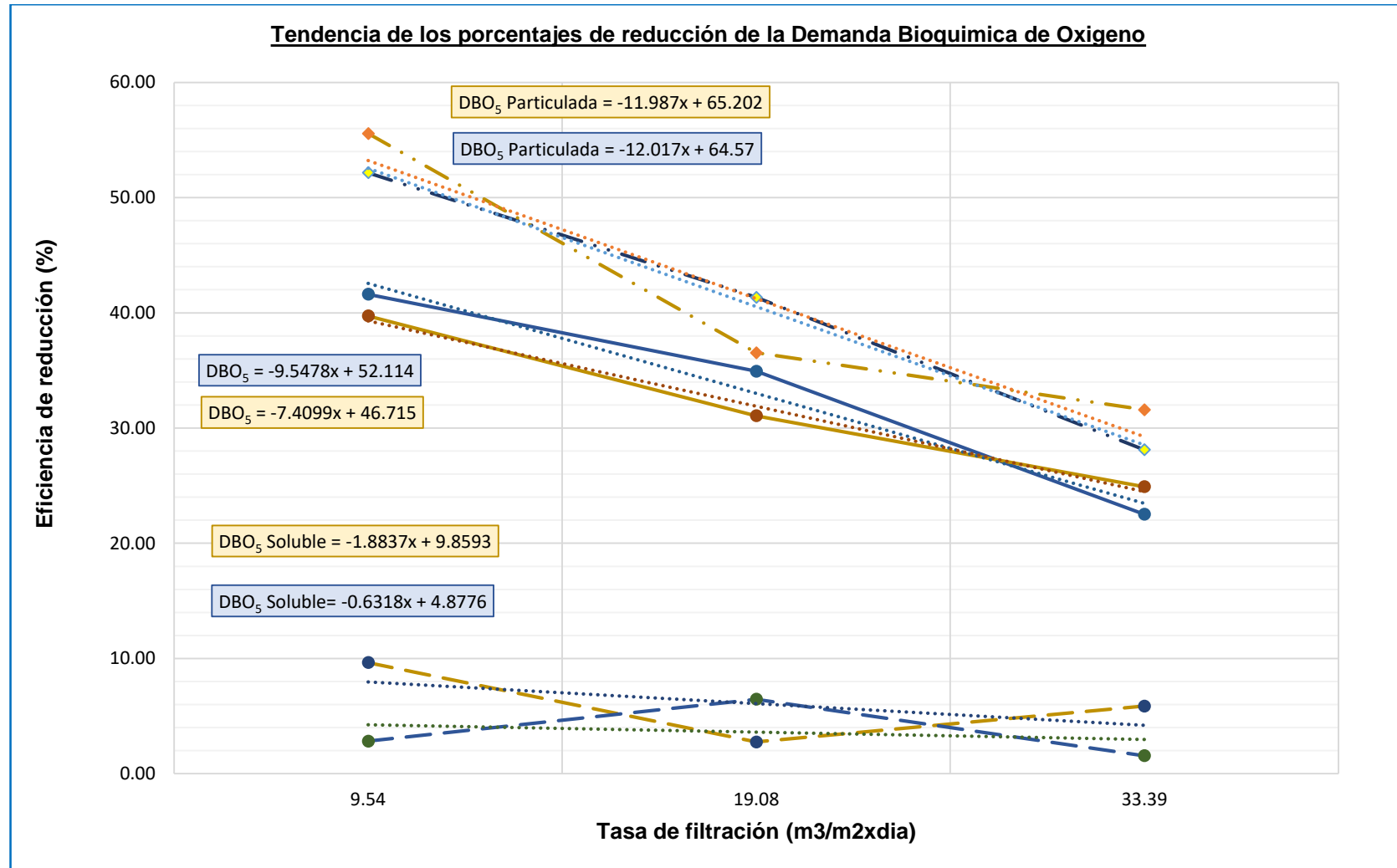


Figura 47: Comparación de la eficiencia de reducción de DBO₅, DBO₅ Particulada y DBO₅ Soluble

Nota: SI (Sistema de filtro de arena de flujo descendente-descendente); SII (Sistema de filtro de arena de flujo ascendente- descendente).

De la Figura 47 se tiene que el porcentajes de reducción de DBO_5 , DBO_5 Particulada y DBO_5 Soluble, aumenta a medida que se reduce la tasa de filtración, teniendo una tendencia de crecimiento más significativa a producirse, en los sistemas de filtros de arena en serie, en correspondiente a la DBO_5 Particulada; mientras que en caso de la DBO_5 Soluble, la tendencia de crecimiento no es tan significativa, esto nos indica que la justificación de la reducción de materia orgánica producida por un incremento de PH, por oxidación bioquímica e intercambio iónico es menos incidente que el mecanismo de retención, producido por la porosidad del medio filtrante.

1.25 Relación de la eficiencia de reducción de materia orgánica y la capa biológica formada en el medio filtrante.

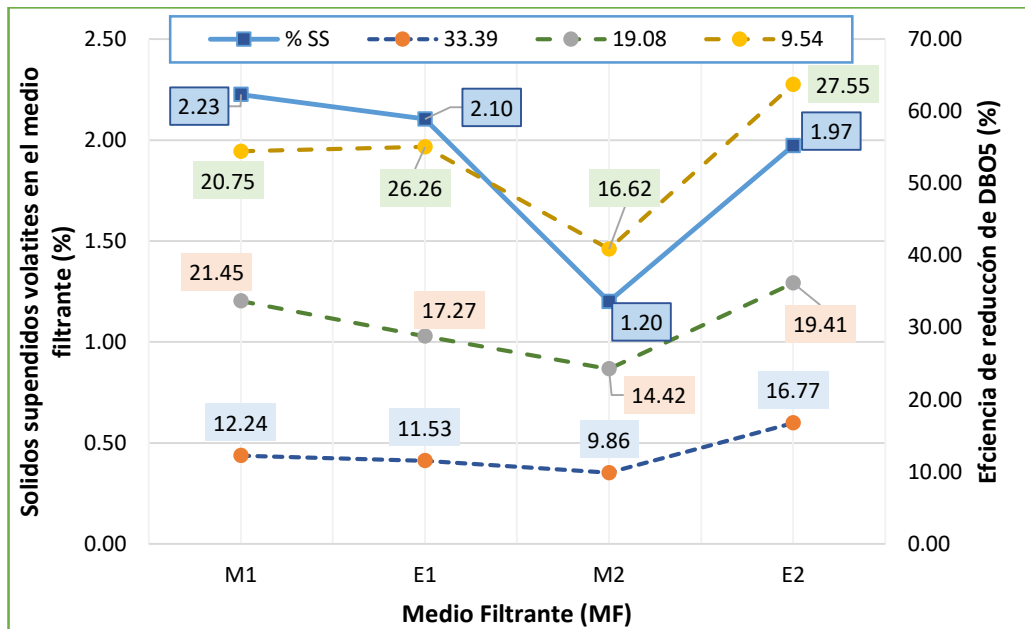


Figura 48: Relación de la eficiencia de reducción de materia orgánica, y sólidos suspendidos volátiles identificados en el medio filtrante (%SS).

De la Figura 48, se tiene que la reducción de la materia orgánica, medida a partir de la DBO_5 , nos muestra la relación directa con la formación de la capa sólidos volátiles identificados en el medio filtrante, para cada filtro involucrado en los sistemas de filtración en serie, esto nos conlleva a concluir que, la identificación de la capa biológica en el medio filtrante, si influye en la eficiencia de la reducción la materia orgánica.

CAPITULO VII

CONCLUSIONES

1. De la evaluación del afluente UASB, UASB-diluido y UASB-Tanque Séptico, en el sistema de filtro de arena en serie, para una tasa de filtración de $33.39\text{m}^3/\text{m}^2\text{xdía}$, el porcentaje de reducción de turbidez fue de 21.97%, 66.30% y 57.90%, y la carrera fue de filtración fue de 2, 5 y 4 días respectivamente para cada afluente; de los resultados obtenidos y de su representatividad de agua residual, se optó por evaluar los sistemas, el afluente UASB-Tanque séptico para tres tasas de filtración 33.39 , 19.08 y $9.54\text{ m}^3/\text{m}^2\text{xdía}$.
2. En los sistemas de filtros de arena en serie evaluados, el PH del agua residual se incrementa a medida que atraviesa los filtros de arena, teniendo así para la tasa de filtración 33.39 , 19.08 y $9.54\text{m}^3/\text{m}^2\text{xdía}$ una variación de PH del afluente de 8.28, 8.27, 8.04 a un efluente de 8.52 y 8.54, 8.60 y 8.53, 8.39 y 8.39, en el SI y SII respectivamente para cada tasa, lo cual se podría justificar por la interacción del medio filtrante y el agua residual.
3. En los sistemas de filtros de arena en serie, la temperatura del agua residual disminuye a medida que atraviesa los filtros de arena, teniendo así para la tasa de filtración 33.39 , 19.08 y $9.54\text{m}^3/\text{m}^2\text{xdía}$ una variación de temperatura del afluente de 23.24, 28.67, 27.93°C a un efluente de 22.38 y 22.88, 27.76 y 28.09, 26.74 y 26.45, en el SI y SII, respectivamente para cada tasa, lo cual se podría justificar por el cambio de almacenamiento del agua, del tanque al medio filtrante.
4. La carrera de filtración de los filtros de arena aumenta a medida que disminuye la tasa de filtración, teniendo así una carrera de 2,7,6,7días, y 5,8,8 y 9días, y 10,12,12 y 16 días para el filtro M1, E1, M2 y E2 respectivamente, para una tasa de filtración de 33.39 , 19.08 y $9.54\text{ m}^3/\text{m}^2\text{xdía}$, esto se puede justificar por la variación de la cantidad de solidos que ingresa a medida que disminuye tasa de filtración.

5. El porcentaje de reducción de DBO_5 , en ambos sistemas, tiende a aumentar a medida que se reduce la tasa de filtración y aumenta la carrera de filtración, teniendo así un porcentaje de reducción de 22.51% y 24.90%, 34.94% y 31.06%, 41.61% y 39.72%, en el SI y SII, para la tasa de filtración de 33.39, 19.08 y $9.54\text{m}^3/\text{m}^2\text{día}$ respectivamente, esto se puede justificar por la posibilidad de un proceso biológico.
6. La reducción de la DBO_5 , DBO_5 soluble, se encuentra relacionada con la variación de PH, temperatura del afluente y la carrera de filtración, tendiendo una mayor reducción de DBO_5 , DBO_5 soluble, a medida que el efluente presente un incremento de PH, una temperatura más alta del afluente y un aumento en la carrera de filtración, las cuales se podrían justificar por la posibilidad de la formación de una capa biológica, por las condiciones favorable de PH, Temperatura y tiempo de retención hidráulico.
7. De los mecanismos presentes en los sistemas de filtros de arena, y que influyen en la reducción de materia orgánica, tal como el mecanismo físico y biológico, podemos concluir que el más incidente es el mecanismo físico, siendo esto justificado por la tendencia de curva obtenida en el porcentaje de reducción de la DBO_5 Soluble y DBO_5 particulada que se muestra en la Figura 47.
8. Los sistemas de filtros de arena en serie presentan una relación inversa entre el porcentaje de reducción de los parámetros de DBO_5 , DBO_5 soluble, SSV, y la tasa de filtración, lo cual nos permite concluir que es más factible trabajar con bajas tasas de filtración; sin embargo, por la operación y mantenimiento de dichos sistemas es importante tener en cuenta la calidad del afluente.
9. No se llegó a conseguir el porcentaje de reducción de materia orgánica planteada en la hipótesis. El porcentaje de reducción más alto fue 42%, para una tasa de filtración $9.54\text{m}^3/\text{m}^2\text{día}$ en el sistema de filtro de arena en serie de flujo descendente-descendente.

10. La cantidad de solidos generados, durante la operación de los filtros involucrados en ambos sistemas, tiende a aumentar a medida que disminuye la tasa de filtración, pero esto disminuye al ser evaluado por mes, dado que las carreras se incrementan, teniendo así para el filtro M1, M2, E1 y E2 una cantidad de solidos generados de 100,28,11,9; y 80,12,8,8; y 56,6,5,5mg/l por mes para la tasa de 33.39, 19.08 y 9.54 m³/m²xdía respectivamente.
11. De los sistemas de filtros de arena en serie evaluados, a partir de la calidad del efluente, se tiene que, el sistema de filtro de arena en serie de flujo descendente-descendente es más eficiente para la tasa de filtración de 9.54m³/m²xdía, llegando a tener una eficiencia de reducción de DBO₅ de 41.62%, DBO₅ Particulada de 52.15%, SST de 79.80%, SSV de 80.04% y turbiedad de 70.09%, siendo esto justificada por orientación del sentido.
12. De los sistemas de filtros de arena en serie evaluados, por la cantidad de agua utilizada para su lavado, cantidad de solidos generados por mes y la cantidad de agua filtrada generada, se tiene que, la tasa de filtración de 19.08 m³/m²xdía es más recomendable de trabajar, siendo esto justificada por facilidad de operación.
13. De acuerdo a la investigación de (Hamoda, Al-Ghusain, & AL-Mutairi, 2004) para un medio filtrante de tamaño efectivo de 0.5 a 1mm, y un afluente con una DBO₅ de 9.1mg/l, se llega a una eficiencia de reducción de 54%, y según (Rosas Bustamante & Ugaz Saabedra, 2014), para un medio filtrante de tamaño efectivo de 0.45 a 0.65mm, y un afluente con una DBO₅ de 95mg/l se puede llegar a una eficiencia de 70% para una tasa de filtración de 95.39m³/m²xdía, y en la presente investigación para un sistema de filtro de arena en serie de tamaño efectivo de 0.45 a 0.65mm, se puede obtener una eficiencia de 42%, para una tasa de filtración de 9.54m³/m²xdía.

CAPITULO VIII

RECOMENDACIONES

1. Evaluar los sistemas de filtros de arena en serie, después de aquellos procesos que generen material particulado, tales como los Filtro percoladores, Lodos Activados, biodiscos y DHS, dado que en dichos sistemas tiende a priorizar el mecanismo físico.
2. Investigar en los sistemas de filtros de arena en serie, distintas tasas de filtración, donde se pueda tener un tiempo de retención alto, hasta casi tener un comportamiento de un filtro lento, y de ese modo nos permita evaluar el comportamiento de un proceso biológico.
3. Evaluar en los sistemas de filtros de arena en serie, la interacción del intercambio iónico que se da entre el medio filtrante y el agua residual, dando posibilidad a mejorar el proceso biológico debido al incremento de PH.
4. Incrementar las dimensiones del medio filtrante, para evaluar menores tasas de filtración, dado que en la presente investigación se tuvo deficiencias en la operación de los sistemas de filtros de arena en serie, para la menor tasa evaluada ($9.54\text{m}^3/\text{m}^2\text{xdia}$), y con la que obtuvo mayores eficiencias de reducción de materia orgánica.

CAPITULO IX

Bibliografía

- Alsaqqar, D. A., Khudair, D. B., & Al-Sulaiman, D. A. (2018). Slow sand filtration as a tertiary treatment for the secondary effluent from treatment plant. *Association of Arab university Journal of Engiennering Sciences*, 169-179.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, A. W. (1992). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Madrid, España: Diaz Santos, S.A.
- Arboleda Valencia, J. A. (1972). *Teoría, diseño y control de los procesos de clarificación de agua*. Lima.
- Eddy, & Metcalf. (2014). *Wastewater Engineering Treatment and Resource Recovery*. New York, NY: Mc Graw Hill Education.
- Hamoda, M., Al-Ghusain, & AL-Mutairi, N. (2004). Sand filtration of wastewater for tertiary treatment and water reuse. *Desalination*, 203-211.
- Latrach, L., Naaila Ouazzani, Tsugiyuki Masunaga, Abdessamad Hejjaj, Khadija Bouhoum, Mustapha Mahi, & Laila Mandi. (2016). Domesctic wastewater disinfection by combined treatment using multi-soil-layering system and sand filters (MSL-SF): A laboratory pilot study. *Ecological Engineering*, 294-301.
- Lazares, W. G. (2006). Análisi Granulométrico. *Taller básico de mecánica de suelos*. Lima.
- M.F.Hamoda, I. A.-G.-M. (2004). Sand filtration of wastewater for tertiary treatment and water reuse. *ELSEVIER*, 203-211.
- Metcalf, & Eddy, INC. (1995). *Tratamiento, Verito y reutilizacion*. Madrid: McGraw-Hill.
- Romero, J. (2004). *Tratamiento de Aguas residuales*. Colombia: Escuela Colombiana.
- Rosas Bustamante, R. M., & Ugaz Saabedra, J. M. (2014). *Tratamiento de aguas residuales por medio de filtros de arena para la remoción de coliformes termotolerantes*. Lima.
- Tebbutt, T. (1970). An investigation into tertiary treatment by rapid filtration. *Water Research Pergamon Press 1971*, 81-92.
- Tebbutt, T. (1971). An Investigation into Tertiary Treatment by Rapid Filtration. *Department of Civil Engineering, University of Brimingham, Brimingham*, 91-92.
- Yactayo, V. M. (2004). *Plantas de filtración rápida*. Lima.

Zahid, W. M. (2003). Tertiary Filtration of Wastewater Using Local Sand. *Civil Engineering Department. College of Engennering King Saud University, P.O.Bax 800-Riyadh 11421, Saudi Arabia, 23-36.*

ANEXOS

ANEXO N° 1: “Sistema del Reactor UASB-Tanque séptico, y sistema de bombeo del Efluente del UASB-Tanque séptico”.



Figura 49: Reactor UASB-Tanque séptico de CITRAR

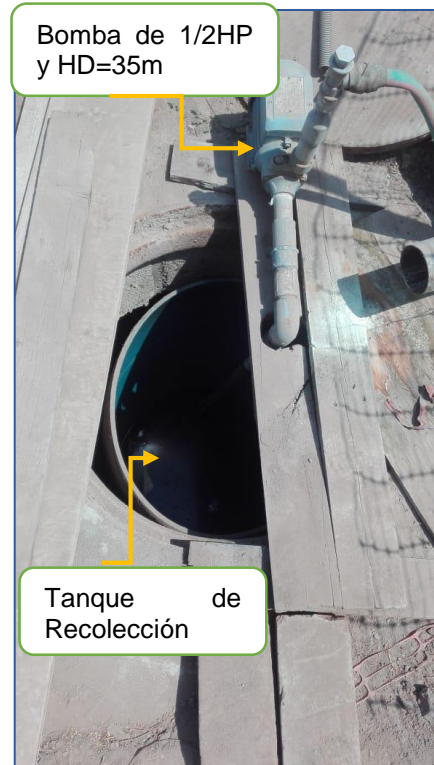


Figura 50: Sistema de bombeo del Tanque de recolección

El UASB-Tanque séptico mostrado en la Figura 49, fue operado durante los meses de evaluación del filtros de arena escala piloto, con un caudal de 2.5L/s con un TRH de 20 horas.

El efluente de dicho tanque fue recolectado en un tanque de 200L, para posteriormente ser bombeada al tanque de abastecimiento de los filtros de arena, tal como se muestra en la Figura 50.

ANEXO N° 2 “Sistemas de Filtro de Arena en serie (Sistema I y II)”

El sistema de filtro de Arena en serie de flujo descendente-descendente, está conformado por dos filtros, el primero de flujo descendente y profundidad de lecho convencional de 600mm(SI-F1); y el segundo de flujo descendente de lecho reducido de 300mm (SI-F2).

El filtro de Arena en serie de flujo ascendente-descendente, está conformado por dos filtros en serie, el primero de flujo descendente y profundidad de lecho convencional de 600mm(SI-F1); y el segundo de flujo ascendente de lecho reducido de 300mm (SI-F2), tal como se muestra en la siguiente figura.

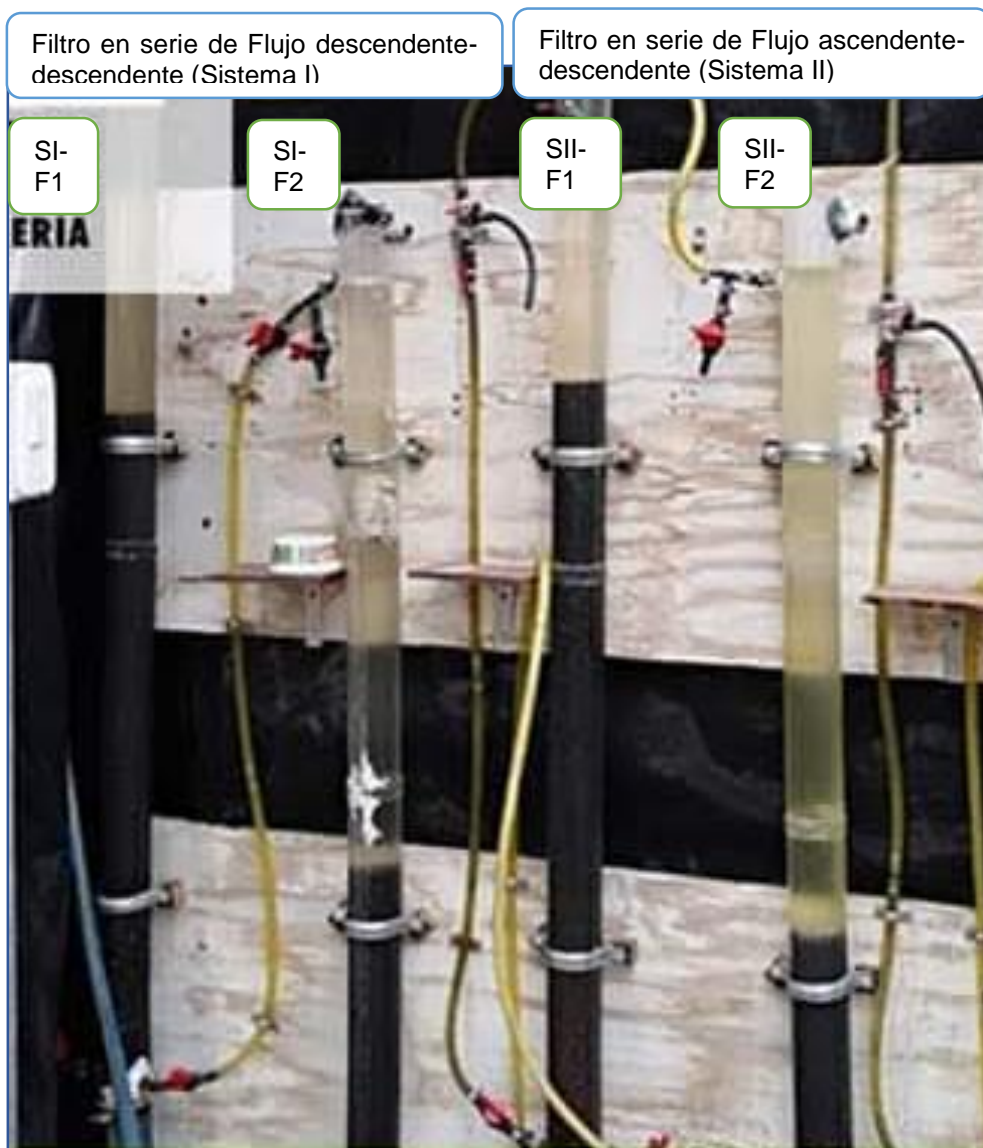


Figura 51: Sistemas de filtro en serie (Sistema I y II).

ANEXO N° 3 “Pruebas preliminares de ubicación de Filtros de Arena en serie”

El desarrollo de las pruebas preliminares se hizo mediante una instalación previa de los filtros en serie, adosados a una tarima de 2m de alto, con un medio filtrante similar al de los antecedentes. Para lo cual e ubico los filtros en serie con una diferencia de altura, uno respecto de la otro, de 10 a30cm; así mismo, se hizo la interconexión de los filtros en serie para simular al sistema con flujo descendente-descendente y flujo descendente-ascendente, tal como se muestra en la siguiente figura.



Figura 52: Pruebas preliminares de los Sistemas de Filtros en Serie

ANEXO N° 4 “Construcción del Sistema de Filtros en Serie”.

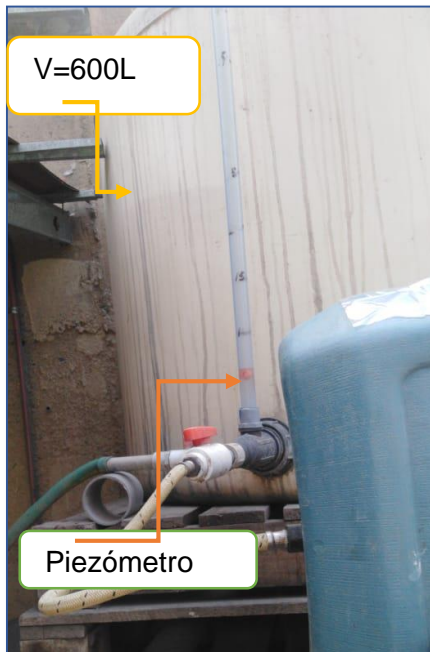


Figura 53: Sistema de Almacenamiento



Figura 54: Válvula flotadora



Figura 55: Sistema de regulación.

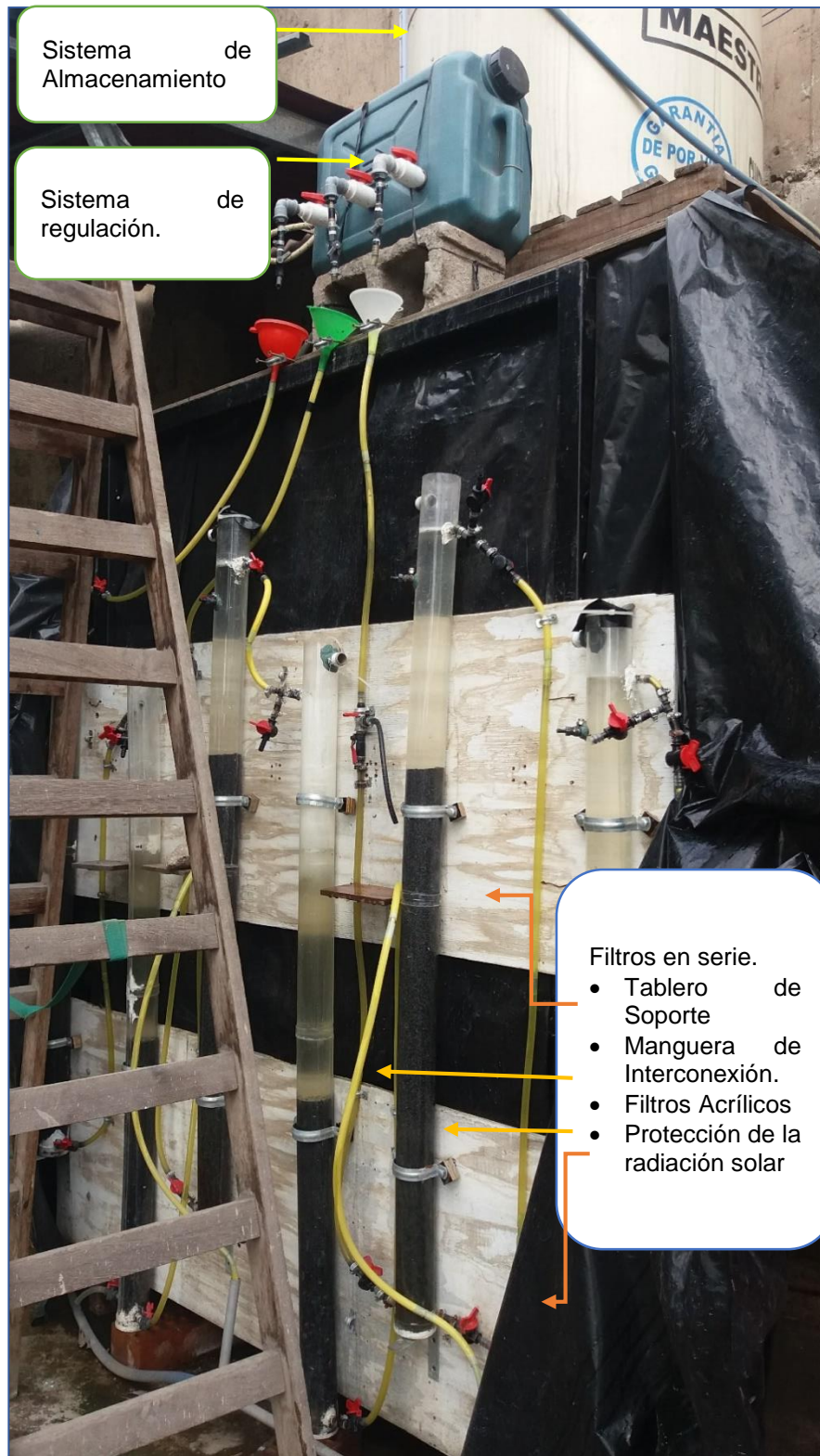


Figura 56: Sistema de Filtros de Arena en Serie

ANEXO N° 5 “Características Granulométricas del medio filtrante”.

Para definir la granulometría se siguió los pasos establecido en (Lazares, 2006).

1. Recolección del medio Filtrante: El medio filtrante y de soporte, fue recolectado del Rio Rimac (Altura del Puente Carapongo), y fue seleccionado teniendo como referencia el tamaño efectivo recomendado por los antecedentes.



Figura 57: Recolección de Arena de Rio



Figura 58: Selección de Arena

1. Lavado y Secado de la Arena recolectada.



Figura 59: Lavado y Secado de la Arena recolectada

2. Tamizado de la Arena: Una vez seleccionado y lavado, el tamaño aproximado de medio filtrante a utilizar, se procedió a tamizar la arena, con la finalidad de conseguir las características técnicas tanto en Coeficiente de Uniformidad y Tamaño Efectivo, indicado en los antecedentes.



Figura 60: Secado de la Arena



Figura 61: Tamizado de muestra de Arena.



Figura 62: Zarandeo durante un intervalo de veinte minutos



Figura 63: pesado del material retenido en cada tamiz

3. Determinación del Coeficiente de Uniformidad y Tamaño Efectivo.

Coeficiente Uniformidad (Cu): En relación con el porcentaje (en peso acumulado) que pasa por las mallas de una serie granulométrica, el coeficiente de uniformidad es igual a la relación entre el tamaño efectivo de los granos correspondiente a 60% y el tamaño de granos correspondiente a 10% (Yactayo, 2004, pág. 118).

Tamaño Efectivo (Te): En relación con el porcentaje (en peso acumulado) que pasa por las mallas de una serie granulométrica, el tamaño efectivo se refiere al tamaño de grano correspondiente al porcentaje de 10% (Yactayo, 2004, pág. 117)

- Medio Filtrante de Lecho Convencional.

Se determina el porcentaje en peso de arena retenido en cada malla, durante el tamizado, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 18: Material retenido en las mallas de tamizado-Filtro Convencional

Tamiz	Diámetro		Peso retenido		Porcentaje	
	Malla N°	(Pulg)	(mm)	(g)	(%)	Retenido
8	0.094	2.38	0	0.00%	0.00%	100.00%
10	0.079	2	0	0.00%	0.00%	100.00%
12	0.066	1.68	0	0.00%	0.00%	100.00%
14	0.056	1.41	0	0.00%	0.00%	100.00%
16	0.047	1.19	0	0.00%	0.00%	100.00%
18	0.039	1	2.74	31.93%	31.93%	68.07%
20	0.033	0.84	2.3	26.81%	58.74%	41.26%
25	0.028	0.71	1.93	22.49%	81.24%	18.76%
30	0.023	0.59	1.61	18.76%	100.00%	0.00%
35	0.02	0.5	0	0.00%	100.00%	0.00%
40	0.017	0.42	0	0.00%	100.00%	0.00%
50	0.012	0.3	0	0.00%	100.00%	0.00%
70	0.008	0.21	0	0.00%	100.00%	0.00%
100	0.006	0.15	0	0.00%	100.00%	0.00%
140	0.004	0.1	0	0.00%	100.00%	0.00%
200	0.003	0.07	0	0.00%	100.00%	0.00%
FONDO			0	0.00%		
			8.58	100.00%		

Fuente 1: Elaboración propia

En función a porcentaje en peso retenido, se evalúa el porcentaje de arena que pasa por cada diámetro de abertura de malla, mediante el uso de la curva granulométrica:

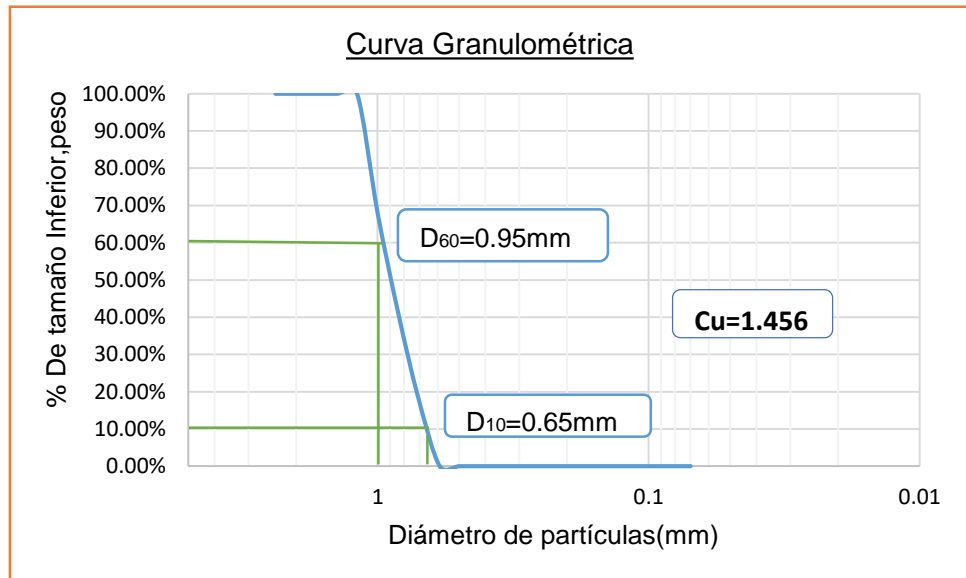


Figura 64: Determinación del Tamaño efectivo (D60 y D10), para lecho convencional

De los valores determinados a partir de la curva granulométrica, mostrada en la Figura 64 se determina el Coeficiente de uniformidad ($D_{60}/D_{10} = 1.45$), y tamaño efectivo ($D_{10} = 0.65$).

- Medio Filtrante de Lecho Reducido.

Se determina el porcentaje en peso de arena retenido en cada malla, obteniendo los siguientes resultados, tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 19: Material retenido en las mallas de tamizado-Filtro Reducido

Tamiz Malla N°	Diámetro		Peso retenido		Porcentaje	
	(Pulg)	(mm)	(g)	(%)	Retenido	Pasa
8	0.094	2.38	0	0.00%	0.00%	100.00%
10	0.079	2	0	0.00%	0.00%	100.00%
12	0.066	1.68	0	0.00%	0.00%	100.00%
14	0.056	1.41	0	0.00%	0.00%	100.00%

Tamiz Malla N°	Diámetro		Peso retenido		Porcentaje	
	(Pulg)	(mm)	(g)	(%)	Retenido	Pasa
16	0.047	1.19	0	0.00%	0.00%	100.00%
18	0.039	1	0	0.00%	0.00%	100.00%
20	0.033	0.84	0	0.00%	0.00%	100.00%
25	0.028	0.71	2.716	31.99%	31.99%	68.01%
30	0.023	0.59	2.257	26.58%	58.57%	41.43%
35	0.02	0.5	1.912	22.52%	81.09%	18.91%
40	0.017	0.42	1.606	18.91%	100.00%	0.00%
50	0.012	0.3	0	0.00%	100.00%	0.00%
70	0.008	0.21	0	0.00%	100.00%	0.00%
100	0.006	0.15	0	0.00%	100.00%	0.00%
140	0.004	0.1	0	0.00%	100.00%	0.00%
200	0.003	0.07	0	0.00%	100.00%	0.00%
FONDO			8.491	100.00%		

Fuente 2: Elaboración propia

En función a porcentaje en peso retenido, se evalúa el porcentaje de arena que pasa por cada diámetro de abertura de malla, mediante el uso de la curva granulométrica para lecho educido:

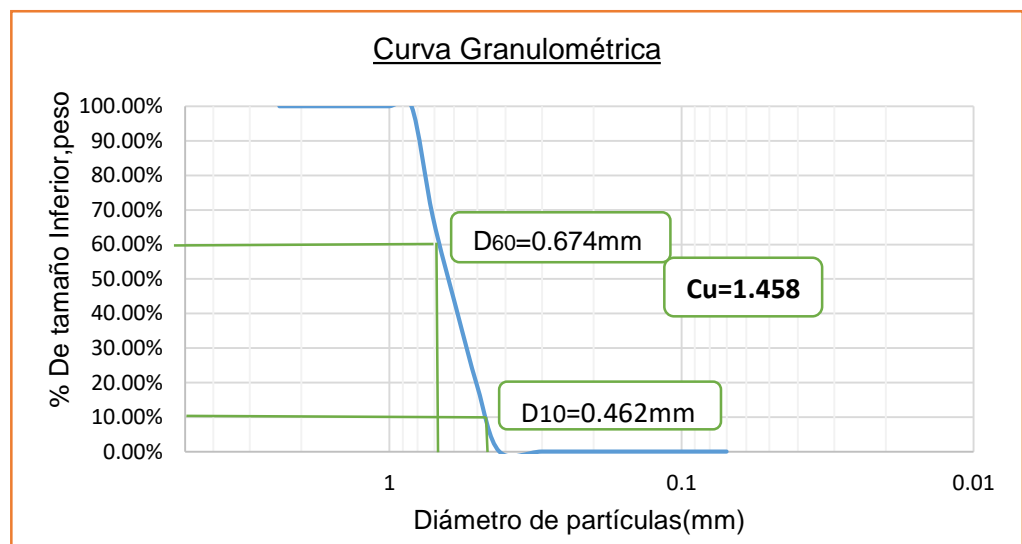


Figura 65: Determinación del Tamaño efectivo (D60 y D10), para lecho reducido.

De los valores determinados a partir de la curva granulométrica, mostrada en la Figura 65, se determina el Coeficiente de uniformidad ($D60/D10 = 1.45$), y tamaño efectivo ($D10=0.46$).

ANEXO N° 6 “Características Granulométricas del medio soporte”

De la misma forma que selección del medio filtrante (indicada en él ANEXO N° 5 “Características Granulométricas del medio filtrante”.ANEXO N° 5), el medio de soporte fue recolectado en el rio, teniendo en consideración el tamaño efectivo de los antecedentes; para posteriormente ser lavado, secado y tamizado con el número de mallas adecuado.



Figura 66: Tamizado de la grava seleccionada.



Figura 67: Granulometría obtenida del tamizado.

De los trabajos anteriormente desarrollados, se procedió a determinar el porcentaje en peso de grava retenido en cada malla, durante el tamizado, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 20: Material retenido en las mallas de tamizado-Grava de soporte

Tamiz Malla N°	Diámetro		Peso retenido		Porcentaje	
	(Pulg)	(mm)	(g)	(%)	Retenido	Pasa
0.265	0.264	6.71	0	0.00%	0.00%	100.00%
3 1/2	0.22	5.59	1	33.33%	33.33%	66.67%
4	0.187	4.75	1	33.33%	66.67%	33.33%
5	0.157	3.99	1	33.33%	100.00%	0.00%
6	0.132	3.35	0	0.00%	100.00%	0.00%
8	0.094	2.39	0	0.00%	100.00%	0.00%
10	0.079	2.01	0	0.00%	100.00%	0.00%
12	0.066	1.68	0	0.00%	100.00%	0.00%
14	0.056	1.42	0	0.00%	100.00%	0.00%
16	0.047	1.19	0	0.00%	100.00%	0.00%
18	0.039	0.99	0	0.00%	100.00%	0.00%

Tamiz Malla N°	Diámetro		Peso retenido		Porcentaje	
	(Pulg)	(mm)	(g)	(%)	Retenido	Pasa
20	0.033	0.84	0	0.00%	100.00%	0.00%
25	0.028	0.71	0	0.00%	100.00%	0.00%
30	0.023	0.58	0	0.00%	100.00%	0.00%
FONDO			3	100.00%		

Fuente 3: Elaboración propia

En función a porcentaje en peso retenido, se evalúa el porcentaje de grava que pasa por cada diámetro de abertura de malla, mediante el uso de la curva granulométrica:

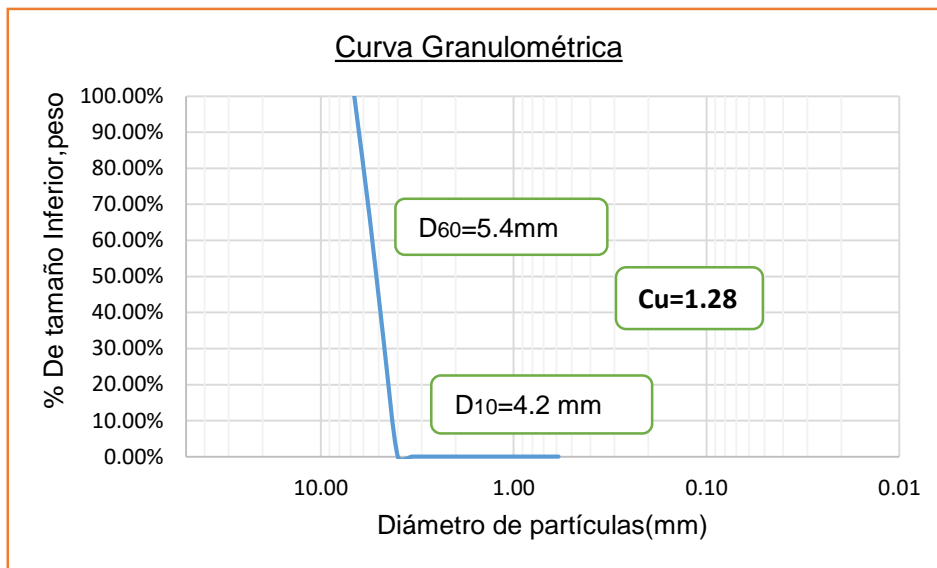


Figura 68: Determinación del Tamaño efectivo (D60 y D10), para la grava de soporte

De los valores determinados a partir de la curva granulométrica, mostrada en la Figura 68 se determina el Coeficiente de uniformidad ($D_{60}/D_{10} = 1.28$), y tamaño efectivo ($D_{10} = 0.17$).



Figura 69: Medio Filtrante de lecho Convencional



Figura 70: Medio Filtrante del lecho reducido.

ANEXO N° 7 “Determinación de la porosidad del medio filtrante”

Para definir la porosidad se siguió los pasos establecidos en (Arboleda Valencia, 1972).

Medio filtrante convencional

Para determinar la porosidad del medio filtrante, se ha realizado la codificación necesaria de los materiales a utilizar en dicho cálculo.

Tabla 21: Datos para el cálculo de porosidad-Medio filtrante convencional

	Símbolo	
	Peso	Volumen
De la probeta	P1	V1
Medio filtrante	P2	V2
Agua	P3	V3

Fuente: Elaboración propia

$$P1=140g \quad (1)$$

$$P1+P2=246.4g \quad (2)$$

De la ecuación (1) y (2), se determina $P2=102.4g$.

$$P1+P2+P3=272.6g \quad (3)$$

De la ecuación (2) y (3), se determina el peso del agua $P_3=26.2\text{g}$.

$$V_1=V_2 \quad (4)$$

$$V_1+V_2+V_3=65\text{ml} \quad (5)$$

Considerando una densidad del agua ($d=1\text{g/ml}$) y teniendo en cuenta el valor determinado del peso del agua (P_3), se calcula el volumen del espacio poroso ocupado por el agua, siendo esto $V_3=26.2\text{ml}$.

En conocimiento que la porosidad se determina de la relación entre el volumen del espacio poroso entre el volumen total, se tiene:

$$\text{Porosidad} = \frac{\text{Volumen espacio poroso}}{\text{Volumen total}} = \frac{26.2}{65} \times 100 = 40.3\%$$

Medio filtrante reducido

Para determinar la porosidad del medio filtrante, se ha realizado la codificación necesaria de los materiales a utilizar en dicho cálculo.

Tabla 22: Datos para el cálculo de porosidad-Medio filtrante reducido

	Símbolo	
	Peso	Volumen
De la probeta	P1	V1
Medio filtrante	P2	V2
Masa del agua	P3	V3

Fuente: Elaboración propia

$$P_1=97.5\text{g} \quad (1)$$

$$P_1+P_2=154.6\text{g} \quad (2)$$

De la ecuación (1) y (2), se determina $P_2=57.1\text{g}$.

$$P_1+P_2+P_3=169\text{g} \quad (3)$$

De la ecuación (2) y (3), se determina el peso del agua $P_3=14.4\text{g}$.

$$V1=V2 \quad (4)$$

$$V1+V2+V3=37\text{ml} \quad (5)$$

Considerando una densidad del agua ($d=1\text{g/ml}$) y teniendo en cuenta el valor determinado del peso del agua ($P3$), se calcula el volumen del espacio poroso ocupado por el agua, siendo esto $V3=14.4\text{ml}$.

En conocimiento que la porosidad se determina de la relación entre el volumen del espacio poroso entre el volumen total, se tiene:

$$\text{Porosidad} = \frac{\text{Volumen espacio poroso}}{\text{Volumen total}} = \frac{14.4}{37} \times 100 = 38.9\%$$

ANEXO N° 8 “Operación de lavados y acondicionamiento de los filtros de arena”



Figura 71: Purgado de agua de agua colmatada en los filtros



Figura 72: Operación de lavado de filtros de arena.



Figura 73: Expansión de filtro de arena



Figura 74: Registro de Presión de lavado de filtros de Arena



Figura 75: De izquierda a derecha, se verifica evacuación de agua de lavado con 20 litros de agua, y el agua eliminada durante el acondicionamiento de filtros de arena.

ANEXO N° 9 “ Medición de solidos eliminados, durante la operación de lavado de los filtros de arena”



Figura 76: Evaluación de solidos generados.

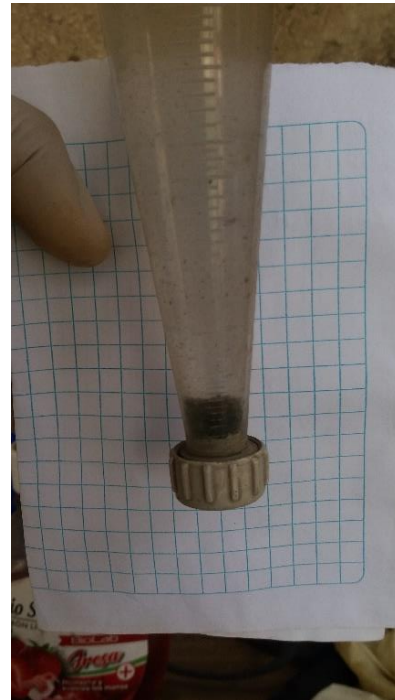


Figura 77: medición de sólidos sedimentables , después de 60min.



Figura 78: Visualización de los sólidos suspendidos, generados durante la etapa de evaluación de solidos sedimentables (De izquierda derecha solidos acumulados en E1 y M2 para una tasa de 19.08 m³/m²xdía)

ANEXO N° 10 “ Variación en la calidad agua residual captada ”

Durante el mes de febrero del año 2019, se identificó una variación en cuanto a color de agua residual captada en la planta de tratamiento de agua residual de CITRAR, tal como se muestra en las siguientes imágenes.



Figura 79: Captura de la variación del color de agua residual captada en la fecha 02.02.19



Figura 80: Captura de la variación del color de agua residual captada en la fecha 13.02.19