



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN**

**Elaboración y análisis estadístico de un inventario de
descargas de aguas residuales de los sectores
industriales del municipio de Tlalnepantla de Baz, Estado
de México**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
LICENCIADA EN QUÍMICA INDUSTRIAL**

P R E S E N T A:

JULIA JOSEPHINE VIRIQUE ROSAS

ASESORA: Q.F.B. CLAUDIA PÉREZ GARRIDO

CO-ASESOR: DR. OMAR GARCÍA LEÓN

Cuautitlán Izcalli, Estado de México, 2019



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTÁZAR FIGUEROA
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales
de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: **Trabajo de Tesis.**

Elaboración y análisis estadístico de un inventario de descargas de aguas residuales de los sectores industriales del municipio de Tlalnepantla de Baz, Estado de México.

Que presenta la pasante: **Julia Josephine Virique Rosas**
Con número de cuenta: **412012875** para obtener el Título de la carrera: **Licenciatura en Química Industrial**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO.**

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 19 de Marzo de 2019.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	I.Q. Graciela Delgadillo García	
VOCAL	M.C. Miriam Aide Castillo Rodríguez	
SECRETARIO	Q.F.B. Claudia Pérez Garrido	
1er. SUPLENTE	Q. Lidia Elena Ballesteros Hernández	
2do. SUPLENTE	Dr. Julio Cesar Morales Mejía	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

LMCF/cga*

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a Dios por dejarme finalizar esta etapa de mi vida y acompañarme en cada paso que doy, dándome fuerzas y señales para continuar adelante.

A mi madre Elizabeth Rosas Ramos quien a pesar de lo difícil que pareciera la situación nunca demostró debilidad con tal de sacar adelante a nuestra familia, quiero que sepas que eres un ejemplo a seguir y que sin tu dedicación, esfuerzo y sacrificio no hubiera logrado concretar mis estudios y metas, te amo mamá.

Mi hermano Alain Stephane Virique Rosas, quien se sacrificó para que yo concretara mis estudios apoyándome en todo momento económicamente y emocionalmente, eres un hermano ejemplar, por tus enseñanzas y palabras en los momentos más difíciles de la carrera, también te agradezco por apoyarme en aquellas tardes de estudio cuando sólo tú entendías las materias.

Mi abuelita Julieta Ramos López, quien ha estado a mi lado toda mi vida, apoyándome desde el momento que me enseñó a escribir y leer, hasta el término de la carrera, le agradezco las enseñanzas de vida y la paciencia que me tuvo en cada minuto, alentándome a realizar mis sueños.

A mi tía Diana Rosas, mi primo Pablo Castro y mi prima Scarlett Castro quienes son como una segunda madre y mis hermanos, siempre apoyándome en todo momento para concretar mi carrera, gracias por compartir mis emociones en esta travesía.

A mi persona favorita Zayra Flores García, quien no ha desistido en apoyarme a pesar de lo difícil que parezca la situación, gracias por las pláticas y regaños que me diste para no dejar de perseguir mis sueños y concretar mis metas, eres un ejemplo a seguir y soy muy afortunada de tenerte a mi lado.

Agradezco el apoyo y compañía de mis amigos, quienes siempre están conmigo apoyándome en cualquier sentido: Isaura Pérez, Anahí Ortega, Israel Lovera, Nancy Rosas, Ricardo Vega, Luis Nieto, Abraham Flores, Marisol Sánchez y Moisés Ramírez, son unas excelentes personas, me alegro de conocerlos.

A la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán UNAM, por ser mi casa y hacerme sentir orgullosa de formar parte de ella, dándome los conocimientos y herramientas necesarias para ser una persona profesional de excelencia.

A mi Asesora Claudia Pérez Garrido y mi co-asesor Omar García León, quienes me apoyaron y alentaron a no dejar de escribir esta tesis, dándome la atención necesaria para terminarla a pesar de las complicaciones pasadas, muchas gracias ya que sin ustedes no hubiera concretado este sueño.

Al Área de Medio Ambiente dentro del Palacio Municipal de Tlalnepantla de Baz, quienes me permitieron desarrollar este trabajo en sus instalaciones y utilizar la información de las industrias.

RESUMEN

En este trabajo se recabó la información acerca de las descargas de aguas residuales de 225 industrias ubicadas dentro del municipio de Tlalnepantla de Baz, Estado de México.

Los parámetros recabados fueron los requeridos en la COI: Cédula de Operación Integral, de acuerdo a la NOM-001-SEMARNAT-1996 y la NOM-002-SEMARNAT-1996, los cuales son: pH; temperatura; sólidos sedimentables; grasas y aceites; arsénico; cadmio; cianuro; cobre; cromo hexavalente; mercurio; níquel; plomo; zinc; sólidos suspendidos totales; coliformes fecales; DBO y DQO. Se utilizó el programa de Excel para capturar la información de cada industria, con la cual se realizó la separación de ellas en 19 sectores de acuerdo a la CANACINTRA. Una vez separados se exportaron los datos al programa estadístico IBM SPSS Statistics donde se calcularon los estadísticos de las industrias.

Posteriormente se realizó el análisis de los resultados para cada variable detectando aquellos parámetros que salían de los límites permitidos por las normas mexicanas. Se realizó el cálculo de la media poblacional con el fin de obtener los límites inferiores y superiores de las medias de cada variable. De igual manera se realizó un clúster jerárquico formando grupos con las industrias de acuerdo a sus parámetros, también se realizó un ANOVA con el fin de destacar las concentraciones de contaminantes más altas que reportaba una empresa.

Al mismo tiempo que se conformaba el inventario de descargas de agua residuales se realizó un muestreo de aguas residuales en un cuerpo de agua ubicado en San Pedro Barrientos, Tlalnepantla de Baz, Estado de México. Se tomaron cuatro muestras a largo del cuerpo de agua y se realizó su caracterización con pruebas fisicoquímicas, con el fin de comparar los resultados obtenidos con la NOM-002-SEMARNAT-1996 y poder concluir el impacto ambiental que tienen las industrias en él. Con los análisis estadísticos se detectaron valores fuera de especificación en la mayoría de los parámetros y sectores.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO	Pag.
I. Abreviaturas y símbolos	9
1. JUSTIFICACIÓN	10
2. OBJETIVOS	11
2.1. Objetivo general	11
2.2. Objetivos específicos	11
3. INTRODUCCIÓN	12
4. MARCO TEÓRICO	13
4.1. Tlalnepantla de Baz	13
4.1.1. Uso de suelo e hidrología	14
4.2. Contaminación del agua	15
4.3. Aguas residuales	18
4.4. Caracterización de las descargas de aguas residuales	18
4.4.1. Turbidez	19
4.4.2. Color	19
4.4.3. Conductividad	19
4.4.4. pH	20
4.4.5. Dureza	20
4.4.5.1. Dureza total	20
4.4.5.2. Dureza temporal	21
4.4.5.3. Dureza permanente	21
4.4.6. Sólidos disueltos	21
4.4.7. Sólidos suspendidos	22
4.4.8. Sólidos sedimentables	22
4.4.9. Sólidos totales	22
4.4.10. Grasas y aceites	23
4.4.11. Demanda bioquímica y química de oxígeno DBO y DQO	23
4.4.12. Metales pesados	24

4.4.13.	Parámetros bacteriológicos (coliformes fecales)	25
4.5.	Contaminación industrial	25
4.6.	Normatividad	26
4.6.1.	NOM-002-SEMARNAT-1996	26
4.6.2.	NOM-001-SEMARNAT-1996	27
4.7.	COI: Cédula de operación integral	28
4.8.	Tratamiento estadístico “IBM SPSS Statistics”	29
4.8.1.	Procedimiento general para la solución de problemas	33
4.8.2.	Estadísticos	33
4.8.2.1.	Media aritmética	34
4.8.2.2.	Error estándar de la media	34
4.8.2.3.	Mediana muestral	34
4.8.2.4.	Moda	35
4.8.2.5.	Desviación estándar	35
4.8.2.6.	Varianza	35
4.8.2.7.	Rango	35
4.8.2.8.	Mínimo y máximo	35
4.8.3.	Cluster Jerárquico	36
4.8.3.1.	Matriz de distancias	36
4.8.3.2.	Dendrograma	37
4.8.3.3.	ANOVA	37
5.	METODOLOGÍA	38
5.1.	Recopilación de datos sobre las descargas de aguas residuales de los sectores industriales de Tlalnepantla de Baz	38
5.2.	Tratamiento de datos mediante “IBM SPSS Statistics”	39
5.3.	Cálculos estadísticos	47
5.4.	Caso práctico	47
5.4.1.	Caracterización de una muestra de agua residual	48
5.4.2.	Material, equipos y reactivos	48

5.4.3. Material	48
5.4.4. Equipos	48
5.4.5. Reactivos	49
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	63
6.1. Inventario de descargas de aguas residuales	63
6.2. Tratamiento de datos mediante “IBM SPSS Statistics”	65
6.3. Cálculos estadísticos	70
6.3.1. Media de la población	70
6.4. Clúster Jerárquico	71
6.5. Caso práctico	74
7. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS	83
7.1. Conclusiones	83
7.2. Perspectiva	84
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85
9. ANEXOS	88
Anexo A. Índice de figuras	88
Anexo B. Índice de tablas	89
Anexo C. Índice de diagramas	90
Anexo D. Cluster por grupos	91

I.- ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

%	Porcentaje
[H ⁺]	Concentración de protones
CANACINTRA	Cámara Nacional de la industria de la Transformación
CDMX	Ciudad de México
COI	Cédula de Operación Integral
Colif	Coliformes fecales
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
CromoH	Cromo hexavalente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
GyA	Grasas y Aceites
H.	Honorable
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
Km²	Kilómetro cuadrado
-log	Menos logaritmo
m³	Metro cúbico
m³/hab	Relación metro cubico por habitante
m³/hab/año	Relación metro cubico por habitante por año
mg/ l	Relación miligramo por litro
NADF	Normas del Distrito Federal
NET	Negro de Eriocromo T
Nm	Nanometros
No.	Número
NOM	Norma Oficial Mexicana
NTU	Unidad de turbiedad Nefelométrica
OD	Oxígeno disuelto
PACMUN	Plan de Acción Climática Municipal
PDMU	Plan Municipal de Desarrollo Urbano
pH	Potencial de Hidrógeno
PNH	Programa Nacional Hídrico
ppm	Partes por millón
RFC	Registro Federal de Contribuyentes
R_n	Residuo #
SAA	Sustancia Activa Azul de Metileno
SAB	Sulfonato de Alquil Benceno
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SS	Sólidos en Suspensión
SST	Sólidos Suspendidos Totales
STD	Sólidos Disueltos Totales
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
UNF	Unidad de turbiedad Nefelométrica
W	Peso
λ	Longitud de onda

1. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad se sufre una crisis de agua en todo el mundo, esto a su vez nos obliga a buscar herramientas y alternativas que ayuden a monitorear y controlar la contaminación que se da en los cuerpos de agua.

Gran parte de las aguas industriales se vierten sin tratamiento en los cuerpos de agua abiertos, lo cual reduce la calidad de grandes volúmenes de agua y, a veces, se infiltran en los acuíferos y contaminan los recursos hídricos subterráneos (UNESCO, 2017).

En el caso del municipio de Tlalnepantla de Baz, Estado de México, no existe una herramienta que ayude a llevar un control de los contaminantes descargados a los cuerpos de agua, esto a pesar de ser uno de los municipios más industrializados del estado, por consiguiente, este inventario tiene la finalidad de recabar la información relevante de las industrias para el municipio y de realizar el análisis estadístico de los datos de acuerdo a las necesidades requeridas.

Dicho inventario puede ser utilizado como una herramienta de control, la cual podrá ayudar a nuevos proyectos ambientales en cuanto al control de las descargas, pudiendo anticipar los efectos negativos que estas conllevan. Además de que esta se convierte en una herramienta dinámica, haciendo posible su constante actualización.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Desarrollar y analizar estadísticamente un inventario de descargas de aguas residuales para los sectores industriales del municipio de Tlalnepantla de Baz, Estado de México, mediante el programa IBM SPSS Statistics, versión 24 para estimar el impacto ambiental que causan estas.

2.2. Objetivos específicos

1. Estimar que sector industrial es el que tiene mayor impacto ambiental de acuerdo a los límites permisibles de la NOM-002-SEMARNAT-1996.
2. Realizar pruebas físicas y químicas necesarias para la caracterización de cuatro muestras de aguas residuales recolectadas de un canal ubicado en el municipio de Tlalnepantla de Baz, Estado de México.
3. Analizar y comparar los resultados obtenidos de la caracterización de las muestras tomadas con los criterios establecidos en la NOM-002-SEMARNAT-1996.

3. INTRODUCCIÓN

El municipio de Tlalnepantla de Baz se ubica en el noroeste del Estado de México. Desde la década de 1950 se ha incrementado tanto su desarrollo como expansión industrial, por lo que se ha convertido en un municipio con vocación primariamente industrial (PMDU, 2008).

Es preciso especificar que debido a la importancia que han adquirido las actividades comerciales y de servicios en el municipio de Tlalnepantla de Baz, es necesario considerar no solamente en su impacto como actividad económica, sino también los efectos ambientales derivados de sus procesos productivos (Diagnóstico Ambiental del Estado de México por Regiones Hidrográficas, 2007). En específico el impacto que tienen en las aguas residuales del sistema hídrico del Estado de México.

Las descargas de aguas residuales, provenientes de las industrias sin tratamiento provocan la contaminación de los cuerpos de agua receptores disminuyendo la calidad de aguas superficiales y subterráneas, poniendo en riesgo la salud de la población y la integridad de los ecosistemas (SEMARNAT, 2013). Un grave problema del municipio, es la contaminación por descargas residuales vertidas en los ríos.

Por tal motivo este estudio utiliza la Cédula de Operación Integral (COI) para conformar un inventario de descargas de aguas residuales con la información reportada por las empresas ubicadas dentro del municipio en la COI 2016, en el área de protección y normatividad ambiental del ayuntamiento de Tlalnepantla de Baz, con lo que se pretende analizar y correlacionar la información obtenida con la contaminación de los cuerpos de agua.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. Tlalnepantla de Baz

Es un municipio con más de 2700 industrias, por lo que se considera uno de los más industrializados del país. Podemos encontrar aproximadamente 49 ramas industriales como: alimenticia, textil, industrias de la madera (papel, productos del papel, cartón), manufacturera, productos no minerales, industrias mecánicas básicas, químicos y productos derivados del petróleo y del carbón, hule, plástico, maquinaria y equipo (INEGI, 2004).

Se encuentra ubicado en la zona noroeste del Estado de México y representa el 0.38 % de su territorio; está conformado por dos zonas separadas por la CDMX; la zona poniente designa como cabecera municipal y la oriente conocida como isla municipal, denominada así por no estar geográficamente unida a la cabecera municipal (PACMUN, 2012)

Tlalnepantla de Baz colinda con cinco municipios (Figura 1): Atizapán de Zaragoza, Cuautitlán Izcalli, Tultitlán, Ecatepec de Morelos y Naucalpan de Juárez, al igual que lo hace con la Ciudad. (INEGI, 2009). Su superficie continental total es de 77.17 km² con una superficie de cuerpos de agua de 1.10 km² y su superficie de áreas urbanas constituyen 60.96 km² (INEGI, 2005).

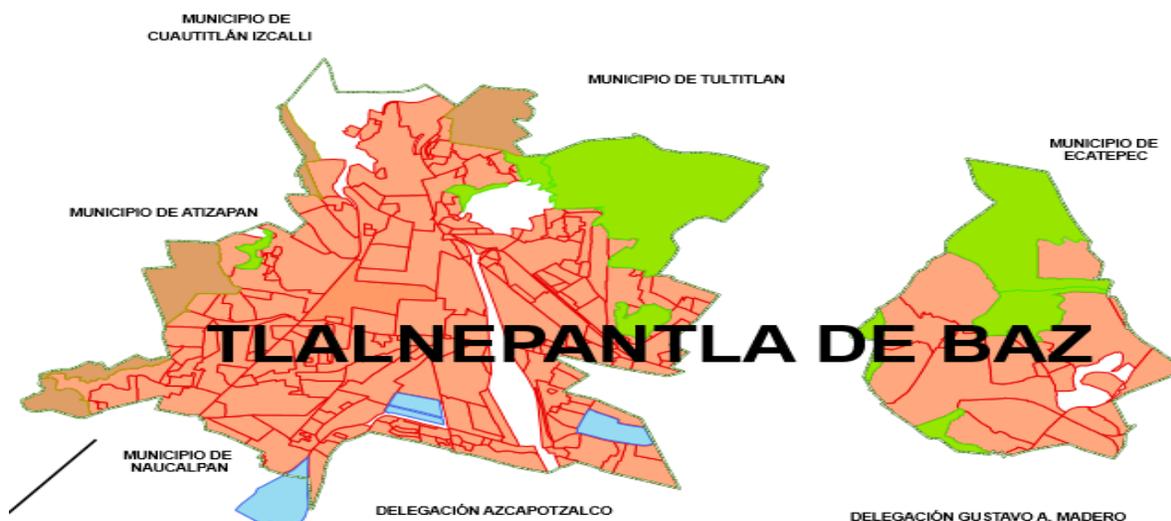


Figura 1. Mapa del municipio de Tlalnepantla de Baz, Estado de México (H. Ayuntamiento Constitucional de Tlalnepantla de Baz, 2018).

4.1.1. Uso de Suelo e hidrología

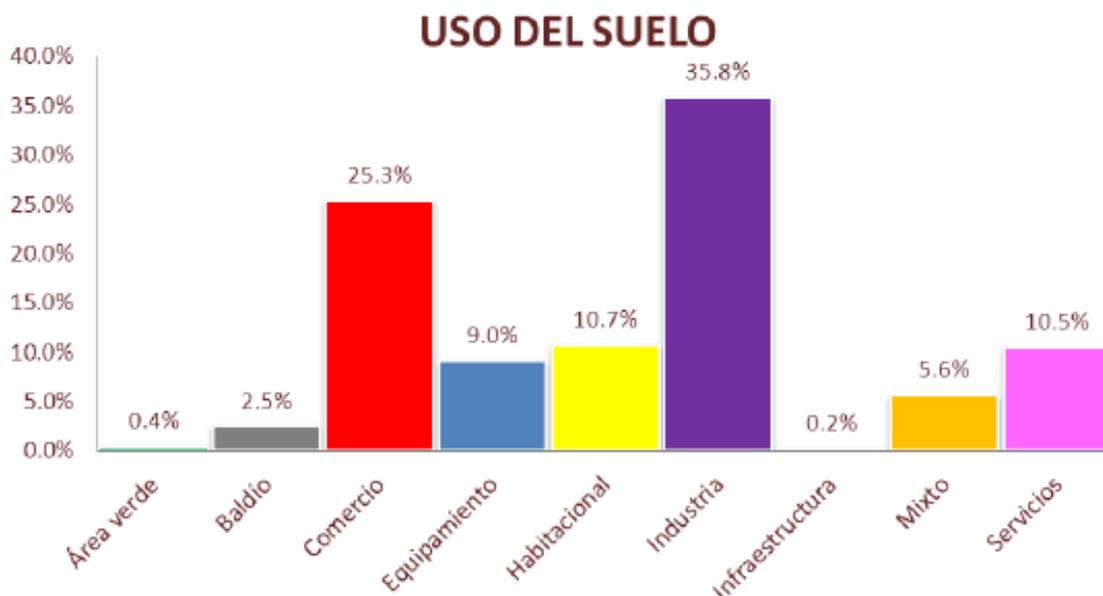


Figura 2. Distribución del uso de suelo (Plan Parcial de Desarrollo Urbano del Centro Urbano Regional de Tlalnepantla de Baz, 2013).

Como se puede observar en la Figura 2, el 35.8 % del uso de suelo corresponde al tipo industrial, seguido por el comercio con el 25.3 %, por lo que es de total interés el estudio de la descarga de agua del sector industrial ya que es el que contiene un mayor porcentaje de uso de suelo.

El municipio de Tlalnepantla de Baz es atravesado por el Río de los Remedios, el Río San Javier y el Río Tlalnepantla. Las industrias suelen descargar sus aguas residuales en estos cuerpos de agua por lo tanto se encuentran contaminados con una gran cantidad de desperdicios industriales. Además estos ríos forman parte del drenaje del norte de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, lo que provoca que lleven descargas domésticas también (Plan Parcial de Desarrollo Urbano del Centro Urbano Regional de Tlalnepantla de Baz, 2013).

4.2. Contaminación del agua

El agua es un recurso indispensable, constituye el 70.8 % de la superficie terrestre. A pesar de esto únicamente el 2.5 % es agua dulce y de este porcentaje solo está disponible un 0.5 % para consumo ya que el resto pertenece a glaciares en los polos. En México del agua dulce disponible destina un 76.7 % a la agricultura, 14.2 % al abastecimiento público, 4.9 % a la generación de energía eléctrica y 4.2 % a la industria autoabastecida (CONAGUA, 2015).

Por lo que respecta a la disponibilidad anual del agua (volumen total de líquido que hay en una región) en el valle de México es de 186 m³/hab. En el año 2013 se registró una disponibilidad de agua renovable per cápita de 3982 m³/hab/año y se pronosticó que para el año 2030 la disponibilidad disminuirá a 3253 m³/hab/año, estas disponibilidades comparadas con las de 1950 donde eran de 18035 m³/hab/año son muy inferiores y demuestran el problema que en lugar de detenerse aumenta conforme al desarrollo urbano y crecimiento de la población (PNH 2014-2018).

La contaminación en los cuerpos de agua se da por las descargas provenientes de poblaciones, sin embargo, dicha contaminación no es exclusivamente urbana o municipal (proveniente de uso doméstico), si no que los residuos industriales, también conocidos como no municipales, son descargados a cauces de ríos, presas, lagunas, entre otros cuerpos de agua, convirtiéndose en agua residual.

Esta problemática es muy relevante puesto que la contaminación del agua pone en riesgo la salud pública y los ecosistemas, ya que las aguas superficiales se convierten en pozos negros, siendo un foco de infección debido a su alto contenido de hongos, virus, bacterias, además de sustancias tóxicas como pesticidas, metales pesados, entre otros. Entre las principales enfermedades ligadas a la contaminación del agua se encuentran la diarrea y la gastroenteritis, las cuales, se encuentran entre las tres principales causas de muerte en el mundo asociadas al consumo de agua no apta para beber y la contaminación por contacto con aguas negras (Reynolds K, 2002).

La magnitud de la contaminación, ha provocado que las personas tomen conciencia de los riesgos actuales y de aquellos que se puedan presentar en un futuro, debido al mal manejo del agua. Por lo que a sido necesaria la implementación de medidas propuestas por especialistas en la materia y nuevas tecnologías para proponer soluciones al problema. (Jiménez B., 2001)

El agua consumida en México se divide en los diversos sectores económicos a nivel nacional para tener una idea de cuánto consume cada uno de ellos. Como se muestra en la Tabla 1 las industrias manufactureras consumen la mayor cantidad de agua durante sus procesos de producción, seguidas del comercio, sector hotelero, restaurantes y elaboración de bebidas, escuelas, entre otros sectores de servicios.

Tabla 1. Gasto del consumo de agua según sector privado, 2013. (INEGI, 2014)

Sector (código de actividad económica)	Consumo de agua m³
Total nacional	35182617
Sector 11 Agricultura, cría y explotación de animales, aprovechamiento forestal, pesca y caza	33301
Sector 21 Minería	951595
Sector 22 Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, suministro de agua y de gas por ductos al consumidor final	828992
Sector 23 Construcción	47224
Sector 31-33 Industrias manufactureras	15096052
Sector 43 Comercio al por mayor	1699097
Sector 46 Comercio al por menor	4248850
Sector 48-49 Transportes, correos y almacenamiento	1005271
Sector 51 Información en medios masivos	155080
Sector 52 Servicios financieros y de seguros	298119
Sector 53 Servicios inmobiliarios y de alquiler de bienes muebles e intangibles	717523
Sector 54 Servicios profesionales, científicos y técnicos	583721
Sector 55 Corporativos	133307
Sector 56 Servicios de apoyo a los negocios y manejo de residuos y desechos, y servicios de remediación	883735
Sector 61 Servicios educativos	2282106
Sector 62 Servicios de salud y de asistencia social	735188
Sector 71 Servicios de esparcimiento culturales y deportivos, y otros servicios recreativos	499577
Sector 72 Servicios de alojamiento temporal y de preparación de alimentos y bebidas	3307271
Sector 81 Otros servicios excepto actividades gubernamentales	1252608

4.3. Aguas residuales

Las aguas residuales son desechos de un proceso, ya sea industrial, municipal o agrícola, resultando una combinación de residuos líquidos o residuos sólidos. A estas aguas se les puede agregar, eventualmente aguas subterráneas, superficiales y pluviales (Metcalf, *et. al.*, 1995).

En la Tabla 2 podemos observar algunas características que llega a presentar el agua residual y la procedencia de las mismas.

Tabla 2. Características físicas, químicas y biológicas del agua residual y sus procedencias.

Características	Procedencia
Color	Aguas residuales domésticas e industriales, degradación natural de materia orgánica
Olor	Agua residual en descomposición, residuos industriales
Sólidos	Agua de suministro, aguas residuales domésticas e industriales, erosión del suelo, infiltración y conexiones incontroladas.
Alcalinidad	Aguas residuales domésticas, agua de suministro, infiltración de agua subterránea.
Oxígeno	Agua de suministro; infiltración de agua superficial, constituyentes biológicos.

Éstas propiedades son parte de la caracterización de un agua residual, en la COI las empresas están obligadas a reportar éstas y otras propiedades de sus descargas.

4.4. Caracterización de las descargas de aguas residuales

Uno de los pasos del procedimiento de análisis de aguas residuales consiste en realizar un monitoreo periódico de ciertos parámetros que nos permitirán analizar y concluir sobre el estado en el que se encuentra el agua descargada.

Los contaminantes en las descargas pueden ser de origen orgánico o inorgánico, de igual manera los parámetros analizados son para características físicas y

químicas. A continuación se enlistan dichos parámetros y se hace una breve descripción de estos:

4.4.1. Turbidez

La turbidez está relacionada con los materiales insolubles en suspensión en el agua. La turbidez es la dificultad del agua para transmitir la luz, ésta dificultad se deriva a partir del material en suspensión el cual es difícil de retirar debido a su tamaño de partícula impidiendo el paso de la luz a través del agua.

Para su medición suele utilizarse un turbidímetro, el cual hace incidir un rayo de luz sobre las partículas en suspensión, la luz difractada es recogida sobre una célula fotoeléctrica. La unidad de medición es la unidad nefelométrica, con acrónimos NTU o UNF.

4.4.2. Color

El color de un agua puede ser “color verdadero” que refiere al color de un agua a la cual se le ha removido la turbidez por centrifugación o filtración. Por otra parte tenemos el “color aparente” que es aquella agua sin un tratamiento previo por lo cual se incluye la materia disuelta y suspendida (E.W. Rice, et al, 1999).

4.4.3. Conductividad

La conductividad eléctrica es indicativa de la materia ionizable total presente en el agua. El agua pura contribuye mínimamente a la conductividad, por lo que la totalidad las impurezas y los iones presentes son los causantes de esta característica.

La conductividad es medida con un conductímetro y los resultados son comúnmente reportados en microsiemens por centímetro.

4.4.4. pH

El pH es la medida de la concentración de protones (iones hidrógeno) en el medio, pH es igual al menos logaritmo de la concentración de los protones ($\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$). Un agua puede ser ácida o alcalina de acuerdo a su pH, la escala va de 0-14 por lo que la mayoría de las aguas se encuentran en un pH neutro de 6-8.

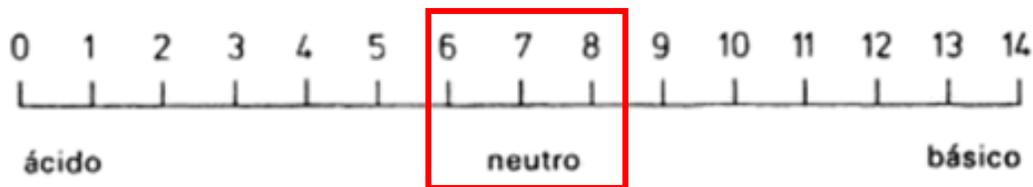


Figura 3. Escala de pH (Hopp V, 1994).

Observando la Figura 3, si un agua tiene un pH de 0-5 unidades de pH se trata de un agua ácida, al contrario si tiene un pH de 9-14 es alcalina, tratándose en ambos casos de un agua fuera de especificación de acuerdo a la NOM-002-SEMARNAT-1993.

4.4.5. Dureza

La dureza es causada por las sales disueltas de calcio o magnesio, las cuales suelen formar incrustaciones una vez que se precipitan. Entre los principales ejemplos de sales se encuentran carbonatos y bicarbonatos de dichos metales. La dureza en un agua se puede encontrar de tres maneras: dureza total, permanente o temporal.

4.4.5.1. Dureza total

La dureza total es la suma de la concentración de iones Ca^{+2} y Mg^{+2} y el agua se clasifica en cuatro tipos como se indica en la siguiente tabla:

Tabla 3. Característica de un agua de acuerdo a su dureza (Millán F, *et. al.*, 2003)

Tipo de agua	ppm CaCO ₃
Muy blanda	0-15
Blanda	16-75
Semidura	78-150
Dura	151-300
Muy dura	>300

4.4.5.2. Dureza temporal

La dureza temporal se refiere a que la concentración de CO₃H⁻ en el agua es más alta o el doble de la concentración total de los iones alcalino-térreos (dureza total); la dureza es temporal ya que se puede eliminar con la ebullición del agua como se observa en la siguiente reacción (Ritter H, s.f).

Reacción. Eliminación de la dureza temporal.



Al momento de la ebullición se desprende CO₂ disminuyendo la concentración de la solución y al mismo tiempo el Ca²⁺ se precipita en forma de CaCO₃. Esta especie conocida como Carbonato de Calcio nos da la dureza temporal.

4.4.5.3. Dureza permanente

La dureza que permanece después de haber sometido el agua a ebullición por media hora y posteriormente filtrado es la concentración conocida como dureza permanente y hace referencia a la concentración de los iones Ca²⁺ y Mg²⁺. Es un método inexacto ya que depende de las condiciones de ebullición (Rigola M, 1989).

La dureza se expresa en ppm de CaCO₃.

4.4.6. Sólidos disueltos

Para determinar la cantidad de sólidos disueltos es preciso determinar por evaporación del agua que fue filtrada previamente, al residuo resultante al que se

llama sólido disuelto. El origen de la mayoría de los residuos puede ser orgánico o inorgánico y los datos sugieren que el agua que contiene una elevada concentración de STD es un indicador de que contaminantes dañinos, como hierro, manganeso, sulfato, bromuros y arsénico, también pueden estar presentes en el agua.

4.4.7. Sólidos suspendidos

Los sólidos suspendidos están relacionados con los sólidos disueltos que se quedan retenidos en el filtro después del proceso de filtración. Para determinarlos es necesario llevar a cabo la técnica de gravimetría (Lampeña M, 1990).

Los efectos de los sólidos suspendidos en los cuerpos receptores varían según el tamaño y naturaleza de los sólidos; pero desde un punto de vista general, los efectos más notables son: interferencia con la penetración de la luz solar (turbiedad) y el azolve de los cuerpos de agua (Arce, *et. al.*, s.f).

4.4.8. Sólidos sedimentables

Se consideran sólidos sedimentables a aquellos sólidos que sedimentan en el fondo de un recipiente de forma cónica (cono de Imhoff) por la acción de la gravedad en un tiempo de 60 min.

El método al que se refiere este procedimiento se basa en la propiedad que tienen los materiales sólidos de asentarse a niveles progresivos de acuerdo con sus diferentes densidades. (Ramos R., 2002)

4.4.9. Sólidos totales

Los sólidos totales son la materia que se obtiene como residuo después de someter el agua a una temperatura entre 103°C y 105°C hasta que se evapore (Da Cámara, *et. al.*, 2003).

Los sólidos totales se clasifican en sólidos suspendidos y sólidos filtrables (Mendonça, 2000). A continuación se muestra en la Figura 4 la composición en porcentajes y naturaleza de los sólidos totales.

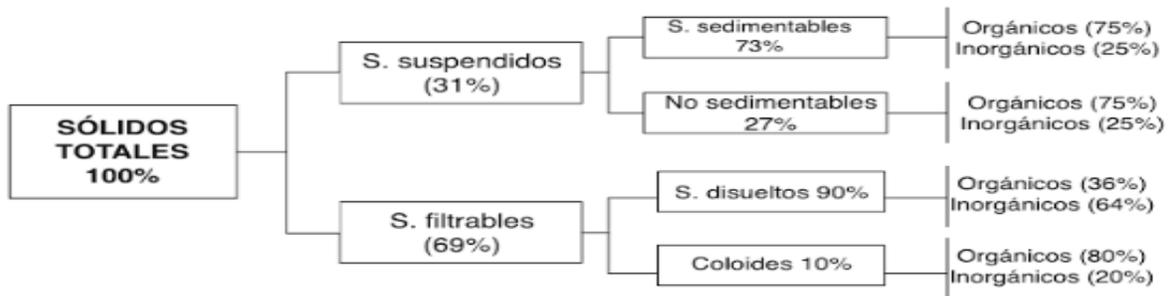


Figura 4. Sólidos Totales (Rolim, S, 2000).

Es importante llevar a cabo el análisis de medición de sólidos en las aguas residuales ya que los sólidos orgánicos son propensos a su degradación de manera natural. Por el contrario los sólidos inorgánicos, normalmente no se degradan (entre ellos están materiales como arena, grava, sedimentos y sales). La fracción de los sólidos inorgánicos disueltos normalmente no se elimina en el proceso de depuración de las aguas residuales.

4.4.10. Grasas y aceites

Las grasas y aceites al ser insolubles en el agua conllevan un riesgo, inclusive existe evidencia de que las plantas de tratamiento suelen ser afectadas en algunos de los equipos, como se sabe las grasas y aceites suelen formar natas lo que limita la transferencia de oxígeno a la atmósfera del agua. (Delgadillo O., *et al.*, 2010)

También interfieren en los procesos biológicos aerobios y anaerobios si se presentan en concentraciones muy altas, con lo que se reduce la eficiencia del tratamiento de agua (Olmos R, *et al*, 2002).

4.4.11. Demanda bioquímica y química de oxígeno (DBO y DQO)

Los procesos biológicos aerobios degradan de manera natural la materia orgánica, por lo tanto la cantidad de oxígeno consumido al llevar a cabo la degradación de la

materia se le conoce como DBO. Está es una medida indirecta de la concentración de la materia orgánica e inorgánica degradable.

Por otra parte como su nombre lo indica la DQO, a diferencia de la DBO es la cantidad oxígeno necesario para degradar químicamente la materia orgánica e inorgánica. Es utilizada para medir la cantidad de contaminantes orgánicos totales en el agua residual (Sánchez O, 2007).

La DQO están relacionadas con los contaminantes orgánicos e inorgánicos, al tratarse de contaminantes inorgánicos no solo es preocupante la disminución de oxígeno, si no, su efecto tóxico. La disminución del oxígeno en las aguas lleva a perturbaciones en el medio y la biota colindantes.

4.4.12. Metales pesados

Los metales pesados aunque se encuentren en concentraciones pequeñas son tóxicos para la salud humana ya que no se eliminan, por el contrario se van acumulando en el organismo. Es común que se encuentren en aguas residuales utilizadas en la fabricación de pigmentos y pinturas, circuitos eléctricos, entre otros productos. Además en la tierra se encuentra una concentración de dichos metales por lo que su concentración también impacta dentro de las aguas residuales. El mercurio, arsénico, cobre, zinc, níquel, cromo, plomo y cadmio son los metales analizados en las descargas de aguas residuales.

Estos metales también son conocidos como “metales traza” ya que se encuentran en concentraciones <1ppm. A pesar de su baja concentración, éstos producen efectos importantes en el agua.

La forma en que se encuentren en estas aguas depende del pH, concentración de ligandos, agentes quelantes y estado de oxidación, entre otros. Se pueden encontrar en forma suspendida, coloidal o soluble, sin embargo, generalmente están como ion libre coordinado por moléculas de agua (Santiago S, 2007).

4.4.13. Parámetros bacteriológicos (coliformes fecales)

Uno de los indicadores más comunes para la determinación de contaminación fecal es la bacteria *Escherichia coli*. El método utilizado para su determinación es el del número más probable.

La contaminación por microorganismos tiene una gran importancia en la industria alimenticia, ya que el agua que se usa en los procesos debe ser de una calidad potable (Rigola M, 1990).

4.5. Contaminación industrial

Muy pocas industrias cuentan con plantas de tratamiento de aguas, debido a que actualmente no existe una autoridad u organismo autónomo de credibilidad probada que aplique multas a aquellas empresas que no cuenten con plantas de tratamiento, lo cual implica el vertimiento de sus aguas residuales sin tratamiento a los cuerpos de agua abiertos, provocando la contaminación de los mismos. Esto a su vez disminuye la disponibilidad y calidad del agua afectando a las aguas superficiales además de que se infiltra a los acuíferos contaminando de igual manera las aguas subterráneas (UNESCO, 2017).

Prácticamente todas las industrias generan contaminantes como subproductos no deseados, por lo tanto la industria genera más impacto en los recursos hídricos (debido a la cantidad de sus descargas de aguas residuales) que a la cantidad de agua utilizada en sus procesos de producción.

También es preciso mencionar que de acuerdo al giro industrial al que pertenezca una empresa se pueden suponer los tipos de contaminantes que se encontraran en sus descargas de agua residual, esto se puede saber conociendo sus materias primas los productos obtenidos y el proceso que se sigue para la obtención.

Es también posible generalizar y aplicar ciertos parámetros para determinado sector industrial, por ejemplo si nos enfocamos en el sector productor de pinturas, es

probable que se dé mayor peso a la cuantificación e identificación de metales pesados en sus aguas residuales, sin embargo pueden existir excepciones.

Habiendo mencionado el caso anterior, los parámetros que se solicitan en la COI y por ende las empresas reportan son de acuerdo a su giro y dependen de igual manera del uso que hagan del agua (en que parte del proceso se utiliza y como se ve involucrada). Los parámetros que generalmente reportan las industrias son: concentración de oxígeno disuelto (OD, mg/l), pH, color, turbidez, dureza (mg/l), sólidos disueltos totales (STD, mg/l), sólidos en suspensión (SS, mg/l), sólidos sedimentables, olor y temperatura.

En general las empresas realizan muestreos de agua residual cada determinado tiempo, según se lo requiera la autoridad encargada de su regulación, los parámetros que cubren dichos análisis con base en la NOM-002-SEMARNAT-1996 y en el caso de la Ciudad de México se realizan de acuerdo a la NADF-015-AGUA-2009 desde el año 2012.

4.6. Normatividad

4.6.1. NOM-002-SEMARNAT-1996

La NOM-002-SEMARNAT-1996 establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de agua residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. Los parámetros reportados en esta norma son: grasas y aceites, sólidos sedimentables, arsénico total, cadmio total, cianuro total, cobre total, cromo hexavalente, mercurio total, níquel total, plomo total y zinc total, de igual manera se establece el rango permisible de pH y temperatura.

Esta norma hace énfasis en que los responsables de las descargas residuales tienen la obligación de realizar los análisis técnicos descritos en ella. Esto con la finalidad de determinar el promedio diario o a su vez mensual de cada parámetro señalado.

A continuación se muestran los límites permisibles establecidos en la norma.

Tabla 4. Límites máximos permisibles (NOM-002-SEMARNAT-1996)

Parámetros (mg/L)	Promedio mensual	Promedio diario	Instantáneo
Grasas y Aceites	50	75	100
Sólidos Sedimentables (mililitros por litro)	5	7.5	10
Arsénico total	0.5	0.75	1
Cadmio total	0.5	0.75	1
Cianuro total	1	1.5	2
Cobre total	10	15	20
Cromo hexavalente	0.5	0.75	1
Mercurio total	0.01	0.015	0.02
Níquel total	4	6	8
Plomo total	1	1.5	2
Zinc total	6	9	12

Del mismo modo, encontramos que los límites inferior y superior permisibles de pH son de 5.5 y 10 respectivamente, la temperatura no deberá exceder los 40°C., la materia flotante deberá estar ausente en las descargas de aguas y nos menciona que los límites máximos para los parámetros DBO y sólidos suspendidos se establecen en la NOM-001-SEMARNAT-1996.

4.6.2. NOM-001-SEMARNAT-1996

En esta norma oficial se establecen los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

Primeramente se debe aclarar que un bien nacional es aquel bien cuya administración está a cargo de la Comisión Nacional del Agua, según la Constitución Mexicana, artículo 27. Un cuerpo de agua nacional es aquel comprendido dentro de los límites del territorio nacional, estas son: aguas de los mares territoriales, aguas marinas interiores, lagunas y esteros que comuniquen con el mar.

De acuerdo al tipo de descarga de agua residual se establecen los límites permisibles diariamente y mensualmente. Por ejemplo, para la determinación de coliformes fecales en aguas y bienes nacionales es de 1000 y 2000 como número más probable de coliformes fecales por cada 100mL para el promedio.

Los sólidos suspendidos totales en riego agrícola son de 150 mg/l y para embalses naturales o artificiales de 125 mg/l.

DBO: en ríos 150 mg/l y para embalses naturales o artificiales 150 mg/l.

La ubicación de las industrias que constituyen el inventario de descargas de aguas residuales de este trabajo, están dentro del municipio de Tlalnepantla de Baz perteneciente al Estado de México, por lo tanto tomaremos como referencia la NOM-002-SEMARNAT-1996 de descargas a alcantarillado municipal. Dichas empresas presentaron su respectiva documentación ante el departamento de Normatividad y Protección Ambiental en el municipio, para poder así obtener su Cédula de Operación Integral (COI).

4.7. COI: Cédula de Operación Integral

La COI se reporta anualmente a nivel estatal, sirve para que la Secretaría del Medio Ambiente mantenga actualizado el Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes.

Este trámite debe realizarse en caso de ser establecimiento industrial, comercial y servicios (fuente fija), que genere emisiones a la atmósfera, ruido, residuos de manejo especial, aguas residuales, entre otras, provenientes de las actividades propias de dichos establecimientos (Gobierno del Estado de México, 2017).

La Cédula de Operaciones Integrales presenta la siguiente documentación de la empresa:

- Registro de emisiones a la atmósfera.
- Registro generador de residuos de manejo especial.
- Diagrama de flujo del proceso.
- Cédula de operación integral para fuentes fijas de jurisdicción estatal.
- Consumo y uso de combustibles.
- Registro de bitácoras de operación y mantenimiento de equipos generadores o de control de emisiones contaminantes a la atmósfera tipo caldera.

-
-
- Registro de descarga de aguas residuales.

En la elaboración del inventario de descargas se utilizaron los parámetros reportados de acuerdo a la NOM-002-SEMARNAT-1996, los cuales a su vez fueron reportados dentro de la COI 2016.

Posterior a la elaboración del inventario, se realizó un análisis estadístico con la finalidad de analizar el impacto de las descargas de aguas residuales dentro del municipio.

4.8. Tratamiento estadístico “IBM SPSS Statics”

SPSS es un software estadístico y de gestión de datos, este programa trabaja bajo comandos u órdenes para obtener resultados de tipo estadístico que deberán ser analizados e interpretados (Álvarez P, 2006). Además es una herramienta versátil para cualquier área que sea utilizado, ya que cuenta con controles fáciles de usar y manuales para su entendimiento.

Las pantallas principales son “visor de resultados” y “editor de datos”. El editor de datos es la primera pantalla que presenta el programa al abrirlo, aquí se capturarán los datos según se requiera, el entorno es muy parecido a una hoja de Excel como se observa en la Figura 5.

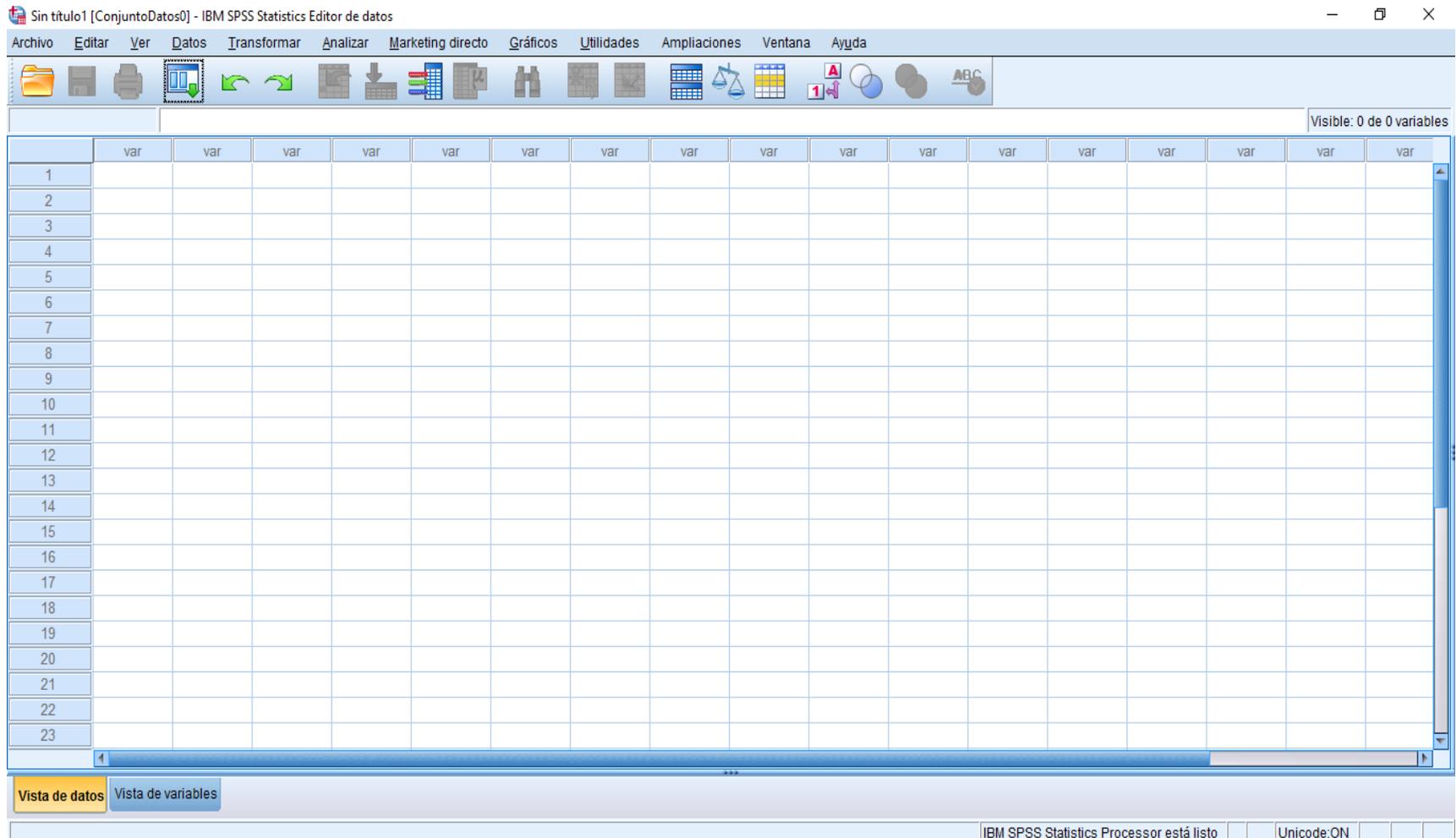


Figura 5. Entorno SPSS, ventana “Vista de variables”.

En esta ventana se ordenan las variables con que se trabajará, se selecciona tipo de variable, caracteres que contendrá, decimales, entre otras características. Figura 6.

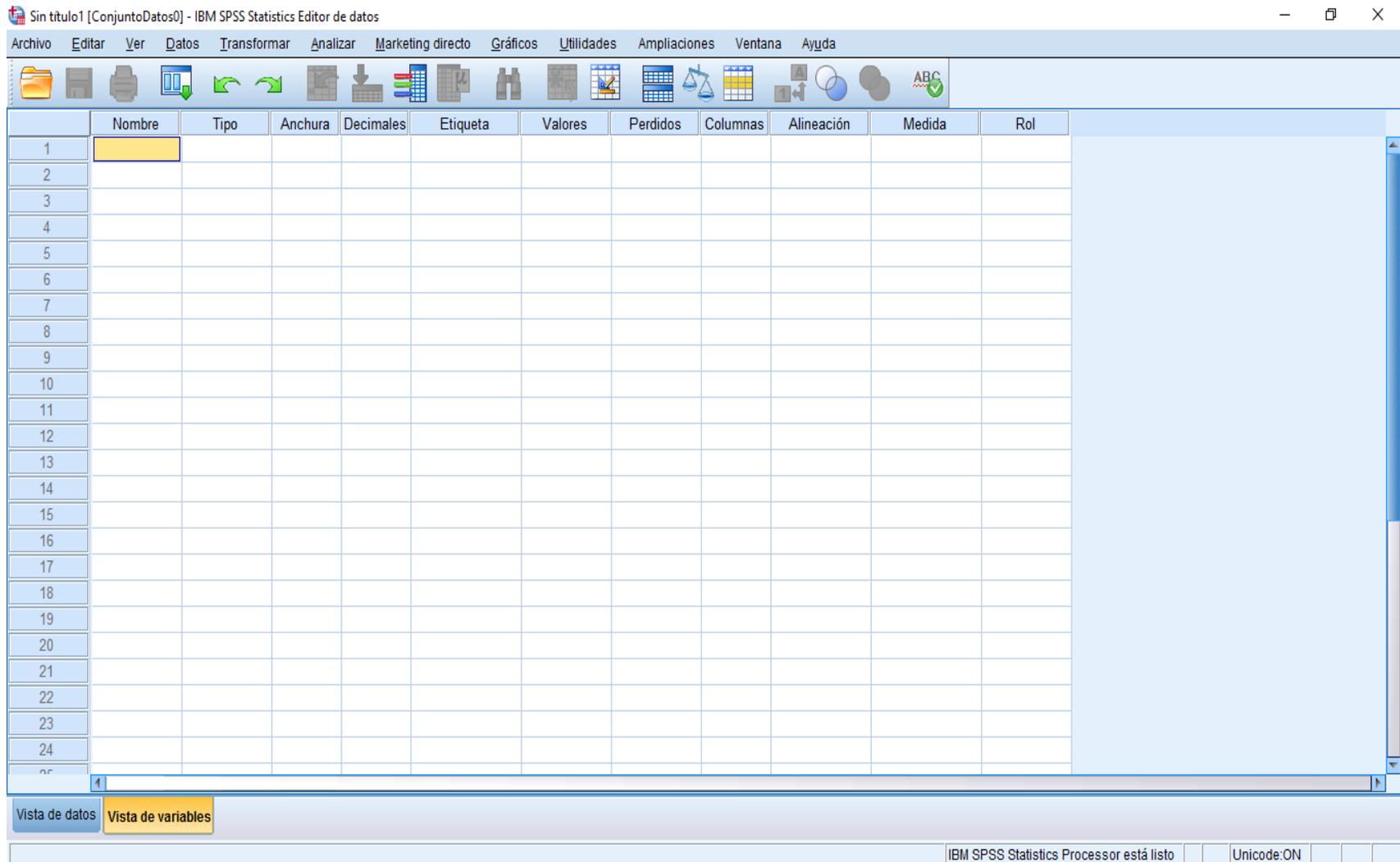


Figura 6. Ventana de variables.

Al momento de abrir el programa también nos despliega la ventana de “Resultados” como se muestra en la Figura 7.

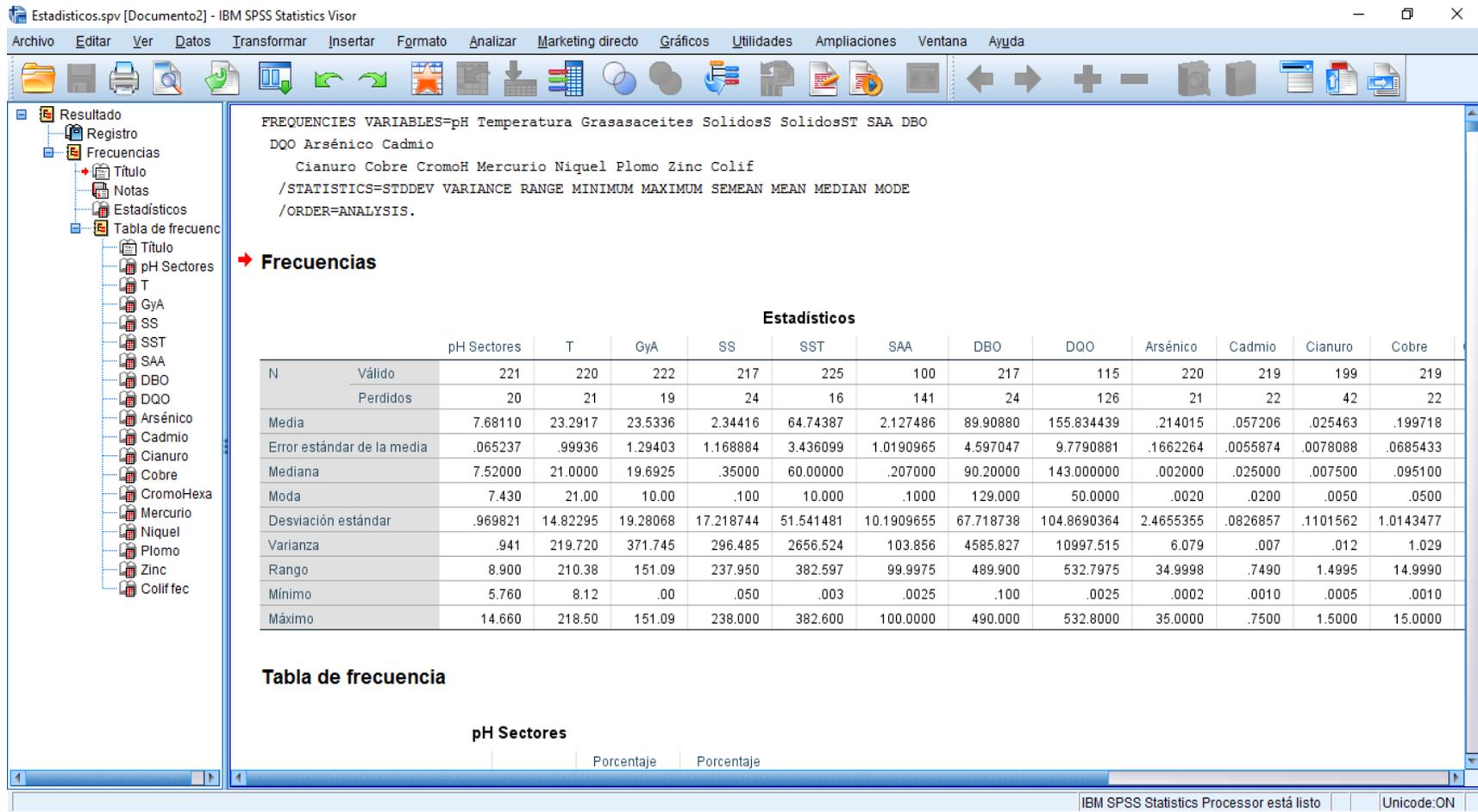


Figura 7. Ventana de Resultados.

Como su nombre se indica nos mostrará los resultados obtenidos una vez que se haya terminado el llenado de nuestros datos, por ejemplo si se solicitaron los estadísticos de frecuencia nos desplegará una tabla de resultados con lo que se pidió al programa.

4.8.1. Procedimiento general para la solución de problemas

Los siguientes pasos fueron obtenidos del libro “Tratamiento estadístico de datos con SPSS” escrito por Quintín Martín Martín, *et al.* En el 2008, donde nos explica de forma general los pasos a seguir para la solución de problemas estadísticos en el programa de SPSS.

1. Recolección de información, organizarla de acuerdo a los requerimientos.
2. Grabar la información recolectada en un archivo con extensión “.sav” en un nuevo archivo de SPSS. En este paso se deberán insertar una por una las variables que contendrá nuestro documento, así como su contenido.
3. En el archivo anterior se hará el análisis estadístico, según se requiera, con ayuda de las diferentes opciones y menús que nos ofrece SPSS.
4. Los resultados del análisis realizado se mostrarán en la ventana de “Resultados”, en la cual se podrán guardar con un archivo de “salida” con extensión “spo”.
5. El programa únicamente arroja los resultados, será necesario que el investigador interprete los resultados haciendo observaciones y conclusiones de lo obtenido.

El programa SPSS nos brinda varias opciones para el tratamiento de los datos, entre ellas encontramos los estadísticos descriptivos, los cuales fueron utilizados para determinar los contaminantes con mayor impacto.

4.8.2. Estadísticos

La estadística descriptiva es un método que describe un conjunto de datos numéricamente. Una de las finalidades del método es presentar de una manera reducida los datos que se estudian, esto se hace para facilitar las operaciones estadísticas y tener un error controlado. Los resultados obtenidos se presentan en formas de tablas y de manera gráfica (Fernández S., 2002).

Existen dos tipos de estadísticos: descriptivos e inferenciales.

Los datos inferenciales son valores numéricos obtenidos a partir de los datos de una distribución estadística (Vargas A, 1995).

En este caso nos centraremos en los descriptivos que son valores numéricos obtenidos a partir de los datos con una distribución de frecuencias, lo que nos dará características de las mismas, de acuerdo a los resultados obtenidos. Además se puede realizar un análisis determinando el error que existe entre las variables, valores más repetidos, variaciones, entre otros (Vargas A., 1995).

4.8.2.1. Media aritmética

Existen dos tipos de medias; una es la media del conjunto de toda la población y otra la media de una muestra. La media es calculada por la suma de todas nuestras variables dividida entre el número de datos, el resultado es un valor que representa una cantidad media de toda la población (Guisande C., 2006).

La media aritmética tiende a tener un error más pequeño que otro tipo de media.

4.8.2.2. Error estándar de la media

Se debe entender que la media de un muestreo deberá ser equivalente a la media de una población, habiendo dicho esto, el error estándar de la media calcula cuanto variará la media de una muestra al azar. Por lo tanto mientras más pequeño sea el valor del error la media de la muestra se aproximará a la media poblacional (Freud J., *et al.*, 1994).

4.8.2.3. Mediana muestral

Para saber la mediana de nuestra muestra, se deben organizar los datos que la conformen de menor a mayor, habiendo hecho esto, aquel valor medio es considerada la “media”. Es importante resaltar que previamente y posteriormente a la mediana debe haber el mismo número de datos, de igual manera si se trata de

un número “par” se deberán tomar los dos números centrales y dividirlos entre dos, así se obtendrá el valor de la mediana muestral (Fernández S, *et al.*, 2002).

Una manera más fácil de calcular la mediana es haciendo la suma del valor de las variables entre el número de variables que se están analizando.

4.8.2.4. Moda

La moda es el valor numérico de la variable que más se repita o aparezca con mayor frecuencia en nuestra muestra (Quiroga V., 1977)

4.8.2.5. Desviación estándar

Es una medida de dispersión y se calcula aplicando raíz cuadrada de la varianza, nos indica cuanto se alejan los puntajes respecto del promedio (Caballero W., 1975).

4.8.2.6. Varianza

La variancia de un conjunto de valores es una medida de variación igual al cuadro de la desviación estándar (UAM, 2018).

4.8.2.7. Rango

El rango es la diferencia entre el número mayor y el menor, sin embargo, también se puede expresar por ambos valores, indicando que el rango va del menor al mayor número (Hernández E., 2014).

4.8.2.8. Mínimo y máximo

Como lo dice su nombre es el valor numérico máximo y mínimo de las variables, lo que es igual al más alto y al más bajo valor.

4.8.3. Clúster Jerárquico

El análisis de clúster permite hacer una clasificación de un conjunto de objetos basándose en características resumidas en múltiples variables, clasificándolos en grupos de tal forma que los objetos en el mismo grupo compartan un perfil, mientras que los objetos de otro grupo tienen un perfil totalmente diferente. El método jerárquico es idóneo para determinar la cantidad óptima de grupos, a diferencia del método de conglomerados de K-medias, permite aglomerar tanto casos como variables, elegir entre una gran variedad de métodos de aglomeración así como medidas de distancia. La diferencia fundamental radica en que el primero procede de forma jerárquica y el segundo hay que especificar a priori la cantidad de conglomerados k que se formara con N objetos (García L. Omar, 2017).

4.8.3.1. Matriz de distancias

El primer paso del clúster jerárquico es el cálculo de la matriz de distancia entre todos los elementos que se clasificarán. Una vez identificadas las distancias, aquellos elementos con distancias parecidas se fusionan, una vez fusionados estos forman un conglomerado que será indivisible en las $N-1$ etapas subsiguientes del procedimiento, en cada una de las etapas se recalculara la matriz de distancias pues los dos elementos o conglomerados fusionados en cada etapa son considerados como un solo elemento al final de esta, así la matriz se reducirá en cada etapa. El procedimiento terminara una vez que todos los elementos hayan sido fusionados. (García L. Omar, 2017).

Por su parte el procedimiento de conglomerados K-medias solamente permite que la matriz de distancias sea calculada con la una medida de llamada distancia euclídea cuadrada, mientras que el procedimiento de aglomeración jerárquico es más versátil en ese aspecto, pues permite calcular la matriz de distancia con variedad más amplia de índices. Así dependiendo del tipo de variables (cuantitativas, categóricas o dicotómicas) con las que se esté trabajando, es posible escoger la medida de similitud entre elementos. (García L. Omar, 2017).

4.8.3.2. Dendrograma

El dendrograma es una representación gráfica del procedimiento que contiene información sobre la distancia en la que se unen los elementos por lo que es posible identificar con la interpretación de este gráfico, cuales son los grupos que se forman, su número y porque elementos están formados dichos grupos. En el dendrograma los conglomerados están representados mediante trazos horizontales y las etapas de fusión mediante trazos verticales. La separación entre las etapas de la fusión es proporcional a la distancia a la que se están fundiendo los elementos en esa etapa en una escala estandarizada de 25 puntos. (García L. Omar, 2017).

4.8.3.3. ANOVA

Basándose en la idea fundamental detrás del análisis de clúster es formar grupos de tal manera que los elementos en un grupo compartan un mismo perfil mientras que los elementos en otro tengan un perfil totalmente distinto, es posible verificar si existen diferencias significativas entre los conglomerados obtenidos, para ello es posible utilizar el análisis de varianza de un factor tomando como variable independiente o factor la variable que contiene la información sobre el conglomerado al que pertenece cada sujeto y como variables dependientes cada una de las variables incluidas en el análisis. Los resultados en la tabla de ANOVA ayudan a valorar si los conglomerados son diferentes entre sí y que variables contribuyen a hacerlos diferentes. (García L. Omar, 2017).

5. METODOLOGÍA

5.1. Recopilación de datos sobre las descargas de aguas residuales de los sectores industriales de Tlalnepantla de Baz.

El inventario de “Descargas de aguas residuales de los sectores industriales del Municipio de Tlalnepantla de Baz, Estado de México” se realizó a partir de los datos reportados por 225 empresas en la COI 2016 en el apartado de “Descargas de Aguas Residuales”. Dichas empresas se separaron de acuerdo al sector al que pertenecen de acuerdo a la Cámara Nacional de la industria de la Transformación (CANACINTRA).

Según la CANACINTRA existen 13 sectores industriales, de los cuales se despliegan diversas ramas industriales, a continuación se enlistan los 13 sectores (CANACINTRA, 2017).

- Sector 1: Metal- Mecánico
- Sector 2: Química y paraquímica
- Sector 3: Bienes de capital
- Sector 4: Industrias diversas
- Sector 5: Alimentos, bebidas y tabaco
- Sector 6: Técnicos de servicios
- Sector 7: Fabricantes de productos y materiales para la construcción
- Sector 8: Elaboradora de artículos de papel, cartón y de escritorio
- Sector 9: Mueblero
- Sector 10: Automotriz
- Sector 11: Médico
- Sector 12: Tecnología informática y comunicaciones
- Sector 13: Economía verde

Sin embargo al haber giros de algunas empresas que no correspondían a ningún sector antes enlistados se decidió agregar 6 sectores más:

- Sector 14: Comercio al por menor
- Sector 15: Almacenamiento
- Sector 16: Servicios
- Sector 17: Textil
- Sector 18: Gases
- Sector 19: Cosméticos y belleza

Como primer paso, se dividió por sectores la información de las 225 empresas. Dichos datos se vaciaron en hojas de cálculos Excel, con el fin de tener orden, el número de industrias por sectores dentro del municipio y obtener la cantidad de agua gastada anualmente por parte de dichas empresas.

Los rubros que se utilizaron en la hoja de cálculo fueron: 1) La cantidad anual de agua utilizada por sector (m³).

Para el punto 1 (cantidad anual de agua utilizada), se sumó la cantidad reportada de cada empresa dentro de su sector.

5.2. Tratamiento de datos mediante “IBM SPSS Statistics”

La información que se tenía en Excel fue capturada en el programa estadístico de IBM “SPSS”. Se realizaron los cálculos estadísticos en una nueva hoja de trabajo con las variables del inventario de descargas de aguas residuales.

Para esto, fue necesario ir a la pestaña con el nombre de “vista de variables”. En dicho apartado se capturaron los datos que se tienen, es decir, sector, RFC, utilización, cantidad, pH, temperatura, grasas y aceites (GyA), sólidos sedimentables (SS), sólidos suspendidos totales (SST), sustancia activa azul de metileno (SAA), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), arsénico, mercurio, cadmio, cianuro, cobre, cromo hexavalente (CromoH), níquel, plomo, zinc y coliformes fecles (Colif) (Figura 8).

Reportado.sav [ConjuntoDatos1] - IBM SPSS Statistics Editor de datos

Archivo Editar Ver Datos Transformar Analizar Marketing directo Gráficos Utilidades Ampliaciones Ventana Ayuda

	Nombre	Tipo	Anchura	Decimales	Etiqueta	Valores	Perdidos	Columnas	Alineación	Medida	Rol
1	SECTOR	Numérico	2	0	SECTOR INDU...	{1, SECTO...	Ninguno	8	Centrado	Ordinal	Entrada
2	RFC	Cadena	14	0	RFC	Ninguno	Ninguno	8	Centrado	Ordinal	Entrada
3	UTILIZACIÓN	Cadena	8	0	TIPO DE DESC...	Ninguno	Ninguno	8	Centrado	Ordinal	Entrada
4	CANTIDAD	Numérico	8	3	CANTIDAD AN...	Ninguno	Ninguno	8	Centrado	Ordinal	Entrada
5	pH	Numérico	8	3	pH Sectores	Ninguno	Ninguno	8	Derecha	Ordinal	Entrada
6	Temperatura	Numérico	8	2	T	Ninguno	Ninguno	8	Derecha	Ordinal	Entrada
7	Grasasaceit...	Numérico	8	2	GyA	Ninguno	Ninguno	8	Derecha	Ordinal	Entrada
8	SolidosS	Numérico	8	3	SS	Ninguno	Ninguno	8	Derecha	Ordinal	Entrada
9	SolidosST	Numérico	8	3	SST	Ninguno	Ninguno	8	Derecha	Ordinal	Entrada
10	SAA	Numérico	8	4	SAA	Ninguno	Ninguno	8	Derecha	Ordinal	Entrada
11	DBO	Numérico	8	3	DBO	Ninguno	Ninguno	8	Derecha	Ordinal	Entrada
12	DQO	Numérico	8	4	DQO	Ninguno	Ninguno	8	Derecha	Ordinal	Entrada
13	Arsénico	Numérico	8	4	Arsénico	Ninguno	Ninguno	8	Derecha	Ordinal	Entrada
14	Cadmio	Numérico	8	4	Cadmio	Ninguno	Ninguno	8	Derecha	Ordinal	Entrada
15	Cianuro	Numérico	8	4	Cianuro	Ninguno	Ninguno	8	Derecha	Ordinal	Entrada
16	Cobre	Numérico	8	4	Cobre	Ninguno	Ninguno	8	Derecha	Ordinal	Entrada
17	CromoH	Numérico	8	4	CromoHexa	Ninguno	Ninguno	8	Derecha	Ordinal	Entrada
18	Mercurio	Numérico	8	4	Mercurio	Ninguno	Ninguno	8	Derecha	Ordinal	Entrada
19	Niquel	Numérico	8	4	Niquel	Ninguno	Ninguno	8	Derecha	Ordinal	Entrada
20	Plomo	Numérico	8	4	Plomo	Ninguno	Ninguno	8	Derecha	Ordinal	Entrada
21	Zinc	Numérico	8	4	Zinc	Ninguno	Ninguno	8	Derecha	Ordinal	Entrada
22	Colif	Numérico	8	4	Colif fec	Ninguno	Ninguno	8	Centrado	Ordinal	Entrada
23											
24											

Vista de datos Vista de variables

IBM SPSS Statistics Processor está listo Unicode:ON

Figura 8. Variables del inventario de descargas de agua residual

Como se observa en la Figura 8, los campos que se deben llenar son los siguientes:

Nombre: Se asignó un nombre para identificar la variable, la cual no contuvo más de ocho caracteres.

Tipo: Se asignó una característica a la variable de acuerdo a como se trabajó, además de que facilitó al software su correcta interpretación. Los dos tipos que se utilizaron fueron numérico y cadena; este último acepta los valores de letras o signos.

Anchura: Se fijó el número de caracteres que contenía la variable.

Decimales: Se indicó cuantos decimales acepta la variable.

Etiqueta: Se indicaron los nombres que aparecieron en la ventana de resultados.

Valores: Si la variable tuvo más de un valor, en esta opción se agregaron las especificaciones de todos los valores.

Medida: Fue necesario establecer las unidades de medida correcta para que el programa realizara los análisis solicitados.

Hay tres tipos de medida: Escala, ordinal y nominal.

Se establecieron todas las variables con la medida ordinal, esto quiere decir que se trató de variables que representaron categorías y tuvieron un ranking implícito.

Habiendo terminado la captura de todas nuestras variables, así como su caracterización, se llenaron los datos en la ventana de datos (pestaña inferior lado izquierdo) Figura 9.

Al abrirse la ventana de datos se encontraron las variables capturadas en “vista de variables” con el nombre asignado Figura 9.

Reportado.sav [ConjuntoDatos1] - IBM SPSS Statistics Editor de datos

Archivo Editar Ver Datos Transformar Analizar Marketing directo Gráficos Utilidades Ampliaciones Ventana Ayuda

Visible: 22 de 22 variables

	SECTOR	RFC	UTILIZACIÓN	CANTIDAD	pH	Temperatura	Grasas aceites	SolidosS	SolidosS T	SAA	DBO	DQO	Arsénico	Cadmio	Cianuro
1	1	AFO-8311...	SA	468.630	8.340	19.60	24.40	.500	84.000	.	129.000	.	.0007	.0800	.0200
2	1	CUP87052...		9964.500	8.570	22.40	42.50	.800	105.000	8.3330	119.200	215.6400	.0030	.0100	.0500
3	1	TTA850304...	SA	180.000	7.820	18.20	33.50	2.000	113.200	.	.	241.1300	.0030	.0100	.0050
4	1	LMM41081...	SA	1445.000	7.050	19.80	39.95	.400	93.900	.	112.500	112.5000	.0010	.1000	.1940
5	1	RCC-9201...	SA	908.820	7.710	23.50	58.60	1.000	19.000	.	14.110	.	.0010	.0500	.0200
6	1	MLA83092...	SA	1684.800	7.430	21.25	12.38	.500	85.000	.1000	110.860	192.2560	.0010	.0584	.0200
7	1	NIC680729...	PS	77280.000	7.380	25.20	19.28	.300	26.500	.0200	70.600	86.9500	.0020	.0550	.0200
8	1	ATH93020...	SA	1261.440	7.657	23.25	8.00	.100	19.000	.1000	31.330	53.7600	.0010	.0500	.0200
9	1	PRM82031...	PS	1353.230	7.610	16.00	5.00	.200	80.000	.	121.150	.	.0020	.0300	.0100
10	1	CUP87052...	MIXTA	1248.000	.	.	13.90	1.000	31.000	4.0690	98.250	244.8000	.0030	.0100	.0050
11	1			.	8.110	21.00	33.72	.600	69.000	.0341	83.170	168.1200	.0020	.0250	.
12	1	CON-0109...	SA	1224.000	8.000	21.60	.	.100	11.100	.	45.590	.	.0030	.0100	.0200
13	2	QSX89072...	SA	340.200	8.140	23.30	29.11	.400	84.000	100.0000	.	.	.0020	.0250	.
14	2		PS	643.480	8.690	22.50	29.10	.	52.500	.	70.790	151.2800	.	.	.
15	2	PCA-8010...	SA	1118.160	7.880	19.40	31.40	.	97.000	1.3700	137.000	137.0000	.0007	.0800	.0200
16	2	EMU-8006...	SA Y AP	725.320	8.630	22.50	8.00	.100	10.310	.7256	10.600	17.9200	.0010	.0500	.0200
17	2	MNS-0304...	SA	167.080	7.250	20.30	25.10	.500	77.000	.1200	134.000	274.0000	.0007	.0800	.0200
18	2	PMP95030...	TA	593.040	9.580	21.10	5.50	6.000	123.000	.	146.250	.	.0005	.0250	.0200
19	2	PEM-7101...	SA	985.720	6.550	18.60	10.00	.200	38.000	.	21.000	.	.0020	.0200	.0050
20	2	SLM85040...	SA	4364.000	6.940	19.20	.	.	72.586	.	86.080	.	.	.	.
21	2	GAI851223...	PS	123.880	7.200	15.00	8.27	.200	14.000	.	22.660	.	.0020	.1000	.0200
22	2	PRE-8204...	SA	2759.000	7.760	21.00	5.00	.	48.000	.	56.120	.	.0002	.2000	.0100

Vista de datos Vista de variables

IBM SPSS Statistics Processor está listo Unicode:ON

Figura 9. Vista de datos, llenado de variables

Los datos se capturaron de acuerdo a las características descritas en vista de variables y se realizó el análisis estadístico descriptivo de los datos del inventario Figura 10.

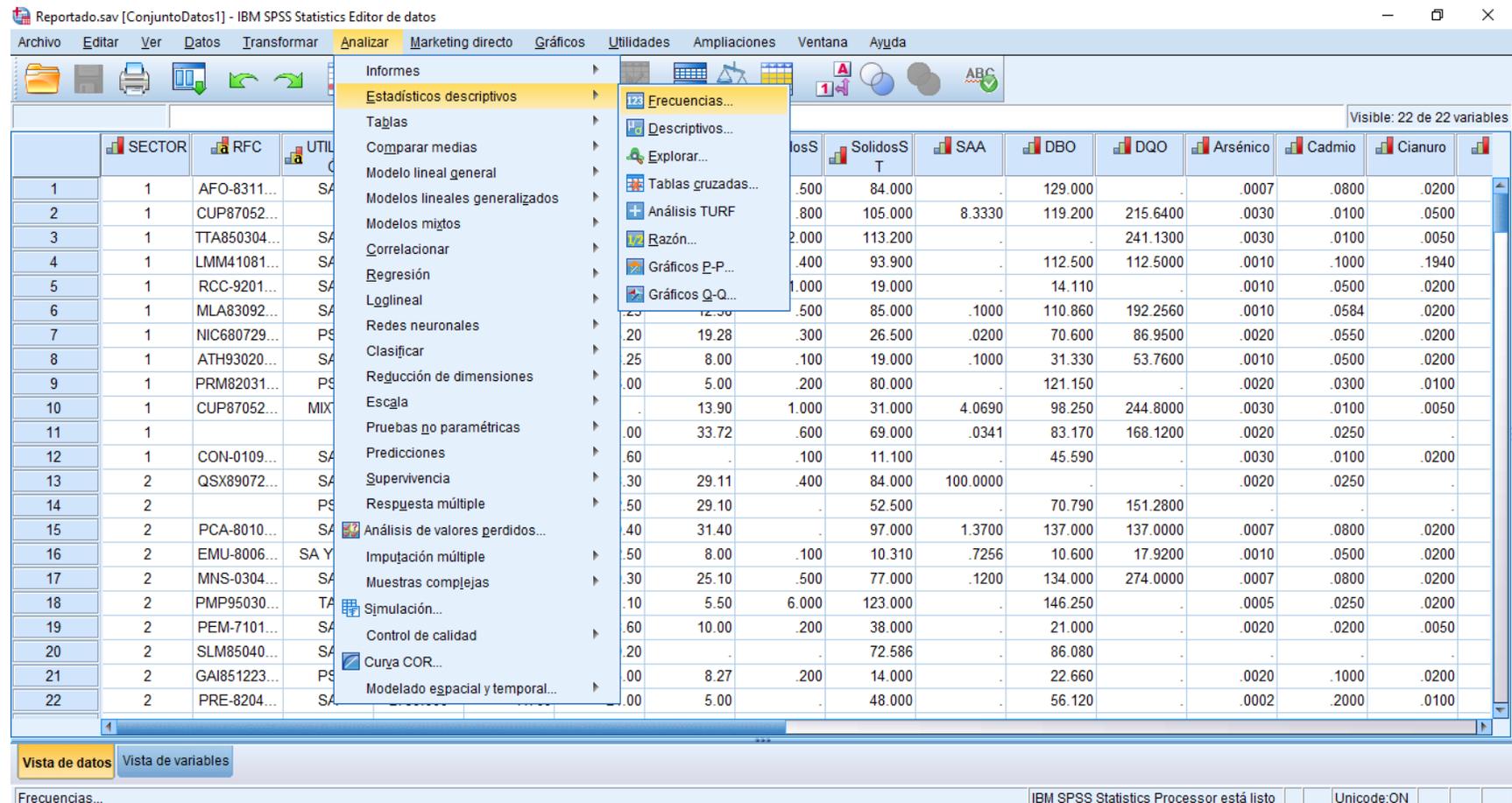


Figura 10. Pestañas para realizar el análisis estadístico

En la Figura 10 se observan las pestañas que abrieron para realizar el análisis estadístico, se dio clic en la pestaña “analizar”, posteriormente se seleccionó la opción de “estadísticos descriptivos” y finalmente se especificó la “frecuencia”. Al seleccionar esta opción se desplegó la siguiente pantalla Figura 11.



Figura 11. Recuadro de “frecuencias”

Se seleccionaron aquellas variables que formaron parte del análisis estadístico, en este caso se eligieron todos los reportados por las empresas en sus análisis de agua residual de acuerdo a la NOM-002-SEMARNAT-1996. Por lo tanto las variables seleccionadas fueron: pH, temperatura, grasas y aceites, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, sustancia activa azul de metileno, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, arsénico, cadmio, cianuro, cobre, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plomo, zinc y coliformes fecales.

Una vez seleccionadas todas las variables (cuadro derecho), se dio clic en la pestaña de “estadísticos” y se desplegó el siguiente recuadro Figura 12.

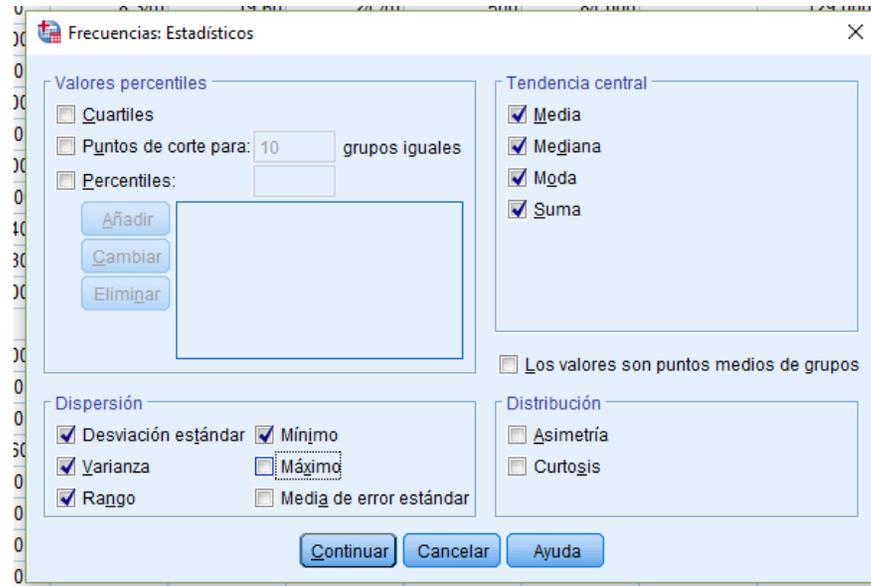


Figura 12. Recuadro “Frecuencias estadísticas”

Se desplegó el recuadro “frecuencias estadísticas” Figura 12, aquí se seleccionaron los estadísticos que se analizaron, en donde se palomeó al hacer clic en cada uno de ellos.

Para la tendencia central se seleccionaron: media, mediana, moda y suma; en dispersión seleccionamos desviación estándar, varianza, rango, mínimo, máximo, media del error estándar y se dio clic en continuar.

Se dio clic en continuar y se regresó a la ventana de “frecuencias”.

Inmediatamente nos despliega el visor de “resultados” Figura 13.

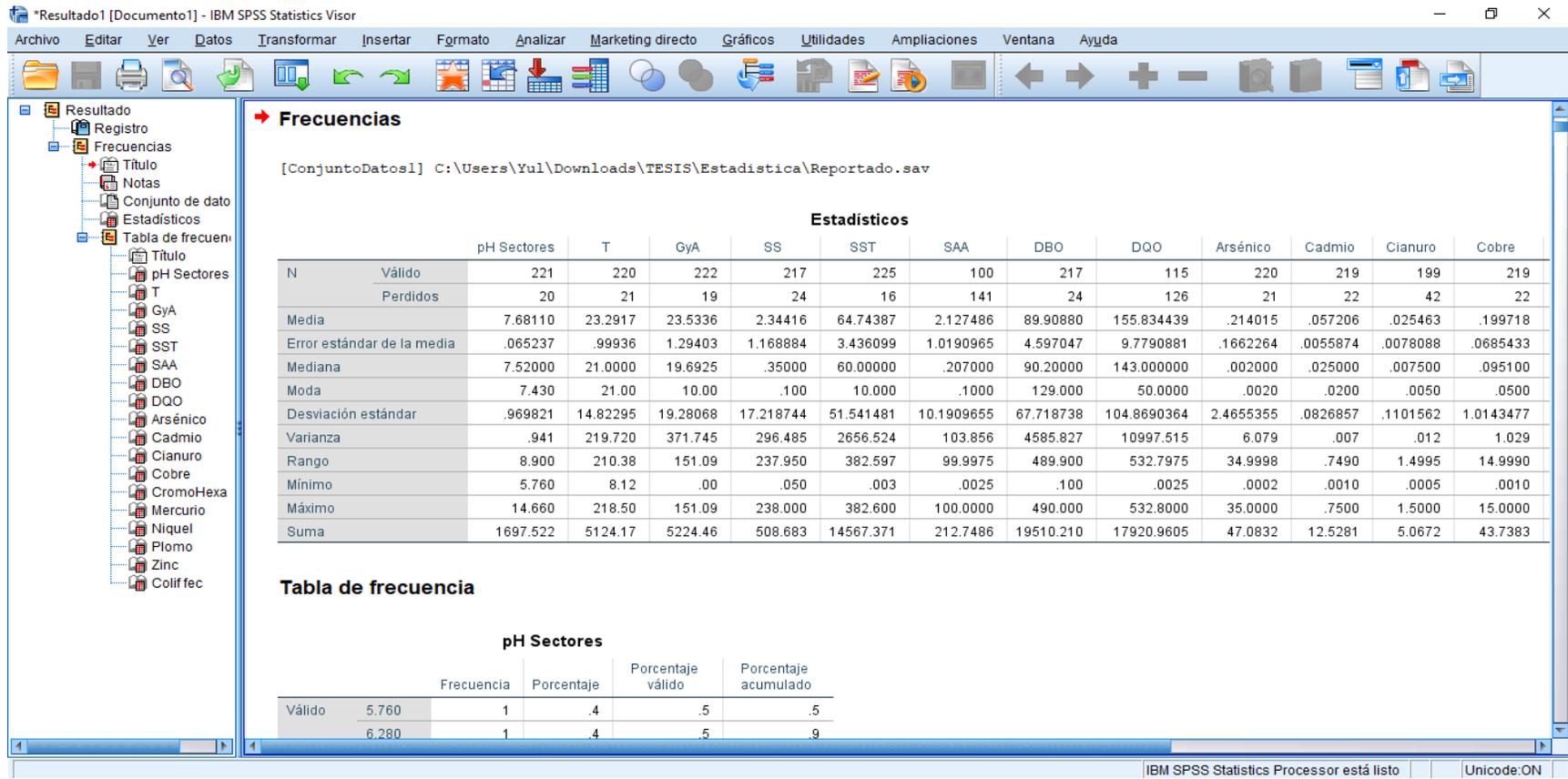


Figura 13. Visor de resultados

El visor de resultados arrojó el análisis estadístico que se solicitó. En la Figura 13 se observa que por cada variable seleccionada se mostró el resultado de sus estadísticos descriptivos que se solicitaron en la ventana “frecuencia estadística”.

5.3. Cálculos estadísticos

Posterior al análisis estadístico se tomaron cuatro muestras de aguas residuales ubicados en el municipio de Tlalnepantla de Baz, esto con la finalidad de correlacionar los resultados teóricos reportados en la COI con lo real en el municipio.

5.4. Caso práctico

Se tomaron cuatro muestras de aguas a lo largo de un canal de agua ubicado en la colonia San Pedro Barrientos, Tlalnepantla de Baz, Estado de México.

Tabla 5. Muestreo de un canal de aguas residuales

MUESTRA	UBICACIÓN	PROCEDENCIA	FECHA/HORA
1	Calle México 68 No. 29. Tlalnepantla de Baz. Col. San Pedro Barrientos	Desconocida.	11:00 h 19/Ago/ 16
2	Calle México 68 No. 29. Tlalnepantla de Baz. Col. San Pedro Barrientos	Limpieza de camiones de cementera.	11:15 h 19/Ago/ 16
3	Calle México 68 No. 19. Tlalnepantla de Baz. Col. San Pedro Barrientos	Servicios (Colegio).	11:33 h 19/Ago/ 16
4	Calle Tepemajalco. Tlalnepantla de Baz. Col. San Pedro Barrientos	Estructuras metálicas.	11:45 h 19/Ago/16

Las muestras fueron recolectadas en botes de plástico rígidos, blancos, etiquetados perfectamente con número de muestra, fecha, punto de recolección y hora, posterior a la toma fueron resguardados en el refrigerador ubicado en los laboratorios de química inorgánica.

Como primer paso es la caracterización de la muestra (Diagrama 1).

5.4.1. Caracterización de una muestra de agua residual

5.4.2. Material, equipos y reactivos.

5.4.3. Material

- Envases de plástico capacidad de 1 L
- Vasos de precipitado de 250 mL, 50 mL
- Probeta graduada de 25 y 50 mL
- Pipetas graduadas de 5 mL
- Pipeta volumétrica de 25 mL
- Bureta graduada de 50 mL
- Matraces Erlenmeyer de 125 mL
- Matraz kitazato
- Piseta
- Espátula
- Propipeta
- Tiras reactivas para determinar pH
- Tubos de Nessler
- Tubos para centrífuga
- Tubos de digestión de borosilicato de 10 mL con tapones de rosca
- Celdas de cuarzo y/o plástico
- Cápsula de porcelana
- Crisol Gosh de 25 mL con adaptador
- Agitador de vidrio
- Manguera de hule
- Soporte para tubos de digestión
- Soporte universal con pinza y nuez
- Mechero Bunsen
- Tripie con tela de asbesto
- Baño maría

5.4.4. Equipos

- Computadora Toshiba Satellite con programa IBM SPSS Statistics versión 24
- Balanza analítica
- Termoreactor
- Centrífuga
- Horno de secado
- Horno de mufla
- Desecador
- Espectrofotómetro
- Electrodo
- Turbidímetro
- Conductímetro

-
- Disco de Hellige
 - Colorímetro Hellige
 - Potenciómetro
 - Equipo generador de vacío

5.4.5. Reactivos

- Agua destilada
- Fenolftaleína
- Anaranjado de metilo
- Negro de Ericromo T
- Murexida
- Ácido sulfúrico H_2SO_4 0.02 N
- EDTA 0.01 M
- Solución de NaOH 0.1 N
- Solución amortiguadora de NH_4Cl/ NH_4OH pH= 10
- Solución catalítica de H_2SO_4 concentrado
- Solución de digestión de $K_2Cr_2O_7$ 0.035 M



R_1 es desechado a la tarja.

Diagrama 1. pH

En la caracterización del agua se tuvo que medir el pH. Para dicha medición se tomó la cantidad suficiente de muestra, de manera que el electrodo del potenciómetro quedara sumergido por completo. Posteriormente se calibró el equipo con ayuda de buffer 4, 7 y 10 para poder así tomar la lectura de cada muestra (Diagrama 1).

Posteriormente se continuó la caracterización física de las muestras de agua, las cuales incluye conductividad y turbidez (Diagrama 2 y Diagrama 3).

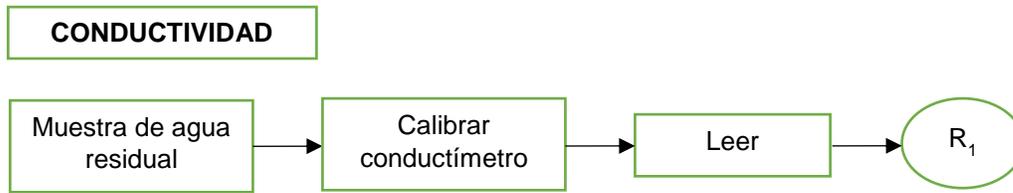


Diagrama 2. Conductividad

Se tomó una muestra de agua en un vaso de precipitados de 50 mL (cantidad suficiente para que el electrodo quede sumergido). Se corroboró que el equipo se encontrara calibrado, para poder así tomar la lectura de cada muestra.



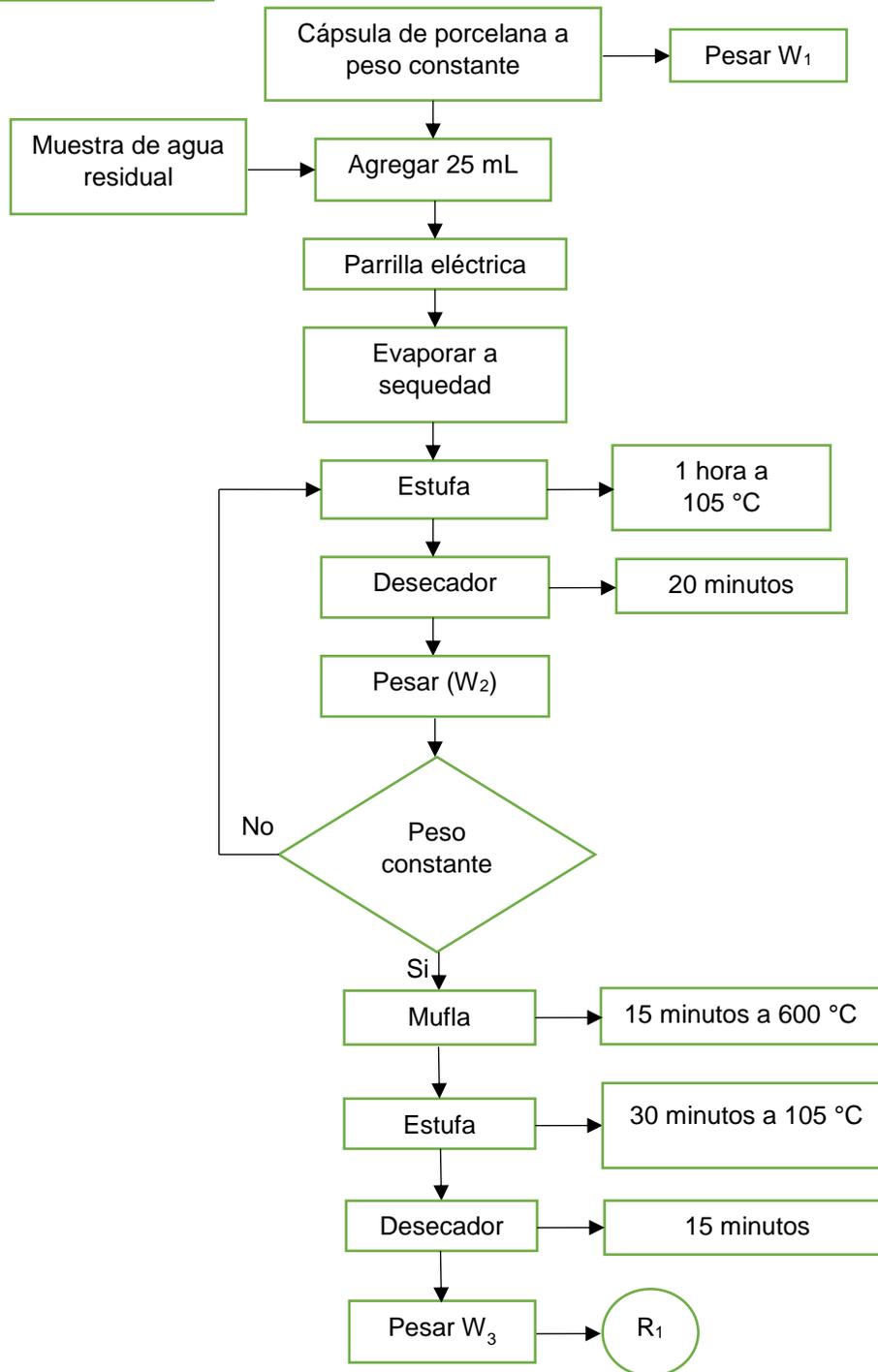
R_1 y R_2 son desechados a la tarja.

Diagrama 3. Turbidez

Se llenó la celda del turbidímetro con la muestra (10 mL aproximadamente). Se utilizó como blanco una celda con agua destilada, posteriormente se realizaron las mediciones de las muestras.

Se utiliza agua destilada como blanco ya que su turbidez es despreciable comparada a la de las muestras analizadas, las cuales tienen una turbidez muy elevada.

SÓLIDOS TOTALES



R₁ es desechado a la basura
W= peso

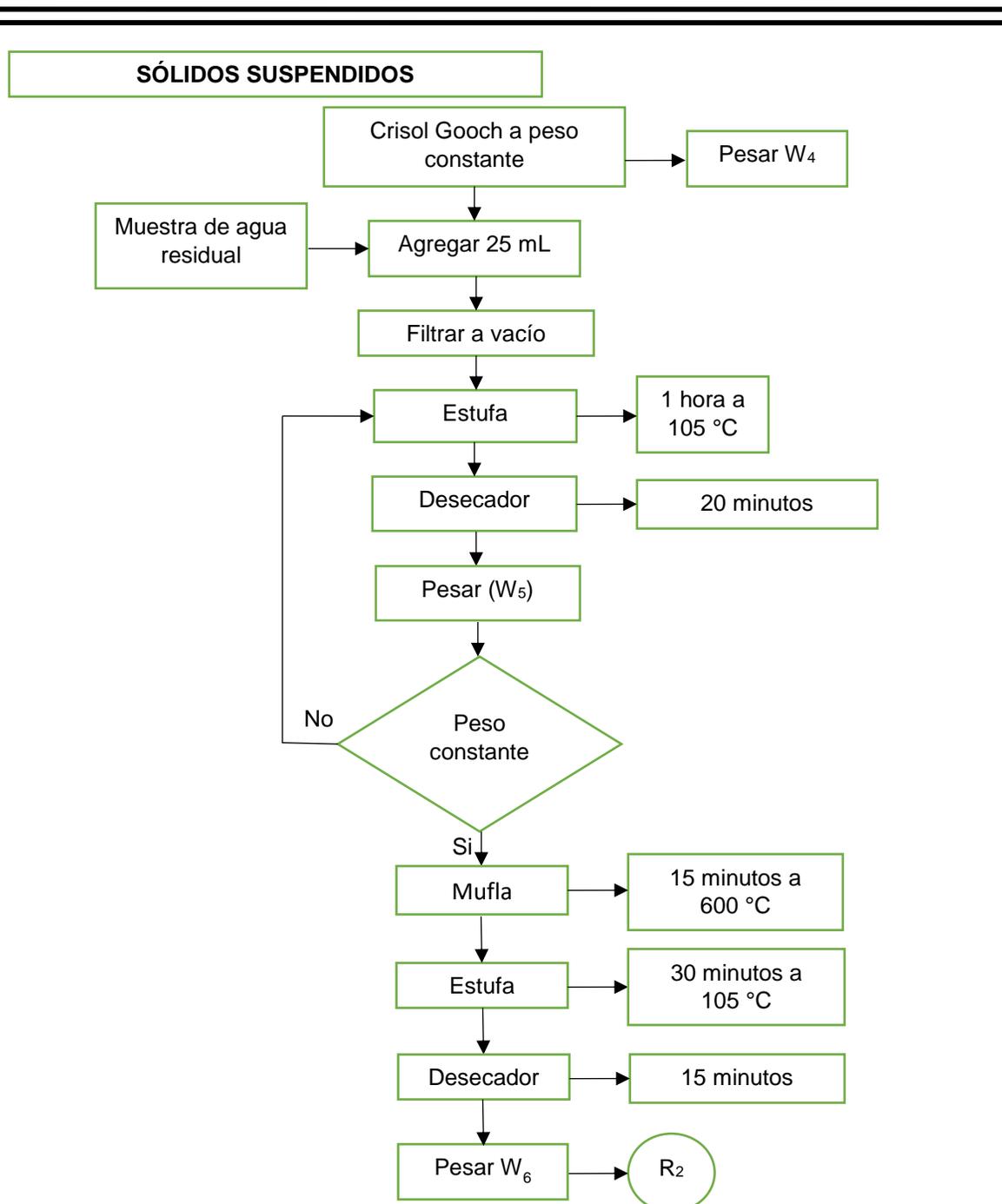
Diagrama 4. Sólidos totales

Se utilizaron cápsulas de porcelana a peso constante, se tomaron 25 mL con una pipeta volumétrica de 25 mL de muestra.

Se colocaron en baño maría hasta sequedad, una vez que se lleva a sequedad, la cápsula se colocó en la estufa por 1 hora a una temperatura de 105 °C.

Transcurrida la hora, se pasó la cápsula al desecador para que se enfriara 20 minutos, se realizaron estos pasos hasta alcanzar el peso constante.

La cápsula de porcelana fue colocada en la mufla a 600 °C por 15 minutos. Para enfriar la cápsula y obtener el último peso se pasó a la estufa a 105 °C por 30 minutos y posteriormente al desecador por otros 15 minutos.



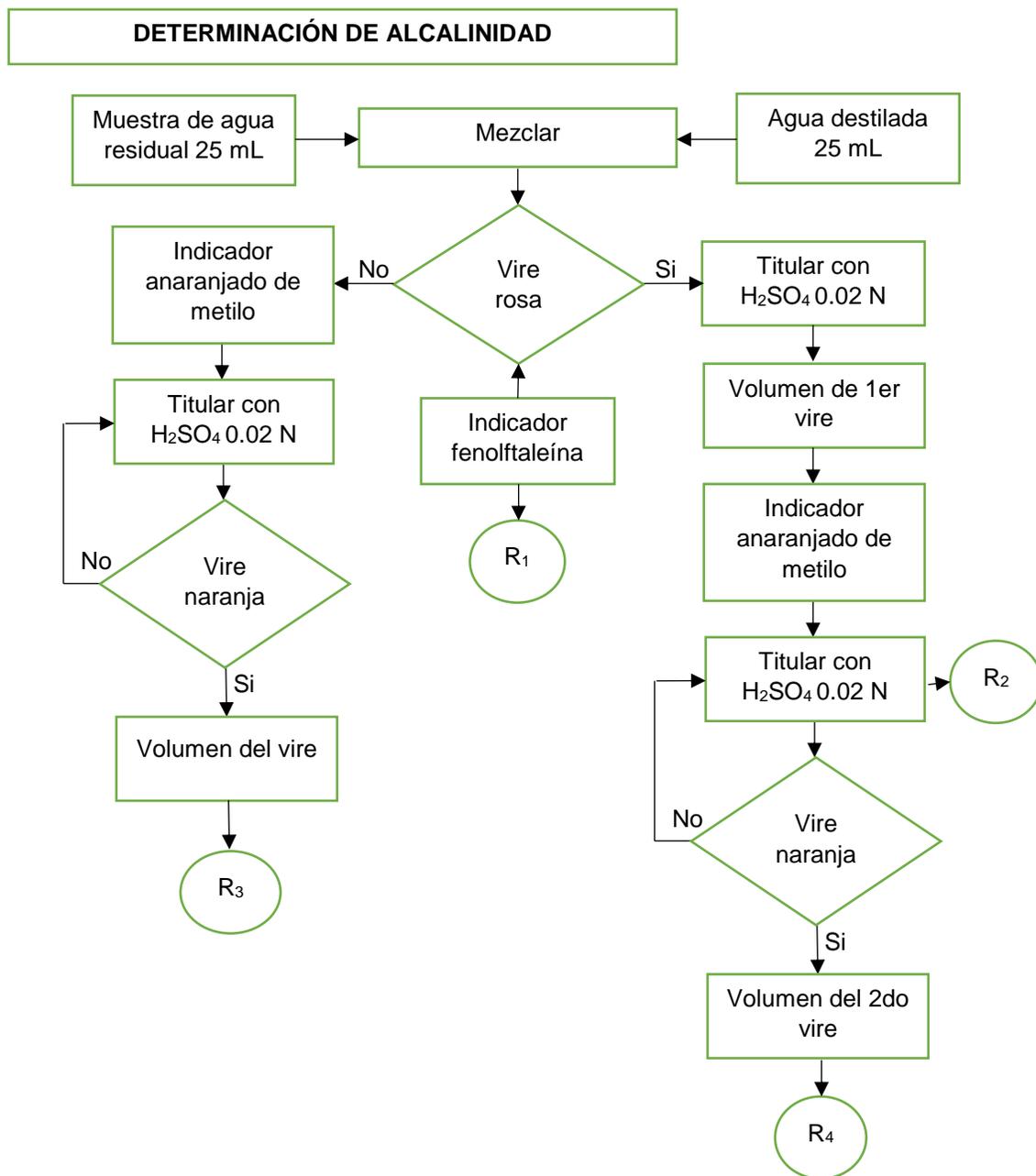
R₂ es desechado a la basura
W= peso

Diagrama 5. Sólidos Suspendidos

Se pesó un Crisol Gooch con papel filtro, el cual se colocó al vacío en un matraz kitazato, se utilizaron 25 mL de muestra.

Una vez filtrada la muestra, se colocó el Crisol Gooch en la estufa por 30 minutos a 105 °C, transcurrido el tiempo se pasó al desecador por 15 minutos para enfriarlo a temperatura ambiente.

Se colocó el Crisol Gooch en la mufla a 600 °C por 20 minutos.



R₁ y R₂ guardar en un frasco debidamente etiquetado.
R₃ y R₄ desechar en la tarja.

Diagrama 6. Determinación de alcalinidad

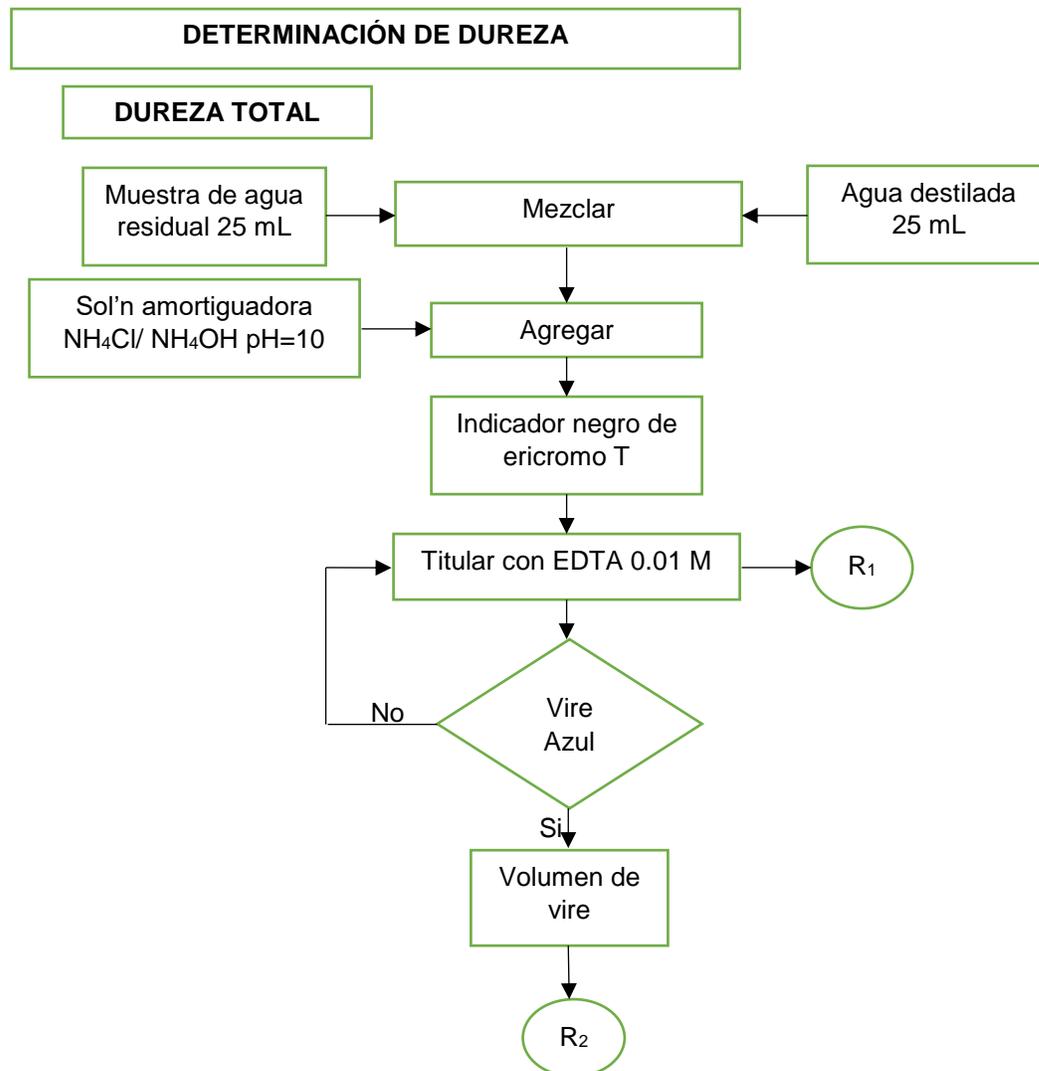
Para la determinación de alcalinidad se tomaron 50 mL de muestra y 50 mL de agua potable como blanco en matraces Erlenmeyer de 25 mL.

Se agregaron gotas de fenolftaleína, si había coloración rosa pálido se continuaba con una titulación.

La titulación se realizó con H_2SO_4 0.02 N hasta que desapareciera el color. Se registraron los mililitros gastados (alcalinidad a la fenolftaleína).

Se agregaron unas gotas de anaranjado de metilo.

Posteriormente se tituló la solución con H_2SO_4 0.02 N hasta cambio de color (amarillo a naranja), alcalinidad total.



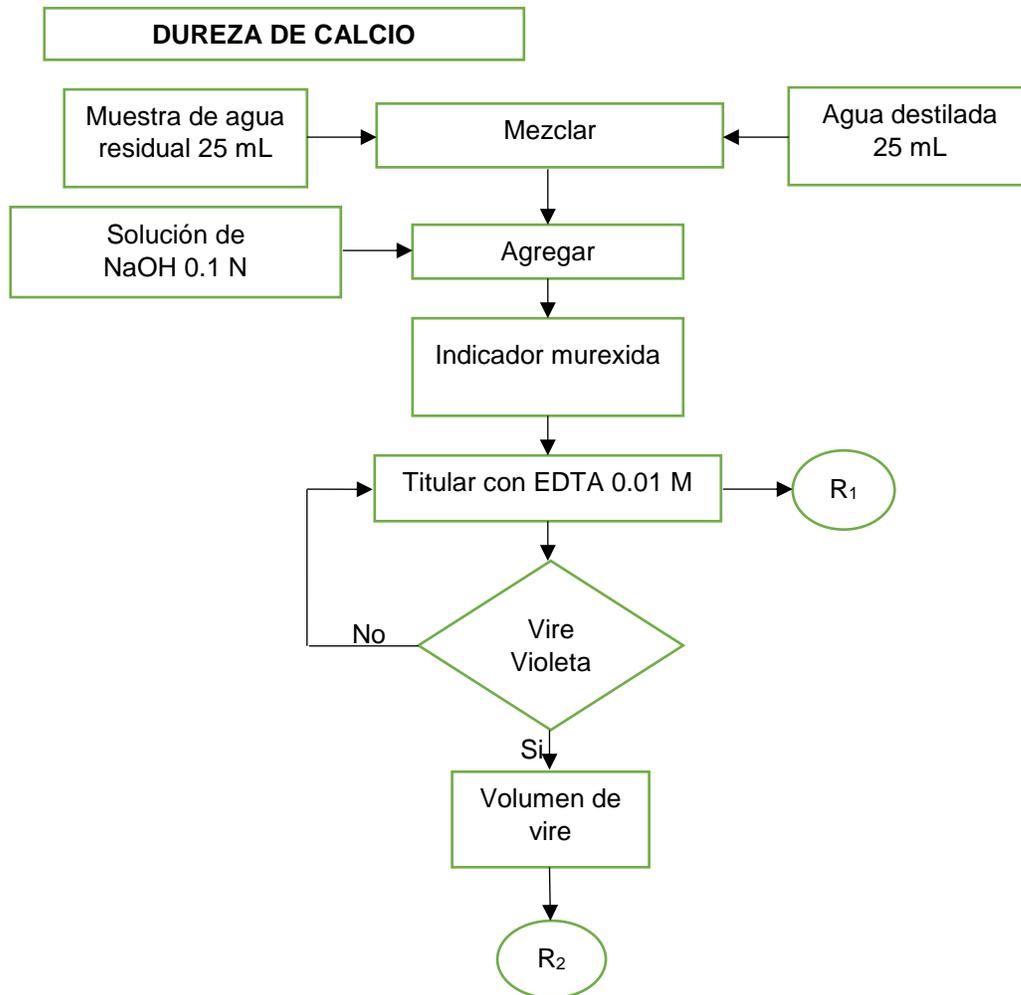
R₁ almacenar en un frasco debidamente etiquetado.
 R₂ neutralizar y desechar a la tarja.

Diagrama 7. Determinación de dureza total

Se colocaron 50 mL de muestra y 50 mL de agua potable como blanco en matraces Erlenmeyer de 125 mL respectivamente.

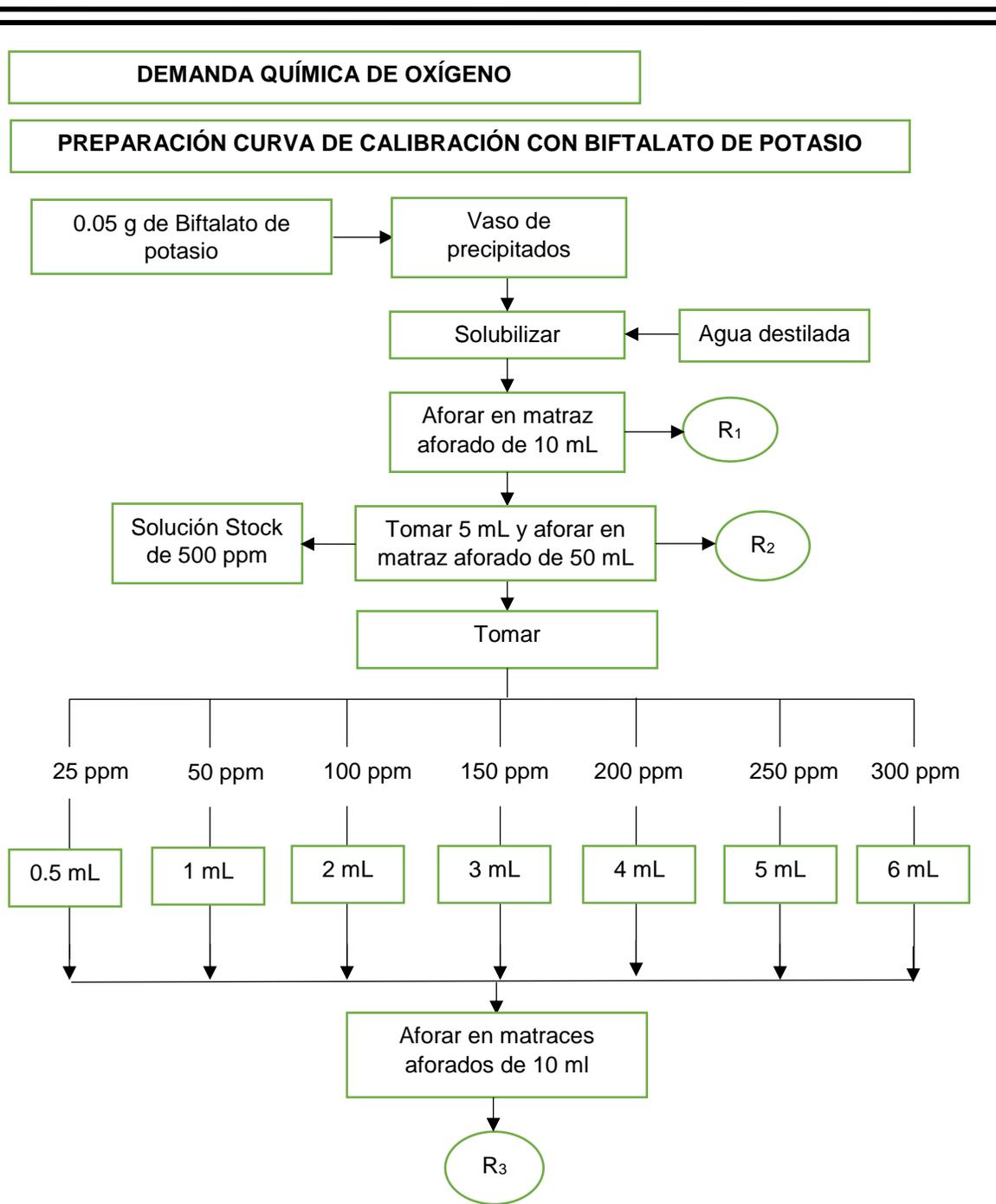
Se agregó 1 mL de solución amortiguadora para dureza total NH₄Cl/ NH₄OH pH= 10.

Posteriormente se utilizó una pizca de indicador NET y se tituló con una solución de EDTA 0.01 M hasta cambio de color violeta a azul.



R₁ almacenar en un frasco debidamente etiquetado.
 R₂ neutralizar y desechar a la tarja.

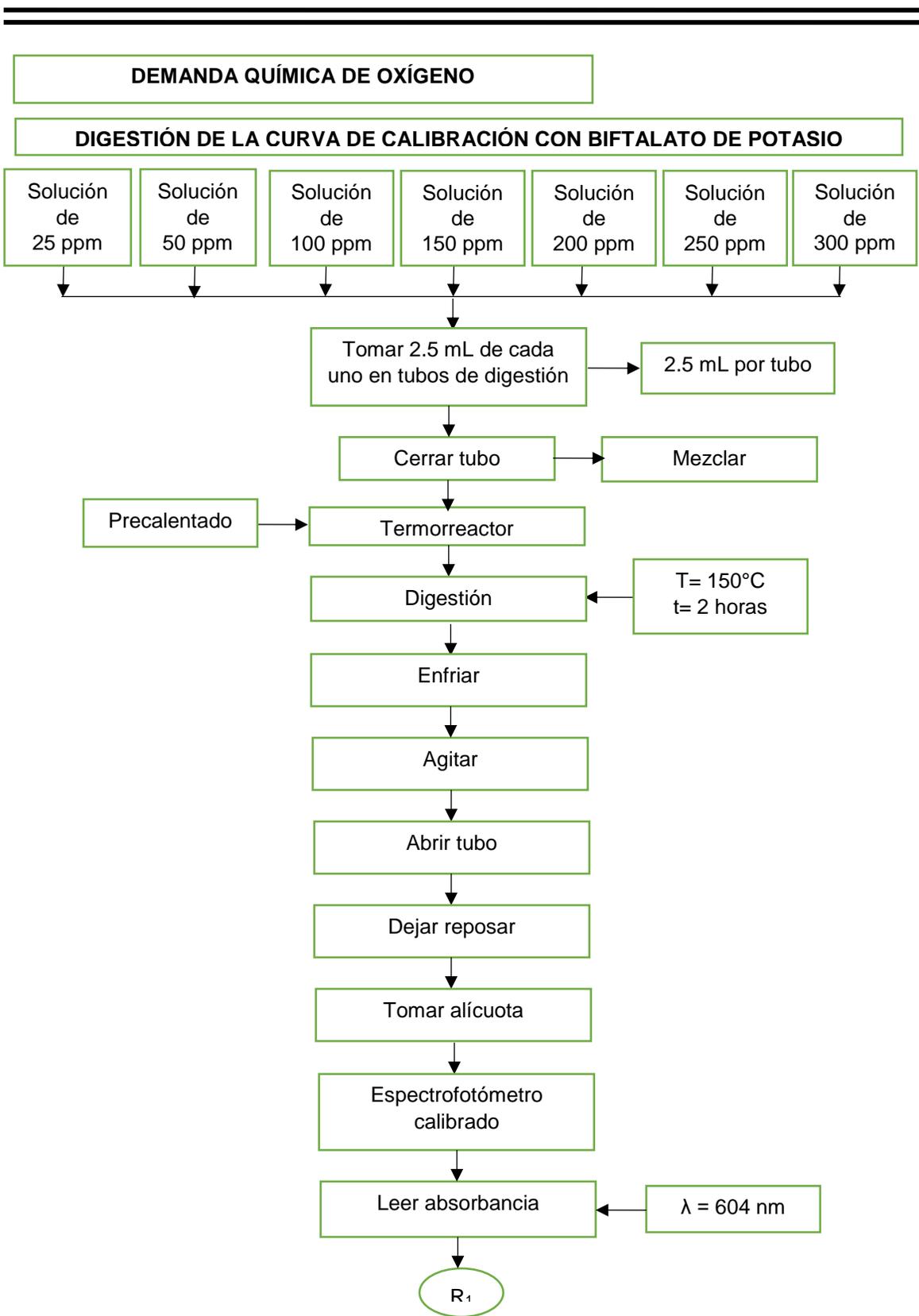
Diagrama 8. Dureza de Calcio



R₁, R₂, R₃: Neutralizar y desechar a la tarja.

Diagrama 9. Preparación de curva de calibración con Biftalato de Potasio para Demanda Química de Oxígeno

Para la determinación de la DQO primero se realizó una curva de Biftalato de Potasio de 25- 300 ppm el cual se utiliza como referencia para calcular la DQO.



R₁ almacenar en un frasco debidamente etiquetado para su disposición final.

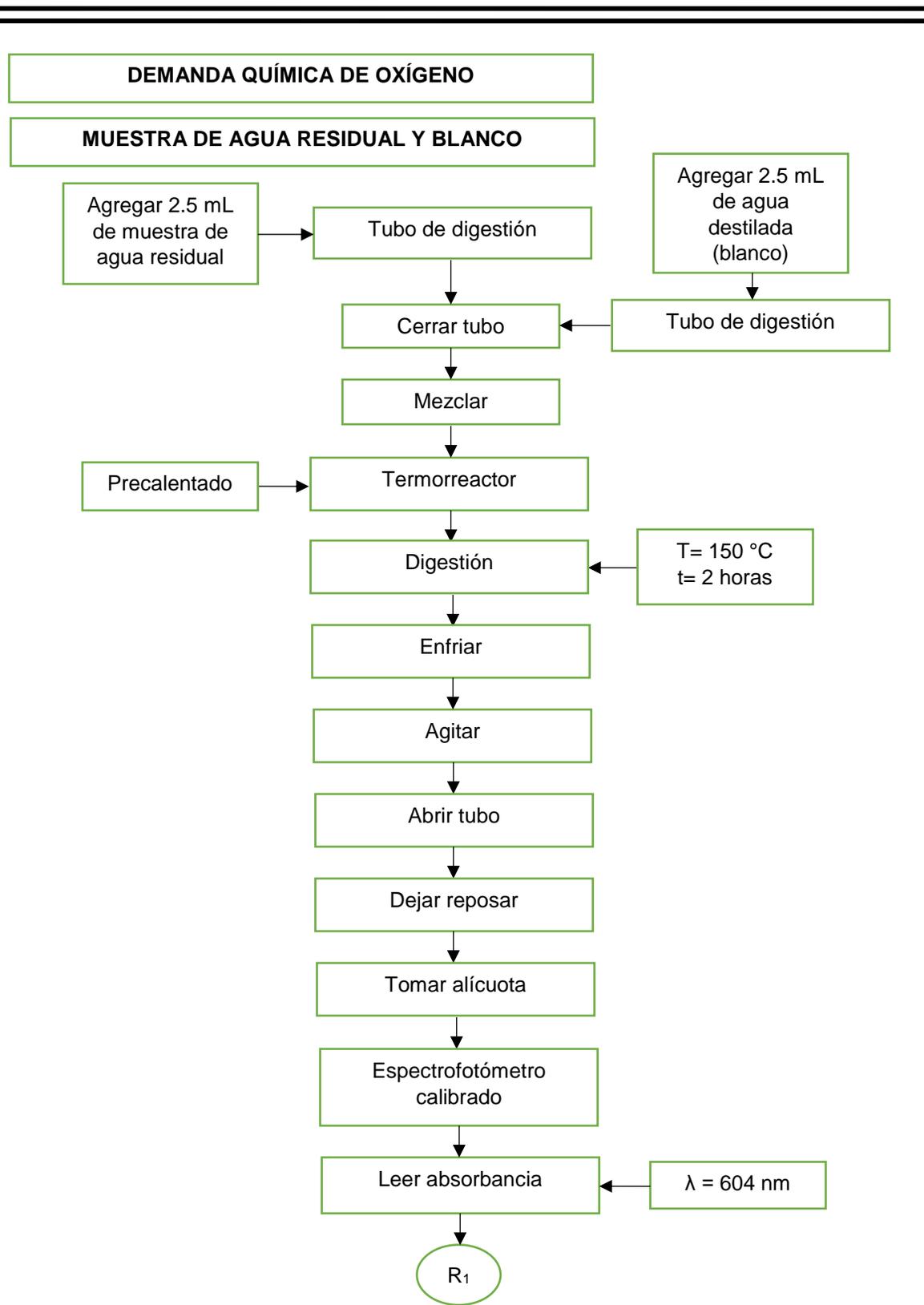
Diagrama 10. Digestión de la curva de calibración de Biftalato de Potasio

Para la preparación de la curva de calibración se pesaron 50 mg de Biftalato de Potasio en 10 mL (5000 ppm), se toman 5 mL de la solución anterior en 50 mL (500 ppm), posteriormente se realizaron las siguientes diluciones:

Tabla 6. Preparación para la curva de calibración DQO.

Alícuota (mL)	Volumen (mL)	Concentración (ppm)
0.5	10	25
1	10	50
2	10	100
3	10	150
4	10	200
5	10	150
6	10	300
10	10	500

Una vez que se preparó la curva de calibración de Biftalato de Potasio de acuerdo al Diagrama 9, se realiza la digestión de la misma en tubos de digestión los cuales se colocan en un termoreactor para su digestión por 2 horas. Posteriormente se dejan enfriar y se toma la absorbancia de cada uno de los puntos en un espectrofotómetro UV/ VIS a 604 nm.



R₁ almacenar en un frasco debidamente etiquetado para su disposición final.

Diagrama 11. Muestras de agua y blanco para la Demanda Química de Oxígeno

Se colocaron 2.5 mL de muestra en tubos de digestión, utilizando agua destilada como blanco de reactivos, del cual se tomó 2.5 mL de igual manera.

Se adicionó la solución de digestión y se colocaron en un termorreactor por 2 horas, pasado el tiempo de digestión se dejaron enfriar los tubos para realizar la medición de su absorbancia en un espectrofotómetro de UV/VIS 604 nm.

Cada tubo contenía las siguientes cantidades:

Tabla 7. Volúmenes digestión DQO.

Muestra	Solución de digestión	Solución Catalizadora
2.5 mL	1.5 mL	3.5 mL

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Inventario de descargas de aguas residuales

El inventario de descargas de aguas residuales se realizó tomando la información reportada en la Cédula de Operación Integral (COI) de cada una de las industrias ubicadas dentro del municipio de Tlalnepantla de Baz. Como se indica en el apartado 4.7 en la COI se reportan los resultados de las Descargas de Aguas Residuales con las que cuentan las industrias.

Dado que la COI es reportada por todas aquellas industrias que cuentan con emisiones a la atmósfera (sin importar el sector al que pertenezcan), se decidió separar dichas industrias en sectores de acuerdo a la CANACINTRA con el fin de conocer el número de empresas por sector que se registraron en el inventario. Por lo tanto tenemos de acuerdo a la Tabla 8 un total de 225 empresas distribuidas en 13 sectores industriales, siendo el de mayor número de empresas registradas (35 en total) el sector 14, que es de comercio al por menor.

Tabla 8. Industrias por sector

SECTOR	NÚMERO DE INDUSTRIAS
1	12
2	31
3	10
4	9
5	23
6	16
7	4
8	12
9	1
10	8
11	4
12	0
13	0
14	35
15	16
16	28
17	11
18	2
19	3
TOTAL	225

Por otro lado en el inventario, se estableció un apartado donde se indica la cantidad de agua descargada por cada industria, se realizó una suma de las cantidades por sector industrial, encontrando que el sector con un mayor consumo de agua es el sector 5 que es de alimentos, bebidas y tabaco con 2, 188,172.694 m³ de agua descargada. De acuerdo a lo reportado por las industrias, el agua descargada se trataba de agua de servicio o agua de proceso, sin embargo en la mayoría de los casos el agua era mixta (de servicio y de proceso).

Tabla 9. Cantidad de agua descargada por sector

SECTOR	CANTIDAD DESCARGADA (m³)
SECTOR 5: ALIMENTOS, BEBIDAS Y TABACO	2,870,751.800
SECTOR 4: INDUSTRIAS DIVERSAS	228,067.010
SECTOR 16: SERVICIOS	141,433.700
SECTOR 2: QUÍMICA Y PARAQUÍMICA	95,306.770
SECTOR 7: FABRICANTES DE PRODUCTOS Y MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN	106,829.906
SECTOR 14: COMERCIO AL POR MENOR	100,232.510
SECTOR 1: METAL- MECÁNICO	97,018.425
SECTOR 6: TÉCNICOS DE SERVICIOS	77,641.210
SECTOR 8: ELABORADORA DE ARTÍCULOS DE PAPEL, CARTÓN Y DE ESCRITORIO	70,473.005
SECTOR 17: TEXTIL	54,835.970
SECTOR 15: ALMACENAMIENTO	46,708.260
SECTOR 3: BIENES DE CAPITAL	29,519.860
SECTOR 19: COSMÉTICOS Y BELLEZA	13,419.000
SECTOR 10: AUTOMOTRIZ	11,225.597
SECTOR 11: MÉDICO	8,522.060
SECTOR 18: GASES	3,080.000
SECTOR 9: MUEBLERO	6,910.000
SECTOR 12: TECNOLOGÍA INFORMÁTICA Y COMUNICACIONES	0
SECTOR 13: ECONOMÍA VERDE	0
TOTAL DE AGUA DESCARGADA ANUALMENTE	3,961,975.080

6.2. Tratamiento de datos mediante “IBM SPSS Statistics”

Para calcular los estadísticos descriptivos de los datos se utilizó el programa IBM SPSS Statistics, donde fue necesario acomodar los datos reportados por las empresas ya que la mayoría estaban reportados con los signos “<,>” por lo que no se podía realizar el análisis estadístico, lo que se hizo fue eliminar los signos y tomar el valor absoluto.

Habiendo eliminado los signos, se calcularon los estadísticos mostrados en la Tablas 10 para cada variable del inventario.

Tabla 10. Estadísticos en IBM SPSS Statistics

		pH Sectores	T	GyA	SS	SST	SAA
N	Válido	221	220	222	217	225	100
	Perdidos	20	21	19	24	16	141
Media		7.681	22.387	23.533	2.344	64.743	2.127
Error estándar de la media		0.065	0.451	1.294	1.168	3.436	1.019
Mediana		7.520	21.000	19.692	0.350	60.000	0.207
Moda		7.430	21.000	10.000	0.100	10.000	0.100
Desviación estándar		0.969	6.702	19.280	17.218	51.541	10.190
Varianza		0.941	44.925	371.745	296.485	2656.524	103.856
Rango		8.900	55.380	151.090	237.950	382.598	99.997
Mínimo		5.760	8.120	0.000	0.050	0.003	0.002
Máximo		14.660	63.500	151.090	238.000	382.600	100.000

Continuación Tabla 10.

	DBO	DQO	Arsénico	Cadmio	Cianuro	Cobre
Válido	217	115	220	219	199	219
Perdidos	24	126	21	22	42	22
Media	89.908	155.834	0.214	0.057	0.025	0.199
Error estándar de la media	4.597	9.779	0.166	0.005	0.007	0.068
Mediana	90.200	143.000	0.002	0.025	0.007	0.095
Moda	129.000	50.000	0.002	0.020	0.005	0.050
Desviación estándar	67.718	104.869	2.465	0.082	0.110	1.014
Varianza	4585.827	10997.515	6.079	0.007	0.012	1.029
Rango	489.900	532.797	34.999	0.749	1.499	14.999
Mínimo	0.100	0.002	0.0002	0.001	0.0005	0.001
Máximo	490.000	532.800	35.000	0.750	1.500	15.000

Continuación Tabla 10.

	CromoHexa	Mercurio	Niquel	Plomo	Zinc	Colif fec
Válido	197	221	218	220	218	0
Perdidos	44	20	23	21	23	241
Media	0.079	0.004	0.243	0.232	0.273	
Error estándar de la media	0.006	0.001	0.030	0.013	0.050	
Mediana	0.050	0.002	0.150	0.180	0.120	
Moda	0.050	0.001	0.100	0.100	0.020	
Desviación estándar	0.087	0.021	0.450	0.207	0.741	
Varianza	0.008	0.000	0.203	0.043	0.551	
Rango	0.740	0.249	5.985	1.470	8.998	
Mínimo	0.009	0.0004	0.015	0.030	0.001	
Máximo	0.750	0.250	6.000	1.500	9.000	

Se realizó una comparación de los datos mostrados anteriormente, con los límites máximos permisibles reportados en la NOM-002-SEMARNAT-1996 obteniendo los siguientes resultados por cada parámetro:

pH: para los resultados de pH se tuvo un total de 241 datos, de los cuales únicamente se utilizaron 221 y se descartaron 20 datos ya que no cumplían con las especificaciones como para ser tomados en cuenta para el cálculo, cabe mencionar que se dejaron espacios en blanco ya que las empresas no reportaban ningún valor por lo que existe esta cantidad de datos perdidos.

El valor de la media es de 7.681, este valor se encuentra dentro del rango permisible por la NOM-002-SEMARNAT-1996 (5.5-10), también es sabido que el agua debe ser neutra, por lo tanto cumple con lo especificado.

La mediana es de 7.52, éste es su valor intermedio, lo que nos indica que los demás valores de pH se encuentran más arriba o por debajo de este valor, existiendo la misma cantidad de valores debajo o arriba del mismo.

La moda tiene valor de 7.43, este valor es el que se repite con más frecuencia, el valor sigue siendo neutro.

La desviación estándar nos indica que hay una diferencia de 0.969821 a la media calculada, por lo que los datos están a este valor de la media, ya sea por arriba o por debajo. La varianza por otro lado es de 0.941, recordemos que sirve para calcular la desviación estándar, sacando la raíz cuadrada de la varianza, esto con el fin de obtener números positivos.

El rango es de 8.90, éste es calculado a partir de la resta del número más grande menos el más pequeño, por lo tanto nos indica el grado de dispersión de nuestros datos, si observamos en la Tabla 10 la media fue de 7.68110 por lo que el rango de 8.90 está a 1.2189 unidades de distancia, mientras más pequeño sea este valor, los datos serán más homogéneos, se considera que en este caso el rango no tiene una gran diferencia/ distancia de la media por lo que es aceptable.

Se detectó un valor mínimo de 5.760, este valor apenas es aceptado dentro del rango de pH permitido por la NOM-002-SEMARNAT-1996, por otra parte el valor máximo es de 14.660 el cual está por arriba del límite permisible, esto nos indica que por lo menos una empresa desecha aguas residuales con pH más alto y no permitido.

Temperatura (T): Se tiene un muestra de 220 resultados, nuestra media es de 22.38°C, de acuerdo a la NOM-002- SEMARNAT-1996 el valor máximo permisible es de 40°C por lo que se encuentra en un valor permisible, el error estándar de la media es de 0.45186, valor aceptable al no ser mayor de una unidad.

La mediana es de 21°C, los valores de temperatura se encuentran por arriba y por debajo de este valor, distribuidos equitativamente.

El valor con más frecuencia (moda) es de 21°C, si observamos es el mismo valor que la mediana.

Existe una desviación de 6.70, lo que es igual a la diferencia de los valores a la media. La varianza es de 44.925, con lo que sacando la raíz cuadrada se obtiene la desviación estándar.

La temperatura mínima es de 8.12 mientras que la máxima es de 63.50, esta última se encuentra por encima de lo permisible por la normatividad.

Grasas y aceites (GyA): Se analizaron 222 resultados, 19 fueron descartados ya que las empresas no entregaron el dato o no era válido, la media es de 23.53, lo cual es la suma de los datos entre el número de datos, en este caso 222, la cantidad que más se repite es 10, la desviación estándar es de 19.28, de acuerdo a la NOM-NOM-002-SEMARNAT-1996, el límite permisible es de 50 mensual, 75 diario y 100 instantáneo, por lo cual si observamos el máximo es de 151.09 lo cual está fuera de especificación.

Sólidos sedimentables (SS): Tenemos un valor medio de 2.34 ppm de las 217 empresas validas, el valor que más veces se repite es 0.1 ppm, nuestro mínimo es de 0.05 ppm mientras que el máximo es de 238 ppm.

Sólidos suspendidos totales (SST): 225 datos fueron válidos para el cálculo de sus estadísticos; la media que tenemos es de 64.74 ppm, el valor que más se repite es 10 ppm, tenemos un valor mínimo de 0.003 ppm y de máximo 382.6 ppm, el límite máximo permisible promedio mensual es de 5 ppm por lo que los resultados antes mencionados indican que algunas de las empresas reportan valores fuera de lo especificado por la norma.

Arsénico: la NOM-002-SEMARNAT-1996 establece un límite máximo de 0.5 ppm, por lo cual observando la Tabla 8 tenemos que el valor que más se repite es de 0.002 ppm, lo cual está dentro de norma, sin embargo tenemos un máximo de 35 donde estaría fuera del rango.

Cadmio: Al igual que el arsénico en la NOM-002-SEMARNAT-1996 se establece 0.5 ppm de cadmio en promedio mensual. Tenemos 0.75 ppm de máximo por lo que estaríamos fuera de especificación nuevamente, nuestro valor que más veces aparece es 0.02 ppm el cual se encuentra dentro de norma.

Cianuro: El valor que se repite más es de 0.005 ppm el cual está dentro de norma, ya que 1 ppm es el límite permitido, el máximo fue de 1.5 ppm por lo que hay empresas fuera de norma.

Cobre: En la norma se establecen 10 ppm como máximo, el valor que más aparece en los 219 datos válidos es 0.05 ppm, el máximo es de 15 ppm estando fuera de norma.

Cromo Hexavalente (CromoHexa): El valor medio es de 0.079 ppm, mientras que el valor que más se repite es 0.05 ppm el cual está dentro de norma con un valor límite de 0.5 ppm, sin embargo nuevamente existen empresas con valores máximos de 0.75 ppm, lo cual está fuera de rango.

Mercurio: el valor que más se repite de los 221 datos válidos es 0.001 ppm, mientras que el máximo que encontramos es de 0.25 ppm con lo que se está fuera de especificación de acuerdo a la NOM-002-SEMARNAT-1996 que establece un límite permisible de 0.01 ppm en un promedio mensual.

Níquel: el valor más repetido es de 0.1 ppm, en la NOM-002-SEMARNAT-1996 se establece como límite 4 ppm en promedio mensual, al tener un valor máximo de 6 ppm estaríamos nuevamente fuera de especificación.

Plomo: el valor máximo es de 1.5 ppm, mientras que el más repetido es 0.1 ppm, en la nom-002 se establece 1 ppm como valor máximo, al cual se sobrepasa el valor máximo.

Zinc: 0.02 ppm es el valor más repetido, el máximo es de 9 ppm y en la NOM-002-SEMARNAT-1996 tenemos como límite aceptable 6 ppm.

Ninguna de las empresas reporta Coliformes fecales

Se puede concluir que existen industrias las cuales a pesar de estar estipulado de acuerdo a la NOM-002-SEMARNAT-1996 que deben cumplir ciertos parámetros límite para la descarga de sus aguas residuales al alcantarillado estas están por arriba de los límites.

6.3. Cálculos estadísticos

A partir de los estadísticos descriptivos obtenidos con el programa IBM SPSS Statistics se realizaron los siguientes cálculos estadísticos.

6.3.1. Media de la población

Se calculó la media de la población utilizando la ecuación mostrada a continuación:

$$\bar{X} - T_{\alpha/2, gl} \left(\frac{S}{\sqrt{n}} \right) < \mu < \bar{X} + T_{\alpha/2, gl} \left(\frac{S}{\sqrt{n}} \right)$$

Donde:

\bar{X} = media de la muestra

$T_{\alpha/2, gl}$ = nivel de confianza = 1.9672

n = tamaño de la muestra = 241

gl = $n-1$ = 240

S = desviación

Podemos ver en la Tabla 11 los resultados obtenidos para cada parámetro reportado en el inventario de descargas de aguas residuales.

Tabla 11. Media poblacional.

Parámetro	Límite inferior	Media poblacional	Límite superior
pH	7.558	< μ <	7.803
T	21.537	< μ <	23.236
GyA	21.089	< μ <	25.976
SS	0.162	< μ <	4.525
SST	58.211	< μ <	71.274
SAA	0.835	< μ <	3.418
DBO	81.326	< μ <	98.489
DQO	142.545	< μ <	169.122
Arsénico	-0.098	< μ <	0.526
Cadmio	0.046	< μ <	0.067
Cianuro	0.011	< μ <	0.038
Cobre	0.070	< μ <	0.327
CromoHexa	0.067	< μ <	0.090
Mercurio	0.001	< μ <	0.006
Níquel	0.185	< μ <	0.300
Plomo	0.205	< μ <	0.258
Zinc	0.179	< μ <	0.366

6.4. Clúster Jerárquico

Se realizó un clúster jerárquico con el programa SPSS Statistics, con el fin de identificar aquellas industrias con los resultados más parecidos, como se observa en la figura 14 la mayoría de las industrias se encuentran en un grupo y aquellas con una diferencia considerable forman grupos independientes.

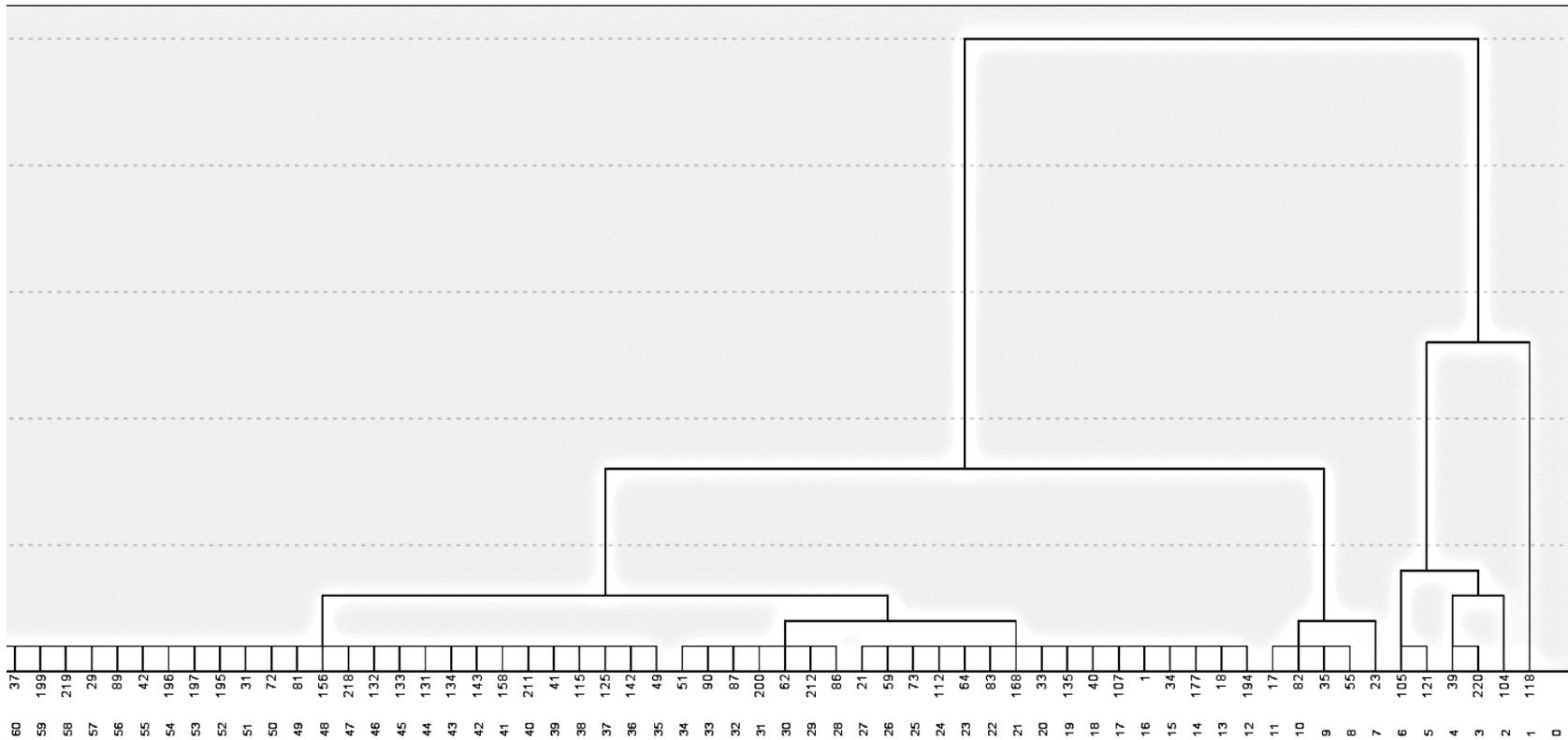


Figura 14. Dendrograma de los sectores

Una vez obtenido el dendrograma, se conformaron 41 clústers, (observar Tabla 1, Anexo D). Como se dijo anteriormente los clústers son separados de acuerdo a el parecido entre los resultados de cada industria, al ser parecidos o iguales se unirán y formarán un grupo de “N” industrias, hasta formar todos los grupos posibles, en este caso 41. De las 225 empresas registradas únicamente 165 fueron aptas para la realización de los clústers, ya que aquellas que no tuvieran algún dato reportado serían despreciadas para dicho estudio por el programa SPSS. Estas 165 industrias se dividieron en 41 clústers, de los cuales 29 están conformadas por una industria, dos con cinco industrias, uno de 77 industrias, uno de 26 industrias, tres de dos industrias, dos de cuatro industrias y tres de tres industrias.

Se realizó un análisis ANOVA de los grupos formados, por lo que se realizó una prueba de hipótesis como se muestra a continuación:

- Ho: Las descargas se encuentran dentro de los límites permisibles*
H1: Las descargas no se encuentran dentro de los límites permisibles

A continuación se muestra la ANOVA número 41, conformado por una industria del sector 17, donde se nota un salto muy grande a diferencia de los demás parámetros.

Tabla 12. ANOVA número 41

Parámetros		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Cantidad anual utilizada	Inter-grupos	90,530,264,730	42	2,155,482,494	0.117	1.000
	Intra-grupos	2,246,087,608,000	122	18,410,554,160		
	Total	2,336,617,872,000	164			
pH Sectores	Inter-grupos	31.054	42	0.739	3.516	0.000
	Intra-grupos	25.657	122	0.210		
	Total	56.711	164			
T	Inter-grupos	1,649.909	42	39.284	1.856	0.005
	Intra-grupos	2,582.511	122	21.168		
	Total	4,232.421	164			
GyA	Inter-grupos	18,889.987	42	449.762	2.724	0.000
	Intra-grupos	20,147.151	122	165.141		
	Total	39,037.138	164			

Continuación Tabla 12.

Parámetros		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
SS	Inter-grupos	160.427	42	3.820	7.759	0.000
	Intra-grupos	60.056	122	0.492		
	Total	220.483	164			
SST	Inter-grupos	205,328	42	4,888.773	5.614	0.000
	Intra-grupos	106,236	122	870.792		
	Total	311,565	164			
DBO	Inter-grupos	461,779	42	10,994.748	4.610	0.000
	Intra-grupos	290,947	122	2,384.816		
	Total	752,726	164			
Arsénico	Inter-grupos	1,217	42	28.992	10,126,488	0.000
	Intra-grupos	0.000	122	0.000		
	Total	1,217.660	164			
Cadmio	Inter-grupos	0.753	42	0.018	5.669	0.000
	Intra-grupos	0.386	122	0.003		
	Total	1.138	164			
Cianuro	Inter-grupos	2.222	42	0.053	69.934	0.000
	Intra-grupos	.092	122	0.001		
	Total	2.315	164			
Cobre	Inter-grupos	220.093	42	5.240	210.386	0.000
	Intra-grupos	3.039	122	0.025		
	Total	223.132	164			
CromoHexa	Inter-grupos	0.613	42	0.015	2.470	0.000
	Intra-grupos	0.721	122	0.006		
	Total	1.334	164			
Mercurio	Inter-grupos	0.001	42	0.000	0.038	1.000
	Intra-grupos	0.061	122	0.001		
	Total	0.062	164			
Niquel	Inter-grupos	34.965	42	0.832	13.368	0.000
	Intra-grupos	7.597	122	0.062		
	Total	42.562	164			
Plomo	Inter-grupos	3.393	42	0.081	2.270	0.000
	Intra-grupos	4.341	122	0.036		
	Total	7.735	164			
Zinc	Inter-grupos	77.783	42	1.852	5.829	0.000
	Intra-grupos	38.764	122	0.318		
	Total	116.546	164			

El valor de “F” hace referencia a la diferencia o distancia entre cada dato por parámetro reportado por las industrias, aquellos valores más altos marcarán una diferencia entre los demás sectores, como se puede observar el parámetro con mayor F es Arsénico, con un valor de 10,126,488; este valor es muy grande por lo que se nota un salto brusco en las industrias las cuales de acuerdo a este resultado incrementaron la concentración de arsénico reportado y por tal motivo no se acepta H_0 .

En el parámetro de cobre tenemos un F grande, con un valor de 210.386, por lo cual al igual que con el arsénico las industrias subieron la concentración de este metal en sus descargas.

El cianuro de igual manera aumentó su concentración en las descargas, teniendo una F de 69.934

El valor de F para Cantidad anual utilizada es muy pequeño, por lo que no sirve como punto de comparación entre las industrias, ya que esto indica que entre ellas no existe una diferencia significativa.

Como se puede observar en la Tabla 12 las concentraciones de metales fueron aquellas que marcaron más diferencia en los grupos, lo que nos indica que un sector en específico tiene descargas altas de metales, por lo que se debería tener un mayor control en este tipo de descargas.

6.5. Caso práctico

Para el caso práctico se tomaron cuatro muestras de agua residual a lo largo de un cuerpo de agua contaminado localizado en San Pedro Barrientos, Tlalnepantla de Baz, Estado de México, se eligió este sitio para la realización del estudio ya que las personas que habitan al lado del mismo se quejaban del olor fétido que desprendía, además de que en tiempo de lluvias el nivel del agua aumenta hasta desbordarse y en algunos casos entra a sus viviendas, aunado a esto se ubicaron las empresas aledañas, las cuales tenían descargas de agua residual no reportadas directo al riachuelo. La naturaleza del cuerpo de agua analizado era desconocida, por su

ubicación se piensa que su origen era a un costado del relleno sanitario de Tlalnepantla de Baz.

Una vez tomadas las muestras se le determinaron las características físicas de la misma.

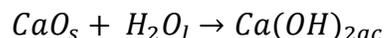
Tabla 13. Caracterización física

Muestra	Color	Olor	pH	Conductividad MS	Turbidez NTU
1	Turbia amarilla	Fétido	8.62	2.86	47.1
2	Turbia, Verde/grisáceo		5.28	2.24	48.2
3	Turbia, café	Fétido	8.76	6.50	18.6
4	Turbia amarilla	Fétido	8.16	1.91	34.9

De acuerdo a la NOM-002-SEMARNAT-1996 para el pH tres de las muestras se encuentran dentro de los límites permisibles con un pH de 8.13, 8.78 y 8.49 respectivamente, mientras que una de ellas (muestra dos) está fuera con un pH= 5.28. La muestra dos pertenece a la descarga de agua residual de una empresa que se dedica al lavado de camiones que transportan cemento. El cemento es una mezcla de cal (CaO) y arcillas.

La formación de un hidróxido se da mediante la adición de agua a un óxido metálico. En en caso de la cal ocurre esta reacción. El óxido de calcio (CaO) reacciona con el agua formando hidróxido de calcio como se muestra en la reacción 2. Por dicha formación, el pH esperado sería alcalino, no ácido como el que tiene la muestra de agua.

Reacción 2. Formación del hidróxido de calcio.



Cabe mencionar que la unión que existe entre el oxígeno y el hidrógeno del hidróxido es de tipo covalente sin embargo el ion calcio y el hidróxido están unidos mediante un enlace iónico.

Como se observa en la tabla 13 las cuatro muestras presentan una turbidez alta, lo cual nos indica que son aguas de mala calidad, teniendo mayoritariamente sólidos en suspensión.

Las muestras tomadas tenían un color aparente amarillento que puede ser provocado por descargas sanitarias de las casas, negocios y empresas aledañas, sin embargo en la muestra dos, observando la Tabla 13 se tiene un color característico de los cementos, grisáceo, además de tener espuma en su superficie, la causa de la espuma generalmente se trata detergentes tales como sulfonato de alquil benceno (SAB).

Se determinaron los sólidos totales de las muestras:

Tabla 14. Sólidos totales

Muestra	ST	STV	STF	SST	SSF	SSV
1	3112	1300	1812	208	16	192
2	3860	752	3108	196	68	128
3	5752	1572	4180	140	0	140
4	1928	524	1404	168	40	128
Resultados en mg/L						

Según la SEMARNAT, el contenido de sólidos suspendidos en el agua se clasifica de acuerdo a la Figura 15:

Sólidos Suspendidos Totales (SST)		
SST ≤ 25	Excelente	Azul
	Clase de excepción, muy buena calidad	
25 < SST ≤ 75	Buena calidad	Verde
	Aguas superficiales con bajo contenido de sólidos suspendidos, generalmente condiciones naturales. Favorece la conservación de comunidades acuáticas y el riego agrícola irrestricto	
75 < SST ≤ 150	Aceptable	Amarillo
	Aguas superficiales con indicio de contaminación. Con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente. Condición regular para peces. Riego agrícola restringido	
150 < SST ≤ 400	Contaminada	Naranja
	Aguas superficiales de mala calidad con descargas de aguas residuales crudas. Agua con alto contenido de material suspendido	
SST ≥ 400	Fuertemente contaminada	Rojo
	Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales con alta carga contaminante. Mala condición para peces	

Figura 15. Sólidos Suspendidos Totales, calidad del agua (SEMARNAT, 2007)

Observando la tabla 14 tenemos que:

Muestra 1,2 y 4: con 208, 196 y 168 ppm de SS (respectivamente), son aguas contaminadas, de mala calidad con descarga de aguas residuales crudas y tienen un alto contenido en material suspendido.

Muestra 3: 140 ppm se trata de un agua contaminada.

Los sólidos totales que se encuentran en las muestras son sales y residuos orgánicos, mientras que los sólidos fijos se refieren al contenido de materia inorgánica al ser calcinada a más de 500°C.

Como se observa en la tabla 13 y 14, los sólidos disueltos totales están relacionados directamente con la conductividad, ya que la conductividad está ligada a la cantidad de iones disueltos en el agua estudiada, la muestra número 3 es la que tiene un mayor contenido de ST con 5752 ppm y su conductividad de igual manera es la más alta con 6.50 MS, sus STF son de 4180, los cuales están relacionados con la carga inorgánica. Por lo tanto la conductividad aumentará de acuerdo a la cantidad de sólidos disueltos en las muestras, mientras más sólidos disueltos, mayor conductividad.

Según la NOM-001-SEMARNAT-1996 los límites permisibles de SS para agua de riego todas las muestras de acuerdo a la Tabla 14 están por arriba del límite, lo que indica un alto contenido de carga contaminante suspendida. Las fuentes de ésta contaminación pueden ser las descargas sanitarias, la lixiviación de la contaminación del suelo, descargas residuales de las industrias o de su planta de tratamiento (en caso de contar con una).

Un agua con alto contenido de SS (como lo son las aguas analizadas) pueden depositarse en el fondo del cuerpo de agua impidiendo la transferencia de oxígeno, generando zonas anaerobias, resultando en la muerte de los organismos que se encuentren debajo de ésta capa.

Los sólidos disueltos están relacionados con los metales, sales y minerales. Los componentes químicos más comunes son calcio, fosfatos, nitratos, sodio, potasio y cloruro. De igual manera se trata de la descomposición de materia orgánica, metales y compuestos químicos orgánicos (Blanca Jiménez, 2001).

De igual manera se determinó la alcalinidad total, y dureza total de las muestras, las cuales se determinan a partir del método volumétrico.

Tabla 15. Valores obtenidos en la volumetría para Alcalinidad

Muestra	Indicador	Volumen de vire (mL) Alícuota 1	Volumen de vire (mL) Alícuota 2	Volumen de vire (mL) Alícuota 3	Volumen promedio de vire (mL)
1	Verde de bromocresol	15.8	15	15.2	15.33
2	No detectable				
3	Verde de bromocresol	15.6	15.4	15.2	15.4
4	Verde de bromocresol	14.6	14.7	14.5	14.6

Tabla 16. Valores obtenidos en la volumetría para Dureza total

Muestra	Indicador	Volumen de vire (mL) Alícuota 1	Volumen de vire (mL) Alícuota 2	Volumen de vire (mL) Alícuota 3	Volumen promedio de vire (mL)
1	NET	8.5	8.5	8	8.33
2	NET	20	20.3	20.7	20.33
3	NET	10.2	9.5	10	23.36
4	NET	8.9	7.7	8	8.2

Tabla 17. Valores obtenidos en la volumetría para Dureza de Calcio

Muestra	Volumen de vire (mL) Alícuota 1	Volumen de vire (mL) Alícuota 2	Volumen de vire (mL) Alícuota 3	Volumen promedio de vire (mL)
1	3.8	4.1	3.1	3.66
2	5	4.5	4.6	4.7
3	-	-	-	-
4	-	-	-	-

Tabla 18. Alcalinidad total y Dureza Total

Muestra	Alcalinidad total (ppm CaCO ₃)	Dureza total (ppm CaCO ₃)
1	349.524	1432.76
2	No detectable	3496.76
3	351.12	4017.92
4	332.88	1410.4

En la Tabla 18 observamos que la alcalinidad de la muestra uno y tres es muy alta. También podemos ver que en todas las muestras las características de dureza es permanente y muy alta, lo que es común en efluentes industriales. La dureza total

se define como la suma del calcio y magnesio, ambas expresadas como mg/l de carbonato de calcio.

La dureza temporal, también llamada dureza de carbonatos es producida por bicarbonatos o carbonatos, que por ebullición se transforman en carbonatos insolubles y se depositan como incrustaciones. La dureza permanente es debida principalmente al contenido en materia inorgánica (Hopp Vollrath, 1994).

La alcalinidad es un parámetro que determina la capacidad de un agua para neutralizar los efectos ácidos que sobre ella actúen. Desde el punto de vista sanitario, la dureza del agua no tiene ninguna relación con la salud, por lo que es irrelevante consumir agua de alta o baja dureza, sin embargo, el exceso de dureza hacen el agua desagradable para su empleo en servicios y en la industria.

El cuerpo de agua estudiado tiene una dureza muy alta, la dureza está dada por la concentración de todos los cationes metálicos no alcalinos en forma de bicarbonatos de calcio, bario, estroncio, etc. Si bien el agua por naturaleza contiene cierta contaminación por este tipo de compuestos los resultados obtenidos son muy altos.

Haciendo un resumen de los resultados para dureza y alcalinidad tenemos las características de cada muestra en la tabla mostrada a continuación.

Tabla 19. Características de las muestras (Dureza y Alcalinidad)

Muestra	Características de dureza
1	Se trata de un agua muy dura y altamente alcalina.
2	Se trata de un agua con alta dureza.
3	Se trata de un agua muy dura con alcalinidad baja.
4	Se trata de un agua muy dura con una alcalinidad alta

La dureza es una característica importante en las aguas, ya que los iones de calcio y magnesio forman sales insolubles con los aniones de los jabones, lo que provoca una espuma en el agua (Baird Collin, 2004). Recordemos que nuestras muestras tienen un alto contenido de material disuelto, como lo son los iones metálicos, los cuales están ligados a la dureza de las muestras.

Algunas de las industrias reportan parámetros fuera de norma para los metales, lo cual se relaciona con la dureza obtenida en las muestras, ya que existen industrias que vierten sus aguas residuales en los cuerpos de agua, provocando

contaminación y cambios importantes en los mismos, como lo es la dureza, alcalinidad y sólidos.

La demanda química de oxígeno (DQO) fue obtenida con la digestión de las muestras en un medio ácido con dicromato de potasio. Primero se realizó una curva de calibración con Biftalato de Potasio.

Tabla 20. Curva de Calibración de Biftalato de Potasio $\lambda=604\text{nm}$

Concentración ppm	Absorbancia
210	0.009
316	0.034
421	0.064
526.8	0.095
632	0.134
737	0.162
842.9	0.189
1053.6	0.242

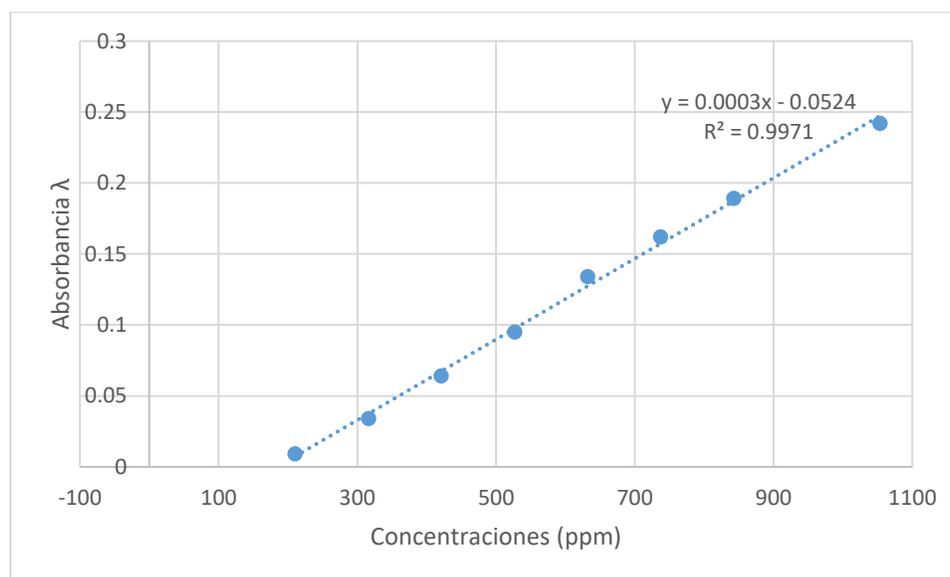


Figura 16. Curva de calibración DQO

Tabla 21. Determinación de DQO $\lambda=604\text{nm}$

Muestra	Absorbancia	Concentración (ppm DQO)
1	0.016	240.3572
2	0.100	535.7054
3	0.026	275.5177
4	0.024	268.4856

La determinación de DQO con dicromato (método utilizado) sirve para establecer la contaminación en materia orgánica total, si la DQO aumenta es indicativo de contaminación. Los resultados en las cuatro muestras nos indican cantidades altas de DQO, según la SEMARNAT para valores mayores a 200 ppm de DQO se consideran fuentes “fuertemente contaminadas”, por lo tanto todas las muestras se encuentran por encima de este valor.

Muchos compuestos orgánicos oxidados por el dicromato no son oxidables bioquímicamente y que ciertos iónicos tales como sulfuros, tiosulfatos, sulfitos, nitritos y ion ferroso son oxidados con el dicromato potásico, lo cual si pensamos en que la mayoría de la materia de la materia orgánica, en el agua, se oxida por reacciones biológica. Para realizar la oxidación completa se utiliza un oxidante fuerte como lo es el dicromato de potasio, oxidando así las sustancias orgánicas de mayor peso molecular, lo que nos lleva a pensar que los tipos de contaminantes presentes en las muestras pueden tratarse de compuestos orgánicos de los procesos de síntesis de compuestos orgánicos.

Demanda Química de Oxígeno (DQO)		
DQO ≤ 10	Excelente	Azul
	No contaminada	
10 < DQO ≤ 20	Buena calidad	Verde
	Aguas superficiales con bajo contenido de materia biodegradable y no biodegradable	
20 < DQO ≤ 40	Aceptable	Amarillo
	Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente.	
40 < DQO ≤ 200	Contaminada	Naranja
	Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal	
DQO ≥ 200	Fuertemente contaminada	Rojo
	Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales	

Figura 17. Demanda Química de Oxígeno, calidad del agua (SEMARNAT, 2007)

Observando la Figura 17 de SEMARNAT tenemos que la muestra número dos que es vertida directamente al riachuelo estudiado se trata de un agua fuertemente contaminada, tomando en cuenta que es vertida sin tratamiento alguno se convierte en un foco rojo relacionado al grado de contaminación del cuerpo de agua.

El incremento tanto de DQO como sólidos suspendidos totales (SST) está relacionado con una alta turbidez, ya que se impide la oxigenación del cuerpo generando olores fétidos y anoxia.

Haciendo una comparación entre los datos reportados por las industrias y los resultados obtenidos de la experimentación tenemos que:

Los principales contaminantes encontrados en las muestras de aguas son inorgánicos, esto podemos comprobarlo con el alto contenido de sólidos totales, sólidos disueltos, dureza y DQO. Lo cual se relaciona con los valores reportados por las industrias en cuanto a ST y la carga de inorgánicos, de acuerdo a la NOM-002-SEMARNAT-1996 y la NOM-001-SEMARNAT-1996 los valores se encuentran fuera de los límites permisibles de las normas antes mencionadas.

El impacto de esta contaminación es notable en la población aledaña, donde se alcanza a percibir el olor fétido del cuerpo de agua, representando un foco de infecciones para las personas.

7. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVA

7.1. Conclusiones

- Se desarrolló y analizó estadísticamente un inventario de descargas de aguas residuales para los sectores industriales del municipio de Tlalnepantla de Baz, Estado de México, mediante el programa “IBM SPSS Statistics”.
- Se identificó que por lo menos una industria por sector industrial se encuentra fuera de especificación en uno o varios parámetros de acuerdo a la NOM-002-SEMARNAT-1996.
- Con el ANOVA número 41 se demostró que el sector 17 (industria textil) contiene la mayor variación de arsénico, relacionando a este sector con el mayor impacto en este contaminante.
- Se caracterizaron cuatro muestras de aguas residuales recolectadas de un canal ubicado en el municipio de Tlalnepantla de Baz, Estado de México, por medio de pruebas físicas y químicas, las cuales tienen un nivel de contaminación muy alto de acuerdo a los resultados obtenidos.
- Se analizaron y compararon los resultados obtenidos de la caracterización de las muestras tomadas con los criterios establecidos en la NOM-002-SEMARNAT-1996, ninguna muestra cumple con los parámetros establecidos en la norma tratándose de un agua de mala calidad.
- El impacto ambiental que se da por las descargas de aguas residuales es muy grave y peligroso, ya que aunque las industrias reportan valores dentro de la norma, la suma de estas descargas representan un impacto mayor y fuera de límites de las normas.
- Las descargas de las industrias impactan en los cuerpos de agua, los cuales se convierten en un riesgo para las poblaciones aledañas, ya que se trata de una fuente de infecciones y toxicidad para el lugar.

7.2. Perspectiva

- La constante actualización de esta base de datos permitirá tener un mejor control de la información de las industrias, siendo posible realizar análisis para todo tipo de estudios.
- El agua es un recurso cada vez más escaso por lo que la realización de trabajos enfocados a preservar el medio ambiente es de suma importancia, siendo una herramienta de consulta para la identificación del problema.
- Se sugiere el monitoreo y verificación continua en el cuerpo de agua seleccionado, por lo que sería de interés un análisis más profundo para el control de impacto ambiental de la zona.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arce, A. (2010). Serie autodidacta de la medición de la calidad del agua: Fundamentos técnicos para el muestreo y análisis de aguas residuales. 57.
- Ayuntamiento de Tlalnepantla de Baz. Plan Parcial de Desarrollo Urbano del Centro Urbano Regional de Tlalnepantla de Baz. (2013). México. s.p.
- Caballero A. (1975). Introducción a la estadística. Costa Rica. Editorial IICA. 95.
- Colin, B. (2004). Química ambiental. USA. Ed. Reverté. 4.
- Comisión Nacional del agua. (2015). Situación del subsector agua potable, drenaje y saneamiento. México. II.
- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez L., Andrade M. (2010). Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. 81.
- Fernández, S. (2002). Estadística descriptiva. Madrid, España. Editorial ESIC. 17, 145.
- Freund, E. (1994). Estadística elemental. México. Pearson Educación. 259.
- García, O. (2017). Manual de Clúster Jerárquico. España. s.p.
- Guisande, C., (2006), Tratamiento de datos. España. Ediciones Díaz de Santos. 16.
- Hernández, E., (2014). Manual de estadística. Bogotá, Colombia. Editorial UCC. 66
- Hopp, V., (1994). Fundamentos de Tecnología química para formación profesional. Alemania. 37
- Instituto Nacional de Estadística y Geográfica. (2014-2015) Censos Económicos. Información Ambiental. Consumo de agua y empleo. México. S/P
- Jiménez, B., (2001). La contaminación Ambiental en México. México. Ed. Limusa. 29.
- Martín, Q., Álvarez, J. (2006). Prácticas de tratamiento estadístico de datos con el programa SPSS para Windows: Aplicaciones en el área de Ciencia y Tecnología de Alimentos. s.p. Editorial CSIC-CSIC Press. 12.
- Metcalf, E. (1995). Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización. Madrid, España. 3ra Ed. McGraw- Hill. 58.

-
-
- Millán, F., Mathison, J., Alvarez, M., Jarboub, W. (2003). Estudio comparativo de la dureza del agua en el Estado de Mérida y algunas localidades del centro y occidente de Venezuela. s.p. 24(1). Revista Ciencia e Ingeniería.
 - Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (2017). Hechos y cifras. s.p. s.p.
 - Plan de Acción Climática Municipal. (2012). Plan de Acción Climática Municipal Tlalnepantla de México. México. 19.
 - Programa Nacional Hídrico (2014-2018). Gobierno de la República. México. 24.
 - Quiroga, V. (1977). Manual de Estadística Descriptiva. Costa Rica. IICA Biblioteca Venezolana. 23.
 - Ramos, R. (2002). El agua en el medio ambiente: muestreo y análisis. México. s.p
 - Reynolds, A. (2002). Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica, Identificación del Problema. s.p.. s.p
 - Rigola, M. (1989). Tratamiento de aguas industriales: aguas de proceso y residuales. Marcombo, España. 30-38.
 - Ritter, H. (s.f.). Introducción a la Química. Nueva York. Ed. Reverté. s.p.
 - Rolim, S. (2000). Sistemas de Lagunas de Estabilización. s.p. McGrawHill. s.p.
 - Sánchez, O. (2007). Perspectiva sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México. México. s.e.124.
 - Santiago, S. (2007). Contribución de la fracción de metales traza ligados a las proteínas similares a los metalotioneínas en muestras de mejillón. Univ. Santiago de Compostela. España. s.p.
 - Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. NOM-001-SEMARNAT-1996.
 - Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. NOM-002-SEMARNAT-1996.
 - UAM. (2018). Variancia de una muestra y una población. México. s.e. 97.
 - Vargas, A. (1995). Estadística descriptiva e inferencial. España. Universidad de Castilla- La Mancha, España. 37.

Sitios de red

- CANACINTRA, Cámara Nacional de la Industria de Transformación. Sectores. 2017. Recuperado de <https://www.canacindra.org.mx/principal/index.php/inicio/representatividad/13-sectores-industriales>.
- Gobierno del Estado de México. Ventanilla Electrónica Única. 2017. Recuperado de <http://qaventanilla.edomex.gob.mx/TramitesyServicios/Tramite?tram=19&cont=0>
- UNESCO, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP). 2017. Recuperado de <http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/wwap/facts-and-figures/all-facts-wwdr3/fact-36-industrial-wastewater/>
- H. Ayuntamiento de Tlalnepantla de Baz. Geomática del municipio. 2018. Recuperado de <http://www.tlalnepantla.gob.mx/pages/geomatica/>
- OPDM, Organismo Público Descentralizado para la Prestación de los Servicios de Agua Potable. Alcantarillado y Saneamiento del Municipio de Tlalnepantla, México. 2017. Recuperado de <http://www.opdmtlalnepantla.gob.mx>
- SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. El Medio Ambiente en México 2013-2014. 2013-2014. Recuperado de https://apps1.semarnat.gob.mx:445/dgeia/informe_resumen14/06_agua/6_2_1.html

ANEXO A

Índice de figuras

Figura 1. Mapa del municipio de Tlalnepantla de Baz, Estado de México.	13
Figura 2. Distribución del uso de suelo.	14
Figura 3. Escala de pH.	20
Figura 4. Sólidos Totales.	23
Figura 5. Entorno SPSS, ventana “Vista de variables”.	30
Figura 6. Ventana de variables.	31
Figura 7. Ventana de Resultados.	32
Figura 8. Variables del inventario de descargas de agua residual.	40
Figura 9. Vista de datos, llenado de variables.	42
Figura 10. Pestañas para realizar el análisis estadístico.	43
Figura 11. Recuadro de “frecuencias”.	44
Figura 12. Recuadro “Frecuencias estadísticas”.	45
Figura 13. Visor de resultados.	46
Figura 14. Dendrograma.	70
Figura 15. Sólidos Suspendidos Totales, calidad del agua.	76
Figura 16. Curva de calibración DQO.	80
Figura 17. Demanda Química de Oxígeno, calidad del agua.	81

ANEXO B

Índice de tablas

Tabla 5. Gasto del consumo de agua en las unidades económicas del sector privado, según actividad económica y personal a nivel nacional, 2013.	17
Tabla 6. Características físicas, químicas y biológicas del agua residual y sus procedencias.	18
Tabla 7. Característica de un agua de acuerdo a su dureza.	21
Tabla 8. Límites máximos permisibles.	27
Tabla 5. Muestreo de un canal de aguas residuales.	47
Tabla 6. Preparación para la curva de calibración DQO.	61
Tabla 7. Volúmenes digestión DQO	62
Tabla 8. Industrias por sector	63
Tabla 9. Cantidad de agua descargada por sector	64
Tabla 10. Estadísticos en IBM SPSS Statistics	65
Tabla 11. Media poblacional	70
Tabla 12. ANOVA número 41	72
Tabla 13. Caracterización física	75
Tabla 14. Sólidos totales	76
Tabla 15. Valores obtenidos en la volumetría para Alcalinidad	78
Tabla 16. Valores obtenidos en la volumetría para Dureza total	78
Tabla 17. Valores obtenidos en la volumetría para Dureza de Calcio	78
Tabla 18. Alcalinidad total y Dureza Total	78
Tabla 19. Características de las muestras (Dureza y Alcalinidad)	79
Tabla 20. Curva de Calibración de Biftalato de Potasio $\lambda=604\text{nm}$	80
Tabla 21. Determinación de DQO $\lambda=604\text{nm}$	80

ANEXO C

Índice de diagramas

Diagrama 1. pH	49
Diagrama 2. Conductividad	50
Diagrama 3. Turbidez	50
Diagrama 4. Sólidos totales	51
Diagrama 5. Sólidos Suspendidos	53
Diagrama 6. Determinación de alcalinidad	54
Diagrama 7. Determinación de Dureza total	56
Diagrama 8. Dureza de Calcio	57
Diagrama 9. Preparación de curva de calibración con Biftalato de Potasio para Demanda Química de Oxígeno	58
Diagrama 10. Digestión de la curva de calibración de Biftalato de Potasio	59
Diagrama 11. Muestras de agua y blanco para la Demanda Química de Oxígeno	61

ANEXO D

Tabla 1, Anexo D. Cluster por grupos

Grupo	Estadísticos	CANTIDAD ANUAL UTILIZADA	pH Sectores	T	GyA	SS	SST	DBO	Arsénico	Cadmio
1	Media	440.024	7.636	20.64	26.074	0.56	81	124.7	0.00142	0.073
	N	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	Desv. típ.	74.208036	0.74228	1.2341	2.66653	0.260768	10.440307	21.718656	0.0009859	0.0281957
	Suma	2200.12	38.18	103.2	130.37	2.8	405	623.5	0.0071	0.365
	Mínimo	355	6.79	19.3	23.17	0.3	70	91	0.0007	0.025
	Máximo	549.9	8.49	22	29.1	1	97	148	0.0025	0.1
	Rango	194.9	1.7	2.7	5.93	0.7	27	57	0.0018	0.075
2	Media	47782.6591	7.48769	21.5264	17.8175	0.49224	44.75315	68.73485	0.002556	0.041891
	N	77	77	77	77	77	77	77	77	77
	Desv. típ.	171911.775	0.417469	3.79788	12.52049	0.761334	32.559239	57.668992	0.0020295	0.0562653
	Suma	3679264.75	576.552	1657.53	1371.94	37.903	3445.993	5292.584	0.1968	3.2256
	Mínimo	400	6.47	16	2.31	0.05	5	2	0.0005	0.005
	Máximo	1333806	8.57	43	58	5	117.125	263.16	0.012	0.4
	Rango	1333406	2.1	27	55.69	4.95	112.125	261.16	0.0115	0.395
3	Media	1704.66615	7.47154	21.1712	25.5327	0.58269	71.94231	106.60308	0.002277	0.039938
	N	26	26	26	26	26	26	26	26	26
	Desv. típ.	604.951641	0.524936	3.78989	17.43884	0.679844	29.580023	33.230181	0.0009684	0.036899
	Suma	44321.32	194.26	550.45	663.85	15.15	1870.5	2771.68	0.0592	1.0384
	Mínimo	435	6.42	15.1	5	0.1	2	27	0.0007	0.01
	Máximo	3027.45	8.49	35.4	75	2.9	120	143.04	0.005	0.1
	Rango	2592.45	2.07	20.3	70	2.8	118	116.04	0.0043	0.09

Tabla 1, Anexo D. Cluster por grupos

Grupo	Estadísticos	Cianuro	Cobre	CromoHexa	Mercurio	Niquel	Plomo	Zinc
1	Media	0.0129	0.18308	0.058	0.00154	0.402	0.448	0.48334
	N	5	5	5	5	5	5	5
	Desv. típ.	0.0097237	0.0920458	0.0286356	0.001992	0.1693222	0.3074411	0.7575254
	Suma	0.0645	0.9154	0.29	0.0077	2.01	2.24	2.4167
	Mínimo	0.002	0.0704	0.02	0.0004	0.1	0.05	0.1
	Máximo	0.02	0.25	0.1	0.005	0.5	0.67	1.8367
	Rango	0.018	0.1796	0.08	0.0046	0.4	0.62	1.7367
2	Media	0.016552	0.146717	0.078477	0.005815	0.23026	0.196836	0.282588
	N	77	77	77	77	77	77	77
	Desv. típ.	0.0194296	0.1906108	0.0788162	0.0283601	0.29634	0.2054132	0.6685072
	Suma	1.2745	11.2972	6.0427	0.4477	17.73	15.1564	21.7593
	Mínimo	0.002	0.001	0.0094	0.0004	0.0496	0.05	0.02
	Máximo	0.1	1.155	0.4	0.25	1.98	1.33	4.89
	Rango	0.098	1.154	0.3906	0.2496	1.9304	1.28	4.87
3	Media	0.017658	0.114685	0.070335	0.002092	0.199965	0.163769	0.232465
	N	26	26	26	26	26	26	26
	Desv. típ.	0.037765	0.0922356	0.0944791	0.0012384	0.1433041	0.136974	0.2863623
	Suma	0.4591	2.9818	1.8287	0.0544	5.1991	4.258	6.0441
	Mínimo	0.0005	0.05	0.0094	0.0004	0.06	0.087	0.005
	Máximo	0.194	0.5	0.5	0.004	0.5	0.67	1.2188
	Rango	0.1935	0.45	0.4906	0.0036	0.44	0.583	1.2138

Tabla 1, Anexo D. Cluster por grupos

Grupo	Estadísticos	CANTIDAD ANUAL UTILIZADA	pH Sectores	T	GyA	SS	SST	DBO	Arsénico	Cadmio
4	Media	908.82	7.71	23.5	58.6	1	19	14.11	0.001	0.05
	N	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Desv. típ.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Suma	908.82	7.71	23.5	58.6	1	19	14.11	0.001	0.05
	Mínimo	908.82	7.71	23.5	58.6	1	19	14.11	0.001	0.05
	Máximo	908.82	7.71	23.5	58.6	1	19	14.11	0.001	0.05
	Rango	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	Media	167.08	7.25	20.3	25.1	0.5	77	134	0.0007	0.08
	N	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Desv. típ.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Suma	167.08	7.25	20.3	25.1	0.5	77	134	0.0007	0.08
	Mínimo	167.08	7.25	20.3	25.1	0.5	77	134	0.0007	0.08
	Máximo	167.08	7.25	20.3	25.1	0.5	77	134	0.0007	0.08
	Rango	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	Media	593.04	9.58	21.1	5.499	6	123	146.25	0.0005	0.025
	N	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Desv. típ.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Suma	593.04	9.58	21.1	5.5	6	123	146.25	0.0005	0.025
	Mínimo	593.04	9.58	21.1	5.5	6	123	146.25	0.0005	0.025
	Máximo	593.04	9.58	21.1	5.5	6	123	146.25	0.0005	0.025
	Rango	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	Media	167.815	7.185	17.5	8.53	0.15	17	31.76	0.002	0.065
	N	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Desv. típ.	62.133473	0.021213	3.53553	0.3677	0.070711	4.242641	12.869343	0	0.0494975

Suma	335.63	14.37	35	17.06	0.3	34	63.52	0.004	0.13
Mínimo	123.88	7.17	15	8.27	0.1	14	22.66	0.002	0.03
Máximo	211.75	7.2	20	8.79	0.2	20	40.86	0.002	0.1
Rango	87.87	0.03	5	0.52	0.1	6	18.2	0	0.07

Tabla 1, Anexo D. Cluster por grupos

Grupo	Estadísticos	Cianuro	Cobre	CromoHexa	Mercurio	Niquel	Plomo	Zinc
4	Media	0.02	0.01	0.1	0.001	0.15	0.3	0.2626
	N	1	1	1	1	1	1	1
	Desv. típ.	.	.	.	.	.	.	.
	Suma	0.02	0.01	0.1	0.001	0.15	0.3	0.2626
	Mínimo	0.02	0.01	0.1	0.001	0.15	0.3	0.2626
	Máximo	0.02	0.01	0.1	0.001	0.15	0.3	0.2626
	Rango	0	0	0	0	0	0	0
5	Media	0.02	0.25	0.02	0.0004	0.47	0.67	0.08
	N	1	1	1	1	1	1	1
	Desv. típ.	.	.	.	.	.	.	.
	Suma	0.02	0.25	0.02	0.0004	0.47	0.67	0.08
	Mínimo	0.02	0.25	0.02	0.0004	0.47	0.67	0.08
	Máximo	0.02	0.25	0.02	0.0004	0.47	0.67	0.08
	Rango	0	0	0	0	0	0	0
6	Media	0.02	0.251	0.1	0.005	0.251	0.102	0.051
	N	1	1	1	1	1	1	1
	Desv. típ.	.	.	.	.	.	.	.
	Suma	0.02	0.251	0.1	0.005	0.251	0.102	0.051
	Mínimo	0.02	0.251	0.1	0.005	0.251	0.102	0.051
	Máximo	0.02	0.251	0.1	0.005	0.251	0.102	0.051

	Rango	0	0	0	0	0	0	0
7	Media	0.015	0.14	0.1	0.003	0.175	0.14	0.1545
	N	2	2	2	2	2	2	2
	Desv. típ.	0.0070711	0.0565685	0	0.0014142	0.106066	0.0565685	0.0770746
	Suma	0.03	0.28	0.2	0.006	0.35	0.28	0.309
	Mínimo	0.01	0.1	0.1	0.002	0.1	0.1	0.1
	Máximo	0.02	0.18	0.1	0.004	0.25	0.18	0.209
	Rango	0.01	0.08	0	0.002	0.15	0.08	0.109

Tabla 1, Anexo D. Cluster por grupos

Grupo	Estadísticos	CANTIDAD ANUAL UTILIZADA	pH Sectores	T	GyA	SS	SST	DBO	Arsénico
8	Media	113.75	7.21	20	3.7	0.1	19.4	80	0.002
	N	1	1	1	1	1	1	1	1
	Desv. típ.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Suma	113.75	7.21	20	3.7	0.1	19.4	80	0.002
	Mínimo	113.75	7.21	20	3.7	0.1	19.4	80	0.002
	Máximo	113.75	7.21	20	3.7	0.1	19.4	80	0.002
	Rango	0	0	0	0	0	0	0	0
9	Media	932.986	7.526	29.14	12.248	0.5	28.94	117.82	0.0021
	N	5	5	5	5	5	5	5	5
	Desv. típ.	136.846912	0.724831	11.07556	6.4014	0.41833	8.47396	16.581111	0.001245
	Suma	4664.93	37.63	145.7	61.24	2.5	144.7	589.1	0.0105
	Mínimo	706.5	6.96	19.5	5.97	0.1	20	104.25	0.001
	Máximo	1064.57	8.74	45.8	21.67	1	38.8	146.7	0.004
	Rango	358.07	1.78	26.3	15.71	0.9	18.8	42.45	0.003
10	Media	1848.06	10.78	31	40	0.3	74	424	0.0075
	N	1	1	1	1	1	1	1	1
	Desv. típ.						.	.	.

	Suma	1848.06	10.78	31	40	0.3	74	424	0.0075
	Mínimo	1848.06	10.78	31	40	0.3	74	424	0.0075
	Máximo	1848.06	10.78	31	40	0.3	74	424	0.0075
	Rango	0	0	0	0	0	0	0	0
11	Media	295	7.76	21.85	9.1	0.6	51	97	0.00165
	N	2	2	2	2	2	2	2	2
	Desv. típ.	91.923882	0.79196	2.33345	1.27279	0.565685	12.727922	35.355339	0.000495
	Suma	590	15.52	43.7	18.2	1.2	102	194	0.0033
	Mínimo	230	7.2	20.2	8.2	0.2	42	72	0.0013
	Máximo	360	8.32	23.5	10	1	60	122	0.002
	Rango	130	1.12	3.3	1.8	0.8	18	50	0.0007

Tabla 1, Anexo D. Cluster por grupos

Grupo	Estadísticos	Cadmio	Cianuro	Cobre	CromoHexa	Mercurio	Niquel	Plomo	Zinc
8	Media	0.2	0.002	0.1057	0.05	0.005	0.1	0.3	0.1216
	N	1	1	1	1	1	1	1	1
	Desv. típ.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Suma	0.2	0.002	0.1057	0.05	0.005	0.1	0.3	0.1216
	Mínimo	0.2	0.002	0.1057	0.05	0.005	0.1	0.3	0.1216
	Máximo	0.2	0.002	0.1057	0.05	0.005	0.1	0.3	0.1216
	Rango	0	0	0	0	0	0	0	0
9	Media	0.099	0.06434	0.10182	0.08	0.0031	0.15	0.2177	0.17974
	N	5	5	5	5	5	5	5	5
	Desv. típ.	0.1683152	0.1081114	0.0552952	0.0273861	0.0041443	0.0707107	0.2163364	0.2094948
	Suma	0.495	0.3217	0.5091	0.4	0.0155	0.75	1.0885	0.8987
	Mínimo	0.02	0.004	0.05	0.05	0.0005	0.1	0.1	0.01
	Máximo	0.4	0.257	0.18	0.1	0.01	0.25	0.6	0.5414
	Rango	0.38	0.253	0.13	0.05	0.0095	0.15	0.5	0.5314

10	Media	0.3	0.0075	0.225	0.3	0.0045	0.15	0.54	0.6
	N	1	1	1	1	1	1	1	1
	Desv. típ.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Suma	0.3	0.0075	0.225	0.3	0.0045	0.15	0.54	0.6
	Mínimo	0.3	0.0075	0.225	0.3	0.0045	0.15	0.54	0.6
	Máximo	0.3	0.0075	0.225	0.3	0.0045	0.15	0.54	0.6
	Rango	0	0	0	0	0	0	0	0
11	Media	0.05	0.0077	0.13235	0.12305	0.00455	0.4172	0.15165	0.06895
	N	2	2	2	2	2	2	2	2
	Desv. típ.	0.0424264	0.0038184	0.1164605	0.1033083	0.0050205	0.5051571	0.0730441	0.0253851
	Suma	0.1	0.0154	0.2647	0.2461	0.0091	0.8344	0.3033	0.1379
	Mínimo	0.02	0.005	0.05	0.05	0.001	0.06	0.1	0.051
	Máximo	0.08	0.0104	0.2147	0.1961	0.0081	0.7744	0.2033	0.0869
	Rango	0.06	0.0054	0.1647	0.1461	0.0071	0.7144	0.1033	0.0359

Tabla 1, Anexo D. Cluster por grupos

Grupo	Estadísticos	CANTIDAD ANUAL UTILIZADA	pH Sectores	T	GyA	SS	SST	DBO	Arsénico
12	Media	291.77	7.18	20.4	42.8	0.1	200	246	0.0014
	N	1	1	1	1	1	1	1	1
	Desv. típ.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Suma	291.77	7.18	20.4	42.8	0.1	200	246	0.0014
	Mínimo	291.77	7.18	20.4	42.8	0.1	200	246	0.0014
	Máximo	291.77	7.18	20.4	42.8	0.1	200	246	0.0014
	Rango	0	0	0	0	0	0	0	0
13	Media	655	7.39	19.85	13.19	0.1	57	5.25	0.00197
	N	1	1	1	1	1	1	1	1
	Desv. típ.	.	.	.	.	.	.	.	.

	Suma	655	7.39	19.85	13.19	0.1	57	5.25	0.002
	Mínimo	655	7.39	19.85	13.19	0.1	57	5.25	0.002
	Máximo	655	7.39	19.85	13.19	0.1	57	5.25	0.002
	Rango	0	0	0	0	0	0	0	0
14	Media	5.42	7.33	20	5	1	98	105.4	0.002
	N	1	1	1	1	1	1	1	1
	Desv. típ.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Suma	5.42	7.33	20	5	1	98	105.4	0.002
	Mínimo	5.42	7.33	20	5	1	98	105.4	0.002
	Máximo	5.42	7.33	20	5	1	98	105.4	0.002
	Rango	0	0	0	0	0	0	0	0
15	Media	926.45	7.6075	19.5	28.525	0.575	86.95	108.0225	0.00175
	N	4	4	4	4	4	4	4	4
	Desv. típ.	279.652183	0.441314	3.20208	11.31501	0.330404	18.751444	35.563699	0.0009574
	Suma	3705.8	30.43	78	114.1	2.3	347.8	432.09	0.007
	Mínimo	517	7.29	17	13.4	0.2	59	58	0.001
	Máximo	1138.8	8.24	24.2	38.82	0.9	97.9	141.89	0.003
	Rango	621.8	0.95	7.2	25.42	0.7	38.9	83.89	0.002

Tabla 1, Anexo D. Cluster por grupos

Grupo	Estadísticos	Cadmio	Cianuro	Cobre	CromoHexa	Mercurio	Niquel	Plomo	Zinc
12	Media	0.16	0.04	0.5	0.04	0.0008	0.96	0.134	0.26
	N	1	1	1	1	1	1	1	1
	Desv. típ.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Suma	0.16	0.04	0.5	0.04	0.0008	0.96	0.134	0.26
	Mínimo	0.16	0.04	0.5	0.04	0.0008	0.96	0.134	0.26
	Máximo	0.16	0.04	0.5	0.04	0.0008	0.96	0.134	0.26
	Rango	0	0	0	0	0	0	0	0

13	Media	0.0403	0.0195	0.504	0.0244	0.00196	0.496	0.511	0.247
	N	1	1	1	1	1	1	1	1
	Desv. típ.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Suma	0.0403	0.0195	0.504	0.0244	0.002	0.496	0.511	0.247
	Mínimo	0.0403	0.0195	0.504	0.0244	0.002	0.496	0.511	0.247
	Máximo	0.0403	0.0195	0.504	0.0244	0.002	0.496	0.511	0.247
	Rango	0	0	0	0	0	0	0	0
14	Media	0.2	0.01	0.18	0.01	0.004	0.25	0.18	0.12
	N	1	1	1	1	1	1	1	1
	Desv. típ.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Suma	0.2	0.01	0.18	0.01	0.004	0.25	0.18	0.12
	Mínimo	0.2	0.01	0.18	0.01	0.004	0.25	0.18	0.12
	Máximo	0.2	0.01	0.18	0.01	0.004	0.25	0.18	0.12
	Rango	0	0	0	0	0	0	0	0
15	Media	0.0575	0.0122	0.0908	0.06805	0.003	0.165	0.325	0.4444
	N	4	4	4	4	4	4	4	4
	Desv. típ.	0.0492443	0.0083138	0.0279027	0.0387333	0.0014142	0.07	0.2061553	0.3132632
	Suma	0.23	0.0488	0.3632	0.2722	0.012	0.66	1.3	1.7776
	Mínimo	0.01	0.005	0.05	0.022	0.001	0.06	0.1	0.082
	Máximo	0.1	0.0194	0.1132	0.1001	0.004	0.2	0.5	0.847
	Rango	0.09	0.0144	0.0632	0.0781	0.003	0.14	0.4	0.765

Tabla 1, Anexo D. Cluster por grupos

Grupo	Estadísticos	CANTIDAD ANUAL UTILIZADA	pH Sectores	T	GyA	SS	SST	DBO	Arsénico
16	Media	638.65	5.76	20.35	6.92	0.4	138	12.68	0.001
	N	1	1	1	1	1	1	1	1
	Desv. típ.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Suma	638.65	5.76	20.35	6.92	0.4	138	12.68	0.001
	Mínimo	638.65	5.76	20.35	6.92	0.4	138	12.68	0.001
	Máximo	638.65	5.76	20.35	6.92	0.4	138	12.68	0.001
	Rango	0	0	0	0	0	0	0	0
17	Media	185.4	7.41	21	20.6	1	79	105	0.002
	N	1	1	1	1	1	1	1	1
	Desv. típ.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Suma	185.4	7.41	21	20.6	1	79	105	0.002
	Mínimo	185.4	7.41	21	20.6	1	79	105	0.002
	Máximo	185.4	7.41	21	20.6	1	79	105	0.002
	Rango	0	0	0	0	0	0	0	0
18	Media	595.23	7.64	8.12	36.8	3	356	490	0.0046
	N	1	1	1	1	1	1	1	1
	Desv. típ.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Suma	595.23	7.64	8.12	36.8	3	356	490	0.0046
	Mínimo	595.23	7.64	8.12	36.8	3	356	490	0.0046
	Máximo	595.23	7.64	8.12	36.8	3	356	490	0.0046
	Rango	0	0	0	0	0	0	0	0
19	Media	215	7.55	23	14.79	0.5	60.4	80.23	0.002
	N	1	1	1	1	1	1	1	1
	Desv. típ.	.	.	.	.	.	.	.	.

	Suma	215	7.55	23	14.79	0.5	60.4	80.23	0.002
	Mínimo	215	7.55	23	14.79	0.5	60.4	80.23	0.002
	Máximo	215	7.55	23	14.79	0.5	60.4	80.23	0.002
	Rango	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 1, Anexo D. Cluster por grupos

Grupo	Estadísticos	Cadmio	Cianuro	Cobre	CromoHexa	Mercurio	Niquel	Plomo	Zinc
16	Media	0.02	0.0257	0.05	0.05	0.0005	0.1	0.1	0.482
	N	1	1	1	1	1	1	1	1
	Desv. típ.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Suma	0.02	0.0257	0.05	0.05	0.0005	0.1	0.1	0.482
	Mínimo	0.02	0.0257	0.05	0.05	0.0005	0.1	0.1	0.482
	Máximo	0.02	0.0257	0.05	0.05	0.0005	0.1	0.1	0.482
	Rango	0	0	0	0	0	0	0	0
17	Media	0.1	0.02	0.05	0.049	0.002	0.1	0.1	0.266
	N	1	1	1	1	1	1	1	1
	Desv. típ.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Suma	0.1	0.02	0.05	0.049	0.002	0.1	0.1	0.266
	Mínimo	0.1	0.02	0.05	0.049	0.002	0.1	0.1	0.266
	Máximo	0.1	0.02	0.05	0.049	0.002	0.1	0.1	0.266
	Rango	0	0	0	0	0	0	0	0
18	Media	0.02	0.005	0.082	0.05	0.001	0.06	0.1	0.14
	N	1	1	1	1	1	1	1	1
	Desv. típ.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Suma	0.02	0.005	0.082	0.05	0.001	0.06	0.1	0.14
	Mínimo	0.02	0.005	0.082	0.05	0.001	0.06	0.1	0.14
	Máximo	0.02	0.005	0.082	0.05	0.001	0.06	0.1	0.14
	Rango	0	0	0	0	0	0	0	0

19	Media	0.2	0.01	0.18	0.1	0.004	0.25	0.18	0.309
	N	1	1	1	1	1	1	1	1
	Desv. típ.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Suma	0.2	0.01	0.18	0.1	0.004	0.25	0.18	0.309
	Mínimo	0.2	0.01	0.18	0.1	0.004	0.25	0.18	0.309
	Máximo	0.2	0.01	0.18	0.1	0.004	0.25	0.18	0.309
	Rango	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 1, Anexo D. Cluster por grupos

Grupo	Estadísticos	CANTIDAD ANUAL UTILIZADA	pH Sectores	T	GyA	SS	SST	DBO	Arsénico
20	Media	73	8.18	13.5	8	0.1	12	14.87	0.001
	N	1	1	1	1	1	1	1	1
	Desv. típ.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Suma	73	8.18	13.5	8	0.1	12	14.87	0.001
	Mínimo	73	8.18	13.5	8	0.1	12	14.87	0.001
	Máximo	73	8.18	13.5	8	0.1	12	14.87	0.001
	Rango	0	0	0	0	0	0	0	0
21	Media	584.33333	6.86333	27	11.3333	2.16667	89.33333	101.53667	0.001667
	N	3	3	3	3	3	3	3	3
	Desv. típ.	131.058511	0.352184	5.19615	2.3094	1.443376	32.331615	27.302894	0.0011547
	Suma	1753	20.59	81	34	6.5	268	304.61	0.005
	Mínimo	433	6.66	21	10	0.5	52	70.01	0.001
	Máximo	660	7.27	30	14	3	108	117.3	0.003
	Rango	227	0.61	9	4	2.5	56	47.29	0.002
22	Media	111	8.18	13.5	8	0.1	12	14.87	0.001
	N	1	1	1	1	1	1	1	1
	Desv. típ.	.	.	.	.	.	.	.	.

	Suma	111	8.18	13.5	8	0.1	12	14.87	0.001
	Mínimo	111	8.18	13.5	8	0.1	12	14.87	0.001
	Máximo	111	8.18	13.5	8	0.1	12	14.87	0.001
	Rango	0	0	0	0	0	0	0	0
23	Media	111	7.7	19.62	11.43	0.3	50	84.55	0.001
	N	1	1	1	1	1	1	1	1
	Desv. típ.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Suma	111	7.7	19.62	11.43	0.3	50	84.55	0.001
	Mínimo	111	7.7	19.62	11.43	0.3	50	84.55	0.001
	Máximo	111	7.7	19.62	11.43	0.3	50	84.55	0.001
	Rango	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 1, Anexo D. Cluster por grupos

Grupo	Estadísticos	Cadmio	Cianuro	Cobre	CromoHexa	Mercurio	Niquel	Plomo	Zinc
20	Media	0.05	0.02	0.1	0.1	0.001	0.15	0.3	0.121
	N	1	1	1	1	1	1	1	1
	Desv. típ.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Suma	0.05	0.02	0.1	0.1	0.001	0.15	0.3	0.121
	Mínimo	0.05	0.02	0.1	0.1	0.001	0.15	0.3	0.121
	Máximo	0.05	0.02	0.1	0.1	0.001	0.15	0.3	0.121
	Rango	0	0	0	0	0	0	0	0
21	Media	0.036667	0.015	0.2	0.074	0.002667	0.233333	0.116667	0.183333
	N	3	3	3	3	3	3	3	3
	Desv. típ.	0.023094	0.0086603	0.0866025	0.0450333	0.0002887	0.0288675	0.0144338	0.1154701
	Suma	0.11	0.045	0.6	0.222	0.008	0.7	0.35	0.55
	Mínimo	0.01	0.005	0.1	0.022	0.0025	0.2	0.1	0.05
	Máximo	0.05	0.02	0.25	0.1	0.003	0.25	0.125	0.25
	Rango	0.04	0.015	0.15	0.078	0.0005	0.05	0.025	0.2

22	Media	0.05	0.02	0.1	0.1	0.001	0.15	0.3	0.121
	N	1	1	1	1	1	1	1	1
	Desv. típ.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Suma	0.05	0.02	0.1	0.1	0.001	0.15	0.3	0.121
	Mínimo	0.05	0.02	0.1	0.1	0.001	0.15	0.3	0.121
	Máximo	0.05	0.02	0.1	0.1	0.001	0.15	0.3	0.121
	Rango	0	0	0	0	0	0	0	0
23	Media	0.05	0.0072	0.12	0.0146	0.001	0.15	0.3	0.0824
	N	1	1	1	1	1	1	1	1
	Desv. típ.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Suma	0.05	0.0072	0.12	0.0146	0.001	0.15	0.3	0.0824
	Mínimo	0.05	0.0072	0.12	0.0146	0.001	0.15	0.3	0.0824
	Máximo	0.05	0.0072	0.12	0.0146	0.001	0.15	0.3	0.0824
	Rango	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 1, Anexo D. Cluster por grupos

Grupo	Estadísticos	CANTIDAD ANUAL UTILIZADA	pH Sectores	T	GyA	SS	SST	DBO	Arsénico
24	Media	228	7.08	23.7	0	1	10	95	0.0013
	N	1	1	1	1	1	1	1	1
	Desv. típ.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Suma	228	7.08	23.7	0	1	10	95	0.0013
	Mínimo	228	7.08	23.7	0	1	10	95	0.0013
	Máximo	228	7.08	23.7	0	1	10	95	0.0013
	Rango	0	0	0	0	0	0	0	0
25	Media	282.89	7.59	12.6	65.07	3	98	113.33	0.002
	N	1	1	1	1	1	1	1	1
	Desv. típ.	.	.	.	.	.	.	.	.

	Suma	282.89	7.59	12.6	65.07	3	98	113.33	0.002
	Mínimo	282.89	7.59	12.6	65.07	3	98	113.33	0.002
	Máximo	282.89	7.59	12.6	65.07	3	98	113.33	0.002
	Rango	0	0	0	0	0	0	0	0
26	Media	339.135	7.23	17.85	32.87	1.3	93	153.08	0.00225
	N	2	2	2	2	2	2	2	2
	Desv. típ.	65.838712	0.509117	7.2832	3.01227	1.697056	9.899495	32.413775	0.0003536
	Suma	678.27	14.46	35.7	65.74	2.6	186	306.16	0.0045
	Mínimo	292.58	6.87	12.7	30.74	0.1	86	130.16	0.002
	Máximo	385.69	7.59	23	35	2.5	100	176	0.0025
	Rango	93.11	0.72	10.3	4.26	2.4	14	45.84	0.0005
27	Media	189	7.28	20	11.98	0.1	66	92.9	0.002
	N	1	1	1	1	1	1	1	1
	Desv. típ.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Suma	189	7.28	20	11.98	0.1	66	92.9	0.002
	Mínimo	189	7.28	20	11.98	0.1	66	92.9	0.002
	Máximo	189	7.28	20	11.98	0.1	66	92.9	0.002
	Rango	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 1, Anexo D. Cluster por grupos

Grupo	Estadísticos	Cadmio	Cianuro	Cobre	CromoHexa	Mercurio	Niquel	Plomo	Zinc
24	Media	0.08	0.0104	0.2147	0.1961	0.0081	0.7744	0.2033	0.26
	N	1	1	1	1	1	1	1	1
	Desv. típ.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Suma	0.08	0.0104	0.2147	0.1961	0.0081	0.7744	0.2033	0.26
	Mínimo	0.08	0.0104	0.2147	0.1961	0.0081	0.7744	0.2033	0.26
	Máximo	0.08	0.0104	0.2147	0.1961	0.0081	0.7744	0.2033	0.26
	Rango	0	0	0	0	0	0	0	0

25	Media	0.03	0.02	0.261	0.1	0.001	0.107	0.062	0.668
	N	1	1	1	1	1	1	1	1
	Desv. típ.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Suma	0.03	0.02	0.261	0.1	0.001	0.107	0.062	0.668
	Mínimo	0.03	0.02	0.261	0.1	0.001	0.107	0.062	0.668
	Máximo	0.03	0.02	0.261	0.1	0.001	0.107	0.062	0.668
	Rango	0	0	0	0	0	0	0	0
26	Media	0.065	0.01125	0.0675	0.055	0.00175	0.095	0.12	0.25
	N	2	2	2	2	2	2	2	2
	Desv. típ.	0.0494975	0.0123744	0.0106066	0.0636396	0.0003536	0.0494975	0.0848528	0.0707107
	Suma	0.13	0.0225	0.135	0.11	0.0035	0.19	0.24	0.5
	Mínimo	0.03	0.0025	0.06	0.01	0.0015	0.06	0.06	0.2
	Máximo	0.1	0.02	0.075	0.1	0.002	0.13	0.18	0.3
	Rango	0.07	0.0175	0.015	0.09	0.0005	0.07	0.12	0.1
27	Media	0.2	0.002	0.05	0.05	0.005	0.1	0.3	0.2189
	N	1	1	1	1	1	1	1	1
	Desv. típ.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Suma	0.2	0.002	0.05	0.05	0.005	0.1	0.3	0.2189
	Mínimo	0.2	0.002	0.05	0.05	0.005	0.1	0.3	0.2189
	Máximo	0.2	0.002	0.05	0.05	0.005	0.1	0.3	0.2189
	Rango	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 1, Anexo D. Cluster por grupos

Grupo	Estadísticos	CANTIDAD ANUAL UTILIZADA	pH Sectores	T	GyA	SS	SST	DBO	Arsénico
28	Media	0	7.11	19.1	14.71	1	24	41	0.0011
	N	1	1	1	1	1	1	1	1
	Desv. típ.	.	.	.	.	.	.	.	.

	Suma	0	7.11	19.1	14.71	1	24	41	0.0011
	Mínimo	0	7.11	19.1	14.71	1	24	41	0.0011
	Máximo	0	7.11	19.1	14.71	1	24	41	0.0011
	Rango	0	0	0	0	0	0	0	0
29	Media	64.78	7.43	19.9	24.05	0.5	99	140	0.0007
	N	1	1	1	1	1	1	1	1
	Desv. típ.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Suma	64.78	7.43	19.9	24.05	0.5	99	140	0.0007
	Mínimo	64.78	7.43	19.9	24.05	0.5	99	140	0.0007
	Máximo	64.78	7.43	19.9	24.05	0.5	99	140	0.0007
	Rango	0	0	0	0	0	0	0	0
30	Media	105.3	7.25	19.2	10	0.3	5	15	0.0025
	N	1	1	1	1	1	1	1	1
	Desv. típ.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Suma	105.3	7.25	19.2	10	0.3	5	15	0.0025
	Mínimo	105.3	7.25	19.2	10	0.3	5	15	0.0025
	Máximo	105.3	7.25	19.2	10	0.3	5	15	0.0025
	Rango	0	0	0	0	0	0	0	0
31	Media	6.91	6.82	20	5	8	63.33	0.8	0.002
	N	1	1	1	1	1	1	1	1
	Desv. típ.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Suma	6.91	6.82	20	5	8	63.33	0.8	0.002
	Mínimo	6.91	6.82	20	5	8	63.33	0.8	0.002
	Máximo	6.91	6.82	20	5	8	63.33	0.8	0.002
	Rango	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 1, Anexo D. Cluster por grupos

Grupo	Estadísticos	Cadmio	Cianuro	Cobre	CromoHexa	Mercurio	Niquel	Plomo	Zinc
28	Media	0.051	0.02	0.0904	0.1	0.0013	0.152	0.3373	0.1529
	N	1	1	1	1	1	1	1	1
	Desv. típ.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Suma	0.051	0.02	0.0904	0.1	0.0013	0.152	0.3373	0.1529
	Mínimo	0.051	0.02	0.0904	0.1	0.0013	0.152	0.3373	0.1529
	Máximo	0.051	0.02	0.0904	0.1	0.0013	0.152	0.3373	0.1529
	Rango	0	0	0	0	0	0	0	0
29	Media	0.08	0.02	0.25	0.25	0.0004	0.47	0.67	0.065
	N	1	1	1	1	1	1	1	1
	Desv. típ.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Suma	0.08	0.02	0.25	0.25	0.0004	0.47	0.67	0.065
	Mínimo	0.08	0.02	0.25	0.25	0.0004	0.47	0.67	0.065
	Máximo	0.08	0.02	0.25	0.25	0.0004	0.47	0.67	0.065
	Rango	0	0	0	0	0	0	0	0
30	Media	0.025	0.025	0.05	0.1	0.0005	0.1	0.05	0.1651
	N	1	1	1	1	1	1	1	1
	Desv. típ.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Suma	0.025	0.025	0.05	0.1	0.0005	0.1	0.05	0.1651
	Mínimo	0.025	0.025	0.05	0.1	0.0005	0.1	0.05	0.1651
	Máximo	0.025	0.025	0.05	0.1	0.0005	0.1	0.05	0.1651
	Rango	0	0	0	0	0	0	0	0
31	Media	0.2	0.01	0.18	0.1	0.004	0.25	0.18	0.12
	N	1	1	1	1	1	1	1	1
	Desv. típ.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Suma	0.2	0.01	0.18	0.1	0.004	0.25	0.18	0.12
	Mínimo	0.2	0.01	0.18	0.1	0.004	0.25	0.18	0.12

	Máximo	0.2	0.01	0.18	0.1	0.004	0.25	0.18	0.12
	Rango	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 1, Anexo D. Cluster por grupos

Grupo	Estadísticos	CANTIDAD ANUAL UTILIZADA	pH Sectores	T	GyA	SS	SST	DBO	Arsénico
32	Media	70	8.25	24	9.49	0.1	90	100.23	0.002
	N	1	1	1	1	1	1	1	1
	Desv. típ.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Suma	70	8.25	24	9.49	0.1	90	100.23	0.002
	Mínimo	70	8.25	24	9.49	0.1	90	100.23	0.002
	Máximo	70	8.25	24	9.49	0.1	90	100.23	0.002
	Rango	0	0	0	0	0	0	0	0
33	Media	349	7.24667	21.9	10.67	0.3	57.33333	36.33333	0.002
	N	3	3	3	3	3	3	3	3
	Desv. típ.	6.928203	0.156312	1.4	0.15524	0.1	5.033223	8.386497	0
	Suma	1047	21.74	65.7	32.01	0.9	172	109	0.006
	Mínimo	345	7.08	20.9	10.51	0.2	52	31	0.002
	Máximo	357	7.39	23.5	10.82	0.4	62	46	0.002
	Rango	12	0.31	2.6	0.31	0.2	10	15	0
34	Media	538.87	7.5325	27.925	9.92	0.2	52.75	37.25	0.002
	N	4	4	4	4	4	4	4	4
	Desv. típ.	194.042919	0.125266	13.25704	3.97818	0	24.18505	21.561926	0
	Suma	2155.48	30.13	111.7	39.68	0.8	211	149	0.008
	Mínimo	398	7.42	20.7	4.27	0.2	36	22	0.002
	Máximo	819.48	7.66	47.8	12.84	0.2	88	69	0.002
	Rango	421.48	0.24	27.1	8.57	0	52	47	0
35	Media	765	7.63	20.6	10.9	0.2	44	44	35

	N	1	1	1	1	1	1	1	1
	Desv. típ.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Suma	765	7.63	20.6	10.9	0.2	44	44	35
	Mínimo	765	7.63	20.6	10.9	0.2	44	44	35
	Máximo	765	7.63	20.6	10.9	0.2	44	44	35
	Rango	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 1, Anexo D. Cluster por grupos

Grupo	Estadísticos	Cadmio	Cianuro	Cobre	CromoHexa	Mercurio	Niquel	Plomo	Zinc
32	Media	0.2	0.01	0.18	0.1	0.004	0.25	0.18	0.406
	N	1	1	1	1	1	1	1	1
	Desv. típ.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Suma	0.2	0.01	0.18	0.1	0.004	0.25	0.18	0.406
	Mínimo	0.2	0.01	0.18	0.1	0.004	0.25	0.18	0.406
	Máximo	0.2	0.01	0.18	0.1	0.004	0.25	0.18	0.406
	Rango	0	0	0	0	0	0	0	0
33	Media	0.02	0.005	0.05	0.05	0.001	0.06	0.1	0.034667
	N	3	3	3	3	3	3	3	3
	Desv. típ.	0	0	0	0	0	0	0	0.0184752
	Suma	0.06	0.015	0.15	0.15	0.003	0.18	0.3	0.104
	Mínimo	0.02	0.005	0.05	0.05	0.001	0.06	0.1	0.024
	Máximo	0.02	0.005	0.05	0.05	0.001	0.06	0.1	0.056
	Rango	0	0	0	0	0	0	0	0.032
34	Media	0.02	0.005	0.05	0.05	0.001	0.06	0.1	0.049
	N	4	4	4	4	4	4	4	4
	Desv. típ.	0	0	0	0	0	0	0	0.0279285
	Suma	0.08	0.02	0.2	0.2	0.004	0.24	0.4	0.196
	Mínimo	0.02	0.005	0.05	0.05	0.001	0.06	0.1	0.02

	Máximo	0.02	0.005	0.05	0.05	0.001	0.06	0.1	0.086
	Rango	0	0	0	0	0	0	0	0.066
35	Media	0.02	0.005	0.05	0.05	0.001	0.06	0.1	0.078
	N	1	1	1	1	1	1	1	1
	Desv. típ.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Suma	0.02	0.005	0.05	0.05	0.001	0.06	0.1	0.078
	Mínimo	0.02	0.005	0.05	0.05	0.001	0.06	0.1	0.078
	Máximo	0.02	0.005	0.05	0.05	0.001	0.06	0.1	0.078
	Rango	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 1, Anexo D. Cluster por grupos

Grupo	Estadísticos	CANTIDAD ANUAL UTILIZADA	pH Sectores	T	GyA	SS	SST	DBO	Arsénico
36	Media	363.39	7.88	21	11.78	0.1	23.33	131.24	0.002
	N	1	1	1	1	1	1	1	1
	Desv. típ.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Suma	363.39	7.88	21	11.78	0.1	23.33	131.24	0.002
	Mínimo	363.39	7.88	21	11.78	0.1	23.33	131.24	0.002
	Máximo	363.39	7.88	21	11.78	0.1	23.33	131.24	0.002
	Rango	0	0	0	0	0	0	0	0
37	Media	463	7.89	20.6	55	0.5	75	124	0.0009
	N	1	1	1	1	1	1	1	1
	Desv. típ.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Suma	463	7.89	20.6	55	0.5	75	124	0.0009
	Mínimo	463	7.89	20.6	55	0.5	75	124	0.0009
	Máximo	463	7.89	20.6	55	0.5	75	124	0.0009
	Rango	0	0	0	0	0	0	0	0
38	Media	693	7.39	20	55	1	60	129	0.0009

	N	3	3	3	3	3	3	3	3
	Desv. típ.	0	0	0	0	0	0	0	0
	Suma	2079	22.17	60	165	3	180	387	0.0027
	Mínimo	693	7.39	20	55	1	60	129	0.0009
	Máximo	693	7.39	20	55	1	60	129	0.0009
	Rango	0	0	0	0	0	0	0	0
39	Media	260.22	8.4	12.25	9.695	0.4	115	100.48	0.001
	N	1	1	1	1	1	1	1	1
	Desv. típ.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Suma	260.22	8.4	12.25	9.7	0.4	115	100.48	0.001
	Mínimo	260.22	8.4	12.25	9.7	0.4	115	100.48	0.001
	Máximo	260.22	8.4	12.25	9.7	0.4	115	100.48	0.001
Rango	0	0	0	0	0	0	0	0	

Tabla 1, Anexo D. Cluster por grupos

Grupo	Estadísticos	Cadmio	Cianuro	Cobre	CromoHexa	Mercurio	Niquel	Plomo	Zinc
36	Media	0.03	0.01	0.18	0.1	0.004	0.25	0.18	0.12
	N	1	1	1	1	1	1	1	1
	Desv. típ.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Suma	0.03	0.01	0.18	0.1	0.004	0.25	0.18	0.12
	Mínimo	0.03	0.01	0.18	0.1	0.004	0.25	0.18	0.12
	Máximo	0.03	0.01	0.18	0.1	0.004	0.25	0.18	0.12
Rango	0	0	0	0	0	0	0	0	
37	Media	0.04	0.0025	0.1324	0.0094	0.0019	0.3042	0.5014	0.1222
	N	1	1	1	1	1	1	1	1
	Desv. típ.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Suma	0.04	0.0025	0.1324	0.0094	0.0019	0.3042	0.5014	0.1222
	Mínimo	0.04	0.0025	0.1324	0.0094	0.0019	0.3042	0.5014	0.1222

	Máximo	0.04	0.0025	0.1324	0.0094	0.0019	0.3042	0.5014	0.1222
	Rango	0	0	0	0	0	0	0	0
38	Media	0.0538	0.0025	0.1324	0.0094	0.0019	0.3042	0.5014	0.3262
	N	3	3	3	3	3	3	3	3
	Desv. típ.	0	0	0	0	0	0	0	0
	Suma	0.1614	0.0075	0.3972	0.0282	0.0057	0.9126	1.5042	0.9786
	Mínimo	0.0538	0.0025	0.1324	0.0094	0.0019	0.3042	0.5014	0.3262
	Máximo	0.0538	0.0025	0.1324	0.0094	0.0019	0.3042	0.5014	0.3262
	Rango	0	0	0	0	0	0	0	0
39	Media	0.05	0.02	0.3292	0.1	0.001	0.15	0.3	0.342
	N	1	1	1	1	1	1	1	1
	Desv. típ.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Suma	0.05	0.02	0.3292	0.1	0.001	0.15	0.3	0.342
	Mínimo	0.05	0.02	0.3292	0.1	0.001	0.15	0.3	0.342
	Máximo	0.05	0.02	0.3292	0.1	0.001	0.15	0.3	0.342
	Rango	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 1, Anexo D. Cluster por grupos

Grupo	Estadísticos	CANTIDAD ANUAL UTILIZADA	pH Sectores	T	GyA	SS	SST	DBO	Arsénico
40	Media	1064	10	40	75	7.5	200	200	0.75
	N	1	1	1	1	1	1	1	1
	Desv. típ.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Suma	1064	10	40	75	7.5	200	200	0.75
	Mínimo	1064	10	40	75	7.5	200	200	0.75
	Máximo	1064	10	40	75	7.5	200	200	0.75
	Rango	0	0	0	0	0	0	0	0
41	Media	12	7.89	22.5	26.34	0.8	73	87.73	0.002

	N	1	1	1	1	1	1	1	1
	Desv. típ.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Suma	12	7.89	22.5	26.34	0.8	73	87.73	0.002
	Mínimo	12	7.89	22.5	26.34	0.8	73	87.73	0.002
	Máximo	12	7.89	22.5	26.34	0.8	73	87.73	0.002
	Rango	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	Media	22746.5576	7.52353	21.5659	20.2584	0.69062	58.95426	87.66766	0.218869
	N	165	165	165	165	165	165	165	165
	Desv. típ.	119363.604	0.588047	5.0801	15.42826	1.159487	43.58655	67.748051	2.7248402
	Suma	3753182.01	1241.382	3558.37	3342.64	113.953	9727.453	14465.164	36.1133
	Mínimo	0	5.76	8.12	0	0.05	2	0.8	0.0005
	Máximo	1333806	10.78	47.8	75	8	356	490	35
	Rango	1333806	5.02	39.68	75	7.95	354	489.2	34.9995

Tabla 1, Anexo D. Cluster por grupos

Grupo	Estadísticos	Cadmio	Cianuro	Cobre	CromoHexa	Mercurio	Niquel	Plomo	Zinc
40	Media	0.75	1.5	15	0.75	0.015	6	1.5	9
	N	1	1	1	1	1	1	1	1
	Desv. típ.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Suma	0.75	1.5	15	0.75	0.015	6	1.5	9
	Mínimo	0.75	1.5	15	0.75	0.015	6	1.5	9
	Máximo	0.75	1.5	15	0.75	0.015	6	1.5	9
	Rango	0	0	0	0	0	0	0	0
41	Media	0.025	0.002	0.05	0.02	0.002	0.1	0.2	0.02
	N	1	1	1	1	1	1	1	1
	Desv. típ.	.	.	.	.	.	.	.	.
	Suma	0.025	0.002	0.05	0.02	0.002	0.1	0.2	0.02
	Mínimo	0.025	0.002	0.05	0.02	0.002	0.1	0.2	0.02

	Máximo	0.025	0.002	0.05	0.02	0.002	0.1	0.2	0.02
	Rango	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	Media	0.057283	0.025623	0.229206	0.079536	0.003994	0.258247	0.220008	0.307113
	N	165	165	165	165	165	165	165	165
	Desv. típ.	0.0833061	0.1188048	1.1664297	0.0901727	0.019453	0.5094378	0.2171681	0.8429999
	Suma	9.4517	4.2278	37.819	13.1234	0.659	42.6107	36.3014	50.6736
	Mínimo	0.005	0.0005	0.001	0.0094	0.0004	0.0496	0.05	0.005
	Máximo	0.75	1.5	15	0.75	0.25	6	1.5	9
	Rango	0.745	1.4995	14.999	0.7406	0.2496	5.9504	1.45	8.995
