



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
ELÉCTRICA – INSTRUMENTACIÓN

ANÁLISIS INSTRUMENTAL DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y DE LA CALIDAD DEL AGUA EN
PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL. CASO DE ESTUDIO.

TESIS QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
VERÓNICA ESCOBAR RUIZ

TUTORES PRINCIPALES
DR. VÍCTOR MANUEL VELASCO HERRERA, INSTITUTO DE GEOFÍSICA
M.C. MARÍA INÉS JOSEFÍNA NAVARRO GONZÁLEZ, INSTITUTO DE INGENIERÍA

MÉXICO, D. F. Enero 2014



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Moreno Pérez Jaime Alberto

Secretario: Dr. Qureshi Naser

1 er. Vocal: Dr. Velasco Herrera Víctor Manuel

2 do. Vocal: M.C. Navarro González Ma. Inés J.

3 er. Vocal: Dr. Sandoval Romero Gabriel Eduardo

México, Distrito Federal.

TUTOR DE TESIS:

Dr. Víctor M. Velasco Herrera

Firma

TUTORA DE TESIS:

M.C. Ma. Inés J. Navarro González

Firma

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por su apoyo económico durante el posgrado. A la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y al programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería por permitirme ser parte de esta institución. Al Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico (CCADET) por brindar sus instalaciones durante el desarrollo de la Maestría.

Al proyecto CONACYT No: 180148 “Cambio Climático Natural y Sistemas Solares de Bajo Costo” por el sustento económico que permitió la culminación del proyecto.

Al Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX), en especial al Subdirector de Control de Calidad del Agua Ing. Luis Arturo Correa Camacho por contribuir con información necesaria para realizar la tesis.

A mis padres por darme la vida y sobre todo por enseñarme a vivirla. Individualmente a mi madre por la seguridad y paz que me brinda su presencia, por tener el don de tocar mi ser con su amor. A mi padre por enseñarme a través de su conocimiento, quien me alienta a luchar y siempre encuentra las palabras exactas para impulsarme.

A mis hermanas, por regalarme su cariño y amistad. A Violeta por demostrarme que los sueños no deben ser olvidados sino transformados en realidad. A Valeria por estar siempre disponible para escucharme y brindarme sabios consejos.

A mis abuelitas, quienes han sido ejemplos en mi vida. Edelmira por enseñarme a que el trabajo y la perseverancia derriban las adversidades. Luz María por mostrarme que cualquier lucha se puede ganar con tenacidad y paciencia.

A mis familiares, por concederme instantes felices con su compañía.

A mis amigos. El de toda la vida, los que estuvieron y los que llegaron.

A mis tutores. Dr. Víctor Velasco Herrera y M.C. Inés Navarro González por dedicarme su tiempo para aclarar mis dudas y sobre todo por permitirme aprender de ustedes.

A mis profesores del CCADET por sus enseñanzas, conocimientos y experiencias aportadas.

A todas las personas que contribuyeron en alguna medida con este proyecto de Maestría.

Muchas Gracias

Índice

Hipótesis	1
Objetivos	2
Alcances y Metas	3
Introducción	4
Capítulo I Antecedentes	5
Capítulo II Sitio de Estudio y Características	
2.1 El Distrito Federal	
2.1.1 Características Geográficas	10
2.1.2 Características Demográficas	10
2.1.3 Características Climatológicas	11
2.1.4 Efectos de la Urbanización.....	12
2.1.5 Cambio Climático y Emisiones de Gases de Efecto Invernadero ..	13
2.1.6 Fenómenos Climatológicos Cíclicos	14
2.2 Agua Residual y Plantas de Tratamiento	
2.2.1 Parámetros.....	18
2.2.2 Calidad del Agua Residual	23
2.2.3 Métodos Físicoquímicos en Laboratorio	24
2.2.4 Agua Residual del Distrito Federal	29
2.2.5 Plantas de Tratamiento de Agua Residual en el Distrito Federal ...	31
2.3 Planta de Tratamiento de Agua Residual “Cerro de la Estrella”	
2.3.1 Descripción General.....	34
2.3.2 Descripción del Proceso	34
2.3.3 Distribución del Agua Residual Tratada	36
Capítulo III Materiales y Métodos	
3.1 Materiales y Métodos	38
3.2 Determinación de Épocas	41
3.3 Eventos Extremos	
3.3.1 Temperaturas.....	41
3.3.2 Precipitaciones.....	42
3.4 Análisis Estadísticos	42
3.4.1 Análisis Estadístico Descriptivo.....	43
3.4.2 Correlación y Regresión.....	46
3.5 Porcentaje de Remoción en PTAR “Cerro de la Estrella”.....	48
3.6 Efecto de las Variables Climatológicas en Parámetros de la PTAR.....	50
3.7 Conceptos de Instrumentación.....	51
Capítulo IV Resultados	
4.1 Determinación de Épocas	55
4.2 Tendencia de los Eventos Extremos	
4.2.1 Temperaturas Extremas Observadas	59
4.2.2 Patrón de Evolución de las Precipitaciones Extremas	60
4.3 Análisis Estadístico	
4.3.1 Variables Climatológicas	
4.3.1.1 Análisis Estadístico Descriptivo	64
4.3.1.2 Representación Gráfica	72
4.3.2 Parámetros PTAR “Cerro de la Estrella”	
4.3.2.1 Influyente	
4.3.2.1.1 Análisis Estadístico Descriptivo.....	80
4.3.2.1.2 Representación Gráfica	82
4.3.2.2 Efluente	
4.3.2.2.1 Análisis Estadístico Descriptivo.....	84

Índice

4.3.2.2 Representación Gráfica	86
4.4 Correlación y Regresión	
4.4.1 Entre Variables Climatológicas	89
4.4.2 Entre Parámetros de la PTAR “Cerro de la Estrella”	
4.4.2.1 Influyente.....	95
4.4.2.2 Efluente	106
4.5 Porcentaje de Remoción en PTAR “Cerro de la Estrella”.....	108
4.6 Efecto de las Variables Climatológicas y Parámetros de la PTAR	
4.6.1 Influyente	110
4.6.2 Efluente.....	113
Capítulo V Propuesta de Sensores para el Monitoreo en Tiempo Real	
5.1 Ubicación de Sensores en los Proceso de la PTAR “Cerro de la Estrella”.....	115
5.2 Variables Medidas y Sensores Recomendados	
5.2.1 Concepto y Principio de Medición de las Variables.....	123
5.2.2 Descripción del Sensor Sugerido	129
5.2.3 Estimación de los Parámetros por Época	135
Conclusiones y Recomendaciones	138
Bibliografía.....	142
Anexos	
Anexo 1: Estadística Agua Residual	147
Anexo 2: Eventos de Precipitación Extrema, Anual	149
Anexo 3: Eventos de Precipitación Extremas, Mensual	153
Anexo 4: Análisis Estadístico Descriptivo, Variables Climatológicas.....	156
Anexo 5: Análisis Estadístico Descriptivo PTAR, Influyente	164
Anexo 6: Análisis Estadístico Descriptivo PTAR, Efluente	173
Anexo 7: Correlación y Regresión PTAR, Influyente.....	182
Anexo 8: Porcentaje de Remoción.....	200
Anexo 9: Gráficas en Tiempo, Acercamiento de Influyente	205
Anexo 10: Hoja de Datos Sensores	
Sensor de pH	213
Sensor de Conductividad	214
Sensor de Turbidez.....	215
Sensor de Fosfatos	216
Sensor de Cromo	217
Sensor de Cobre	219
Sensor de DBO y DQO	221

Hipótesis

El estudio de la variabilidad climática y de los parámetros físico-químicos permite obtener información precisa sobre el comportamiento que tiene una planta de tratamiento de agua residual en función de las variables climatológicas tales como temperatura y precipitación, y de esta forma reducir los errores de sensado por medio de instrumentos que contemplen tales variables.

Objetivos

General

Determinar los tipos de sensores que permitan un monitoreo en tiempo real de aquellos parámetros de calidad del agua relacionados a la variabilidad climática y su potencial localización en los diferentes procesos de la planta de tratamiento de agua residual “Cerro de la Estrella” en base al análisis de los datos instrumentales de las estaciones climatológicas que se encuentran en las delegaciones atendidas con el tratamiento de agua residual de la planta así como, los datos de las variables físico-químico del influente y efluente de la planta para el periodo 2000-2010.

Específicos

Analizar las estaciones climatológicas que reflejen la variabilidad climática de la zona de influencia de la planta “Cerro de la Estrella”.

Identificar los parámetros de calidad del agua que podrían verse afectados directamente con la variabilidad climática.

Analizar la tendencia o desfase en diferentes intervalos de tiempo sobre los efectos de la variabilidad climática en la calidad del agua del influente de la planta.

Aportar información sobre variabilidad climática y empleo de instrumentos electrónicos para mejorar los procesos en plantas de tratamiento de agua residual.

Proponer el uso de sensores electrónicos para la medición de parámetros físicos y químicos con el propósito de reducir los tiempos de estabilización en plantas de tratamiento de agua residual.

Contribuir en los estudios de cambio climático y calidad del agua en plantas de tratamiento de agua residual.

Alcances y Metas

Alcances

El análisis de las variables climáticas y de los parámetros de la calidad del agua residual que recibe la planta “Cerro de la Estrella” se centrará en el periodo de datos que estén disponibles para ambos.

Se aplicarán todas aquellas herramientas de análisis estadístico que generen las series de tiempo óptimas para la evaluación, considerando que es inusual el seguimiento sistemático de datos de calidad en las plantas de agua residual en el país.

Se identificarán los sensores para el monitoreo en tiempo real para el influente e efluente de la planta con base a la información disponible y para el monitoreo interno de los procesos se propondrán en función del principio de operación.

El análisis de la viabilidad del monitoreo en tiempo real considerará aquellos parámetros para los cuales hay la tecnología comercial disponible para su sensado y se excluirán aquellos instrumentos que sean financieramente inviables.

La propuesta de instrumentación de esta investigación no contemplará el sistema de comunicación (transmisores) entre los sensores ni el sistema de control (actuadores) para el proceso.

Metas

Identificar periodos y/o condiciones climáticas que apunten a que en el futuro podrán observarse eficiencias de operación atípica.

Describir el comportamiento de los eventos extremos de precipitación y temperatura en la zona de estudio beneficiada por la planta de tratamiento.

Caracterización de las correlaciones entre las variables climáticas para las diferentes épocas de estiaje y lluvia.

Caracterización de las correlaciones entre los parámetros de calidad del agua del influente y efluente de la planta de tratamiento para las diferentes épocas de estiaje y lluvia.

Identificar el tipo de sensor a utilizar en el proceso y ubicación en planta.

Introducción

La variabilidad climática es un fenómeno que afecta las actividades industriales; la existencia de estas alteraciones provoca un rápido deterioro de los equipos y el mal funcionamiento de los sistemas. En México, las plantas de tratamiento de agua residual tratan agua de uso doméstico-pluvial y, en su mayoría, el proceso es por lodos activados. Es por ello que variaciones en parámetros tales como temperatura y precipitación podrían representar cambios significativos en la calidad del agua del influente y/o efluente de las plantas. “Cerro de la Estrella” es la planta de tratamiento de agua residual más grande del Distrito Federal; trata el agua de siete de las dieciséis delegaciones. El agua tratada es utilizada para riego en lugares recreativos y zonas lacustres donde es utilizada en la agricultura. La consideración de los parámetros climatológicos para la estabilización del proceso contribuye a un mejor desempeño y al cumplimiento de las normas establecidas. Para ello, la implementación de sensores electrónicos que realicen mediciones en tiempo real es recomendable.

Debido a la capacidad, extensión y servicios que la planta de tratamiento de agua residual “Cerro de la Estrella” maneja, aunado a la variabilidad climática que se reporta en el Distrito Federal, se encuentra de interés realizar un análisis de los datos de las estaciones meteorológicas involucradas y las variables físicas y químicas del influente y efluente, para contribuir a la mejor operación de los procesos de la planta.

La instrumentación electrónica tiene como principal objetivo el diseño de sistemas de medición y el procesamiento de la información para un mejor entendimiento. Debido a que la reciente inquietud de considerar el impacto de los fenómenos climáticos en los distintos sectores industriales provee de poca información y de la existencia de solo algunos estudios, antes de hablar de sensado, es necesario realizar un procesamiento de los datos históricos que nos permita definir los dispositivos electrónicos que se adecuen más a esta necesidad.

Para el análisis se contó con una base de datos de la planta “Cerro de la Estrella” que proporciona variables físicas y químicas del influente y efluente, en un periodo que abarca del 2000 al 2010. Se utilizaron los datos de las estaciones climatológicas de las delegaciones beneficiadas con el tratamiento de agua y que además coincidieran con el periodo antes mencionado.

Los métodos abarcan desde un análisis de las épocas del año, estadística descriptiva, correlación, regresión y porcentaje de remoción de los parámetros físico - químicos así como comparaciones en tiempo de las variables climatológicas y los parámetros más importantes; utilizando MATLAB como herramienta de programación y análisis.

Capítulo I

Antecedentes

La creciente demanda por el mejoramiento de la calidad de vida ha generado que se tome conciencia de aquello que provoca un deterioro en el ambiente del ser humano. El agua y todo lo relacionado a ella es uno de los aspectos que ha tomado mayor importancia en la última década, quizá en gran parte, debido a la preocupación de agotar este vital líquido.

Las plantas de tratamiento de agua residual forma parte de esta corriente y la inquietud por incrementar su eficiencia ha llevado a los científicos a desarrollar nuevos sistemas, diferentes procesos, mejoras en las técnicas de medición, empleo de equipos mecánicos, eléctricos y electrónicos, aunado a esto, el gradual desarrollo de la tecnología ha sido factor para que las plantas de tratamiento evolucionen de una operación manual a una automática.

En Londres la preocupación de mejorar la distribución de agua potable, recolección de agua residual y procesamiento de esta misma llevo a realizar el proyecto Thames Water Utilities Ltd TWUL¹. El plan no es más que un proceso continuo e integral dividido en tres partes; distribución, recolección y tratamiento.

El sistema de recolección es una red compuesta de tuberías y bombas que recolectan agua residual doméstica, industrial y, en la mayoría de los casos, de lluvia. Dentro del tratamiento en la parte inferior de la jerarquía de instrumentación; los sensores que se encuentran pueden medir caudal, demanda bioquímica de oxígeno, cloro residual y otros muchos parámetros asociados al proceso. Por encima de esta etapa esta un controlador lógico programable (PLC) que provee una regulación automática en el medio ambiente local dentro de un conjunto de parámetros y horario definido. Debajo del PLC un sistema de control supervisado y adquisición de datos proporciona un monitoreo en línea que permite a los operadores, en el cuarto de control, llevar a cabo un registro en tiempo real. La introducción de un control de procesos estadístico (SPC) ha generado ganancias impresionantes en el desempeño, como parte de las mejoras que se desean realizar al sistema está la aplicación de redes neuronales en el SPC para agilizar la estabilización de la planta. El desarrollo de este proyecto ha llevado a bajar los costos de producción, mejorar la eficiencia en la planta y anticipar los problemas de operación ante fenómenos de precipitación.

En china, Tian J., Wu H. y Gao M.² proponen la medición y control de un sistema de tratamiento de agua residual basado en una red de sensores inalámbricos. Los sensores colectan información referente a temperatura, flujo, oxígeno disuelto, objetos suspendidos y pH entre otros; la información es transmitida por una red inalámbrica. El sistema en general se compone de una red de nodos de sensado, un dispositivo de adquisición de datos y un conjunto de elementos que permiten la comunicación entre todos estos dispositivos. La idea se basa fundamentalmente en el sensado, sustituyendo los cables de comunicación por dispositivos inalámbricos y permitiendo que los nodos de sensado puedan ser sustituidos según el tipo de tratamiento utilizado en la planta.

Capítulo I

Antecedentes

Dentro de este trabajo no se propone ningún análisis de las variables sensadas ni procesos de control, sin embargo, recomiendan que estas partes debe desarrollarse en paralelo al sensado.

Bajo el mismo concepto de nodos de sensado, Cao L.³, presenta el uso de un sistema de control con malla inalámbrica para plantas de tratamiento de agua residual. El sistema consiste en nodos inalámbricos de sensores, un colector de datos, un centro de monitoreo y una red de comunicación inalámbrica. Usa sensores inalámbricos para recolectar información sobre temperatura, caudal, oxígeno disuelto, pH entre otras variables fundamentales para los procesos de la planta. Propone el protocolo ZigBee (IEEE 802.15.4) para la comunicación entre estos nodos de sensores y el colector de datos, adopta un protocolo de enrutamiento basado en algoritmos genéticos para el sistema. Para el centro de monitoreo se usa un FPGA (EP2C35F672C8), para el diseño de los nodos ZigBee un microcontrolador (PIC18LF4620) y un chip inalámbrico (CC2420). El sistema tiene la ventaja de no requerir cables de comunicación ya que estos son sustituidos por la comunicación inalámbrica, lo que ahorra tiempo y costo en la instalación y mantenimiento. Además, los sensores pueden ser seleccionados de acuerdo al tipo de tecnología de tratamiento. El objetivo principal del sistema es reducir los tiempos de comunicación y facilitar las lecturas del proceso en tiempo real, de igual forma que el anterior trabajo, no se propone sistemas de control ni análisis de las variables sensadas.

Por su parte Li W. y Sun Y.⁴, se enfocan más al control que a los sensores. Realizan un sistema automático de seguimiento y control de agua residual industrial. Usan un proceso de tratamiento secundario y con el fin de identificar la calidad del agua y medir la eficacia del tratamiento usan sensores de DBO, DQO, pH, temperatura, turbidez, Sólidos suspendidos, entre otros más. Para la transmisión proponen un bus de campo así como tecnología inalámbrica para reducir el número de cables en el área. Considerando cada módulo del tratamiento y las señales que necesitan ser detectadas como por ejemplo el comportamiento de válvulas, interruptores, motores y bombas; para cada proceso se debe diseñar un control.

En las rejillas consideran que el uso de un sensor ultrasónico, puede medir el volumen de agua y de esta forma activar las cadenas o detenerlas con ayuda de un PLC. En el primer tanque de sedimentación se proponen un medidor de flujo electromagnético que mida el caudal y de acuerdo a este una bomba pueda ser activada para mantener un tiempo relativo de equilibrio. A la entrada de este tanque, se podría instalar un sensor de pH y ajustar el proceso subsecuente según el valor arrojado por el sensor. En el tanque de lodos activados, la incorporación de sensores de potencial de oxidación y oxígeno disuelto ayudaría a determinar el número de sopladores que deben activarse, la intensidad de cada uno de ellos y de esta forma ahorrar recursos energéticos. A su vez en este tanque el conocer la densidad de los lodos permitiría reducir o incrementar la

Capítulo I

Antecedentes

cantidad de lodos a retroalimentar. Para la sedimentación secundaria, se hace necesaria medir el material sedimentado, si está por encima del valor adecuado se descarga por medio de una bomba de succión, y así si se evita la corrupción de los sedimentos y la acumulación de lodos remanentes. En el grupo final de digestión, el uso de sensores que midan pH, COD y densidad de sedimentos permitirá al personal conocer la calidad del agua y determinar si esta cumple o no con los estándares. Para el sistema de control usaron un PLC (S7-300) este es conectado a una computadora que se encarga de graficar y manejar los datos, así como analizar las tendencias y diagnosticar las fallas. Las plantas de tratamiento para aguas residuales industriales, no reciben agua pluvial por lo que la característica de su efluente no depende de la época del año y los tiempos para la estabilización usando lazos de control son fijos.

El avance tecnológico ha permitido la automatización de las plantas de tratamiento de agua residual, sin embargo, los impactos de la variabilidad climática en los sistemas de aguas residuales ha sido poco estudiados. De las investigaciones realizadas existen tres vertientes.

La primera se enfoca en los sistemas de drenaje y los impactos del cambio climático en estos y surge la idea de la creación de modelos de drenaje aplicando modelos de cambio climático, los resultados de estos trabajos están limitados debido a la escasa información disponible en las series de tiempo climatológicas usadas para la calibración del modelo, sin embargo, los resultados mostrados brindan de información sobre las alteraciones producidas por la variabilidad climática.

Mikkelsen et al.⁵ usando una selección histórica de las series de tiempo para precipitaciones en Dinamarca, obtiene valores de precipitación regional reduciendo la incertidumbre por las localidades que no cuentan con puntos de sensado. Utilizando estos valores como entrada en la simulación de un sistema de drenaje urbano, determina que el rendimiento del sistema puede verse mayormente afectado por las precipitaciones aun cuando la región tenga diferencias fisiográficas mínimas.

Semadeni-Davies⁶ evaluó mediante simulaciones de drenaje; para condiciones actuales, dos de cambio climático (gases de efecto invernadero medio y alto) y dos de manejo de agua histórico en una subdivisión; los impactos potenciales del cambio climático y la continua urbanización sobre los flujos de las aguas pluviales a un arroyo suburbano en Helsingborg, Suecia del sur.

Encontró que el crecimiento de las ciudad y los aumentos proyectados de las fuertes lluvias, los dos juntos y solos, podrían incrementar los volúmenes de flujo máximo aumentando el riesgo de inundación. Sugiere que la instalación de un sistema de drenaje urbano en general puede aliviar en gran medida los efectos adversos del cambio climático.

Capítulo I

Antecedentes

Ashley et al.⁷ presentó una revisión de las incertidumbres en el modelado de sistemas de alcantarillado y las implicaciones de los mismos ante el cambio climático. Demostró que el cambio climático tiene un impacto significativo en la calidad del flujo en el alcantarillado. Señaló que en las inundaciones los contaminantes asociados a los sedimentos podrían aumentar debido a una mayor acumulación de la cantidad de sedimentos y los cambios en las características de las partículas afectan el transporte y la potencia de arrastre. Indicó que con el aumento de las temperaturas, los procesos de transformación pueden ser más equilibrados y que podrían conducir a un aumento en los problemas relacionados con los sulfuros, sin embargo, estos últimos dan lugar a menores niveles de otros contaminantes debido al aumento en la tasa de transformación.

Zhou et. al.⁸ propone que la planeación urbana y el diseño de infraestructura de drenaje pueden usar las proyecciones de lluvias extremas y otras variables claves como entradas para iniciar el cálculo de los efectos debidos al cambio climático.

La segunda idea de los impactos climatológicos, habla de las plantas de tratamiento de agua residual ante los efectos del cambio climático.

La Asociación de Agencias de Agua Metropolitana⁹ realizó un resumen de los impactos reflejados por el cambio climático en el agua residual para plantas de tratamiento ubicadas en el territorio estadounidense. Para Alaska, Hawái, Puerto Rico, medio oeste y llanos centrales de Estados Unidos de América (EUA) no encontraron efectos sobresalientes, sin embargo, en la región noreste, sureste, noroeste y suroeste de EUA se muestra un incremento en la demanda de mantener la cantidad y calidad de descargas a ríos y arroyos. En particular esta última región, la más afectada, reporto aumento en los impactos de muchos componentes del tratamiento y un aumento potencial de los problemas debido al incremento en la concentración de las aguas residuales. Como medidas de adaptación para tormentas recomiendan la combinación de aplicaciones de infraestructura verde que mantengan la escorrentía específica del sitio antes de que entren las aguas pluviales o uso de tecnologías de tratamientos rápidos. En el caso del aumento en temperaturas, proponen disminuir las temperaturas del agua mediante los tratamientos por humedales artificiales, generación de sombra mediante la restauración ribereña, enfriadores mecánicos o mezclado con flujos de residuos más fríos.

El Distrito de Sanidad del Condado Orange en California Estados Unidos¹⁰, estipula que los cambios en el nivel del mar han provocado la reubicación de instalaciones, el aumento en la temperatura del agua residual ha impactado en la calidad del aire al aumentar los olores y las precipitaciones intensas han aumentado el consumo de energía. Proponen el estudio de periodos de lluvias y sus impactos, uso de equipos dependiendo de la época (estiaje, lluvias), expansión de

Capítulo I

Antecedentes

sistemas sépticos, protectores de inundación, el diseño de parámetros de sensibilidad y costos del ciclo de vida (suelo, energía).

La tercera tendencia cuenta con menos estudios, aquí se pretende utilizar el monitoreo continuo en las plantas de tratamiento, comparar estos datos con variables climáticas; mediante la computarización y obtener relaciones significativas para mejorar la operación de las plantas.

Parry et al.¹¹ muestra que la combinación de altas temperaturas, incrementos en las precipitaciones intensas y largos periodos de bajo caudal probablemente agraven en muchas formas la contaminación del agua, los impactos en sistemas de agua, confiabilidad y costos de operación.

Plósz¹² usando datos meteorológicos durante el invierno de la última década en Noruega, demostró que los impactos climatológicos pueden deteriorar la operación de la planta. Los resultados mostraron que los procesos de remoción de nitrógeno biológico y la separación de sólidos son afectados mientras mayor sea la velocidad de caudal debido a las lluvias y por la disminución de la temperatura en las aguas del influente.

Langeveld¹³ realizó un análisis usando los datos de una red de monitoreo de un río y de tres estaciones climatológicas cercanas a este. El río Dommel en Eindhoven, Holanda recoge el caudal tratado de una planta de tratamiento que recibe agua residual de un sistema de drenaje combinado. La planta se ubicada, aproximadamente, en la medianía del río. La red contiene dos sensores de desbordamiento de alcantarillado, pocos metros antes y después del tratamiento y sensores de niveles de oxígeno río arriba, en la entrada de la planta y río abajo. El monitoreo continuo arrojó resultados que determinaron que la combinación de los datos sensados en una planta junto con los meteorológicos permite estudiar los impactos climáticos y anticipar deterioros en los equipos de la planta. Se propone que la combinación de sensado podría encontrar periodos que se asemejen a las situaciones climáticas futuras e identificar los procesos y medidas que deben ser tomadas ante un cambio climático.

Los estudios anteriores señalan que el uso de drenajes pluvial residual afectan, debido a las lluvias, los procesos en las plantas de tratamiento perjudicando en la calidad del agua y trayendo como consecuencia la contaminación. De existir aumento en las precipitaciones, las plantas de tratamiento de agua podrían verse afectadas al grado de ser ineficientes o inútiles.

Si bien en ciudades donde la división del drenaje requiere de tiempo y dinero, una opción de prevención es la instrumentación, control y automatización de plantas de tratamiento de agua residual que permitan adaptarse a los eventos climatológicos que se presenten y mantener una cálida de agua. Además la implementación de estos sistemas permite que, de presentarse algún tipo de contaminante atípico, el proceso sea capaz de remover con eficiencia la sustancia.

Capítulo II

Sitio de Estudio y Características

Tabla 1.- Número de habitantes por Delegación en el Distrito Federal

Clave Delegación	Nombre Delegación	Habitantes (año 2010)
002	Azcapotzalco	414, 711
003	Coyoacán	620, 416
004	Cuajimalpa de Morelos	186, 391
005	Gustavo A. Madero	1, 185 772
006	Iztacalco	384, 326
007	Iztapalapa	1, 815, 786
008	La Magdalena Contreras	239, 086
009	Milpa Alta	130, 582
010	Álvaro Obregón	727, 034
011	Tláhuac	360, 265
012	Tlalpan	650, 567
013	Xochimilco	415, 007
014	Benito Juárez	385, 439
015	Cuauhtémoc	531, 831
016	Miguel Hidalgo	372, 889
017	Venustiano Carranza	430, 978

La población del Distrito Federal es 99.5% urbana, existen 2, 386, 605 viviendas particulares de las cuales: un 99.5% cuenta con energía eléctrica, el 96.9% dispone de agua entubada dentro y fuera de la vivienda pero en el mismo terreno y el 99.0% cuenta con servicio de drenaje y alcantarillado¹⁶.

La cobertura vegetal en el suelo urbano es de un 20%. Y aproximadamente el 35% de la superficie verde de la ciudad se consideran áreas verdes públicas. Solo el 7.1% cumple con los estándares internacionales establecidos por la Organización Mundial de la Salud¹⁷

2.1.3 Características Climatológicas

Las características topográficas brindan al Distrito Federal de una gran diversidad de climas, los cuales pueden clasificarse en: Seco y semiseco, templado subhúmedo y templado húmedo¹⁸.

El 87% del territorio del Distrito Federal tienen un clima templado subhúmedo. El clima seco y semiseco, 7%, lo comprenden la delegación Venustiano Carranza y parte de las delegaciones; Gustavo A. Madero, Iztacalco e Iztapalapa. Con un 6%, el clima templado subhúmedo abarca parte de las delegaciones Milpa Alta, Tlalpan, La Magdalena Contreras y Cuajimalpa de Morelos. (Figura 2).

Capítulo II

Sitio de Estudio y Características



Figura 2.- Mapa del Clima del Distrito Federal

La temperatura media anual es de 16°. Las temperaturas más altas se presentan en los meses de marzo y mayo y la más baja en el mes de enero. La precipitación anual varía de 600mm, región seca, a 1,200 mm, región templada húmeda.

El Servicio Meteorológico Nacional afirma que, la precipitación ha aumentado casi 20mm y la temperatura en aproximadamente 4°C en la Ciudad de México, desde principios del siglo XX.

Existen diferentes estudios sobre las posibles causas para estos incrementos. Unos lo atribuyen a los efectos de la urbanización¹⁹. Algunos, al calentamiento de la superficie terrestre y aumento de los niveles del mar producto del aumento de los gases de efecto invernadero en la atmósfera²⁰. Otros, a fenómenos naturales que se repiten cíclicamente²¹.

2.1.4 Efectos de la Urbanización

Se ha documentado que la acumulación de calor por inmensas moles de concreto y demás materiales absorbentes de calor aunado al crecimiento de la mancha urbana que lleva consigo la tala y deforestación en donde las áreas naturales son sustituidas por materiales más densos, donde las calles y los edificios impiden la pérdida de calor acumulado durante el día y restringen la circulación del viento, ha propiciado el fenómeno conocido como Islas de Calor.

El fenómeno se presenta en grandes ciudades donde la falta de grandes zonas verdes y el entubamiento de los efluentes acuosos reducen la transformación de energía solar en fotosíntesis o evaporación, generando acumulación de calor. Se ha observado que las islas de calor son directamente proporcionales al tamaño de la zona urbana. Como consecuencia las islas de calor propician cambios drásticos en las temperaturas y precipitaciones habituales de la ciudad.

Capítulo II

Sitio de Estudio y Características

El Distrito Federal, debido a sus condiciones de urbanización ha sido afectado por este fenómeno. Para tener una idea de la forma en la que la ciudad utiliza la energía proveniente del Sol se aplica el concepto de balance energético. La porción que se gasta para calentar el aire (Q_H) respecto de la usada para evaporar prados de parques, jardines y camellones (Q_E), es denominada cociente de Bowen (β). El cociente para la ciudad de México es cercano a 1.

Las primeras mediciones del balance energético fueron tomadas del edificio del Servicio Meteorológico Nacional durante los meses de febrero a marzo del año 1985. Los resultados revelaron que el cociente de Bowen en ese punto era algo menor que el observado en un sitio urbano de las latitudes templadas localizado a 500m del Bosque de Chapultepec²².

Un análisis de este fenómeno para el periodo 1877-2000 mostro un aumento en la frecuencia de las islas de calor. Jáuregui define una onda de calor, para la ciudad de México, como el periodos de tres o más días consecutivos con una temperatura máxima mayor o igual a 30 ° C y una temperatura promedio mayor o igual a 24 ° C. A su vez define estos eventos dependiendo de la duración en: Extremo, más de 10 días consecutivos del evento; Máximos, entre 7 y 10 días consecutivos del evento e Intensos, entre 3 y 6 días consecutivos del evento²³.

Como consecuencia de las islas de calor, la precipitación en la región también es afectada a estos fenómenos Jáuregui los define como: Precipitaciones extremas, más de 45mm/ 24hr; Precipitaciones máximas, menores a 45mm/ 24hr y mayores a 30mm /24hr y Precipitaciones intensas, menores a 30mm/ 24hr y mayores a 20mm/ 24hr²⁴.

2.1.5 Cambio Climático y Emisiones de Gases de Efecto Invernadero

Pruebas realizadas muestran que la composición de la atmósfera está cambiando por la creciente concentración de gases de efecto invernadero; causando cambios en la temperatura de la tierra, aumento en las precipitaciones, incremento en el nivel del mar y derretimiento de capas de hielo marino.

La temperatura media de la superficie de la tierra ha aumentado en entre 0.4°C y 0.8°C y las precipitaciones han aumentado entre 5% y 10% durante los últimos cien años. El mayor aumento se ha percibido en las latitudes medias y altas de los continentes del norte²⁵.

En el Distrito Federal, de acuerdo con el análisis a los datos de la estación meteorológica de Tacubaya, la temperatura media anual ha pasado de 14°C a 18°C. De este incremento, aproximadamente, solo 1°C es debido a los gases de efecto invernadero²⁶. Las precipitaciones muestran que éstas además de estar presentes en el centro de la ciudad también se han concentrado en el rincón poniente de la ciudad al pie de montaña donde hay bajo desarrollo urbanístico²⁷.

Capítulo II

Sitio de Estudio y Características

Los gases de efecto invernadero están presentes en la atmósfera de manera natural y su concentración se ha visto alterada por la actividad humana. Estos gases son: El vapor de agua, Dióxido de Carbono, Metano, Óxidos de Nitrógeno, Ozono y Clorofluorocarbonos.

La zona metropolitana del Valle de México para el año 2010 generó, principalmente por quema de combustible fósil, 43.6 millones de toneladas de dióxido de carbono (CO₂), aproximadamente 397 mil toneladas de metano (CH₄), 4mil toneladas de óxido nitroso (N₂O) y 2 mil toneladas de carbono negro (CN). La tabla 2 muestra los principales sectores contaminantes²⁸.

Tabla 2.- Gases de Efecto Invernadero, generación por sectores.

Sector	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CN
Industrial	11,899,876	497	15	165
Servicios y Comercios	845,392	70	2	3
Habitacional	4,539,236	597	10	18
Trasporte	22,428,222	2,558	1,520	1,535
Ganadería	No aplica	13,150	40	No aplica
Desechos	859,943	374,121	No significativo	No aplica
Otros	3,044,400	6,772	2,332	289
Total	43,617,069	397,765	3,919	2,010

En el 2009 la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales consideró que México emite 711.8 millones de toneladas de CO₂, esto quiere decir que la zona metropolitana del valle de México aporta casi un 8% de estas emisiones¹⁷.

2.1.6 Fenómenos Climatológicos Cíclicos

La precipitación y evaporación en el mundo debe mantener el equilibrio aproximadamente sobre una base anual promedio. Mientras que el 90% de la evaporación tiene lugar en el océano solo el 67% de la precipitación cae allí. La diferencia está constituida por el caudal de ríos. La precipitación y la evaporación muestran variación en latitudes, estaciones del año y en el día, asociadas mayormente a las características de la circulación general. En los océanos el aire disminuye cerca de las latitudes 30° e incrementa en el Ecuador y las latitudes 60° norte y sur. Por lo tanto, la mayor parte de la evaporación ocurre cerca de las latitudes 30° y la mayoría de las precipitaciones cerca del Ecuador y altas latitudes. Superpuesta a esta migración latitudinal, la evaporación en el océano también muestra ciclos estacionales con fuertes evaporaciones en el invierno particularmente en los océanos occidentales. En los continentes, la circulación general muestra fuertes retrocesos temporales. Fuertes variaciones estacionales en el interior del continente, con precipitaciones máximas en el verano. Las áreas costeras son dominadas por tormentas invernales, excepto en regiones de fuerte actividad de huracanes, que son básicamente fenómenos de finales de verano.

Capítulo II

Sitio de Estudio y Características

Desde 1970, los cambios del clima en el océano han provocado un interés especial. Uno de los aspectos de estos cambios en el sistema climático es que grandes proporciones de los océanos pueden desarrollar anomalías en la temperatura en el orden de 1°C a 2°C, los cuales son bastante persistentes y se asocian a los patrones de circulación anómalos²⁹. Un caso especial de esto es el fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur (ENSO), su fase cálida conocida como El Niño y la fase fría La Niña. Bajo la definición más aceptada, ENSO corresponde al estado climático en el que la temperatura de la superficie del mar está 0.5°C o más (-0.5°C o menos, para La Niña), por encima de la media del periodo 1950-1979, por al menos seis meses consecutivos en la región “Niño 3” (4°N 4°S, 150°- 90° O) ³⁰.

En el siglo XXI han ocurrido cuatro eventos El Niño y seis La Niña. Los eventos Niño contemplan Junio de 2002 - Marzo de 2003, Agosto de 2004 – Febrero de 2005, Octubre de 2006 – Febrero de 2007, Agosto de 2009 – Mayo de 2010; y los Niña Agosto de 1998 – Abril de 2001, Diciembre de 2005 – Abril de 2006, Septiembre de 2007 – Julio de 2008, Enero 2009-Abril 2009, Agosto de 2010 – Mayo de 2011, Octubre de 2011 y Abril de 2012. Siendo los más intensos en el 2002-2003 para El Niño y en el 2009-2010 para La Niña³¹. La siguiente tabla (tabla 3) muestra los años y meses de los eventos.

El Niño y su contraparte La Niña, modifican los patrones de precipitación en México. Durante los inviernos, en el noroeste del país, El Niño muestra aumento en la precipitación y disminución en La Niña; para el Istmo de Tehuantepec, la precipitación en El Niño disminuye y para La Niña aumenta. En verano, para casi toda la República Mexicana, El Niño tiene un déficit en la precipitación resultando en severas sequías y La Niña puede resultar en precipitaciones por encima de la media³². Debido a este comportamiento este fenómeno puede provocar un aumento en incendios forestales.

En México se estima que solo el 1% de los incendios son causados por fenómenos naturales derivados de eventos meteorológicos. Sin embargo, un estudio realizado para el periodo 1970-2004, demostró que en el Distrito Federal en promedio se afectaron 4 ha para los años sin Niño y 8 ha para los años Niño³³. La tabla 4 muestra, para el Distrito Federal, el número de eventos y el área afectada para el periodo 2000-2010.

Tabla 3.- Años y meses del evento ENSO

Año	Niño	Niña
2000	No hubo	Enero – Diciembre
2001	No hubo	Enero – Abril
2002	Junio – Diciembre ⁽¹⁾	No hubo
2003	Enero – Marzo ⁽¹⁾	No hubo
2004	Agosto - Diciembre	No hubo
2005	Enero – Febrero	Diciembre
2006	Octubre - Diciembre	Enero – Abril

Capítulo II

Sitio de Estudio y Características

2007	Enero - Febrero	Septiembre- Diciembre
2008	No hubo	Enero -Julio
2009	Agosto – Diciembre	Enero – Abril ⁽¹⁾
2010	Enero - Mayo	Agosto-Diciembre ⁽¹⁾
2011	No hubo	Enero – Mayo, Octubre – Diciembre
2012	No hubo	Enero - Abril

(1) Eventos más intensos

Tabla 4.- Numero de incendio, superficies afectadas para el Distrito Federal

Año	Número de Incendios	Superficie Afectada (ha)
2000	601	1,395
2001	591	904
2002	2,090	1,090 ⁽¹⁾
2003	796	1,312 ⁽¹⁾
2004	1,653	1,651 ⁽¹⁾
2005	1,261	1,667 ⁽¹⁾
2006	1,096	1,694 ⁽¹⁾
2007	681	891 ⁽¹⁾
2008	952	1,722
2009	1,190	1,869 ⁽¹⁾
2010	683	776 ⁽¹⁾

(1) Años Niño

Además de los incendios forestales, a ENSO se le atribuye el aumento en el número de inundaciones que ocurren en la República Mexicana así como a los huracanes.

Los ciclones tropicales o huracanes son un tipo de tormenta de circulación cerrada con un centro con baja presión, generan fuertes vientos y abundante lluvia. Son clasificados dependiendo de su fuerza y localización. Hay siete regiones principales de formación; para el Océano Atlántico las zonas oriental y sur, para el Océano Pacífico occidental, para Océano Indico el sudoeste, norte y sureste. A nivel mundial, cada año se forman una media de 80 ciclones tropicales. Los picos de actividad ciclónica tienen lugar hacia finales de verano, cuando la temperatura del agua es mayor. Sin embargo, cada región particular tiene su propio patrón de temporada. En una escala mundial, mayo es el mes menos activo, mientras que el más activo es septiembre³⁴.

De 2000 al 2010, los huracanes que más han afectado al país son: En el 2002, Kenna; en el 2005, Emily y Wilma y en el 2007 Dean, todos ellos de categoría cinco.

Según la Secretaria de Gobernación, se considera inundación aquel evento que debido a la precipitación, oleaje, marea de tormenta o falla de alguna estructura hidráulica provoca incrementos en el nivel de la superficie libre de agua, de los ríos o del mar mismo; generando invasión o penetración de agua en sitios donde usualmente no hay y generalmente causa daños en la población, agricultura, ganadería e infraestructura. El Atlas Nacional de Riesgos³⁵, usando registros históricos de eventos extraordinarios de inundación, estimo el peligro de inundación de cada una de las Delegaciones que componen el Distrito Federal (Figura 2).

Capítulo II

Sitio de Estudio y Características

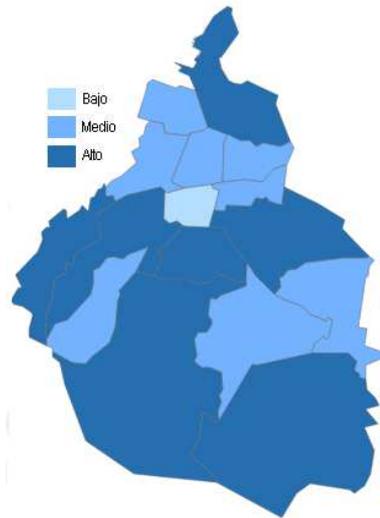


Figura 3.- Mapa de riesgos de inundaciones de las Delegaciones

Muchas de las inundaciones se generan debido a que el arrastre de material sólido de gran tamaño durante las lluvias congestiona el drenaje de la red primaria, algunas veces el de la red secundaria, complicando en la zona el desalojo del agua durante algunos minutos. Cuando estos desastres ocurren, las plantas de tratamiento de agua se ven presionadas para tratar la mayor cantidad de agua posible.

Capítulo II

Sitio de Estudio y Características

2.2.- Agua Residual y Plantas de Tratamiento

2.2.1 Parámetros

El agua a tratar es una solución de diversos compuestos que se van adhiriendo, a lo largo de la trayectoria que recorre. Este caudal posee entonces una característica variable que la hace diferente y depende del sitio y proceso de donde provenga, sin embargo esto se pueden medir y clasificar de acuerdo a sus características físicas, químicas, biológicas y microbiológicas³⁶.

Dentro de las características físicas se encuentran: Turbiedad, color, olor, sabor, temperatura, sólidos y conductividad. Para las químicas algunos parámetros son: pH, dureza, acidez, alcalinidad, fosfato, sulfatos, cloruros, oxígeno disuelto, amoníaco, metales pesados, pesticidas, grasas y aceites. En las características biológicas y microbiológicas se consideran: Protozoarios (patógenos), helmintos (patógenos), coliformes fecales y coliformes totales.

A continuación se describen algunos de estos parámetros.

Temperatura

La temperatura es un potencial o grado calorífico, referido a un cierto cuerpo. En el agua residual esta es comúnmente mayor que la de suministro local, debido a la adición de agua caliente en los hogares y actividades industriales. Debido al calor específico del agua y el aire, la temperatura observada del agua residual, es superior a la temperatura observada local del aire, durante la mayor parte del año.

Las variaciones de temperatura que se pueden esperar en el efluente de agua residual, dependen de la época del año, el lugar y la hora. Este parámetro es importante dada su influencia, tanto en el desarrollo de la vida acuática, como en las reacciones químicas y la velocidad de reacción, así como la habilitación de agua a ciertos usos.

pH

Es un indicador de la concentración de iones hidronio en la disolución examinada, proporciona un valor característico relacionado con el nivel de acidez intrínseca. El agua residual, con concentraciones de ion hidrógeno inadecuadas, presenta dificultades en el tratamiento con procesos biológicos.

Sólidos Suspendidos Totales (SST)

Se define como la porción de sólidos retenidos por un filtro de fibra de vidrio, que posteriormente se seca a 103-105 °C hasta un peso constante. El incremento del peso del filtro

Capítulo II

Sitio de Estudio y Características

representa el total de sólidos suspendidos. Son principalmente de naturaleza orgánica; están formados por algunos materiales más objetables, contenidos en el agua residual. La mayor parte está constituida por desechos humanos, desperdicios de alimentos, papel, trapos y células biológicas.

Sólidos Disueltos Totales (SDT)

Son las sustancias orgánicas e inorgánicas solubles en el agua y que no son retenidas en el material filtrante. El parámetro mide específicamente el total de residuos sólidos filtrables a través de una membrana con poros de 2 μm o más pequeños. El análisis de los sólidos disueltos es un indicador de efectividad en tratamientos biológicos físicos de agua residual.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

El parámetro mide el contenido de materia orgánica biodegradable que posee un cuerpo de agua, y la cantidad de oxígeno necesaria para su descomposición. Se basa en una comparación del oxígeno disuelto, inicialmente en la muestra, con el existente en una muestra similar, después de haber sido incubada durante cinco días a una temperatura estandarizada de 20 °C. El resultado se expresa en miligramos de oxígeno disuelto por litro ($\text{mg O}_2 / \text{l}$).

La descarga de agua con alto contenido de DBO provoca la muerte por asfixia de los organismos acuáticos, es decir, las algas y bacterias del cuerpo receptor reciben una rica fuente de alimento, lo que permite que se reproduzcan con rapidez provocando una disminución en la cantidad de oxígeno disuelto.

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Es una estimación de la materia susceptible a oxidación, por un oxidante químico fuerte. Se utiliza para medir el grado de contaminación en el agua, una de sus limitaciones es que la oxidación del ion cloruro o cloro puede afectar los resultados. El valor obtenido es siempre superior al DBO.

Nitrógeno (N)

El Nitrógeno se presenta en diferentes formas químicas, en el agua natural y contaminada. Las moléculas de Nitrógeno se encuentran principalmente en el aire, agua y suelos. Es emitido extensamente por las industrias, incrementando los suministros de nitratos y nitritos en el suelo y agua, como consecuencia de reacciones que tiene lugar en el Ciclo del Nitrógeno.

Capítulo II

Sitio de Estudio y Características

La adición de Nitrógeno puede cambiar la composición de especies debido a la susceptibilidad de ciertos organismos a las consecuencias de los compuestos de Nitrógeno ya que estos son nutrientes esenciales y su exceso en el agua es causa de eutrofización.

Fosfatos

Se encuentra en forma natural en el agua natural, residual y tratada. Los fosfatos son utilizados en productos como nutrientes suplementarios en alimentos para animales, ablandadores de agua, aditivos para alimentos y fármacos, agentes de revestimiento en el tratamiento de superficies metálicas, rellenos de detergentes, aditivos en metalurgia, plastificantes, insecticidas y aditivos de productos petroleros.

Si existen cantidades excesivas, induce el crecimiento desmesurado de algas y otros organismos, provocando la eutrofización del agua. Cuando las algas y otros vegetales mueren, al ser descompuestos por los microorganismos, se agota el oxígeno del agua y hace imposible la vida de otros seres vivos.

Grasas y Aceites

Las grasas y los aceites son compuestos orgánicos, constituidos principalmente por ácidos grasos de origen animal y vegetal, así como los hidrocarburos del petróleo. La determinación analítica de grasas y aceites no mide una sustancia específica, sino, un grupo de sustancias susceptibles de disolverse en hexano, incluyendo ácidos grasos, jabones, ceras, hidrocarburos, aceites y cualquier otra sustancia extraíble con hexano.

Las principales fuentes aportadoras de grasas y aceites son: los usos domésticos, los talleres automotrices y motores de lanchas y barcos, la industria del petróleo, los rastros, las procesadoras de carnes y embutidos, y la industria cosmética.

El hecho de que sean menos densos que el agua e inmiscibles en ella, hace que se difundan por la superficie, de modo que pequeñas cantidades de grasas y aceites pueden cubrir grandes superficies de agua, esto reduce la reoxigenación a través de la interface aire-agua, disminuyendo el oxígeno disuelto y absorbiendo la radiación solar, afectando así la actividad fotosintética y, en consecuencia, la producción interna de oxígeno disuelto.

Arsénico (As)

Es un elemento que se encuentra en forma natural, en piedras y en la tierra. Conforme el agua pasa a través y sobre las formaciones geológicas, esta puede disolver al Arsénico, también, se puede encontrar en el agua residual de la fabricación de vidrio y de productos electrónicos.

Capítulo II

Sitio de Estudio y Características

El Arsénico y sus compuestos son extremadamente tóxicos especialmente el Arsénico inorgánico. Produce erosión de los depósitos naturales de agua. En alimentos, su ingestión a corto plazo produce diarrea, náuseas, vómito, dolor de garganta y pérdida del conocimiento; durante largo tiempo, aumenta el riesgo de cáncer, de piel, vejiga, pulmones, riñones, hígado y próstata.

Cadmio (Cd)

Se encuentra principalmente en la corteza terrestre y siempre sucede en combinaciones con el Cinc. El Cadmio es fuente de absorción para la materia orgánica del suelo, los suelos ácidos aumentan la ingestión del Cadmio a través de las plantas.

Su principal fuente contaminante son el estiércol y pesticidas, en menor medida, se encuentra en los desechos de fabricación de metales, líquidos derramados de baterías usadas y en las pinturas; también se obtiene como inevitable subproducto en la producción de Cinc, Plomo y Cobre.

En el humano, llega a provocar lesiones renales, aparato digestivo, riñones, huesos, inhibe procesos enzimáticos, se relaciona con la hipertensión arterial y cáncer de próstata. En el ambiente, produce corrosión en tubos galvanizados y erosión en depósitos naturales.

Cinc (Zn)

Existe de forma natural en el aire, agua y suelo, sus concentraciones están aumentando por causas no naturales, debido al uso de Cinc en actividades humanas. Es agregado al ambiente durante las actividades industriales, como la minería, producción de aceites, combustión de carbón y sus residuos.

El Cinc puede alterar la actividad en los suelos, con influencias negativas en la actividad de microorganismos y lombrices. La descomposición de la materia orgánica, posiblemente es más lenta debido a esto. La contaminación por Cinc en agua provoca que algunos peces puedan acumular este elemento en sus cuerpos, el Cinc es capaz de biomagnificarse en la cadena alimenticia. Si el hombre absorbe un poco de Cinc, puede experimentar pérdida del apetito, disminución de los sentidos de gusto y olfato, llagas y erupciones cutáneas. La ingesta excesiva de Cinc puede dañar el páncreas, alterar el metabolismo de las proteínas y causar arteriosclerosis.

Cobre (Cu)

El Cobre es liberado al medio ambiente, por procesos naturales, con la descomposición de la vegetación y tormentas de polvo. Cuando el Cobre termina en el suelo, es fuertemente atado

Capítulo II

Sitio de Estudio y Características

a la materia orgánica y los minerales; en el agua superficial puede viajar largas distancias sobre las partículas de lodo.

La incorporación de Cobre por actividades humanas está ligada a los incendios forestales, aerosoles, producción de metales, de madera y fertilizantes fosfatados.

La absorción del Cobre es necesaria, en plantas posee un importante papel en el proceso de la fotosíntesis; en el hombre es un elemento esencial que se encuentra en alimentos, agua y aire. El exceso de Cobre en el suelo o agua tiene malas consecuencias para las plantas, principalmente, se ve en las raíces pues estas pierden fuerza; toman una tonalidad oscura y dejan de crecer completamente lo que trae como resultado la muerte de la planta³⁷. La ingesta de Cobre en exceso produce náusea, vomito, calambres estomacales, diarrea, lesiones hepáticas y renales.

Mercurio (Hg)

Es un elemento natural que puede encontrarse en forma de metal como sales de Mercurio o Mercurio orgánico. Naturalmente proviene como resultado de la ruptura de minerales de rocas y suelos y su exposición al viento y agua. Por la actividad humana, es liberado al aire por la producción de fósiles, minería, fundiciones y combustión de residuos sólidos; al suelo por aplicación de fertilizantes en la agricultura y al agua por las industrias químicas que producen cloro, fungicidas, pinturas y plásticos, extracción de oro y plata por el método de amalgamación y por las refinerías petroleras.

Cuando los valores de pH están entre 5 y 6, las concentraciones de Mercurio en el agua subterránea se incrementan debido a la movilización del Mercurio en el suelo. Los microorganismos pueden convertir el Mercurio, del agua superficial y suelos, en *metil Mercurio*, sustancia que puede ser absorbida rápidamente por la mayoría de los organismos, y daña a su sistema nervioso. El consumo de Mercurio por el humano es un posible cancerígeno, provoca, envenenamiento progresivo, daños irreversibles en cerebro, hígado y riñones.

Níquel (Ni)

Aunque tiene un papel biológico, no forma parte natural del medio ambiente. En general, es liberado por los detergentes, las plantas de energía y los incineradores de basura. Este cae después de reaccionar con las gotas de lluvia o se deposita en el suelo después de un largo periodo.

Las altas concentraciones de Níquel en los suelos, puede dañar a las plantas, los microorganismos sufren disminución en su crecimiento, pero estos normalmente desarrollan cierta resistencia al Níquel. En el agua, disminuye el crecimiento de algas. El exceso de Níquel puede

Capítulo II

Sitio de Estudio y Características

causar cáncer en diferentes partes del cuerpo de los animales, sobre todo en aquellos que viven cerca de refinerías. Ya sea por el consumo de vegetales procedentes de suelos contaminados, agua con mucho Níquel o vapores y polvos de sulfuro de Níquel, en los humanos puede provocar embolia pulmonar, bronquitis crónica y tiene altas probabilidades de desarrollar cáncer de pulmón, nariz, laringe y próstata.

Plomo (Pb)

En condiciones normales, el Plomo no reacciona con el agua, sin embargo, cuando se pone en contacto con aire húmedo, la reactividad con el agua aumenta. El Plomo y sus variedades, en el agua residual, provienen principalmente de tejados y calles. Son utilizados como estabilizadores contra calor y luz en plásticos, cubierta para cables, producción de insecticidas, en pigmentos sintéticos o artificiales y en acabados para vidrio y cerámica.

El Plomo y sus compuestos son generalmente contaminantes tóxicos. En las plantas limita la síntesis de la clorofila e inhiben su crecimiento. En humanos producen cólicos pigmentación de la piel y parálisis, en general, los efectos por envenenamiento de Plomo son neurológicos o teratógenos.

Silicio (Si)

No se encuentra de forma natural en el ambiente. El Silicio elemental crudo y sus componentes intermediarios, se emplean como integrantes de aleaciones para dar mayor resistencia al Aluminio, Magnesio, Cobre y otros metales. Las arenas de cuarzo fundido se transforman en cristales de Silicio, que se usan en los laboratorios y plantas químicas, así como aislantes térmicos.

El Silicio elemental es un material inerte que carece de propiedades de causar fibrosis en el tejido pulmonar. El polvo de Silicio tiene pocos efectos adversos en los pulmones y no parece producir enfermedades orgánicas significativas o efectos tóxicos.

2.2.2 Calidad del Agua Residual

El agua residual vertida por una ciudad, pueden ser clasificadas de acuerdo a la presencia de contaminantes provenientes; compuestos orgánicos, cantidad de materia orgánica, metales pesados, ácidos y bases entre otros. Tomando en cuenta el grado de influencia industrial presente en las descargas de las comunidades, estas pueden ser clasificadas como se muestra en la tabla 5.

Capítulo II

Sitio de Estudio y Características

Tabla 5.- Calidad del agua residual municipal³⁸

Contaminante	Concentración		
	Baja	Media	Alta
Sólidos totales (mg / L)	350	720	1,200
Sólidos sedimentables (mg / L)	5	10	20
Sólidos suspendidos (mg / L)	120	210	350
Sólidos disueltos totales (mg / L)	270	500	850
Sólidos suspendidos volátiles (mg / L)	95	160	325
DBO (mg / L)	110	190	400
DQO (mg / L)	250	500	1,000
Nitrógeno total (mg / L)	95	160	325
Nitrógeno amoniacal	12	25	50
Nitratos	0	0	0
Nitritos	0	0	0
Fósforo total (mg / L)	4	7	15
Alcalinidad total (mg / L)	50	100	150
Compuestos orgánicos volátiles (mg / L)	< 100	100 – 400	> 400
Cloro (mg / L)	30	50	100
Coliformes totales (NMP / L)	10 ⁶ - 10 ⁷	10 ⁷ - 10 ⁸	10 ⁸ - 10 ⁹
Grasas y aceites (mg / L)	50	90	200

2.2.3 Métodos Físicoquímicos en Laboratorio

Además de utilizarse como criterio para determinar la calidad del agua residual, la medición de ciertos parámetros en diferentes etapas del proceso sirve para determinar la acción a realizar y hacer eficaz la operación de la planta. Algunos de ellos se describen a continuación.

Temperatura

El principio se basa en la propiedad de la materia para dilatarse o contraerse con los cambios de temperatura, y las propiedades eléctricas y físicas de los materiales con los que se realiza la medición. El método consiste en usar instrumentos de medición directa o instrumentos que indican expansiones o fuerzas proporcionales al cambio de temperatura.

Siempre que sea posible, se debe realizar la medición directa en el cuerpo de agua y en el punto más próximo a la descarga se debe tomar un volumen suficiente de muestra tal, que el instrumento quede bebidamente inmerso. Para evitar errores se debe calcular el promedio de tres lecturas y estas deben tomar grados centígrados con aproximación a la décima de grado.

pH

La actividad determina el pH de una muestra simple de agua, mediante el método directo con electrodos o el uso de tiras reactivas.

El método del electrodo es un instrumento con dos conductores eléctricos uno de referencia y otro de lectura. Antes de realizar la medición, los sensores deben ser enjuagados con agua destilada. Posteriormente el electrodo referencia es sumergido en agua destilada mientras

Capítulo II

Sitio de Estudio y Características

que el de lectura en agua residual agitada moderadamente. Una vez activado el instrumento se debe esperar a un valor de lectura constante.

El método de tiras reactivas únicamente requiere sumergir la tira en un recipiente que contenga la muestra, sacar la tira reactiva y comparar la coloración con la escala de valores de pH.

SST y SDT

En principio el método se basa en la medición cuantitativa de los sólidos y sales disueltas, así como la materia orgánica contenida en agua residual mediante la evaporación y calcinación de la muestra filtrada, o no, en su caso, a temperaturas específicas, en donde los residuos son pesados y sirven de base para el cálculo del contenido de estos.

Se debe tomar una mínima de 500 ml de muestra en envases de polietileno y taparse inmediatamente después de la colecta. El tiempo máximo de almacenamiento, previo a su análisis es de 7 días, sin embargo, se recomienda un análisis dentro de las 24 hrs posteriores a su colecta. Las muestras deben estar a temperatura ambiente al momento del análisis.

Al contenido de la muestra se le agregaran cantidades necesarias de almidón, cloruro de sodio, carbonato de calcio, de acuerdo con la concentración deseada de sólidos en las muestras de control, aforar a 1 litro y refrigerar.

La adecuación de la cápsula de porcelana requiere que se introduzca a una mufla eléctrica durante 20 min a $550^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$ después de un tiempo transferir la a la estufa con temperatura de $104^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ donde se mantendrá por 20 min. Una vez transcurrido el lapso de tiempo se sacará y se dejará enfriar a temperatura ambiente dentro de un desecador. La cápsula debe ser pesada, el ciclo se repite hasta alcanzar un peso constante el cual se obtendrá hasta que no haya una variación en el peso mayor a 0.5 mg.

Para la preparación de crisoles Gooch, se debe introducir un filtro de fibra de vidrio en un crisol con la cara rugosa hacia arriba en una mufla a $550^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$ durante 20 min, el filtro debe mojarse antes de la introducción a la mufla para asegurar que se adhiera al fondo del crisol. Después debe ser transferido a la estufa, calentada a $104^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, y mantenerlo por 20 min. Una vez transcurrido el tiempo se saca y enfría a temperatura ambiente dentro de un desecador. El crisol debe ser pesado y repetir el ciclo hasta que no haya una variación en el peso mayor a 0.5 mg.

La muestra debe ser sacada del sistema de refrigeración, agitar para asegurar la homogenización y permitir que alcance la temperatura ambiente. Estos pasos deben realizarse cada vez que se realice el método. Para efectos prácticos nombraremos el peso de la cápsula de porcelana como **G** y al del crisol **G3**.

Capítulo II

Sitio de Estudio y Características

Medición de ST:

Tomar una muestra que tenga como mínimo 25 mg /l de la solución previamente homogenizada (**V**). Trasferir la muestra a la cápsula de porcelana, secar la muestra en una estufa a $104^{\circ} \text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. Enfriar en un desecador hasta temperatura ambiente y determinar su peso hasta alcanzar un valor constante, registrado como **G1**. Entonces:

$$ST = ((G1 - G) * 1000) / V$$

Medición SST:

Tomar una muestra de la mezcla homogénea (**V**), filtrar a través del crisol Gooch aplicando vacío, lavar tres veces con 10 ml de agua, dejando que el agua drene totalmente en cada lavado. Suspender el vacío y secar el crisol en la estufa, a temperatura de $104^{\circ} \text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, dejarlo enfriar en un desecador a temperatura ambiente y determinar su peso hasta alcanzar un valor contante, registrar como **G4**. Entonces:

$$SST = ((G4 - G3) * 1000) / V$$

Medición SDT:

$$SDT = (ST - SST)$$

Fosforo Total

La actividad tiene como objetivo determinar la cantidad de fósforo total, presente en una muestra compuesta de agua residual tratada mediante algún método. Las muestras deben ser tomadas en recipientes de polietileno, policloruro de vinilo o preferentemente en recipiente de vidrio.

Se requiere la elaboración de un patrón que consiste en llenar tres probetas con 25 ml, cada una, de la muestra y mezclar con fosfato de 50 mg / l como PO_4^{3-} , con 0.1, 0.2 y 0.3 ml respectivamente. Una vez mezcladas las sustancias se analizarán las muestras utilizando 0.5 ml para cada prueba, la concentración debe aumentar en 0.2 mg / l , 0.4 mg / l y 0.6 mg / l de PO_4^{3-} .

Es necesario, un reactor de DQO calentado a 150°C . Se debe colocar un escudo plástico delante del reactor e ingresar el número de programa para fósforo reactivo, fijar nm a 890. Se agregan 5.0 ml de muestra a un tubo para fósforo total e hidrolizable de ácido. Se agregan al tubo los contenidos de una bolsa de polvo de persulfato de potasio para fosfonato. Tapar herméticamente y disolver. Calentar el tubo a 150°C durante 30 min. Retirar el tubo y dejar enfriar a temperatura ambiente. Agregar 2 ml de hidróxido de sodio 1.54 N al tubo, tapar y mezclar.

Capítulo II

Sitio de Estudio y Características

Colocar el tubo de muestreo del proveedor en el adaptador de DQO, tapar y calibrar a cero. Agregar al tubo del proveedor los contenidos de una bolsa de polvo de reactivo de fosfato, tapar, mezclar y agitar por 15 seg. Después se debe programar al equipo en modo de SHIFT TIMER (8 min), esperar 2 min y realizar las lecturas. Una vez transcurrido los 8 min, se debe retirar el tubo de muestreo del proveedor y colocar el tubo de muestreo preparado, tapar y leer.

DBO₅

El método consiste en llenar, con una disolución adecuada de la muestra, un frasco hermético de tamaño específico e incubarlo a 20°C por 5 días. Se mide el oxígeno disuelto (OD) antes y después de la incubación y la demanda bioquímica de oxígeno se calcula mediante la diferencia del OD inicial y el final. La determinación de DBO se realiza por duplicado, siguiendo el Programa para la Realización de Análisis por Duplicados.

Se debe tomar una muestra con un tiempo máximo de almacenamiento de 24 hrs y se recomienda su análisis dentro de las 12 hrs posteriores a su colecta. La muestra debe conservarse a 4 °C, después calentar a 20 °C y colocar el volumen requerido de agua en un frasco y añadir por cada litro de agua, 1 ml de disolución de sulfatos de magnesio, disolución de cloruro de calcio, disolución de cloruro férrico y disolución amortiguadora de fosfatos. Saturar con oxígeno la mezcla, agitando por 10 min. Utilizar diluciones del 0.25% al 4% para agua residual del influente de la PTAR (5% y 30% para efluentes tratados biológicamente). Determinar el OD por el método de electrodo de membrana en todas las disoluciones de la muestra y los blancos de disolución, registre los resultados. Incube a 20°C por 5 días, manteniendo el sello hidráulico y colocando un globo en la parte superior de la botella. Trascurridos los 5 días de incubación, determine el OD en las disoluciones de la muestra, en los blancos y en los controles. Cuando el método fue realizado por duplicado, la variación entre los resultados de las diluciones debe ser de $\pm 5\%$. De lo contrario se considerarán los valores correspondientes a las disoluciones con mayor consumo de oxígeno para la expresión del resultado.

DQO

Se coloca una toma de muestra a reflujo en una disolución de ácido fuerte, con exceso conocido de dicromato de potasio. Se toman dentro de los tubos de reacción, cuidadosamente, 2.5 ml de muestra previamente homogenizada. Los tubos son invertidos suavemente varias veces, destapándolos después de cada inversión para liberar la presión. Después se realiza la digestión que consiste en calentar el digestor a 150 °C y colocar los tubos para que refluyan por 2 hrs. Pasado el tiempo, los tubos son retirados del digestor y enfriados a temperatura ambiente, permitiendo la

Capítulo II

Sitio de Estudio y Características

sedimentación. El dicromato no reducido, se mide por titulación o espectrofotométricamente para determinar la cantidad de dicromato consumido y calcular la materia oxidable en términos de oxígeno equivalente.

Grasas y Aceites

Este método permite una estimación del contenido de grasas y aceites en agua residual, al determinar gravimétricamente las sustancias que son extraídas con hexano de una muestra acuosa acidificada. No se mide una sustancia específica sino, un grupo de sustancias con las mismas características fisicoquímicas (solubilidad).

Tomar una muestra (**V**), medir el pH el cual no puede ser menor a 2. Preparar los matraces de extracción introduciéndolos a una estufa calentada a $104^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, enfriar en un desecador y pesarlos. Repetir el procedimiento hasta obtener un peso contante. Preparar el material filtrante colocando un papel filtro en un embudo Büchner, colocar el embudo en un matraz Kitazato y agregar 100 ml de la suspensión de tierra de diatomeas-sílice sobre el filtro, aplicar vacío y lavar con 100 ml de agua.

Trasferir el total de la muestra al embudo preparado, aplicando vacío hasta que cese el paso de agua. Medir el volumen de la muestra (**A**). Trasferir el material filtrante a un cartucho de extracción. Limpiar, con trozos de papel filtro previamente impregnados con disolvente, paredes internas del embudo y el frasco contenedor de la muestra, así como la parte interna de la tapa del frasco. Colocar los trozos de papel en el cartucho, introducir este en una estufa calentada a $104^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ por 30 min. Trascorrido el tiempo colocar el cartucho en el equipo de extracción Soxhlet. Adicionar el volumen adecuado de hexano al matraz de extracción, previamente puesto a peso contante y prepara el equipo Soxhlet. Colocar el equipo de extracción sobre una parrilla de calentamiento, controlar la temperatura del reflujo y extraer a una velocidad de 20 ciclos / hr durante un periodo de 4 hrs.

Una vez terminada la extracción, retirar el matraz del equipo Soxhlet y evaporar el disolvente. El matraz de extracción, libre del disolvente, se coloca en el desecador hasta alcanzar la temperatura ambiente. Pesa el matraz de extracción y determinar la concentración de grasas y aceites recuperables (**B**). Analizar un blanco de reactivo bajo las mismas condiciones de la muestra. Entonces:

$$\text{Grasas y Aceites} = (B - A)/V$$

A este valor se le debe restar el resultado obtenido en el blanco de reactivo.

Capítulo II Sitio de Estudio y Características

2.2.4 Agua Residual del Distrito Federal

El volumen de agua residual es proporcional al del agua potable utilizada en diferentes usos más el agua de lluvia; como ambas son recolectadas y conducidas por el mismo sistema, se denomina drenaje combinado. La figura 4 muestra el caudal de agua residual generada por el Distrito Federal para el periodo 2003- 2010³⁹.

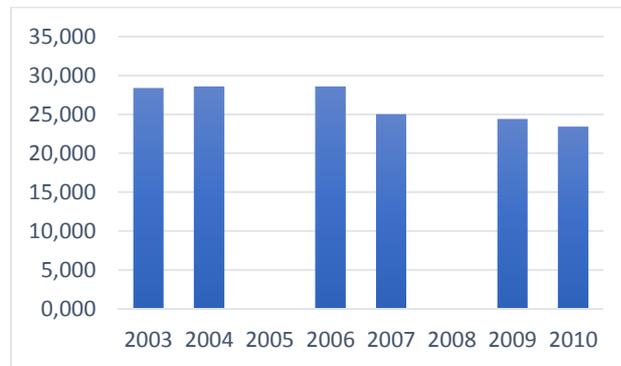


Figura 4.- Gráfica del agua residual generada por el Distrito Federal.

Uno de los grandes retos de la Ciudad de México ha sido y será proveer a sus habitantes de agua de buena calidad y en cantidad suficiente, así como desalojar de la cuenca de México las aguas negras o residuales generadas por la población. El desalojo de agua residual y pluvial requiere de una gran infraestructura de drenaje para recolectar, conducir y disponer el agua residual. Para el 2002, dicha infraestructura estaba integrada por 2,087 km de red primaria y 10,237 km de red secundaria; en conjunto, se tenía un nivel de cobertura de 94% y se contaba con 87 plantas de bombeo con capacidad de 670 m³/seg; 23 presas de regulación de más de 3 millones de m³; 10 lagunas y lagos para regular más de 7 millones de m³ de agua; 47 km del gran Canal de Desagüe; 129 km de causas a cielo abierto y 49 km entubados; así como 78 estaciones pluviográficas¹⁸ (Figura 5).

Capítulo II Sitio de Estudio y Características

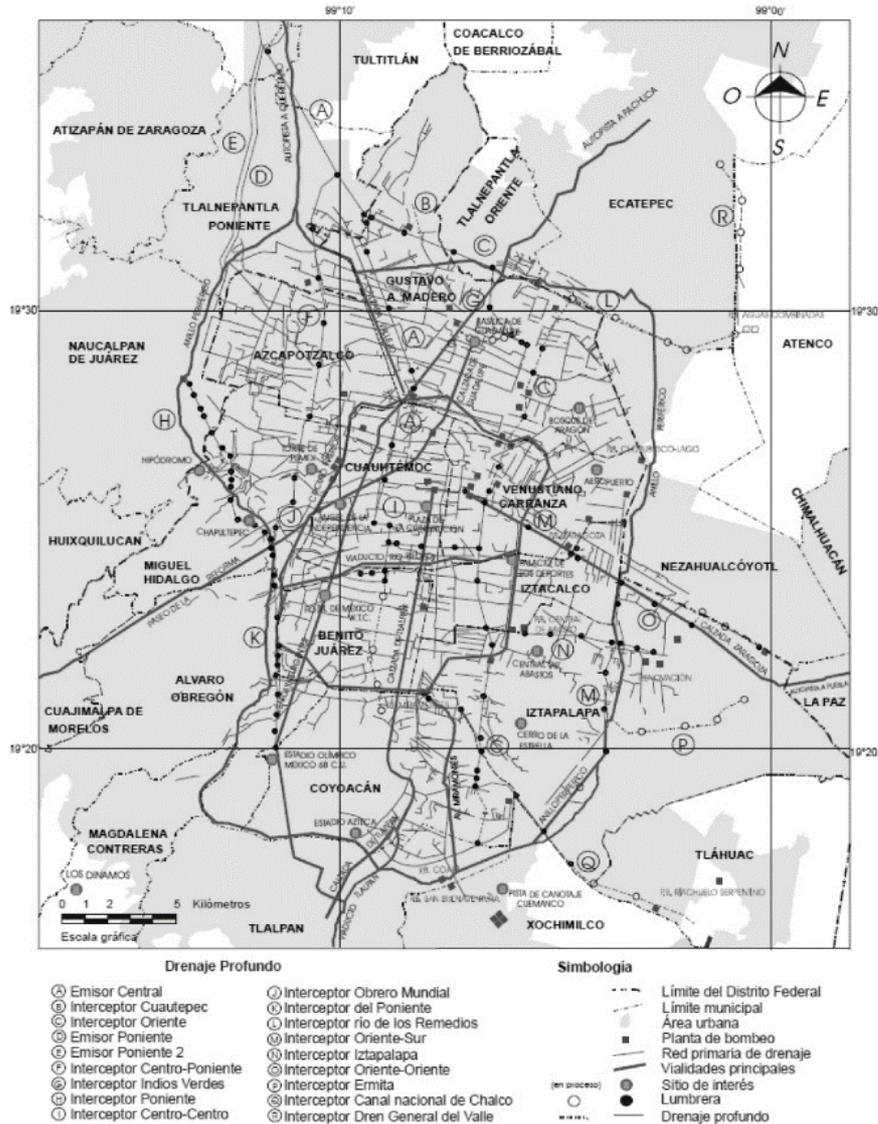


Figura 5.- Infraestructura de drenaje en el Distrito Federal, 2002.

Esta gran infraestructura ha permitido que año con año la recolección del agua generada sea mayor, para el 2010 fue de 28,018 l/s (ver anexo 1) sin embargo solo una pequeña parte es tratada (figura 6) por lo que se deben sumar esfuerzos para solucionar este problema.

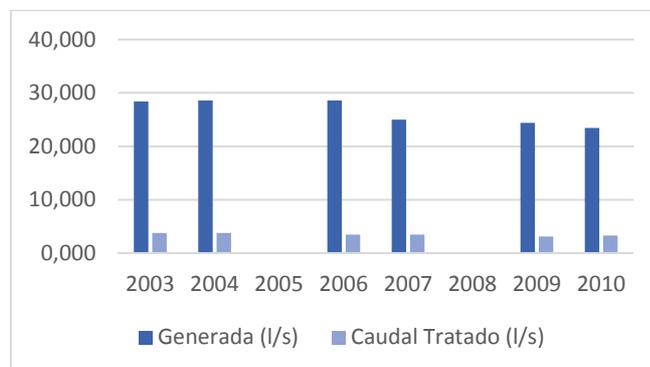


Figura 6.- Comparación de agua residual generada contra agua residual tratada.

Capítulo II

Sitio de Estudio y Características

2.2.5 Plantas de Tratamiento de Agua Residual en el Distrito Federal

Para la eliminación de los contaminantes físicos, químicos y biológicos presentes en el efluente de uso humano, se han diseñado sistemas que permitan la remoción de estos.

Estos sistemas, conocidos como plantas de tratamiento de agua residual, requieren de una serie de etapas, procesos y equipos para hacer posible la sustracción de contaminantes y dejar que la naturaleza complete la purificación. En esencia el tratamiento se divide en tres: Primario, Secundario y Terciario.

A grandes rasgos, el primario tiene como objetivo reducir las grasas, aceites, arena y sólidos gruesos; el tratamiento secundario está diseñado para degradar sustancialmente el contenido biológico del agua residual, en este existen diferentes procesos con el mismo fin; por último, el terciario es una etapa de aumentar la calidad del efluente al estándar requerido antes de que sea descargado al ambiente receptor, más de un proceso terciario puede ser usado en una planta.

La remoción y reducción de la carga contaminante que contienen las aguas negras para su reúso en diversas actividades y está regulado por la norma NOM-001-SEMARNAT-1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales⁴⁰ y la norma NOM-001-SEMARNAT-1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público⁴¹.

En el Distrito Federal se tiene un registro de 28 plantas de tratamiento de agua residual⁴² (Tabla 6) siendo "Cerro de la Estrella" la de mayor capacidad.

Capítulo II

Sitio de Estudio y Características

Tabla 6.- Características de las Plantas de tratamiento de agua residual del Distrito Federal.

Nombre Planta	Delegación y Localidad	Año Inicio	Capacidad (L / seg)	Caudal Tratado (L / seg)	Nivel tratamiento	Origen	Destino
Santa Fe	Álvaro Obregón	Sin dato	280	150	Terciario	Sin datos	Sin datos
El Rosario	Azcapotzalco	1981	25	16	Terciario	Ramal El Rosario	Riego de áreas verdes de la delegación y llenado de lago en el parque Tezozomoc.
Coyoacán	Coyoacán	1958	400	150	Secundario	Planta de Bombeo Aculco	Riego áreas verdes de la zona Sur-Oriente de la Delegación
Ciudad Universitaria	Coyoacán	Sin dato	60	30	Secundario	Sin dato	Áreas verdes
Ciudad Universitaria	Coyoacán	Sin dato	7.5	0.8	Secundario	Sin dato	Áreas verdes
Tlatelolco	Cuauhtémoc	1965	22	15	Secundario	Ramal Lerdo	Riego de áreas verdes de la Unidad H. Tlatelolco.
Acue. De Guadalupe	Gustavo A, Madero	1975	110	102	Secundario	Colector Acue. De Guadalupe	Zona industrial Vallejo, riego de áreas verdes
San Juan de Aragón	Gustavo A. Madero	1964	500	198	Secundario	Fran Canal, Colector de Alivio Oceanía y Colector Adicional	Llenado de lago y riego de áreas verdes.
Cd. Deportiva	Iztacalco	1959	230	107	Secundario	Colector Río Churubusco	Zona industrial Iztapalapa, Iztacalco, finca, deportivos y áreas verdes.
Iztacalco	Iztacalco	1971	13	10	Terciario	Unidad Infonavit Iztacalco	Unidad Infonavit Iztacalco.
Cerro de la Estrella	Iztapalapa	1971	4,000	2,000	Secundario	Planta de Bombeo Aculco	Áreas verdes y zona industrial de Iztapalapa; zona agrícola y chinampera de Tláhuac y Xochimilco. Calzada Ignacio Zaragoza, Sierra de Santa Catarina para recarga artificial y riego agrícola.
Santa Martha Acatitla	Iztapalapa	Sin datos	14	8	Secundario	Sin datos	Riego a áreas verdes.
Bosque de las Lomas	Miguel Hidalgo	1973	55	25	Secundario	Colectores Ahuehuetes Norte y sur	Riego de camellones en palmas y reforma, comercios en Polanco.
Chapultepec	Miguel Hidalgo	1956	160	100	Secundario	Colector Montes Urales Ramal Periférico Norte	Lagos de la 1ª y 2ª sección de Chapultepec, rebombes Xochipilli, 2350, tanque Zaragoza, Panteón Dolores y Central Poniente.

Capítulo II

Sitio de Estudio y Características

Campo Militar Núm 1.	Miguel Hidalgo	1994	30	25	Secundario	Colectores Campo Militar Núm. 1 San Juan Ixtayopan	Tanque Campo Militar Núm. 1.
San Pedro Atocpoan	Milpa Alta	1997	60	30	Primario avanzado	Colector San Pedro Atocpan	Zona agrícola de la delegación Milpa Alta.
El Llano	Tláhuac	Fuera de servicio	250	100	Terciario	Los Colectores de los asentamientos de la zona alta de la Delegación y las colonias San Juan Ixtayopan y Jardines del Llano.	Riego agrícola en época de estiaje y para la recarga del acuífero en época de lluvia.
San Lorenzo	Tláhuac	1989	225	80	Terciario	Colector Ameca	Llenado de canales y recarga del acuífero.
San Andrés Mixquic	Tláhuac	1997	30	30	Primario avanzado	Colector San Andrés Mixquic	Riego de hortalizas.
La Lupita	Tláhuac	1994	15	14	Secundario	San Juan Ixtayopan	Zona agrícola San Juan Ixtayopan.
San Nicolás Tetelco	Tláhuac	2001	30	7	Secundario	San Nicolás Tetelco	Zona agrícola San Nicolás Tetelco.
Abasolo	Tlalpan	1993	15	7	Secundario	Abasolo	Riego de áreas verdes.
H. Colegio Militar	Tlalpan	1981	30	26	Secundario	Parres	Riego de áreas verdes.
Pemex Picacho	Tlalpan	1993	13	10	Secundario	U. H. Pemex Picacho	Riego de áreas verdes.
San Miguel Xicalco	Tlalpan	1994	8	4	Secundario	San Miguel Xicalco	Riego de áreas verdes.
Parres (El Guarda)	Tlalpan	1994	8	1	Secundario	Sin datos	Riego de áreas verdes.
Sn. L. Tlaxialtemalco	Xochimilco	1989	150	65	Terciario	Bombeo San Luis	Llenado de los canales para mantener el nivel de los canales de la zona turística chinampera
Reclusorio Sur	Xochimilco	1981	30	19	Secundario	Agua residual del mismo reclusorio	Riego del deportivo Xochimilco, Deportivo Cruz Azul.

Capítulo II Sitio de Estudio y Características

2.3 Planta de Tratamiento de Agua Residual “Cerro de la Estrella”

2.3.1 Descripción General

Fue construida en 1971 se encuentra en la delegación de Iztapalapa de la ciudad de México, está ubicada entre las calles Naranjo y San Lorenzo de la colonia San Juan Xalpa (19°20'19.65" N, 99°04'42.44" O) (Figura 7). Tiene un caudal de diseño de 4,000 l/seg, el tipo de proceso es biológico con un nivel de tratamiento secundario y trata, aproximadamente, el 60% del agua residual del Distrito Federal.

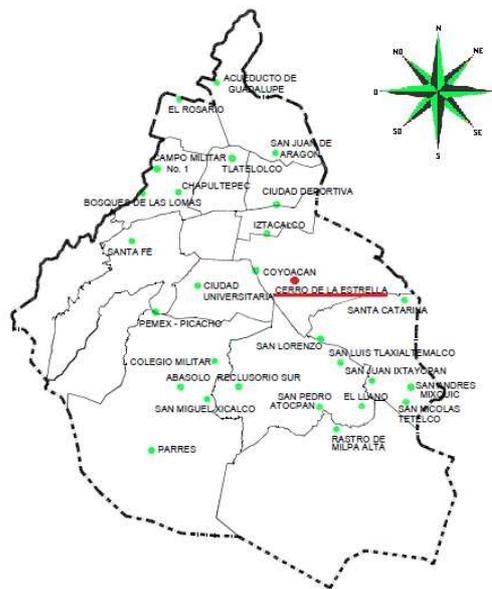


Figura 7.- Localización Planta de Tratamiento “Cerro de la Estrella”

2.3.2 Descripción del Proceso

El agua recolectada proviene de las delegaciones Iztapalapa, Iztacalco, Venustiano Carranza, Xochimilco, Benito Juárez, Tláhuac, Milpa Alta y algunas partes pertenecientes a otras delegaciones, es transportada por una tubería general que desemboca al colector Rio Churubusco llega a la estación de bombeo San José Aculco, aquí es sometida a un pre-tratamiento que consta de un sistema de rejillas para la eliminación de sólidos de gran tamaño. Es bombeada a través de una tubería de 8Km de largo hasta llegar a la planta “Cerro de la Estrella”.

El influente llega a un contenedor donde se depositan entre 1.8 m³/seg y 2.4 m³/seg de agua residual. El agua almacenada es conducida por canales tipo parshall para ser distribuida a los 14 trenes de tratamiento independientes; divididos en cuatro unidades de proceso. El agua permanece en estos contenedores, después pasa a un sedimentador primario equipado con un sistema de rastreo que consiste de una catarina y un motor adherido a cadenas sin fin que jalan

Capítulo II

Sitio de Estudio y Características

trozos de tabla de madera de Pino, impermeabilizados para que la madera tenga poca absorción. Esto permite la eliminación de sólidos fácilmente sedimentables, grasas, aceites y natas sobrenadantes. En este mismo proceso el agua es almacenada con el objetivo de que los sólidos sedimenten, el tiempo de permanencia del agua depende de la densidad y peso de las partículas sedimentables.

El efluente del sedimentador primario es conducido por medio de canaletas hasta otro tanque, aquí inicia el tratamiento secundario, el cual está compuesto de dos partes. La primera de ellas es un reactor biológico, en el que se lleva a cabo el desboblamiento de la materia orgánica utilizando la acción biológica de la naturaleza en un medio aeróbico. En él se estabiliza biológicamente el agua residual oxidando la materia orgánica manteniendo una masa bacteriana llamada "lodo activado". El proceso requiere de un sistema de difusión, que permita mantener las condiciones aeróbicas, el cual se encuentra en el fondo del tanque y consta de seis sopladores de 900 HP que habilitan unos difusores de aire que se encuentran en posición perpendicular. Los difusores cuentan con 25 filtros con microporos de salida para minimizar el impacto del aire y garantizar la disponibilidad del oxígeno necesario para la alimentación y reproducción de los organismos. Una vez que los microorganismos han estado alimentándose del licor del reactor biológico, inicia la segunda etapa. El efluente pasa a un sedimentador secundario que recibe el agua del arreador con la materia digerida, permanece un tiempo para recuperar la biomasa, la concentración y precipitación de los microorganismos. En este sedimentador se realiza un pulimento del tratamiento con lirio acuático, elimina alrededor del 50% de sólidos en suspensión, posteriormente el agua clarificada pasa por un sistema de filtración.

El proceso de filtración consta de una serie de filtros empacados, integrados por una capa de arena, su función es la eliminación de sólidos suspendidos y coloidales que no fueron retenidos en etapas anteriores. El agua recolectada del falso fondo de los filtros es conducida a través de una tubería al tanque de cloración donde, como última etapa, el agua se somete a un procedimiento de desinfección.

En esta etapa, agua, es dosificada con 4,500 l de cloro, 3 turnos de 1,500. El tanque tiene una dimensión de 500 m en forma de laberinto con mamparas desfasadas que permiten la destrucción de organismos patógenos y materia orgánica remanente en el caudal.

Al término del proceso el efluente es almacenado en un tanque con equipos de bombeo que envían el agua tratada a la red de distribución para los distintos usuarios⁴³. La figura 8 ilustra los componentes de un sistema por lodos activados con tratamiento de lodos.

Una de las actividades más importantes para que subsista y permanezca activa al 100% una planta de tratamiento es que se realice el mantenimiento en tiempo y forma, por lo que es

Capítulo II

Sitio de Estudio y Características

importante que exista un programa y desarrollo de los procedimientos adecuados para su ejecución.

En el 2010 se realizó un inventario de los equipos detallando cuantos están instalados, en operación y el tiempo de vida. El estudio reveló que existen equipos que no han sido reemplazados por más de 20 años, la recomendación de los proveedores es de 5 años, lo cual se traduce en obsolescencia de los equipos, vulnerabilidad en la operación, disminución de la eficiencia y el rendimiento de los equipos⁴⁴.

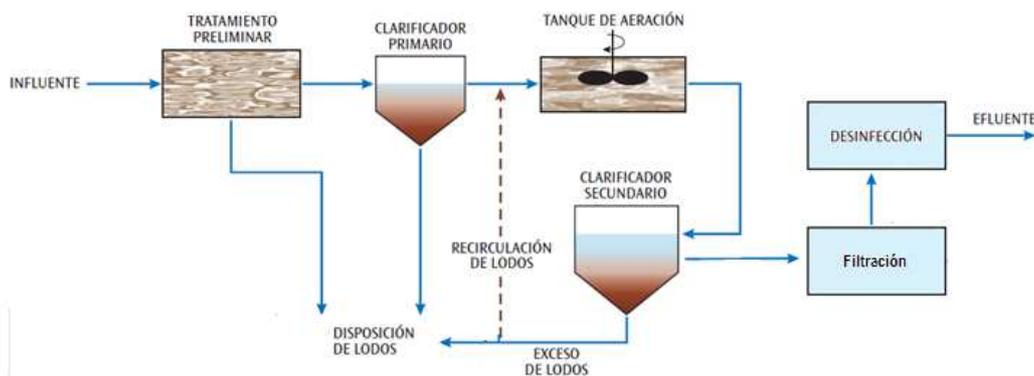


Figura 8- Componentes de un sistema de lodos activados con tratamiento de lodos³⁶

2.3.3 Distribución del Agua Residual Tratada

El efluente tratado es empleado en lugares turísticos y recreativos como parques, jardines, canales, camellones y lagos de la región; así como en las zonas lacustres de Mixquic, Tláhuac y Xochimilco con diversos usos en floricultura, horticultura, piscicultura y silvicultura.

El 56% del caudal distribuido se emplea en el llenado de canales y lagos recreativos, 25% para la recarga de acuíferos, 8% para riego de áreas verdes, otro 8 % para el sector industrial de la zona y un 3% para el sector comercial

El cárcamo de agua tratada tiene una capacidad de 539 m³, cuenta con equipos de bombeo para enviar el agua a los distintos usuarios. La red de distribución está formada por dos líneas que en total suman 930 km de tubería. La línea Xochimilco-Tláhuac, tiene un gasto total de 3,000 L / seg y la línea Zaragoza tiene un gasto de 500 L / seg⁴⁵(Figura 9).

Capítulo II Sitio de Estudio y Características

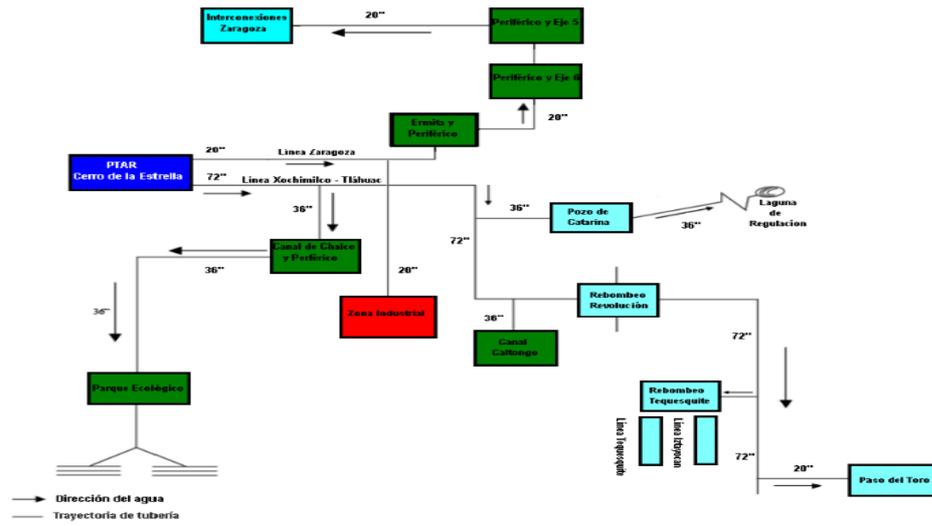


Figura 9.- Líneas de la red de distribución "Cerro de la Estrella"

Capítulo III Materiales y Métodos

3.1 Materiales y Métodos

La Subdirección de Control de Calidad del Agua del Sistema de Aguas de la Ciudad de México, proporcionó una base de datos del influente y efluente para algunos de los parámetros analizados en la Planta de tratamiento de agua residual (PTAR) "Cerro de la Estrella" en el periodo 2000-2012. Estos parámetros son: pH, Conductividad, Sólidos Disueltos Totales (SDT), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Fosfatos, Calcio, Manganeso, Sodio, Potasio, Hierro, Magnesio, Plomo, Cadmio, Mercurio, Argón, Cromo, Cinc, Cobre, Silicio, Aluminio, Níquel, Plata, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Demanda química de Oxígeno (DQO) y Grasas y Aceites. Esta base de datos cuenta con por lo menos dos valores mensuales para cada uno de los parámetros y las unidades son en mg/L, excepto pH que no tiene unidades y Conductividad que es uS/cm.

Se identificaron las delegaciones beneficiadas por la planta. Una vez conocidas, se descargaron las bases de datos climatológicas del CLICOM⁴⁶ para aquellas estaciones meteorológicas ubicadas en las dichas delegaciones. Las estaciones climatológicas contienen las siguientes variables: Temperatura Promedio, Temperatura Máxima, Temperatura Mínima, Unidades de Calor, Precipitación y Evaporación, solo algunas de ellas cuentan datos para este último. Las bases de datos comprenden valores diarios, pero no específica hora de la lectura.

La temperatura promedio es la media aritmética de las temperaturas de todo el día, la temperatura máxima es la mayor temperatura registrada en el día y la mínima la menor encontrada en el día, estas variables son sensadas con un termómetro y sus unidades están dadas en grados Celsius (°C). Las unidades de calor, se calculan según la metodología del seno simple desarrollada por la Universidad de California⁴⁷. Se simula una curva de temperatura para un periodo de 24 horas. Una curva seno se ajusta a las temperaturas máximas y mínimas para un día, suponiendo que las temperaturas son simétricas alrededor de la temperatura máxima. Los cálculos se basan en el área bajo la curva y entre los umbrales máximos y mínimos (10 °C y 30 °C), este parámetro tiene unidades °D. La precipitación es la lluvia acumulada en el día es medida con un pluviómetro, consiste en un recipiente de medidas conocidas con una abertura superior de entrada de agua al recipiente. El agua es dirigida a través de un embudo hacia un colector donde se almacena y se mide cada 24 hrs, la cantidad de agua caída se expresa en milímetros de altura (mm). La evaporación es la acumulada de las lecturas diarias realizadas con un tornillo micrómetro del tirante de agua de un tanque de medidas especiales, se expresa de igual forma que la precipitación.

Debido a que el 2010 es el último año de registro en las bases descargadas, el periodo de la base para PTAR "Cerro de la Estrella" también se recortó a 2010.

Capítulo III

Materiales y Métodos

Un estudio realizado a todas las estaciones climatológicas de la Ciudad de México reveló que existen zonas climáticas dentro de la ciudad donde la altitud y la urbanización son factores que definen el tiempo⁴⁸. En base a esto, se englobó dentro de sus características estos factores. La tabla 7 muestra el nombre, clave y características significativas de las estaciones estudiadas, la figura 8 muestra la ubicación de las estaciones y el área de influencia.

El estudio realizado tanto a las variables climatológicas como a los parámetros físico-químicos de la PTAR “Cerro de la Estrella” está dividido en cinco etapas. La primera, tiene como objetivo acotar las bases de datos en épocas que faciliten la observación y comportamiento de las variables climatológicas. En la segunda se buscan el número de eventos extremos por año y por mes, según descripción de Jáuregui, para la temperatura²³ y precipitación²⁷ en cada estación. La tercera es el análisis estadístico de las bases de datos tanto la de CLICOM como la del influente y efluente de la planta, esta etapa contempla la estadística descriptiva, el índice de correlación entre las variables climatológicas y el coeficiente de correlación entre las variables de la planta y las ecuaciones que mejor describan la regresión de las variables correlacionadas de acuerdo al criterio de mínimo error cuadrático. La cuarta, muestra el porcentaje de remoción de los parámetros físico-químicos en la PTAR y la última hace una comparación en tiempo de las variables climatológicas con los parámetros de la planta para encontrar en que forma un evento climatológico puede repercutir en el funcionamiento de la planta. Para las tres últimas etapas los periodos analizados son el completo (2000-2010) y las temporadas encontradas.

Todos los métodos de análisis, así como los gráficos obtenidos fueron realizados con el programa Matlab y su toolbox Statistics. Dentro de este trabajo no se detallan los algoritmos ni códigos.

Como medida de simplificación y para una mejor comprensión, a partir de este capítulo, se hará referencia a las estaciones climatológicas por clave y a los parámetros de la PTAR por su símbolo químico o abreviatura, las unidades serán omitidas en los anexos y el orden en el que se mostraran será el mismo con el que aparecen mencionadas con anterioridad.

Capítulo III Materiales y Métodos

Tabla 7.- Características estaciones climatológicas

Estación (Clave)	Latitud	Longitud	Altura	Delegación	Subregión	Subregión	Años Efectivos	Pesos (%) ⁽²⁾
Milpa Alta (9032)	19°11'26"	99°1'19"	2420	Milpa Alta	Altas Elevaciones	No Urbanizado	8.5	13.6
Colonia Marte (9036) ⁽¹⁾	19°23'	99°8'	2237	Benito Juárez	Bajas Altitudes	Altamente Urbanizado	9.5	15.7
San Francisco Tlalnepantla (9041) ⁽¹⁾	19°11'48"	99°7'43"	2620	Xochimilco	Altas Elevaciones	Altamente Urbanizado	9.3	24.9
Santa Ana (9045)	19°10'44"	99°0'10"	2595	Milpa Alta	Altas Elevaciones	No Urbanizado	6.5	17.7
Tláhuac (9051)	19°15'46"	99°0'13"	2240	Tláhuac	Bajas Altitudes	Suburbano	8.4	22.5
Puente La Llave (9068) ⁽¹⁾	19°25'45"	99°3'10"	2234	Venustiano Carranza	Bajas Altitudes	Suburbano	8.7	5.6

(1) Estaciones sin datos de Evaporación

(2) Los pesos se calculan usando el método de polígonos de Thiessen según su área de influencia para el total del área de las delegaciones correspondientes, más la delegación de Iztapalapa donde se ubica la planta de tratamiento.

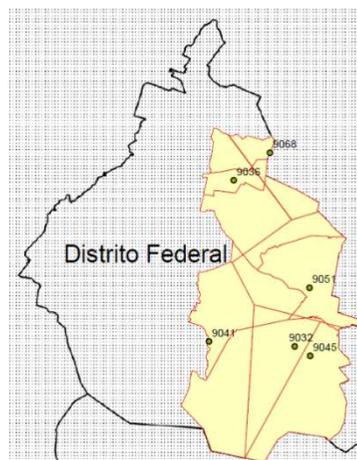


Figura 10.- Ubicación estaciones climatológicas y área de influencia.”

Capítulo III

Materiales y Métodos

3.2 Determinación de Temporadas

El clima en la tierra es producto de la calefacción solar. La energía absorbida y liberada por la Tierra debe mantener un equilibrio sobre una base global al año, en promedio, ya que los cambios en el clima son lentos y pequeños en magnitud. Luego entonces, las series de tiempo climatológicas pueden ser divididas en función de varias apreciaciones. Jáuregui²³ con un análisis en la precipitación pluvial determina, para el Distrito Federal, un periodo de estiaje que comprende los meses Noviembre-Abril.

Bajo este concepto, para cada una de las variables climatológicas de las estaciones se realizó un análisis que consistía en obtener los promedios mensuales para cada uno de los años comprendidos en el periodo 2000-2010, así como su promedio anual. Posteriormente se hizo la diferencia de cada uno de los promedios mensuales con su promedio anual. El conjunto promedio de los seis meses con la diferencia más alta para la temperatura promedio, máxima, mínima y unidades de calor se nombró temporada de Calor; para precipitación temporada de lluvia y para la evaporación temporada de alta humedad. El conjunto promedio de los seis meses con la diferencia más baja; temporada de frío para la temperatura promedio, máxima, mínima y unidades de calor; temporada de estiaje para la precipitación y temporada de baja humedad para la evaporación.

Los nombres para las temporadas es mero convencionalismo, no con ello se estipula que deban o sean llamadas de esta manera.

3.3 Eventos Extremos

3.3.1 Temperaturas

Como se mencionó con anterioridad, que estos fenómenos son producto de las islas de calor, que se dividen dependiendo de su intensidad y se presentan cuando en un periodo de tres o más días consecutivos la temperatura máxima es mayor que o igual a 30°C y la temperatura promedio es mayor que o igual a 24°C.

Para realizar este procedimiento se tomaron las series de tiempo de la temperatura promedio y temperatura máxima para cada una de las estaciones del periodo 2000-2010. Se buscó día por día, para la temperatura máxima, la existencia de un valor mayor o igual a 30°C; de encontrarse se buscaría que para el mismo día la temperatura promedio fuera mayor o igual a 24°C. De existir ambas condiciones, el evento es registrado tantas veces se generen las condiciones.

Capítulo III

Materiales y Métodos

3.3.2 Precipitaciones

Los eventos extremos por precipitación, de igual forma que para las temperaturas, son catalogados en función de su intensidad.

En esta parte se ocupa la base de datos de precipitación de cada estación climatológica abarcando un periodo de 2000 a 2010; se busca día a día si el valor es mayor o igual a 45mm/hr, de existir se registra el evento, de no existir se busca si el valor es menor a 45mm/hr pero mayor o igual a 30mm/hr, si la condición es verdadera, se registra, de lo contrario ahora se busca que el valor sea menor a 30mm/hr pero mayor a 20mm/hr, de ser cierto se registra el evento. Los registros se realizan tantas veces se genere algún evento.

3.4 Análisis Estadístico

La estadística es una ciencia que permite inferir características cualitativas y cuantitativas de un conjunto de datos y tiene como objetivo fundamental analizarlos y transformarlos en información útil para la toma de decisiones y/o explicar algún fenómeno. Antes de entrar a detalle con los diferentes estudios de los datos, es necesario definir algunos conceptos que faciliten la comprensión.

Población.- Conjunto total de individuos u objetos con alguna característica que es de interés estudiar.

Muestra.- Subconjunto de la población cuya información es usada para estudiar a la población.

Variable.- Alguna característica observable de los elementos de una población y que puede tomar diferentes valores.

Dato.- Es cada valor incluido en la muestra. Se le puede obtener mediante observación o medición.

Datos cualitativos.- Están referidos a la comprensión de la acción social y sus efectos. Son difícilmente medibles, traducibles a términos matemáticos y sujetos a inferencia estadística.

Datos cuantitativos.- Son aquellos que están representados con números. Se dividen en continuos y discretos.

Parámetro.- Es alguna característica de la población en estudio y que es de interés conocer.

Variable aleatoria.- Es una variable cuyo valor es el resultado de un experimento estadístico.

Espacio muestra.- Conjunto de todos los posibles resultados que se pudiesen obtener de un experimento estadístico.

Capítulo III

Materiales y Métodos

Modelo.- Descripción simbólica o física de una situación o sistema que se desea estudiar.

Modelo probabilístico.- Representación de un sistema que incluye componentes aleatorios. Las respuestas obtenidas se expresan en términos de probabilidad.

Modelo determinístico.- Representación exacta de un sistema. Permite obtener respuestas precisas.

3.3.1 Análisis Estadístico Descriptivo

La estadística descriptiva es una parte de la estadística que realiza técnicas para recopilar, organizar y procesar datos obtenidos en muestras y así encontrar características significativas de estos. Los datos se pueden representar de forma numérica o por medio de gráficos.

Dentro de la representación numérica se contempló; la mínima, que representa el valor más bajo encontrado en la serie de tiempo; la máxima, el más alto; la mediana, representa el valor de posición central en el conjunto de datos; la moda, el de mayor frecuencia. Y por último la media aritmética, varianza y desviación estándar, tres medidas de dispersión se definen matemáticamente como:

Suponga n datos $\{a_1, a_2, a_3 \dots a_n\}$; la media aritmética es:

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i = \left[\frac{(a_1 + a_2 + a_3 \dots a_n)}{n} \right]$$

La varianza:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (a_i - \mu)^2$$

Y la desviación estándar

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (a_i - \mu)^2}$$

Ya que convencionalmente se utiliza la suma acumulativa para la precipitación y evaporación, la media en estas variables fue sustituida por esta.

En la representación gráfica se consideraron; grafica de promedios diarios, promedios anuales; el histograma que no es más que una gráfica en forma de barras, cada barra es proporcional a la frecuencia de los valores encontrados; la densidad de probabilidad que describe la probabilidad relativa según la cual dicha variable tomará determinado valor; y la distribución acumulativa empírica que se define como la probabilidad de que una variable aleatoria X , sujeta a

Capítulo III

Materiales y Métodos

cierta ley de distribución de probabilidad (Gauss, Poisson, Bernoulli etc), se situó en la zona de valores menores o iguales a X.

Una de las distribuciones de probabilidad que con mayor frecuencia ocurre en los fenómenos reales es la de Gauss, también conocida como normal.

Su función de densidad está dada por (figura 11):

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

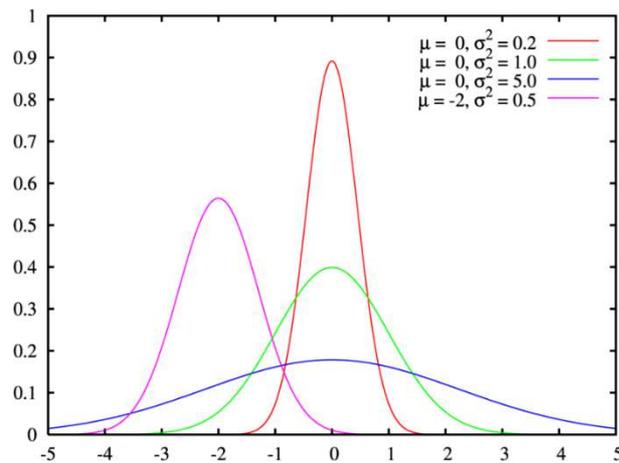


Figura 11.- Función de densidad de una distribución Gaussiana

Su función de distribución (figura 12):

$$f(t) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2} dt$$

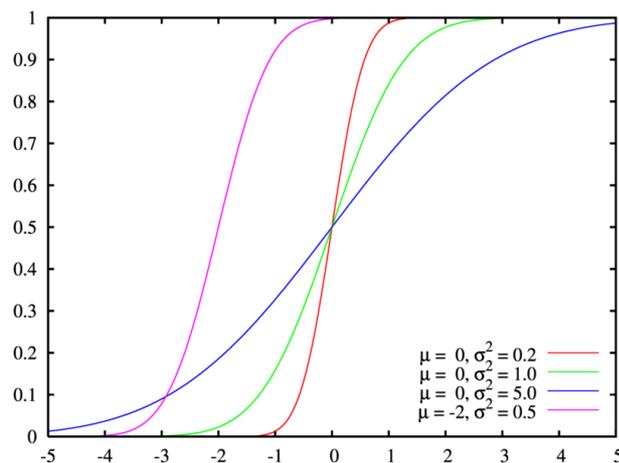


Figura 12.- Distribución de probabilidad de una distribución Gaussiana

Para los datos que están físicamente restringidos a ser no-negativos, como por ejemplo la precipitación y la evaporación, la distribución suele ser asimétrica y segada a la derecha. Como

Capítulo III

Materiales y Métodos

elección común para representar estos datos se usa la distribución gamma definida con la función de densidad (figura 13):

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x} \frac{(\lambda x)^{k-1}}{\Gamma(k)}$$

Donde k es el parámetro de forma, θ el de escala ($\theta = 1/\lambda$), y Γ es la función gamma ($\Gamma(z) = \int_0^\infty t^{z-1} e^{-t} dt$)

Para $k < 1$ la distribución está fuertemente sesgada a la derecha, para $k > 1$ la distribución gamma comienza en el origen y para $k=0$ se comporta como una distribución exponencial.

El rol del parámetro λ es alargar o estrechar la función gamma a la derecha o a la izquierda.

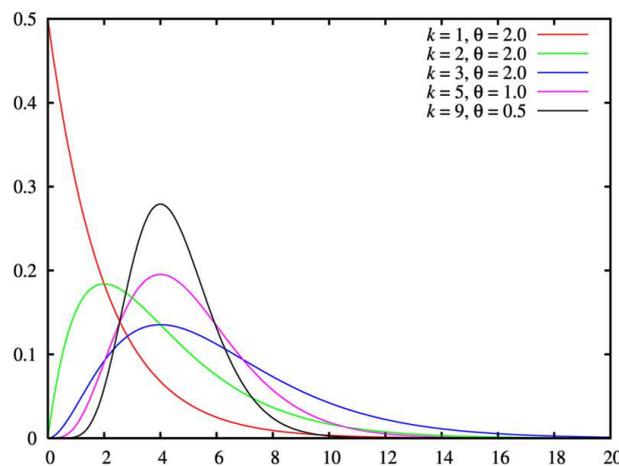


Figura 13.- Función de densidad de una distribución de Gamma

Dentro de las características que se pueden observar en la densidad de probabilidad son la asimetría y la curtosis. La primera es una propiedad que determina, mediante una regla llamada coeficiente de asimetría de Fisher, cambios respecto a la densidad de probabilidad normal. La segunda estudia la proporción de la varianza mediante la combinación de datos extremos respecto a la media en contraposición con datos poco alejados de la misma, se usa el coeficiente basado en el cuarto momento. A continuación se describen matemáticamente ambos coeficiente.

Coeficiente de asimetría de Fisher:

$$\gamma_1 = \frac{\mu_3}{\sigma^3}$$

Donde σ es la desviación estándar y μ_3 el tercer momento entorno a la media. Si $\gamma_1 > 0$ la distribución es asimétrica positiva, si $\gamma_1 < 0$ la distribución es asimétrica negativa, para $\gamma_1 \cong 0$ la distribución es simétrica (no en todos los casos).

Coeficiente para medir curtosis:

$$\beta_2 = \frac{\mu_4}{\sigma^4}$$

Capítulo III

Materiales y Métodos

Donde σ es la desviación estándar y μ_4 el cuarto momento entorno a la media. Si $\beta_2 > 3$ la distribución es leptocúrtica, si $\beta_2 < 3$ es platicúrtica y si $\beta_2 \cong 3$ es mesocúrtica. La figura 14 muestra las formas de estas distribuciones.

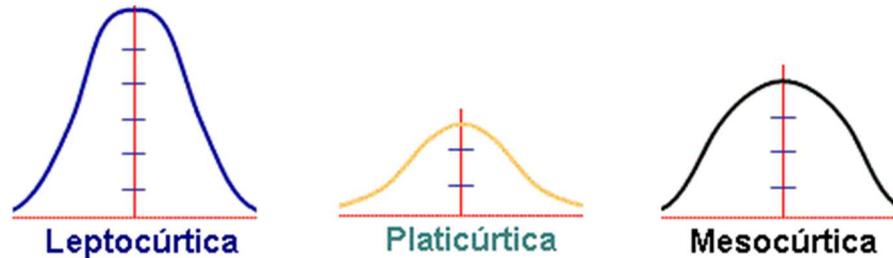


Figura 14.- Distribución leptocúrtica, platicúrtica y mesocúrtica.

3.3.2 Correlación y Regresión

La correlación es un indicador muy utilizado para determinar la fuerza y la dirección de una relación lineal y proporcional de dos variables, se considera que existe una correlación si al aumentar los valores de una aumentan los valores de la otra o viceversa. Para medir el grado de correlación entre dos variables existen varios métodos, el más conocido es el coeficiente de correlación de Pearson, su expresión matemática es la siguiente:

$$r(x, y) = \frac{C(x, y)}{\sqrt{C(x, x)C(y, y)}}$$

Donde $C(x, y)$ es la covarianza que está definida como:

$$C(x, y) = \frac{1}{(n - 1)} \sum_{i=1}^n (X_i - \mu_X)(Y_i - \mu_Y)$$

Y $C(x, x)$ es la varianza de X y $C(y, y)$ es la varianza de Y.

El índice de correlación, $r(x, y)$, varía de -1 a 1. Si $r=1$ entonces existe una relación positiva directa, si $0 < r < 1$ la relación es positiva, si $-1 < r < 0$ la relación es negativa y si $r=-1$ la relación es negativa directa.

La correlación también se puede ver al graficar las dos variables una contra la otra. La siguiente figura muestra los tipos de correlación lineal.

Capítulo III Materiales y Métodos

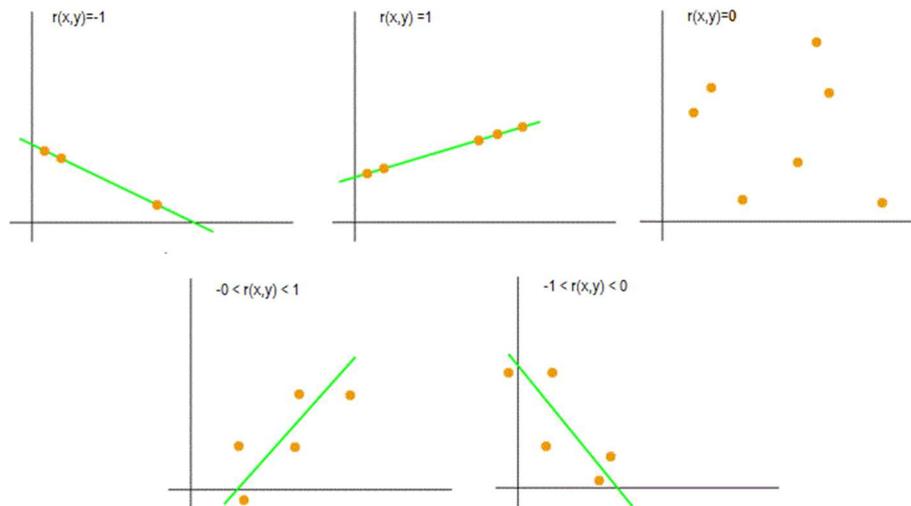


Figura 15.- Ejemplos gráfico de correlaciones

Una vez determinado si existe una correlación entre variables y parámetros, se realizó una regresión lineal simple y una no lineal polinomial para determinar que ecuación representa de mejor manera la regresión.

La regresión lineal simple es un método matemático para representar la relación entre una variable dependiente y una variable independiente. La representación está dada por la ecuación:

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 X$$

Donde Y_t es la variable dependiente, X la independiente, β_0 es la intersección y β_1 la pendiente.

La regresión no lineal polinomial es un tipo de regresión no lineal. Si una función tiene una variable independiente pueden usarse las potencias enteras para aproximar a la función real. El caso más simple es la regresión de segundo grado o cuadrática.

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2$$

La ecuación general para cualquier grado es:

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \dots + \beta_n X^n$$

Donde n es el grado al cual se eleva la variable X .

Para determinar la ecuación que mejor describe el comportamiento de las variables se usará la técnica de mínimo error cuadrático.

Dado un conjunto de pares ordenados el error se define como suma de cuadrados de las diferencias en las ordenadas entre los puntos generados por la ecuación y los correspondientes valores en los datos, es decir, matemáticamente se expresa como:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (e_k)^2}{n}}$$

Capítulo III

Materiales y Métodos

Donde $e_k = y_k - f(x_k)$ y n es el número de datos.

3.5 Porcentaje de Remoción en PTAR “Cerro de la Estrella”

Conocer el porcentaje de remoción permite evaluar la capacidad de rendimiento de un proceso o parte de él. Para una planta de tratamiento de agua residual la remoción es complicada debido a las oscilaciones que se producen en los flujos de aguas negras de ingreso, así como en el clima.

Para una planta de tratamiento de agua residual el porcentaje de remoción se define como la reducción porcentual de indicadores apropiados, considerados en forma acumulativa o de determinadas sustancias. Para determinar la reducción se establece una relación entre la carga que fluye a la planta o a una unidad de ella y la correspondiente carga en el flujo de salida de la planta. De tal modo que el porcentaje de remoción se calcula como⁴⁹:

$$E = \left(\frac{S_0 - S}{S_0} \right) 100$$

Donde S_0 es la carga de entrada y S la carga de salida.

Un análisis más a fondo sobre este parámetro debe contemplar aspectos como: puntos de muestreo, tipos de muestreo y particularidades de la planta. Al conocer el grado de remoción se puede comparar la capacidad real con la teórica estimada y así optimizar diferentes aspectos de la planta, definir mantenimiento y corrección en la planta, establecer criterios para el diseño de una nueva planta, etc.

Este parámetro nos da una idea de la calidad con la que el agua residual es tratada, sin embargo, también se deben tomar en cuenta si se cumple con las normas establecidas para este fin.

En México y para la planta de tratamiento de agua residual “Cerro de la Estrella” se debe cumplir con la NOM-001-SEMARNAT-1996⁴⁰ que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de agua residual en aguas y bienes nacionales (tabla 8), así como la NOM-003-SEMARNAT-1997⁴¹ que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para agua residual tratada que se reúse en servicios al público (tabla 9).

Capítulo III Materiales y Métodos

Tabla 8.- Límites máximos permisibles NOM-001-SEMARNAT-1996, promedio mensual

Parámetros	Ríos			Embalses Naturales y Artificiales		Aguas Costeras			Suelo	
	Uso en riego agrícola	Uso público urbano	Protección de vida acuática	Uso en riego agrícola	Uso público urbano	Exploración pesquera, navegación y otros usos	Recreación	Estuarios	Uso en riego agrícola	Humedales Naturales
Temperatura (°C)	No aplicable	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Grasas v Aceites (mg/L)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Sólidos Sedimentables	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Sólidos Suspendedidos	150	75	40	75	40	150	75	75	No aplica	75
Demanda Bioquímica de Nitrógeno Total (mg/L)	150	75	30	75	30	150	75	75	No aplica	75
Nitrógeno Total (mg/L)	40	40	15	40	15	No aplica	No aplica	15	No aplica	No aplica
Fósforo Total (mg/L)	20	20	5	20	5	No aplica	No aplica	5	No aplica	No aplica
Arsenio (mg/L)	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1
Cadmio (mg/L)	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.05	0.1
Cianuros (mg/L)	1	1	1	2	1	1	2	1	2	1
Cobre (mg/L)	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Cromo (mg/L)	1	0.5	0.5	1	0.5	0.5	1	0.5	0.5	0.5
Mercurio (mg/L)	0.01	0.005	0.005	0.01	0.005	0.01	0.01	0.01	0.005	0.01
Níquel (mg/L)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4
Plomo (mg/L)	0.5	0.2	0.2	0.5	0.2	0.2	0.5	0.2	0.2	0.4
Cinc (mg/L)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	20
pH (Unidades)	5 a 10	5 a 10	5 a 10	5 a 10	5 a 10	5 a 10	5 a 10	5 a 10	5 a 10	5 a 10

Tabla 9.- Límites máximos permisibles NOM-001-SEMARNAT-1996, promedio mensual

Tipo de Uso	Promedio Mensual				
	Coliformes fecales (NMP/100ml)	Huevos helminto (h/L)	Grasas y Aceites (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	SST (mg/L)
Servicio al público con contacto directo	240	1	15	20	20
Servicio al público con contacto indirecto u ocasional	1,000	5	15	30	30

Capítulo III

Materiales y Métodos

3.6 Efecto de las variables climatológicas en parámetros de la PTAR “Cerro de la Estrella”

Para las ciudades, como el Distrito Federal, que su sistema de alcantarillado es mixto (pluvial-residual) las plantas de tratamiento de agua residual además de las descargas de aguas negras generadas por la población se ven severamente afectadas por las condiciones climatológicas. Debido a las longitudes de las tuberías y a los escurrimientos de agua, variaciones en el clima no repercuten inmediatamente en la planta, por lo que graficar las variables climatológicas contra los parámetros físicos-químicos podría ayudar a determinar el tiempo de retardo entre el fenómeno climatológico y el funcionamiento de la planta.

Sin embargo, como el agua residual de todas las delegaciones beneficiadas por la planta es recolectada en la estación de bombeo Aculco, es necesario realizar una media ponderada para establecer un solo flujo de entrada que considere el clima de cada una de las delegaciones.

La media ponderada permite realizar una medida de tendencia central cuando en un conjunto de datos algunos de ellos tiene mayor importancia (peso) respecto a los demás y se obtiene del cociente de la suma de los productos de cada dato por su peso entre la suma de los pesos, es decir.

$$\mu_P = \frac{\sum_{i=1}^n X_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

Donde X es la serie de datos y W los pesos correspondiente a cada dato.

Para este estudio, los pesos utilizados son los arrojados según el método de polígonos de Thiessen. Este método consiste en unir, mediante líneas rectas dibujadas en un plano de la cuenca, las estaciones más próximas entre sí (líneas punteadas figura 16). Con ello se forman triángulos en cuyos vértices están las estaciones climatológicas. Se trazan líneas rectas que bisectan los lados de los triángulos (líneas rectas continuas figura 16). Por geometría elemental, las líneas correspondientes a cada triángulo convergerán en un solo punto. Cada estación quedará rodeada por las líneas rectas dibujadas, que forman los llamados polígonos de Thiessen y, en algunos casos, en parte por el parteaguas de la cuenca. El área encerrada por los polígonos de Thiessen y el parteaguas será el área de influencia de la estación correspondiente, a la que llamaremos peso.

Una vez obtenidas las series de tiempo de la media ponderada se graficaran en tiempo junto con los parámetros de la planta.

Capítulo III

Materiales y Métodos

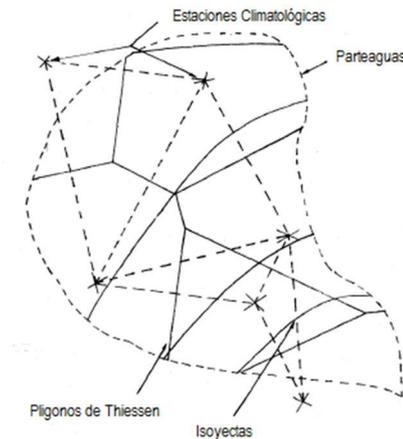


Figura 16.- Ilustración método polígonos de Thiessen

3.7 Conceptos de Instrumentación

El estudio de las variables y los análisis realizados nos permitirán identificar las características y especificaciones del sensor pero para ello ciertos conceptos deben ser aclarados.

Sensor y Transductor

El sensor es un dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas y transformarlas en una señal eléctrica, no debe ser confundido con transductor que tiene como objetivo adaptar la señal sensada para que otro componente sea capaz de interpretar. Es decir, un sensor está conformado por un transductor y un dispositivo capaz de convertir una forma de energía en energía eléctrica⁵⁰.

Por ejemplo, un transductor piezoresistivo cuya resistencia cambia cuando es sometido a esfuerzos o un estrés mecánico que lo deforma forma parte de una galga extensiométrica, que no es más que un sensor que utilizado para medir deformación, presión, carga, torque, posición entre otras. El transductor es sometido a una deformación que cambia su resistencia, si se le hace pasar una corriente eléctrica, el voltaje será proporcional (la proporción depende de la configuración eléctrica empleada) a la deformación.

Rango y Alcance

Espectro o conjunto de valores de la variable medida que están comprendidos dentro de los límites superior e inferior de la capacidad de medida o de transmisión del instrumento; viene expresado estableciendo dos valores extremos.

El alcance es la diferencia algebraica entre los valores superiores e inferiores del rango⁵⁰.

Capítulo III

Materiales y Métodos

Por ejemplo; el rango de un instrumento que mide temperatura es de 100-300 °C tiene un alcance de 200°C.

Exactitud y Precisión

Generalmente estos términos son confundidos e interpretados como uno solo, sin embargo, en cuestión de instrumentos es necesario identificar los conceptos.

La exactitud es la cualidad de un instrumento para dar lecturas próximas al verdadero valor de la magnitud medida.

La precisión es la tolerancia de medida, define los límites de errores cometidos cuando el instrumento se emplea en condiciones normales durante un periodo de tiempo determinado⁵⁰.

La siguiente figura ejemplifica de forma visual los conceptos, para su mejor comprensión (figura 17).



Figura 17.- Diferencia ilustrativa entre exactitud y precisión

Sensibilidad y Resolución

Otros dos conceptos diferentes pero que van de la mano y donde su valor es esencial para seleccionar un sensor.

La sensibilidad es la razón entre el instrumento de la lectura y el incremento de la variable que lo ocasiona, después de haber alcanzado el estado de reposo.

La resolución es la magnitud de los cambios en escalón de la señal de salida al ir variando continuamente la medida en todo el campo, es el grado con el que el instrumento puede discriminar valores equivalentes de una cantidad, o la menor diferencia de valor que el aparato puede distinguir. Viene dada en tanto por ciento del alcance de la medida⁵⁰.

Por ejemplo, si un transmisor eléctrico con rango de 0-10 bar (4-20 mA), sufre un cambio de presión de 5 a 5.5 bar y la señal de salida va de 11.9 a 12.3 mA, la sensibilidad será:

$$S = \frac{(12.3 \text{ mA} - 11.9 \text{ mA}) / (20 \text{ mA} - 4 \text{ mA})}{\frac{5.5 \text{ bar} - 5 \text{ bar}}{10 \text{ bar}}} = 0.5 \text{ mA/bar}$$

Si la resolución de este instrumento fuera de 0.01 bar, cuando la presión fuera de 5.5 bar se leería 5.53.

Capítulo III Materiales y Métodos

Repetitividad e Histéresis

La respetabilidad es la capacidad de reproducción de la señal de salida del instrumentó a medir repetidamente valores idénticos de la variable bajo las mismas condiciones de servicio t en el mismo sentido de variación, recorriendo todo el campo. Viene dado por la fórmula⁵⁰:

$$R = \sqrt{\frac{\sum(Xi - X)^2}{N}}$$

Donde Xi es la lectura obtenida, X es la lectura esperada y N el número de muestras tomadas

Supongamos que se realizan las siguientes medidas de presión (tabla 10).

Tabla 10.- Ejemplo de repetitividad par aun sensor de presión

Variable	Indicador	Variable	Indicador
De 0 a 0.5	0.502	De 0 a 5.5	5.505
De 0 a 1	1.006	De 0 a 6	6.006
De 0 a 1.5	1.509	De 0 a 6.5	6.501
De 0 a 2	2.008	De 0 a 7	7.003
De 0 a 2.5	2.506	De 0 a 7.5	7.504
De 0 a 3	3.007	De 0 a 8	8.009
De 0 a 3.5	3.503	De 0 a 8.5	8.508
De 0 a 4	4.006	De 0 a 9	9.008
De 0 a 4.5	4.507	De 0 a 9.5	9.503
De 0 a 5	5.010	De 0 a 10	10.005

La respetabilidad sería de: $\sqrt{\frac{0.013}{20}} = \pm 0.26$

Mientras que la histéresis es la diferencia máxima que se observa en los valores indicados por el índice del instrumentó para el mismo valor cualquiera del campo de medida, cuando la variable recorre toda la escala en los dos sentidos, ascendente y descendente. Se expresa en tanto por ciento del alcance de la medida⁵⁰.

Por ejemplo; si en un termómetro con rango de 0 a 100 °C, para el valor de la variable de 40°C la lectura arrojava 39.9 al subir la temperatura desde 0 e indicara 40.1 al bajar la temperatura desde 100°C el valor de la histéresis sería:

$$h = \left(\frac{40.1 - 39.9}{100 - 0} \right) (100) = \pm 0.2\%$$

Error e Incertidumbre

El error es la diferencia entre el valor leído o trasmitido por el instrumento y el valor real de la variable medida. La incertidumbre es la dispersión de los valores que pueden ser atribuidos razonablemente al verdadero valor de la magnitud medida⁵⁰.

Capítulo III

Materiales y Métodos

Para el rango utilizaremos las máximas y mínimas encontradas para la variable analizada. No todos los conceptos definidos anteriormente podrán ser determinados con el análisis de las variables, muchos de ellos si no es que su mayoría dependerán en gran parte de las especificaciones técnicas que tenga los sensores comerciales.

A su vez serán consideradas los rangos de operación de temperaturas y presiones del instrumento para la selección del mismo.

Capítulo IV Resultados

4.1 Determinación de Épocas

En esta primera parte del estudio, se analizaron las variables climatológicas para cada una de las estaciones y se determinó en función de las diferencias obtenidas entre el promedio mensual y su promedio anual, los meses de mayor diferencia y los de menor diferencia, y al conjunto de estos se les nombro de cierta forma dependiendo de la variable analizada.

Para la temperatura promedio; en las estaciones 9032, 9045 y 9068 los meses de Marzo a Agosto mostraron la diferencia más grande y los de Septiembre a Febrero la más pequeña (figura 18), mientras que, para las estaciones 9036, 9041 y 9051 fueron los meses de Abril a Septiembre los de mayor diferencia y de Octubre a Marzo los de menor.

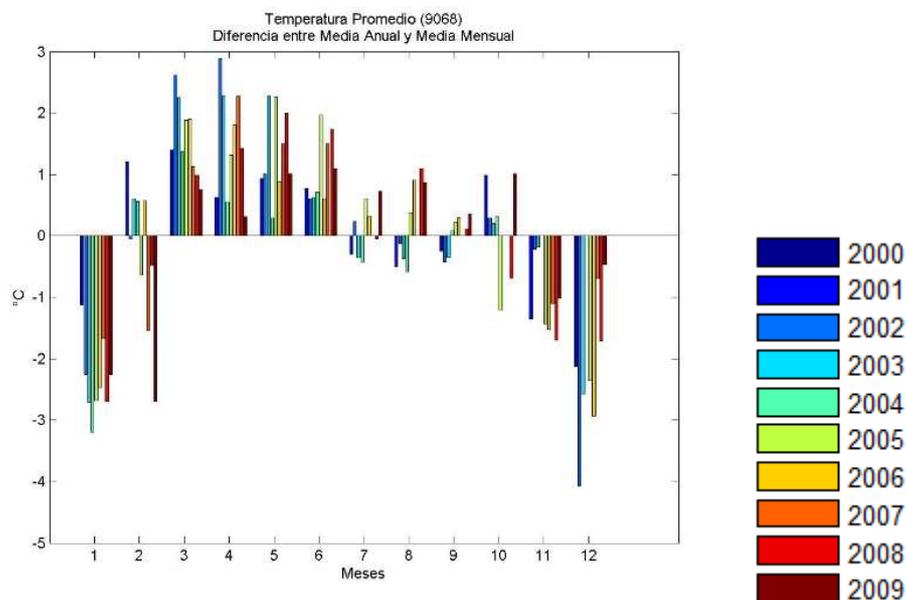


Figura 18- Diferencia de temperatura promedio para estación 9068

Para la temperatura máxima la mayoría de las estaciones tuvo a los meses de Marzo a Agosto con la diferencia más alta y de Septiembre a Febrero con la más baja (figura 19), excepto las 9041 y 9045 cuyos meses más altos fueron de Febrero a Julio y los más bajos de Agosto a Enero.

En el caso de la temperatura mínima, en la estación 9036 el conjunto de meses de mayor diferencia son de Mayo a Octubre y el de menor de Noviembre a Abril; en la 9068 Marzo-Agosto y Septiembre-Febrero, respectivamente. Para las demás estaciones los periodos Abril a Septiembre se muestran con la mayor diferencia y los de Octubre a Marzo con la menor (figura 20).

Las unidades de calor muestran que sus diferencias más altas están entre los meses de Marzo y Agosto, y las más bajas entre Septiembre y Febrero (figura 21); menos para las estaciones

Capítulo IV Resultados

9036 y 9051, ambas, tiene de Abril a Septiembre como las diferencias más altas y de Octubre a Marzo como las más bajas.

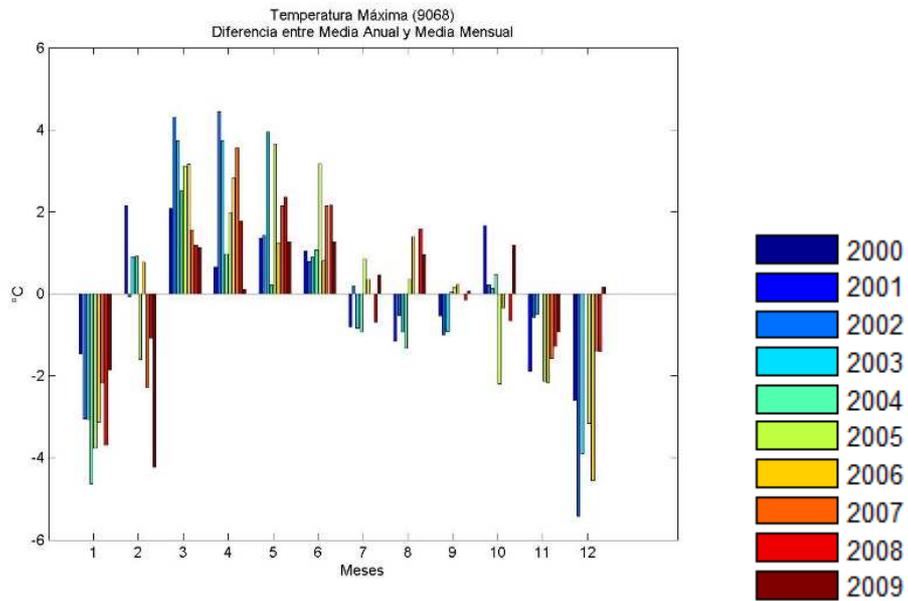


Figura 19- Diferencia de temperatura máxima para estación 9068

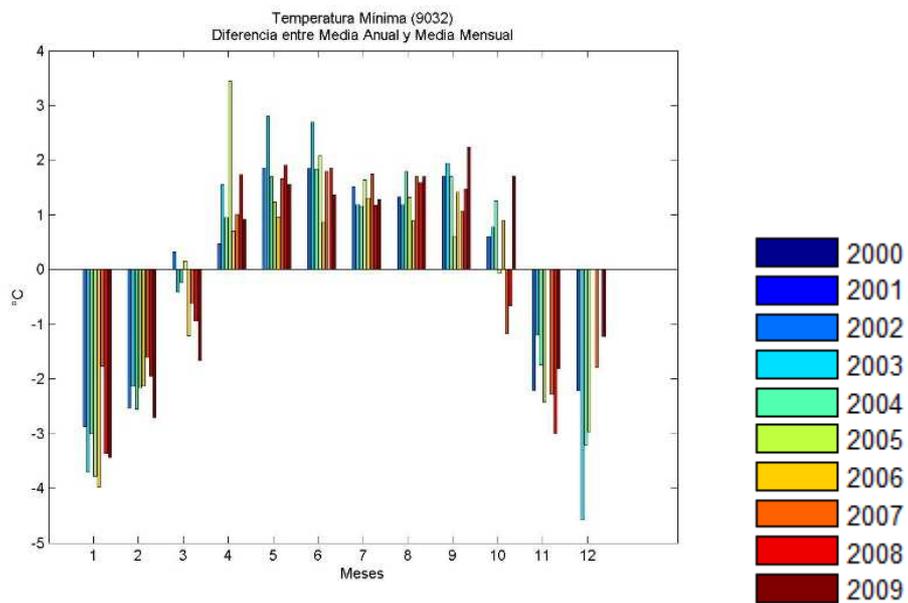
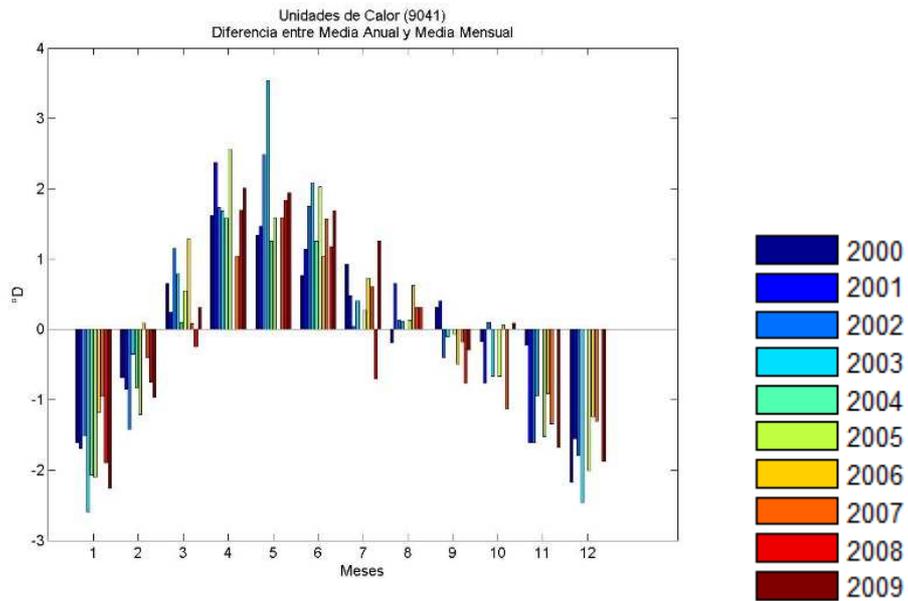
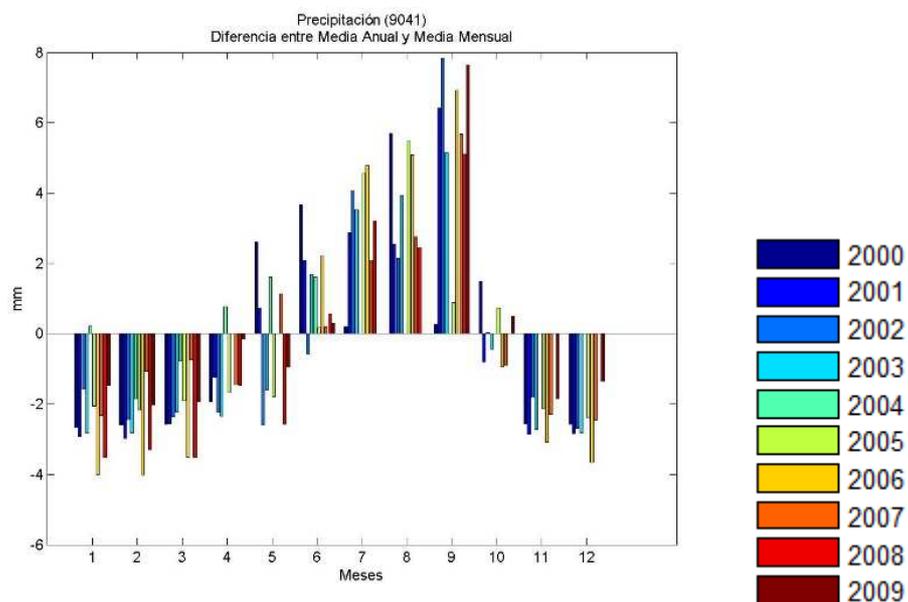


Figura 20- Diferencia de temperatura mínima para estación 9032

Capítulo IV Resultados



Por su parte, la precipitación muestra a los meses de Mayo a Octubre como los valores más altos y de Noviembre a Abril los más bajos (figura 22), la única estación que no muestra este comportamiento es la 9068 que está desfasada con un mes de anterioridad en los valores bajos y altos.



Por último, la diferencia entre los promedios mensuales y anuales de la evaporación es muy grande para los meses de Febrero a Julio mientras que de Agosto a Enero es muy pequeña (figura 23), esto para las tres estaciones que contienen este parámetro.

Capítulo IV Resultados

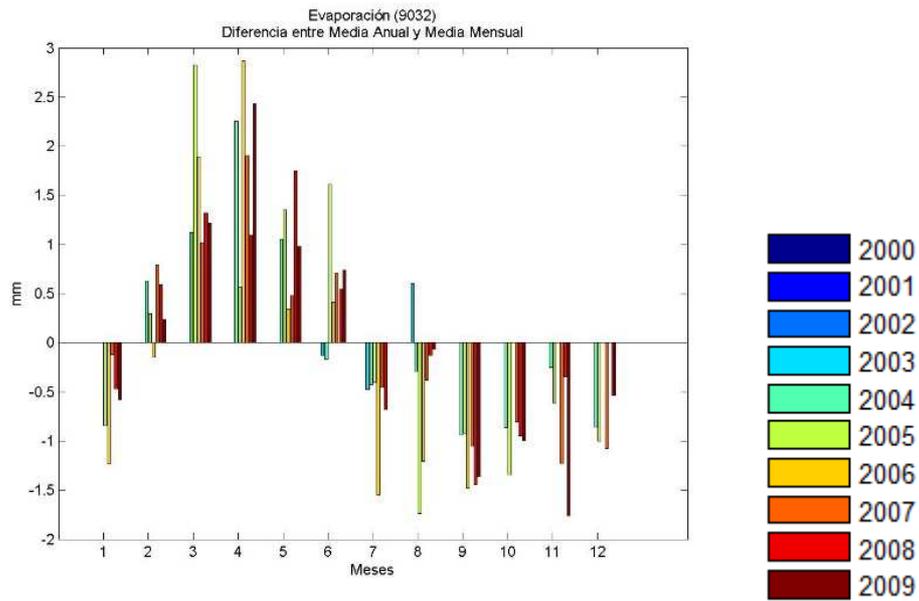


Figura 23- Diferencia de precipitación para estación 9041

De todo lo anterior, se pueden clasificar las temporadas en función del conjunto de meses predominantes, **la temporada de calor comprende los meses de Marzo a Agosto y la de frío de Septiembre a Febrero. La temporada de lluvia de Mayo a Octubre y de Noviembre a Abril la de estiaje. La de alta humedad de Febrero a Julio y la baja de Agosto a Enero**

Las temporadas se ajustan a que cuando hay frío, existe una temporada de estiaje y una de baja humedad. Cuando hay calor predominan las lluvias y la alta humedad.

Más a detalle podremos deducir que las lluvias tienen un desfase de dos meses con respecto a la temporada de calor y que la temporada de humedad alta se adelanta un mes a la de calor. De igual forma se comporta el estiaje con el frío y la humedad baja con las bajas temperaturas.

Capítulo IV Resultados

4.2 Tendencia de los Eventos Extremos

4.2.1 Temperaturas Extremas Observadas

Como se mencionó con anterioridad, estos fenómenos son productos de las islas de calor y se presentan cuando en un periodo de tres o más días consecutivos la temperatura máxima es mayor que o igual a 30°C y la temperatura promedio es mayor que o igual a 24°C. Se dividen en función de su intensidad en: Extremas (>10 días consecutivos), Máximas (>7 y <10 días consecutivos) e Intensas (>3 y <6 días consecutivos).

Ninguna de las estaciones analizadas registra eventos de temperatura extrema ni intensa, para las máximas solo la estación 9051 tiene un evento en el 2005, dicho evento tiene una duración de 9 días (figura 24).

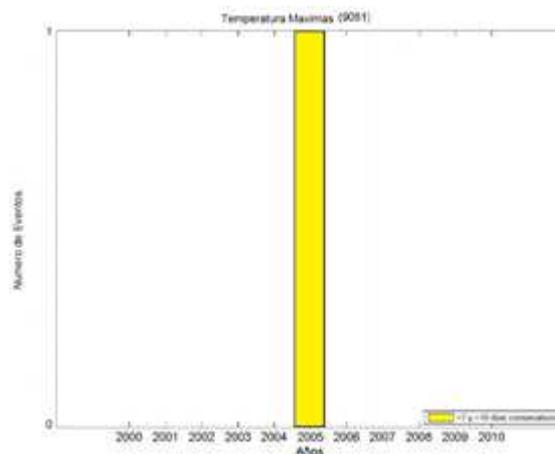


Figura 24.- Evento extremo de temperatura estación 9051

Este único evento se encuentra en el mes de julio y la estación que lo presenta se ubica en la delegación Tláhuac, presenta suburbanización y bajas altitudes. Se sabe que las islas de calor están relacionadas con la urbanización, aunque la delegación donde se ubica la estación esta urbanizada, son las delegaciones donde se encuentran las estaciones 9036 y 9041 las más urbanizadas por lo que se esperaría encontrar eventos extremos en estas. **Esto se podría deber a que Jáuregui utiliza datos horario entre las 15 y 16 horas y las bases de datos para la temperatura máxima arroja la máxima del día y para las temperaturas mínimas la mínima del día y las horas en las que se encuentran los valores no fueron proporcionadas.**

Capítulo IV Resultados

4.2.2 Patrón de evolución de las precipitaciones extremas

Precipitaciones extremas se dividen en: Extremas ($\geq 45\text{mm/hr}$), Máximas ($\geq 30\text{mm/hr}$ y $< 45\text{mm/hr}$) e Intensas ($\geq 20\text{mm/hr}$ y $< 30\text{mm/hr}$). La tabla 11 muestra los resultados de la frecuencia anual de estos eventos, para más detalle véase el anexo 2.

Tabla 11- Frecuencia anual de eventos extremos de precipitación, 2000-2010

Estación / Precipitación	9032	9036	9041	9045	9051	9068
Extrema	6	11	20	3	3	1
Máxima	22	26	39	7	11	3
Intensa	53	69	87	31	48	8

Para precipitación extrema la estación con mayor número de eventos es la 9041 con un total de veinte de los cuales cuatro fueron registrados en el 2010 (figura 25); le sigue la 9036 con once, de estos, tres pertenecen al 2009; después se encuentra la 9032 con seis, registrando un máximo de dos eventos en el 2005 y 2006; con el mismo número de eventos están las estaciones 9045 y 9051, la primera registra uno en el 2007, 2008 y 2009; la segunda tiene en el 2007 dos; por último se encuentra la 9068 con un evento en el 2009.

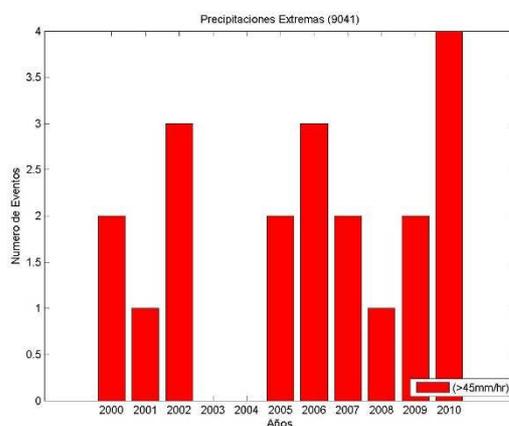


Figura 25.-Precipitación extrema estación 9041

Para las precipitaciones máximas se encuentran en orden de eventos la estación 9041 (figura 26), 9036, 9032, 9051, 9045 y 9068 donde sus mayores evento son de siete en el 2003, ocho en el 2007, seis en el 2006, tres en el 2003, tres en el 2006 y uno en el 2003, 2009 y 2010, respectivamente.

Capítulo IV Resultados

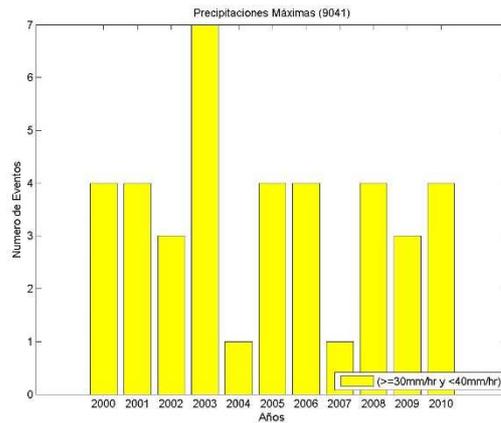


Figura 26.-Precipitación máximas estación 9041

Con respecto a las precipitaciones intensas el máximo se encuentran en el 2006 con once eventos en la estación 9041 (figura 27), trece en el 2003 para 9036, diez en el 2009 para 9032, diez en el 2006 para 9051, ocho en el 2007 para 9045 y por último cinco en el 2010 para 9068.

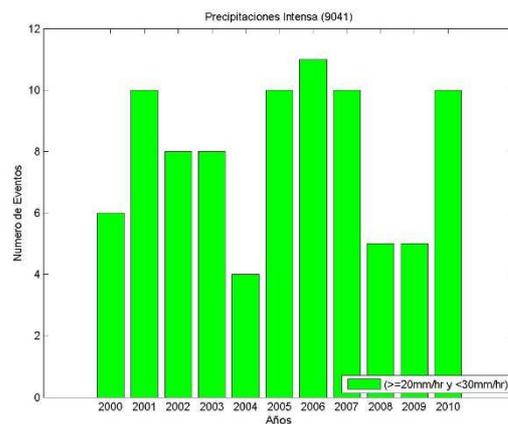


Figura 27.-Precipitación intensas estación 9041

Del análisis anual para las precipitaciones extremas, con respecto a la urbanización y altitud, podemos deducir que la estación con mayor número de eventos, para todas las intensidades, es la 9041 ubicada en Xochimilco de altas elevaciones en zona altamente urbanizada. Le sigue la estación 9036 de la delegación Benito Juárez localizada en zona altamente urbanizada de bajas altitudes. **Ambas estaciones se ubican en lugares altamente urbanizados donde las islas de calor se tienden a generarse.**

Las estaciones con menor número de eventos son, la 9068 ubicada en zona suburbana de bajas altitudes seguida de la estación 9045 que se encuentra en zona no urbanizada de altas elevaciones. Para ser congruente con lo anterior las dos estaciones de bajo índice poblacional

Capítulo IV Resultados

(9032 y 9045) deberían tener el menor número de eventos, sin embargo, solo una aparece en esta característica.

Se encuentra que para las lluvias extremas los años en los que se presentan mayoría de eventos son el 2006, 2007 y 2009 (con siete eventos en total) **únicamente el 2007 coincide con uno de los años de huracanes más intensos y 2009 con el evento ENSO Niña más intenso**, para las lluvias máximas e intensas el año con mayor número de eventos climatológicos es el 2006 donde ningún fenómeno cíclico climatológico intenso tuvo lugar.

En general no se observa un incremento anual de los eventos, sin embargo el periodo de observación es muy pequeño para determinar si existe o no una ascendencia en estos fenómenos.

Respecto al análisis mensual, la tabla 12 muestra el mes con el mayor de número de eventos para cada una de las estaciones, dos meses en una estación significa que tiene el mismo número de eventos. Para ver a detalle cada estación vea el anexo 3.

Tabla 12- Frecuencia mensual de eventos extremos de precipitación, 2000-2010

Estación / Precipitación	9032	9036	9041	9045	9051	9068
Extrema	Agosto Septiembre	Agosto Septiembre	Septiembre	Junio Septiembre	Julio	Septiembre
Máxima	Septiembre	Septiembre	Julio Septiembre	Septiembre	Agosto Septiembre	Julio Agosto Septiembre
Intensa	Agosto	Agosto	Junio	Agosto	Agosto	Julio

Para las precipitaciones extremas, el mes de Septiembre es el que tiene la mayor cantidad de eventos en la mayoría de las estaciones. Este cuenta con tres eventos para la estación 9032, tres para la 9036, once para la 9041, uno para la 9045, no hay evento para la 9051 y uno para la 9068; sumando diez y nueve eventos; le sigue Agosto que acumula diez y Julio con un total de seis.

En las precipitaciones máximas una vez más aparece el mes de Septiembre con el de mayor numero de eventos en casi todas las estaciones; siete para la 9032, nueve para la 9036, diez para la 9041, tres para la 9045, tres para la 9051 y uno para la 9068; en total se suman treinta y tres eventos, seguido de Julio con veinticinco y Agosto con diez.

No sucede lo mismo con las precipitaciones intensas donde el mes de Agosto es el que más aparece con mayoría de eventos; once en la estación 9032, diez y seis en la 9036, siete en

Capítulo IV

Resultados

la 9041, diez en la 9045, trece en la 9051 y dos en la 9068; esto suma un total de cincuenta y nueve eventos, le persigue Septiembre con cincuenta y ocho eventos, ambos son superados por Junio con sesenta eventos, que aunque no aparece como el mes con mayor número de eventos en las otras estaciones si para la 9041 registrando veintitrés y superando con esto los eventos para los otros meses.

Es lógico encontrar que los meses presentes en los eventos extremos de precipitación son los de la época de lluvia. La época de calor cuenta con mayor número de lluvias que la de frío por lo que encontrar a los meses de Junio, Julio y Agosto, que comparten épocas de calor y lluvia, con mayor número de eventos no es sorpresa; sin embargo llama la atención que Septiembre, que está contemplado en los meses de época de frío y época de lluvia, muestra los eventos más numerosos para casi todas las intensidades y estaciones. Es decir, se esperaría que fueran los meses que comparten época de calor y época de lluvia los de mayor número de eventos extremos.

El comportamiento anterior se puede explicar ya que el mes de Septiembre está registrado como el predominante en los ciclones y tormentas tropicales. Los resultados indican que para las precipitaciones extremas y máximas, en este mes, los eventos de huracanes son factor de aumento en la precipitación. No así para las precipitaciones intensas.

De todo lo anterior podemos deducir que para **las lluvias extremas y máximas los meses de Julio, Agosto y Septiembre son los más afectados y para las lluvias intensas son los de Junio, Agosto y Septiembre, aunque Julio cuenta con un número significativo por lo que debe de ser tomado en cuenta.**

Capítulo IV Resultados

4.3 Análisis Estadístico

4.3.1 Variables Climatológicas

Como se mencionó en el capítulo II, el análisis se realizó a la base de datos del periodo completo y a las series de tiempo de las temporadas establecidas. Los resultados de este inciso pueden verse con más detalle en el anexo 4.

4.3.1.1 Análisis Estadístico Descriptivo

Debido a lo amplio de la tabla, a continuación se muestra un resumen de los resultados arrojados por el análisis descriptivo.

Antes aclararemos que las estaciones climatológicas se encuentran localizadas en cinco delegaciones Milpa Alta, Benito Juárez, Xochimilco, Tláhuac y Venustiano Carranza. Se pueden agrupar en tres grupos según su urbanización: no urbanizado, urbanizado y altamente urbanizado; y en dos por su altitud: bajas altitudes y altas elevaciones (ver tabla 7, capítulo III).

Temperaturas

Un análisis a los resultados de los valores altos y bajos para las mínimas, máximas y medias se muestra en la siguiente tabla.

Las estaciones que predominan con valores altos son 9036 y 9051, ambas se localizan en zonas urbanizadas (altamente urbanizadas y suburbanas) y en bajas altitudes. Las estaciones predominantes en bajos valores son 9032, 9041 y 9068, están presentes los tres grupos de urbanización y los dos de altitud.

Capítulo IV Resultados

Tabla 13.- Resumen diario del análisis de los máximos, mínimos y medias asociadas a la temperatura.

	Completo	Calor	Frío	Lluvia	Estiaje	Alta H.	Baja H.
Identificación de la incidencia de las temperaturas máximas⁽¹⁾							
Estación	9036 9051						
Altitud	Bajas altitudes Bajas altitudes						
Urbano	Altamente urbanizado Suburbano						
Identificación de la incidencia de las temperaturas mínimas⁽²⁾							
Estación	9032 9041 9068						
Altitud	Altas elevaciones Altas elevaciones Bajas altitudes						
Urbano	No urbanizado Altamente urbanizado Suburbano						

(1) Basado en el análisis estadístico del valor máximo de los máximos, mínimos y medias reportado para cada estación en las series de tiempo de temperatura máxima, mínima y la promedio diaria.

(2) Basado en el análisis estadístico del valor mínimo de los máximos, mínimos y medias reportado para cada estación en las series de tiempo de temperatura máxima, mínima y la promedio diaria.

Precipitación

La tabla 14 muestra que las estaciones que prevalecen en valores altos son 9032, 9036 y 9041. Ahora bien, si se engloban las épocas de estiaje, frío y humedad baja tenemos que las estaciones 9032 y 9041 presentan valores altos de precipitación acumulada, se localizan en altas elevaciones pero no tienen en común el factor de urbanización. Para las temporadas de lluvias, calor y humedad alta; las estaciones con mayor precipitación acumulada son 9036 y 9041 que tienen en común la urbanización aunque en altitud discrepan. Para todos los casos, excepto temporadas de humedad, las estaciones 9051 y 9068 son las de

Capítulo IV Resultados

menor precipitación se ubican en zonas suburbanizadas y de bajas altitudes; para las temporadas de humedad las estaciones son 9068 y 9045 ninguna tiene una característica en común.

Tabla 14.- Resumen diario del análisis de los máximos, mínimos y medias asociadas a la precipitación.

	Completo	Calor	Frío	Lluvia	Estiaje	Alta H.	Baja H.
Identificación de la incidencia de las precipitaciones máximas⁽¹⁾							
Estación	9032 9036 9041	9036 9041	9032 9041	9036 9041	9032 9041	9036 9041	9032 9041
Altitud	Altas elevaciones Bajas altitudes Altas elevaciones	Bajas altitudes Altas elevaciones	Altas elevaciones Altas elevaciones	Bajas altitudes Altas elevaciones	Altas elevaciones Altas elevaciones	Bajas altitudes Altas elevaciones	Altas elevaciones Altas elevaciones
Urbano	No urbanizado Altamente urbanizado Altamente urbanizado	Altamente urbanizado Altamente urbanizado	No urbanizado Altamente urbanizado	Altamente urbanizado Altamente urbanizado	No urbanizado Altamente urbanizado	Altamente urbanizado Altamente urbanizado	No urbanizado Altamente urbanizado
Identificación de la incidencia de las precipitaciones mínimas⁽²⁾							
Estación	9051 9068	9051 9068	9051 9068	9051 9068	9051 9068	9045 9068	9045 9068
Altitud	Bajas altitudes Bajas altitudes	Bajas altitudes Bajas altitudes	Bajas altitudes Bajas altitudes	Bajas altitudes Bajas altitudes	Bajas altitudes Bajas altitudes	Altas elevaciones Bajas altitudes	Altas elevaciones Bajas altitudes
Urbano	Suburbano Suburbano	Suburbano	Suburbano	Suburbano	Suburbano	No urbanizado Suburbano	No urbanizado Suburbano

(1) Basado en el análisis estadístico del valor máximo de los máximos, mínimos y medias reportado para cada estación en las series de tiempo de precipitación diaria.

(2) Basado en el análisis estadístico del valor mínimo de los máximos, mínimos y medias reportado para cada estación en las series de tiempo de precipitación diaria.

Evaporación

La evaporación (tabla 15) nos dice que la estación con las mínimas, máximas y medias más altas es la 9032, se localiza en zona no urbanizada (bosque) y en altas elevaciones; excepto para la temporada de frío donde la 9045 tiene valores mayores. La de menores valores es la estación 9051 para las épocas de frío, estiaje y baja humedad, ubicada en una zona suburbana de bajas altitudes. Para las otras épocas la estación 9045 presenta la menor evaporación.

Capítulo IV Resultados

Tabla 15.- Resumen diario del análisis de los máximos, mínimos y medias asociadas a la evaporación.

	Completo	Calor	Frío	Lluvia	Estiaje	Alta H.	Baja H.
Identificación de la incidencia de la evaporación máxima⁽¹⁾							
Estación	9032,	9032,	9045,	9032,	9032,	9032,	9032,
Altitud	Altas elevaciones						
Urbano	No urbanizado						
Identificación de la incidencia de la evaporación mínima⁽²⁾							
Estación	9045	9045	9051	9045	9051	9045	9051
Altitud	Altas elevaciones	Altas elevaciones	Bajas altitudes	Altas elevaciones	Bajas altitudes	Altas elevaciones	Bajas altitudes
Urbano	No urbanizado	No urbanizado	Suburbano	No urbanizado	Suburbano	No urbanizado	Suburbano

(1) Basado en el análisis estadístico del valor máximo de los máximos, mínimos y medias reportado para cada estación en las series de tiempo de evaporación diaria.

(2) Basado en el análisis estadístico del valor mínimo de los máximos, mínimos y medias reportado para cada estación en las series de tiempo de evaporación diaria.

Si ahora nos centramos en los valores altos y bajos de las desviaciones estándares tenemos:

Temperatura

La tabla 16 nos dice que las estaciones 9036 y 9051 siempre aparecen entre las desviaciones más altas tanto para el periodo completo como para las temporadas, ambas localizadas en bajas altitudes y en lugares urbanizados (altamente urbanizado y suburbano). Para las desviaciones más bajas aparecen las estaciones 9032 y 9068; en el periodo completo y en las épocas, la primera se localiza en elevadas altitudes y en lugar no urbanizado mientras que la segunda tiene bajas altitudes y es suburbano. Analizando en conjunto las épocas de lluvia, calor y alta humedad encontramos que entre las desviaciones más altas, además de las mencionadas anteriormente, aparece la estación 9045 y para las otras tres épocas la estación 9041 se muestra entre las desviaciones más bajas.

Capítulo IV Resultados

Tabla 16.- Resumen diario del análisis de la desviación estándar asociada a la temperatura.

	Completo	Calor	Frío	Lluvia	Estiaje	Alta H.	Baja H.
Identificación de la incidencia de las temperaturas máximas⁽¹⁾							
Estación	9036 9051	9036 9045 9051	9036 9051	9036 9045 9051	9036 9051	9036 9045 9051	9036 9051
Altitud	Bajas altitudes Bajas altitudes	Bajas altitudes Altas elevaciones Bajas altitudes	Bajas altitudes Bajas altitudes	Bajas altitudes Altas elevaciones Bajas altitudes	Bajas altitudes Bajas altitudes	Bajas altitudes Altas elevaciones Bajas altitudes	Bajas altitudes Bajas altitudes
Urbano	Altamente urbanizado Suburbano	Altamente urbanizado No urbanizado Suburbano	Altamente urbanizado Suburbano	Altamente urbanizado No urbanizado Suburbano	Altamente urbanizado Suburbano	Altamente urbanizado No urbanizado Suburbano	Altamente urbanizado Suburbano
Identificación de la incidencia de las temperaturas mínimas⁽²⁾							
Estación	9032 9068	9032 9041 9068	9032 9068	9032 9041 9068	9032 9068	9032 9041 9068	9032 9068
Altitud	Altas elevaciones Bajas altitudes	Altas elevaciones Altas elevaciones Bajas altitudes	Altas elevaciones Bajas altitudes	Altas elevaciones Altas elevaciones Bajas altitudes	Altas elevaciones Bajas altitudes	Altas elevaciones Altas elevaciones Bajas altitudes	Altas elevaciones Bajas altitudes
Urbano	No urbanizado Suburbano	No urbanizado Altamente urbanizado Suburbano	No urbanizado Suburbano	No urbanizado Altamente urbanizado Suburbano	No urbanizado Suburbano	No urbanizado Altamente urbanizado Suburbano	No urbanizado Suburbano

(1) Basado en el análisis estadístico del valor máximo de la desviación estándar reportado para cada estación en las series de tiempo de temperatura máxima, mínima y la promedio diaria.

(2) Basado en el análisis estadístico del valor mínimo de la desviación estándar reportado para cada estación en las series de tiempo de temperatura máxima, mínima y la promedio diaria.

Precipitación

La tabla 17 indica que para casi todos los casos, la desviación estándar con los valores más altos los tienen las estaciones 9036 y 9041, excepto para la época de estiaje y lluvias donde la estación 9036 es sustituida por la 9032. Las dos primeras son altamente urbanizadas pero en altitud difieren, para la estación que se presenta en lluvia y estiaje esta se ubica en elevadas altitudes donde no hay urbanización. Las estaciones con menor desviación estándar en la

Capítulo IV Resultados

precipitación son las 9051 y 9068, excepto para los periodos de calor y alta humedad, tienen en común la urbanización y las bajas altitudes. Para la temporada de calor y alta humedad la estación 9051 es sustituida por la 9045.

Tabla 17.- Resumen diario del análisis de la desviación estándar asociada a la precipitación.

	Completo	Calor	Frío	Lluvia	Estiaje	Alta H.	Baja H.
Identificación de la incidencia de la precipitación máxima⁽¹⁾							
Estación	9036 9041	9036 9041	9036 9041	9032 9041	9032 9041	9036 9041	9036 9041
Altitud	Bajas altitudes Altas elevaciones	Bajas altitudes Altas elevaciones	Bajas altitudes Altas elevaciones	Altas elevaciones Altas elevaciones	Altas elevaciones Altas elevaciones	Bajas altitudes Altas elevaciones	Bajas altitudes Altas elevaciones
Urbano	Altamente urbanizado Altamente urbanizado	Altamente urbanizado	Altamente urbanizado	No urbanizado Altamente urbanizado	No urbanizado Altamente urbanizado	Altamente urbanizado	Altamente urbanizado
Identificación de la incidencia de la precipitación mínima⁽²⁾							
Estación	9051 9068	9045 9068	9051 9068	9051 9068	9051 9068	9045 9068	9051 9068
Altitud	Bajas altitudes Bajas altitudes	Altas elevaciones Bajas altitudes	Bajas altitudes Bajas altitudes	Bajas altitudes Bajas altitudes	Bajas altitudes Bajas altitudes	Altas elevaciones Bajas altitudes	Bajas altitudes Bajas altitudes
Urbano	Suburbano Suburbano	No urbanizado Suburbano	Suburbano Suburbano	Suburbano Suburbano	Suburbano Suburbano	No urbanizado Suburbano	Suburbano Suburbano

(1) Basado en el análisis estadístico del valor máximo de la desviación estándar reportado para cada estación en las series de tiempo de precipitación diaria.

(2) Basado en el análisis estadístico del valor mínimo de la desviación estándar reportado para cada estación en las series de tiempo de precipitación diaria.

Evaporación

La desviación estándar más alta en evaporación, para todas las épocas, es de la 9032 se localiza en una zona no urbanizada de altas elevaciones. La estación más estable es la 9051 se ubicada en zona suburbana de bajas altitudes (tabla 18).

Capítulo IV Resultados

Tabla 18.- Resumen diario del análisis de la desviación estándar asociada a la evaporación.

	Completo	Calor	Frío	Lluvia	Estiaje	Alta H.	Baja H.
Identificación de la incidencia de la evaporación máxima⁽¹⁾							
Estación	9032	9032	9032	9032	9032	9032	9032
Altitud	Altas elevaciones						
Urbano	No urbanizado						
Identificación de la incidencia de la evaporación mínima⁽²⁾							
Estación	9051	9051	9051	9051	9051	9051	9051
Altitud	Bajas elevaciones						
Urbano	Suburbano						

(1) Basado en el análisis estadístico del valor máximo de la desviación estándar reportado para cada estación en las series de tiempo de evaporación diaria.

(2) Basado en el análisis estadístico del valor mínimo de la desviación estándar reportado para cada estación en las series de tiempo de evaporación diaria.

En general **se encontró que la incidencia de altas temperaturas se localiza en las zonas de urbanización y bajas altitudes**. Este resultado podría llevar a la conclusión de que en las zonas rurales de altas elevaciones deberían presentarse bajas temperaturas, pero no es el caso. Para precipitación, en temporadas de estiaje, frío y humedad baja cuando en general existen menos lluvias, las estaciones con mayor elevación presentan valores más altos que el resto, **por ello se esperaría que para las otras épocas cuando existe mayor precipitación pluvial, las estaciones ubicadas en altas elevaciones tuvieran las mayores precipitaciones, sin embargo esto sucede a diferentes elevaciones donde se observa alta urbanización; este comportamiento podría explicarse al efecto de las islas de calor**. Con respecto a la evaporación se encontró que para las temporadas de estiaje, frío y humedad baja, la estación ubicada en bajas altitudes y sector suburbano, tiene los valores de evaporación más bajos; mientras que para el resto de las épocas ocurre en la estación de alta elevación boscosa (9045).

El análisis de la desviación estándar de temperaturas, indica que el factor de la altura o urbanización no están relacionados con la variabilidad observada. **Para la precipitación sí parece haber en general una relación entre la inestabilidad pluvial, la urbanización y las bajas altitudes. En relación al**

Capítulo IV

Resultados

comportamiento de la evaporación, para todas las temporadas, parece que la baja variabilidad se relaciona con bajas altitudes y zonas urbanas, es decir la evaporación es estable; mientras que presenta alta variabilidad en las zonas no urbanizadas de altas elevaciones.

Con relación al comportamiento por épocas, se confirma que la época de calor tiende a ser de mucha lluvia, que la temporada de estiaje tiene temperaturas más bajas en relación con la temporada de lluvia y que las temperaturas y lluvias son mayores en la temporada de alta humedad que en la de baja humedad. **Se encuentra que para las temperaturas, la época de frío es más inestable que la de calor, la de estiaje que la de lluvia, y la de baja humedad que la de alta. La variabilidad en precipitación y evaporación es mayor en la temporada de calor que en la de frío.**

Capítulo IV Resultados

4.3.1.2 Representación Gráfica

Las gráficas de los promedios anuales muestran que para la estación 9032 en el periodo completo no existe un incremento anual en ninguna de las variables. Al separar las series de tiempo por épocas, en la temperatura mínima y en la precipitación para la época de estiaje se observa un incremento anual. En la evaporación existe un incremento anual en las épocas de calor, lluvia y alta humedad.

Las gráficas obtenidas de la estación 9036 no describen incrementos anuales en ninguna variable para la serie de tiempo completa. Las temporadas de lluvia y alta humedad muestran ascensos anuales en todas las variables referentes a la temperatura.

Para la estación 9041 la evaluación del periodo completo muestra que existe una tendencia anual positiva para la temperatura mínima, también para las épocas de calor, frío, estiaje (figura 28) y baja humedad. Para la precipitación existe un incremento anual en las épocas de frío, estiaje y baja humedad.

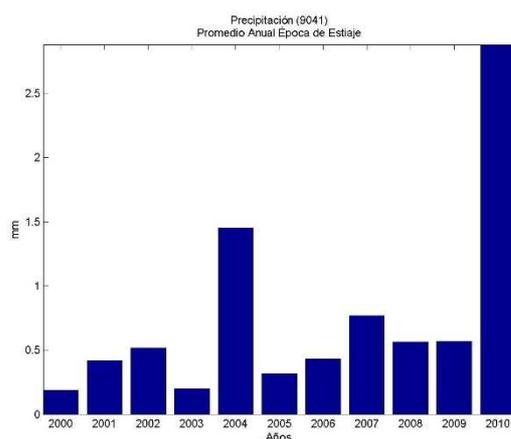


Figura 28.- Promedio anual precipitación estación 9041, época de estiaje

La estación 9045 describe incrementos anuales en las variables que hacen referencia a la temperatura para el periodo completo. Las épocas de calor, lluvia, estiaje y alta humedad también muestran este comportamiento. Para la temporada de frío hay una tendencia negativa en la temperatura promedio. La evaporación muestra ascensos en las épocas de calor, lluvia, estiaje y alta humedad.

Con la estación 9051 sucede lo mismo que para la 9045 en el periodo completo. La temperatura máxima muestra ascensos en las épocas de lluvia y alta humedad. La precipitación en la época de estiaje, alta y baja humedad también muestra incrementos. La evaporación solo asciende anualmente en la época de baja humedad.

Capítulo IV Resultados

Para la estación 9068 todas las variables en el periodo completo muestran un incremento, excepto la temperatura mínima que desciende anualmente. Sin embargo, en la época de calor (figura 29) y lluvia la temperatura mínima muestra un ascenso al igual que el resto de las variables. Para las demás épocas el comportamiento es igual que el periodo completo.

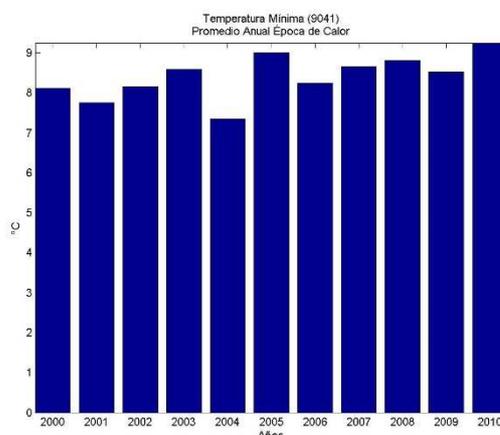


Figura 29.- Promedio anual temperatura mínima estación 9041, época de estiaje

De este análisis se puede deducir que para casi todas las estaciones y para casi todas las épocas la temperatura mínima muestra un incremento anual. Las precipitaciones se ven alteradas en la época de estiaje muestra ascensos anuales.

Para determinar la distribución de probabilidad de cada una de las estaciones en sus diferentes épocas, se usaron las gráficas del anexo 4, los valores de asimetría y curtosis arrojados en el análisis estadístico descriptivo. A continuación se muestra un resumen por variable.

Temperatura Promedio

En general (tabla 19), para el periodo completo y para las épocas la forma de curtosis es leptocúrtica y la asimetría es negativa. Sin embargo hay diferencias destacadas, para la estación 9032 no obstante que la curtosis es la misma, si se observa un cambio en la asimetría para la época de calor que cambia a positiva y para la lluvia y alta humedad que son más bien simétricas.

Para la estación 9036 (figura 30), aunque la asimetría se conserva la curtosis cambia a platicúrtica en las épocas de frío, estiaje y baja humedad. En 9041 la época de calor se muestra leptocúrtica simétrica y la de estiaje cambia a platicúrtica simétrica. Con la estación 9045 solo la época de calor tiende a ser simétrica. La estación 9051 muestra cambios de curtosis platicúrtica en la época de frío y estiaje. La estación 9068 tiende más a una forma platicúrtica, siendo las épocas de calor y alta humedad las únicas leptocúrticas. Con respecto a la simetría, para esta

Capítulo IV Resultados

última estación, solo se muestra positiva en época de lluvia; mientras que el periodo completo, el estiaje y la alta humedad son asimétricos negativos; la simetría se observa en la época de calor, frío y baja humedad.

Tabla 19.- Descripción del análisis de la densidad de probabilidad para la temperatura promedio diaria. Resumen

	Completo	Calor	Frío	Lluvia	Estiaje	Alta H.	Baja H.
9032	Leptocúrtica Negativa	Leptocúrtica Positiva	Leptocúrtica Negativa	Leptocúrtica Simétrica	Leptocúrtica Positiva	Leptocúrtica Simétrica	Leptocúrtica Negativa
9036	Leptocúrtica Negativa	Leptocúrtica Negativa	Platicúrtica Negativa	Leptocúrtica Negativa	Platicúrtica Simétrica	Leptocúrtica Negativa	Platicúrtica Negativa
9041	Leptocúrtica Negativa	Leptocúrtica Simétrica	Leptocúrtica Negativa	Leptocúrtica Negativa	Platicúrtica Simétrica	Leptocúrtica Negativa	Leptocúrtica Negativa
9045	Leptocúrtica Negativa	Leptocúrtica Simétrica	Leptocúrtica Negativa	Leptocúrtica Negativa	Leptocúrtica Negativa	Leptocúrtica Negativa	Leptocúrtica Negativa
9051	Leptocúrtica Negativa	Leptocúrtica Negativa	Platicúrtica Negativa	Leptocúrtica Negativa	Platicúrtica Negativa	Leptocúrtica Negativa	Leptocúrtica Negativa
9068	Platicúrtica Negativa	Leptocúrtica Simétrica	Platicúrtica Simétrica	Platicúrtica Positiva	Platicúrtica Negativa	Leptocúrtica Negativa	Platicúrtica Simétrica

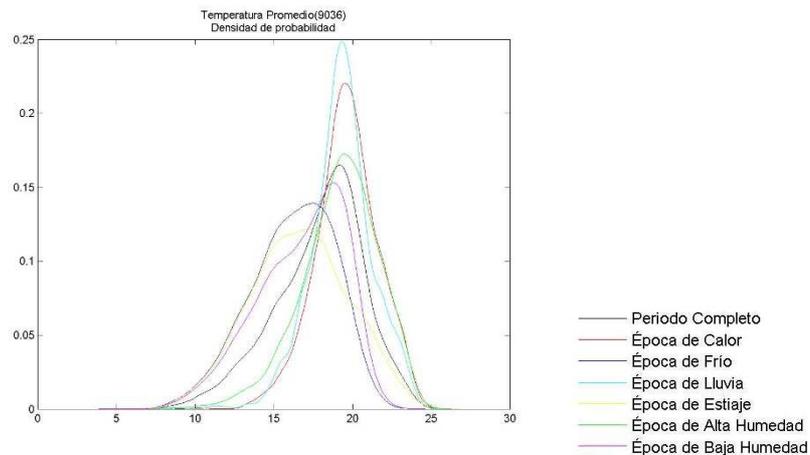


Figura 30.- Distribución de probabilidad temperatura promedio, estación 9036

Temperatura Máxima

Para la temperatura máxima (tabla 20), las estaciones 9041, 9045 y 9051 tienen una forma leptocúrtica de asimetría negativa. La estación 9032 en todos los casos es leptocúrtica, pero su asimetría es positiva en el periodo completo, época de calor, estiaje y alta humedad; mientras que se muestra simétrica para la temporada de lluvia. La estación 9036 solo muestra curtosis platicúrtica en el estiaje.

Capítulo IV Resultados

Tabla 20.- Descripción del análisis de la densidad de probabilidad para la temperatura máxima diaria. Resumen

	Completo	Calor	Frío	Lluvia	Estiaje	Alta H.	Baja H.
9032	Leptocúrtica Positiva	Leptocúrtica Positiva	Leptocúrtica Negativa	Leptocúrtica Simétrica	Leptocúrtica Positiva	Leptocúrtica Positiva	Leptocúrtica Negativa
9036	Leptocúrtica Negativa	Leptocúrtica Negativa	Leptocúrtica Negativa	Leptocúrtica Negativa	Platicúrtica Negativa	Leptocúrtica Negativa	Leptocúrtica Negativa
9041	Leptocúrtica Negativa	Leptocúrtica Negativa	Leptocúrtica Negativa	Leptocúrtica Negativa	Leptocúrtica Negativa	Leptocúrtica Negativa	Leptocúrtica Negativa
9045	Leptocúrtica Negativa	Leptocúrtica Negativa	Leptocúrtica Negativa	Leptocúrtica Negativa	Leptocúrtica Negativa	Leptocúrtica Negativa	Leptocúrtica Negativa
9051	Leptocúrtica Negativa	Leptocúrtica Negativa	Leptocúrtica Negativa	Leptocúrtica Negativa	Leptocúrtica Negativa	Leptocúrtica Negativa	Leptocúrtica Negativa
9068	Platicúrtica Simétrica	Platicúrtica Negativa	Platicúrtica Negativa	Platicúrtica Positiva	Platicúrtica Simétrica	Platicúrtica Negativa	Platicúrtica Positiva

La estación 9068 (figura 31), para todos los casos, muestra una forma platicúrtica donde su asimetría cambia a negativa para la época de calor, frío y alta humedad; a positiva en lluvia y baja humedad; y simetría en el periodo completo y el estiaje.

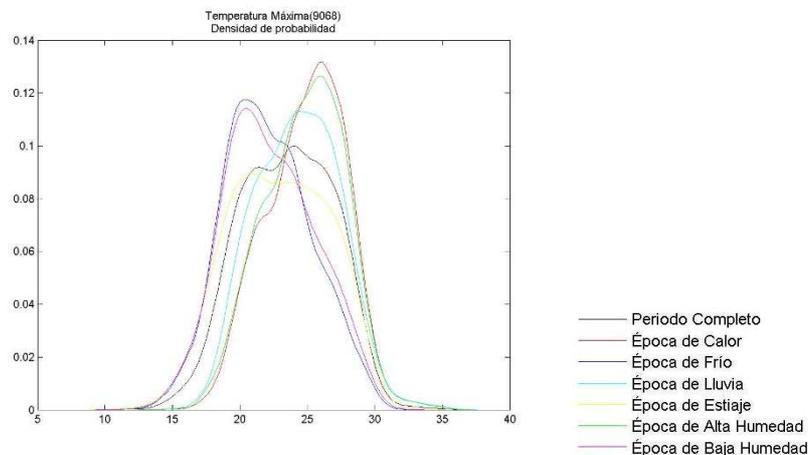


Figura 31.- Distribución de probabilidad temperatura máxima, estación 9068

Temperatura Mínima

La tabla 21 nos revela que la estación 9032 tiene una asimetría negativa en todos los casos y tiende a una forma leptocúrtica negativa, excepto en la época de frío donde la curtosis es platicúrtica y la época de baja humedad donde se muestra mesocúrtica. La estación 9036 también tiene simetría negativa, casi todos los casos son leptocúrticos menos la época de frío y baja humedad cuya curtosis es platicúrtica. La 9041 tiende más a una forma asimétrica negativa platicúrtica pero las épocas de calor y lluvia para esta estación cambian a leptocúrtica. La estación

Capítulo IV Resultados

9045 se muestra con asimetría negativa y forma leptocúrtica excluyendo la época de frío y baja humedad donde la curtosis es platicúrtica.

Tabla 21.- Descripción del análisis de la densidad de probabilidad para la temperatura mínima diaria. Resumen

	Completo	Calor	Frío	Lluvia	Estiaje	Alta H.	Baja H.
9032	Leptocúrtica Negativa	Leptocúrtica Negativa	Platicúrtica Negativa	Leptocúrtica Negativa	Leptocúrtica Negativa	Leptocúrtica Negativa	Mesocúrtica Negativa
9036	Leptocúrtica Negativa	Leptocúrtica Negativa	Platicúrtica Negativa	Leptocúrtica Negativa	Leptocúrtica Negativa	Leptocúrtica Negativa	Platicúrtica Negativa
9041	Platicúrtica Negativa	Leptocúrtica Negativa	Platicúrtica Negativa	Leptocúrtica Negativa	Platicúrtica Simétrica	Leptocúrtica Negativa	Platicúrtica Negativa
9045	Leptocúrtica Negativa	Leptocúrtica Negativa	Platicúrtica Negativa	Leptocúrtica Negativa	Leptocúrtica Negativa	Leptocúrtica Negativa	Platicúrtica Negativa
9051	Leptocúrtica Negativa	Leptocúrtica Negativa	Platicúrtica Negativa	Leptocúrtica Simétrica	Platicúrtica Positiva	Leptocúrtica Negativa	Platicúrtica Negativa
9068	Leptocúrtica Negativa	Leptocúrtica Positiva	Platicúrtica Negativa	Leptocúrtica Negativa	Platicúrtica Negativa	Leptocúrtica Negativa	Platicúrtica Negativa

La estación 9051 (figura 32) cambia de leptocúrtica a platicúrtica en las épocas de frío, estiaje y baja humedad; la asimetría se mantiene negativa en casi todos los casos exceptuando la época de lluvia y estiaje. La estación 9068 se muestra más de forma asimétrica negativa con forma leptocúrtica sin embargo cambia a platicúrtica, manteniendo la asimetría negativa en la época de frío estiaje y baja humedad; y en la época de calor tiende a ser asimétrica positiva.

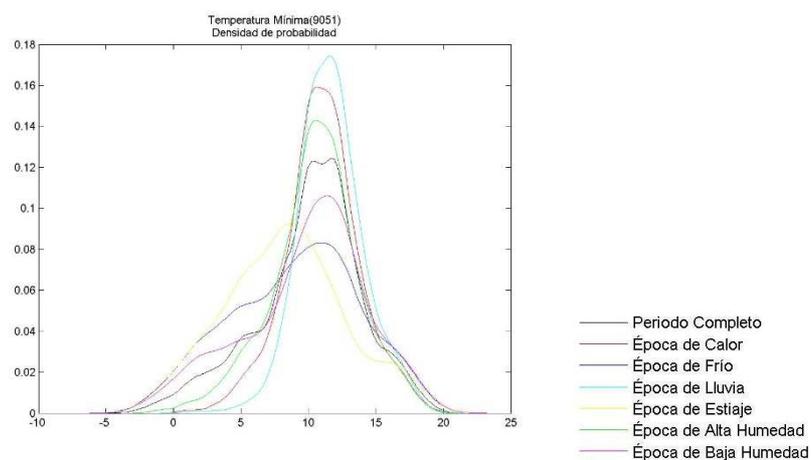


Figura 32.- Distribución de probabilidad temperatura mínima, estación 9051

Capítulo IV Resultados

Unidades de Calor

En la tabla anterior (tabla 22) aparece la estación 9032 mayoritariamente con asimetría positiva y forma leptocúrtica, excepto en la época de frío donde es mesocúrtica de asimetría negativa y en la época de baja humedad donde la asimetría es negativa y la forma platicúrtica. La estación 9036 en la mayoría de los casos es asimétrica negativa platicúrtica, excepto en el estiaje donde también la forma es platicúrtica pero su asimetría es positiva y en las temporadas de calor, lluvia y baja humedad donde la asimetría se conserva negativa pero la forma cambia a leptocúrtica. Con la estación 9041 la forma se mantiene leptocúrtica en la mayoría de los casos excepto en el estiaje donde se vuelve mesocúrtica. La asimetría en esta estación es más bien positiva cambiando a negativa en el frío y baja humedad y a simetría en la alta humedad. La estación 9045 muestra en el periodo completo y en la época de calor una forma leptocúrtica de asimetría negativa y para las temporadas de frío, lluvia, alta y baja humedad la simetría cambia a asimetría negativa conservando la forma leptocúrtica, la única época que muestra forma distinta es la de estiaje que es platicúrtica y simétrica. La estación 9051 tiende a una forma leptocúrtica de asimetría negativa, excepto en la época de frío, estiaje y baja humedad. La estación 9068 tiende a forma platicúrtica en todos los casos y para la mayoría es simetría, exceptuando las temporadas de frío, lluvia y baja humedad.

Tabla 22.- Descripción del análisis de la densidad de probabilidad para las unidades de calor diaria. Resumen.

	Completo	Calor	Frío	Lluvia	Estiaje	Alta H.	Baja H.
9032	Leptocúrtica Positiva	Leptocúrtica Positiva	Mesocúrtica Negativa	Leptocúrtica Positiva	Leptocúrtica Positiva	Leptocúrtica Positiva	Platicúrtica Negativa
9036	Platicúrtica Negativa	Leptocúrtica Negativa	Platicúrtica Negativa	Leptocúrtica Negativa	Platicúrtica Positiva	Leptocúrtica Negativa	Platicúrtica Negativa
9041	Leptocúrtica Positiva	Leptocúrtica Positiva	Leptocúrtica Negativa	Leptocúrtica Positiva	Mesocúrtica Positiva	Leptocúrtica Simétrica	Leptocúrtica Negativa
9045	Leptocúrtica Simétrica	Leptocúrtica Simétrica	Leptocúrtica Negativa	Leptocúrtica Negativa	Platicúrtica Simétrica	Leptocúrtica Negativa	Leptocúrtica Negativa
9051	Leptocúrtica Negativa	Leptocúrtica Negativa	Platicúrtica Negativa	Leptocúrtica Negativa	Platicúrtica Simétrica	Leptocúrtica Negativa	Platicúrtica Negativa
9068	Platicúrtica Simétrica	Platicúrtica Simétrica	Platicúrtica Positiva	Platicúrtica Positiva	Platicúrtica Simétrica	Platicúrtica Simétrica	Platicúrtica Positiva

Capítulo IV Resultados

Precipitación

La precipitación presenta un comportamiento de distribución gamma, para todos los casos en todas las estaciones. Para las estaciones 9032, 9036, 9045 y 9068 (figura 33) su muestra un estrechamiento en las épocas de calor, estiaje y alta humedad.

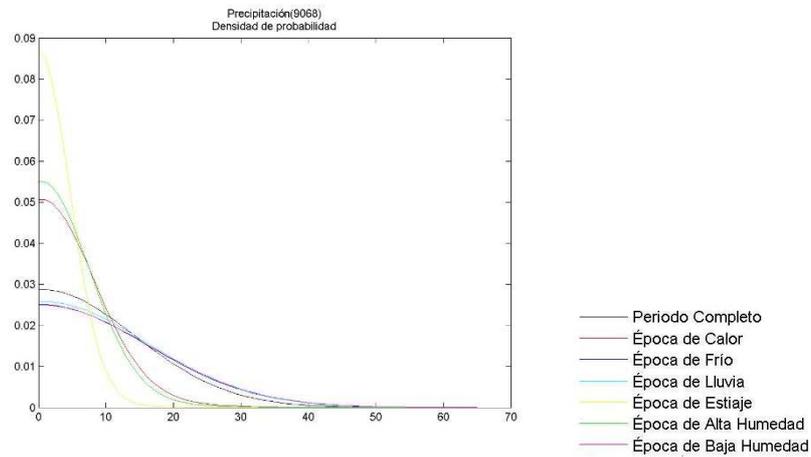


Figura 33.- Distribución de probabilidad precipitación, estación 9068

Evaporación

En las tres estaciones y para todos los casos se muestra una forma leptocúrtica positiva, sin embargo si existen corrimiento a la derecha en las épocas de calor y alta humedad y corrimientos a la izquierda en las épocas de frío y baja humedad (figura 34).

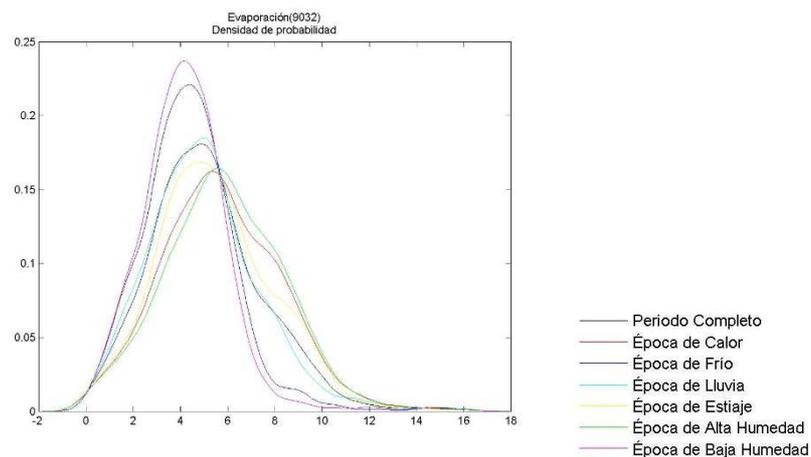


Figura 34.- Distribución de probabilidad evaporación, estación 9032

Simplificando todo lo anterior se aprecia que en general la **temperatura promedio muestra una forma asimétrica negativa con curtosis leptocúrtica**, sin embargo cambia a platicúrtica en las épocas de frío, estiaje y humedad baja solo para las estaciones que presentan

Capítulo IV

Resultados

bajas altitudes. Esto estaría indicando que para estas últimas épocas, y en esas zonas, la temperatura promedio es más variable. **La temperatura máxima presenta una distribución asimétrica negativa y una forma leptocúrtica para todos las épocas y para casi todas las estaciones;** sin embargo en la estación 9068, ubicada en bajas altitudes suburbanas, presenta una curva de temperatura más bien con forma platicúrtica. **La temperatura mínima tiene una marcada distribución asimétrica negativa en todos los casos.** En su curtosis se observa la **forma leptocúrtica en las épocas de calor, lluvia y alta humedad.** En las otras épocas, dependiendo de la estación, varía su forma pero no se encuentra relación de la temperatura mínima con urbanización o altitud; la época de baja humedad, para casi todas las estaciones, excepto para la 9032 que es leptocúrtica, presenta una forma platicúrtica. Para las unidades de calor, se presentan tanto asimetrías negativas como positivas y no se observa un patrón con respecto a las épocas o la altitud o el nivel de urbanización. Lo mismo ocurre para la curtosis que presenta valores leptocúrticos y platicúrticos. **La precipitación presenta una distribución gamma y la evaporación tiende a ser leptocúrtica con asimetría positiva.**

Capítulo IV

Resultados

4.3.2 Parámetros planta de tratamiento de agua residual “Cerro de la Estrella”

En esta parte se muestra un resumen de los resultados arrojados por el análisis estadístico descriptivo. Para más información del influente vea el anexo 5, para el efluente vea el anexo 6.

4.3.2.1 Influyente

4.3.2.1.1 Análisis Estadístico Descriptivo

La información de la tabla (anexo 5) nos dice que para el pH la media más alta se encuentra en la época de estiaje y la más baja la de lluvia junto con calor y alta humedad. En la desviación estándar el valor más alto lo tiene la época de estiaje y el más bajo la época de lluvia.

La Conductividad presenta la media más alta en el estiaje y la más baja en la lluvia. Para la desviación estándar la más alta se encuentra en la época de calor y la más baja la época de frío.

Los SDT aparecen con la media más alta en la época de estiaje y la más baja en la de lluvia. La época con desviación estándar más alta es la de calor y la más baja la época de frío.

En los SST la media más alta la tiene la época de estiaje y la más baja la de humedad baja. La desviación estándar más alta es la época de calor y la más baja es la de baja humedad.

Con los Fosfatos; el estiaje tiene la media más alta y lluvia la más baja. La desviación más alta la tiene la época de humedad alta y la más baja la de lluvia.

Para el Calcio la media más alta la tiene la época de frío y la más baja la de humedad alta. Con la desviación estándar el valor más alto lo aparece en la temporada de estiaje y el más bajo en la temporada de lluvia.

El Magnesio tiene la media más alta en la época de frío y la más baja en la de calor. La época con la desviación más alta es la de alta humedad y la más baja la de frío.

En el Sodio la media más alta la tiene la época de estiaje y la más baja la de lluvia. El más alto de desviación estándar aparece en la época de estiaje y el más bajo en lluvia.

Para el Potasio la época de estiaje es la de la media más alta y la más baja la época de lluvia. Con la desviación la más alta la tiene la época de estiaje y la más baja la de calor.

En el Hierro la media más alta la tiene la época de humedad alta y la más baja la de frío. La desviación estándar más alta la posee la época de calor y la más baja la de frío.

El Manganeso tiene en todas las épocas la misma media; las épocas que aparecen con desviaciones estándares más altas son las temporadas de calor y humedad alta; y el más bajo en el de frío y humedad baja.

Capítulo IV

Resultados

El Plomo muestra la época de estiaje con la media más alta, para las demás el valor es el mismo. Con las desviaciones estándares la más alta es estiaje y la más baja lluvia.

El Cadmio y Mercurio repiten el mismo valor de media en todos los casos. Las épocas con desviación estándar más altas son estiaje, calor y alta humedad; con el mismo valor; y las más bajas lluvia, frío y baja humedad, con el mismo valor.

En el Argón aparecen con la media más alta en la época de lluvia y la más baja la de estiaje. Para las desviaciones estándares la más alta la tiene la época de estiaje y alta humedad y la más baja la de baja humedad.

El Cromo muestra las medias más altas en las épocas de estiaje, frío y alta humedad, las tres con el mismo valor y las más bajas las épocas de lluvia, calor y alta humedad. Con desviaciones estándares el valor más alto lo tiene la época de estiaje y el más bajo la de lluvias, calor y humedad baja.

El Cinc tiene la media más alta en la época de estiaje y la más baja lluvias. La desviación más alta la tiene la época de estiaje y la más baja la de lluvias.

Para el Cobre todos los casos presentan la misma media. Las épocas que aparecen con desviaciones estándares más altas; con el mismo valor; son estiaje, frío y baja humedad.

En el Silicio la media más alta la tiene la época de humedad baja y la más baja la de humedad alta. Las temporadas la desviación más alta la tiene la época de calor y humedad alta y la más baja la de frío.

Con el Aluminio la media más alta la tiene la época de humedad alta y la más baja la de humedad baja. La desviación más alta la tiene la época de lluvias y la más baja la de estiaje.

Para el Níquel y la Plata todas las épocas tienen el mismo valor de media y desviación estándar.

Con el DBO_5 la media más alta la tiene la época de estiaje y la más baja la de lluvias. La desviación más alta la tiene la época de calor y la más baja la de estiaje.

El DQO presenta la media más alta en época de estiaje y la más baja lluvia. La desviación más alta la tiene la época de calor y la más baja la de estiaje

En las Grasas y Aceites la media más alta la tiene la época de estiaje y la más baja la de lluvia. La desviación más alta la tiene la época de calor y la más baja la de frío.

Sintetizando todo lo **anterior casi todos los elementos reportan la media más alta en la época de estiaje y la más baja en la de lluvias**; excepto el Calcio, Magnesio, Silicio, SST, Argón, Hierro y Aluminio; esto quiere decir que la mayoría de **los parámetros tienen menor concentración con las precipitaciones.**

Capítulo IV Resultados

En las desviaciones estándares hay dos grupos muy marcados; el primero lo conforman los SDT, la Conductividad, el Silicio, las Grasas y Aceites, el Hierro y el Magnesio en donde la variabilidad más alta se presenta en época de calor y la más baja en época de frío; en el segundo se encuentran el pH, el Calcio, el Sodio, el Cinc, el Cromo y el Plomo en este la desviación estándar más alta está en la temporada de estiaje y la más baja en la de lluvia.

Para los parámetros de **Cobre, Mercurio, Manganeso, Cadmio, Níquel, Plomo y Plata**, no se encuentran diferencias de medias y desviación estándar entre las épocas ni en el periodo. Esto quiere decir que **el dato registrado es siempre el mismo, es decir, el menor valor que el instrumento o la técnica de medición puede medir.**

4.3.2.1.2 Representación Grafica

En general el pH reporta una densidad de probabilidad leptocúrtica de asimetría positiva para casi todos los casos exceptuando la época de lluvia que cambia su asimetría a negativa.

Por su parte, la conductividad tiene tiende a ser leptocúrtica asimétricamente positiva en las épocas de calor, estiaje, alta y baja humedad; para el periodo completo y las temporadas tanto de frío como de lluvia su asimetría cambia a negativa (figura 35).

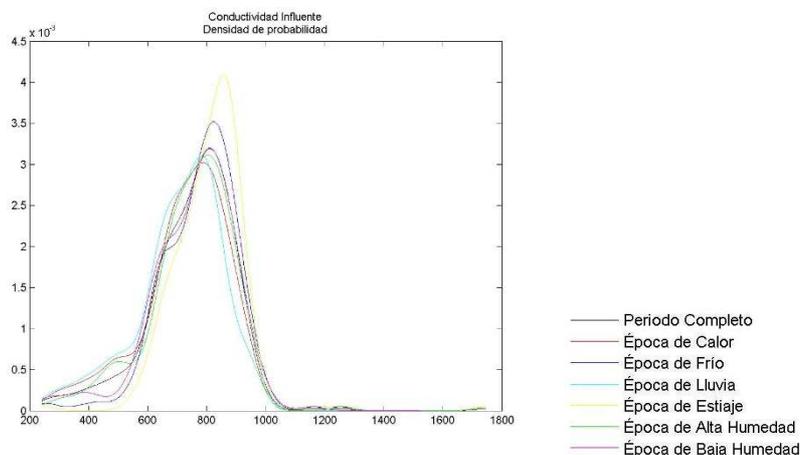


Figura 35.- Densidad de probabilidad del Influyente, Conductividad.

Los SDT tienen un comportamiento idéntico a la Conductividad, con respecto a sus épocas, solo difieren en que para el periodo completo muestran una asimetría positiva.

El Calcio y el Sodio son asimétricamente positivos excepto en la época de lluvia que presenta asimetría negativa.

El Magnesio tiene una forma de curtosis leptocúrtica y su asimetría es positiva, únicamente las temporadas de frío y lluvia son negativas.

Capítulo IV Resultados

El Potasio tiende a una densidad de probabilidad leptocúrtica de asimetría positiva, exceptuando las épocas de calor y lluvia que presentan asimetría negativa.

El Argón si muestra un cambio en la curtosis para las épocas de calor, lluvia y alta humedad; tendiendo más a la forma platicúrtica; para las demás épocas se comporta como leptocúrtica. Con la simetría, la presenta en el periodo completo, temporada de frío y estiaje; para los otros casos su asimetría es positiva.

Los SST, los Fosfatos (figura 36), el Hiero, el Cinc, el Aluminio, el DQO, las Grasas y Aceites tienen una forma leptocúrtica asimétrica positiva para todos los casos, sin embargo si existe una cargada distribución a la derecha para el estiaje y a la izquierda para las lluvias.

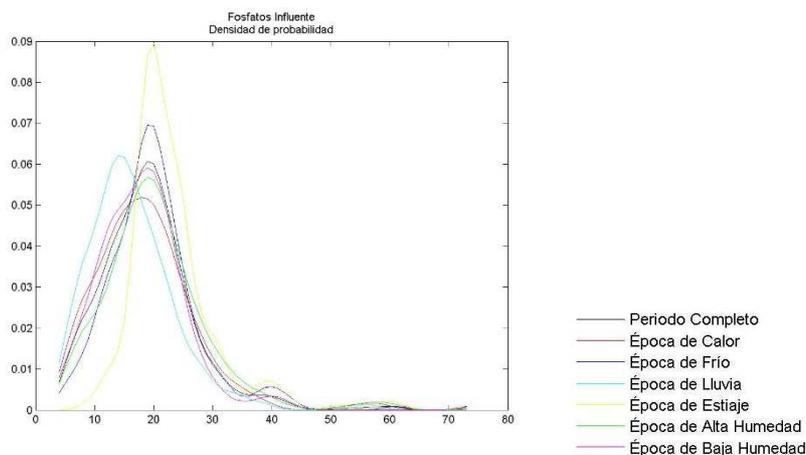


Figura 36.- Densidad de probabilidad del Influyente, Fosfatos

El Silicio tiene un comportamiento platicúrtica de asimetría negativa para casi todos los casos menos en el estiaje que se comporta leptocúrtica y simétrica.

El DBO_5 tiene una forma platicúrtica y simetría en la época de frío; una forma platicúrtica pero de simetría positiva en la época de baja humedad; y para todos los demás casos presenta curtosis leptocúrtica de asimetría positiva, aunque si existe una marcada diferencia entre la época de lluvia y estiaje donde la primera se carga a la izquierda y la segunda a la derecha (figura 37).

Por tener valores idénticos en la mayoría los registros, el Manganeseo, el Plomo, Cadmio, Cobre, Cromo, Mercurio, Plata y Níquel no pueden ser evaluados por su densidad de probabilidad.

La densidad de probabilidad describe la probabilidad de una variable de tomar un valor, en análisis anterior nos demuestra que en su mayoría las formas para **los parámetros de la PTAR “Cerro de la Estrella” son leptocúrticas con asimetría positiva y que las épocas que más se ven afectadas en sus simetría son, la de lluvia que tiende a moverse a la izquierda y la de estiaje que se mueve a la derecha.**

Capítulo IV Resultados

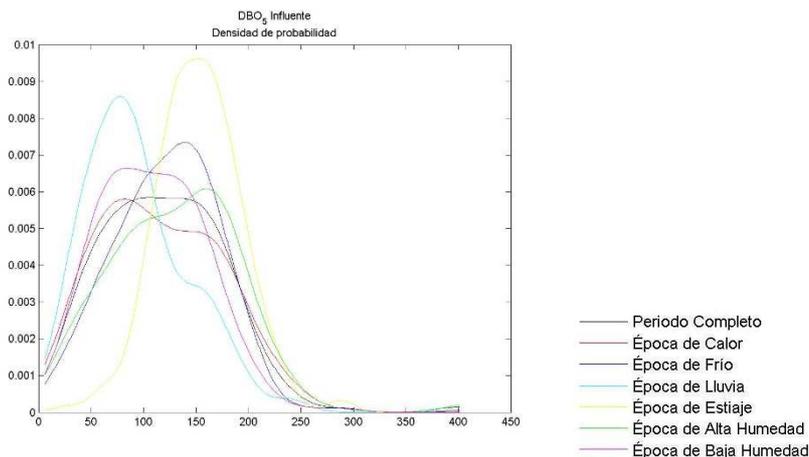


Figura 37.- Densidad de probabilidad del Influyente, DBO₅

4.3.2.2 Efluente

4.3.2.2.1 Análisis Estadístico Descriptivo

La información de la tabla (anexo 6) nos dice que para el pH aparece la media más alta se encuentra en la época de baja humedad y la más baja la de alta humedad. En la desviación estándar el valor más alto lo tiene la época de lluvia y el más bajo la época de estiaje.

La Conductividad presenta la media más alta la tiene la época de estiaje y la más baja la de lluvia. Para la desviación estándar la más alta se encuentra en la época de baja humedad y la más baja la época de estiaje.

Los SDT aparecen con la media más alta la tiene la época de estiaje y la más baja la de lluvia. Con la desviación estándar más alta en la época de lluvia y la más baja la época de estiaje.

En los SST la media más alta la tiene la época de estiaje y la más baja la de lluvia. Aparecen con la desviación más alta la época de estiaje y la más baja la de lluvia.

Con los Fosfatos; la media más alta y lluvia la más baja. La desviación más alta la tiene la época de humedad alta y la más baja la de baja humedad.

Para el Calcio la media más alta la tiene la época de baja humedad y la más baja la de humedad alta. El valor de desviación más alto lo tiene la temporada de estiaje y el más bajo la temporada de lluvia.

El Magnesio tiene la media más alta en el frío y la más baja en el calor. La desviación más alta la tiene la época de alta humedad y la más baja la de baja humedad.

En el Sodio la época de estiaje tiene la media más alta y la más baja la de lluvia. El valor más alto de desviación estándar aparece en la época de frío y el más bajo en calor.

Capítulo IV

Resultados

Para el Potasio la media más alta la tiene la época de estiaje y la más baja la de lluvia. Con la desviación estándar la más alta la tiene la época de frío y la más baja la de lluvia y calor.

En el Hierro la media más alta la tiene la época de estiaje y humedad alta; y la más baja la de baja humedad. La desviación más alta la posee la época de estiaje y la más baja la de baja humedad.

El Manganeso las épocas más altas en la media don estiaje, calor y alta humedad; con el mismo valor. Para la desviación estándar el valor más alto aparece en la temporada de frío y humedad baja.

En el Plomo todas las épocas muestran el mismo valor en la media. Con las desviación estándar la época que poseen las desviación estándar más alta es la tiene estiaje.

El Cadmio repite el mismo valor de media en todos los casos, Las épocas con desviación estándar más alta son el estiaje, calor y alta humedad; para los demás casos es la desviación más baja.

Con el Mercurio la media más alta la tiene la época de estiaje y la más baja la de lluvia. Con la desviación estándar la más alta la tiene la época de estiaje y la más baja la de lluvia.

En el Argón aparecen con la media más alta la época de lluvia y baja humedad; y la más baja la de estiaje. Para las desviaciones estándares la más alta la tiene la época de estiaje, frío y alta humedad; las otras con la desviación más baja.

En el Cromo todas las épocas muestran el mismo valor de media. El valor más alto de desviación lo tiene la época de estiaje y frío; y el más bajo la de lluvias, calor y humedad baja.

El Cinc tiene las medias más altas en temporada de estiaje y frío. Las épocas que aparecen con desviaciones estándares más altas son estiaje, frío y baja humedad.

Para el Cobre todos los casos presentan la misma media y la misma desviación estándar.

En el Silicio la media más alta la tiene la época de estiaje y la más baja la de lluvia. La desviación más alta la tiene la época de alta humedad y la más baja la de baja humedad.

Con el Aluminio la media más alta la tiene la época de estiaje y la más baja la de lluvia. La desviación más alta la tiene la época de estiajes y la más baja la de lluvia y baja humedad.

Para el Níquel y la Plata todas las épocas tienen el mismo valor de media y desviación estándar.

Con el DBO₅ la media más alta la tiene la época de alta humedad y la más baja la de baja humedad. La desviación más alta la tiene la época de calor y la más baja la de baja humedad.

El DQO la media más alta la tiene la época de estiaje y la más baja la de lluvia. La desviación más alta la tiene la época de estiaje y la más baja la de calor.

Capítulo IV Resultados

En las Grasas y Aceites la media más alta la tiene la época de estiaje y la más baja la de lluvia. La desviación más alta la tiene la época de frío y la más baja la de calor.

En resumidas cuentas, **casi todos los elementos reportan la media más alta en la época de estiaje y la más baja en la de lluvias**, excepto pH, Magnesio, Hierro, DBO₅ y Calcio.

Para el pH y el Calcio se reporta la época de baja humedad como la media más alta y la de baja humedad con la media más baja. Para el DBO es la alta humedad y la baja humedad, la media más alta y la más baja, respectivamente. El Hierro reporta el estiaje la media más alta pero la más baja la de baja humedad. Y por último el Magnesio reposta la media más alta en la temporada de frío y la más baja en la temporada de calor.

Con las desviaciones estándares no se encuentra un patrón entre los valores más altos y bajos con respecto a las épocas.

Para los parámetros de **Cobre, Aluminio, Manganeso, Cromo, Argón, Cadmio, Níquel, Cinc, Plomo y Plata**, no se encuentran diferencias de medias y desviación estándar entre las épocas ni en el periodo. **Es decir, se reporta el menor valor que el instrumento o la técnica de medición puede medir.**

4.3.2.2 Representación Grafica

La densidad de probabilidad de los SST, los Fosfatos (figura 38), el Sodio, el potasio, el Hierro, el Mercurio el DQO y las Grasas y Aceites; tiene una forma leptocúrtica con asimetría positiva en todos los casos. Si se percibe un ligero corrimiento a la izquierda en época de lluvias y a la derecha para el estiaje.

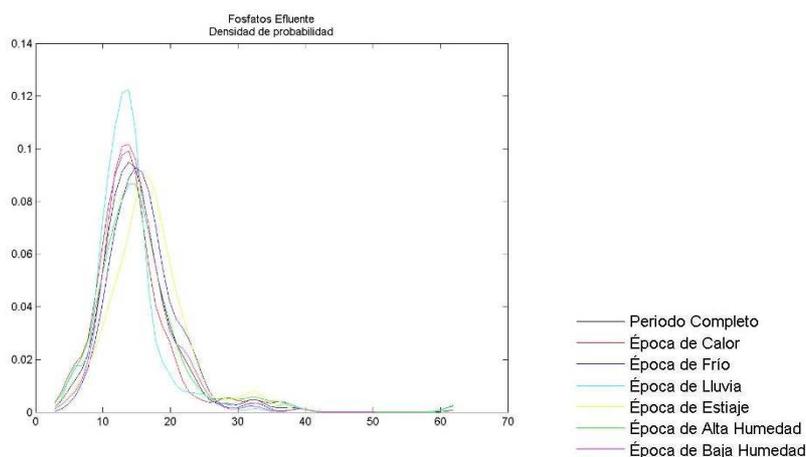


Figura 38.- Densidad de probabilidad del efluente, Fosfatos

Capítulo IV Resultados

El pH (figura 39) muestra cambios significativos, en el periodo completo se muestra simétrico leptocúrtico; para las temporadas de calor, lluvia y alta humedad conserva la leptocurtosis pero cambia a asimetría negativa mientras que para el frío tiende a ser platocúrtica simétrica, para el estiaje platocúrtica de asimetría negativa y para la baja humedad platocúrtica de asimetría positiva.

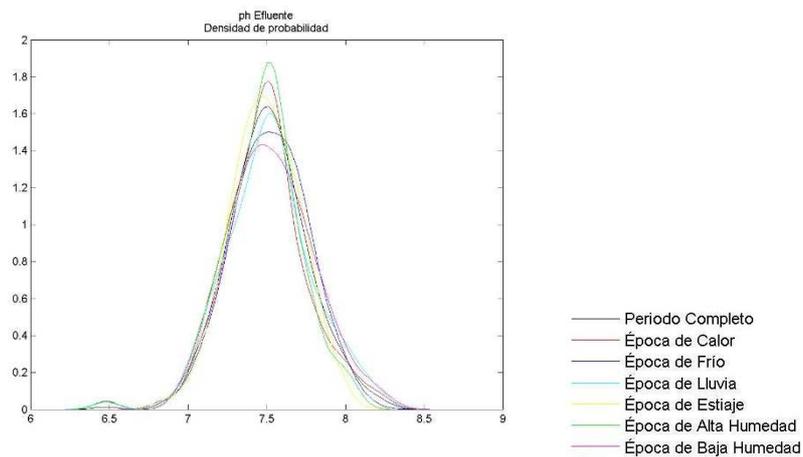


Figura 39.- Densidad de probabilidad del efluente, pH.

La Conductividad, en la mayoría de los casos tiene una forma leptocúrtica de asimetría positiva, excepto para la época de frío donde su asimetría se vuelve negativa.

Los SDT (figura 40) en todos los casos muestran forma leptocúrtica pero las épocas de calor, lluvia y alta humedad en lugar de ser asimétricamente positivas, como el resto, cambian a negativas.

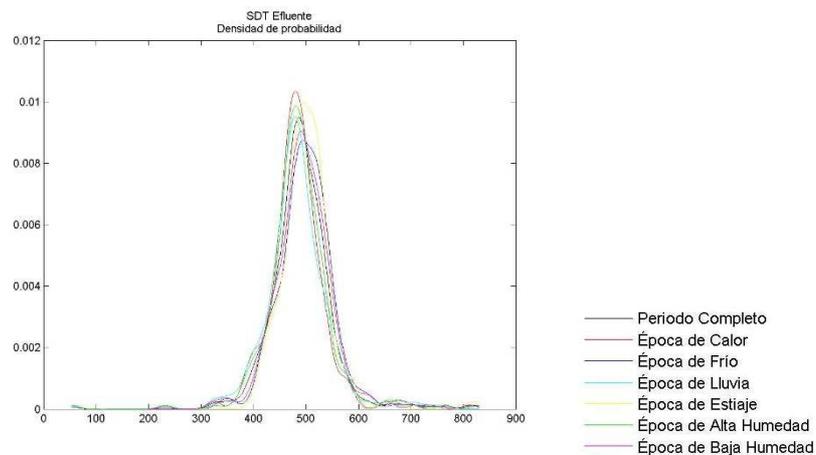


Figura 40.- Densidad de probabilidad del efluente, SDT.

Capítulo IV

Resultados

El Calcio y el Magnesio muestran una forma leptocúrtica de asimetría positiva, excepto en la época de calor donde se vuelve negativa en su asimetría.

El Silicio en la mayoría de los casos es leptocúrtica de asimetría positiva, pero en las épocas de frío y baja humedad se vuelve simétrica y platicúrtica.

El DBO₅ para casi todos los casos tiene una forma leptocúrtica de asimetría positiva, sin embargo, en la época de frío aunque conserva su asimetría la curtosis cambia a platicúrtica.

Por tener valores idénticos en la mayoría los registros, el Manganeso, el Aluminio, el Plomo, el Argón, el Cadmio, el Cobre, el Cromo, el Mercurio, la Plata y el Níquel no pueden ser evaluados por su densidad de probabilidad.

Para el efluente para casi todos los parámetros la forma de la **densidad de probabilidad es leptocúrtica de asimetría positiva, y nuevamente la época de estiaje se ve ligeramente corrida a la derecha mientras que las de lluvia lo hacen a la izquierda**, en la mayoría de los casos.

Capítulo IV

Resultados

4.4 Correlación y Regresión

4.4.1 Entre Variables Climatológicas

Como se mencionó anteriormente la correlación es un indicativo de la fuerza y dirección con la que dos variables están relacionadas. Para las correlaciones con valores entre -0.6 y 0.6 se determinó que no existe relación alguna.

Para aquellas variables en la que se encontró correlación, se realizó una regresión lineal simple y una no lineal polinomial para determinar, en relación a error de los mínimos cuadrados, que ecuación representa de mejor manera la regresión.

Todas las estaciones, en todos sus periodos muestran un coeficiente de correlación de Pearson cercano a 1 para la temperatura promedio con la temperatura máxima, mínima y las unidades de calor. Las unidades de calor mostraron una correlación cercana a 1 con la temperatura máxima y la temperatura mínima, esto tiene sentido ya que las unidades de calor se obtienen con los valores de máximos y mínimos de temperatura; por lo que para estas relaciones no se obtendrán funciones de regresión. No hay relación entre las temperaturas máximas y mínimas, tampoco se encontró que los índices de correlación entre las variables referentes a la temperatura, precipitación y evaporación tuvieran relación.

A continuación se muestra una tabla resumen de los resultados (tablas 23, 24, 25, 26, 27, 28 y 29), por épocas, con respecto a la estación en donde se encontró la máxima y mínima fuerza de correlación, las ecuaciones que las describen y el error mínimo cuadrático (RMSE) de cada ecuación.

Capítulo IV Resultados

Tabla 23.- Resumen resultados del periodo completo para correlación y regresión de variables climatológicas

Periodo Completo		
Coeficiente Máximo		Coeficiente Mínimo
Temperatura Promedio vs Temperatura Máxima		
Estación	9068 (figura 41)	9051
Valor Pearson	0.96	0.67
Ec. lineal	$Y = 1.5801X + 2.342$	$Y = 0.85442X + 10.6378$
RMSE	0.88	2.52
Ec. polinomial	$Y = 0.022088X^2 + 0.99873X + 6.0718$	$Y = 0.014062X^2 + 0.37305X + 14.6459$
RMSE	0.87	2.52
Temperatura Promedio vs Temperatura Mínima		
Estación	9036	9068
Valor Pearson	0.84	0.70
Ec. lineal	$Y = 0.91992X - 6.4231$	$Y = 0.41992X - 2.342$
RMSE	1.67	0.88
Ec. polinomial	$Y = -0.01433X^2 + 1.4088X - 10.4696$	$Y = -0.022088X^2 + 1.0013X - 6.0718$
RMSE	1.66	0.87
Temperatura Promedio vs Unidades de Calor		
Estación	9036 y 9045	9041
Valor Pearson	0.99 en ambas	0.97
Ec. lineal	$Y = 0.84506X - 6.9794$	$Y = 0.70184X - 4.9008$
RMSE	0.339	0.48
Ec. polinomial	$Y = 0.017521X^2 + 0.2473X - 2.0321$	$Y = 0.054715X^2 + 0.015089X - 0.29859$
RMSE	0.28	0.42

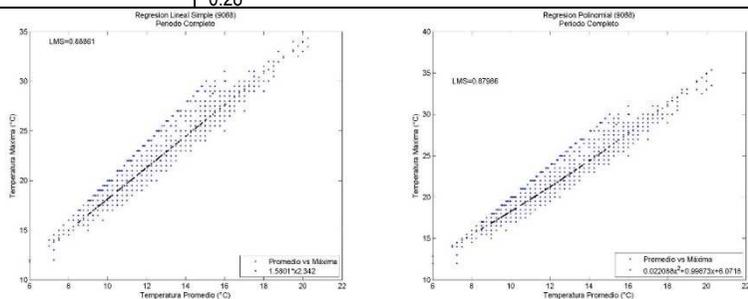


Figura 41.- Ecuación de regresión lineal y polinomial para el periodo completo, estación 9068

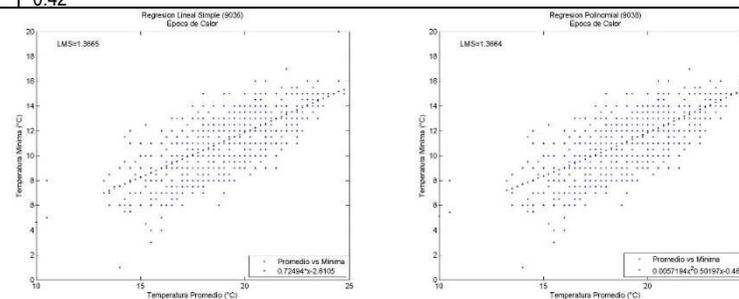


Figura 42.- Ecuación de regresión lineal y polinomial para la época de calor, estación 9036

Capítulo IV Resultados

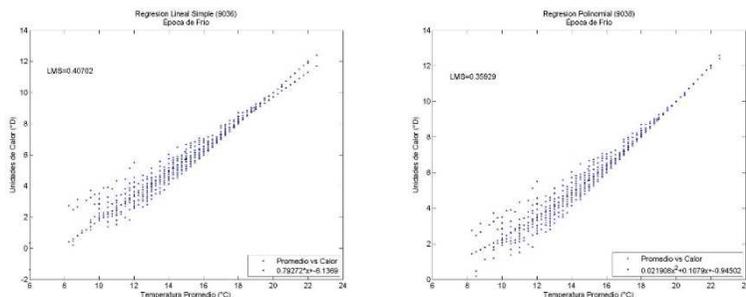


Figura 43.- Ecuación de regresión lineal y polinomial para la época de frío, estación 9036

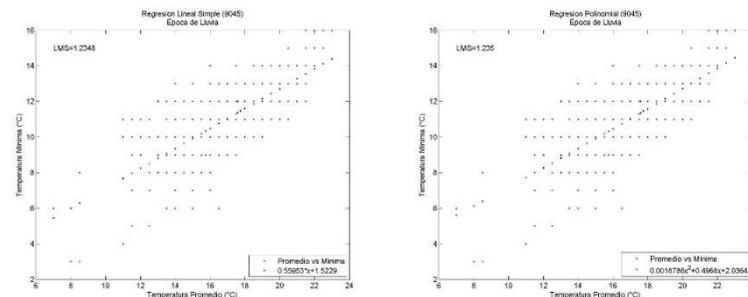


Figura 44.- Ecuación de regresión lineal y polinomial para la época de lluvia, estación 9045

Tabla 24.- Resumen resultados del análisis de correlación y regresión para las variables climatológicas en las época de calor y de frío

Época de Calor		Época de Frío	
Coeficiente Máximo		Coeficiente Mínimo	
Temperatura Promedio vs Temperatura Máxima			
Estación	9068	9051	9068
Valor Pearson	0.98	0.70	0.95
Ec. de lineal	$Y = 1.7413X - 0.24838$	$Y = 1.1613X + 5.2024$	$Y = 1.5782X + 2.6196$
RMSE	0.58	2.23	1.03
Ec. polinomial	$Y = -0.030579X^2 + 2.6329X - 6.6645$	$Y = -0.016133X^2 + 1.7845X - 0.75886$	$Y = 0.030186X^2 + 0.83598X + 7.0695$
RMSE	0.56	2.22	1.02
Temperatura Promedio vs Temperatura Mínima			
Estación	9036 (figura 42)	9041	9068
Valor Pearson	0.73	0.65	0.84
Ec. de lineal	$Y = 0.72494X - 2.6105$	$Y = 0.61492X - 1.4085$	$Y = 1.3715X - 14.1342$
RMSE	1.36	1.42	2.57
Ec. polinomial	$Y = 0.0057194X^2 + 0.50197X - 0.4613$	$Y = -0.016933X^2 + 1.1656X - 5.8196$	$Y = 0.036574X^2 + 0.17889X - 4.7343$
RMSE	1.36	1.42	2.54
Temperatura Promedio vs Unidades de Calor			
Estación	9036 y 9045	9041	9036 (figura 43) y 9045
Valor Pearson	1.00 en ambas	0.98	0.98
Ec. de lineal	$Y = 0.9349X - 8.7233$	$Y = 0.8698X - 7.5891$	$Y = 0.79272X - 6.1369$
RMSE	0.13	0.31	0.40
Ec. polinomial	$Y = 0.00068544X^2 + 0.96162X - 8.9808$	$Y = 0.020006X^2 + 0.21923X - 2.3776$	$Y = 0.021908X^2 + 0.1079X - 0.94502$
RMSE	0.13	0.29	0.35

Capítulo IV Resultados

Tabla 25.- Resumen resultados del análisis de correlación y regresión para las variables climatológicas en las época de lluvia y de estiaje

	Época de Lluvia		Época de Estiaje	
	Coefficiente Máximo	Coefficiente Mínimo	Coefficiente Máximo	Coefficiente Mínimo
Temperatura Promedio vs Temperatura Máxima				
Estación	9068	9051	9068	9051
Valor Pearson	0.98	0.76	0.96	0.64
Ec. de lineal	$Y = 1.7286X - 0.035397$	$Y = 1.3359X + 1.2988$	$Y = 1.5374X + 3.1488$	$Y = 0.77091X + 12.5616$
RMSE	0.63	2.10	0.96	2.71
Ec. de polinomial	$Y = -0.032438X^2 + 2.6669X$	$Y = -0.019999X^2 + 2.0998X$	$Y = 0.010024X^2 + 1.2833X + 4.7088$	$Y = -0.031816X^2 + 1.8191X$
RMSE	0.62	2.09	0.96	2.69
Temperatura Promedio vs Temperatura Mínima				
Estación	9045 (figura 44)	9041	9032 (figura 45)	9068
Valor Pearson	0.72	0.61	0.87	0.73
Ec. de lineal	$Y = 0.55953X + 1.5229$	$Y = 0.51183X + 0.66874$	$Y = 0.80777X - 4.2156$	$Y = 0.46258X - 3.1488$
RMSE	1.23	1.34	1.23	0.96
Ec. de polinomial	$Y = 0.0018786X^2 + 0.4968X$	$Y = -0.01267X^2 + 0.91593X$	$Y = -0.015708X^2 + 1.259X$	$Y = -0.010024X^2 + 0.71674X$
RMSE	1.23	1.33	1.21	0.96
Temperatura Promedio vs Unidades de Calor				
Estación	9036	Todas las demás	9036 v 9045	9051
Valor Pearson	1.00	0.99	0.99 ambas	0.97
Ec. de lineal	$Y = 0.94606X - 8.9585$	$Y = 0.8368X - 6.2043$	$Y = 0.82066X - 6.5113$	$Y = 0.7575X - 5.2679$
RMSE	0.13	0.18	0.40	0.53
Ec. de polinomial	$Y = 0.0015196X^2 + 0.88741X$	$Y = -0.00887X^2 + 1.0934X$	$Y = 0.016047X^2 + 0.28912X$	$Y = 0.019584X^2 + 0.11226X$
RMSE	0.12	0.17	0.35	0.49

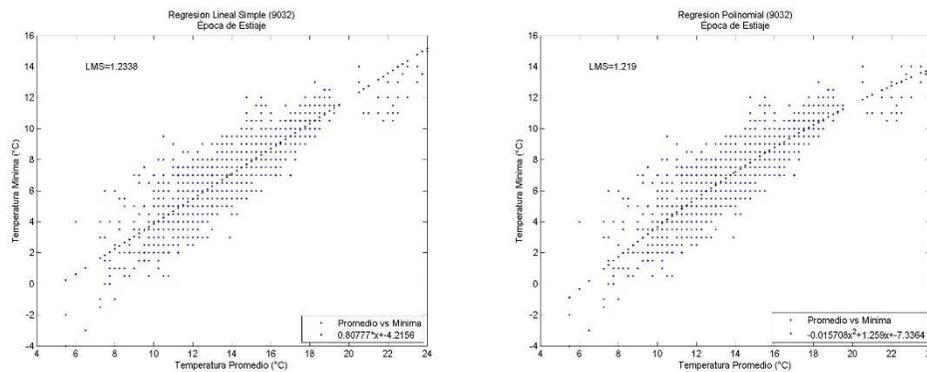


Figura 45.- Ecuación de regresión lineal y polinomial para la época de lluvia, estación 9032

Capítulo IV Resultados

Tabla 26.- Resumen resultados del análisis de correlación y regresión para las variables climatológicas en las época de alta humedad y de baja humedad

		Alta Humedad		Baja Humedad	
		Coficiente Máximo	Coficiente Mínimo	Coficiente Máximo	Coficiente Mínimo
Temperatura Promedio vs Temperatura Máxima					
Estación	9068	9045	9068	9032 y 9051	
Valor Pearson	0.98	0.67	0.95	0.62 ambas	
Ec. de lineal	$Y = 1.6834X + 0.64126$	$Y = 1.2592X + 2.263$	$Y = 1.5828X + 2.5016$	$Y = 0.89244X + 7.2561$	
RMSE	0.65	1.37	1.02	1.39	
Ec. de polinomial	$Y = -0.0039363X^2 + 1.7968X - 0.16449$	$Y = -0.016209X^2 + 1.8096X - 2.3213$	$Y = 0.031477X^2 + 0.80065X + 7.2348$	$Y = -0.0010872X^2 + 0.92022X + 7.0839$	
RMSE	0.64	1.36	1.01	1.39	
Temperatura Promedio vs Temperatura Mínima					
Estación	9036	9068	9036	9068	
Valor Pearson	0.81	0.64	0.86	0.63	
Ec. de lineal	$Y = 0.82052X - 4.7502$	$Y = 0.31664X - 0.64126$	$Y = 1.0708X - 8.6743$	$Y = 0.41725X - 2.5016$	
RMSE	1.42	0.65	1.70	1.02	
Ec. de polinomial	$Y = 0.00123437X^2 + 0.77404X - 4.3243$	$Y = 0.0039363X^2 + 0.2032X + 0.16449$	$Y = 0.011179X^2 + 0.71489X - 5.9337$	$Y = -0.031477X^2 + 1.1994X - 7.2348$	
RMSE	1.42	0.64	1.70	1.01	
Temperatura Promedio vs Unidades de Calor					
Estación	9036	9041	9036, 9045 y 9068	9041	
Valor Pearson	1.00	0.98	0.98 las tres	0.95	
Ec. de lineal	$Y = 0.90327X - 8.0718$	$Y = 0.79238X - 6.2374$	$Y = 0.80178X - 6.2658$	$Y = 0.60739X - 3.7345$	
RMSE	0.21	0.39	0.38	0.46	
Ec. de polinomial	$Y = 0.0086606X^2 + 0.57964X - 5.1055$	$Y = 0.0258X^2 - 0.0078999X - 0.17383$	$Y = 0.023679X^2 + 0.047968X - 0.46085$	$Y = 0.0159X^2 + 0.20888X - 1.3317$	
RMSE	0.19	0.33	0.32	0.44	

Con los valores máximos de correlación entre la temperatura promedio y la temperatura máxima, para todos los casos aparece la estación 9068 ubicada en la delegación Venustiano Carranza de bajas altitudes y suburbano. Las correlaciones más fuertes se encuentran en la época de calor, lluvia y alta humedad.

Para la temperatura promedio versus la temperatura mínima, la máxima correlación para casi todos los casos la tiene la estación 9036 localizada en la delegación Benito Juárez de bajas altitudes y altamente urbanizado; excepto para las épocas de frío, lluvia y estiaje donde son las estaciones 9051, 9045 y 9032, respectivamente, las que presentan máxima correlación. Aquí las correlaciones más fuertes se observan en las épocas de frío, estiaje y baja humedad.

En el caso de la temperatura promedio contra las unidades de calor, en la mayoría de los casos las correlaciones máximas se presentan en las estaciones 9036 y 9045, pero no tiene una característica en común. Para las épocas de lluvia, alta y baja humedad, en las primeras dos temporadas, solo aparece la estación 9036 y en la última se agrega la estación 9068.

Capítulo IV

Resultados

Para los valores mínimos de correlación para la temperatura promedio y la temperatura máxima, la estación 9051 aparece en la mayoría de los casos, menos en las épocas de frío y alta humedad; esta se ubica en la delegación Tláhuac donde hay bajas altitudes y es suburbano. A pesar de sus bajos índices de correlación, las épocas con valores más altos son calor, frío y lluvia.

Con la temperatura promedio y la temperatura mínima, la estación que aparece con mayor frecuencia es la 9068, menos en las épocas de calor y lluvia donde aparece la estación 9041. En este caso, durante la época de estiaje se observa una correlación que destaca por estar muy por encima de las demás.

La menor correlación entre la temperatura promedio y las unidades de calor, en la mayoría de los casos, la tiene la estación 9051, excepto en la temporada de estiaje. Las épocas de calor, estiaje y alta humedad presentan los índices más altos en estas correlaciones mínimas.

En conclusión, **la correlación de la temperatura promedio y las unidades de calor es la más fuerte, la ecuación que mejor describe el comportamiento es la polinomial**, aunque los errores de los mínimos cuadrados de las ecuaciones lineales y las no lineales son muy cercanos, por lo que la ecuación lineal podría usarse.

Le siguen en fuerza las correlaciones entre la temperatura promedio contra la temperatura máxima y por último la temperatura promedio contra la temperatura mínima.

No se encuentra que la urbanización y la altura sean un factor de fuerza en la correlación y tampoco se encuentra que las épocas determinen la fuerza y dirección de la correlación.

4.4.2 Entre Parámetros de la PTAR “Cerro de la Estrella”

Los resultados respecto a la fuerza de correlación para el influente pueden verse en el anexo 7. En las siguientes secciones se muestran tablas resumen con el valor del coeficiente de Pearson para aquellos parámetros cuyo valor es mayor a 0.6 o menor a -0.6, la época en que se presentan y las ecuaciones lineales y polinomiales que los describen, así como el error de mínimos cuadrados, tanto para influente como para efluente.

Capítulo IV Resultados

Se encontrará en el anexo 7 que los parámetros del Cobre, Mercurio, Manganeso, Cadmio, Níquel, Plomo y Plata dl influente; y el Cobre, Aluminio, Manganeso, Cromo, Argón, Cadmio, Níquel, Cinc, Plomo y Plata del efluente, pueden tener correlaciones con otros parámetros. Sin embargo, considerando la justificación dada en el análisis estadístico del influente y el efluente (sección 4.3.2.1), estos parámetros no son analizados en esta sección.

4.4.2.1 Influyente

Periodo Completo

Tabla 27.- Resumen del análisis de correlación y regresión del influente. Periodo completo

Conductividad vs SDT		Conductividad vs Magnesio	
Valor Pearson	0.74	Valor Pearson	0.61
Ec. Lineal	$Y = 0.54035X + 32.5149$	Ec. Lineal	$Y = 0.018865X + 5.4938$
RMSE	74.87	RMSE	3.83
Ec. Polinomial	$Y = 0.00016665X^2 + 0.29468X + 179.1165$	Ec. Polinomial	$Y = 1.7124x10^{-5}X^2 - 0.006376X + 14.3771$
RMSE	74.25	RMSE	3.67
Conductividad vs Sodio		Conductividad vs Silicio	
Valor Pearson	0.66	Valor Pearson	0.66
Ec. Lineal	$Y = 0.10247X + 0.43921$	Ec. Lineal	$Y = 0.025863X + 5.9523$
RMSE	18.15	RMSE	3.72
Ec. Polinomial	$Y = 5.5032x10^{-6}X^2 - 0.094354X + 3.2954$	Ec. Polinomial	$Y = -1.4723x10^{-5}X^2 + 0.046816X - 1.2412$
RMSE	18.17	RMSE	3.73
SDT vs Magnesio		SST vs Hierro	
Valor Pearson	0.62	Valor Pearson	0.63
Ec. Lineal	$Y = 0.026325X + 6.4886$	Ec. Lineal	$Y = 0.0062341X + 0.11565$
RMSE	3.77	RMSE	0.50
Ec. Polinomial	$Y = 1.1648x10^{-5}X^2 - 0.012389X + 10.386$	Ec. Polinomial	$Y = 1.5116x10^{-5}X^2 + 0.00099838X + 0.43957$
RMSE	3.73	RMSE	0.48
SST vs Aluminio		SST vs DQO	
Valor Pearson	0.64	Valor Pearson	0.62
Ec. Lineal	$Y = 0.0095268X + 0.0071317$	Ec. Lineal	$Y = 1.229X + 150.9069$
RMSE	0.76	RMSE	99.72
Ec. Polinomial	$Y = 1.1723x10^{-5}X^2 + 0.0052467X + 0.28073$	Ec. Polinomial	$Y = -0.0020674X^2 + 1.9356X - 107.4098$

Capítulo IV Resultados

RMSE	0.76	RMSE	98.35
Fosfatos vs DBO₅		Hierro vs Aluminio	
Valor Pearson	0.65	Valor Pearson	0.84
Ec. Lineal	$Y = 4.2927X + 36.6651$	Ec. Lineal	$Y = 1.234X + 0.021611$
RMSE	42.65	RMSE	0.54
Ec. Polinomial	$Y = -0.099326X^2 + 9.5963X + 20.9931$	Ec. Polinomial	$Y = -0.017083X^2 + 1.3013X - 0.014553$
RMSE	38.86	RMSE	0.54
DBO₅ vs DQO			
Valor Pearson	0.80		
Ec. Lineal	$Y = 1.7889X + 68.6007$		
RMSE	76.70		
Ec. Polinomial	$Y = 0.0021722X^2 + 1.2191X + 99.057$		
RMSE	76.00		

Época de Calor

Tabla 28.- Resumen del análisis de correlación y regresión del influente. Época de calor

Conductividad vs SDT		Conductividad vs Magnesio	
Valor Pearson	0.75	Valor Pearson	0.64
Ec. Lineal	$Y = 0.60135X + 49.0016$	Ec. Lineal	$Y = 0.021722X + 2.787$
RMSE	85.38	RMSE	4.30
Ec. Polinomial	$Y = 0.0029278X^2 + 0.164709X + 202.314$	Ec. Polinomial	$Y = 2.5995x10^{-5}X^2 - 0.16887X + 16.3989$
RMSE	82.76	RMSE	3.81
Conductividad vs Sodio		Conductividad vs Potasio	
Valor Pearson	0.85	Valor Pearson	0.75
Ec. Lineal	$Y = 0.10608X - 2.8962$	Ec. Lineal	$Y = 0.013356X + 5.4559$
RMSE	10.90	RMSE	1.92
Ec. Polinomial	$Y = 2.1419x10^{-5}X^2 + 0.074266X + 8.3213$	Ec. Polinomial	$Y = -1.2404x10^{-5}X^2 + 0.031778X - 1.0401$
RMSE	10.80	RMSE	1.67
SDT vs Magnesio		SDT vs Sodio	
Valor Pearson	0.66	Valor Pearson	0.74
Ec. Lineal	$Y = 0.027363X + 5.1986$	Ec. Lineal	$Y = 0.1146X + 18.096$
RMSE	4.24	RMSE	13.85
Ec. Polinomial	$Y = 1.6895x10^{-5}X^2 + 0.0058253X + 11.3722$	Ec. Polinomial	$Y = -4.595x10^{-5}X^2 + 0.17315X + 1.3124$
RMSE	4.11	RMSE	13.58
SST vs Hierro		SST vs Aluminio	

Capítulo IV Resultados

Valor Pearson	0.73	Valor Pearson	0.76
Ec. Lineal	$Y = 0.0072865X + 0.040048$	Ec. Lineal	$Y = 0.010628X - 0.032428$
RMSE	0.51	RMSE	0.72
Ec. Polinomial	$Y = 1.74x10^{-5}X^2 + 0.0006262X + 0.47336$	Ec. Polinomial	$Y = 6.8304x10^{-5}X^2 + 0.0078756X + 0.14753$
RMSE	0.47	RMSE	0.72
SST vs DQO		Fosfatos vs DBO₅	
Valor Pearson	0.65	Valor Pearson	0.67
Ec. Lineal	$Y = 1.236X + 140.9066$	Ec. Lineal	$Y = 4.8398X + 28.5505$
RMSE	105.43	RMSE	46.86
Ec. Polinomial	$Y = -2.1862x10^{-5}X^2 + 1.2443X + 140.3667$	Ec. Polinomial	$Y = -0.10571x10^{-5}X^2 + 10.0937X - 24.6064$
RMSE	105.64	RMSE	44.02
Calcio vs Magnesio		Sodio vs Potasio	
Valor Pearson	0.72	Valor Pearson	0.74
Ec. Lineal	$Y = 0.60076X + 0.52996$	Ec. Lineal	$Y = 0.1043X + 7.4163$
RMSE	3.93	RMSE	1.99
Ec. Polinomial	$Y = 0.0082838X^2 - 0.0054039X + 10.8825$	Ec. Polinomial	$Y = -0.0081476X^2 + 0.23806X + 2.329$
RMSE	3.57	RMSE	1.68
Hierro vs Aluminio		DBO₅ vs DQO	
Valor Pearson	0.91	Valor Pearson	0.82
Ec. Lineal	$Y = 1.2317X + 0.015499$	Ec. Lineal	$Y = 1.8591X + 63.5114$
RMSE	0.46	RMSE	80.25
Ec. Polinomial	$Y = -0.033192X^2 + 1.3797X + 0.070851$	Ec. Polinomial	$Y = 0.0026698X^2 + 1.0795X + 107.8819$
RMSE	3.57	RMSE	78.14

Época de Frío

Tabla 29.- Resumen del análisis de correlación y regresión del influente. Época de Frío

Conductividad vs SDT		Conductividad vs Silicio	
Valor Pearson	0.68	Valor Pearson	0.70
Ec. Lineal	$Y = 0.42687X + 176.4413$	Ec. Lineal	$Y = 0.025745X + 5.8649$
RMSE	59.43	RMSE	2.72
Ec. Polinomial	$Y = -0.0060818X^2 + 1.3228X - 139.3889$	Ec. Polinomial	$Y = -5.577x10^{-5}X^2 + 0.10233X - 24.3181$
RMSE	55.67	RMSE	2.83
SST vs DQO		Fosfatos vs DBO₅	

Capítulo IV Resultados

Valor Pearson	0.64	Valor Pearson	0.61
Ec. Lineal	$Y = 1.3596X + 151.3013$	Ec. Lineal	$Y = 3.4963X + 52.1507$
RMSE	90.06	RMSE	39.68
Ec. Polinomial	$Y = -0.0038822X^2 + 2.5297X - 83.7532$	Ec. Polinomial	$Y = -0.090917X^2 + 8.8496X - 11.8497$
RMSE	87.03	RMSE	35.69
Hierro vs Aluminio		DBO₅ vs DQO	
Valor Pearson	0.67	Valor Pearson	0.78
Ec. Lineal	$Y = 1.1674X + 0.063028$	Ec. Lineal	$Y = 1.7434X + 69.4773$
RMSE	0.59	RMSE	69.97
Ec. Polinomial	$Y = -0.099196X^2 + 1.3983X - 0.029199$	Ec. Polinomial	$Y = 0.0011663X^2 + 1.4584X + 84.0208$
RMSE	0.59	RMSE	70.04

Época de Lluvia

Tabla 30.- Resumen del análisis de correlación y regresión del influente. Época de lluvia

Conductividad vs SDT		Conductividad vs Sodio	
Valor Pearson	0.81	Valor Pearson	0.80
Ec. Lineal	$Y = 0.57557X + 67.0659$	Ec. Lineal	$Y = 0.1018X + 0.39346$
RMSE	63.18	RMSE	11.43
Ec. Polinomial	$Y = -0.00040392X^2 + 1.0941X - 88.7438$	Ec. Polinomial	$Y = -8.2688x10^{-5}X^2 + 0.20758X - 31.09886$
RMSE	62.11	RMSE	11.17
Conductividad vs Potasio		SDT vs Fosfatos	
Valor Pearson	0.81	Valor Pearson	0.60
Ec. Lineal	$Y = 0.0168X + 30.0251$	Ec. Lineal	$Y = 0.041874X - 3.5392$
RMSE	1.81	RMSE	5.96
Ec. Polinomial	$Y = -1.5844x10^{-5}X^2 + 0.037069X - 3.0289$	Ec. Polinomial	$Y = 5.5708x10^{-5}X^2 - 0.0091463X + 7.5007$
RMSE	1.75	RMSE	5.87
SDT vs Sodio		SDT vs Potasio	
Valor Pearson	0.72	Valor Pearson	0.68
Ec. Lineal	$Y = 0.12814X + 10.7539$	Ec. Lineal	$Y = 0.13153X + 5.4802$
RMSE	13.24	RMSE	1.84
Ec. Polinomial	$Y = -0.0021815X^2 + 0.32762X - 32.2421$	Ec. Polinomial	$Y = -4.8113x10^{-5}X^2 + 0.063581X - 3.8803$
RMSE	12.53	RMSE	2.08
SDT vs DBO₅		SST vs Hierro	
Valor Pearson	0.60	Valor Pearson	0.68
Ec. Lineal	$Y = 0.31158X - 51.933$	Ec. Lineal	$Y = 0.0073484X + 0.095379$

Capítulo IV Resultados

RMSE	44.51	RMSE	0.53
Ec. Polinomial	$Y = 0.00997171X^2 - 0.57841X + 140.3168$	Ec. Polinomial	$Y = 1.4993x10^{-5}X^2 + 0.0019675X + 0.40746$
RMSE	40.13	RMSE	0.51
SST vs Aluminio		SST vs DQO	
Valor Pearson	0.69	Valor Pearson	0.67
Ec. Lineal	$Y = 0.011614X - 0.035617$	Ec. Lineal	$Y = 1.2339X + 118.5566$
RMSE	0.81	RMSE	88.59
Ec. Polinomial	$Y = 2.7642x10^{-6}X^2 + 0.010561X + 0.02756$	Ec. Polinomial	$Y = 0.0010671X^2 + 0.85489X + 140.4214$
RMSE	0.81	RMSE	88.15
Fosfatos vs DBO₅		Calcio vs Magnesio	
Valor Pearson	0.64	Valor Pearson	0.64
Ec. Lineal	$Y = 4.7551X + 18.06323$	Ec. Lineal	$Y = 0.51194X + 2.9791$
RMSE	42.85	RMSE	3.39
Ec. Polinomial	$Y = -0.073052X^2 + 8.0222X - 10.9866$	Ec. Polinomial	$Y = -0.0072231X^2 + 0.95361X - 3.5558$
RMSE	41.93	RMSE	3.39
Sodio vs Potasio		Hierro vs Aluminio	
Valor Pearson	0.81	Valor Pearson	0.84
Ec. Lineal	$Y = 0.13153X + 5.4802$	Ec. Lineal	$Y = 1.2264X + 0.035799$
RMSE	1.84	RMSE	0.61
Ec. Polinomial	$Y = -.00066082X^2 + 0.22123X + 2.6859$	Ec. Polinomial	$Y = -0.73292X^2 + 1.3675X - 0.040378$
RMSE	1.79	RMSE	0.61
DBO₅ vs DQO			
Valor Pearson	0.87		
Ec. Lineal	$Y = 1.8777X + 54.4923$		
RMSE	60.46		
Ec. Polinomial	$Y = 0.0028173X^2 + 1.0749X + 96.7609$		
RMSE	57.20		

Época de Estiaje

Tabla 31.- Resumen del análisis de correlación y regresión del influente. Época de Estiaje

Conductividad vs Magnesio		Conductividad vs Silicio	
Valor Pearson	0.62	Valor Pearson	0.76
Ec. Lineal	$Y = 0.02315X + 1.7833$	Ec. Lineal	$Y = 0.030192X + 2.6747$
RMSE	3.90	RMSE	3.05
Ec. Polinomial	$Y = 4.0478x10^{-5}X^2 - 0.051294X + 34.8268$	Ec. Polinomial	$Y = 4.0478x10^{-5}X^2 + 0.051294X + 34.8268$

Capítulo IV Resultados

RMSE	2.88	RMSE	2.88
SDT vs Magnesio		SDT vs Silicio	
Valor Pearson	0.61	Valor Pearson	0.70
Ec. Lineal	$Y = 0.027052X + 6.1109$	Ec. Lineal	$Y = 0.024213X + 13.3023$
RMSE	3.93	RMSE	3.36
Ec. Polinomial	$Y = 4.03x10^{-5}X^2 + 0.036868X + 28.2413$	Ec. Polinomial	$Y = -3.6139x10^{-5}X^2 + 0.081449X - 6.4013$
RMSE	3.47	RMSE	3.06
SST vs Hierro		SST vs Aluminio	
Valor Pearson	0.67	Valor Pearson	0.70
Ec. Lineal	$Y = 0.0011423X + 0.14527$	Ec. Lineal	$Y = 0.0018822X - 0.044674$
RMSE	0.51	RMSE	0.70
Ec. Polinomial	$Y = 8.1672x10^{-6}X^2 + 0.0026033X + 0.26531$	Ec. Polinomial	$Y = 9.9947x10^{-6}X^2 + .0037513X + 0.27181$
RMSE	0.39	RMSE	0.52
Hierro vs Aluminio			
Valor Pearson	0.86		
Ec. Lineal	$Y = 1.1847X + 1.032284$		
RMSE	0.37		
Ec. Polinomial	$Y = 0.018389X^2 + 0.101302X + 0.058631$		
RMSE	0.37		

Época de Alta Humedad

Tabla 32.- Resumen del análisis de correlación y regresión del influente. Época de alta humedad

Conductividad vs SDT		Conductividad vs Magnesio	
Valor Pearson	0.71	Valor Pearson	0.63
Ec. Lineal	$Y = 0.56622X + 72.8523$	Ec. Lineal	$Y = 0.0221162X + 2.9508$
RMSE	87.72	RMSE	4.16
Ec. Polinomial	$Y = 0.00029225X^2 + 0.1093X + 244.0527$	Ec. Polinomial	$Y = 2.74x10^{-5}X^2 - 0.02178X + 19.0344$
RMSE	85.33	RMSE	3.6
Conductividad vs Sodio		SDT vs Magnesio	
Valor Pearson	0.74	Valor Pearson	0.66
Ec. Lineal	$Y = 0.10604X - 1.7786$	Ec. Lineal	$Y = 0.027263X + 5.17754$
RMSE	15.54	RMSE	4.03
Ec. Polinomial	$Y = 1.5241x10^{-5}X^2 + 0.082146X + 7.1731$	Ec. Polinomial	$Y = 2.0262x10^{-5}X^2 + 0.00021997X + 13.2801$
RMSE	15.54	RMSE	3.85
SDT vs Sodio		SST vs Hierro	

Capítulo IV Resultados

Valor Pearson	0.61	Valor Pearson	0.72
Ec. Lineal	$Y = 0.10836X + 23.39624$	Ec. Lineal	$Y = 0.0071017X + 0.0039064$
RMSE	18.25	RMSE	0.51
Ec. Polinomial	$Y = -4.5924x10^{-5}X^2 + 0.16962X + 5.0397$	Ec. Polinomial	$Y = 2.0304x10^{-5}X^2 - 0.00079083X + 0.54762$
RMSE	18.09	RMSE	0.47
SST vs Aluminio		SST vs DQO	
Valor Pearson	0.73	Valor Pearson	0.63
Ec. Lineal	$Y = 0.0098756X + 0.018293$	Ec. Lineal	$Y = 1.1876X + 165.1219$
RMSE	0.74	RMSE	107.92
Ec. Polinomial	$Y = 1.2029x10^{-5}X^2 + 0.0049599X + 0.35641$	Ec. Polinomial	$Y = -0.00014242X^2 + 1.2422X + 161.3495$
RMSE	0.74	RMSE	108.14
Fosfatos vs DBO₅		Calcio vs Magnesio	
Valor Pearson	0.61	Valor Pearson	0.71
Ec. Lineal	$Y = 4.1265X + 46.8389$	Ec. Lineal	$Y = 0.60412X + 0.75641$
RMSE	48.71	RMSE	3.77
Ec. Polinomial	$Y = -0.11115X^2 + 10.1601X - 20.4599$	Ec. Polinomial	$Y = 0.0087607X^2 - 0.060968X + 12.447$
RMSE	45.13	RMSE	3.36
Hierro vs Aluminio		DBO₅ vs DQO	
Valor Pearson	0.91	Valor Pearson	0.80
Ec. Lineal	$Y = 1.2085X + 0.080372$	Ec. Lineal	$Y = 1.814X + 72.9759$
RMSE	0.44	RMSE	82.83
Ec. Polinomial	$Y = -0.029358X^2 + 1.3426X + 0.0015254$	Ec. Polinomial	$Y = 0.0027753X^2 + 0.98769X + 123.0519$
RMSE	0.44	RMSE	80.59

Época de Baja Humedad

Tabla 33.- Resumen del análisis de correlación y regresión del influente. Época de baja humedad

Conductividad vs SDT		Conductividad vs Potasio	
Valor Pearson	0.78	Valor Pearson	0.69
Ec. Lineal	$Y = 0.50519X + 118.9773$	Ec. Lineal	$Y = 0.014897X + 4.4052$
RMSE	59.12	RMSE	2.27
Ec. Polinomial	$Y = -0.00056446X^2 + 1.2714X - 126.4778$	Ec. Polinomial	$Y = -1.7196X^2 + 0.038213X - 3.0534$
RMSE	55.93	RMSE	2.19
Conductividad vs Silicio		SDT vs Potasio	
Valor Pearson	0.65	Valor Pearson	0.64
Ec. Lineal	$Y = 0.024486X + 7.2529$	Ec. Lineal	$Y = 0.021237X + 5.090$

Capítulo IV Resultados

RMSE	2.89	RMSE	2.41
Ec. Polinomial	$Y = -4.1315x10^{-5}X^2 + 0.087909X - 16.6453$	Ec. Polinomial	$Y = -4.2331x10^{-5}X^2 + 0.05947X - 3.1634$
RMSE	2.89	RMSE	2.32
SST vs DQO		Fosfatos vs DBO₅	
Valor Pearson	0.62	Valor Pearson	0.66
Ec. Lineal	$Y = 1.3298X + 133.5524$	Ec. Lineal	$Y = 4.1404X + 33.682$
RMSE	88.07	RMSE	37.32
Ec. Polinomial	$Y = -0.0032594X^2 + 2.2958X + 80.4391$	Ec. Polinomial	$Y = -0.086038X^2 + 8.7016X + 15.1773$
RMSE	85.99	RMSE	33.72
Magnesio vs Potasio		Sodio vs Potasio	
Valor Pearson	0.65	Valor Pearson	0.77
Ec. Lineal	$Y = 0.5208X + 5.0516$	Ec. Lineal	$Y = 0.099683X + 7.9255$
RMSE	2.37	RMSE	1.99
Ec. Polinomial	$Y = 0.0040527X^2 + 0.37339X + 6.3134$	Ec. Polinomial	$Y = -0.00017956X^2 + 0.14231X + 5.8083$
RMSE	2.37	RMSE	1.94
DBO₅ vs DQO			
Valor Pearson	0.79		
Ec. Lineal	$Y = 1.7457X + 63.991$		
RMSE	66.34		
Ec. Polinomial	$Y = 0.0013861X^2 + 1.4209X + 79.5256$		
RMSE	66.34		

De lo anterior se puede resumir que: **la Conductividad** (figura 46), **los SDT**, **los SST** (figura 47), **los Fosfatos**, **la DBO₅** (figura 48) y **la DQO**, a pesar de tener un coeficiente de correlación de Pearson arriba de 0.6, el **RMSE de las ecuaciones lineales y polinomiales que describen su comportamiento, es mayor a 5. Es decir, predecir la concentración de estos parámetros en términos de otros tiene un error significativo. Además, el registro de estos parámetros apoyaría a la operación/eficiencia de la planta de tratamiento, excepto en el caso de fosfatos. Por lo que se determinó que deben existir sensores que registren el valor de estas variables en el influente.**

Capítulo IV Resultados

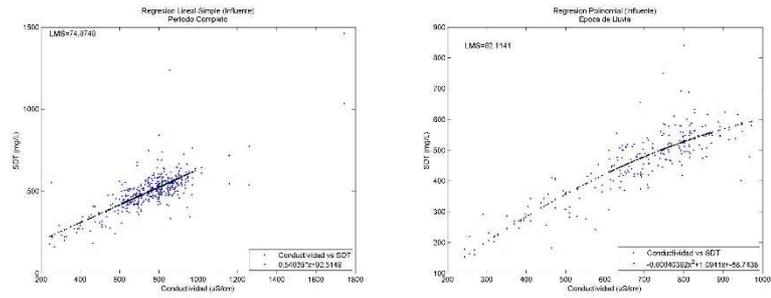


Figura 46.- Conductividad vs SDT.

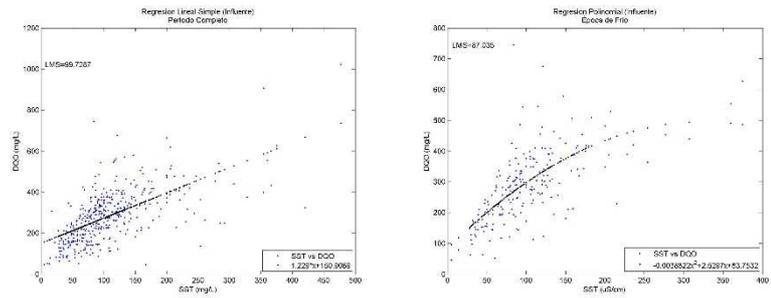


Figura 47.- SST vs DCO.

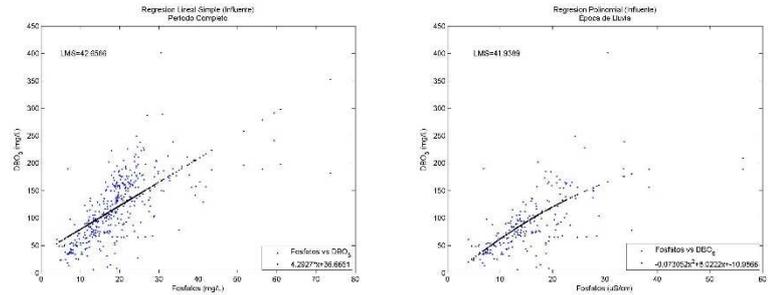


Figura 48.- Fosfatos vs DBO₅.

Se encontraron ecuaciones, ya sean lineales o polinomiales, que relacionan un parámetro con otro y donde el RMSE es menor a 5 en el análisis del periodo completo y para cada una de las épocas analizadas; en los párrafos siguientes se describe las correlaciones encontradas y se ilustran los casos más representativos.

Para el periodo completo el criterio se cumple para: la Conductividad con el Magnesio (figura 49), la Conductividad con el Silicio, los SDT con el Magnesio, los SST con el Hierro, los SST con el Aluminio y el Hierro con el Aluminio.

Capítulo IV Resultados

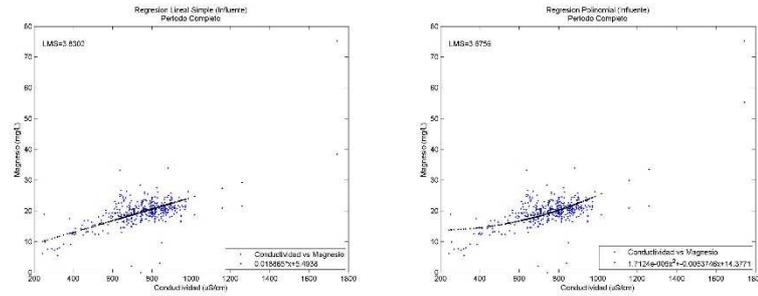


Figura 49.- Conductividad vs Magnesio, lineal y polinomial.

En la época de calor el criterio se cumple para: la Conductividad con el Magnesio, la Conductividad con el Potasio (figura 50), los SDT con el Magnesio, los SST con el Hierro, los SST con el Aluminio, el Calcio con el Magnesio, el Sodio con el Potasio y el Hierro con el Aluminio.

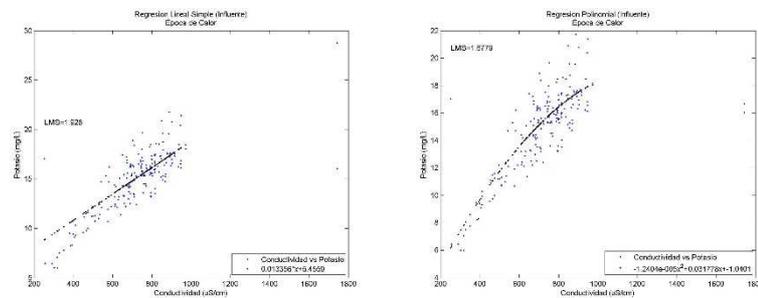


Figura 50.- Conductividad vs Potasio, lineal y polinomial.

Para la época de frío el criterio se cumple sólo para el caso de la Conductividad con el Silicio y el Hierro con el Aluminio.

En la época de lluvia el criterio se cumple para: la Conductividad con el Potasio, los SDT con el Potasio, los SST con el Hierro, los SST con el Aluminio, el Calcio con el Magnesio, el Sodio con el Potasio (figura 51) y el Hierro con el Aluminio.

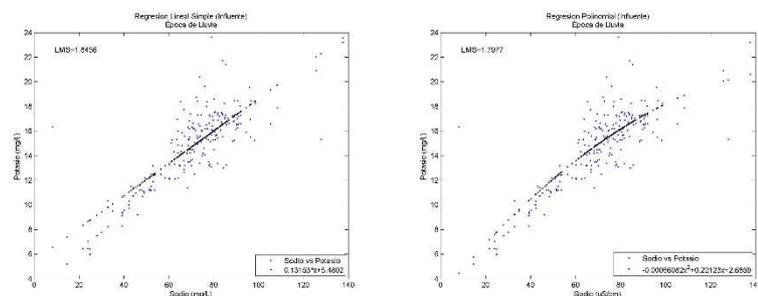


Figura 51.- Sodio vs Potasio, lineal y polinomial.

Capítulo IV Resultados

En la época de estiaje el criterio se cumple para: la Conductividad con el Magnesio, la Conductividad con el Sodio, los SDT con el Magnesio, SDT con el Silicio, los SST con el Hierro (figura 52), los SST con el Aluminio y el Hierro con el Aluminio.

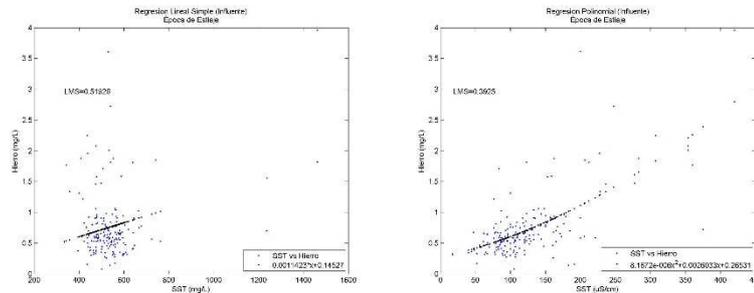


Figura 52.- SST vs Hierro, lineal y polinomial.

En la época de alta humedad el criterio se cumple para: la Conductividad con el Magnesio, los SDT con el Magnesio, los SST con el Hierro, los SST con el Aluminio, el Calcio con el Magnesio y el Hierro con el Aluminio (figura 53).

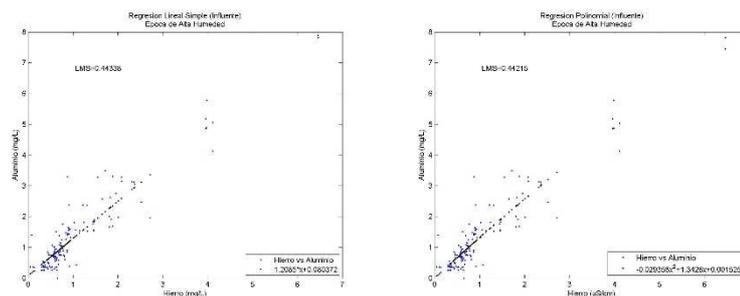


Figura 53.- Hierro vs Aluminio, lineal y polinomial.

En la época de baja humedad el criterio se cumple para: la Conductividad con el Potasio, la Conductividad con el Silicio, el Sodio con el Potasio y el Magnesio con el Potasio.

Es decir, **al conocer la Conductividad se puede determinar la concentración de Magnesio y de Potasio; la de Calcio es posible calcular a partir de la correlación con el Magnesio, así como el Sodio con registros del Potasio. Con los SDT se puede realizar un ajuste ya que este también está relacionado con el Magnesio. De igual forma se puede determinar el Silicio a partir de la Conductividad y conocer concentraciones de Hierro y el Aluminio a partir de los SST.**

A pesar de los pocos datos disponibles de la calidad del agua del influente que recibe la planta de tratamiento Cerro de la Estrella, esta investigación aporta un conjunto de ecuaciones de correlación que, con el ajuste apropiado por épocas, permitirá generar

Capítulo IV Resultados

con confiabilidad proyecciones para las concentraciones de los parámetros fuertemente correlacionados con bajo índice de error.

4.4.2.2 Efluente

La única correlación que se encontró entre los parámetros del efluente fue para parámetros de Conductividad y Silicio y exclusivamente en el análisis del periodo completo, en la época de frío, estiaje y baja humedad. Así, se encontró una alta **relación entre la Conductividad y el Silicio** (figura 54) **excepto en la época de calor, lluvia y de alta humedad**. El índice más alto de correlación lo tiene la época de Baja Humedad seguida de la época de frío. La ecuación que mejor describe el comportamiento de esta relación es la lineal, excepto en la época de Estiaje, donde la Polinomial tiene menor RMSE.

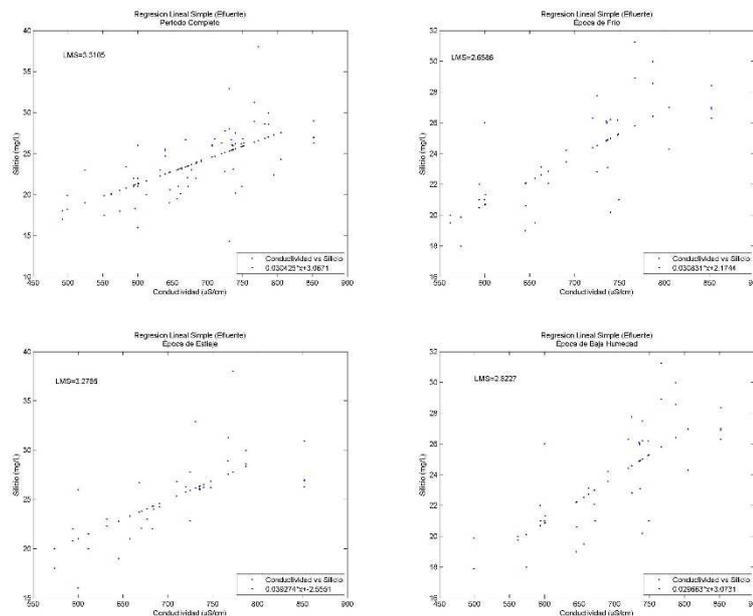


Figura 54.- Conductividad vs Silicio, lineal y polinomial.

Capítulo IV Resultados

Tabla 34.- Resumen resultados para correlación y regresión del efluente

<i>Periodo Completo</i>		<i>Época de Frío</i>	
Conductividad vs Silicio		Conductividad vs Silicio	
Valor Pearson	0.61	Valor Pearson	0.70
Ec. Lineal	$Y = 0.030425X + 3.0671$	Ec. Lineal	$Y = 0.030831X + 2.1744$
RMSE	3.31	RMSE	2.65
Ec. Polinomial	$Y = -1.3077x10^{-5}X^2 + 0.048144X - 2.8438$	Ec. Polinomial	$Y = -4.7817x10^{-5}X^2 + 0.098126X - 21.1748$
RMSE	3.33	RMSE	2.67
<i>Época de Estiaje</i>		<i>Época de Baja Humedad</i>	
Conductividad vs Silicio		Conductividad vs Silicio	
Valor Pearson	0.68	Valor Pearson	0.71
Ec. Lineal	$Y = 0.039274X - 2.5551$	Ec. Lineal	$Y = 0.029663X + 3.0731$
RMSE	3.27	RMSE	2.62
Ec. Polinomial	$Y = 0.00016749X^2 + 0.27775X - 86.4969$	Ec. Polinomial	$Y = 3.1417x10^{-6}X^2 + 0.034002X + 1.5988$
RMSE	3.12	RMSE	2.66

Se aclara que en este trabajo no se realizó la correlación entre parámetros climatológicos y parámetros fisico-químicos debido a los escasos del registro de los parámetros en el influente y efluente de la planta de agua residual “Cerro de la Estrella” que en comparación con los climatológicos se tenía solo un 10% de datos disponibles por lo que los resultados arrojarán en la correlación serían poco fiables.

Capítulo IV Resultados

4.5 Porcentaje de Remoción en PTAR “Cerro de la Estrella”

La remoción de cada parámetro físico – químico en la PTAR es una estimación de que tanto se elimina una sustancia o elemento durante el proceso de la planta de tratamiento, no es más que la comparación de la cantidad contenida a la entrada y la que se encuentra a la salida. El porcentaje de remoción será negativo si existe mayor cantidad de la sustancia a la salida que a la entrada, positiva para cuando la cantidad de sustancia es menor a la salida que a la entrada.

A continuación se muestra una tabla resumen de la remoción promedio en diez años de los parámetros físico – químicos de la PTAR “Cerro de la Estrella” para cada época de análisis.

Tabla 35.- Resumen del porcentaje de emoción promedio de la PTAR “Cerro de la Estrella”

	Periodo Completo	Época de Calor	Época de Frío	Época de Lluvia	Época de Estiaje	Época de Alta Humedad	Época de Baja Humedad
pH	-1.31%	-1.53%	-1.66%	-1.82%	-1.16%	-1.37%	-1.88%
Con	7.59%	2.44%	8.55%	1.81%	10.03%	6.56%	2.31%
SDT	-0.06%	-3.11%	-1.34%	-5.44%	2.83%	-0.12%	-5.75%
SST	89.87%	90.40%	89.30%	89.82%	90.24%	90.35%	89.43%
Fos	16.26%	12.22%	12.35%	4.96%	24.95%	17.11%	5.27%
Ca	0.62%	-2.06%	0.54%	-3.68%	3.64%	0.43%	-2.88%
Mg	3.73%	-9.20%	1.34%	-10.18%	4.19%	-0.17%	-11.17%
Na	-0.52%	-8.03%	-1.46%	-9.80%	2.21%	-2.50%	-9.17%
K	1.80%	-0.38%	-2.79%	-1.59%	-0.97%	2.72%	-6.76%
Fe	82.07%	78.87%	75.48%	79.32%	74.38%	74.86%	81.02%
Mn	56.91%	48.92%	57.38%	53.95%	49.55%	46.12%	60.65%
Pb	1.25%	0.06%	2.26%	0.16%	2.44%	0.10%	2.03%
Cd	-0.73%	-0.29%	-4.53%	-1.75%	-2.49%	-0.30%	-4.19%
Hg	-15.78%	-5.21%	-49.72%	2.51%	-67.86%	-7.60%	-45.33%
Ar	6.86%	2.26%	0.86%	3.07%	-0.72%	3.07%	-0.11%
Cr	-2.34%	0.09%	-7.71%	0.00%	-9.02%	1.02%	-8.17%
Zn	40.37%	36.73%	15.06%	26.10%	31.45%	39.83%	12.66%
Cu	11.13%	10.92%	8.04%	7.35%	14.35%	11.69%	7.25%
Si	6.92%	6.79%	8.86%	9.37%	4.15%	6.40%	9.27%
Al	52.31%	46.29%	41.23%	42.53%	47.11%	47.53%	40.19%
Ni	2.56%	3.14%	1.88%	2.92%	2.14%	4.33%	0.42%
Ag	0.86%	1.21%	0.52%	1.05%	0.74%	1.29%	0.48%
DBO	95.76%	95.34%	95.92%	95.09%	96.38%	95.37%	95.84%
DQO	78.09%	63.49%	74.65%	62.32%	77.38%	63.50%	74.09%
GyA	64.95%	64.18%	58.36%	58.46%	66.22%	66.50%	54.89%

Los parámetros con mayor índice de remoción, en orden descendente, son la DBO₅, SST, Hierro, DQO, Grasas y Aceites, Magnesio, Aluminio y Cinc. Para la DBO₅ y la DQO, las mejores remociones se observaron en la época de estiaje, mientras que remociones bajas ocurrieron en los meses de la época de lluvia. Este patrón estiaje-lluvia en las remociones también se presentó para los SST con mejor remoción en estiaje que en lluvias, sin embargo la mayor remoción ocurrió en la época de calor. Para Hierro y Magnesio la mejor remoción se alcanza en las épocas de baja humedad. El Cinc y el Aluminio tienen la mejor remoción en la temporada de alta humedad. Las Grasas y Aceites tienen su mayor remoción en la época de frío.

Capítulo IV Resultados

Para el resto de los parámetros analizados la mejor remoción se logra en la época de estiaje y la peor en la de baja humedad, que se caracteriza por tener en la mayoría del tiempo bajas temperaturas y comparte la mitad de meses de lluvia y meses de estiaje. Por lo cual, la planta presentó en general mejor remoción de operación en el época de estiaje.

Para el análisis más detallado de la remoción es necesario fijarse en los límites máximos permisibles que debe cumplir el efluente de la planta, establecidos en la NOM-001. Por ejemplo en el caso de pH, la NOM-001 establece que el valor debe andar entre 5 y 10 unidades y los expertos recomiendan un rango de 7 unidades para que el sistema funcione adecuadamente (25), sin embargo el análisis influente-efluente indica baja remoción. En la práctica, el agua que llega a la planta tiene bajos valores de alcalinidad y es necesario que sea acidificada para cumplir con la norma y que no se vea afectado el proceso; por ello, lejos de hablar de una baja remoción, se debe hablar del buen proceso pues la media del efluente para este parámetro cumple con la norma. En general ningún parámetro en el efluente sobre pasa los rango establecidos por la norma. Para determinar los límites máximos permisibles de los demás elementos puede verse la sección 3.5.

No se observa que las épocas de calor y frío sean un factor que influya negativamente en la remoción de los parámetros. Por el contrario esto si se observa en la época de estiaje donde se encuentran las mejores remociones y donde su contraparte, la época de lluvia muestra valores muy por debajo de la remoción lograda en la temporada de sequía.

En general para casi todos los parámetros se observa un incremento en la remoción con el paso de los años, excepto en los SST y el DBO_5 esto se puede ver a detalle en el anexo 8. La siguiente figura muestra la remoción en diez años de los SST y el DBO_5 .

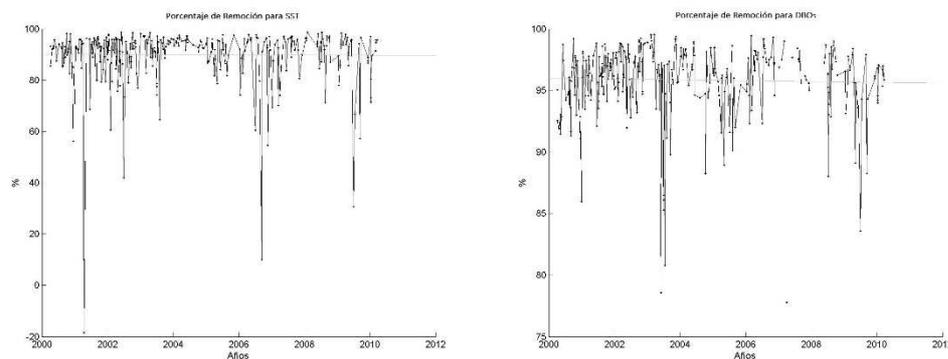


Figura 55.- Remoción para SST y DBO_5 .

Capítulo IV

Resultados

4.6 Efecto de las Variables Climatológicas en Parámetros de la PTAR

Uno de los objetivos de esta investigación fue identificar el efecto de las variables de temperatura y precipitación en el comportamiento de las concentraciones de los parámetros reportados para el influente de la planta. En esta sección se reportan estos resultados.

4.6.1 Influyente

Para realizar esta parte del estudio y bajo el mismo concepto de análisis por épocas, se analizó la media ponderada de las variables climatológicas con los parámetros de calidad del agua; solo se contemplaron los años en los que todas las estaciones coincidieran con registro de datos, por lo cual la variable de evaporación fue eliminada.

Para los parámetros de la PTAR “Cerro de la Estrella” cabe aclarar que algunos de ellos cuentan con valores atípicos en el influente; estos no fueron eliminados para el análisis estadístico ya que se encontró que el valor atípico afecta mínimamente la media y desviación estándar; el contar con estos datos para esta parte del estudio es importante luego que podrían indicar una falla en la planta provocada por un evento climatológico extremo.

Los resultados del análisis estadístico y las correlaciones permiten evaluar solo aquellos parámetros que tengan desviaciones estándares altas, que no tengan correlación con ningún otro parámetro y un parámetro de aquellos que se encuentren correlacionados. Bajo este criterio los siguientes parámetros no fueron evaluados en esta fase: Argón, Cadmio, Cinc, Cobre, Cromo, Manganeso, Mercurio, Níquel, Plata, Plomo y Silicio.

Para poder identificar los impactos de los eventos climatológicos con los parámetros restantes, y debido a que la gráfica a diez años no permitió ver adecuadamente este comportamiento, se realizó la evaluación sólo para las épocas para las cuales se observaron bajas remociones en el tratamiento.

Se sabe que los valores de temperatura máxima y temperatura mínima determinan las unidades de calor y que se encontró una ecuación lineal que relaciona a la temperatura promedio con estas, entonces el siguiente análisis se centra en la comparación a lo largo del tiempo, únicamente en la variable de temperatura promedio y en la precipitación, al no encontrar correlación con ninguna otra variable.

Debido a que el año 2005 reporta un único evento extremo de temperatura, se analiza este año de la temperatura promedio y los parámetros de la PTAR. Para la precipitación se analizan los años 2009 y 2010 porque registraron los eventos críticos de ENSO; y también los años 2005 y 2007 durante los cuales ocurrieron los huracanes más intensos. Se evaluarán los

Capítulo IV Resultados

impactos de estos eventos en los parámetros de la PTAR. Las gráficas de esta sección se pueden ver en el anexo 9.

El pH y los SDT no se encuentran correlacionados con ningún otro parámetro y durante la época de baja humedad tiende a bajar su remoción. Para ambos parámetros no se encuentra que las variaciones de temperatura promedio repercutan en las variaciones de los parámetros (figura 56). El pH no parece ser afectado por las variaciones de precipitación pero si los SDT.

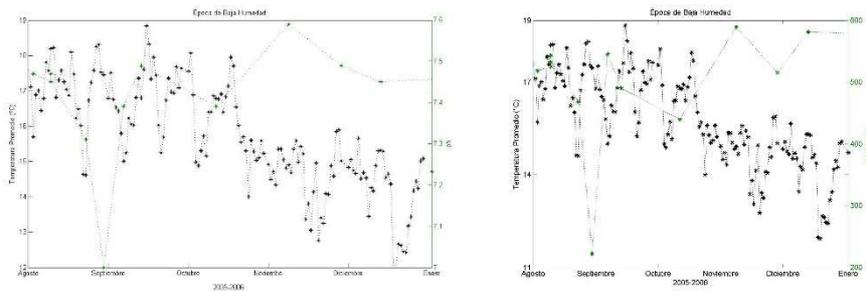


Figura 56- Temperatura promedio vs pH y temperatura promedio vs SDT, año 2005

La Conductividad tiene relación con las concentraciones de Magnesio, Sodio, Potasio y con Silicio. Se observa que la remoción de la conductividad en general disminuye en la época de lluvia (figura 57). Aun cuando la presencia de lluvias intensas influye en la disminución de los valores de conductividad, se observa que el porcentaje de disminución de la concentración depende del número de días consecutivos que se presentaron con muy baja precipitación.

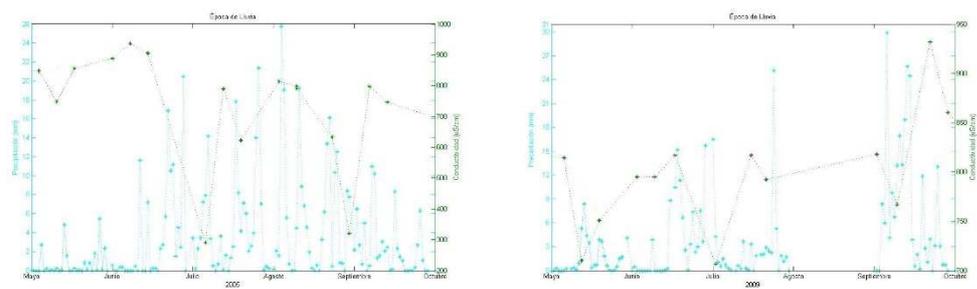


Figura 57- Precipitación vs Conductividad, año 2005 y 2009

Los SST (figura 58) y las Grasas y Aceites no se encuentran correlacionados con ningún otro parámetro y su porcentaje de remoción más bajo ocurrió en la época de frío. A pesar de tener la menor remoción en la época de frío y siendo un hecho que la temperatura no afecta las concentraciones, nuevamente, se aprecia que a menor lluvia mayor concentración se detectó en ambos parámetros.

Capítulo IV Resultados

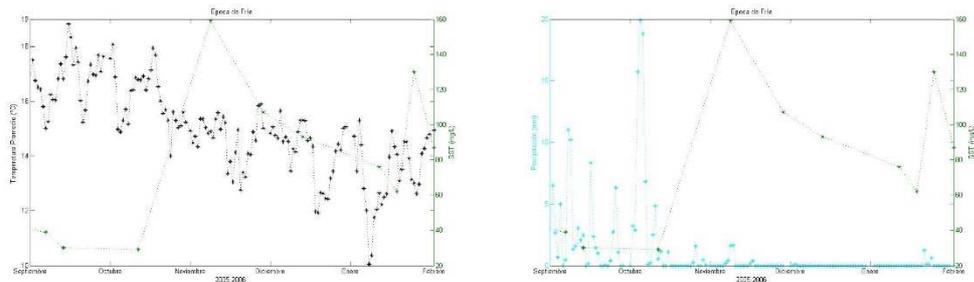


Figura 58- Temperatura promedio vs SST y Precipitación vs SST, año 2005

Los Fosfatos, la DBO, y la DQO no se encuentran correlacionados con ningún otro parámetro y para la época de lluvias tienen su peor remoción. Para estos parámetros es muy clara la evidencia de que los aumentos de precipitación se ven reflejados en la disminución de las concentraciones (figura 59).

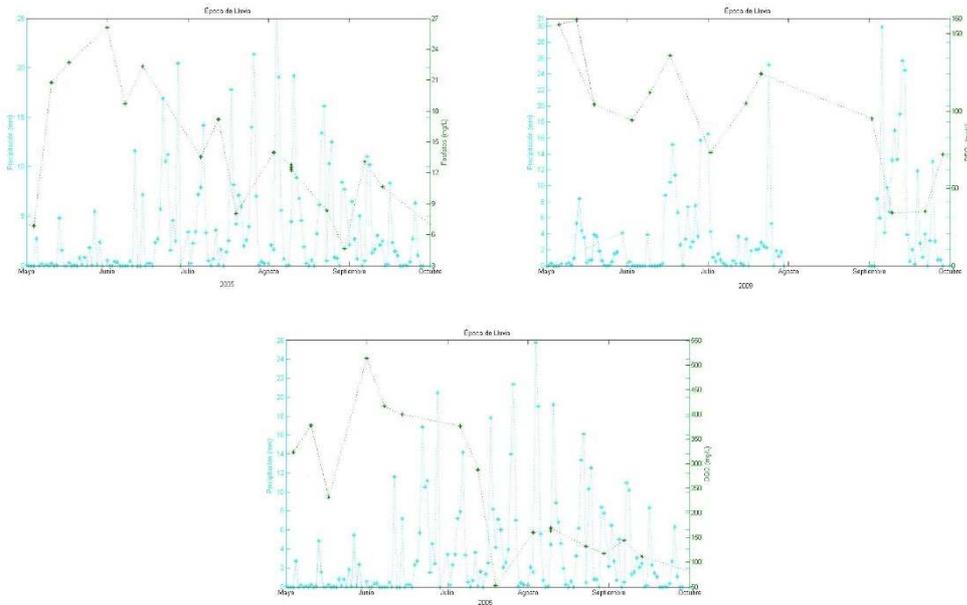


Figura 59 Precipitación vs Fosfatos, DBO y DQO.

De acuerdo a la NOM- 001, la planta PTAR “Cerro de la Estrella” debe realizar mediciones de la calidad del efluente máximo tres veces al mes y por lo menos en un mes debe de tener dos mediciones de un mismo día. Al comparar los registros del parámetro de pH con los datos de temperatura promedio se encontró que el intervalo de medición del parámetro es aproximadamente de siete días (figura 60); comportamiento similar se encontró en el análisis de los demás parámetros de calidad del agua a los que se tuvo acceso. Esto ejemplifica que si en la práctica es pobre seguimiento de los datos de calidad del agua en la planta, no es posible obtener

Capítulo IV Resultados

información precisa del comportamiento de los parámetros ante eventos extremos de temperatura y precipitación.

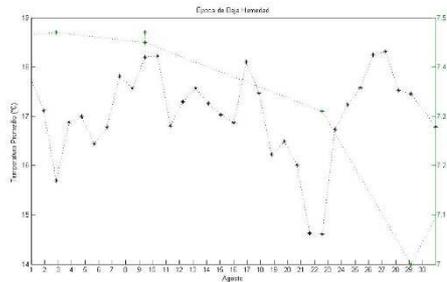


Figura 60- Intervalo de pH comparado con la temperatura promedio

Por ejemplo, los datos de los años 2005 y 2009 muestran que en general, **las precipitaciones son la causa principal de la afectación, sin embargo no se puede determinar de qué manera y en qué porcentaje afecta a los parámetros de la planta.** Esta práctica de registro de datos que se sigue en la planta es una evidencia de **que el uso de sensores y sistemas modernos de adquisición son necesarios.** El acceso a registros en tiempo real de los parámetros más importantes para la operación de la planta permitiría superar los obstáculos indicados.

4.6.2 Efluente

En esta parte del trabajo se usó el mismo criterio que para el influente respecto a los años de análisis, las mismas variables climatológicas y los parámetros de la PTAR.

No se identifica que las variaciones de temperatura promedio o las precipitaciones influyan en el comportamiento de los parámetros de calidad del agua del efluente (figura 61 y 62).

En este caso, el análisis con la media ponderada que considera la zona de influencia de la planta, no arrojó resultados útiles. Para este caso sería de utilidad contar con registros del clima en la planta de tratamiento "Cerro de la Estrella

Capítulo IV Resultados

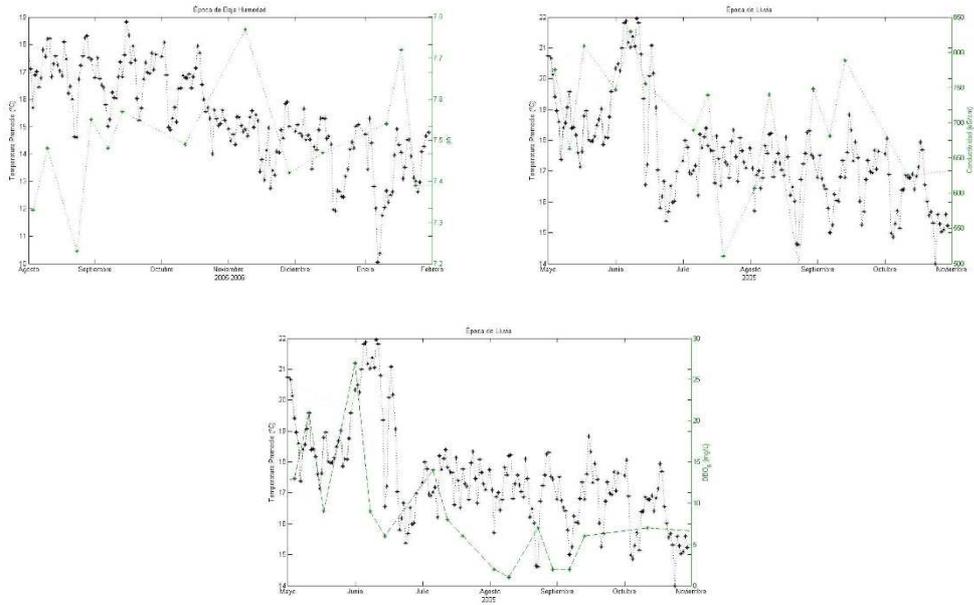


Figura 61- Temperatura promedio vs pH, Conductividad y DBO₅

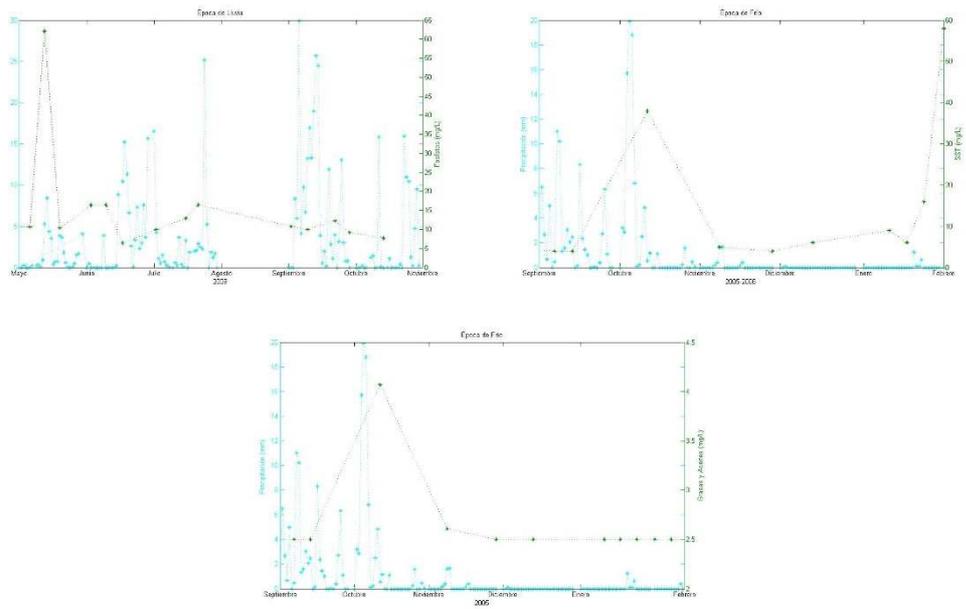


Figura 62- Precipitación vs Fosfatos, SST, Grasas y Aceites

Capítulo V

Propuesta de Sensores para el Monitoreo en Tiempo Real

5.1 Ubicación de sensores en los procesos de la PTAR “Cerro de la Estrella”

El agua residual es una mezcla compleja de contaminantes orgánicos e inorgánicos cuya concentración no siempre es uniforme, el análisis anterior nos ha permitido ver que son las lluvias, las que más afectan la composición de este líquido.

Para la remoción de estas sustancias las plantas de tratamiento de agua residual son necesarias y consisten en un conjunto de estructuras y unidades donde se remueven total o parcialmente los contaminantes contenidos en el agua. Diversos procedimientos que están dispuestos en orden creciente de complejidad y que funcionan según las características del flujo hace posible la sustracción de los contaminantes.

La planta de tratamiento de agua residual “Cerro de la Estrella” es de tipo secundario por lodos activados y consiste de un esquema básico (figura 63), a continuación en la primera parte de este capítulo se describirá a detalle cada uno de los procesos para determinar en qué parte y por cual motivo es necesario la inclusión de un sensor, contemplando los resultados obtenidos en los análisis del capítulo IV, y en la segunda parte se determinará el sensor comercial y sus especificaciones.



Figura 63.- Esquema básico del tren de tratamiento de la planta “Cerro de la Estrella”

A grandes rasgos las etapas consisten básicamente en remover; en la primera la basura y arena, en el tratamiento primario el material suspendido, en el secundario la materia orgánica biodegradable y en la desinfección los organismos patógenos. El tratamiento de lodo tiene dos objetivos, el primero es producir lodo estabilizador y el segundo es el secado del lodo a disposición.

Antes de entrar el caudal a la planta, este es transportado por canales tipo Parshall. Estos son una estructura hidráulica que permite medir la cantidad de agua que pasa por una sección de

Capítulo V

Propuesta de Sensores para el Monitoreo en Tiempo Real

un canal, consta de cuatro partes principales; transición de entrada, sección convergente, garganta y sección divergente.

En la transición de entrada, el piso se eleva sobre el fondo original del canal, con una pendiente suave y las paredes se van cerrando, ya sea en línea recta o circular. En la sección convergente, el fondo es horizontal y el ancho va disminuyendo. En la garganta el piso vuelve a bajar para terminar con otra pendiente ascendente en la sección divergente. En cualquier parte del canal, desde el inicio de la transición de entrada hasta la salida, tiene una sección rectangular. Junto a la estructura se tienen dos pozos laterales o tanques con la misma profundidad, o mayor, que la parte más baja del canal (figura 64). El agua que escurre por este pasa a estos tanques por medio de unas perforaciones colocadas en la pared de la sección convergente y en la garganta.

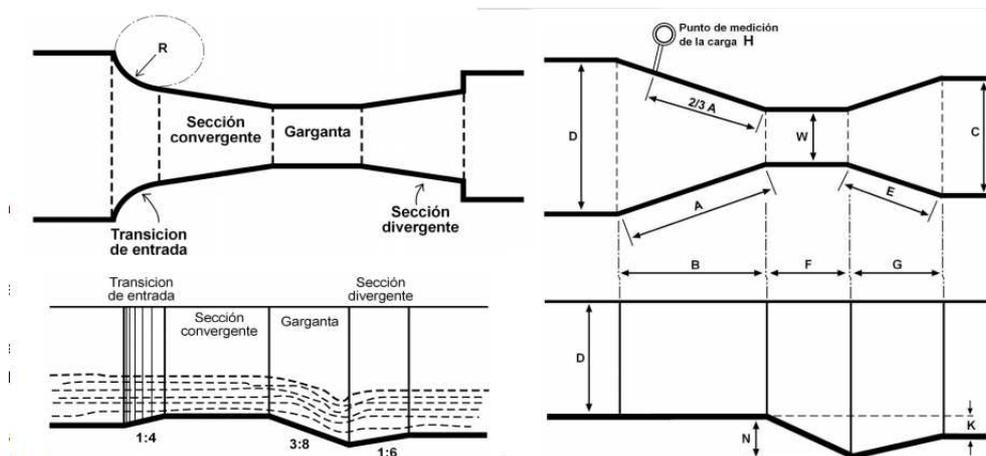


Figura 64.- Partes canal Parshall.

Fundamentalmente el canal es una reducción de la sección que obliga al agua a elevarse o a detenerse, y volver a caer hasta la elevación que se tenía sin la presencia del canal. En este proceso se presenta una aceleración del flujo que permite establecer una relación matemática entre la elevación del agua y el gasto dada por.

$$Q = C(H)^n$$

Donde Q es el gasto, H es la profundidad del agua en una ubicación determinada, C y n dependen de las medidas de construcción del canal⁵¹. **El sensor más común para determinar y registrar este valor Q es de flujo magnético** y debe ser ubicado en la posición referenciada en la figura 63.

Capítulo V

Propuesta de Sensores para el Monitoreo en Tiempo Real

Para medir la eficiencia de la planta, en esta parte se recomienda **el sensado de temperatura, pH, Conductividad (para SDT), oxígeno disuelto (para DBO₅ y DQO), turbidez (para SST) y nitrógeno, justo antes de entrar al tratamiento preliminar.**

Tratamiento Preliminar

En el tratamiento preliminar los sólidos de gran tamaño son eliminados mediante rejjas de limpieza mecánica. Normalmente estas rejjas están protegidas por una pre-reja de barrotes más abiertos. Las rejjas mecánicas consisten en un peine móvil, que periódicamente barre la reja extrayendo los sólidos retenidos, para su eliminación (figura 65).

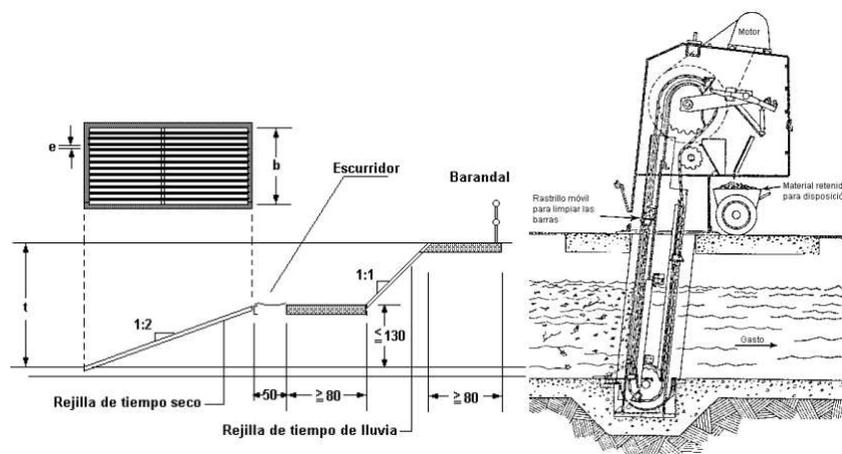


Figura 65.- Ejemplo ilustrativo de las pre-rejillas y las rejjas de limpieza mecánica.

En esta parte del tratamiento **se recomienda un sensor que permita conocer, en base a la acumulación de basura, la velocidad de funcionamiento de la rejilla mecánica**, para evitar atascamiento de basura.

Una vez terminada esta etapa se requiere desarenar el agua, es decir, remover partículas de granulometría superiores a las 200 micras. Para ello se usan canales que permiten mantener una velocidad constante de flujo de aproximadamente 0.3 m/s, de forma independiente al caudal que circule por ellos. Al final del desarenado se tiene un vertedor de flujo proporcional, que deja constante la velocidad del agua y así se depositan las arenas. Existe un desarenados en espera para cuando se le de mantenimiento al que se encuentra en operación, la limpieza se efectúa de forma manual y **aunque existe desarenadores automáticos, la estructura de la planta no permite su implementación.**

Capítulo V

Propuesta de Sensores para el Monitoreo en Tiempo Real

Tratamiento primario

Después de las precedentes fases, el agua es sometida a pre-aeración en el sedimentador primario para ello se utilizan difusores sumergidos que suministran aire al caudal. El aire se disuelve en el agua residual a una presión de varias atmósferas, y a continuación se libera la presión hasta alcanzar la atmosférica. Las burbujas de aire se adhieren a las partículas y la fuerza ascensorial que experimenta el conjunto de partícula-burbuja de aire hace que suban hasta la superficie del líquido.

El proceso de aeración hace posible ascender a la superficie partículas cuya densidad es mayor que la del líquido, además de favorecer la ascensión de las partículas cuya densidad es inferior, como el caso del aceite en el agua. La eliminación de las grasas y aceites se hace por rascado superficial mediante un sistema de rastreo que consiste de una catarina y un motor adherido a cadenas sin fin que jalan trozos de tabla de madera de Pino, impermeabilizados para que la madera tenga poca absorción.

El agua es almacenada en este tanque para que las partículas que son más densas que el agua que se encuentran suspendidas en ella, se precipiten por acción de la gravedad. Para removerlas se reduce la velocidad del agua, al transcurrir un tiempo estas partículas precipitan. Los factores que determinan la velocidad de precipitación son el diámetro de la partícula, la densidad de partículas y la viscosidad de la solución. La relación de estos factores es expresada en la ecuación de Stokes⁵²

$$V_s = \frac{gr^2(\rho_p - \rho_f)}{18n}$$

Donde V_s es la velocidad de precipitación, g es la fuerza de gravedad, r es el radio de la partícula, ρ_p la densidad de la partícula, ρ_f la densidad del fluido (agua) y n es la viscosidad del fluido. Además la eficiencia del tanque de sedimentación puede verse afectada por la temperatura del agua y el pH. Gracias al proceso preliminar, se conoce el rango de radio y densidad de las partículas contenidas en el agua para esta etapa, un sensor para determinar el tamaño de partícula sería costoso y la eficiencia no se vería mayor mente favorecida. **Se recomienda el sensado de temperatura a distintos niveles del tanque y de densidad del flujo para el control del sedimentado. Turbidez al efluente para medir la eficiencia.**

Tratamiento Secundario

Este tratamiento se utiliza para remover los desechos y sustancias que, con la sedimentación no se eliminaron, y para remover la demanda bioquímica de oxígeno. El proceso es de tipo biológico donde las bacterias aeróbicas digieren la materia orgánica que lleva el agua.

Capítulo V

Propuesta de Sensores para el Monitoreo en Tiempo Real

El efluente del tanque primario se mezcla con agua cargada de diversos microorganismos en un tanque secundario, esta agua es conocida como licor mezclado. El tanque secundario tiene un sistema de burbujeo que garantiza las condiciones aeróbicas para el crecimiento de los microorganismos, este proceso se le conoce como aeración en etapas (figura 66).

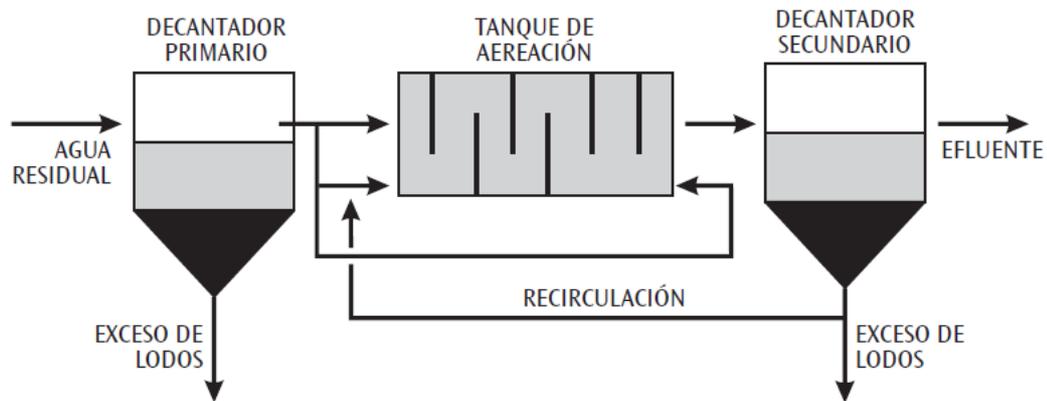


Figura 66.- Proceso por aeración en etapas

Para asegurar una distribución igual del agua residual, del oxígeno disuelto y de los lodos activados recirculados (provenientes del sedimentador secundario) se colocan unos difusores a lo largo y ancho del tanque de aeración, el lodo recirculado se mezcla con una porción del agua residual y entra en la cabeza del tanque de aeración. Los microorganismos crecen y son mezclados por la agitación con aire, se agrupan formando flóculos que a su vez forman una masa microbiana activada llamada "lodo activado". El término activado se da por la capacidad de este lodo para metabolizar la materia orgánica soluble y coloidal, a dióxido de carbono y agua

Para un buen funcionamiento del proceso por lodos activados, se debe mantener una carga de lodos constante. Las lluvias afectan mayoritariamente a este proceso de la planta ya que al haber mayor caudal hay menos cantidad de concentraciones orgánicas lo que repercute en la descomposición de la materia generando baja calidad.

Una vez que el agua sale del tanque de aeración se introduce en un sedimentador secundario, donde nuevamente se realiza un proceso de sedimentación. Las variables a considerar para el desempeño de un sedimentador son la carga hidráulica superficial, la carga superficial de sólidos y la profundidad del tanque.

La ecuación que define la carga hidráulica es⁵²:

$$q_h = \frac{Q_e}{A_s}$$

Capítulo V

Propuesta de Sensores para el Monitoreo en Tiempo Real

Donde Q_e es el flujo del líquido clarificado y A_s el área superior del sedimentador. . Entre menor sea la carga hidráulica, mayor oportunidad de sedimentar tendrá la partícula.

La ecuación para la carga superficial de sólidos es:

$$C_s = \frac{(Q_o - Q_R)XLM}{A_s}$$

Donde Q_o es el flujo que de entrada al sedimentador secundario, Q_R Flujo de recirculación, XLM concentración de sólidos en el reactor biológico. Entre menor sea la carga superficial de sólidos, existe menor tendencia al arrastre.

Tanto la carga hidráulica como la de sólidos se deben evaluar en condiciones de flujo medio y flujo máximo. La biomasa generada en el tratamiento secundario constituye una carga orgánica significativa, que es necesaria remover para que el efluente pueda ajustarse a las normas oficiales mexicanas en materia de calidad del agua.

En esta parte del proceso se debe **medir oxígeno disuelto y materia orgánica disuelta (DBO₅) en el reactor biológico. Colocar sensores de flujo magnético y de nivel permitirá conocer la carga hidráulica y superficial para determinar el tiempo de sedimentación en el clarificador secundario así como analizador de turbidez a la salida de este que permite conocer la concentración de sólidos suspendidos.** Se recomienda **un sensor de temperatura dentro del sedimentador secundario**, en comunicación con los instalados en etapas previas para mantener un control de estas variables, que repercuten indirectamente en los procesos.

Para la parte de recirculación de lodos, **un sensor de flujo magnético y un analizador de turbidez permitirán conocer la calidad del lodo de recirculación.** Para los lodos de **purga es necesario instalar un juez que permita conocer el nivel de los lodos, a la salida de la purga sensores de flujo volumétrico y de masa para conocer la edad de los lodos.**

Pulido, Filtración y Desinfección

Aunque algunos autores determinan el pulido, filtración y cloración como tratamiento terciario, debido a la simplicidad con la que se maneja en Cerro de la Estrella, no se reconoce de esta manera. El proceso de pulido tiene se realiza por medio de lirios acuáticos contenidos en el tanque de sedimentación, se aprovecha la capacidad de esta planta acuática para la absorción y descomposición de metales pesados. La filtración se realiza por arena, es un método robusto que consiste en capas múltiples de área, con variedad de tamaño y gravedad específica; el agua se hace circular lentamente por estos filtros. Como última etapa esta la desinfección del agua tratada donde son eliminados las bacterias, virus y quites de protozoario mediante el uso de gas cloro y sales de hipoclorito. Los parámetros básicos para la eficiencia de este sistema son unidad de

Capítulo V

Propuesta de Sensores para el Monitoreo en Tiempo Real

contacto (razón volumen gasto) y velocidad de los canales. Para un desempeño óptimo factores de temperatura, alcalinidad, contenido de nitrógeno y flujo deben permanecer constantes.

Para conocer la cantidad de **cloro administrado**, se recomienda un **analizador de cloruro**. En esta parte del proceso para **determinar la contaminación por patógenos se toma los coliformes fecales** y como parte del cumplimiento de la NOM-001, se deben medir **Arsénico, Cadmio, Cianuros, Cobre, Cromo, Mercurio, Níquel, Plomo y Cinc**. No es necesario utilizar un sensor en el influente, para estos parámetros ya que los procesos de la planta no están hechos para la eliminación específica de estos, aunque si se logra una eliminación significativa por medio de la sedimentación el conocer la eficiencia de remoción de estos elementos químicos no ayuda a determinar un cambio en el proceso. Se deja a consideración de las autoridades la implementación de sensores de este tipo para el influente. **Para medir la eficiencia del proceso se recomienda sensar las mismas variables que en el influente.**

El siguiente esquema ilustra la ubicación de los sensores en cada proceso de la planta.

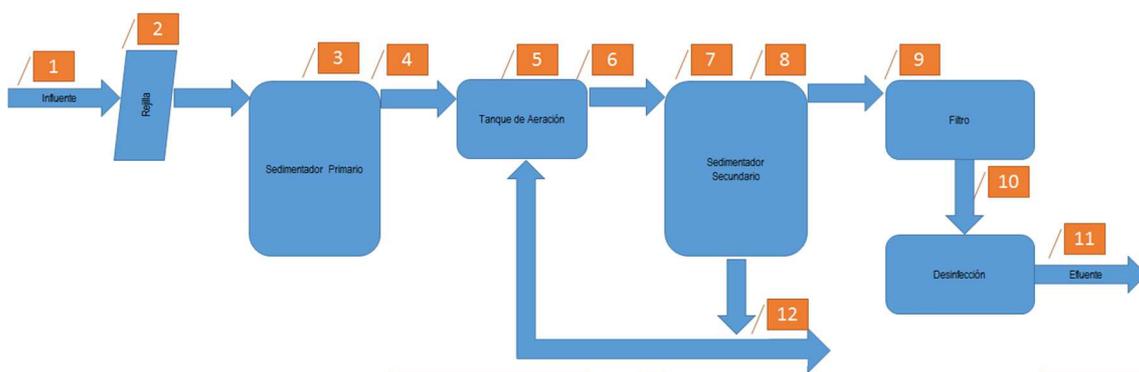


Figura 67.- Esquema de sensado para PTAR "Cerro de la Estrella"

Capítulo V

Propuesta de Sensores para el Monitoreo en Tiempo Real

La siguiente tabla muestra los sensores y su función en el punto de ubicación marcado.

Tabla 36.- Resumen eficiencia PTAR "Cerro de la Estrella"

Ubicación	Sensores	Función
1	Flujo Nivel Temperatura pH Conductividad Turbidez Materia orgánica disuelta Nitrógeno	Conocer la velocidad del flujo. Saber el volumen del efluente. Determinar la temperatura del efluente, para evitar problemas en sedimentación. Establecer el nivel de alcalinidad del agua, para evitar desestabilización de lodos. Método para determinar SDT, para medir eficiencia de la planta. Método para determinar SST, para medir eficiencia de la planta. Método para determinar DBO ₅ y DQO, para medir eficiencia de la planta. Estipula el balance de nutrientes, para medir eficiencia de la planta.
2	Nivel	Determinar nivel de la basura acumulada para activar rejilla.
3	Temperatura Flujo	Compara con temperatura anterior, para evitar corrientes de densidad. Comparar con flujo anterior, para determinar tiempo de sedimentación.
4	Turbidez	Para medir eficiencia de SST en el sedimentador primario.
5	Oxígeno disuelto Materia orgánica disuelta	Determina operación de areadores y recirculación de lodo. Método para determinar DBO ₅
6	Nitrógeno	Estipula el balance de nutrientes.
7	Flujo Turbidez	Conocer la carga hidráulica y superficial, para determinar tiempo de sedimentación. Para medir eficiencia de SST en el sedimentador secundario.
8	Temperatura Nivel	Compara con temperatura anterior, para evitar corrientes de densidad. Conocer el nivel de lodos y determinar si se necesitan purgar.
9	Turbidez	Método para determinar SST, para medir eficiencia de la planta.
10	Analizador de Cloruro Flujo	Determina cantidad de gas cloro y sales de hipoclorito, para no exceder de la dosis. El flujo debe ser turbulento para tener una buena desinfección.
11	Coliformes totales Conductividad Turbidez Materia orgánica disuelta Nitrógeno Fosfatos Metales / otros	Tamaño de partícula. Método para determinar SDT, para medir eficiencia de la planta. Método para determinar SST, para medir eficiencia de la planta. Método para determinar DBO ₅ y DQO, para medir eficiencia de la planta. Estipula el balance de nutrientes, para medir eficiencia de la planta. Estipula el balance de nutrientes, para medir eficiencia de la planta. Cumplir con las normas oficiales correspondientes (Determinar concentraciones de Arsenio, Cadmio, Cianuros, Cobre, Cromo, Mercurio, Níquel, Plomo y Cinc).
12	Flujo Turbidez	Determinar edad de lodos. Determinar espesor de lodos para recirculación

Capítulo V Propuesta de Sensores para el Monitoreo en Tiempo Real

5.2 Variables medidas y sensores recomendados

5.2.1 Concepto y principio de medición de las variables

pH

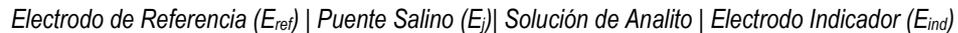
El pH es una variable indispensable de medir por su relación en la eficiencia de sedimentación, altas o bajas concentraciones de ácido no permiten la vida de microorganismos lo que afectaría el proceso de lodos activados, además de no facilitar la disolución de cloro⁵³.

El pH es la medida de la actividad de iones hidrogeno en la solución es decir:

$$pH = -\log a_{H^+}$$

Para conocer su valor se utiliza la técnica potenciométrica cuyo objetivo es obtener información acerca de la composición de una solución mediante el potencial que aparece entre dos electrodos. La medición del potencial de la celda se determina bajo condiciones reversibles en forma termodinámica y esto implica que se debe dejar pasar el tiempo suficiente para que la celda se equilibre y que sólo se podrá extraer una corriente insignificante en el transcurso de la determinación.

Una celda típica para análisis potenciométrico se puede representar como⁵⁴:



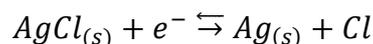
Y el potencial de una celda se expresa como:

$$E_{cel} = (E_{ind} - E_{ref}) + E_j$$

El E_{ind} es sensible a las condiciones de la sustancia a analizar mientras que E_{ref} tiene un potencial fijo. El puente salino es una interfaz entre el electrodo de referencia y la solución externa.

El electrodo universalmente aceptado como referencia es el electrodo normal de hidrógeno (SHE) y se le asigna, arbitrariamente, un valor cero para todas las temperaturas. Las soluciones internas empleadas en la mayoría de los electrodos de referencia son de tipo cloruro de potasio (KCl) y nitrato de amonio (NH_4NO_3). El electrodo más ampliamente comercializado para referencia consiste en un electrodo de plata sumergido en una solución de potasio que se ha saturado con cloruro de plata ($AgCl_{(sat)}$) y KCl.

El potencial eléctrico está determinado por la semireacción:



En general el electrodo es un tubo de vidrio con una abertura angosta en el fondo conectado a un tapón de Vycor para que haga contacto con la solución de analito. El tubo contiene un alambre de plata revestido con una capa de AgCl que está sumergido en una solución de KCl con AgCl.

Capítulo V

Propuesta de Sensores para el Monitoreo en Tiempo Real

El potencial E_{ind} está dado por la ecuación de Nernst⁵².

$$E_{ind} = E^0 - \frac{RT}{nF} \ln(Q)$$

Donde E^0 es el potencial estándar, R es la constante de gases, T es la temperatura absoluta en Kelvin, n es la cantidad de electrones que participan en la reacción, F es la constante de Faraday y Q es el cociente de reacción.

Los electrodos son clasificados en metálicos, de membrana, de membranas cristalinas y sensibles a moléculas; son seleccionados según su aplicación.

Para el sensado de pH se utiliza una membrana de vidrio. La celda consiste en un electrodo indicador de vidrio y un electrodo de referencia de AgCl; los dos electrodos están sumergidos en una solución cuyo pH se desea determinar. El electrodo indicador consiste en una delgada membrana de vidrio sensible al pH sellada en el extremo de un tubo de vidrio de paredes gruesas o de plástico. El tubo contiene un pequeño volumen de ácido clorhídrico diluido saturado AgCl. En esta solución un alambre de plata forma un electrodo de referencia de plata-cloruro de plata interno, que se conecta a una de las terminales de un dispositivo para medir el potencial. El electrodo de referencia se conecta a la otra terminal. Entonces esta celda tiene dos electrodos de referencia: el electrodo externo de plata-cloruro de plata y el electrodo interno de plata-cloruro de plata. Aunque el electrodo de referencia interno forma parte del electrodo de vidrio, no es el elemento sensible al pH; es la delgada membrana de vidrio, en la base del electrodo, la que responde al pH.

Conductividad

La conductividad eléctrica en medios líquidos está asociada a la presencia de sales en solución, si el líquido es sometido a un campo eléctrico este es capaz de transportar energía eléctrica. La conductividad aumenta o decrece con relación a la concentración de iones, generalmente es usada para determinar la cantidad de sólidos totales disueltos.

Se mide determinando la resistencia de la solución entre dos electrodos planos separados una distancia conocida. La resistencia se determina como⁵²:

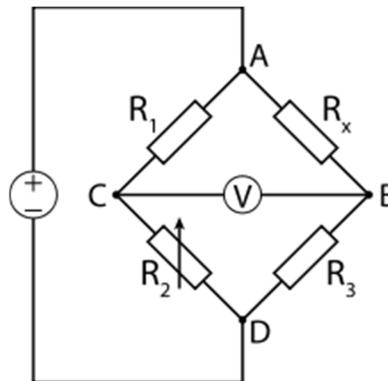
$$R = \rho \frac{l}{A}$$

Donde ρ es la resistividad del agua, l la distancia entre los electrodos y A área transversal de los electrodos. El inverso de la resistividad es la conductividad, una alta conductancia nos indicará una fuerte carga iónica en la muestra analizada. La medida se basará en el paso de los iones de la solución por un campo eléctrico atravesando una o varias resistencias, cuya respuesta

Capítulo V

Propuesta de Sensores para el Monitoreo en Tiempo Real

sirve de indicador. Para ello, se utiliza una celda de conductividad conectada un puente de Wheatstone (figura 68), donde una de las resistencias es la disolución y el resto son conocidas.



68.- Puente de Wheatstone

Así mismo:

$$C = \frac{R_3}{(R_1)(R_2)}$$

El dispositivo debe de ser calibrado utilizando disoluciones conocidas e instrumentos más avanzados contemplan un sensor de temperatura que elimine la variación de la resistividad por efectos de esta variable.

Al no existir un sensor para SDT, la Conductividad será utilizada para referirse a este parámetro. A pesar de que no se encontró una ecuación que describa las concentraciones de SDT en función de la Conductividad éstas están correlacionadas.

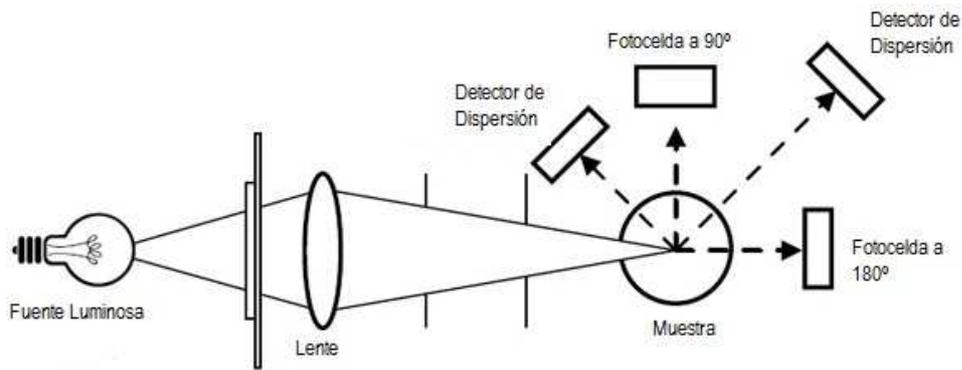
Turbidez

Variable estética relacionada a la falta de transparencia del agua debida a la presencia de partículas en suspensión. El valor de este parámetro está relacionado con la buena calidad del agua, mientras más turbia menor calidad tiene.

El instrumento que se ocupa para medir esta variable es el nefelómetro (figura 69), para ello emplea una fotocelda colocada a 90° con respecto a una fuente luminosa. La densidad de partícula es una función de la luz captada por la fotocelda. La luz reflejada depende de las propiedades de las partículas en suspensión, por lo tanto no hay sustancias con turbidez cero.

Capítulo V

Propuesta de Sensores para el Monitoreo en Tiempo Real



69.- Nefelómetro

Nitrógeno

El Nitrógeno es un elemento químico que presente en el medio acuático puede existir de cuatro formas diferentes. Nitrógeno orgánico, Nitrógeno Amoniacal, Nitritos y Nitratos. En el agua residual sin tratar están presentes los dos primeros, con la presencia del oxígeno el nitrógeno amonal se trasforma en Nitratos (NO_2^-) o Nitritos (NO_3^-).

La mayoría de los sensores se basan en el principio de medición potenciométrica con un electrodo (NH_3 sensible al gas).

Fosfatos

Son sales o éteres del ácido fosfórico. Tienen en común un átomo de fósforo rodeado de cuatro átomos de oxígeno en forma tetraédrica. La carga de fosfato total en las aguas residuales se componen de ortofosfatos, polifosfatos y compuestos de fosforo orgánico.

La medición de estos se basa en el principio de espectroscopia por absorción molecular. Se mide la absorción de las especies atómicas en el vapor.

Materia Orgánica Disuelta (DBO₅ y DQO)

El DBO₅ es un parámetro que mide la cantidad de materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, disuelta o en suspensión. Se utiliza para medir el grado de contaminación, normalmente se mide transcurridos cinco días de reacción (DBO₅).

El DQO es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltos o en suspensión en una muestra líquida.

Técnicas modernas realizan la medición por medio de coeficiente de absorción espectral. Es un proceso por el cual la radiación electromagnética es captada por la materia (fluido) y sirve

Capítulo V

Propuesta de Sensores para el Monitoreo en Tiempo Real

como medida de la concentración de sustancias orgánicas en el fluido, sin necesidad de agregar reactivos, los valores de medición están inmediatamente disponibles sin retardo alguno.

Oxígeno Disuelto

En un cuerpo de agua se produce y a la vez se consume oxígeno. La existencia de este elemento está relacionada con la fotosíntesis o por el intercambio de oxígeno entre el agua y la atmósfera por difusión o mezcla turbulenta, mientras que el consumo dependerá de la respiración, descomposición de sustancias orgánicas y otras reacciones químicas. La concentración total de oxígeno disuelto dependerá del balance de estos fenómenos, si es consumido más oxígeno del que se produce, la vida de ciertos organismos no es posible. El oxígeno disuelto tiene dependencia con la temperatura, aguas más cálidas son capaces de disolver menores cantidades de oxígeno.

El sensor utilizado para medir esta propiedad consta de una célula conformada por un cátodo, un ánodo y una membrana, además de un electrolito. El oxígeno disuelto atraviesa la membrana, por osmosis, hacia el cátodo y es allí donde se mezcla con el electrolito y entonces es empujado hacia el ánodo; este proceso galvánico crea una pequeñísima corriente entre el cátodo y el ánodo, la cual posteriormente a traviesa una resistencia eléctrica, para luego ser amplificada⁵².

Existe otro método más novedoso que reduce errores y tiempo, conocido como oxígeno disuelto luminiscente (Luminescent Dissolved Oxygen, LDO). El principio LDO⁵⁵ está basado en el fenómeno físico de la luminiscencia, que se define como la propiedad de algunos materiales (luminóforos) de emitir luz cuando son excitados por un estímulo diferente del calor; en el caso del principio LDO, el estímulo es la luz. Si se escoge una combinación adecuada de luminóforo y longitud de onda de la luz de excitación, tanto la intensidad de la luminiscencia como el tiempo que ésta tarda en desvanecerse dependerán de la concentración de oxígeno que rodea el material.

Cloro (Cloruros)

Los cloruros son compuestos que llevan un átomo de cloro en estado de oxidación formal -1. Se dividen en orgánicos e inorgánicos.

En los cloruros orgánicos el cloro está unido directamente a un átomo de carbono. Los cloruros de compuestos alifáticos se pueden obtener por reacción directa de la sustancia con cloro elemental.

Los cloruros inorgánicos contienen el anión Cl^{-1} y por lo tanto son sales del ácido clorhídrico (HCl). En presencia de oxidantes fuertes los cloruros pueden ser oxidados a cloro elemental.

Al igual que los fosfatos se utiliza el principio de espectroscopia por absorción molecular.

Capítulo V

Propuesta de Sensores para el Monitoreo en Tiempo Real

Metales/ Otros

Para la determinación de la concentración de estos elementos químicos se utiliza el principio de espectroscopia por absorción molecular, cada equipo debe estar acondicionado para cada uno de los elementos que se desee sensar.

Temperatura

En física, se define como una magnitud escalar relacionada con la energía interna de un sistema termodinámico, es referida a las nociones comunes de caliente, tibio o frío que pueden ser medida con un termómetro. Es una de las variables más importantes cuando se tiene procesos que implican cambios físicos o químicos, existen diversas modalidades de medir la temperatura como por ejemplo:

El termómetro de resistencia que consiste en un alambre de algún metal (comúnmente el platino) cuya resistencia eléctrica cambia cuando varía la temperatura; el termopar que es un dispositivo utilizado para medir temperaturas basado en la fuerza electromotriz que se genera al calentar la soldadura de dos metales distintos y el termistor que es un dispositivo que varía su resistencia eléctrica en función de la temperatura.

Flujo

El caudal es la cantidad de fluido que pasa en una unidad de tiempo. Las formas de medir pueden ser volumétrica o de masa. De los medidores volumétricos se tiene la forma directa (desplazamiento) o indirecta por deducción (presión diferencial, área variable, velocidad, fuerza, tensión inducida, torbellino etc...) Los medidores de masa efectúan su medida a partir del conocimiento del volumen compensando las variaciones por densidad de flujo o bien determinar el caudal masa aprovechando las características medibles de la masa⁵².

Los tipos más comunes son el electromagnético y de rueda de paletas, siendo más económico el segundo. Se requiere que exista un flujo totalmente turbulento para obtener medidas exactas y precisas esto se da cuando el número de Reynolds es mayor a 4500.

$$Re = \frac{\rho v_s D}{\mu}$$

Donde Re es el número de Reynolds, ρ es la densidad del fluido, v_s es la velocidad del fluido, D diámetro a través del cual circula el fluido y μ la viscosidad dinámica del fluido.

Capítulo V

Propuesta de Sensores para el Monitoreo en Tiempo Real

Nivel

Los sensores de nivel permiten conocer la distancia ocupada por una sustancia (líquida o sólida) dentro de un recipiente, tanque, o depósito que la contenga. Sabiendo este y por simple geometría de este nos lleva a conocer el volumen de agua con el que se realizan los procesos. La medida puede ser directa (midiendo la altura a una elevación referida por medio de sonda, cinta, plomada, nivel de cristal, instrumentos de flotación etc...) por presión hidrostática, (manómetro, membrana, tipo burbujeo, presión diferencial de diafragma etc...) o por medio de las características eléctricas del líquido (resistivo conductivo, capacitivo, ultrasónico, de radiación laser etc...)

Los sensores de ultrasonido son los más recomendados, por no estar en contacto con el agua y no ser víctimas de la corrosión. El sensor está equipado con transmisor de pulsos a una frecuencia normalmente entre 15-200 kHz y en un receptor de estos pulsos que indicará cuando la señal se vuelve al punto de origen, midiendo el tiempo que tarda el sonido en regresar, estos también son víctimas de error por temperatura por en su mayoría ya vienen integrados con un termistor.

5.2.2 Descripción del sensor sugerido

Una vez que se conocen las variables a sensar, la ubicación de los sensores y, gracias al análisis estadístico, los rangos de los parámetros; se hizo una búsqueda de sensores en las empresas ABB⁵⁷, Endress + Hausser⁵⁸ Emerson⁵⁹, Hach-Lange⁶⁰ y Yokogawa⁶¹.

Se recomendarán principalmente aquellos sensores que se adecuen mejor al proceso y que sean económicamente accesibles. Ni los transmisores, ni los actuadores serán especificados ya que el trabajo no contempla la parte de comunicación y control.

Como se mencionó en el capítulo III, se utilizarán las máximas y mínimas encontradas para la variable analizada para determinar un límite, para aquellos parámetros que servirán para medir la eficiencia de la planta se recomienda utilizar el mismo sensor ya que esto podría reducir en gran medida la incertidumbre en los valores de eficiencia.

La tabla 40 muestra los datos utilizados para determinar las características del sensor, tanto para el influente como para el efluente de los sensores propuestos (sin considerar los valores atípicos).

Se recomiendan sensores sumergibles permitiendo obtener la lectura del líquido homogenizado y debido a las profundidades de los sedimentadores también debe ser considerada la presión a la que trabaja el instrumento.

Capítulo V

Propuesta de Sensores para el Monitoreo en Tiempo Real

Tabla 37.- Características detectadas del análisis estadístico

Sensor	Variable representativa	Valor Mínimo	Valor Máximo
Influyente			
pH	pH	5.96	11.04
Conductividad	SST	5 mg/L	477 mg/L
Turbidez	SDT	161 mg/L	1462 mg/L
Fosfatos	Fosfatos	3.98 mg/L	73.69 mg/L
Materia Orgánica Disuelta	DBO ₅	6 mg/L	401 mg/L
Materia Orgánica Disuelta	DQO	46.69 mg/L	1022 mg/L
Efluente			
pH	pH	6.48	8.25
Conductividad	SST	4 mg/L	90 mg/L
Turbidez	SDT	54 mg/L	830 mg/L
Fosfatos	Fosfatos	2.80 mg/L	62.10 mg/L
Metales	Plomo.	0.06 mg/L	0.24 mg/L
Metales	Cadmio	0.0040 mg/L	0.1990 mg/L
Metales	Mercurio	0.00014 mg/L	0.035 mg/L
Metales	Arsenio	0.00034 mg /L	0.00943 mg/L
Metales	Cromo	0.01 mg/L	0.56 mg/L
Metales	Cinc	0.01 mg/L	0.32 mg/L
Metales	Cobre	0.02 mg/L	0.06 mg/L
Metales	Níquel	0.02 mg/L	0.07 mg/L
Materia Orgánica Disuelta	DBO ₅	1 mg/L	27 mg/L
Materia Orgánica Disuelta	DQO	5.30 mg/L	547.4 mg/L

pH

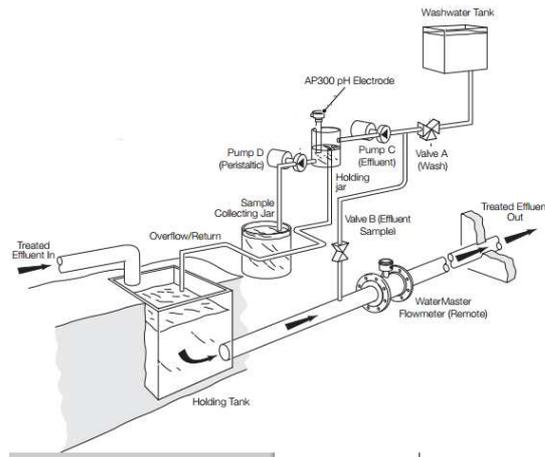
Para el influente se estima un rango de 6 a 11 unidades, mientras que para el efluente de 6 a 8. Para esta variable se recomienda el sensor pH / Redox (ORP) Sensor AP303/11 de la empresa ABB. Tiene un rango de 0 - 14 unidades para pH, es sumergible 38mm, con compensador de temperatura, cuenta con un rango de operación para temperatura de 5 – 100 °C, para presión de 6 bar a 25°C, electrodo de vidrio plano.

La hoja de datos no cuenta con especificaciones de resolución y sensibilidad. Integrado al sensor se encuentra otro sensor de reducción-oxidación (REDOX) con un rango de -2000 – 2000 mV, este valor no es de utilidad para este tipo de proceso.

Este sensor no es colocado en línea directamente sino que requiere de un sistema de monitoreo como se muestra en la figura 70.

Capítulo V

Propuesta de Sensores para el Monitoreo en Tiempo Real



70.- Monitoreo de pH

Conductividad (SST)

El influente indica un rango de 243 a 1,744 uS/cm mientras que el efluente de 64.50 a 2,006 uS/cm, (ver anexo 5 y 6) aunque este último valor es atípico no se diferencia mucho del influente y de igual forma que el pH esta variable es usada para determinar eficiencia.

Se seleccionó el sensor de la compañía Yokogawa SC2010G-B-312 ya que tiene un rango medio de 200 us/cm a 20 mS/cm, sumergible a más de 100 mm (figura 71), con un rango de operación de temperatura de 0 a 100°C y de presión a 500kPa (5 bar), la ventaja de este es que esta compensado con un sensor de temperatura (Termistor PB36NTC).

Se debe considerar una calibración y ajuste para determinar los SST a partir del valor arrojado por el sensor de Conductividad.

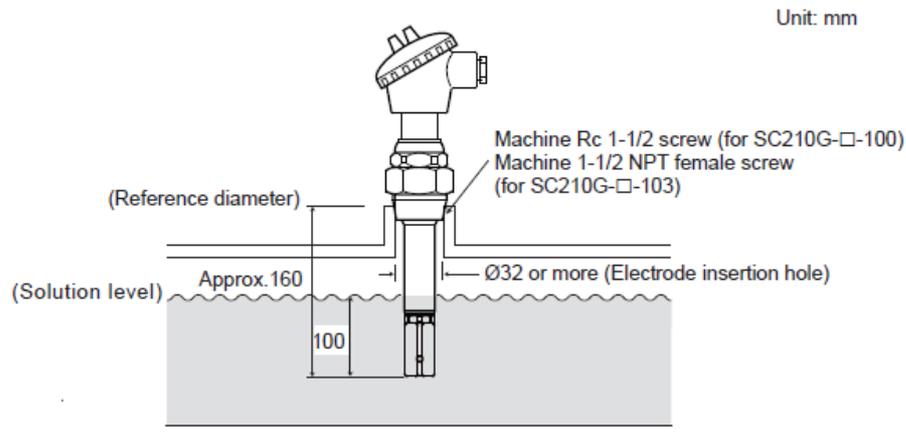
Turbidez (SDT)

El influente indica un rango de 161 a 1,462 mg/L de SDT mientras que el efluente 54 a 830 mg/L, esta variable también es usada para determinar eficiencia.

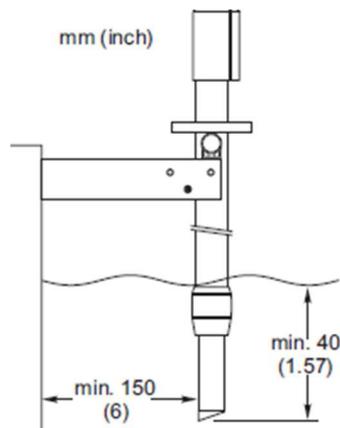
Se requeriría hacer una conversión de unidades nefelométricas de turbidez (FNU) a mg / L sin embargo el sensor Turbimax CUS31 de la empresa Endress + Hauser, considerando este factor arroja los resultados en mg/L.

Tiene un rango de 0 a 3 g/L, maneja un error menor al 5% y una respetabilidad de 1% ambos sobre el valor medido, el sensado se realiza en línea y el fabricante recomienda una distancia (figura 72) del sensor a la pared para evitar errores de medición.

Capítulo V Propuesta de Sensores para el Monitoreo en Tiempo Real



71.- Sensor de Conductividad, en línea



72.- Sensor de Turbidez, en línea

Fosfatos

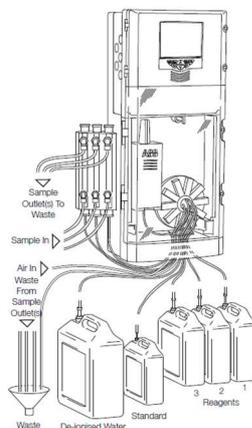
El influente indica un rango de 3.98 a 73.69 mg/L y el efluente 2.80 a 62.10 mg/L. No se encontró ningún instrumento con rango superior mayor a los 80 mg/L, sin embargo considerando que se tiene una media de 19.09 para el influente con una desviación estándar de 8.42 y una media de 15.22 con una desviación estándar de 5.86 para el efluente. Se podría utilizar el sensor Aztec 600 Phosphate Analyzer AW636 de la empresa ABB.

Este instrumento cuenta con un rango (auto-rango) de 0 a 50 ppm (mg/L) una precisión del 5% sobre el valor medido o ± 0.005 ppm (el que sea mayor), una repetitividad del 5% sobre el valor medido o ± 0.03 ppm (el que sea mayor), una resolución de 0.001 ppm y rangos de operación de temperatura de 5 a 45 °C (temperatura de la muestra de 1 a 40 °C) y un 95% de humedad relativa.

Capítulo V

Propuesta de Sensores para el Monitoreo en Tiempo Real

Debido a que este instrumento necesita muestras patrón para arrojar valores de Fosfato, debe ser instalado en una cabina que lo proteja del agua y temperatura (figura 73), así como a una distancia pertinente del proceso para evitar accidentes.



73.- Sensor de Fosfatos

Materia Orgánica Disuelta (DBO₅ y DQO)

Para el DBO₅ el influente indica un rango de 6 a 401 mg/L y el efluente 1 a 27 mg/L. Para el DQO el influente indica un rango de 46.69 a 1022 mg/L y el efluente 5.30 a 547.4 mg/L.

Para cada uno de los parámetros se utilizara el sensor UVAS plus sc Sonda UV para Materia Orgánica (inmersión/bypass), 2 mm. El camino óptico es de 2mm, con compensación de 550nm, mide el coeficiente de absorción espectral SAC de la muestra a 254 nm conforme a DIN 38404 C3. Los valores medidos se visualizan en 1/m.

Tiene un rango de 0 - 1500 1/m SAC 254 calibrable según parámetros y dependiendo de la aplicación, rango de operación de temperatura de 2 a 40 °C y de presión 0.5 bar. El instrumento es conectado en línea como se muestra en la figura 74.

Metales/ Otros

Para la selección de estos equipos solo se analizó el resultado del efluente. Se encontraron instrumentos específicos para Cromo y Cobre.

Para la determinación de las concentraciones de Cromo se recomienda el Stamolys CA71CR-A de la empresa Endress+Hause. Tiene un rango de operación de 0.10 a 2.00 mg/L y aunque el Cromo reporta un rango de 0.01 a 0.56 mg/L en el efluente, la NOM-001 establece como límite máximo permisible valores de 1 mg/L (promedio mensual) por lo que el equipo se ajusta a

Capítulo V

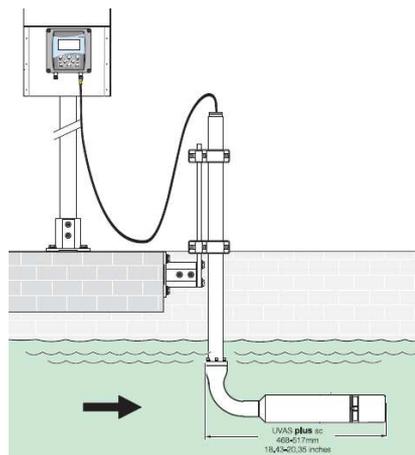
Propuesta de Sensores para el Monitoreo en Tiempo Real

las necesidades, además que las concentraciones de otros elementos no interfieren en su resultado (ver anexo 10).

Para el sensado del Cromo se recomienda el Stamolys CA71CU-B de la misma empresa que el anterior. Tiene un rango de operación de 0.2 a 5 mg/L supera por mucho a las medidas detectadas en el análisis estadístico del efluente pero nuevamente utilizaremos los límites el límite máximo permisible de la NOM-001 que estable una concentración máxima de 4 mg/L (promedio mensual) para justificar la implementación de este equipo.

Para los otros parámetros, en lo que no se encontró un sensor específico, se recomienda un espectrómetro de proceso en línea. La compañía ABB fue la única que cuenta con este tipo de instrumento (FT-IR - FTPA2000-300), sin embargo no se encontró hoja de especificaciones. Este equipo debe ser ajustado para cada parámetro que se desea sensar.

Para cada uno de los instrumentos la instalación debe realizarse como la descrita para el sensor de Fosfatos.



74.- Sensor de Materia orgánica disuelta, en línea

Ya que no se cuenta con la información necesaria de Oxígeno Disuelto, Nitrógeno, Cloro, Cianuros, Temperatura, Flujo y Nivel, no se especificaron los sensores pero se advierte que el empleo de estos facilitaría el análisis del comportamiento de las planta de tratamiento en cada uno de sus procesos.

La eficiencia de la planta mejoraría si además se considerará la implementación de un sistema comunicación y de control que contemple todos los sensores antes mencionados.

Capítulo V

Propuesta de Sensores para el Monitoreo en Tiempo Real

5.2.3 Estimación de los parámetros por época

Para determinar el valor de los parámetros de Magnesio, Calcio, Potasio, Sodio, Silicio, Hierro y Aluminio es necesario realizar un ajuste de las ecuaciones lineales en función de la época, se seleccionaran dos épocas con la finalidad de completar el año. Sabemos que las épocas de calor, lluvia y alta humedad comparten, mayoritariamente, meses así como las de frío, estiaje y baja humedad de tal forma que estas nunca deben ir acompañadas. La selección de la ecuación de ajuste se determinara en función del menor error encontrado en cada una de las épocas, que no comparten meses. Para los parámetros en los que solo en una época se encontró una ecuación, se utilizara esta para el resto de los meses.

La siguiente tabla muestra los parámetros relacionados, la ecuación que mejor se ajusta y la época.

Tabla 38.- Ecuación y época para ajuste de Magnesio, Calcio, Potasio, Sodio, Silicio, Hierro y Aluminio

Real	Estimado	Ecuación	RMSE	Época
Conductividad	Magnesio	$Y = 4.0478x10^{-5}X^2 - 0.051294X + 34.8268$	2.88	Estiaje
Conductividad	Magnesio	$Y = 2.5995x10^{-5}X^2 - 0.016887X + 16.3989$	3.81	Calor
Conductividad	Potasio	$Y = -1.5844x10^{-5}X^2 + 0.037069X - 3.0289$	1.75	Lluvia
Conductividad	Potasio	$Y = -1.7196X^2 + 0.038213X - 3.0534$	2.19	Baja Humedad
Conductividad	Silicio	$Y = -2.8864x10^{-5}X^2 + 0.052122X - 2.0304$	2.65	Frío
Conductividad	Silicio	No se encontró		
Calcio	Magnesio	$Y = 0.60412X + 0.75641$	3.39	Alta Humedad
Calcio	Magnesio	No se encontró		
Sodio	Potasio	$Y = -0.0081476X^2 + 0.23806X + 2.329$	1.68	Calor
Sodio	Potasio	$Y = -0.00017956X^2 + 0.14231X + 5.8083$	1.94	Baja Humedad
SST	Hierro	$Y = 1.74x10^{-5}X^2 + 0.0006262X + 0.47336$	0.47	Calor
SST	Hierro	$Y = 8.1672x10^{-6}X^2 + 0.0026033X + 0.26531$	0.39	Estiaje
Hierro	Aluminio	$Y = 1.2264X + 0.035799$	0.61	Lluvia
Hierro	Aluminio	$Y = 1.1847X + 1.032284$	0.37	Estiaje

A continuación en la siguiente figura se muestra la estimación del Magnesio en función de la Conductividad utilizando la ecuación según la época estipulada en la tabla.

Capítulo V

Propuesta de Sensores para el Monitoreo en Tiempo Real

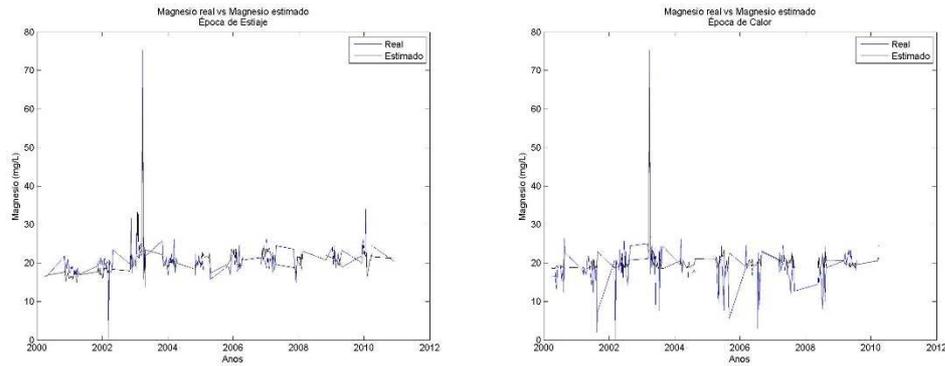


Figura 75.- Estimación de las concentraciones de Magnesio con Conductividad

La época de estiaje comprende los meses de Noviembre a Abril, mientras que la de calor los de Marzo a Agosto, entonces el ajuste requiere que para los meses de la época de estiaje se use la ecuación de esta temporada y para los otros meses se ocupe la ecuación de la época de calor (figura 75).

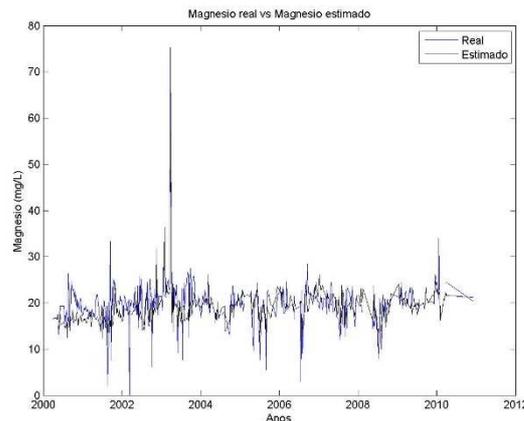


Figura 76.- Estimación de las concentraciones de Magnesio con Conductividad, ajuste de épocas

Ahora bien para determinar el Calcio (figura 76) mediante los valores de Magnesio, se utiliza únicamente la ecuación lineal de la época de alta humedad ya que en las otras épocas de no encontró una correlación. Por lo tanto tenemos que:

$$\text{Concentraciones de Calcio} = \frac{\text{Concentraciones de Magnesio} - 0.75641}{0.60412}$$

Capítulo V

Propuesta de Sensores para el Monitoreo en Tiempo Real

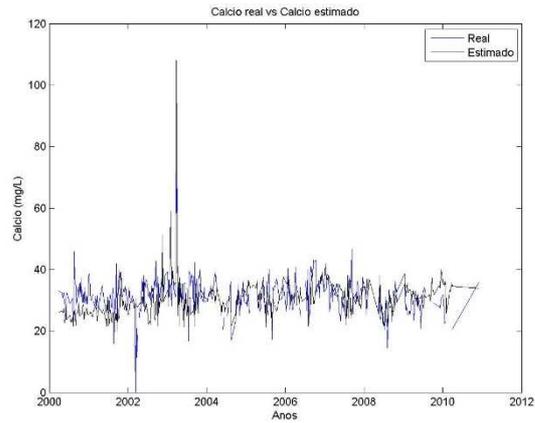


Figura 76.- Estimación de las concentraciones de Calcio con Magnesio, ajuste de épocas

Para determinar las concentraciones de Sodio y Potasio con las concentraciones de Conductividad debe seguirse el mismo criterio anterior descrito. Lo mismo para determinar Hierro y Aluminio en función de los SST.

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

En la evaluación de los parámetros climatológicos, para la época de estiaje se identifica una temporada de frío y otra distinta de baja humedad. Y para la época de lluvia se identifica una temporada de calor y otra distinta de alta humedad.

No se encuentran islas de calor para las delegaciones involucradas en el análisis, esto se atribuye al hecho de que no se contó con series de datos horarios, que son los que permiten advertir el efecto de la isla de calor, como lo ha demostrado el Dr. Jáuregui en sus investigaciones.

Se identificó que existe mayor número de eventos extremos de precipitación en las estaciones climatológicas ubicadas en lugares urbanizados, donde las islas de calor tienden a generarse. Para las precipitaciones extremas los factores de urbanización o altitud no influyen; sin embargo, el análisis mostró que el mes en el que los fenómenos de huracanes tienden a generarse en mayor cantidad, influye en estos eventos.

En general, los eventos extremos de precipitación se presentan mayormente en los meses de Junio Julio, Agosto y Septiembre, que son mayoritariamente los meses de la época de lluvia. Sin observarse un incremento anual en los eventos extremos durante el periodo de análisis (2000-2010).

Se encontraron incrementos anuales en el periodo de análisis completo (2000 – 2010) para la temperatura mínima y para la precipitación, esta última solo en la época de estiaje.

El análisis estadístico de las estaciones climatológicas dejó ver que las zonas de urbanización y de bajas altitudes presentan mayores temperaturas que el resto de las estaciones analizadas y que para las temporadas de mayor precipitación las delegaciones altamente urbanizadas incrementan sus lluvias en comparación con las demás. Lo anterior confirma que la urbanización provoca aumentos de temperatura y precipitación.

En los resultados de la desviación estándar se observó que existe una variabilidad en la precipitación a causa de la urbanización y las bajas altitudes. Para la temperatura, la época de frío es más inestable que la de calor y la de estiaje que la de lluvia. La variabilidad de la precipitación es mayor en la temporada de calor que en la de frío y mayor en la temporada de lluvias que en la de estiaje.

El análisis de la densidad de probabilidad de las estaciones reveló que la temperatura promedio y máxima muestra una forma asimétrica negativa con curtosis leptocúrtica. La temperatura mínima tiene una marcada distribución asimétrica negativa, se presenta la forma leptocúrtica solo para las épocas de calor, lluvia y alta humedad. En general, para las variables anteriores se identifican desplazamientos a la izquierda para las épocas de frío, estiaje y baja humedad y a la derecha para calor, lluvia y alta humedad, sin perder su asimetría negativa. La

Conclusiones y Recomendaciones

precipitación presenta una distribución gamma y la evaporación tiende a ser leptocúrtica con asimetría positiva.

En la correlación de los eventos climatológicos, se encontró que las temperaturas promedio están fuertemente correlacionadas con las temperaturas máximas y mínimas. No se encontró que la urbanización y altura fueran factor de fuerza en las correlaciones ni tampoco que las épocas determinaran el incremento o dirección de la correlación. No hubo correlación entre temperatura máxima y mínima. La precipitación y evaporación no se relacionan con ninguna variable.

Se determinaron ecuaciones polinomiales para describir a la temperatura mínima y máxima en función de los registros de temperatura promedio.

Debido a la escases de datos en la base de datos de la planta "Cerro de la Estrella" no fue posible determinar el tiempo de impacto de un evento climatológico en la calidad del agua residual que recibe la planta, sin embargo si permitió determinar periodos críticos.

El análisis estadístico descriptivo de los datos de calidad del agua residual, tanto del influente como del efluente, reportó que en su mayoría los parámetros tienen las mayores concentraciones en la época de estiaje que en la de lluvia. Y la mayor variabilidad, en la mayoría de los parámetros, se identificó en las épocas de calor seguida de la época de lluvia y la menor en las de frío y estiaje, y para algunos parámetros importantes (pH, Calcio, Sodio, Cinc, Cromo y Plomo), estiaje es la época inestable y lluvia la estable.

La densidad de probabilidad para los parámetros del influente de la PTAR "Cerro de la Estrella" son leptocúrticas con asimetría positiva y las épocas que más se ven afectadas en su simetría son: la de lluvia que tiende a moverse a la izquierda y la de estiaje que se mueve a la derecha. Para el efluente la forma de la densidad de probabilidad también es leptocúrtica de asimetría positiva; otra vez la época de estiaje tiene un corrimiento a la derecha y la de lluvia a la izquierda.

Para los parámetros del influente de Conductividad, SDT, SST, Fosfatos, DBO₅, y la DQO, a pesar de estar correlacionados entre sí, no se encontraron ecuaciones que describieran su comportamiento y cuyo error cuadrático medio fuese pequeño.

Se obtuvieron ecuaciones, con ajustes para las épocas de análisis, para determinar las concentraciones de Magnesio, Potasio, Sodio, Calcio, Hierro y Aluminio y así ahorrar el sensado de estos parámetros.

Para los parámetros del efluente únicamente se encontró que hay correlación de la Conductividad con el Silicio, excepto en la época de lluvia y de alta humedad.

Conclusiones y Recomendaciones

El análisis de la remoción determinó que la época de estiaje tiene una mejor remoción que la de lluvia, sin embargo el desconocimiento de datos sobre la cantidad de caudal tratado no permite determinar si el comportamiento de la planta se ve mayormente afectado en su remoción por alguna de las dos épocas antes mencionadas.

El análisis a detalle de los años 2005 y 2009, cuando se presentaron los eventos intensos de ENSO y huracanes, muestran que las precipitaciones son la causa principal de la afectación en las concentraciones de los parámetros de calidad del agua residual.

Con los resultados de los análisis realizados fue posible determinar el rango de los sensores que se recomienda instalar en la planta de tratamiento de agua residual "Cerro de la Estrella". Se sugiere instalar sensores para la detección en tiempo real de los parámetros de pH, Conductividad (SST), Turbidez (SDT), Fosfatos y Materia Orgánica Disuelta (DBO₅ y DQO). Se recomienda la instalación de instrumentos para medir las concentraciones de Plomo, Cadmio, Mercurio, Arsenio, Cromo, Cinc, Cobre y Níquel para cumplir con lo estipulado en la NOM-001 y NOM-002. Se evaluó que los sensores deberían ser del tipo continuo (en línea) y las ubicaciones prioritarias deberían ser en la entrada del primer sedimentador y a la salida del sedimentador secundario.

Ecuaciones obtenidas en el análisis de la correlación con el ajuste adecuado de épocas permite obtener valores de las concentraciones para Magnesio, Potasio, Silicio, Calcio y Sodio a partir de los valores de Conductividad, y para Hierro y Aluminio a partir de los SST y de esta forma eliminar el sensado de parámetros que no son de importancia para el funcionamiento y operación de la planta pero determinarlos a partir de ecuaciones, ya que estos datos podrían ser utilizados en investigaciones respecto a los contenidos de ciertas sustancias en el influente de la planta.

Recomendaciones

El análisis realizado de las variables climatológicas demuestra que son las zonas urbanizadas las que presentan aumentos en la temperatura y precipitación, y aun cuando la presente investigación no contempló la cantidad de agua residual generada por cada delegación, se sugiere que en estudios posteriores se emplee dicha información junto con la obtenida en este trabajo, para determinar características específicas del influente de la planta de tratamiento de agua residual "Cerro de la Estrella".

Diversos estudios han comprobado que el uso de un sistema de alcantarillado mixto provoca complicaciones en las plantas de tratamiento. Para el Distrito Federal parece no ser factible separar estos sistemas, por todas las complicaciones que esto generaría, o en su caso

Conclusiones y Recomendaciones

sería muy complejo, por ello la instrumentación de una planta de tratamiento de agua residual es una alternativa para cuando se trabaja con drenaje pluvial-residual.

Considerando los resultados de esta investigación y siendo “Cerro de la Estrella”, la planta de tratamiento residual más grande del Distrito Federal, debido a su capacidad, a la variabilidad del influente y al reusó que se le da al efluente, se advierte que la adquisición en tiempo real de los parámetros recomendados en este estudio contribuirá para que los impactos de las lluvias no repercutan en los procesos, permitiendo una estabilización de estos en un tiempo mucho más corto que el que hoy en día se tiene con los métodos de análisis empleados en la planta de tratamiento.

De realizarse una instrumentación, el enriquecimiento de la base de datos de la PTAR “Cerro de la Estrella” con valores diarios (incluso horario), permitiría el uso de técnicas de análisis más robustas para el funcionamiento, operación y control de los procesos en la planta.

Debido a que no se contó con datos para los años de análisis de la estación climatológica ubicada en la delegación Iztapalapa, se recomienda el registros del clima en la planta de tratamiento “Cerro de la Estrella” con sensores de monitoreo climatológico para poder determinar los impactos del tiempo local (clima) específicamente en cada uno de los procesos de la planta.

Contar con un sistema de alerta que prevenga a la planta de tratamiento de agua residual “Cerro de la Estrella” cuando las precipitaciones sean mayores a los 20mm y en caso de eventos climatológicos como Huracanes y ENSO debido a que estos repercuten con intensidad en los patrones de lluvia.

Un sistema integral de medición que contemple: sensores de flujo y temperatura en sitios clave en las líneas de drenaje, instalación en la planta de bombeo Aculco de los mismos tipos de sensores propuestos en el estudio a la entrada del influente de la planta, así como el sensado de nutrientes en las líneas de drenaje y complementado con una red de comunicación entre las estaciones climatológicas y todo el sistema de instrumentación del manejo de la calidad del agua residual, permitiría la adaptación del proceso de la planta de tratamiento ante un cambio climático y advertiría de la contaminación por concentraciones atípicas de algún parámetro.

Bibliografía

1. Hoffman M., Reynolds L., (1994) The Role of Control Systems in the Management of a Modern Water Utility, The third IEEE conference on Control Applications. **3**, pp 1479-1485.
2. Tian J., Wu H. y Gao M. (2008) Measurement and control system of Sewage Treatment Base on Wireless Sensor Networks. *IEEE International Conference on Industrial Technology*. pp 1-4.
3. Cao L., (2009). Wirless Mesh Monitoring System for Sewage Treatment Plant. Second *ISECS International Colloquium on Computing, Communication, Control, and Management*, **4**, pp 350-353.
4. Li W., Sun Y., (2009) Automatic Monitoring and Control System of Industrial Sewage Treatment, *Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference*. pp 1-4.
5. Mikkelsen P., Madsen H., Arnbjerg-Nielsen K., Rosbjerg, D. & Harremoe P., (2005) Selection of regional historical rainfall time series as input to urban drainage simulations at ungauged locations. *Atmospheric Research*. **77**, pp 4–17.
6. Semadeni-Davies A., Hernebring C., Svensson G. & Gustafsson L.G. (2008) The impacts of climate change and urbanization on drainage in Helsingborg, Sweden: Suburban stormwater. *Journal of Hydrology*., **350**, pp 114–125.
7. Ashley R., Clemens F., Tait S., Schellart A. (2008). Climate change and the implications for modelling the quality of flow in combined sewers. *11th International Conference on Urban Drainage*, Edinburgh Scotland, UK.
8. Zhou Q., Panduro T. E., Thorsen B. J. & Arnbjerg-Nielsen K. (2013) Adaption to extreme rainfall with open urban drainage system an integrated hydrological cost benefit analysis. *Environmental Management*, **51**(3), pp 586–601.
9. NACWA Association of Metropolitan Water Agencies, (2009), Conforting Climate Change: An early analysis of water and wastewater adaptations costs. CH2M HILL, Inc.
10. Moore D. M. (2013) Orange County Sanitation District Wastewater Treatment Impacts from AB 32 and Climate Change . Environmental and Regulatory Affairs Manager Environmental and Regulatory Affairs Manager County Sanitation District Orange. Disponible en: <http://www.sandiego.gov/environmental-services/sustainable/pdf/orange.pdf> [consultada 20 Marzo 2013]
11. Parry M., Canziani O., Palutikof J., Van der Linden P. & Hanson C. (Eds) (2007). Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the IPCC Fourth Assessment Report Cambridge University Press: Cambridge, UK, pp 976.
12. Plósz G.B., Liltved H., Ratnaweera H. (2009) Climate change impacts on activated sludge wastewater treatment: a case study from Norway. *Water Science & Technology*, **60**(2), pp 533-541.
13. Langeveld J., Schilperoort R., Weijers S., (2013), Climate change and urban wastewater infrastructure: there is more to explore. *Journal of Hydrology*, **476**, pp 112-119.
14. Lafragua J., Gutiérrez A., Aguilar E., Aparicio J. (2003) Balance hídrico del valle de México, IMTA (no publicado).

Bibliografía

15. INEGI (2012) México en Cifras 2010. Disponible en: <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/df/territorio/clima.aspx?tema=me&e=09>. [Consultada 25 Septiembre 2012].
16. INEGI (2012) Principales resultados del Censo de Población y Vivienda 2010 Distrito Federal. Disponible en: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?src=487&e=9> [Consultado 7 Diciembre 2012].
17. SEDEMA (2006) Sexto informe de trabajo, Octubre 2006. Disponible en: http://www.sma.df.gob.mx/sma/download/archivos/informe_medioambiente2006.pdf [consultada Agosto 2012]
18. INEGI (2012) Estadística de Medio Ambiente del Distrito Federal y Zona Metropolitana 2002. Disponible en: http://www.inegi.gob.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/sociodemografico/medioambdf/2002/archivo1.pdf [Consultada 6 Septiembre 2012].
19. Tejeda A. & Jáuregui E. 2005. Surface energy balance measurements in the México City region: A review. *Atmósfera* **18**, 1-23
20. Conde C., (2006). *México y el cambio climático global*. México, D.F.: Dirección General de Divulgación de la Ciencia, UNAM.
21. Velasco V., Mendoza B. (2008). Assessing the relationship between solar activity and some large scale climatic phenomena. *Advances in Space Research*, **42**(5), pp 866–878.
22. Oke. T.R., Zeuner G. & Jáuregui E. (1992) The surface energy balance in México City. *Atmospheric Environment*, **26**(B4), pp. 433-444.
23. Jáuregui E. (2009) The heat spells in Mexico City. *Investigaciones Geográficas UNAM*, **70**, pp. 71-76.
24. Jáuregui E., & Romales E. (1996) Urban effects on convective precipitation in Mexico City. *Atmospheric Environment*, **30**(20), pp 3363-3389.
25. Gitay H., Suárez A., Watson R. & Dokken D. (Eds.) (2002) Cambio Climático y Biodiversidad Documento técnico V IPCC, pp 7-8
26. León Diez C. (2007) Análisis de Vulnerabilidad y Desarrollo de Medidas de Adaptación para el Plan de Cambio Climático de la Ciudad de México. Disponible en: http://www.sma.df.gob.mx/cclimatico/descargas/analisis/02_informe_parte1.pdf [Consultada 29 Enero 2013]
27. Jáuregui E. (1974) La isla de lluvia de la Cd. de México. *Recursos Hidráulicos*, **3**(2), pp 138-51.
28. SEDEMA (2012) Informe Final del Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2008-2012. Disponible en: http://www.sma.df.gob.mx/sma/links/download/biblioteca/paccm_27ago2012.pdf [Consultada 16 Octubre 2012].
29. Oliver J., Bierly G. Panofsky H., (2001). Encyclopedia of Physical Science and Technology. (3^a ed), *Climatology* (pp 70-77) Elsevier.

Bibliografía

30. Trenberth Kevin E. (1997) The Definition of El Niño. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **78**, pp 2771–2777.
31. CPC (2012) Changes to the Oceanic Niño Index. Disponible en: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml [Consultada 17 Agosto 2012].
32. Magaña O., Vázquez L. (2003) Impact of El Niño on Precipitation in México. *Geofísica Internacional*, **42**(3), pp 313-330.
33. Villers L., Hernández J. Incendio Forestales y Variabilidad Climática en México. Disponible en: <http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal11/Procesosambientales/Climatologia/08.pdf> [Consultada 3 Diciembre 2012].
34. UNISYS (2012) Hurricane/Tropical Data for Eastern Pacific Disponible en: http://weather.unisys.com/hurricane/e_pacific/2006H/index.php [consultada 17 Diciembre 2012].
35. CENAPRED (2012) Inundaciones Pluviales, Fluviales, Costeras y Lacustres. Disponible en: http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=78&Itemid=190 [Consultada 28 Agosto 2012].
36. Marín A., Osés M., (2013) *Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales con el proceso de lodos activados Tomo I*. Comisión Estatal del Agua de Jalisco. Dirección de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.
37. IPNI (2012) Conozca la diferencia de Cobre. Disponible en: [http://www.ipni.net/ppiweb/iamex.nsf/\\$webindex/5F5044E7DA7EEABE06256ABF0059F50E/\\$file/Conozca+la+deficiencia+de+cobre.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iamex.nsf/$webindex/5F5044E7DA7EEABE06256ABF0059F50E/$file/Conozca+la+deficiencia+de+cobre.pdf) [consultada 11 Septiembre 2012].
38. Metcalf & Eddy, Inc. (1991), *Wastewater Engineering, Treatment, Disposal and Reuse*, (3er Ed). McGraw-Hill.
39. CONAGUA (2009) Estadísticas del Agua de la Región Hidrológico-Administrativa XIII, Aguas del Valle de México. Edición 2009. México.
40. SEMARNAT (2012) Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Disponible en: http://www.semarnat.gob.mx/leyesy normas/Pages/nom_aguas_residuales.aspx [consultada 21 Noviembre 2012].
41. SEMARNAT (2012) Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público. [recurso electrónico] Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Disponible en: http://www.semarnat.gob.mx/leyesy normas/Pages/nom_aguas_residuales.aspx [consultada 21 Noviembre 2012].

Bibliografía

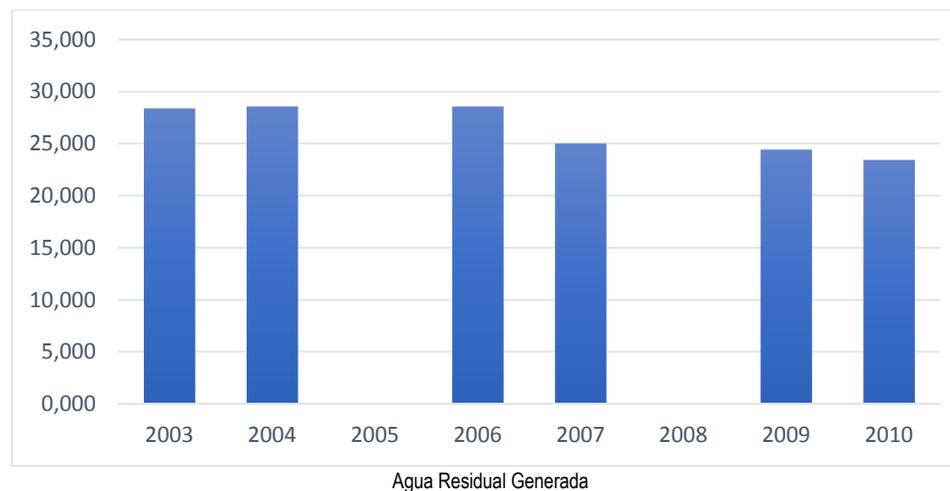
42. CONAGUA (2012) Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación 2009. Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGAPDS-INVENTRIO%202011%20FINAL.pdf> [Consultada 10 Julio 2012].
43. Magaña R. (2007) Problemática del tratamiento de agua sometida a cloración y elaboración de un proceso complementario en la planta de tratamiento de agua residuales Cerro de la Estrella Tláhuac, México. Tesis, Universidad Nacional Autónoma de México, pp 95.
44. ATL (2013) Política Hídrica y Cambio Tecnológico en tecnologías aplicadas al Tratamiento de las Aguas Residuales. Disponible en: http://www.atl.org.mx/coloquio/attachments/132_132_TRABAJO%20COMPLETO%20conagua_hgv%20prg%20mplb.pdf [Consultada 16 Febrero 2013].
45. Juárez M., y Carrillo H., (2007) Rehabilitación de equipo electromecánico del cárcamo de bombeo de agua tratada planta cerro de la estrella. Tesis, Instituto Politécnico Nacional, pp 210.
46. CLICOM (2012) Descarga de Datos. Disponible en: <http://clicom-mex.cicese.mx/> [Consultada 2 Septiembre 2012].
47. UC IPM (2003) Degree-Days Disponible en: <http://www.ipm.ucdavis.edu/WEATHER/ddconcepts.html> [consultada 19 Junio 2013].
48. Estrada F., Martínez A., Fernández A., Luyando E., & Gay C. (2009) Defining climate zones in México City using multivariate analysis. *Atmósfera*, **22**(2), 175-193.
49. ATV Abwassertechnische Vereinigung, (1994) Determinación del grado de eficiencia de plantas de tratamiento de agua residual. Hoja técnica M 775.
50. Creus Solé A. (1997) *Instrumentación Industrial*. Barcelona, España (6ª ed). Alfaomega.
51. Lux Monroy M.A., (2010). Medidores de flujo en calanes abiertos, Tesis, Universidad de San Carlos de Guatemala, pp 109.
52. Torrescano J.L. (2009) Parámetros de operación en el proceso de tratamiento de agua residual por lodos activados., *Aquaforum*, **13**(52), pp 14-19.
53. Montoya J.D., González M. (2012) Instrumentación y Automatización de Plantas de Tratamiento de Agua Industrial. (no publicado).
54. UNAM, Departamento de físico química. Disponible en: http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/ApuntosB_18602.pdf. [consultada 12 Julio 2013].
55. LICEUS (2013) Automatización Medioambiental: Aplicación de la automatización industrial y el control de procesos, en la protección y conservación del medio ambiente. Disponible en: <http://www.liceus.com/cgi-bin/ac/pu/AutomatizacionMedioambiental.pdf> [Consultada Marzo 2013].
56. Häck M. (2006), Informe Práctico Sistema de Control de Procesos LDO, Hanche Lange, (no publicado)
57. ABB (2013) Measurement Products. Disponible en: <http://www.abb.com.mx/product/us/9AAC910019.aspx?country=MX> [Consultada 13 Julio 2013].

Bibliografía

58. ENDRESS+HAUSER Liquid Analysis (2013) Disponible en; <http://www.mx.endress.com/#products/~products-instruments-liquid-anaylsis>. [Consultada 10 Julio 2013].
59. EMERSON, Análisis de Líquidos (2013). Disponible en: <http://www2.emersonprocess.com/es-es/brands/rosemountanalytical/Liquid/Pages/index.aspx>. [Conduktada 16 Julio 2013].
60. HACH-LANGE (2012) Accesorios en Continuo. Disponible en: <http://www.hach-lange.es/view/content/facetsearch?fn=defaultProducts&fv=64776&type=Product> [Consultada 22 Julio 2013].
61. YOKOGAWA (2013) Environmental and Analytical Products Disponible en: <http://www.yokogawa.com/an/index.htm> [consultada 15 Julio 2013]

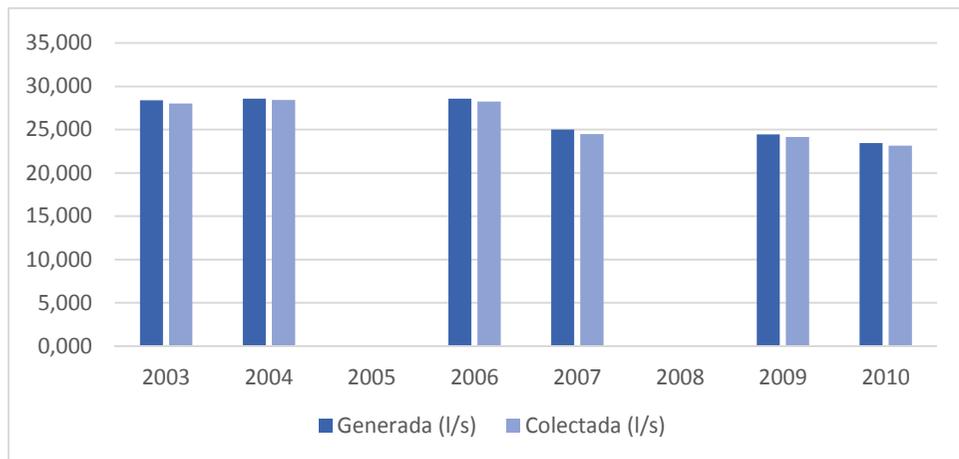
Anexo 1 Estadísticas Agua Residual para el Distrito Federal.

Año	Generada (l/s)	Colectada (l/s)	Capacidad Instalada (l/s)	Caudal Tratado (l/s)	Cobertura de Tratamiento (%)
2003	28,380	28,018	6,809	3,790	13.5
2004	28,584	28,439	6,809	3,790	13.3
2005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00
2006	28,584	28,240	6,543	3,525	12.5
2007	25,011	24,486	6,543	3,525	14.00
2008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00
2009	24,428	24,135	6,481	3,123	12.9
2010	23,424	23,143	6,771	3,330	14.4

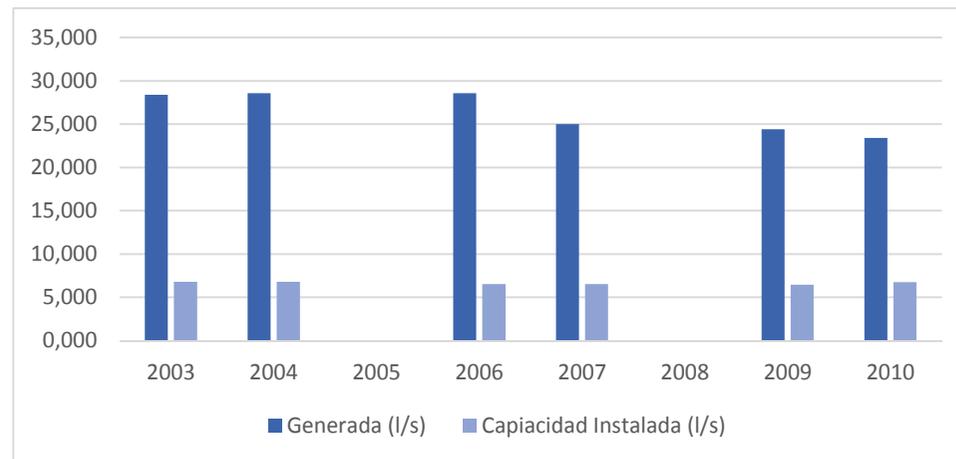


Anexo 1

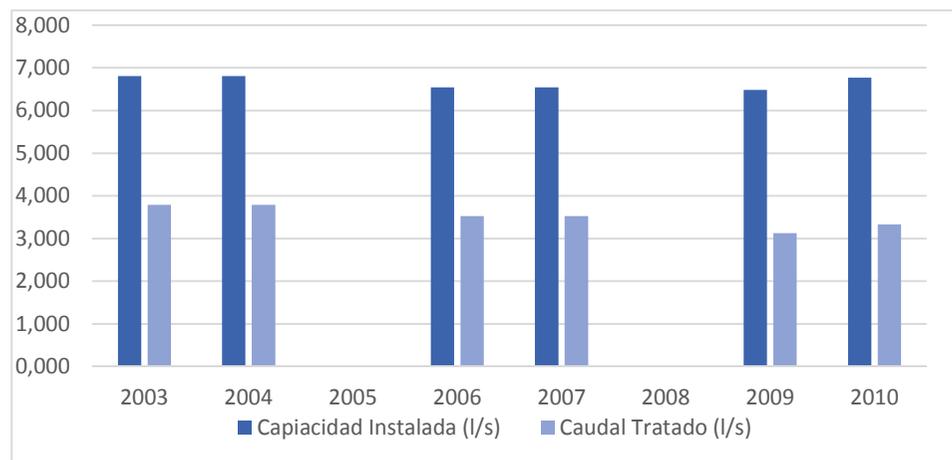
Estadísticas Agua Residual para el Distrito Federal.



Agua Residual Generada vs Colectada Agua



Residual Generada vs Capacidad Instalada

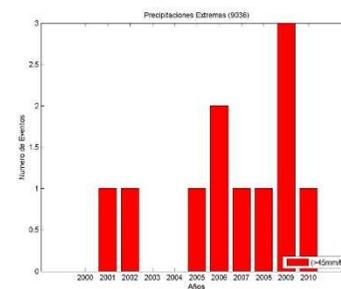
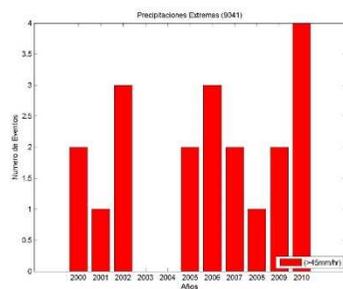
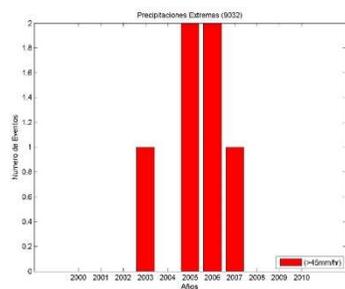


Capacidad Instalada vs Caudal Tratado

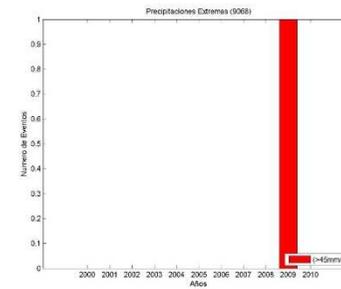
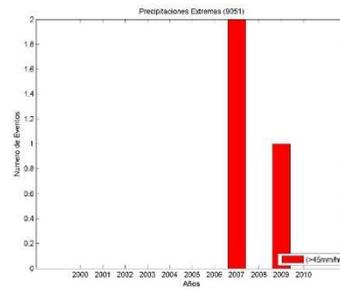
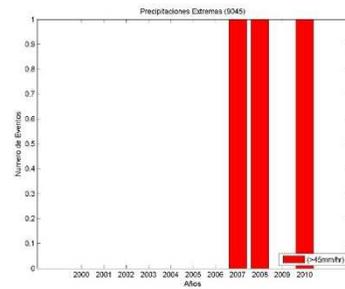
Anexo 2 Eventos de Precipitación Extrema, Anual

Precipitaciones Extremas

9032											
2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	
0	0	0	1	0	2	2	1	0	0	0	
9036											
2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	
0	1	1	0	0	1	2	1	1	3	1	
9041											
2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	
2	1	3	0	0	2	3	2	1	2	4	
9045											
2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	
0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	
9051											
2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	
0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	
9068											
2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	

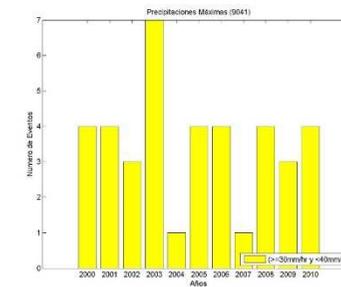
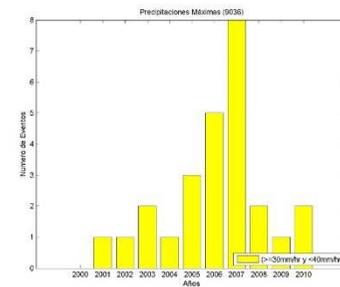
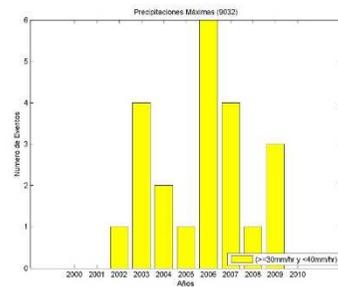


Anexo 2 Eventos de Precipitación Extrema, Anual

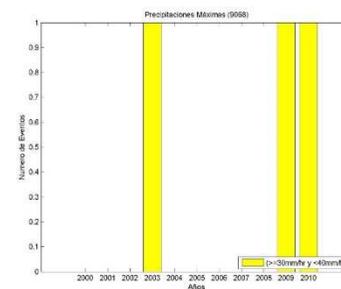
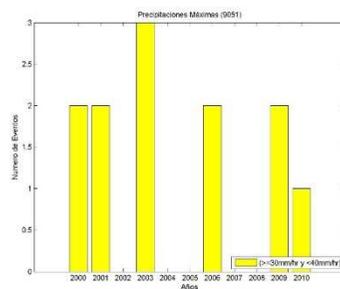
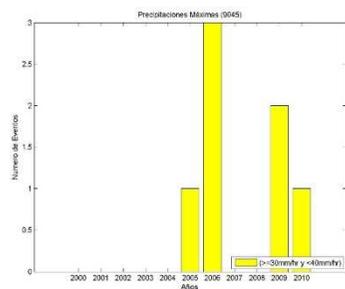


Precipitaciones Máximas

9032										
2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
0	0	1	4	2	1	6	4	1	3	0
9036										
2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
0	1	1	2	1	3	5	8	2	1	2
9041										
2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
4	4	3	7	1	4	4	1	4	3	4
9045										
2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
0	0	0	0	0	1	3	0	0	2	1
9051										
2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
2	1	0	3	0	0	2	0	0	2	1
9068										
2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1



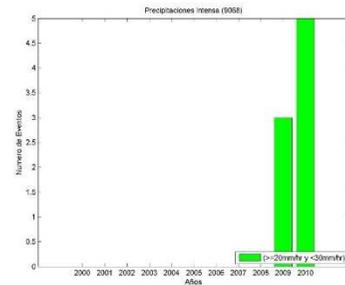
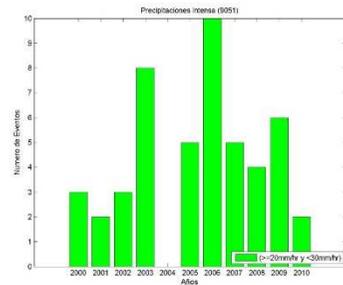
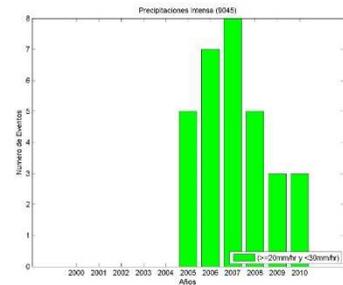
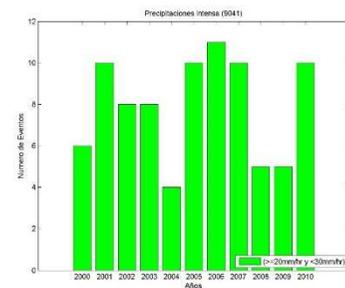
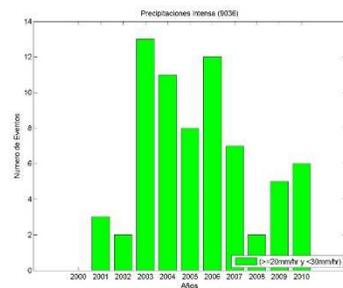
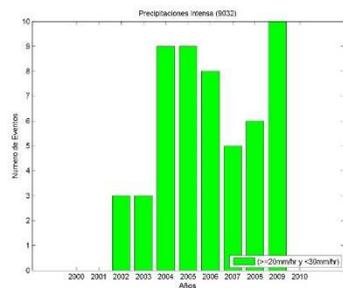
Anexo 2 Eventos de Precipitación Extrema, Anual



Precipitaciones Intensas

9032										
2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
0	0	3	3	9	9	8	5	6	10	0
9036										
2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
0	3	2	13	11	8	12	7	2	5	6
9041										
2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
6	10	8	8	4	10	11	10	5	5	10
9045										
2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
0	0	0	0	0	5	7	8	5	3	3
9051										
2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
3	2	3	8	0	5	10	5	4	6	2
9068										
2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	5

Anexo 2 Eventos de Precipitación Extrema, Anual

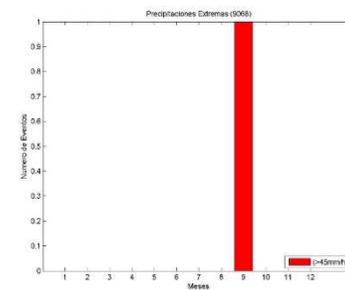
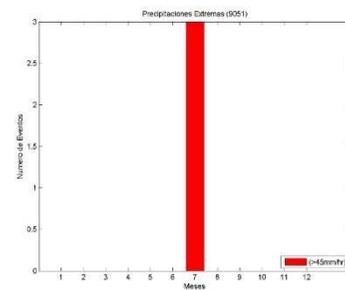
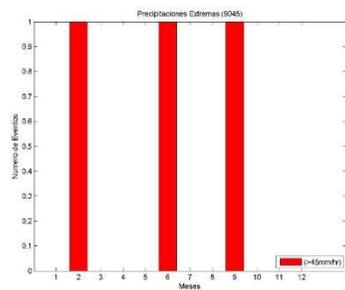
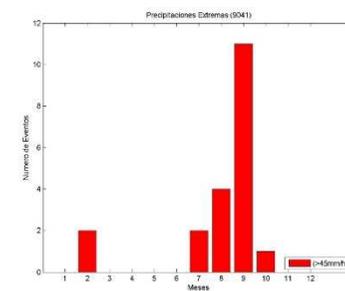
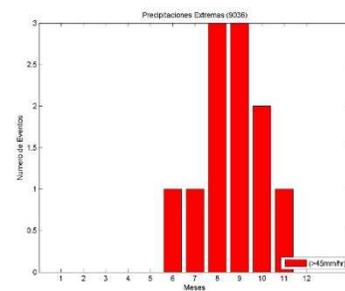
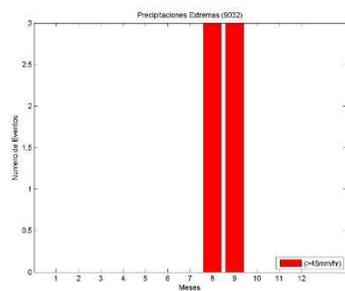


Anexo 3

Eventos de Precipitación Extrema, Mensual

Precipitaciones Extremas

Enero (1)	Febrero (2)	Marzo (3)	Abril (4)	Mayo (5)	Junio (6)	Julio (7)	Agosto (8)	Septiembre (9)	Octubre (10)	Noviembre (11)	Diciembre (12)
9032											
0	0	0	0	0	0	0	3	3	0	0	0
9036											
0	0	0	0	0	1	1	3	3	2	1	0
9041											
0	2	0	0	0	0	2	4	11	1	0	0
9045											
0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
9051											
0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0
9068											
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0

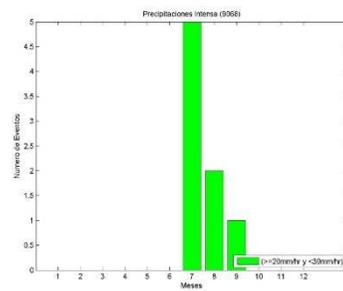
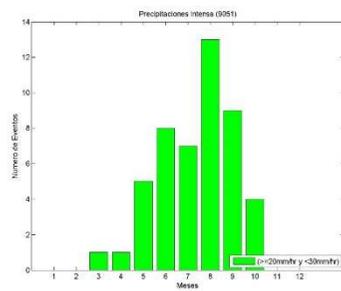
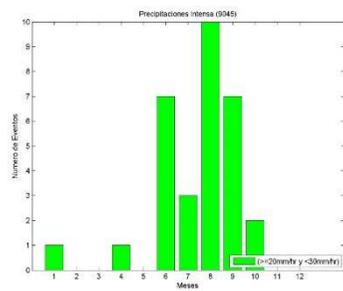
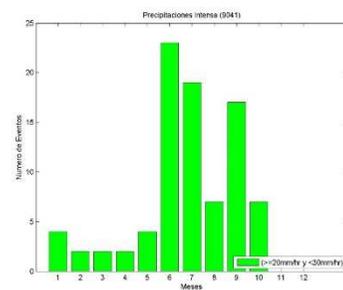
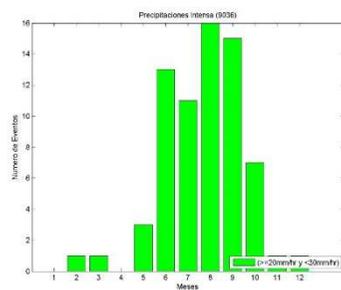
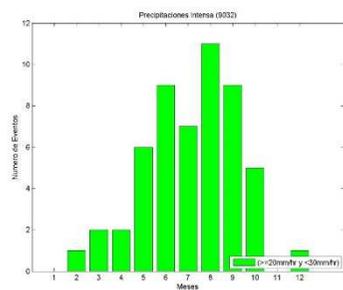


Anexo 3

Eventos de Precipitación Extrema, Mensual

Precipitaciones Máximas

Enero (1)	Febrero (2)	Marzo (3)	Abril (4)	Mayo (5)	Junio (6)	Julio (7)	Agosto (8)	Septiembre (9)	Octubre (10)	Noviembre (11)	Diciembre (12)
9032											
1	0	1	1	2	2	3	4	7	1	0	0
9036											
0	0	0	0	0	3	8	5	9	1	0	0
9041											
0	0	0	2	3	3	10	9	10	2	0	0
9045											
0	0	1	0	0	0	1	0	3	2	0	0
9051											
0	1	0	0	0	2	2	3	3	1	0	0
9068											
0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0

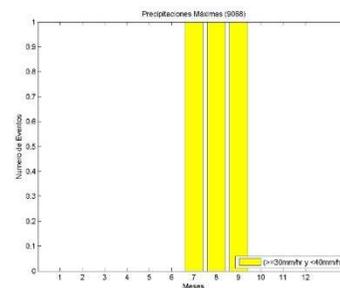
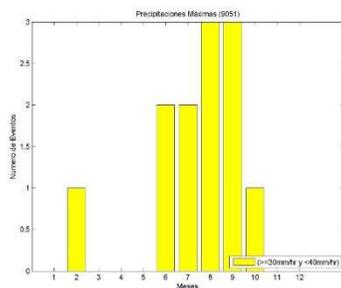
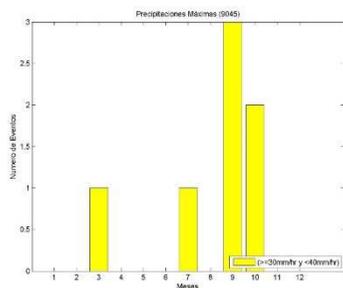
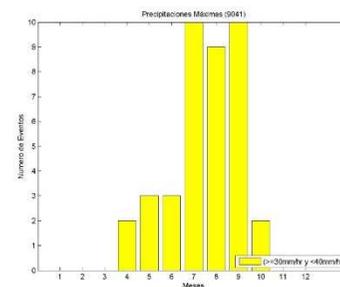
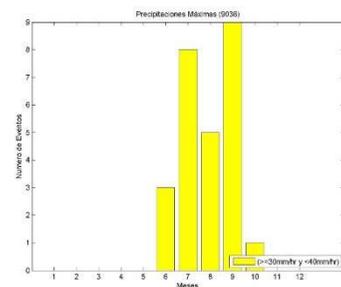
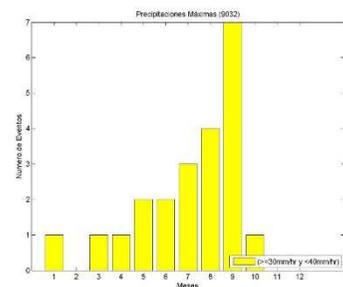


Anexo 3

Eventos de Precipitación Extrema, Mensual

Precipitaciones Intensas

Enero (1)	Febrero (2)	Marzo (3)	Abril (4)	Mayo (5)	Junio (6)	Julio (7)	Agosto (8)	Septiembre (9)	Octubre (10)	Noviembre (11)	Diciembre (12)
9032											
0	1	2	2	6	9	7	11	9	5	0	1
9036											
0	1	1	0	3	13	11	16	15	7	1	1
9041											
4	2	2	2	4	23	19	7	17	7	0	0
9045											
1	0	0	1	0	7	3	10	7	2	0	0
9051											
0	0	1	1	5	8	7	13	9	4	0	0
9068											
0	0	0	0	0	0	5	2	1	0	0	0



Anexo 4

Análisis Estadístico Descriptivo, Variables Climatológicas

	Temp. Promedio	Temp. Máxima	Temp. Mínima	Unidades de	Precipitación	Evaporación
Período Completo						
9032						
Mínima	5.50	8	-4	0	0	0.03
Máxima	24	34	15	13.47	68.50	16.20
Mediana	14.75	21	9	5	0	4.90
Moda	15	20	10	5	0	4.10
Media	14.60	20.81	8.39	5.06	595.30	1,025.90
Varianza	5.57	9.11	6.35	3.43	35.13	5.80
Desviación	2.36	3.02	2.52	1.85	5.93	2.41
Curtosis	4.14	5.09	3.49	4.46	25.33	4.17
Asimetría	-0.12	0.31	-0.73	0.52	4.16	0.71
9036						
Mínima	6	11	-3	0.19	0	No hay datos
Máxima	24.75	34.50	20	14.50	95	No hay datos
Mediana	18.50	26	11	8.50	0	No hay datos
Moda	19	26	12	9	0	No hay datos
Media	17.88	25.75	10.02	8.13	746.91	No hay datos
Varianza	7.96	12.04	9.52	5.80	40.10	No hay datos
Desviación	2.82	3.47	3.08	2.41	6.33	No hay datos
Curtosis	3.20	3.43	3.30	2.77	43.21	No hay datos
Asimetría	-0.58	-0.44	-0.73	-0.33	5.13	No hay datos
9041						
Mínima	4	7	-4	0	0	No hay datos
Máxima	23.25	38.50	14	12	152	No hay datos
Mediana	14.50	22	7	5.12	0	No hay datos
Moda	15	23	9	5.62	0	No hay datos
Media	14.37	21.87	6.86	5.18	910.04	No hay datos
Varianza	6.59	11.11	8.22	3.49	62.38	No hay datos
Desviación	2.57	3.33	2.87	1.87	7.90	No hay datos
Curtosis	3.38	4.42	2.56	3.40	61.75	No hay datos
Asimetría	-0.37	-0.35	-0.52	0.14	5.73	No hay datos
9045						
Mínima	5.50	7	0.10	0	0	0.10
Máxima	23	31	16	13	57.20	17.90
Mediana	16	23	10	6.30	0	4.53
Moda	16.50	23	12	6.50	0	4.20
Media	15.96	22.31	9.61	6.25	383.34	866.35
Varianza	6.73	11.86	6.82	4.80	26.70	4.51
Desviación	2.59	3.44	2.61	2.19	5.17	2.12
Curtosis	4.03	4.43	3.25	3.30	23.39	5.74
Asimetría	-0.60	-0.68	-0.61	-0.09	3.85	0.93
9051						
Mínima	4.50	10	-3	0	0	0.10
Máxima	25.50	37	20	14.50	63.50	14.85
Mediana	18.50	26	10	8.50	0	2.80
Moda	19	26	12	9	0	2
Media	18.05	26.06	10.03	8.35		
Varianza	7.06	11.54	15.65	4.66	21.98	2.37
Desviación	2.66	3.40	3.96	2.16	4.69	1.54
Curtosis	3.72	3.89	3.29	3.25	38.78	11.31
Asimetría	-0.70	-0.29	-0.53	-0.38	5.16	2.08
9068						
Mínima	6	12	0	0.35	0	No hay datos
Máxima	20.25	35	7	10.14	65.80	No hay datos
Mediana	13.50	23.50	3.50	5.13	0	No hay datos
Moda	13.75	24	3.50	5.36	0	No hay datos
Media	13.38	23.47	3.27	5.13	182.97	No hay datos
Varianza	4.28	11.47	1.55	2.60	7.16	No hay datos
Desviación	2.07	3.39	1.24	1.61	2.68	No hay datos
Curtosis	2.80	2.50	3.88	2.42	146.11	No hay datos
Asimetría	-0.21	-0.08	-0.93	-0.01	9.37	No hay datos
Época de Calor						
9032						
Mínima	9.50	14	1	1.19	0	0.10
Máxima	24	34	15	13.47	53.70	16.01
Mediana	15.75	22	10	5.90	0	5.55
Moda	15	22	10	6	0	5.10
Media	16	22.34	9.65	6.14	4703.60	8313.77
Varianza	3.35	7.57	2.91	2.79	35.98	6.37
Desviación	1.83	2.75	1.71	1.67	6	2.52
Curtosis	4.72	5.07	4.06	4.59	17.81	3.39
Asimetría	0.68	0.76	-0.54	0.86	3.53	0.38
9036						
Mínima	10	13	1	1.06	0	No hay datos
Máxima	24.75	34.50	20	14.50	70.70	No hay datos
Mediana	19.50	27.50	12	9.53	0	No hay datos
Moda	19	26	12	10	0	No hay datos
Media	19.62	27.61	11.62	9.62	6123.30	No hay datos
Varianza	3.92	8.29	4.14	3.43	39.03	No hay datos
Desviación	1.98	2.88	2.03	1.85	6.25	No hay datos
Curtosis	3.42	3.44	3.61	3.24	21.92	No hay datos

Anexo 4

Análisis Estadístico Descriptivo, Variables Climatológicas

Asimetría	-0.30	-0.36	-0.56	-0.30	3.60	No hay datos
9041						
Mínima	6.50	10	0	0	0	No hay datos
Máxima	23.25	38.50	14	12	61	No hay datos
Mediana	16	23	9	6.11	0	No hay datos
Moda	16	23	9	6.11	0	No hay datos
Media	16.03	23.61	8.45	6.35	6922.50	No hay datos
Varianza	3.71	9.29	3.62	2.86	51.26	No hay datos
Desviación	1.92	3.05	1.90	1.69	7.16	No hay datos
Curtosis	3.44	3.53	3.77	3.20	15.83	No hay datos
Asimetría	0.04	-0.10	-0.70	0.25	3.24	No hay datos
9045						
Mínima	11.50	12	2	1.50	0	0.15
Máxima	23	31	16	13	45	17.90
Mediana	17.50	24	11	7.50	0	5.20
Moda	17.50	24	12	7.50	0	6.20
Media	17.53	24.01	11.06	7.58	2708.90	6246.77
Varianza	3.74	8.88	3.33	3.52	24.29	5.04
Desviación	1.93	2.98	1.83	1.88	4.93	2.24
Curtosis	3.21	3.69	4.43	3.26	16.73	4.40
Asimetría	0.02	-0.39	-0.49	0.08	3.23	0.56
9051						
Mínima	11.50	13	1	1.69	0	0.10
Máxima	25.50	37	20	14.50	63.50	14.85
Mediana	19	27	11	9.26	0	2.94
Moda	19	27	10	10	0	2
Media	19.26	27.48	11.03	9.30	3781.80	6704.62
Varianza	3.55	9.99	7.66	2.90	26.97	2.94
Desviación	1.88	3.16	2.77	1.70	5.19	1.71
Curtosis	3.70	3.46	3.63	3.59	33.30	9.09
Asimetría	-0.13	-0.14	-0.11	-0.13	4.67	1.85
9068						
Mínima	6	12	0	0.35	0	No hay datos
Máxima	20.25	35	7	10.14	33	No hay datos
Mediana	14.50	25	4	5.96	0	No hay datos
Moda	15.25	26	3.50	5.36	0	No hay datos
Media	14.44	24.91	3.97	5.88	1687	No hay datos
Varianza	2.73	8.71	0.49	1.97	7.85	No hay datos
Desviación	1.65	2.95	0.70	1.41	2.80	No hay datos
Curtosis	3.24	2.92	6.38	2.74	41.12	No hay datos
Asimetría	-0.02	-0.16	0.78	-0.09	5.48	No hay datos
Época de Frío						
9032						
Mínima	5.50	8	-4	0	0	0.03
Máxima	18.75	25.50	13	8.75	68.50	16.20
Mediana	13.50	19.50	7	4.03	0	4.30
Moda	14	20	7	4.50	0	4.10
Media	13.16	19.27	7.05	3.97	2324.70	4160.75
Varianza	4.18	6.13	6.84	1.96	31.45	4
Desviación	2.05	2.48	2.61	1.40	5.61	2
Curtosis	3.18	3.88	2.98	3.01	39.27	7.17
Asimetría	-0.54	-0.69	-0.30	-0.17	5.26	1.09
9036						
Mínima	6	11	-3	0.19	0	No hay datos
Máxima	22.50	32	15.50	12.40	95	No hay datos
Mediana	16.50	24	8	6.75	0	No hay datos
Moda	18	24	9	8.50	0	No hay datos
Media	16.20	23.99	8.42	6.70	2647.70	No hay datos
Varianza	6.97	10.34	10.29	4.55	36.48	No hay datos
Desviación	2.64	3.22	3.21	2.13	6.04	No hay datos
Curtosis	2.76	3.35	2.77	2.58	79.19	No hay datos
Asimetría	-0.43	-0.55	-0.28	-0.18	7.46	No hay datos
9041						
Mínima	4	7	-4	0	0	No hay datos
Máxima	18.50	28	12.50	8.50	152	No hay datos
Mediana	13	21	5	4.14	0	No hay datos
Moda	12.50	20	4	3.94	0	No hay datos
Media	12.77	20.26	5.28	4.10	3712.30	No hay datos
Varianza	5	8.35	8.26	2.07	69.84	No hay datos
Desviación	2.24	2.89	2.87	1.44	8.36	No hay datos
Curtosis	3.19	5.37	2.39	3.25	93.98	No hay datos
Asimetría	-0.51	-1.12	0.09	-0.40	7.74	No hay datos
9045						
Mínima	5.50	7	0.10	0	0	0.10
Máxima	20	28	14	10	57.20	16.90
Mediana	15	21	8	5.12	0	4.20
Moda	16	21	7	6.50	0	4.20
Media	14.49	20.79	8.18	5.02	1671.50	4186.32
Varianza	5.71	10.69	6.36	3.34	26.37	3.44
Desviación	2.39	3.27	2.52	1.83	5.13	1.85
Curtosis	3.93	4.82	2.87	3.26	32.82	8.60
Asimetría	-0.85	-1.05	-0.34	-0.42	4.72	1.25

Anexo 4

Análisis Estadístico Descriptivo, Variables Climatológicas

9051						
Mínima	4.50	10	-3	0	0	0.15
Máxima	23.50	32	20	13.50	39	12.96
Mediana	17	25	10	7.50	0	2.69
Moda	18	25	12	9	0	2
Media	16.88	24.74	9.01	7.46	1417.30	4108.87
Varianza	8.48	9.95	22.54	5.19	13.46	1.72
Desviación	2.91	3.15	4.75	2.28	3.67	1.31
Curtosis	2.79	4.21	2.38	2.80	45.11	13.96
Asimetría	-0.39	-0.65	-0.19	-0.10	5.98	2.18
9068						
Mínima	7	12	0	0.40	0	No hay datos
Máxima	18	31	6	8.71	65.80	No hay datos
Mediana	12.25	22	3	4.25	0	No hay datos
Moda	12.25	21	3.50	4.45	0	No hay datos
Media	12.32	22.06	2.57	4.40	502.60	No hay datos
Varianza	3.72	10.33	1.74	2.19	5.47	No hay datos
Desviación	1.93	3.21	1.32	1.48	2.34	No hay datos
Curtosis	2.63	2.60	2.24	2.54	415.18	No hay datos
Asimetría	-0.03	0.18	-0.52	0.25	17.36	No hay datos
Época de Lluvia						
9032						
Mínima	7.50	11	1	0.20	0	0.10
Máxima	20.75	32	14	10.75	68.50	16.20
Mediana	15.50	21	10	5.50	0	4.85
Moda	15	20	10	5	0	5.30
Media	15.58	21.33	9.84	5.70	565.70	5.16
Varianza	2.94	6.97	2.43	2.49	51.79	5.73
Desviación	1.72	2.64	1.56	1.58	7.20	2.39
Curtosis	4.40	3.65	5.61	3.77	16.31	4.70
Asimetría	0.01	0.07	-0.82	0.37	3.21	0.83
9036						
Mínima	9	14	1	1.12	0	No hay datos
Máxima	24.50	34	17	13.96	95	No hay datos
Mediana	19.50	27	12	9.50	0	No hay datos
Moda	19	26	12	9	0	No hay datos
Media	19.32	26.69	11.96	9.32	725.40	No hay datos
Varianza	3.82	8.95	3.16	3.44	60.25	No hay datos
Desviación	1.95	2.99	1.78	1.86	7.76	No hay datos
Curtosis	3.90	3.33	4.72	3.38	26.95	No hay datos
Asimetría	-0.30	-0.20	-0.79	-0.25	3.89	No hay datos
9041						
Mínima	4	7	-1	0	0	No hay datos
Máxima	22	33	14	12	95	No hay datos
Mediana	15.50	23	9	5.81	0	No hay datos
Moda	15	23	9	6	0	No hay datos
Media	15.72	22.63	8.81	5.98	858.60	No hay datos
Varianza	3.80	10.20	2.90	3.04	84.95	No hay datos
Desviación	1.95	3.19	1.70	1.74	9.22	No hay datos
Curtosis	4.84	3.96	5.31	3.76	19.76	No hay datos
Asimetría	-0.09	-0.10	-0.95	0.31	3.41	No hay datos
9045						
Mínima	6	7	3	0	0	0.10
Máxima	23	31	16	13	57.20	16.90
Mediana	17	23	11	7	0	4.75
Moda	16.50	23	12	6.50	0	6.20
Media	17.02	22.89	11.15	7.08	354.18	4.95
Varianza	4.91	11.62	3.10	4.29	36.17	5.31
Desviación	2.22	3.41	1.76	2.07	6.01	2.30
Curtosis	5.64	4.78	6.26	3.85	15.16	4.09
Asimetría	-0.59	-0.59	-0.90	-0.10	2.93	0.67
9051						
Mínima	9.50	12	1	0.56	0	0.10
Máxima	25.50	37	20	14.21	63.50	13.50
Mediana	19.25	27	12	9.27	0	2.76
Moda	19	27	12	10	0	2
Media	19.27	26.85	11.69	9.27	428.70	3.03
Varianza	3.58	10.72	5.83	3.11	33.91	2.82
Desviación	1.89	3.27	2.41	1.76	5.82	1.68
Curtosis	4.89	3.95	3.83	4.36	24.25	9.09
Asimetría	-0.43	-0.22	0.09	-0.41	3.97	1.91
9068						
Mínima	9	15	0.10	1.44	0	No hay datos
Máxima	20.25	35	7	10.14	65.80	No hay datos
Mediana	14	24	3.50	5.53	0	No hay datos
Moda	15.25	26	3.50	5.36	0	No hay datos
Media	14.05	24.29	3.82	5.56	170.90	No hay datos
Varianza	2.94	9.32	0.60	2.11	11.39	No hay datos
Desviación	1.72	3.05	0.78	1.45	3.38	No hay datos
Curtosis	2.96	2.69	7.82	2.61	94.41	No hay datos
Asimetría	0.28	0.11	-0.07	0.19	7.47	No hay datos

Anexo 4

Análisis Estadístico Descriptivo, Variables Climatológicas

Época de Estiaje						
9032						
Mínima	5.50	8	-4	0	0	0.03
Máxima	24	34	15	13.47	41	15.39
Mediana	13.75	20.50	7	4.35	0	5.22
Moda	13.50	20	7	3.94	0	4.10
Media	13.79	20.65	6.92	4.60	73.22	5.48
Varianza	7.27	11.87	6.26	4.25	8.17	5.96
Desviación	2.70	3.44	2.50	2.06	2.86	2.44
Curtosis	4.03	5	3.46	4.97	77.84	3.31
Asimetría	0.43	0.47	-0.19	0.94	7.84	0.44
9036						
Mínima	6	11	-3	0.19	0	No hay datos
Máxima	24.75	34.50	20	14.50	68	No hay datos
Mediana	16.50	25.50	8	7.01	0	No hay datos
Moda	17	26	9	10	0	No hay datos
Media	16.64	25.18	8.11	7.14	71.95	No hay datos
Varianza	9.44	15.37	8.70	6.51	6.32	No hay datos
Desviación	3.07	3.92	2.95	2.55	2.51	No hay datos
Curtosis	2.63	2.87	3.42	2.55	316.43	No hay datos
Asimetría	-0.06	-0.34	-0.22	0.15	14.20	No hay datos
9041						
Mínima	4.50	7	-4	0	0	No hay datos
Máxima	23.25	38.50	12	11.51	152	No hay datos
Mediana	13	21	5	4.40	0	No hay datos
Moda	12.50	20	5	3.94	0	No hay datos
Media	13.29	21.55	5.04	4.64	108.19	No hay datos
Varianza	7.27	12.65	6.53	3.64	22.64	No hay datos
Desviación	2.70	3.56	2.55	1.91	4.76	No hay datos
Curtosis	2.92	4.18	2.78	3.03	600.37	No hay datos
Asimetría	0.05	-0.41	0.01	0.28	20.76	No hay datos
9045						
Mínima	5.50	8	0.10	0	0	0.13
Máxima	21.50	30	15	11.50	45	17.90
Mediana	15	22	8	5.56	0	4.45
Moda	16	24	7	6.30	0	4.20
Media	15.03	22.08	7.98	5.56	44.03	4.63
Varianza	7.29	12.75	5.78	4.77	7.71	3.73
Desviación	2.70	3.57	2.40	2.18	2.78	1.93
Curtosis	3.25	3.83	3.47	2.93	124.35	7.87
Asimetría	-0.35	-0.68	-0.19	0.05	9.63	1.10
9051						
Mínima	4.50	10	-3	0	0	0.15
Máxima	24.50	36	20	14.50	35	14.85
Mediana	17	26	8	7.51	0	2.89
Moda	18	26	8	10	0	3
Media	16.95	25.63	8.27	7.57	43.93	3.01
Varianza	8.38	12.34	20.02	5.10	3.66	1.98
Desviación	2.90	3.51	4.47	2.26	1.91	1.41
Curtosis	2.88	3.65	2.70	2.84	122.28	13.92
Asimetría	-0.33	-0.32	0.10	-0.06	9.74	2.16
9068						
Mínima	6	12	0	0.35	0	No hay datos
Máxima	18.50	32	7	9.20	19	No hay datos
Mediana	12.75	23	3.50	4.78	0	No hay datos
Moda	15	21	3.50	4.90	0	No hay datos
Media	12.84	22.89	2.79	4.81	28.15	No hay datos
Varianza	5.05	12.88	2.03	2.89	1.27	No hay datos
Desviación	2.25	3.59	1.42	1.70	1.13	No hay datos
Curtosis	2.23	2.22	2.32	2.10	126.70	No hay datos
Asimetría	-0.15	-0.08	-0.46	0.02	9.91	No hay datos
Época de Alta Humedad						
9032						
Mínima	6	8	0.50	0	0	0.10
Máxima	24	34	15	13.47	41	16.01
Mediana	15.75	22	9.50	5.81	0	5.80
Moda	15	22	10	7.50	0	5.10
Media	15.74	22.32	9.16	6	3492	8373.34
Varianza	4.58	8.32	4.63	3.30	25.55	6.22
Desviación	2.14	2.88	2.15	1.82	5.05	2.49
Curtosis	4.44	5.38	3.91	4.22	19.11	3.34
Asimetría	0.07	0.38	-0.73	0.54	3.78	0.26
9036						
Mínima	8.25	13	-3	1.06	0	No hay datos
Máxima	24.75	34.50	20	14.50	70.70	No hay datos
Mediana	19.50	27.50	11	9.50	0	No hay datos
Moda	19	27	12	10	0	No hay datos
Media	19.18	27.41	10.94	9.25	4461.90	No hay datos
Varianza	6.07	10.45	6.47	4.93	27.80	No hay datos
Desviación	2.46	3.23	2.54	2.22	5.27	No hay datos
Curtosis	3.64	3.71	3.65	3.15	30.23	No hay datos
Asimetría	-0.62	-0.62	-0.66	-0.47	4.22	No hay datos

Anexo 4

Análisis Estadístico Descriptivo, Variables Climatológicas

9041						
Mínima	5.50	8	-1	0	0	No hay datos
Máxima	23.25	38.50	14	12	152	No hay datos
Mediana	15.50	23	8	6.05	0	No hay datos
Moda	15	23	9	7.50	0	No hay datos
Media	15.65	23.53	7.77	6.17	5387.50	No hay datos
Varianza	5.37	10.06	6.12	3.39	49.34	No hay datos
Desviación	2.32	3.17	2.47	1.84	7.02	No hay datos
Curtosis	3.58	4.21	3.28	3.16	108.64	No hay datos
Asimetría	-0.37	-0.37	-0.74	0.05	7.11	No hay datos
9045						
Mínima	7.50	10	2	0	0	0.13
Máxima	23	31	16	13	45	17.90
Mediana	17.50	24	11	7.50	0	5.20
Moda	17.50	24	12	7.50	0	5.20
Media	17.27	24.03	10.52	7.40	1995.60	6132.44
Varianza	5.16	10	4.98	4.36	19.91	4.90
Desviación	2.27	3.16	2.23	2.09	4.46	2.21
Curtosis	4.04	4.74	3.49	3.45	29.18	4.64
Asimetría	-0.46	-0.78	-0.48	-0.18	4.32	0.54
9051						
Mínima	4.50	10	-1	0	0	0.10
Máxima	25.50	37	19	14.50	63.50	14.85
Mediana	19	27	11	9	0	3
Moda	18.50	27	10	10	0	2.20
Media	18.95	27.45	10.46	9.09	2785.20	6482.51
Varianza	4.94	10.78	10.58	3.58	20.91	2.85
Desviación	2.22	3.28	3.25	1.89	4.57	1.69
Curtosis	4.68	3.84	3.50	3.72	49.77	9.20
Asimetría	-0.57	-0.29	-0.38	-0.31	5.75	1.83
9068						
Mínima	6	12	0	0.35	0	No hay datos
Máxima	20.25	35	7	10.14	30.50	No hay datos
Mediana	14.50	25	4	5.90	0	No hay datos
Moda	15	26	3.50	5.36	0	No hay datos
Media	14.32	24.77	3.86	5.80	1337.50	No hay datos
Varianza	3	8.93	0.73	2.05	5.77	No hay datos
Desviación	1.73	2.99	0.86	1.43	2.40	No hay datos
Curtosis	3.31	2.88	7.38	2.73	50.66	No hay datos
Asimetría	-0.10	-0.12	-0.51	-0.06	6.05	No hay datos
Época de Baja Humedad						
9032						
Mínima	5.50	10	-4	0	0	0.03
Máxima	18.75	25.50	13	8.75	68.50	16.20
Mediana	13.75	20	8	4.25	0	4.10
Moda	15	20	10	5	0	4.10
Media	13.50	19.30	7.70	4.16	3536.30	4101.18
Varianza	4.28	5.35	7.18	2.01	45.76	3.71
Desviación	2.07	2.31	2.68	1.42	6.76	1.93
Curtosis	3.24	3.71	3.04	2.87	24.68	9.22
Asimetría	-0.70	-0.77	-0.60	-0.28	4.14	1.41
9036						
Mínima	6	11	-3	0.19	0	No hay datos
Máxima	22.50	31	16	12.40	95	No hay datos
Mediana	17.25	25	10	7.40	0	No hay datos
Moda	18.50	26	12	9	0	No hay datos
Media	16.75	24.25	9.26	7.17	4309.10	No hay datos
Varianza	7.51	9.40	11.49	4.98	51.27	No hay datos
Desviación	2.74	3.07	3.39	2.23	7.16	No hay datos
Curtosis	2.75	3.58	2.69	2.45	43.57	No hay datos
Asimetría	-0.61	-0.75	-0.56	-0.35	5.32	No hay datos
9041						
Mínima	4	7	-4	0	0	No hay datos
Máxima	22	33	12.50	11.52	95	No hay datos
Mediana	13.50	21	6	4.40	0	No hay datos
Moda	14.50	20	9	5.62	0	No hay datos
Media	13.20	20.30	6.10	4.28	5247.30	No hay datos
Varianza	5.48	7.77	9.21	2.23	73.12	No hay datos
Desviación	2.34	2.79	3.03	1.49	8.55	No hay datos
Curtosis	3.23	5.72	2.18	3.53	31.52	No hay datos
Asimetría	-0.57	-1.06	-0.27	-0.31	4.59	No hay datos
9045						
Mínima	5.50	7	0.10	0	0	0.10
Máxima	20	28	14	10	57.20	16.90
Mediana	15	21	9	5.50	0	4.15
Moda	16	21	11	6.50	0	4.20
Media	14.83	20.82	8.84	5.27	2384.80	4300.65
Varianza	5.82	9.41	7.32	3.46	31.32	3.69
Desviación	2.41	3.07	2.71	1.86	5.60	1.92
Curtosis	4.06	5.30	2.81	3.19	20.40	7.87
Asimetría	-0.91	-1.14	-0.56	-0.42	3.56	1.30
9051						

Anexo 4

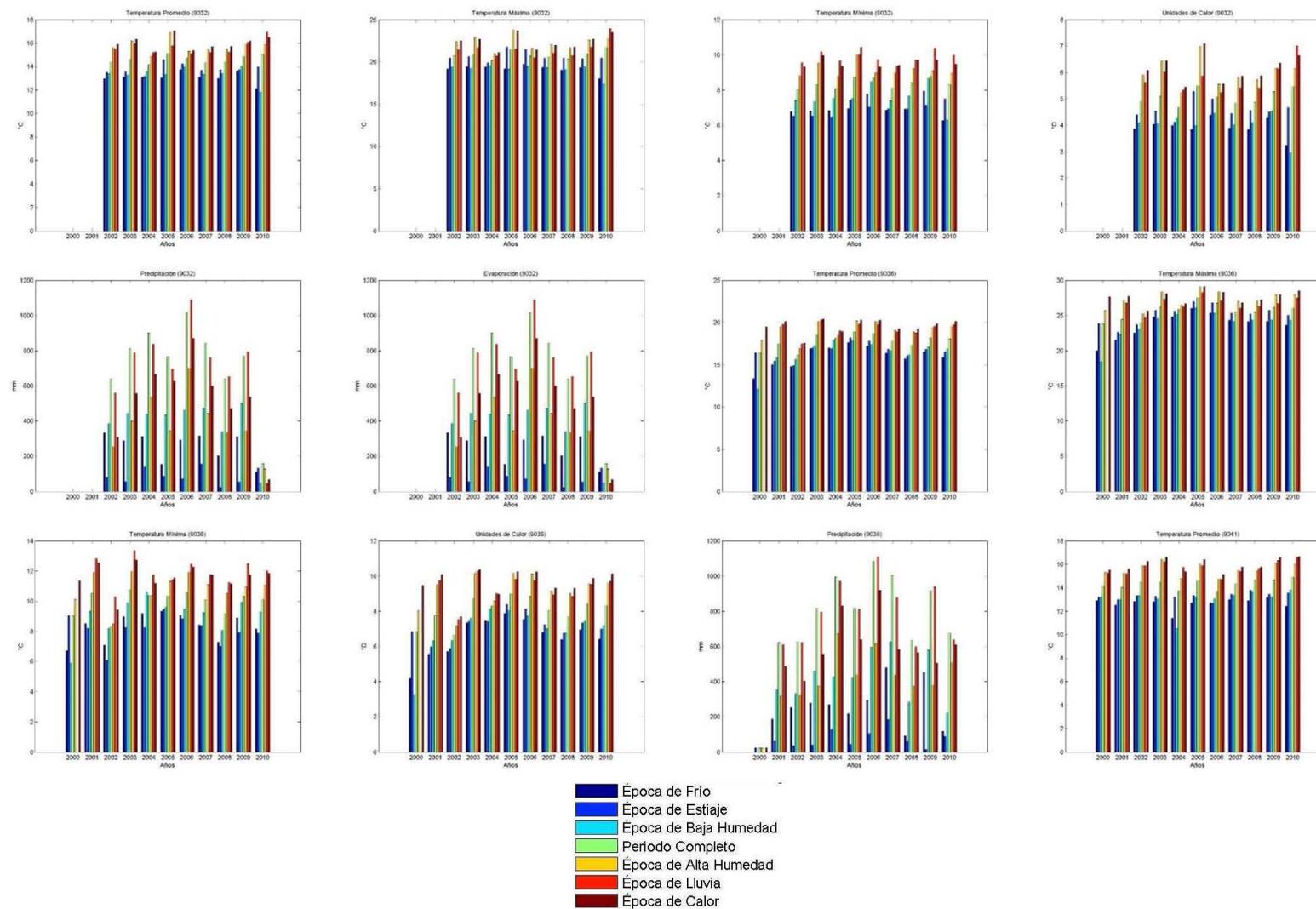
Análisis Estadístico Descriptivo, Variables Climatológicas

Mínima	8	12	-3	0.56	0	0.15
Máxima	23.50	34	20	13.50	43	12.96
Mediana	18	25	10	8	0	2.62
Moda	19	26	12	9	0	2
Media	17.31	24.84	9.78	7.76	2413.90	4330.98
Varianza	8.25	9.32	20.56	5.17	21.90	1.88
Desviación	2.87	3.05	4.53	2.27	4.68	1.37
Curtosis	2.82	4.09	2.82	2.75	25.87	13.82
Asimetría	-0.59	-0.68	-0.49	-0.27	4.44	2.30
9068						
Mínima	7	12	0	0.40	0	No hay datos
Máxima	18	31	6	8.71	65.80	No hay datos
Mediana	12.25	22	3	4.38	0	No hay datos
Moda	12.25	20	3.50	4	0	No hay datos
Media	12.47	22.23	2.70	4.49	852.10	No hay datos
Varianza	3.97	11	1.76	2.36	8.20	No hay datos
Desviación	1.99	3.32	1.33	1.54	2.86	No hay datos
Curtosis	2.55	2.46	2.37	2.41	199.69	No hay datos
Asimetría	-0.04	0.15	-0.62	0.22	11.52	No hay datos

Anexo 4

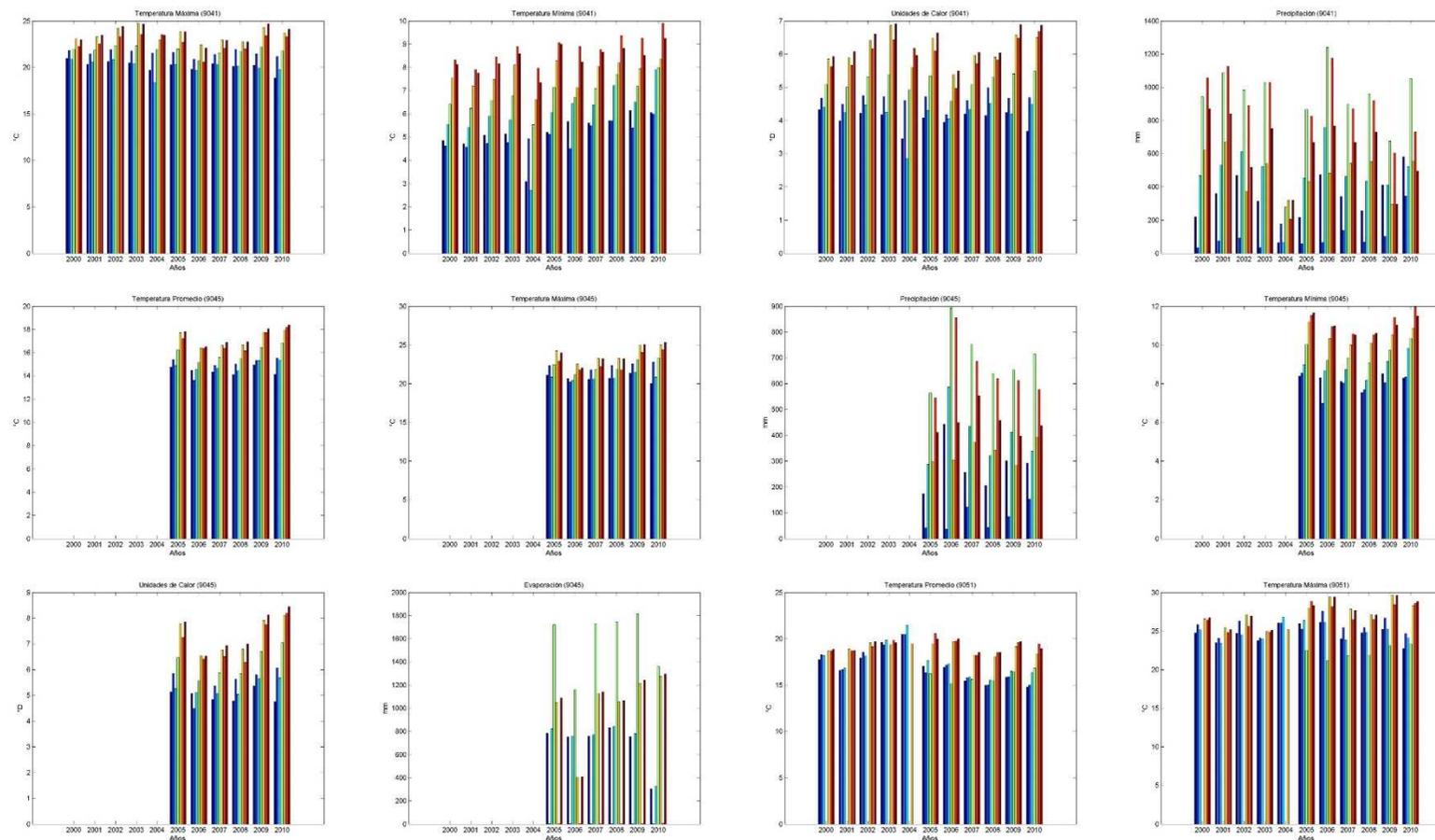
Análisis Estadístico Descriptivo, Variables Climatológicas

Promedio Anual



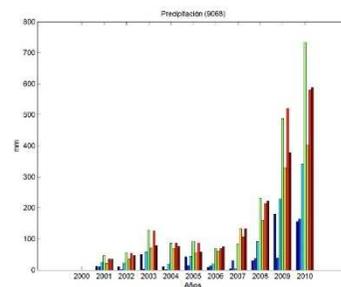
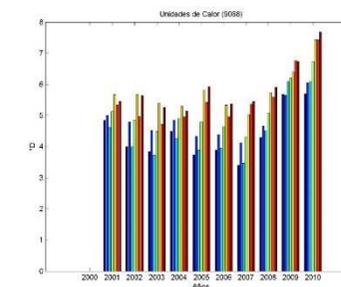
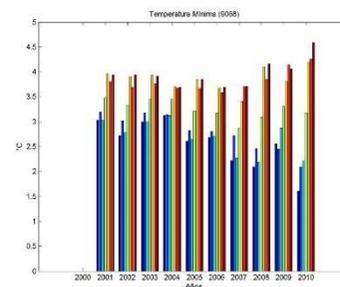
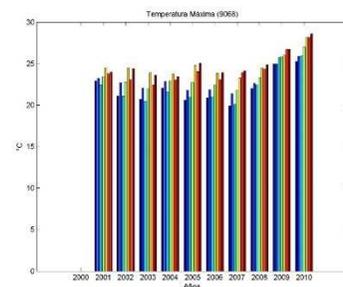
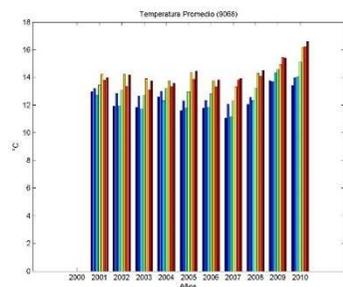
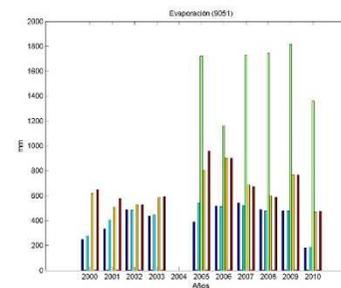
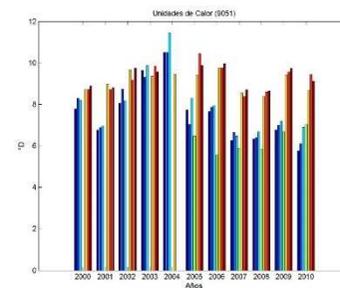
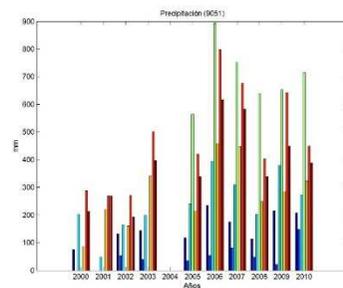
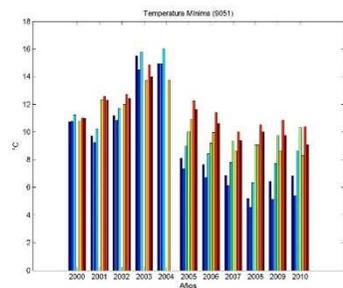
Anexo 4

Análisis Estadístico Descriptivo, Variables Climatológicas



Anexo 4

Análisis Estadístico Descriptivo, Variables Climatológicas

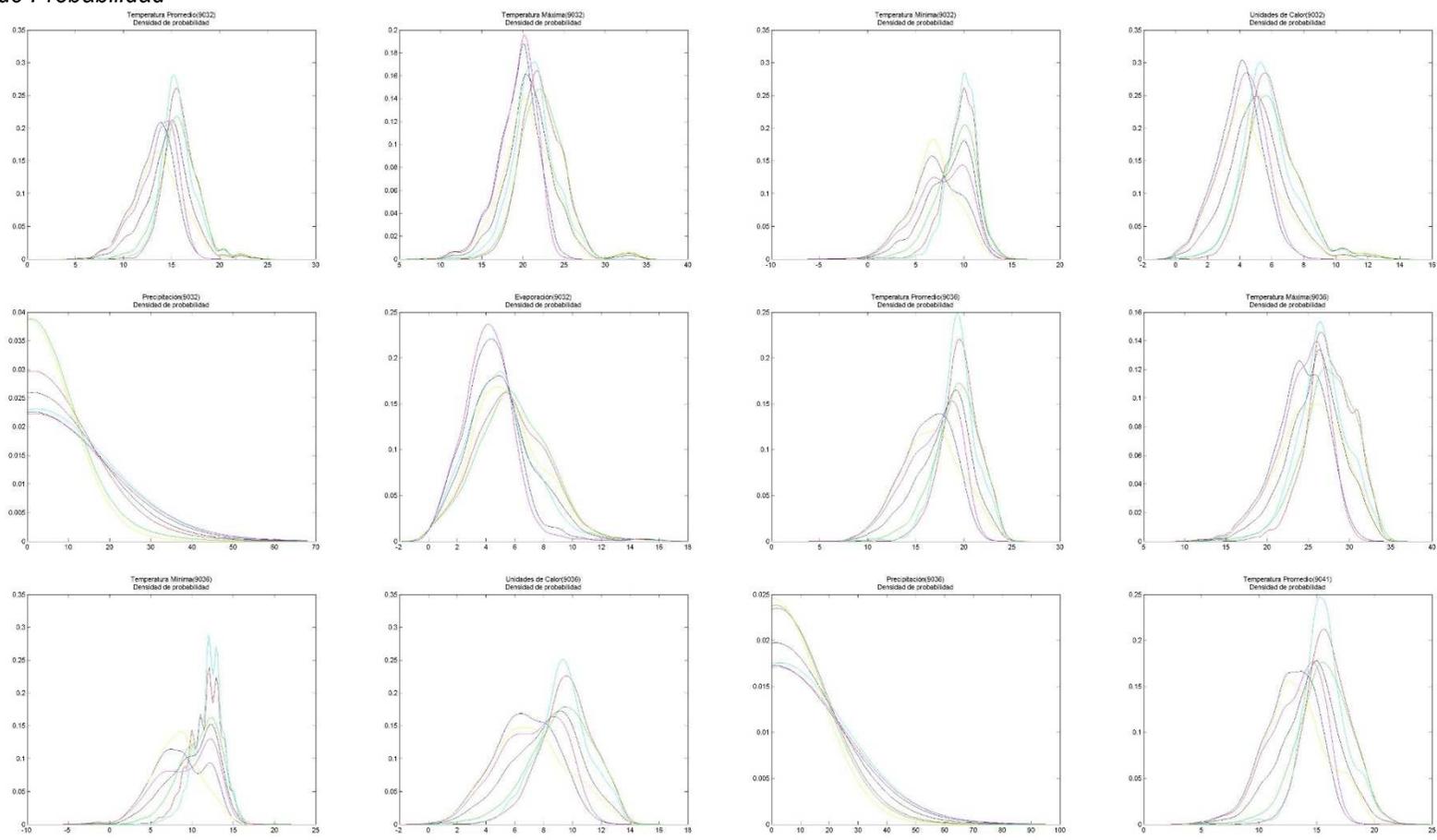


- Época de Frio
- Época de Estiaje
- Época de Baja Humedad
- Periodo Completo
- Época de Alta Humedad
- Época de Lluvia
- Época de Calor

Anexo 4

Análisis Estadístico Descriptivo, Variables Climatológicas

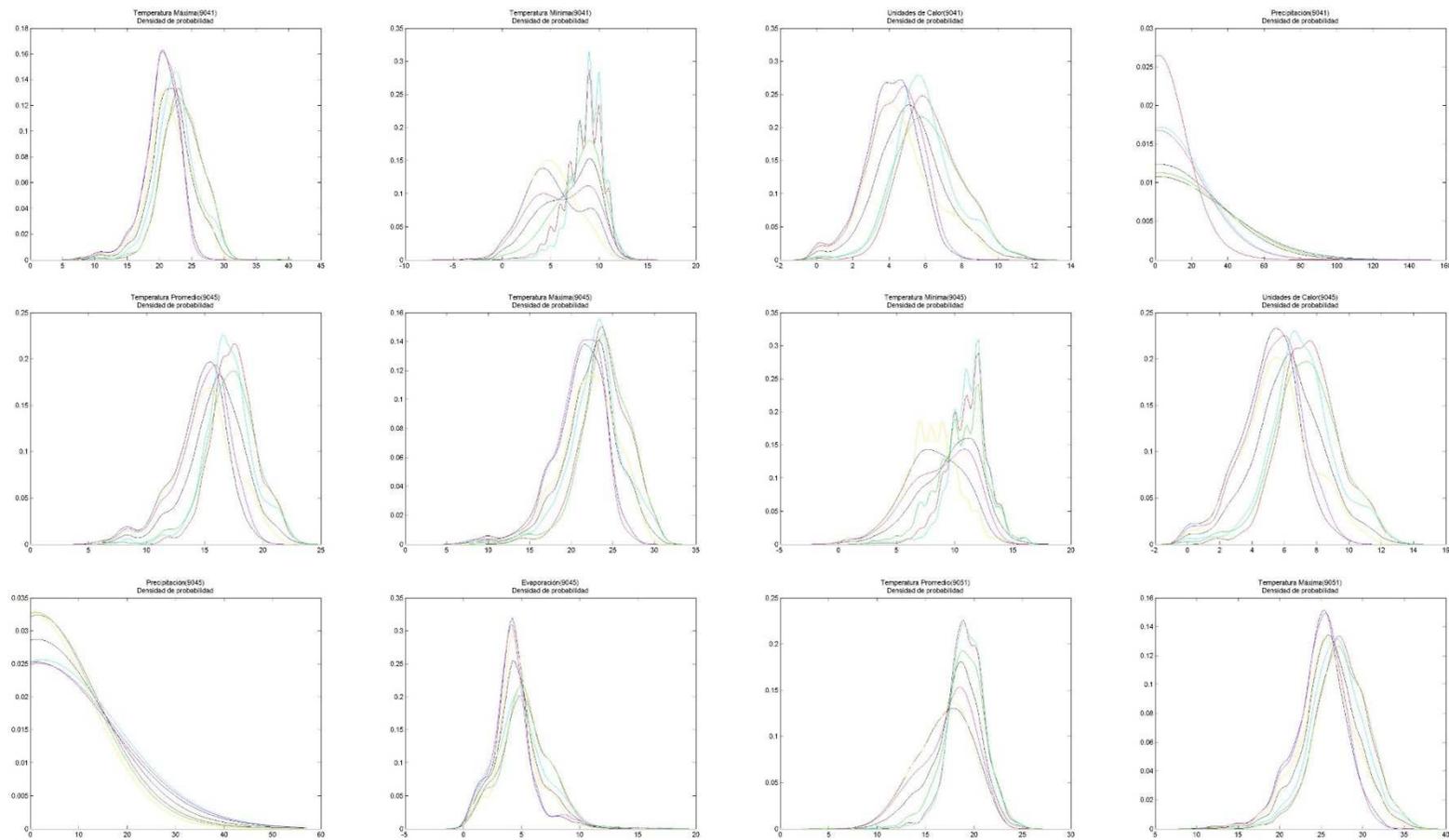
Distribución de Probabilidad



- Periodo Completo
- Época de Calor
- Época de Frío
- Época de Lluvia
- Época de Estiaje
- Época de Alta Humedad
- Época de Baja Humedad

Anexo 4

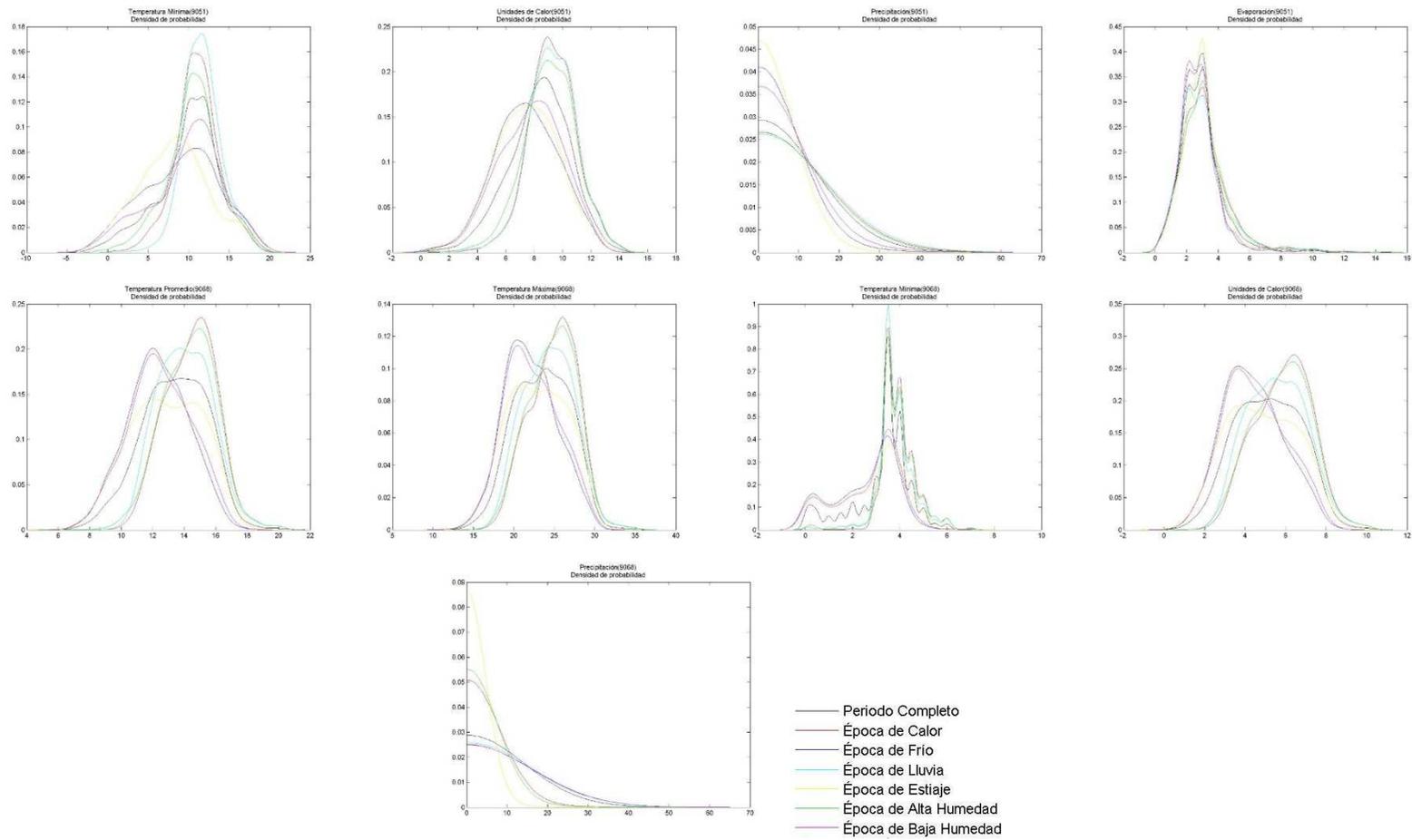
Análisis Estadístico Descriptivo, Variables Climatológicas



- Período Completo
- Época de Calor
- Época de Frío
- Época de Lluvia
- Época de Estiaje
- Época de Alta Humedad
- Época de Baja Humedad

Anexo 4

Análisis Estadístico Descriptivo, Variables Climatológicas



Anexo 5 Análisis Estadístico Descriptivo PTAR, Influyente

Periodo Completo													
	pH	Cond	SDT	SST	Fos	Ca	Mg	Na	K	Fe	Mn	Pb	Cd
Mínima	5.96	243	161	5	3.98	0	0	8.21	5.22	0.05	0.02	0.04	0.009
Máxima	11.04	1744	1462	477	73.69	326.30	75.26	293.47	101.30	6.46	0.87	0.63	0.0990
Mediana	7.37	769.50	504	94	18.90	31.19	20.10	78.30	15.81	0.61	0.06	0.07	0.0430
Moda	7.33	801	499	100	19	29.10	19.40	66.30	15.30	0.34	0.06	0.07	0.009
Media	7.39	749.05	497.27	107.92	19.09	31.84	19.63	76.94	15.73	0.79	0.06	0.07	0.0297
Varianza	0.12	23562.06	12472.56	4210.63	70.89	254.61	23.52	579.32	28.19	0.42	0.06	0.070	0.0005
Desviación Estándar	0.34	153.50	111.68	64.89	8.42	15.96	4.85	24.07	5.31	0.64	0.002	0.001	0.0005
Curtois	62.70	7.92	20.30	8.67	10.17	293.26	46.98	27.56	171.15	22.40	228.92	261.03	4.35
Asimetría	6.02	-0.16	1.78	1.94	1.75	15.90	3.15	3.01	10.65	3.49	13.40	15.24	1.09
	Hg	Ar	Cr	Zn	Cu	Si	Al	Ni	Ag	DBO ₅	DQO	Grasas y Aceites	
Mínima	0.0035	0.0062	0.03	0.01	0.02	14.75	0	0.01	0.02	6	46.69	1.16	
Máxima	0.0382	0.0965	0.56	1.67	0.26	39	7.82	0.19	0.07	401	1022	70	
Mediana	0.0035	0.0442	0.06	0.07	0.03	26.80	0.72	0.05	0.04	116	280	8.67	
Moda	0.0035	0.0062	0.06	0.05	0.03	18	0.37	0.05	0.04	157	249	2.50	
Media	0.0057	0.0438	0.05	0.10	0.04	25.56	1.04	0.04	0.03	118.15	283.54	9.95	
Varianza	1.84X10 ⁻⁷	2.16X10 ⁻⁶	0.001	0.01	0.03	23.56	0.99	0.003	0.00007	3159.39	16282.14	46.93	
Desviación Estándar	0.00043	0.00148	0.03	0.11	0.02	4.85	1	0.02	0.01	56.21	127.60	6.85	
Curtois	17.84398	3.31371	194.51	134.24	54.34	2.82	13.58	14.36	11.97	3.79	6.59	22.70	4.35
Asimetría	3.34045	0.08772	12.15	9.64	6.08	-0.42	2.78	1.64	2.41	0.46	1.09	3.20	1.09
Época de Calor													
	pH	Cond	SDT	SST	Fos	Ca	Mg	Na	K	Fe	Mn	Pb	Cd
Mínima	5.96	252	182	10	3.98	0	0	8.21	5.98	0.05	0.02	0.04	0.009
Máxima	11.04	1744	1462	477	59.37	85.86	75.26	210.35	21.73	6.46	0.87	0.26	0.0990
Mediana	7.34	749	489	96	17.90	29.90	18.80	76	15.70	0.64	0.05	0.07	0.0430
Moda	7.26	814	424	100	19.90	27	17.50	70.50	15.30	0.34	0.05	0.07	0.009
Media	7.36	727.93	486.74	113.92	18.56	29.92	18.50	73.85	15.12	0.86	0.06	0.07	0.0315
Varianza	0.14	26259.98	16757.90	5403.79	72.35	44.60	31.47	427.90	8.61	0.56	0.003	0.0003	0.0006
Desviación Estándar	0.37	162.05	129.45	73.51	8.51	6.68	5.61	20.69	2.93	0.75	0.06	0.02	0.0252
Curtois	57.76	8.96	19.18	8.86	7.49	24.80	48.01	11.13	3.89	20.14	155.43	83.98	4.0746
Asimetría	5.75	0.17	2.29	2.05	1.45	2	3.98	0.80	-0.83	3.47	11.40	7.74	1.1257
	Hg	Ar	Cr	Zn	Cu	Si	Al	Ni	Ag	DBO ₅	DQO	Grasas y Aceites	
Mínima	0.0035	0.0062	0.03	0.01	0.02	14.75	0	0.01	0.02	6	46.69	1.16	
Máxima	0.0257	0.0854	0.09	0.72	0.13	39	7.82	0.19	0.07	401	1022	70	
Mediana	0.0038	0.0444	0.06	0.08	0.03	25.60	0.77	0.05	0.04	112	277.10	8.76	
Moda	0.0035	0.0728	0.06	0.05	0.03	29.50	0.36	0.05	0.04	72	376	2.50	
Media	0.0056	0.0450	0.04	0.09	0.04	24.60	1.15	0.04	0.03	118.08	281.71	10.23	
Varianza	1.53X10 ⁻⁷	2.30X10 ⁻⁶	0.002	0.01	0.0003	33.63	1.23	0.0004	0.0001	3935.82	19327.14	63.29	
Desviación Estándar	0.0039	0.152	0.01	0.07	0.02	5.80	1.11	0.02	0.01	62.74	139.02	7.96	
Curtois	11.38050	2.79390	1.59	26.79	10.78	2.33	12.19	15.17	8.23	5.07	9.54	22.92	4.35
Asimetría	2.72298	0.20085	0.12	3.59	2.41	-0.20	2.61	2.05	2.16	0.89	1.66	3.71	1.09
Época de Frío													
	pH	Cond	SDT	SST	Fos	Ca	Mg	Na	K	Fe	Mn	Pb	Cd
Mínima	6.78	243	161	5	4.90	20	6.11	14.61	5.22	0.07	0.02	0.07	0.009
Máxima	10.50	1259	763	375	73.69	326.30	33.92	293.47	101.30	3.61	0.22	0.63	0.099
Mediana	7.39	800	514	93	19.37	31.79	20.60	80.27	16.01	0.56	0.06	0.07	0.043
Moda	7.39	801	450	79	19	29.10	18.30	66.30	13.30	0.42	0.06	0.07	0.009
Media	7.41	778.19	511.63	102.15	20.14	33.61	20.66	81.11	16.56	0.68	0.06	0.07	0.0285
Varianza	0.08	16677.13	6554.23	2967.54	71.84	446.13	10.07	662.47	45.40	0.24	0.0004	0.002	0.0004

Anexo 5 Análisis Estadístico Descriptivo PTAR, Influyente

Desviación Estándar	0.28	129.14	80.96	54.48	8.48	21.12	3.17	25.74	6.74	0.49	0.02	0.04	0.0210
Curtosis	77.80	5.77	6.10	8.51	12.42	183.45	8.20	33.64	124.75	11.46	21.47	175.34	4.20
Asimetría	6.81	-0.65	-0.75	1.79	2.11	13.20	-0.14	4.20	10.02	2.54	2.97	13.04	0.91447817
	Hg	Ar	Cr	Zn	Cu	Si	Al	Ni	Ag	DBO₅	DQO	Grasas y Aceites	
Mínima	0.0035	0.0062	0.03	0.01	0.03	18	0.26	0.02	0.02	8	46.76	2.50	
Máxima	0.0382	0.0965	0.56	1.67	0.26	31.65	5.39	0.07	0.07	289	744.80	33.62	
Mediana	0.0035	0.0422	0.06	0.07	0.03	27.18	0.64	0.05	0.04	129	288	8.73	
Moda	0.0035	0.0062	0.06	0.06	0.03	27	0.37	0.05	0.04	157	257	2.50	
Media	0.0057	0.0428	0.05	0.10	0.04	26.43	0.88	0.04	0.03	122.09	290.19	9.77	
Varianza	2.05X10 ⁻⁷	2.27X10 ⁻⁶	0.002	0.02	0.0007	13.37	0.64	0.0003	3.5X10 ⁻⁶	2472.67	13557.64	31.20	
Desviación Estándar	0.00045	0.00151	0.04	0.13	0.03	3.66	0.80	0.02	0.01	49.73	116.44	5.59	
Curtosis	21.38531	3.70355	122.72	122.10	55.35	2.84	13.06	1.47	12.29	2.87	3.99	5.26	
Asimetría	3.71692	0.05340	10.20	10.09	6.81	-0.85	2.86	-0.44	1.05	0.004	0.63	1.17	
Época de Lluvia													
	pH	Cond	SDT	SST	Fos	Ca	Mg	Na	K	Fe	Mn	Pb	Cd
Mínima	5.96	243.00	161.00	5.00	3.98	14.55	2.06	8.21	5.22	0.05	0.02	0.07	0.0090
Máxima	7.87	972.00	841.00	477.00	56.30	46.62	33.30	137.60	23.60	6.46	0.87	0.10	0.0990
Mediana	7.37	740.30	489.00	82.00	15.00	30.95	19.40	73.63	15.40	0.58	0.06	0.07	0.0430
Moda	7.45	814.00	580.00	100.00	14.50	31.80	19.40	70.50	15.30	0.34	0.06	0.07	0.0090
Media	7.36	706.39	473.64	95.06	16.29	30.70	18.69	71.34	14.86	0.80	0.06	0.07	0.0286
Varianza	0.05	22169.44	11321.84	4254.65	55.32	30.11	19.40	367.47	9.75	0.52	0.00	0.00	0.0005
Desviación Estándar	0.22	148.89	106.40	65.23	7.44	5.49	4.40	19.17	3.12	0.72	0.05	0.01	0.0218
Curtosis	10.15	3.62	4.05	12.63	8.48	3.18	4.63	4.31	3.70	21.72	186.24	18.29	4.4369
Asimetría	-1.43	-0.87	-0.30	2.54	1.58	-0.04	-0.76	-0.36	-0.58	3.55	12.63	4.06	1.0392
	Hg	Ar	Cr	Zn	Cu	Si	Al	Ni	Ag	DBO	DQO	Grasas y Aceites	
Mínima	0.00035	0.00062	0.03	0.01	0.02	14.75	0.20	0.02	0.02	6.00	46.69	2.50	
Máxima	0.00257	0.00854	0.07	0.72	0.13	31.50	7.82	0.19	0.07	401.00	1022.00	46.50	
Mediana	0.00035	0.00444	0.06	0.06	0.03	26.50	0.69	0.05	0.04	87.00	225.10	7.01	
Moda	0.00035	0.00728	0.06	0.05	0.03	29.50	0.36	0.05	0.04	34.00	220.00	2.50	
Media	0.00056	0.00457	0.04	0.08	0.04	24.76	1.07	0.04	0.03	95.54	235.85	8.38	
Varianza	0.00000	0.00000	0.00	0.00	0.00	28.29	1.26	0.00	0.00	3107.43	14296.90	41.07	
Desviación Estándar	0.00039	0.00146	0.01	0.06	0.02	5.32	1.12	0.02	0.01	55.74	119.57	6.41	
Curtosis	12.08053	2.91188	1.33	42.43	15.30	2.08	11.87	16.76	12.42	9.03	15.40	18.65	
Asimetría	2.85209	0.23056	0.01	4.76	2.89	-0.66	2.67	1.76	2.40	1.69	2.26	3.43	
Época de Estiaje													
	pH	Cond	SDT	SST	Fos	Ca	Mg	Na	K	Fe	Mn	Pb	Cd
Mínima	6.88	252.00	334.00	17.00	8.68	0.00	0.00	17.53	12.25	0.08	0.02	0.04	0.0090
Máxima	11.04	1744.00	1462.00	420.00	73.69	326.30	75.26	293.47	101.30	3.96	0.26	0.63	0.0990
Mediana	7.36	816.00	524.00	110.00	21.50	31.20	20.40	82.08	16.21	0.63	0.06	0.07	0.0430
Moda	7.39	801.00	541.00	100.00	19.00	29.10	18.30	66.30	15.40	0.44	0.06	0.07	0.0090
Media	7.42	811.42	531.42	127.19	23.36	32.97	20.64	85.32	17.06	0.76	0.06	0.08	0.0323
Varianza	0.19	16678.75	11708.53	3851.15	67.67	517.75	24.74	688.13	46.29	0.28	0.00	0.00	0.0006
Desviación Estándar	0.44	129.15	108.21	62.06	8.23	22.75	4.97	26.23	6.80	0.53	0.03	0.05	0.0254
Curtosis	46.99	17.89	38.70	8.23	13.49	153.63	82.85	33.98	129.89	14.86	27.78	114.62	3.9407
Asimetría	6.23	1.60	4.77	1.97	2.62	11.91	7.06	4.80	10.65	2.97	4.06	10.14	1.0789
	Hg	Ar	Cr	Zn	Cu	Si	Al	Ni	Ag	DBO	DQO	Grasas y Aceites	
Mínima	0.00035	0.00062	0.03	0.01	0.03	18.00	0.00	0.01	0.02	27.00	142.80	1.16	
Máxima	0.00382	0.00965	0.56	1.67	0.26	39.00	5.18	0.16	0.07	289.00	907.00	70.00	
Mediana	0.00035	0.00424	0.06	0.09	0.03	27.00	0.77	0.05	0.04	154.00	336.10	10.82	
Moda	0.00035	0.00062	0.06	0.05	0.03	18.00	0.37	0.05	0.04	157.00	257.00	2.50	

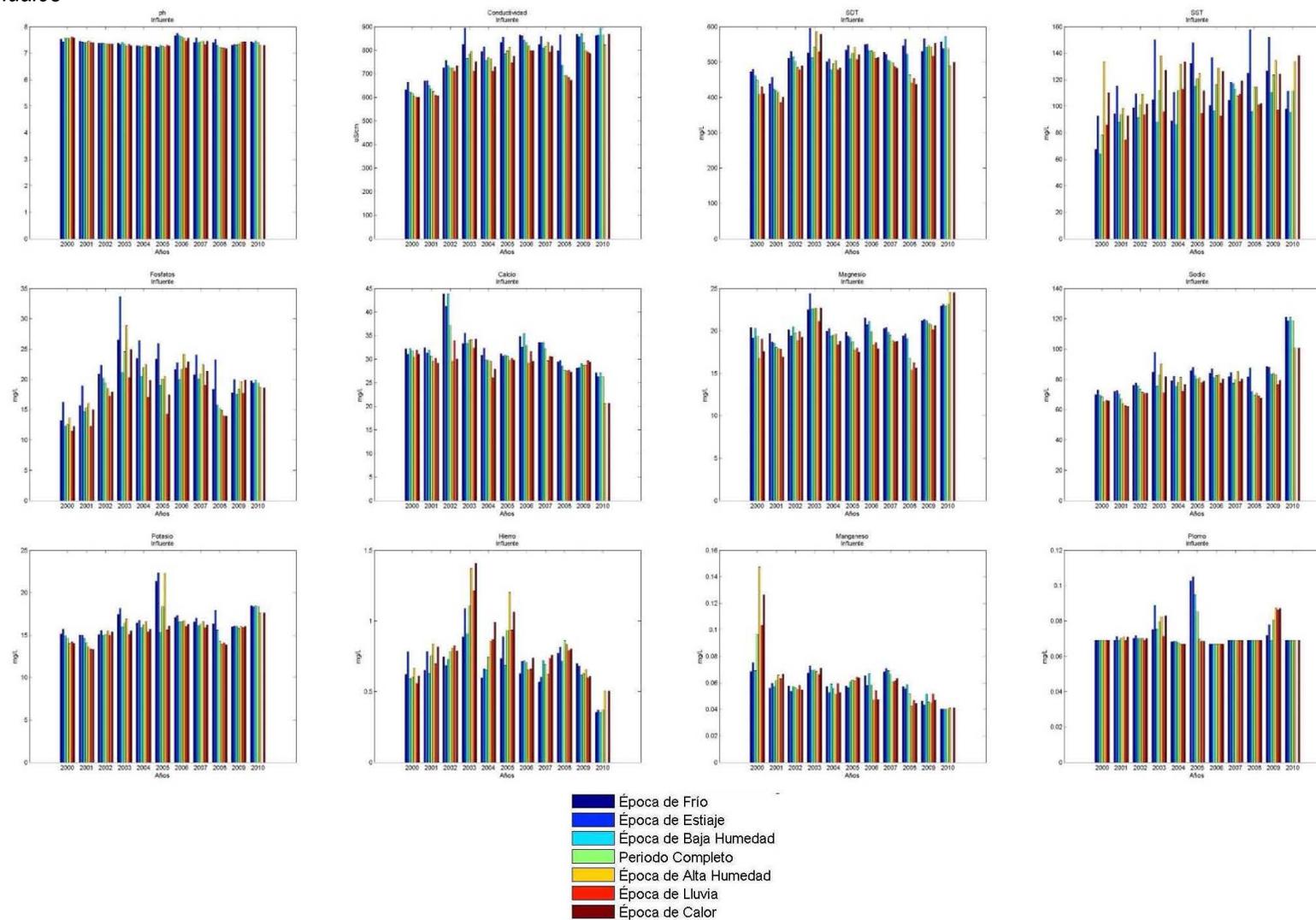
Anexo 5 Análisis Estadístico Descriptivo PTAR, Influyente

Media	0.00058	0.00414	0.05	0.11	0.04	26.34	0.96	0.04	0.03	153.16	353.77	11.84	
Varianza	0.00000	0.00000	0.00	0.02	0.00	19.88	0.53	0.00	0.00	1599.77	12008.25	49.25	
Desviación Estándar	0.00047	0.00155	0.05	0.14	0.03	4.46	0.73	0.02	0.01	40.00	109.58	7.02	
Curtosis	20.62252	3.52708	103.17	96.65	36.88	3.54	11.40	10.22	10.48	3.88	6.56	28.29	
Asimetría	3.61409	0.08115	9.36	8.80	5.35	-0.01	2.35	1.25	2.37	0.19	1.35	3.56	
Época de Alta Humedad													
	pH	Cond	SDT	SST	Fos	Ca	Mg	Na	K	Fe	Mn	Pb	Cd
Mínima	5.96	252.00	182.00	10.00	3.98	0.00	0.00	17.53	6.43	0.05	0.02	0.04	0.0090
Máxima	11.04	1744.00	1462.00	477.00	61.00	85.86	75.26	247.70	101.30	6.46	0.87	0.26	0.0990
Mediana	7.33	762.00	490.00	100.00	19.30	29.75	18.80	77.50	16.00	0.66	0.06	0.07	0.0430
Moda	7.26	814.00	549.00	100.00	19.90	27.00	17.50	69.70	15.30	0.34	0.05	0.07	0.0090
Media	7.36	749.38	497.16	121.58	20.30	29.80	18.76	77.38	15.97	0.87	0.06	0.07	0.0327
Varianza	0.13	24322.37	15462.39	5395.85	80.65	40.04	28.79	528.84	42.62	0.55	0.00	0.00	0.0007
Desviación Estándar	0.37	155.96	124.35	73.46	8.98	6.33	5.37	23.00	6.53	0.74	0.06	0.02	0.0272
Curtosis	62.08	9.96	21.88	8.35	7.33	31.80	58.57	20.52	134.54	21.46	155.05	76.76	3.7040
Asimetría	6.22	0.42	2.69	1.92	1.48	2.58	4.91	2.44	10.30	3.64	11.51	7.36	1.1253
	Hg	Ar	Cr	Zn	Cu	Si	Al	Ni	Ag	DBO	DQO	Grasas y Aceites	
Mínima	0.00035	0.00062	0.03	0.01	0.02	14.75	0.00	0.01	0.02	6.00	46.69	1.16	
Máxima	0.00243	0.00854	0.56	0.72	0.13	39.00	7.82	0.19	0.07	401.00	1022.00	70.00	
Mediana	0.00039	0.00441	0.06	0.08	0.03	25.00	0.86	0.05	0.04	131.00	308.56	9.43	
Moda	0.00035	0.00062	0.06	0.05	0.03	29.50	0.36	0.05	0.04	190.00	376.00	2.50	
Media	0.00058	0.00434	0.05	0.10	0.04	24.19	1.19	0.04	0.03	130.33	309.51	11.13	
Varianza	0.00000	0.00000	0.00	0.01	0.00	33.69	1.18	0.00	0.00	3790.38	19210.15	60.15	
Desviación Estándar	0.00040	0.00160	0.04	0.07	0.02	5.80	1.09	0.02	0.01	61.57	138.60	7.76	
Curtosis	9.57978	2.90139	123.01	26.70	10.16	2.37	12.65	14.43	7.44	4.93	8.84	22.22	
Asimetría	2.53345	0.15134	10.04	3.55	2.32	-0.09	2.60	2.03	2.06	0.60	1.45	3.44	
Época de Baja Humedad													
	pH	Cond	SDT	SST	Fos	Ca	Mg	Na	K	Fe	Mn	Pb	Cd
Mínima	6.46	243.00	161.00	5.00	4.64	14.55	2.06	8.21	5.22	0.07	0.02	0.067	0.009
Máxima	10.50	1158.00	763.00	375.00	73.69	326.30	33.92	293.47	35.29	3.61	0.22	0.628	0.099
Mediana	7.40	779.00	511.00	86.00	17.74	32.24	20.55	78.40	15.76	0.54	0.06	0.069	0.043
Moda	7.39	801.00	476.00	52.00	19.00	29.10	20.80	66.30	15.30	0.36	0.06	0.069	0.009
Media	7.41	752.08	498.92	93.93	18.11	33.54	20.29	77.15	15.62	0.69	0.06	0.072	0.027
Varianza	0.08	20561.61	8727.37	2733.32	61.22	429.83	15.07	574.38	9.68	0.26	0.00	0.002	0.000
Desviación Estándar	0.29	143.39	93.42	52.28	7.82	20.73	3.88	23.97	3.11	0.51	0.02	0.040	0.018
Curtosis	65.53	4.89	5.14	10.33	14.40	187.56	8.13	34.57	11.24	9.83	16.55	190.301	2.576
Asimetría	5.62	-1.03	-1.00	2.08	2.08	13.23	-1.08	3.48	0.52	2.38	2.33	13.605	0.341
	Hg	Ar	Cr	Zn	Cu	Si	Al	Ni	Ag	DBO	DQO	Grasas y Aceites	
Mínima	0.00035	0.00062	0.03	0.01	0.03	18.00	0.20	0.02	0.02	8.00	46.76	2.50	
Máxima	0.00382	0.00965	0.06	1.67	0.26	31.65	5.39	0.07	0.04	289.00	744.80	42.77	
Mediana	0.00035	0.00442	0.03	0.07	0.03	27.35	0.58	0.05	0.04	105.00	257.00	7.50	
Moda	0.00035	0.00388	0.06	0.05	0.03	27.00	0.37	0.05	0.04	157.00	170.00	2.50	
Media	0.00056	0.00445	0.04	0.09	0.04	26.70	0.86	0.04	0.03	108.12	258.45	8.78	
Varianza	0.00000	0.00000	0.00	0.02	0.00	13.50	0.71	0.00	0.00	2454.79	12554.13	31.50	
Desviación Estándar	0.00044	0.00143	0.01	0.12	0.03	3.67	0.84	0.02	0.00	49.55	112.05	5.61	
Curtosis	23.73663	3.68606	1.02	128.79	59.08	2.93	13.91	1.49	1.92	2.99	4.40	11.67	
Asimetría	3.94053	0.13053	0.00	10.36	7.05	-0.87	3.05	-0.55	-0.95	0.37	0.83	2.22	

Anexo 5

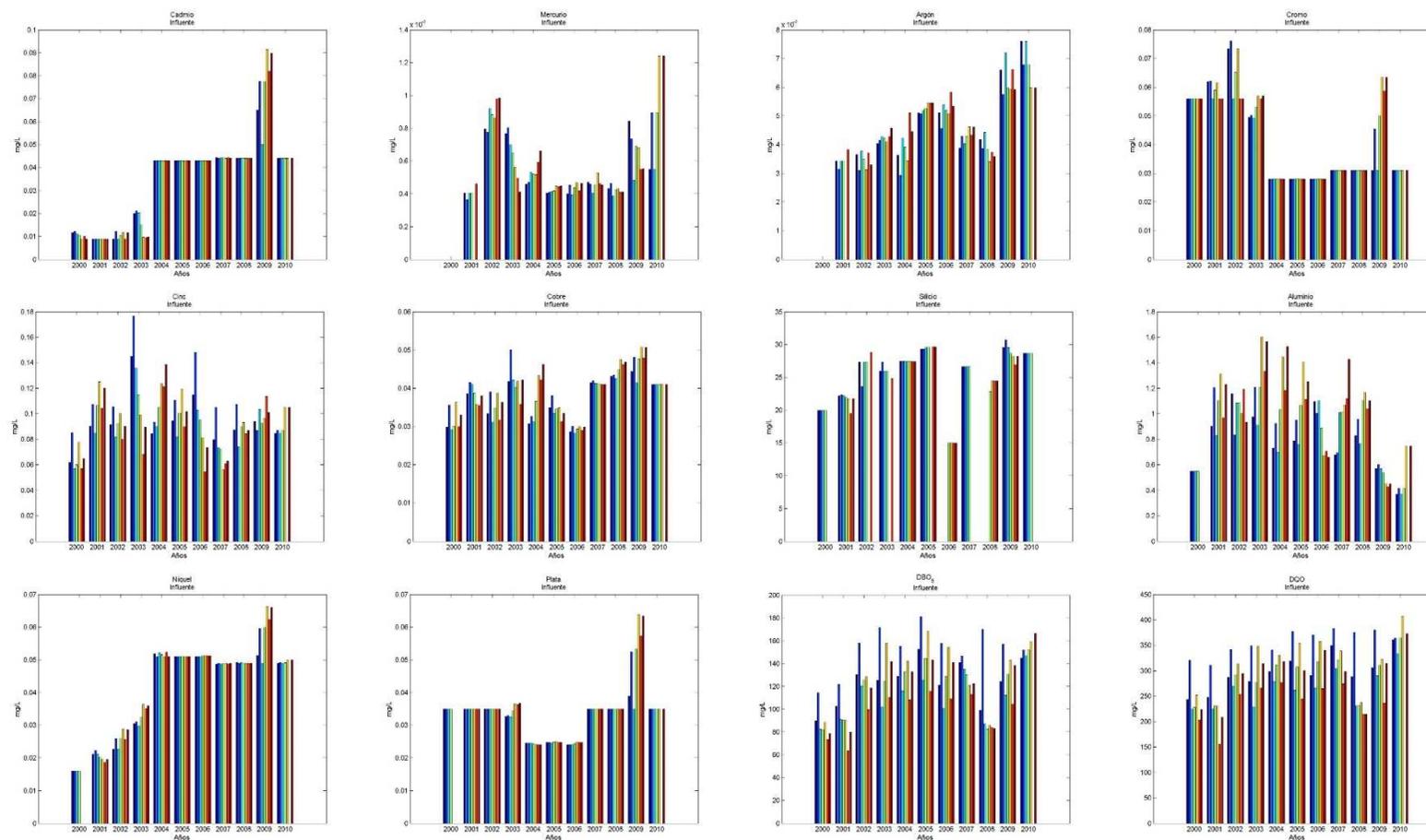
Análisis Estadístico Descriptivo PTAR, Influyente

Promedio Anuales



Anexo 5

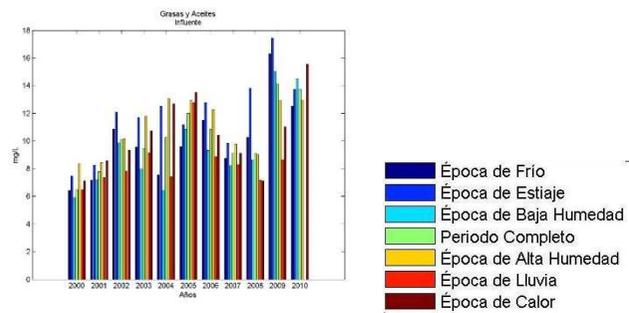
Análisis Estadístico Descriptivo PTAR, Influyente



- Época de Frio
- Época de Estiaje
- Época de Baja Humedad
- Periodo Completo
- Época de Alta Humedad
- Época de Lluvia
- Época de Calor

Anexo 5

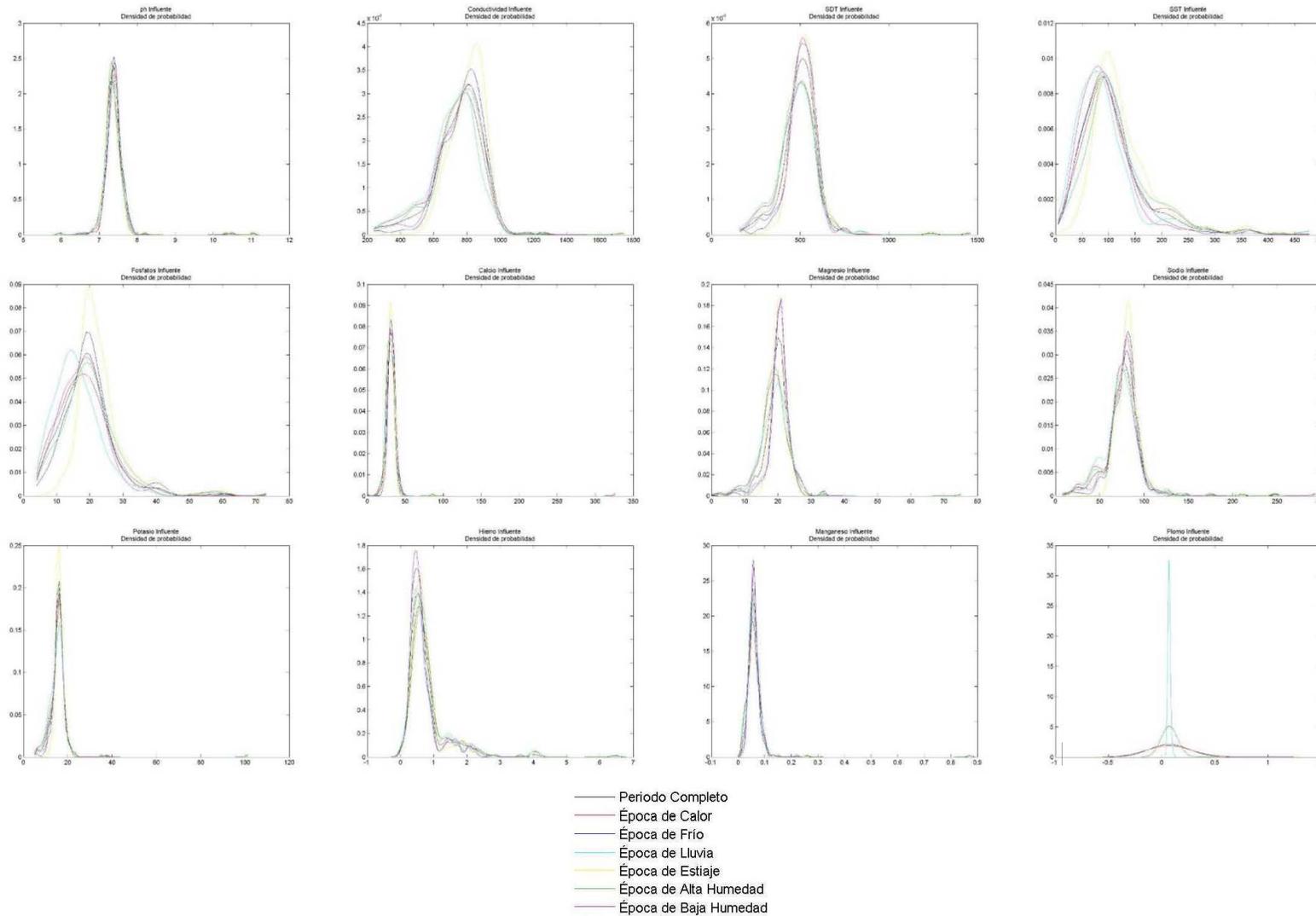
Análisis Estadístico Descriptivo PTAR, Influyente



Anexo 5

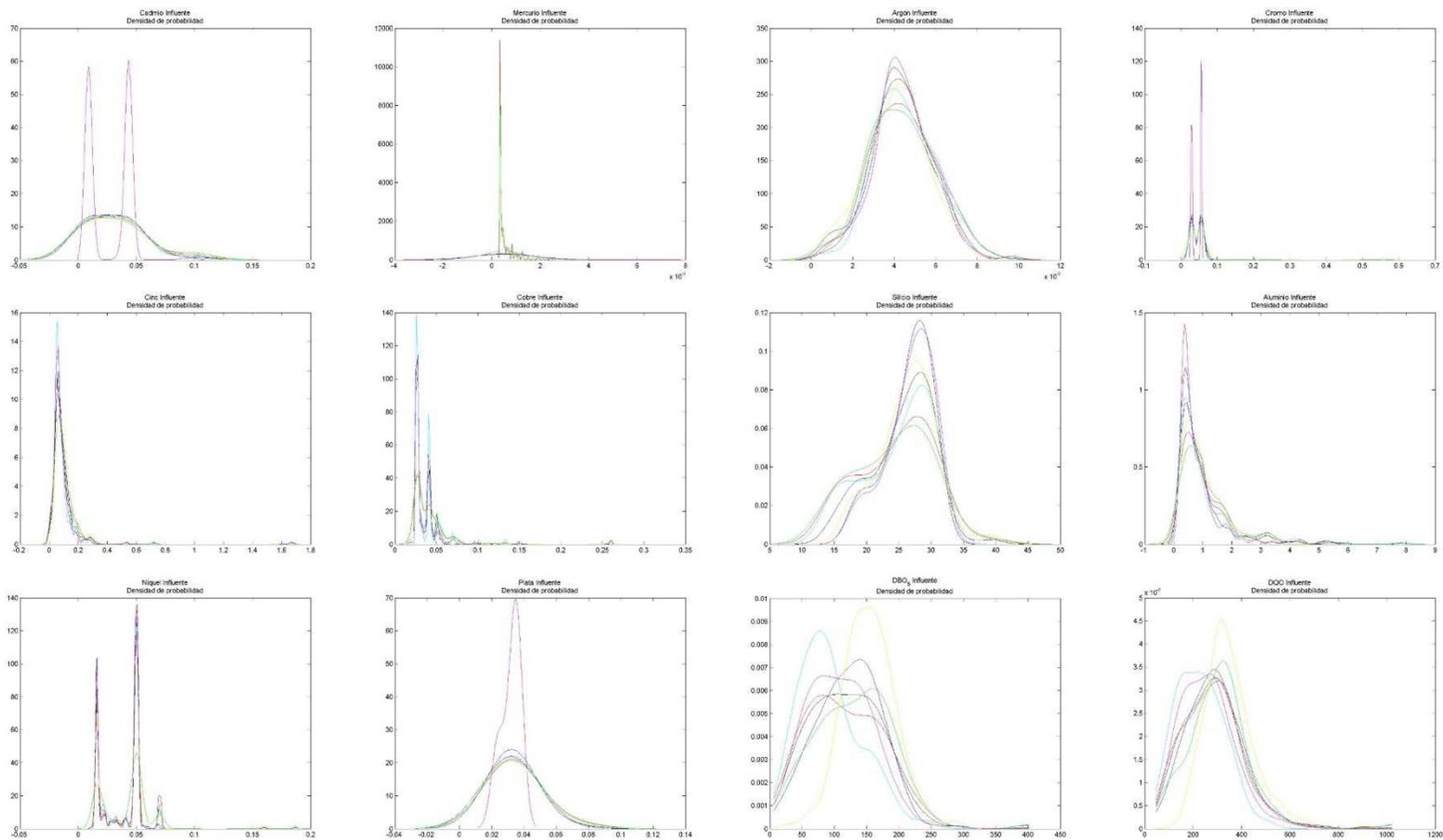
Análisis Estadístico Descriptivo PTAR, Influyente

Densidad de Probabilidad



Anexo 5

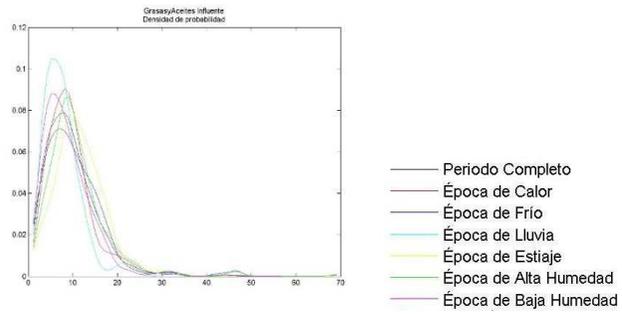
Análisis Estadístico Descriptivo PTAR, Influyente



- Período Completo
- Época de Calor
- Época de Frío
- Época de Lluvia
- Época de Estiaje
- Época de Alta Humedad
- Época de Baja Humedad

Anexo 5

Análisis Estadístico Descriptivo PTAR, Influyente



Anexo 6 Análisis Estadístico Descriptivo PTAR, Efluente

Periodo Completo													
	pH	Cond	SDT	SST	Fos	Ca	Mg	Na	K	Fe	Mn	Pb	Cd
Mínima	6.48	64.50	54.00	4.00	2.80	0.00	0.00	14.20	1.39	0.01	0.01	0.06	0.0040
Máxima	8.25	2006.00	830.00	90.00	62.10	77.00	37.99	208.90	87.80	1.40	0.15	0.24	0.1990
Mediana	7.50	687.80	490.00	5.00	14.45	31.30	18.95	76.30	15.10	0.10	0.02	0.07	0.0095
Moda	7.49	720.00	478.00	4.00	12.90	38.20	17.20	74.50	15.10	0.05	0.02	0.07	0.0090
Media	7.51	687.73	491.42	9.08	15.22	31.49	18.92	76.46	15.48	0.12	0.03	0.07	0.0288
Varianza	0.06	12061.11	4042.33	88.34	34.40	39.79	8.11	240.19	29.97	0.01	0.00	0.00	0.0006
Desviación Estándar	0.25	109.82	63.58	9.40	5.86	6.31	2.85	15.50	5.47	0.11	0.02	0.01	0.0246
Curtosis	3.52	55.44	13.45	24.04	14.67	14.49	13.44	25.27	130.75	57.76	16.42	113.86	9.7584
Asimetría	0.05	3.81	0.19	3.83	2.27	1.15	0.32	2.74	10.35	5.84	3.16	9.83	1.8234
	Hg	Ar	Cr	Zn	Cu	Si	Al	Ni	Ag	DBO	DQO	Grasas y Aceites	
Mínima	0.00014	0.00034	0.01	0.01	0.02	14.31	0.00	0.02	0.02	1.00	5.30		2.38
Máxima	0.03500	0.00943	0.56	0.32	0.06	38.00	1.43	0.07	0.07	27.00	4309.00		25.71
Mediana	0.00035	0.00403	0.06	0.05	0.03	23.70	0.36	0.05	0.04	4.00	32.84		2.50
Moda	0.00035	0.00062	0.06	0.05	0.03	21.00	0.26	0.05	0.04	2.00	37.40		2.50
Media	0.00059	0.00404	0.05	0.04	0.03	23.94	0.32	0.04	0.03	4.51	55.09		2.99
Varianza	4.39E-06	1.70E-06	0.00	0.00	0.00	17.00	0.01	0.00	0.00	10.73	57585.07		2.54
Desviación Estándar	0.00210	0.00130	0.04	0.03	0.01	4.12	0.11	0.02	0.01	3.27	239.97		1.59
Curtosis	257.76683	6.26323	134.68	33.69	4.06	4.01	59.76	1.56	11.40	11.58	261.63		123.72
Asimetría	15.73525	0.36592	10.85	3.61	1.45	0.39	6.16	-0.11	2.43	2.24	15.62		9.29
Época de Calor													
	pH	Cond	SDT	SST	Fos	Ca	Mg	Na	K	Fe	Mn	Pb	Cd
Mínima	6.48	429.60	54.00	4.00	2.80	0.00	0.00	39.80	5.83	0.02	0.01	0.067	0.004
Máxima	8.25	2006.00	830.00	90.00	62.10	48.70	23.35	158.00	25.14	0.76	0.11	0.239	0.199
Mediana	7.49	677.70	480.50	6.00	13.72	30.86	17.90	75.20	15.10	0.10	0.02	0.069	0.009
Moda	7.49	651.00	471.00	4.00	12.90	31.30	17.20	74.50	15.10	0.05	0.02	0.069	0.009
Media	7.49	684.03	482.93	9.11	14.86	30.64	18.07	74.65	14.92	0.13	0.03	0.072	0.029
Varianza	0.07	13580.12	4456.34	81.27	52.83	38.58	6.45	143.03	5.15	0.01	0.00	0.000	0.001
Desviación Estándar	0.27	116.53	66.76	9.02	7.27	6.21	2.54	11.96	2.27	0.10	0.02	0.014	0.028
Curtosis	4.36	70.86	15.05	33.30	17.76	5.85	13.71	13.07	9.82	18.22	8.09	93.191	9.620
Asimetría	-0.03	6.08	-0.06	4.46	3.04	-0.56	-1.64	1.25	0.73	3.27	2.19	8.340	2.026
	Hg	Ar	Cr	Zn	Cu	Si	Al	Ni	Ag	DBO	DQO	Grasas y Aceites	
Mínima	0.00014	0.00039	0.03	0.01	0.02	14.31	0.00	0.02	0.02	1.00	5.30		2.43
Máxima	0.00596	0.00931	0.07	0.15	0.06	38.00	1.33	0.07	0.07	27.00	2180.00		8.52
Mediana	0.00035	0.00404	0.06	0.05	0.03	24.35	0.33	0.05	0.04	4.00	36.80		2.50
Moda	0.00035	0.00351	0.06	0.05	0.03	22.00	0.26	0.02	0.04	2.00	37.40		2.50
Media	0.00050	0.00410	0.05	0.04	0.03	23.97	0.32	0.04	0.03	5.20	48.43		2.85
Varianza	0.00000	0.00000	0.00	0.00	0.00	21.64	0.01	0.00	0.00	16.78	19786.22		0.69
Desviación Estándar	0.00057	0.00116	0.01	0.02	0.01	4.65	0.11	0.02	0.01	4.10	140.66		0.83
Curtosis	63.74837	7.79331	1.52	6.39	3.53	4.16	51.24	1.71	7.28	8.14	223.44		16.06
Asimetría	7.27225	0.64067	-0.23	1.02	1.32	0.28	5.48	-0.02	2.09	1.99	14.72		3.22
Época de Frío													
	pH	Cond	SDT	SST	Fos	Ca	Mg	Na	K	Fe	Mn	Pb	Cd
Mínima	6.86	64.50	338.00	4.00	5.55	22.15	13.30	14.20	1.39	0.01	0.01	0.062	0.006
Máxima	8.15	987.10	812.00	68.00	39.10	77.00	37.99	208.90	87.80	1.40	0.15	0.226	0.099
Mediana	7.53	703.00	498.00	5.00	15.30	31.60	19.40	78.30	15.20	0.09	0.02	0.069	0.043
Moda	7.39	735.00	528.00	4.00	12.80	38.20	19.20	73.30	15.20	0.05	0.02	0.069	0.009
Media	7.52	692.81	501.55	9.19	15.91	32.23	19.76	78.81	16.12	0.11	0.02	0.069	0.028
Varianza	0.06	8952.94	3102.44	92.61	23.52	37.70	8.06	315.99	54.06	0.01	0.00	0.000	0.000

Anexo 6 Análisis Estadístico Descriptivo PTAR, Efluente

Desviación Estándar	0.24	94.62	55.70	9.62	4.85	6.14	2.84	17.78	7.35	0.11	0.01	0.012	0.021
Curtosis	2.84	12.10	8.57	14.27	6.11	23.23	12.47	24.63	77.39	84.27	31.54	161.826	4.116
Asimetría	-0.07	-1.44	1.09	3.04	1.17	3.24	1.87	2.95	8.27	7.74	4.40	12.513	0.909
	Hg	Ar	Cr	Zn	Cu	Si	Al	Ni	Ag	DBO	DQO	Grasas y Aceites	
Mínima	0.00035	0.00034	0.01	0.01	0.03	16.00	0.26	0.02	0.02	1.00	10.37	2.38	
Máxima	0.03500	0.00943	0.56	0.32	0.06	31.25	1.43	0.07	0.07	11.00	4309.00	25.71	
Mediana	0.00035	0.00389	0.05	0.05	0.03	23.75	0.36	0.05	0.04	3.00	32.30	2.50	
Moda	0.00035	0.00062	0.06	0.05	0.03	21.00	0.26	0.05	0.04	2.00	42.60	2.50	
Media	0.00066	0.00397	0.05	0.05	0.03	23.89	0.33	0.04	0.03	4.05	60.73	3.09	
Varianza	0.00001	0.00000	0.00	0.00	0.00	13.15	0.01	0.00	0.00	5.33	94216.88	4.14	
Desviación Estándar	0.00282	0.00142	0.06	0.03	0.01	3.63	0.11	0.02	0.01	2.31	306.95	2.04	
Curtosis	147.33842	5.16277	75.62	44.54	4.23	2.32	73.36	1.28	11.66	2.60	188.20	86.53	
Asimetría	12.06350	0.17656	8.38	4.99	1.50	-0.05	7.06	-0.27	1.09	0.65	13.58	8.15	
Época de Lluvia													
	pH	Cond	SDT	SST	Fos	Ca	Mg	Na	K	Fe	Mn	Pb	Cd
Mínima	6.48	64.50	54.00	4.00	4.22	20.10	11.00	39.80	5.83	0.01	0.01	0.067	0.004
Máxima	8.25	2006.00	766.00	59.00	62.10	48.70	29.45	158.00	25.14	0.60	0.11	0.094	0.199
Mediana	7.50	663.00	480.00	4.00	13.23	32.23	18.30	72.60	14.98	0.09	0.02	0.069	0.009
Moda	7.49	745.00	471.00	4.00	12.90	38.20	18.10	76.40	15.10	0.05	0.02	0.069	0.009
Media	7.52	666.55	482.33	7.83	14.15	32.19	18.53	72.45	14.75	0.11	0.02	0.070	0.028
Varianza	0.08	15265.05	4584.16	56.43	42.83	30.61	6.79	144.23	5.17	0.01	0.00	0.000	0.001
Desviación Estándar	0.28	123.55	67.71	7.51	6.54	5.53	2.61	12.01	2.27	0.07	0.02	0.005	0.025
Curtosis	3.86	60.42	11.87	16.62	26.89	2.61	4.01	13.98	9.03	13.96	12.91	17.811	13.183
Asimetría	-0.09	4.72	-0.48	3.31	3.98	0.17	0.30	1.53	0.57	2.46	2.82	3.992	2.258
	Hg	Ar	Cr	Zn	Cu	Si	Al	Ni	Ag	DBO	DQO	Grasas y Aceites	
Mínima	0.00014	0.00039	0.03	0.01	0.02	14.31	0.26	0.02	0.02	1.00	5.30	2.38	
Máxima	0.00350	0.00931	0.07	0.17	0.06	28.60	0.47	0.07	0.07	27.00	2180.00	8.95	
Mediana	0.00035	0.00414	0.06	0.05	0.03	23.05	0.36	0.05	0.04	3.00	32.00	2.50	
Moda	0.00035	0.00351	0.06	0.05	0.03	21.00	0.26	0.05	0.04	2.00	27.09	2.50	
Media	0.00045	0.00420	0.05	0.04	0.03	22.84	0.31	0.04	0.03	4.22	45.92	2.78	
Varianza	0.00000	0.00000	0.00	0.00	0.00	13.97	0.00	0.00	0.00	13.84	20488.94	0.85	
Desviación Estándar	0.00030	0.00119	0.01	0.02	0.01	3.74	0.06	0.02	0.01	3.72	143.14	0.92	
Curtosis	67.75340	5.70000	1.40	7.89	3.90	2.53	1.55	1.75	10.96	12.17	206.50	27.06	
Asimetría	6.99293	0.32059	-0.19	1.26	1.36	-0.46	0.18	-0.18	2.44	2.64	13.96	4.65	
Época de Estiaje													
	pH	Cond	SDT	SST	Fos	Ca	Mg	Na	K	Fe	Mn	Pb	Cd
Mínima	6.86	553.50	404.00	4.00	2.80	0.00	0.00	14.20	1.39	0.02	0.01	0.062	0.009
Máxima	8.01	987.10	830.00	90.00	38.74	77.00	37.99	208.90	87.80	1.40	0.15	0.239	0.099
Mediana	7.49	720.00	498.00	7.00	16.28	30.25	19.21	80.45	15.30	0.10	0.02	0.069	0.043
Moda	7.39	720.00	496.00	4.00	15.90	27.20	17.20	78.70	15.20	0.05	0.02	0.069	0.009
Media	7.49	714.91	502.70	10.81	16.82	30.36	19.27	81.81	16.40	0.14	0.03	0.072	0.031
Varianza	0.05	5476.84	2876.33	119.06	32.10	47.36	9.02	284.79	56.01	0.02	0.00	0.000	0.001
Desviación Estándar	0.22	74.01	53.63	10.91	5.67	6.88	3.00	16.88	7.48	0.14	0.02	0.020	0.025
Curtosis	2.90	3.34	15.02	21.54	5.03	21.46	20.09	29.12	74.83	45.74	13.61	56.526	4.115
Asimetría	-0.13	0.41	2.40	3.64	0.94	1.98	0.29	3.27	8.18	5.58	2.86	7.050	1.162
	Hg	Ar	Cr	Zn	Cu	Si	Al	Ni	Ag	DBO	DQO	Grasas y Aceites	
Mínima	0.00035	0.00034	0.01	0.01	0.03	16.00	0.00	0.02	0.02	1.00	10.08	2.43	
Máxima	0.03500	0.00943	0.56	0.32	0.06	38.00	1.43	0.07	0.07	20.00	4309.00	25.71	
Mediana	0.00035	0.00374	0.06	0.05	0.03	26.03	0.36	0.05	0.04	5.00	37.78	2.50	
Moda	0.00035	0.00062	0.06	0.05	0.03	21.00	0.26	0.02	0.04	6.00	32.60	2.50	

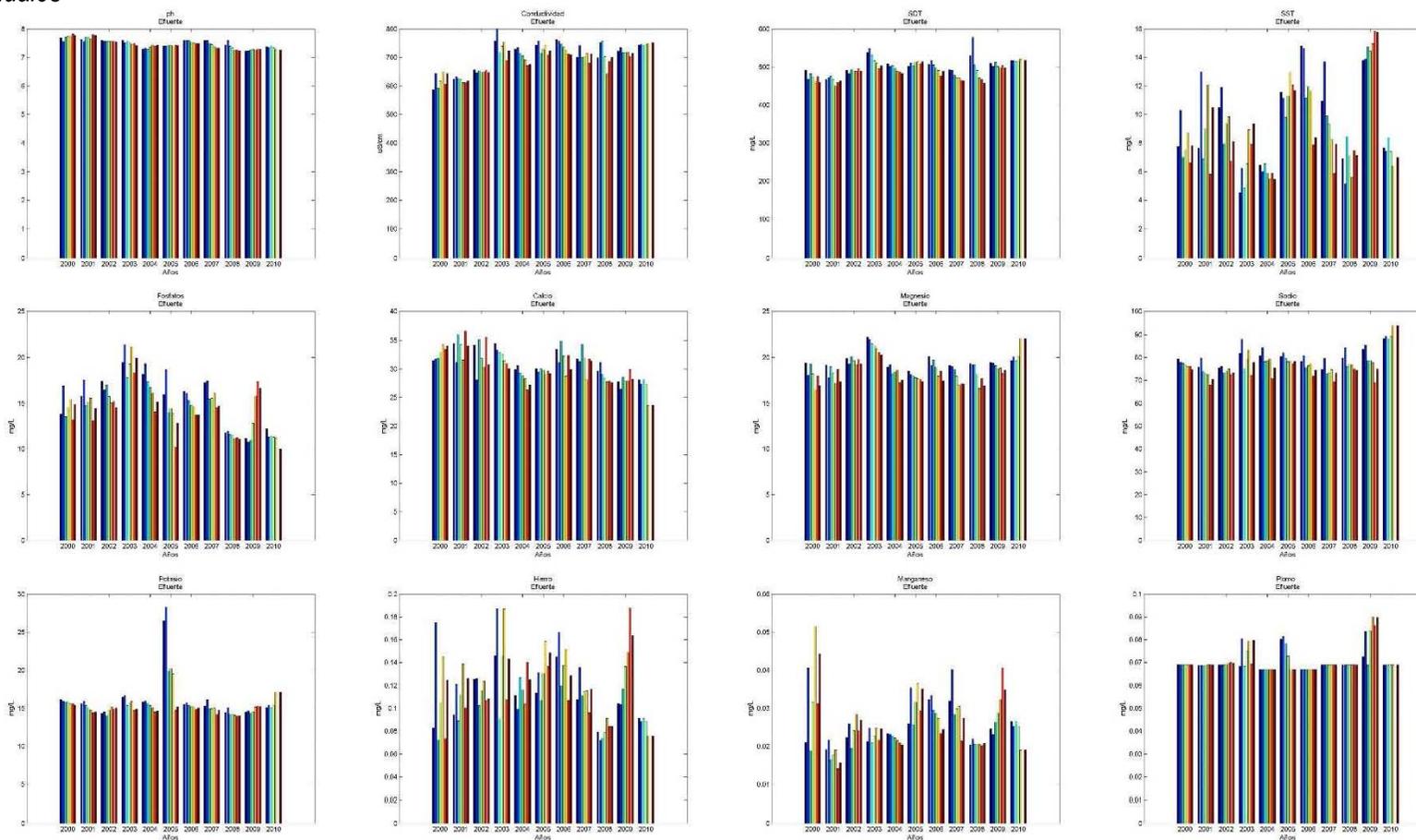
Anexo 6 Análisis Estadístico Descriptivo PTAR, Efluente

Media	0.00074	0.00384	0.05	0.05	0.03	25.16	0.34	0.04	0.03	5.27	64.14	3.18	
Varianza	0.00001	0.00000	0.00	0.00	0.00	18.83	0.02	0.00	0.00	8.95	94784.81	4.03	
Desviación Estándar	0.00298	0.00140	0.06	0.03	0.01	4.34	0.15	0.02	0.01	2.99	307.87	2.01	
Curtosis	128.08038	6.60544	65.58	47.06	3.78	4.04	36.22	1.47	10.25	6.87	189.21	92.57	
Asimetría	11.12307	0.43962	7.80	5.24	1.48	0.48	5.12	0.02	2.36	1.37	13.69	8.45	
Época de Alta Humedad													
	pH	Cond	SDT	SST	Fos	Ca	Mg	Na	K	Fe	Mn	Pb	Cd
Mínima	6.48	429.60	54.00	4.00	2.80	0.00	0.00	14.20	5.83	0.02	0.01	0.07	0.004
Máxima	8.06	987.10	830.00	90.00	62.10	70.00	37.99	179.90	79.80	1.40	0.11	0.24	0.199
Mediana	7.49	688.00	486.00	6.00	14.41	30.30	18.10	77.40	15.20	0.11	0.02	0.07	0.009
Moda	7.49	731.00	471.00	4.00	12.90	31.30	16.10	77.40	15.10	0.05	0.02	0.07	0.009
Media	7.48	690.96	486.56	9.92	15.66	29.99	18.34	77.25	15.51	0.14	0.03	0.07	0.03065445
Varianza	0.06	6613.51	4351.36	107.36	54.79	38.69	9.32	205.27	26.15	0.02	0.00	0.00	0.000905638
Desviación Estándar	0.24	81.32	65.96	10.36	7.40	6.22	3.05	14.33	5.11	0.13	0.02	0.01	0.030093818
Curtosis	4.65	3.83	15.38	24.86	15.76	12.93	16.86	20.18	119.85	43.00	7.50	85.11	7.8735073
Asimetría	-0.46	0.10	-0.26	4.02	2.74	0.53	0.50	1.94	9.61	5.27	2.12	7.92	1.8608889
	Hg	Ar	Cr	Zn	Cu	Si	Al	Ni	Ag	DBO	DQO	Grasas y Aceites	
Mínima	0.00014	0.000343	0.01	0.01	0.03	14.31	0.00	0.02	0.02	1.00	5.30	2.43	
Máxima	0.00596	0.00904	0.07	0.15	0.06	38.00	1.43	0.07	0.07	27.00	2180.00	25.71	
Mediana	0.00035	0.00397	0.06	0.05	0.03	24.70	0.29	0.05	0.04	5.00	37.30	2.50	
Moda	0.00035	0.00062	0.06	0.05	0.03	22.00	0.26	0.02	0.04	3.00	37.40	2.50	
Media	0.000516928	0.003866993	0.05	0.04	0.03	24.07	0.33	0.04	0.04	5.62	50.55	3.01	
Varianza	3.32E-07	1.36E-06	0.00	0.00	0.00	22.42	0.02	0.00	0.00	16.32	20177.66	3.50	
Desviación Estándar	0.000576413	0.001167011	0.01	0.02	0.01	4.74	0.14	0.02	0.01	4.04	142.05	1.87	
Curtosis	58.673765	6.7135519	1.77	6.72	3.35	4.17	39.42	1.63	6.52	7.91	218.63	113.40	
Asimetría	6.8667782	-0.25609402	-0.35	1.07	1.33	0.24	5.34	0.05	1.98	1.87	14.56	9.58	
Época de Baja Humedad													
	pH	Cond	SDT	SST	Fos	Ca	Mg	Na	K	Fe	Mn	Pb	Cd
Mínima	6.86	64.50	322.00	4.00	4.22	20.10	13.30	17.20	1.39	0.01	0.01	0.06	0.006
Máxima	8.25	2006.00	812.00	45.00	39.10	77.00	29.45	208.90	87.80	0.37	0.15	0.23	0.099
Mediana	7.53	688.40	494.00	4.50	14.48	32.60	19.30	75.10	15.10	0.09	0.02	0.07	0.043
Moda	7.39	720.00	482.00	4.00	12.00	38.20	18.10	65.20	15.10	0.05	0.02	0.07	0.009
Media	7.54	684.59	496.91	8.26	14.96	32.85	19.40	75.90	15.45	0.10	0.02	0.07	0.027073684
Varianza	0.07	17128.62	3385.63	60.72	22.31	34.69	5.85	251.56	30.69	0.00	0.00	0.00	0.000336259
Desviación Estándar	0.26	130.88	58.19	7.79	4.72	5.89	2.42	15.86	5.54	0.06	0.01	0.01	0.018337369
Curtosis	2.90	54.90	8.82	9.58	6.89	17.56	4.43	30.30	147.96	5.59	41.73	183.05	2.2296138
Asimetría	0.23	4.52	1.13	2.55	1.31	2.21	0.46	3.38	11.20	1.43	4.90	13.44	0.2863604
	Hg	Ar	Cr	Zn	Cu	Si	Al	Ni	Ag	DBO	DQO	Grasas y Aceites	
Mínima	0.00035	0.00062	0.03	0.01	0.02	16.00	0.26	0.02	0.02	1.00	10.34	2.38	
Máxima	0.035	0.00943	0.56	0.32	0.06	31.25	0.47	0.06	0.04	11.00	4309.00	8.95	
Mediana	0.00035	0.00413	0.04	0.05	0.03	23.30	0.36	0.05	0.04	3.00	32.00	2.50	
Moda	0.00035	0.00062	0.06	0.05	0.03	21.00	0.26	0.05	0.04	2.00	37.40	2.50	
Media	0.000648867	0.004204	0.05	0.04	0.03	23.80	0.32	0.04	0.03	3.59	57.98	2.92	
Varianza	8.00E-06	1.96E-06	0.00	0.00	0.00	13.08	0.00	0.00	0.00	4.63	91964.95	1.15	
Desviación Estándar	0.002828748	0.001399495	0.05	0.03	0.01	3.62	0.06	0.02	0.01	2.15	303.26	1.07	
Curtosis	146.92866	5.527822	81.98	42.64	4.01	2.22	1.64	1.33	1.78	3.06	193.09	15.86	
Asimetría	12.058143	0.53862216	8.72	4.75	1.36	0.00	-0.05	-0.41	-0.89	0.93	13.76	3.40	

Anexo 6

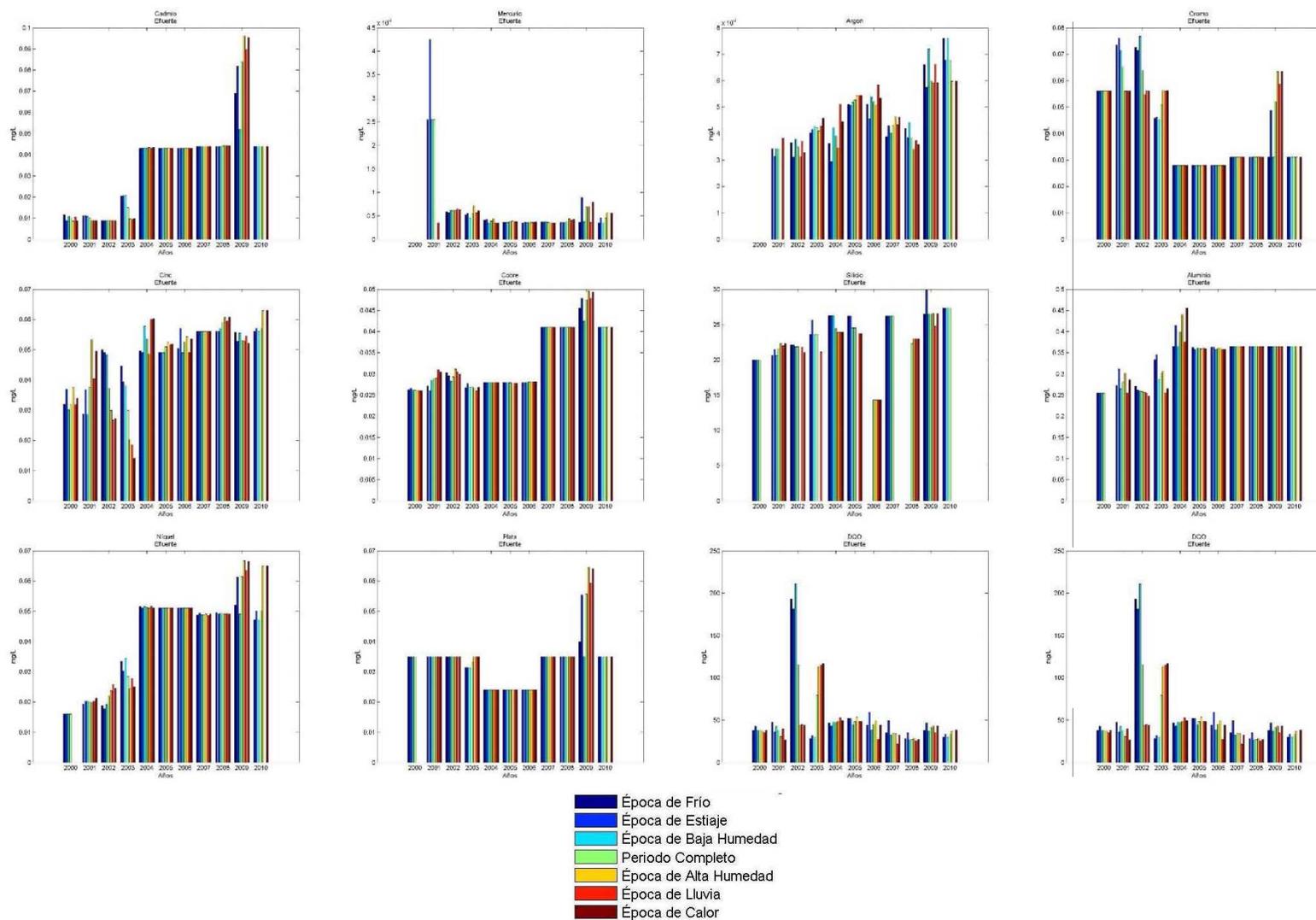
Análisis Estadístico Descriptivo PTAR, Efluente

Promedio Anuales



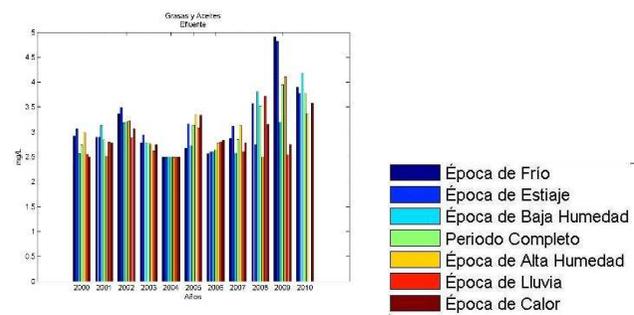
Anexo 6

Análisis Estadístico Descriptivo PTAR, Efluente



Anexo 6

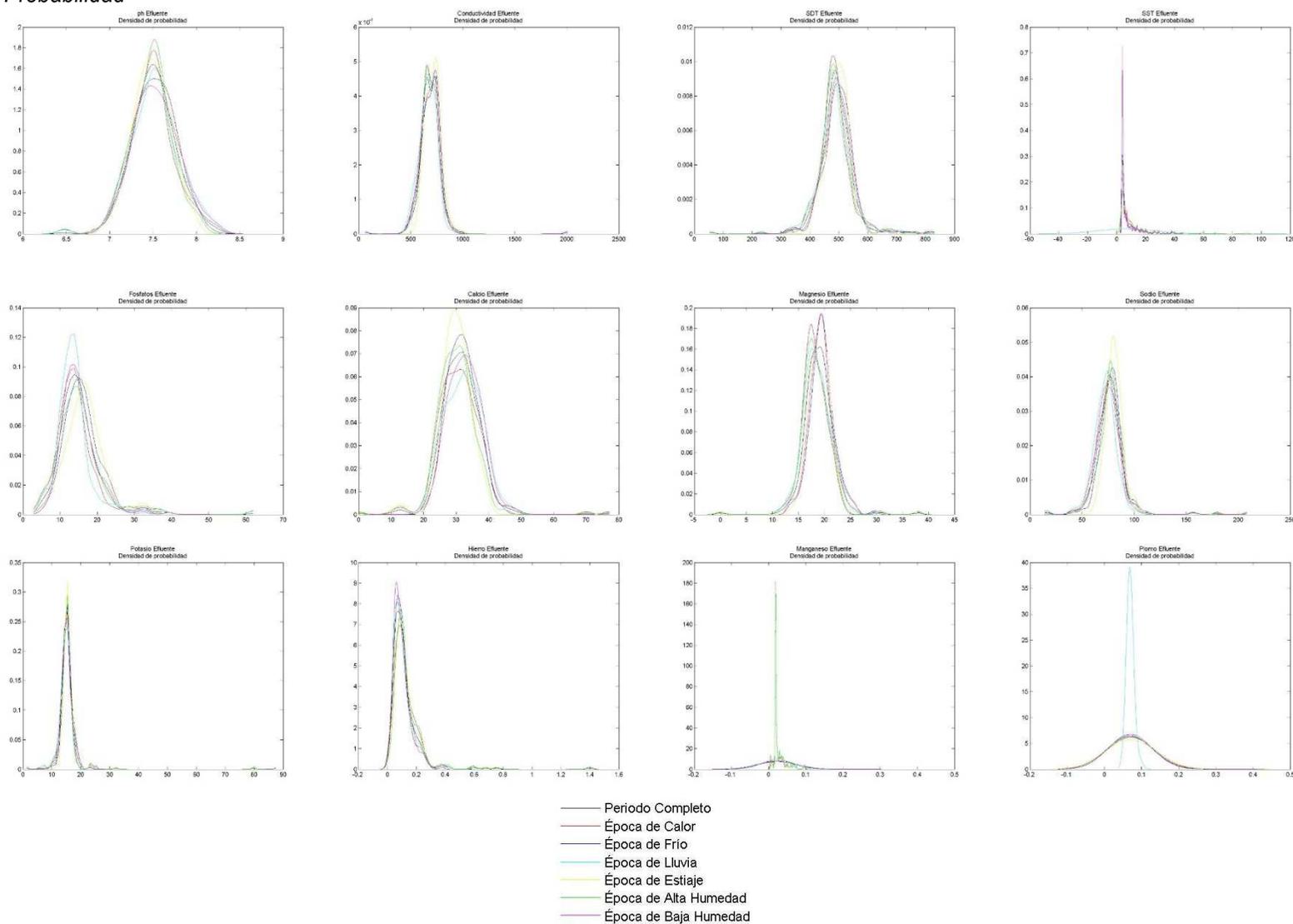
Análisis Estadístico Descriptivo PTAR, Efluente



Anexo 6

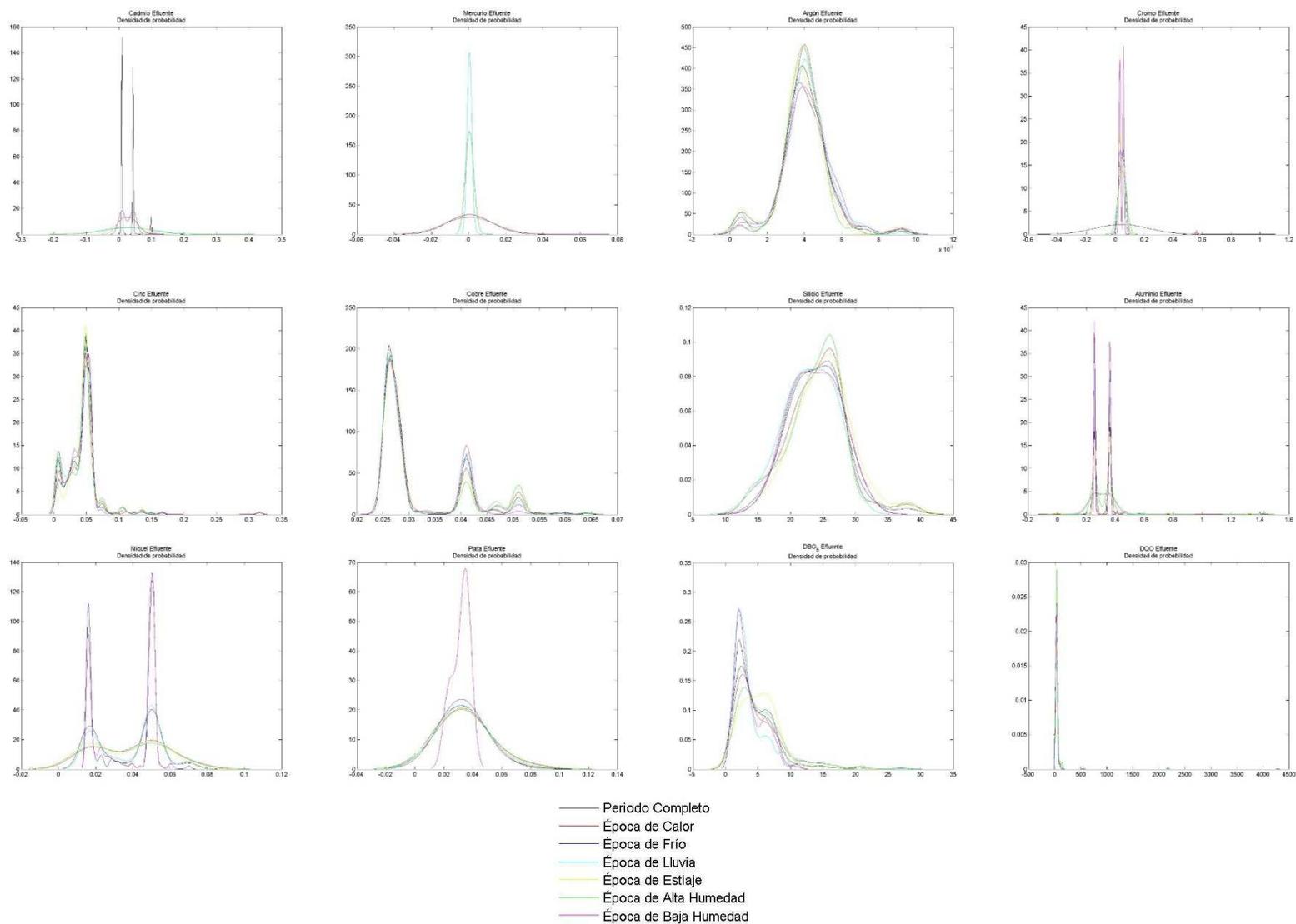
Análisis Estadístico Descriptivo PTAR, Efluente

Densidad de Probabilidad



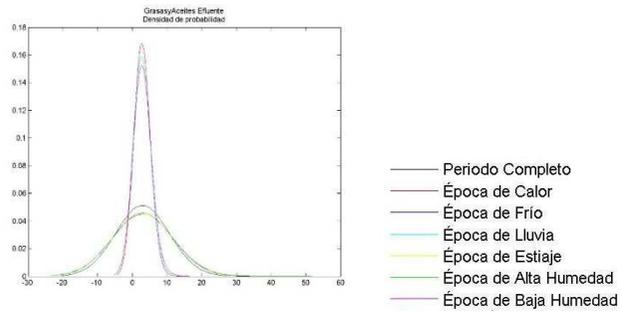
Anexo 6

Análisis Estadístico Descriptivo PTAR, Efluente



Anexo 6

Análisis Estadístico Descriptivo PTAR, Efluente



Anexo 7

Correlación y Regresión PTAR, Influyente

		Periodo Completo																									
		pH	Cond	SDT	SST	Fos	Ca	Mg	Na	K	Fe	Mn	Pb	Cd	Hg	Ar	Cr	Zn	Cu	Si	Al	Ni	Ag	DBO	DQO	GyA	
Periodo Completo	pH	1,00	0,18	0,16	-0,13	-0,02	0,11	0,22	0,16	0,05	-0,14	0,08	-0,08	-0,12	-0,06	0,14	0,10	-0,13	-0,15	0,27	-0,12	-0,04	0,02	-0,08	-0,07	-0,11	
	Cond		1,00	0,74	0,15	0,50	0,14	0,61	0,66	0,44	-0,18	-0,04	0,11	0,27	-0,09	0,20	-0,09	0,01	-0,01	0,66	-0,27	0,21	-0,05	0,51	0,39	0,19	
	SDT			1,00	0,10	0,40	0,16	0,62	0,56	0,35	-0,07	0,01	0,08	0,16	-0,09	0,14	-0,01	-0,03	-0,02	0,59	-0,18	0,17	0,04	0,46	0,38	0,14	
	SST				1,00	0,28	0,00	0,04	0,13	0,03	0,63	0,01	0,07	0,17	0,22	-0,06	-0,02	0,27	0,29	-0,18	0,64	0,09	0,02	0,52	0,62	0,47	
	Fos					1,00	0,10	0,20	0,37	0,36	0,00	-0,14	0,13	0,06	0,01	-0,06	-0,01	0,12	0,09	0,22	-0,05	-0,01	-0,04	0,65	0,54	0,22	
	Ca						1,00	0,25	0,11	0,04	0,00	0,07	0,01	-0,12	0,01	0,01	0,04	-0,03	-0,07	0,12	-0,02	-0,08	-0,02	0,02	0,02	-0,04	
	Mg							1,00	0,54	0,27	-0,06	0,14	0,09	-0,02	-0,03	0,14	0,07	-0,07	-0,07	0,50	-0,10	-0,01	0,05	0,16	0,13	-0,02	
	Na								1,00	0,36	-0,17	-0,02	0,10	0,14	-0,05	0,17	-0,03	0,03	-0,03	0,31	-0,20	0,15	0,01	0,42	0,35	0,15	
	K									1,00	-0,15	-0,04	0,04	0,09	-0,06	0,08	-0,04	0,01	-0,05	0,37	-0,21	0,11	-0,08	0,32	0,27	0,09	
	Fe										1,00	0,12	0,07	-0,03	0,20	-0,03	-0,04	0,32	0,28	-0,25	0,84	-0,02	-0,05	0,27	0,24	0,23	
	Mn											1,00	0,01	-0,14	0,01	0,07	0,03	0,13	-0,02	-0,07	0,30	-0,06	-0,11	-0,16	-0,11	-0,08	
	Pb												1,00	0,07	0,07	0,04	0,01	0,05	0,05	0,09	0,07	0,03	0,10	0,12	0,08	0,04	
	Cd													1,00	-0,17	0,39	-0,30	0,05	0,24	0,30	-0,09	0,65	0,24	0,21	0,18	0,19	
	Hg														1,00	-0,06	0,11	0,13	0,10	0,13	0,26	-0,25	0,08	0,10	0,12	0,11	
	Ar															1,00	-0,10	-0,04	0,03	0,01	-0,05	0,24	0,00	-0,08	-0,02	0,02	
	Cr																1,00	0,00	0,00	-0,02	0,07	-0,29	0,29	0,02	0,02	0,00	
	Zn																	1,00	0,18	0,02	0,26	0,01	-0,07	0,21	0,19	0,11	
	Cu																		1,00	0,18	0,22	0,06	0,16	0,20	0,26	0,22	
	Si																			1,00	-0,25	0,32	0,18	0,36	0,15	0,10	
	Al																				1,00	-0,07	0,03	0,05	0,22	0,23	
Ni																					1,00	0,03	0,18	0,14	0,10		
Ag																						1,00	-0,01	0,01	0,00		
DBO																							1,00	0,80	0,45		
DQO																								1,00	0,45		

		Época de Calor																									
		pH	Cond	SDT	SST	Fos	Ca	Mg	Na	K	Fe	Mn	Pb	Cd	Hg	Ar	Cr	Zn	Cu	Si	Al	Ni	Ag	DBO	DQO	GyA	
Época de Frío	pH	1,00	0,22	0,15	-0,08	0,00	0,25	0,22	0,22	0,17	-0,13	0,10	-0,02	0,00	-0,05	0,20	0,15	-0,11	-0,19	0,23	-0,14	0,02	0,02	-0,05	-0,05	-0,12	
	Cond		1,00	0,75	0,14	0,44	0,44	0,64	0,85	0,75	-0,16	-0,03	0,19	0,20	-0,10	0,21	-0,04	-0,08	-0,05	0,52	-0,18	0,15	0,03	0,49	0,40	0,10	
	SDT			1,00	0,23	0,47	0,42	0,66	0,74	0,56	0,06	0,04	0,18	0,12	-0,03	0,14	0,12	-0,02	0,09	0,54	-0,02	0,14	0,09	0,55	0,49	0,18	
	SST				1,00	0,24	0,18	0,16	0,17	0,09	0,73	0,05	0,09	0,08	0,16	-0,06	0,03	0,42	0,45	-0,16	0,76	0,10	0,01	0,53	0,65	0,50	
	Fos					1,00	0,01	0,23	0,44	0,52	0,08	-0,14	0,17	0,04	-0,14	0,17	0,05	0,19	0,18	-0,03	0,03	-0,05	0,07	0,67	0,58	0,19	
	Ca						1,00	0,72	0,39	0,28	0,14	0,24	0,12	-0,17	0,03	0,10	0,19	-0,08	-0,11	0,19	0,12	-0,01	-0,03	0,01	0,10	0,01	
	Mg							1,00	0,59	0,41	0,06	0,18	0,27	-0,01	-0,02	0,17	0,28	-0,08	-0,06	0,50	0,06	0,00	0,12	0,21	0,20	-0,02	
	Na								1,00	0,74	-0,11	-0,01	0,24	0,12	-0,08	0,21	0,00	-0,05	-0,01	0,43	-0,13	0,14	0,00	0,53	0,43	0,11	
	K									1,00	-0,26	-0,05	0,16	0,14	-0,09	0,24	-0,05	-0,04	-0,08	0,33	-0,28	0,13	-0,01	0,57	0,45	0,14	
	Fe										1,00	0,12	0,09	-0,09	0,16	-0,08	0,03	0,45	0,43	-0,31	0,91	0,01	-0,10	0,40	0,38	0,37	
	Mn											1,00	0,01	-0,16	0,01	0,07	0,15	0,04	-0,02	-0,08	0,41	-0,08	-0,09	-0,13	-0,08	-0,04	
	Pb												1,00	0,15	-0,09	0,14	0,31	0,08	0,10	0,11	0,15	0,03	0,31	0,16	0,11	0,07	
	Cd													1,00	-0,30	0,40	-0,26	0,03	0,19	0,38	-0,07	0,56	0,45	0,13	0,10	0,09	
	Hg														1,00	-0,11	0,22	0,24	0,10	0,04	0,16	-0,26	0,00	0,05	0,06	0,01	
	Ar															1,00	0,01	-0,03	-0,05	-0,18	-0,06	0,22	0,10	-0,01	-0,01	0,02	
	Cr																1,00	0,05	0,05	0,24	0,11	-0,29	0,67	-0,03	0,03	-0,10	
	Zn																	1,00	0,39	-0,05	0,56	-0,05	-0,01	0,27	0,31	0,24	
	Cu																		1,00	0,26	0,42	0,16	0,23	0,36	0,40	0,39	
	Si																			1,00	-0,20	0,34	0,34	0,25	0,08	-0,24	
	Al																				1,00	-0,01	0,03	0,16	0,33	0,33	
Ni																					1,00	0,19	0,20	0,15	0,11		
Ag																						1,00	0,03	0,03	-0,06		

Anexo 7

Correlación y Regresión PTAR, Influyente

DBO	-0,20	0,51	0,35	0,57	0,61	0,00	-0,01	0,31	0,23	0,19	-0,22	0,12	0,28	0,15	-0,10	0,05	0,19	0,13	0,39	0,00	0,21	-0,09	1,00	0,82	0,53	
DQO	-0,15	0,36	0,25	0,64	0,47	-0,02	-0,04	0,28	0,19	0,16	-0,19	0,08	0,26	0,19	0,00	0,04	0,13	0,20	0,35	0,14	0,18	-0,02	0,78	1,00	0,53	
GyA	-0,08	0,38	0,19	0,49	0,29	-0,06	0,04	0,23	0,10	0,11	-0,24	0,03	0,29	0,18	0,08	0,05	0,04	0,14	0,39	0,14	0,12	0,15	0,39	0,42	1,00	
Epoca de Lluvia																										
pH	1,00	0,24	0,16	-0,26	-0,05	0,45	0,37	0,23	0,25	-0,27	0,16	-0,03	-0,15	-0,03	0,30	0,27	-0,15	-0,26	0,23	-0,24	-0,04	0,04	-0,14	-0,17	-0,26	
Cond	0,10	1,00	0,81	-0,04	0,55	0,31	0,54	0,80	0,81	-0,30	-0,11	0,01	0,25	-0,13	0,27	-0,20	-0,07	-0,10	0,49	-0,41	0,21	-0,03	0,50	0,41	0,09	
SDT	0,10	0,56	1,00	-0,01	0,60	0,34	0,58	0,72	0,68	-0,14	-0,05	0,07	0,12	-0,15	0,26	-0,09	-0,05	0,05	0,40	-0,29	0,21	-0,05	0,60	0,55	0,24	
SST	-0,10	0,22	0,15	1,00	0,22	-0,17	-0,21	-0,04	0,01	0,68	0,00	0,15	0,13	0,20	-0,11	-0,03	0,48	0,59	-0,13	0,69	0,19	0,03	0,54	0,67	0,55	
Fos	-0,08	0,21	0,07	0,14	1,00	0,02	0,30	0,50	0,54	0,01	-0,14	0,18	0,12	-0,11	0,24	0,00	0,15	0,10	-0,05	-0,02	0,08	0,07	0,64	0,57	0,23	
Ca	0,05	0,07	0,11	0,04	0,09	1,00	0,64	0,27	0,36	-0,12	0,15	-0,05	-0,23	0,06	0,08	0,19	-0,14	-0,21	0,31	-0,22	-0,11	-0,03	-0,06	-0,01	-0,14	
Mg	0,11	0,62	0,61	0,27	-0,02	0,17	1,00	0,51	0,59	-0,24	0,08	0,05	-0,10	-0,07	0,19	0,20	-0,15	-0,20	0,46	-0,31	-0,03	0,08	0,16	0,11	-0,10	
Na	0,07	0,45	0,34	0,17	0,09	0,05	0,48	1,00	0,81	-0,30	-0,08	0,01	0,15	-0,10	0,24	-0,12	-0,05	-0,05	0,45	-0,36	0,19	-0,04	0,52	0,41	0,10	
K	-0,05	0,18	0,10	-0,03	0,19	-0,02	0,05	0,11	1,00	-0,29	-0,03	0,06	0,16	-0,11	0,26	-0,05	-0,07	-0,15	0,32	-0,39	0,16	-0,03	0,52	0,40	0,10	
Fe	-0,06	0,10	0,24	0,67	0,09	0,07	0,31	0,04	-0,04	1,00	0,06	0,17	-0,03	0,20	-0,08	0,01	0,44	0,45	-0,16	0,84	0,04	-0,06	0,39	0,36	0,39	
Mn	0,04	0,20	0,25	0,18	-0,13	0,12	0,41	0,10	-0,07	0,42	1,00	-0,02	-0,13	0,06	0,08	0,12	0,05	-0,03	0,10	0,28	-0,06	-0,08	-0,10	-0,08	-0,01	
Pb	-0,10	0,13	0,07	0,04	0,11	0,00	0,10	0,08	0,01	0,09	0,08	1,00	0,42	-0,06	0,25	0,40	0,26	0,23	0,15	0,30	0,16	0,69	0,19	0,16	0,05	
Cd	-0,04	0,27	0,14	0,12	-0,08	-0,13	0,02	0,09	0,04	-0,05	-0,21	0,03	1,00	-0,35	0,42	-0,47	0,12	0,25	0,05	-0,07	0,65	0,23	0,17	0,11	0,08	
Hg	-0,08	-0,06	-0,04	0,24	0,08	0,01	0,01	-0,02	-0,05	0,23	0,00	0,10	-0,05	1,00	-0,14	0,28	0,25	0,08	0,01	0,23	-0,33	0,03	0,07	0,07	0,00	
Ar	0,12	0,25	0,09	0,13	-0,10	-0,01	0,15	0,23	0,07	0,07	0,02	0,08	0,43	0,01	1,00	-0,08	-0,01	-0,10	-0,20	-0,12	0,30	0,02	0,05	-0,01	0,06	
Cr	0,05	-0,11	0,00	-0,01	-0,04	0,02	0,03	-0,04	-0,06	-0,05	0,01	-0,01	-0,25	0,07	-0,09	1,00	0,04	-0,07	0,18	0,08	-0,45	0,63	-0,06	-0,04	-0,08	
Zn	-0,13	-0,04	-0,07	0,10	0,00	-0,03	-0,07	-0,01	-0,01	0,32	0,43	0,02	0,00	0,09	0,00	-0,01	1,00	0,38	0,09	0,54	0,00	0,08	0,26	0,30	0,24	
Cu	-0,09	-0,01	-0,07	0,11	0,02	-0,05	-0,02	-0,07	-0,05	0,23	0,04	0,03	0,21	0,11	0,13	0,02	0,10	1,00	0,19	0,45	0,27	0,21	0,41	0,47	0,45	
Si	0,05	0,76	0,70	-0,21	0,29	-0,24	0,40	0,20	0,25	-0,31	-0,19	0,10	0,73	0,05	0,34	-0,27	0,00	0,28	1,00	-0,06	0,01	0,15	0,19	0,12	-0,47	
Al	0,01	0,10	0,27	0,70	0,04	0,09	0,37	0,06	-0,09	0,86	0,43	0,11	-0,18	0,34	0,10	0,14	0,12	0,11	-0,44	1,00	-0,03	0,04	0,15	0,28	0,31	
Ni	-0,02	0,26	0,15	0,02	-0,09	-0,10	0,02	0,15	0,11	-0,10	-0,09	0,02	0,66	-0,20	0,20	-0,28	0,03	-0,03	0,78	-0,13	1,00	0,07	0,26	0,24	0,17	
Ag	0,01	-0,06	0,14	0,04	-0,09	-0,01	0,06	0,05	-0,10	-0,05	-0,12	0,07	0,30	0,11	0,06	0,24	-0,13	0,15	0,38	0,05	0,03	1,00	0,01	-0,01	-0,08	
DBO	-0,16	0,19	0,13	0,40	0,43	-0,02	-0,06	0,10	0,11	0,35	-0,23	0,10	0,14	0,16	0,00	0,03	0,10	0,04	0,45	0,11	0,20	-0,03	1,00	0,87	0,54	
DQO	-0,12	0,05	0,06	0,52	0,23	-0,02	0,00	0,10	0,07	0,32	-0,08	0,04	0,15	0,19	0,16	0,04	0,04	0,13	0,03	0,40	0,09	0,07	0,53	1,00	0,58	
GyA	-0,08	0,14	0,01	0,38	0,06	-0,03	0,00	0,09	0,03	0,21	-0,16	0,01	0,20	0,18	0,17	0,01	0,01	0,12	0,52	0,27	0,09	0,08	0,29	0,27	1,00	
pH	1,00	0,15	0,11	-0,06	-0,02	0,19	0,18	0,14	-0,02	-0,10	0,09	-0,03	0,00	-0,02	0,19	0,08	-0,03	-0,17	0,20	-0,10	0,01	0,01	-0,05	-0,05	-0,11	
Cond	0,19	1,00	0,71	0,15	0,45	0,39	0,63	0,74	0,37	-0,14	-0,06	0,18	0,20	-0,07	0,18	-0,03	-0,08	-0,08	0,52	-0,17	0,15	-0,01	0,50	0,38	0,17	
SDT	0,18	0,78	1,00	0,24	0,45	0,39	0,66	0,61	0,25	0,11	0,03	0,17	0,12	-0,04	0,11	0,03	-0,02	0,09	0,54	0,05	0,14	0,05	0,55	0,48	0,22	
SST	-0,24	0,13	-0,12	1,00	0,17	0,23	0,21	0,18	0,01	0,72	0,05	0,07	0,07	0,22	-0,01	0,02	0,39	0,41	-0,11	0,73	0,08	-0,01	0,50	0,63	0,51	
Fos	-0,02	0,56	0,39	0,38	1,00	0,04	0,24	0,37	0,31	0,04	-0,14	0,12	-0,03	-0,10	0,12	0,03	0,13	0,08	0,03	-0,02	-0,08	-0,02	0,61	0,52	0,17	
Ca	0,10	0,07	0,11	-0,04	0,15	1,00	0,71	0,35	0,07	0,20	0,21	0,12	-0,20	0,06	0,00	0,07	-0,01	-0,09	0,18	0,19	-0,01	-0,04	0,03	0,13	0,08	
Mg	0,24	0,54	0,53	-0,20	0,23	0,11	1,00	0,53	0,15	0,10	0,16	0,28	0,01	-0,03	0,13	0,12	-0,06	-0,05	0,47	0,11	0,01	0,11	0,23	0,23	0,06	
Na	0,15	0,58	0,52	0,05	0,37	0,04	0,54	1,00	0,20	-0,10	-0,03	0,19	0,12	-0,02	0,20	0,00	-0,09	-0,03	0,45	-0,12	0,16	0,00	0,47	0,38	0,17	
K	0,21	0,69	0,64	0,07	0,49	0,07	0,65	0,77	1,00	-0,12	-0,05	0,07	0,06	-0,06	0,12	-0,03	-0,04	-0,10	0,34	-0,16	0,09	-0,09	0,29	0,22	0,10	
Fe	-0,21	-0,24	-0,28	0,46	-0,06	-0,05	-0,25	-0,23	-0,23	1,00	0,14	0,10	-0,10	0,18	-0,04	-0,05	0,44	0,42	-0,30	0,91	-0,01	-0,09	0,40	0,38	0,37	
Mn	0,06	-0,03	-0,07	-0,06	-0,15	0,05	0,15	-0,05	0,00	0,16	1,00	0,01	-0,18	0,06	0,00	0,04	0,05	-0,02	-0,15	0,48	-0,10	-0,09	-0,14	-0,08	-0,05	
Pb	-0,13	0,09	0,04	0,07	0,16	-0,01	0,02	0,06	0,03	0,07	0,05	1,00	0,17	-0,09	0,19	0,09	0,06	0,10	0,15	0,15	0,04	0,31	0,11	0,07	0,05	
Cd	-0,29	0,39	0,20	0,24	0,18	-0,12	-0,05	0,16	0,17	0,05	-0,04	0,04	1,00	-0,14	0,46	-0,15	-0,02	0,19	0,42	-0,10	0,55	0,48	0,11	0,07	0,13	
Hg	-0,11	-0,11	-0,16	0,21	0,08	0,02	0,00	-0,08	-0,08	0,24	0,00	0,12	-0,30	1,00	-0,07	0,07	0,24	0,16	0,05	0,24	-0,20	0,02	0,09	0,12	0,05	
Ar	0,09	0,21	0,17	-0,04	-0,12	-0,02	0,14	0,15	0,07	0,02	0,09	-0,01	0,39	-0,06	1,00	-0,03	-0,04	0,03	-0,23	-0,05	0,25	0,19	0,03	0,01	0,07	
Cr	0,25	-0,39	-0,20	-0,20	-0,17	0,11	0,04	-0,16	-0,15	-0,01	0,03	-0,05	-0,93	0,35	-0,33	1,00	0,06	0,02	0,32	0,06	-0,19	0,25	0,06	0,05	0,00	
Zn	-0,23	0,07	-0,01	0,21	0,10	-0,03	-0,05	0,09	0,09	0,27	0,43	0,06	0,12	0,10	-0,03	-0,11	1,00	0,33	0,02	0,58	-0,08	-0,03	0,22	0,27	0,21	
Cu	-0,13	0,04	-0,08	0,24	0,08	-0,05	-0,07	-0,03	-0,01	0,19	0,01	0,03	0,27	0,08	0,02	-0,04	0,12	1,00	0,35	0,41	0,16	0,23	0,29	0,34	0,38	

Anexo 7

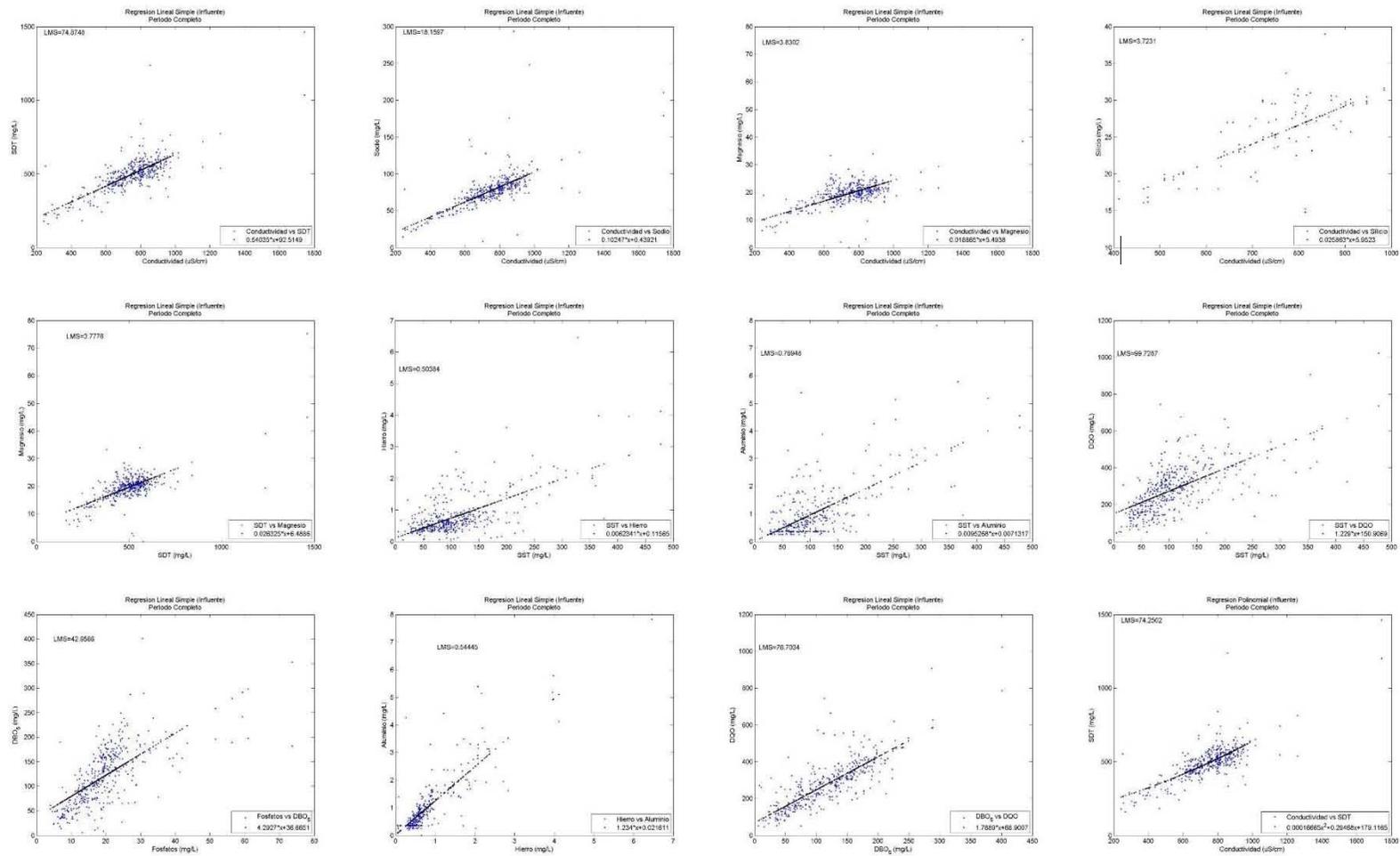
Correlación y Regresión PTAR, Influyente

Si	-0,01	0,65	0,43	0,05	0,24	-0,16	0,36	0,18	0,26	-0,10	-0,01	0,11	0,57	0,18	0,42	-0,57	0,04	0,24	1,00	-0,14	0,34	0,44	0,34	0,18	-0,20
Al	-0,19	-0,40	-0,45	0,48	-0,07	-0,06	-0,35	-0,27	-0,39	0,70	0,15	0,06	-0,10	0,27	-0,02	0,10	0,07	0,12	0,03	1,00	-0,04	0,04	0,13	0,33	0,37
Ni	-0,13	0,32	0,24	0,12	0,09	-0,14	-0,02	0,15	0,17	-0,04	0,00	0,03	0,85	-0,34	0,30	-0,89	0,08	0,01	0,57	-0,11	1,00	0,21	0,18	0,13	0,12
Ag	0,13	-0,13	-0,04	0,01	-0,08	0,05	0,06	-0,02	-0,04	-0,02	-0,08	0,01	-0,50	0,19	-0,35	0,62	-0,14	0,11	-0,26	0,05	-0,54	1,00	-0,05	-0,03	-0,07
DBO	-0,13	0,53	0,40	0,54	0,66	0,04	0,11	0,38	0,42	0,13	-0,18	0,14	0,27	0,10	-0,13	-0,21	0,22	0,17	0,27	-0,03	0,20	-0,05	1,00	0,80	0,55
DQO	-0,10	0,42	0,33	0,62	0,53	0,02	0,07	0,33	0,37	0,09	-0,17	0,10	0,26	0,11	-0,02	-0,14	0,15	0,23	0,22	0,06	0,18	0,01	0,79	1,00	0,53
GyA	-0,09	0,22	0,06	0,42	0,25	-0,06	-0,10	0,13	0,05	0,08	-0,19	0,03	0,20	0,12	0,03	-0,14	0,05	0,14	0,33	0,05	0,09	0,09	0,28	0,35	1,00

Anexo 7

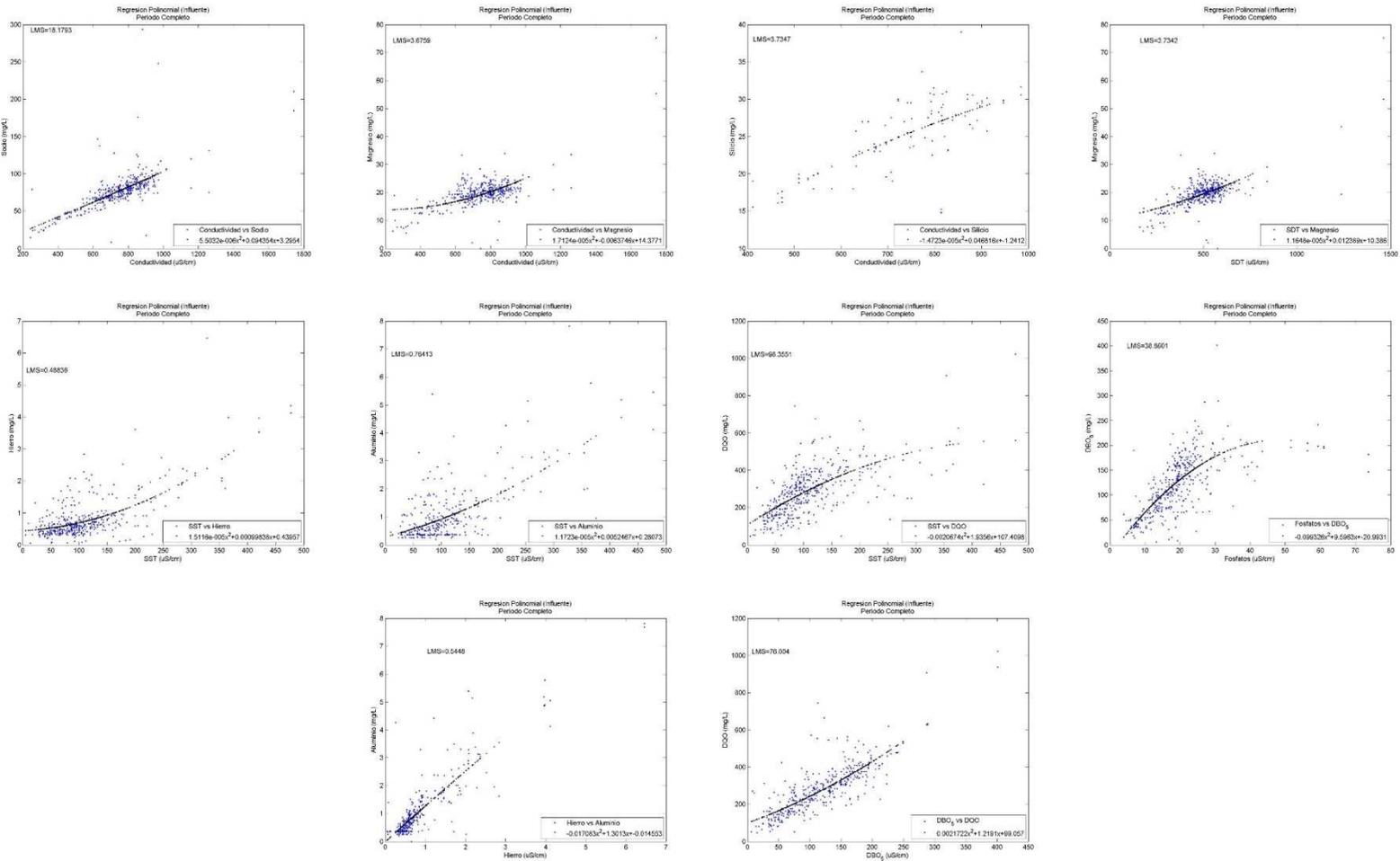
Correlación y Regresión PTAR, Influyente

Periodo Completo



Anexo 7

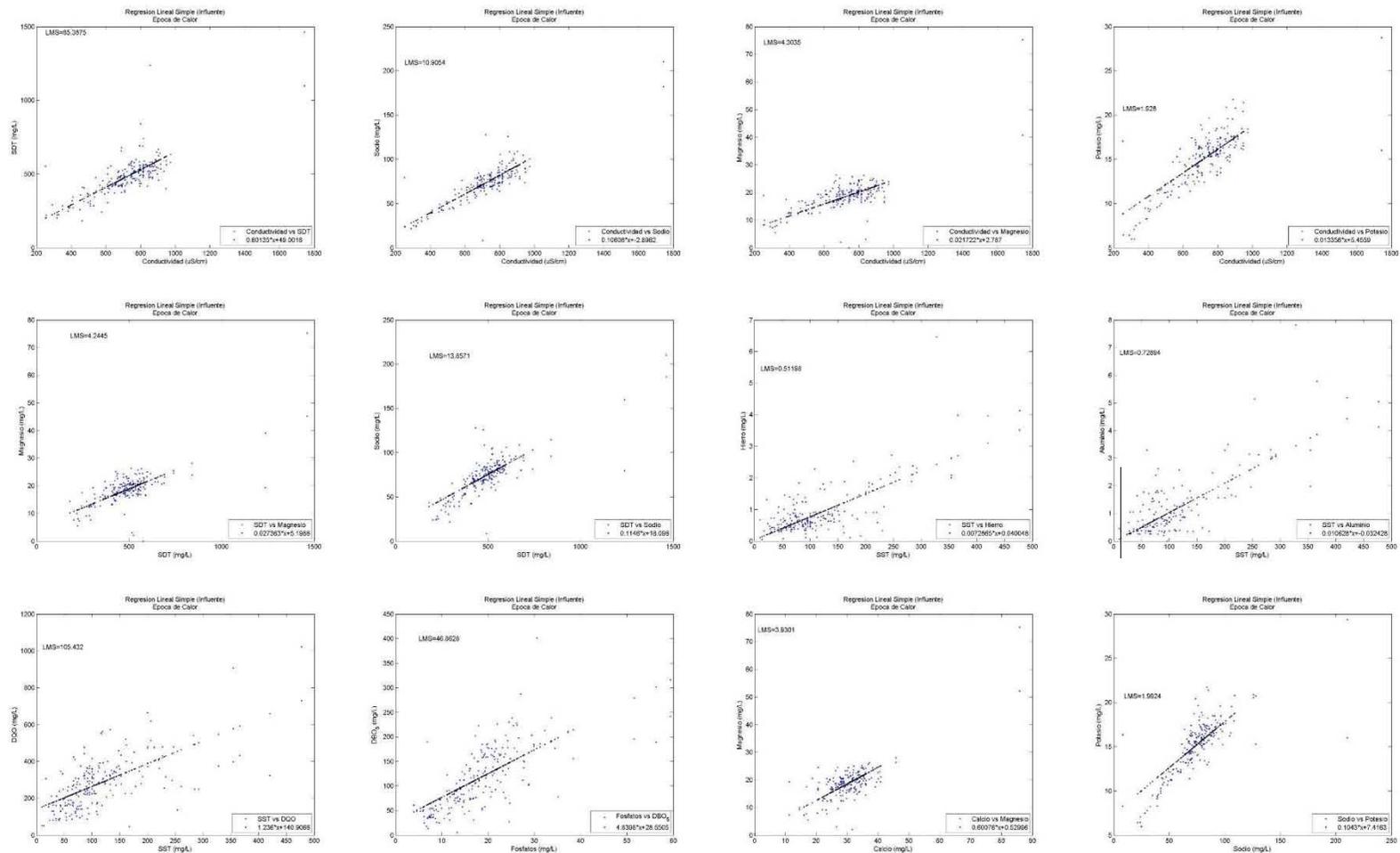
Correlación y Regresión PTAR, Influyente



Anexo 7

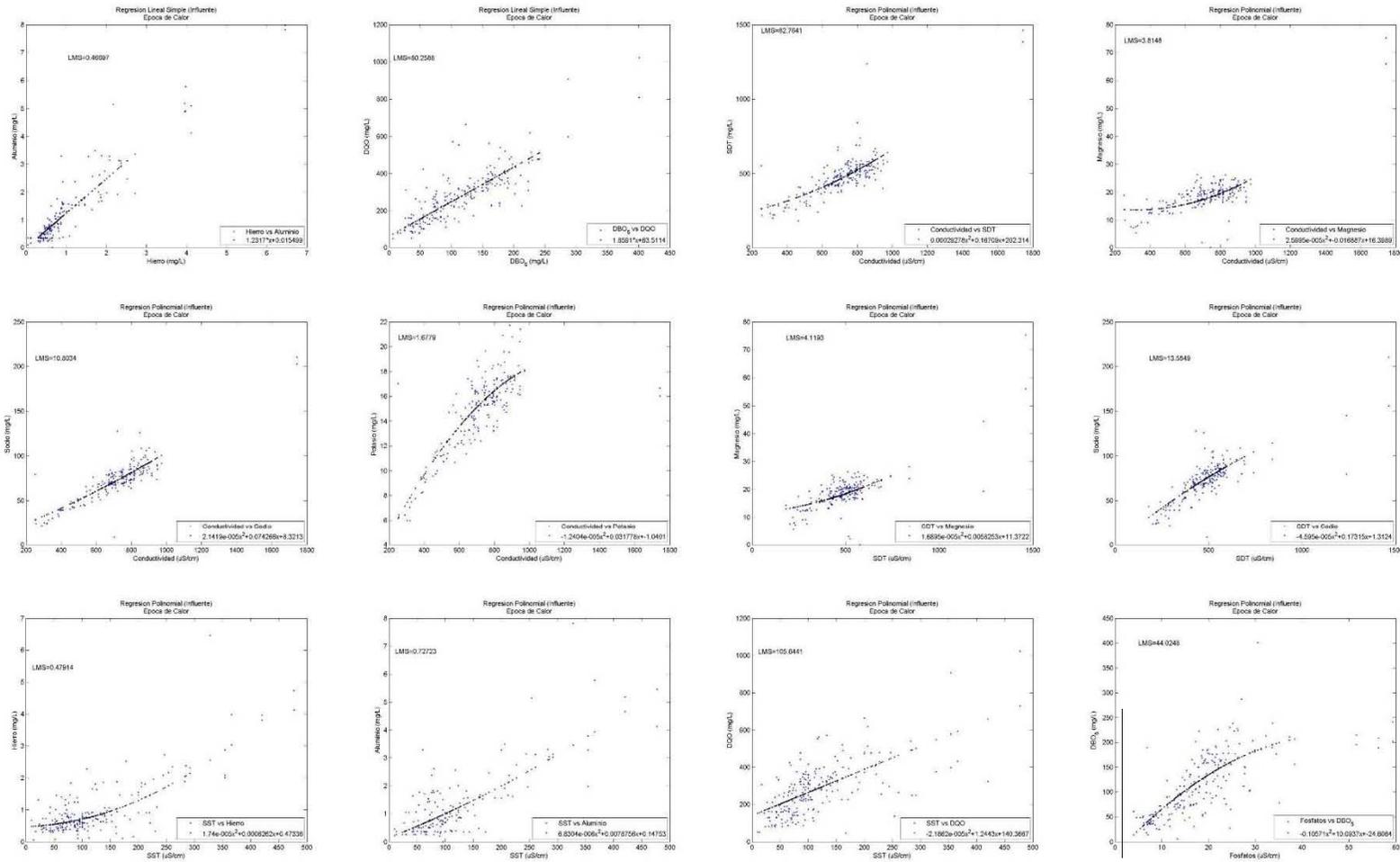
Correlación y Regresión PTAR, Influyente

Época de Calor



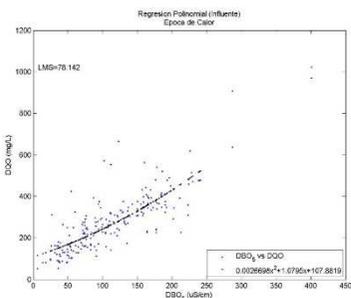
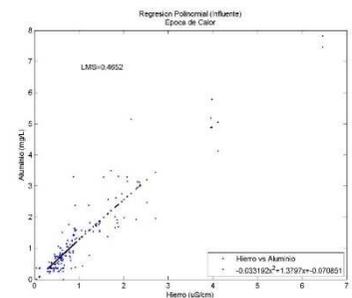
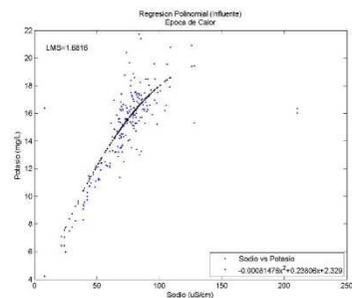
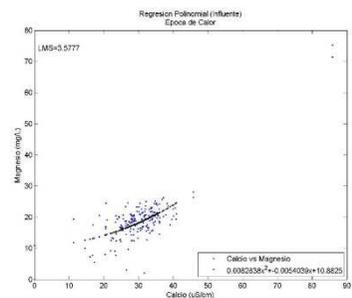
Anexo 7

Correlación y Regresión PTAR, Influyente



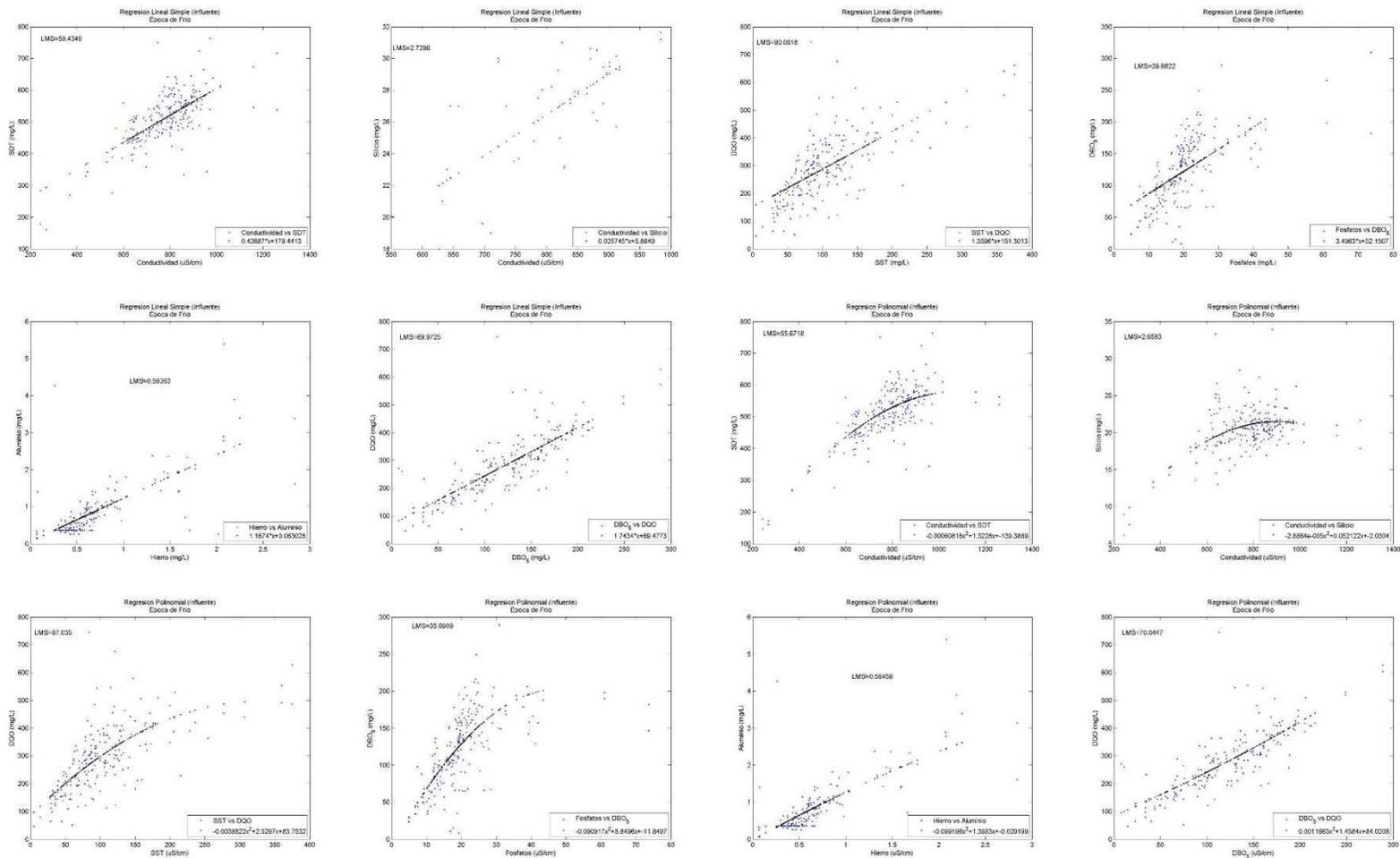
Anexo 7

Correlación y Regresión PTAR, Influyente



Anexo 7 Correlación y Regresión PTAR, Influyente

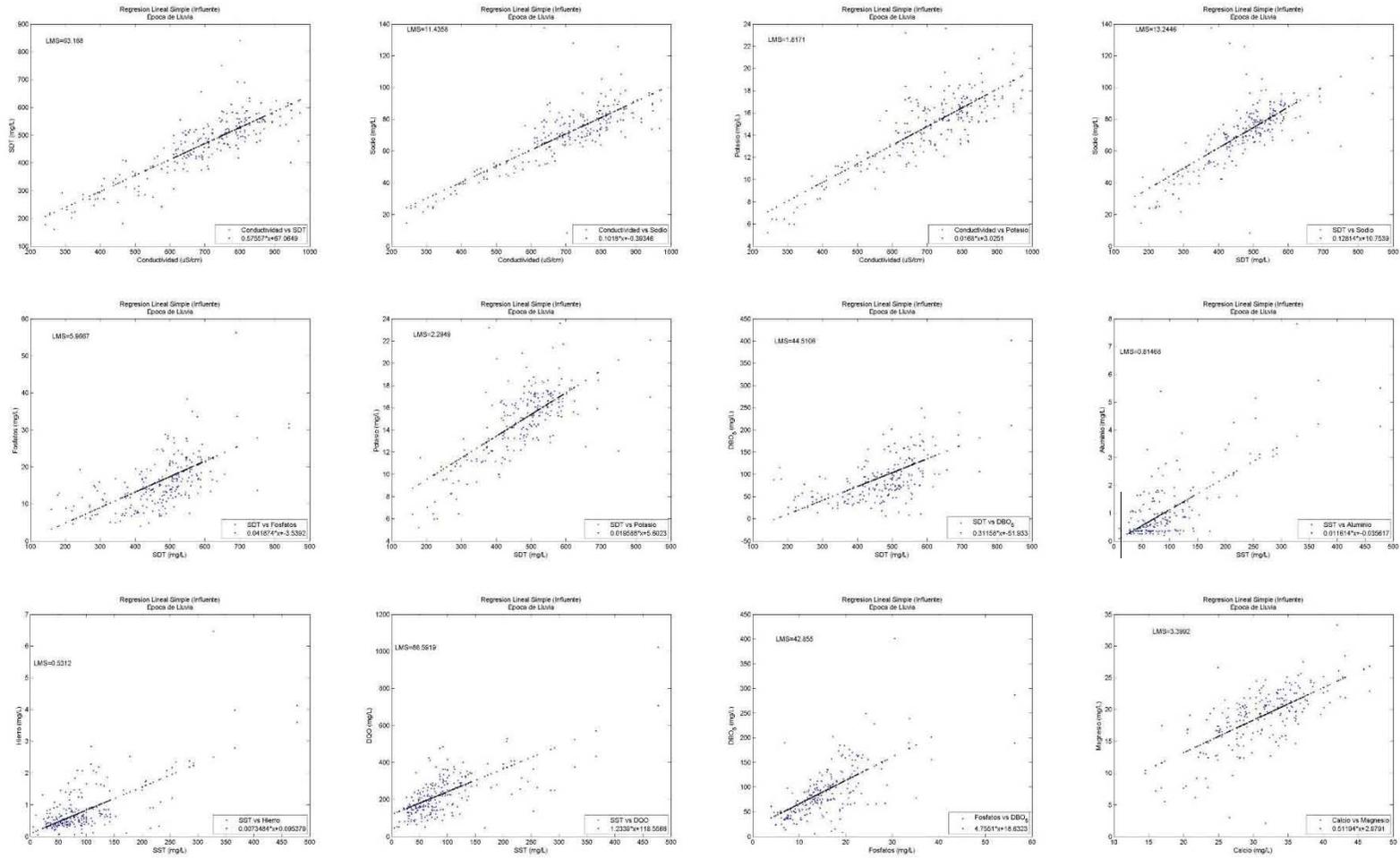
Época de Frío



Anexo 7

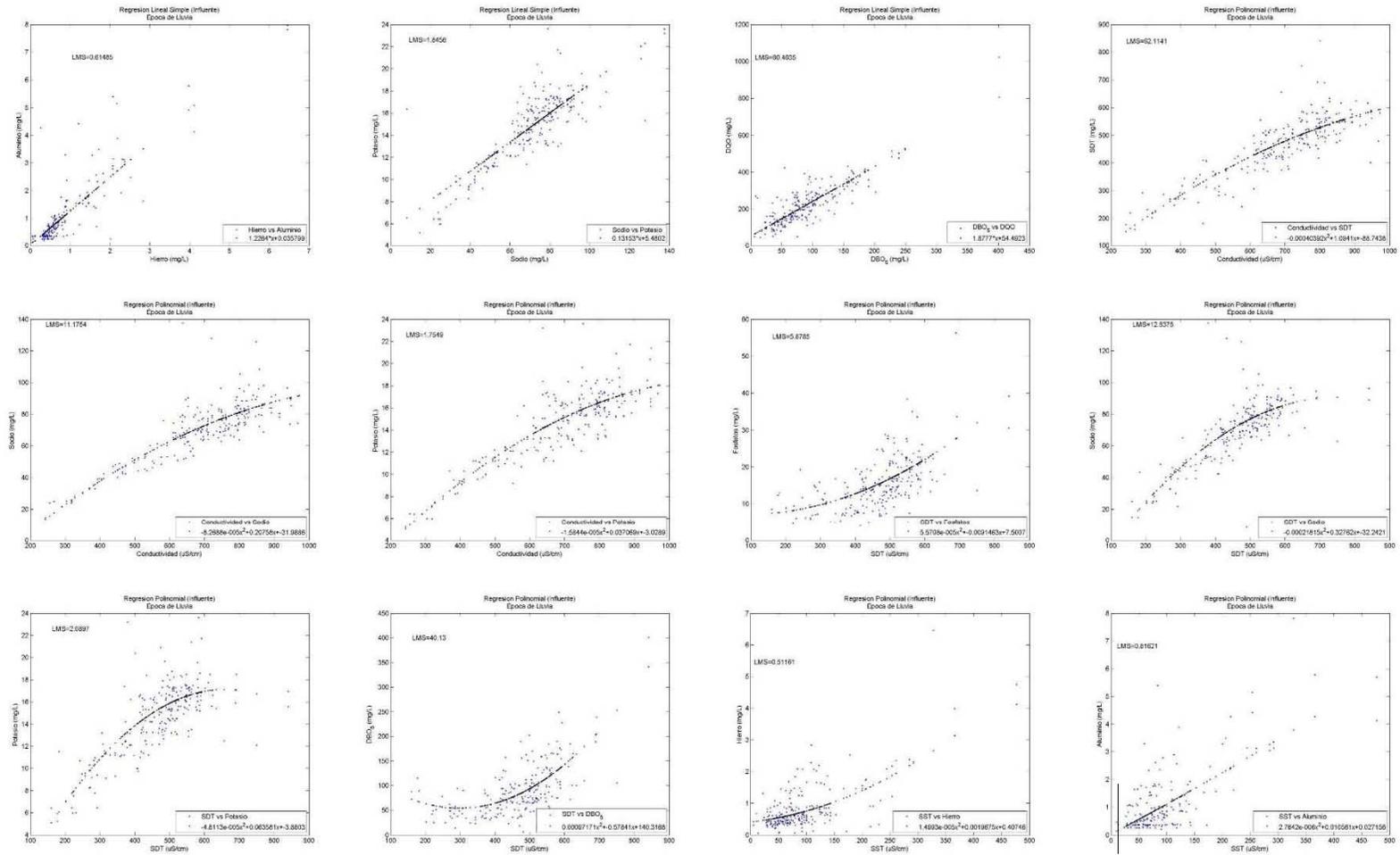
Correlación y Regresión PTAR, Influyente

Época de Lluvia



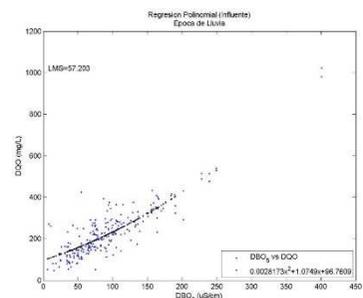
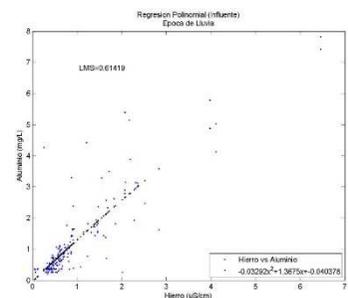
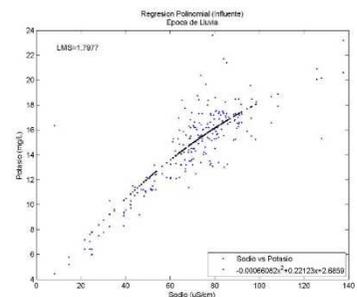
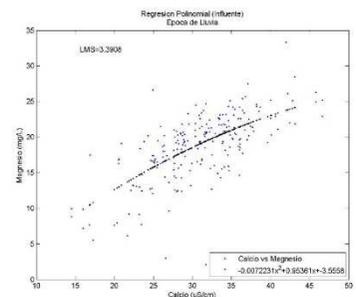
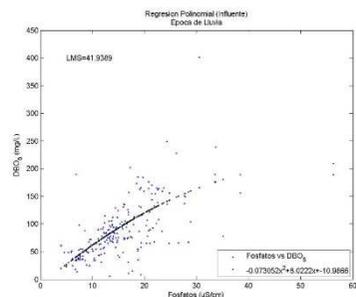
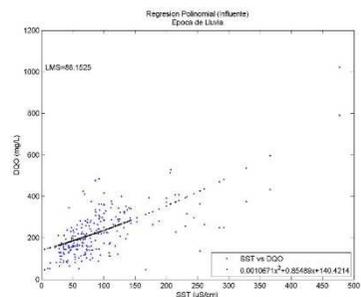
Anexo 7

Correlación y Regresión PTAR, Influyente



Anexo 7

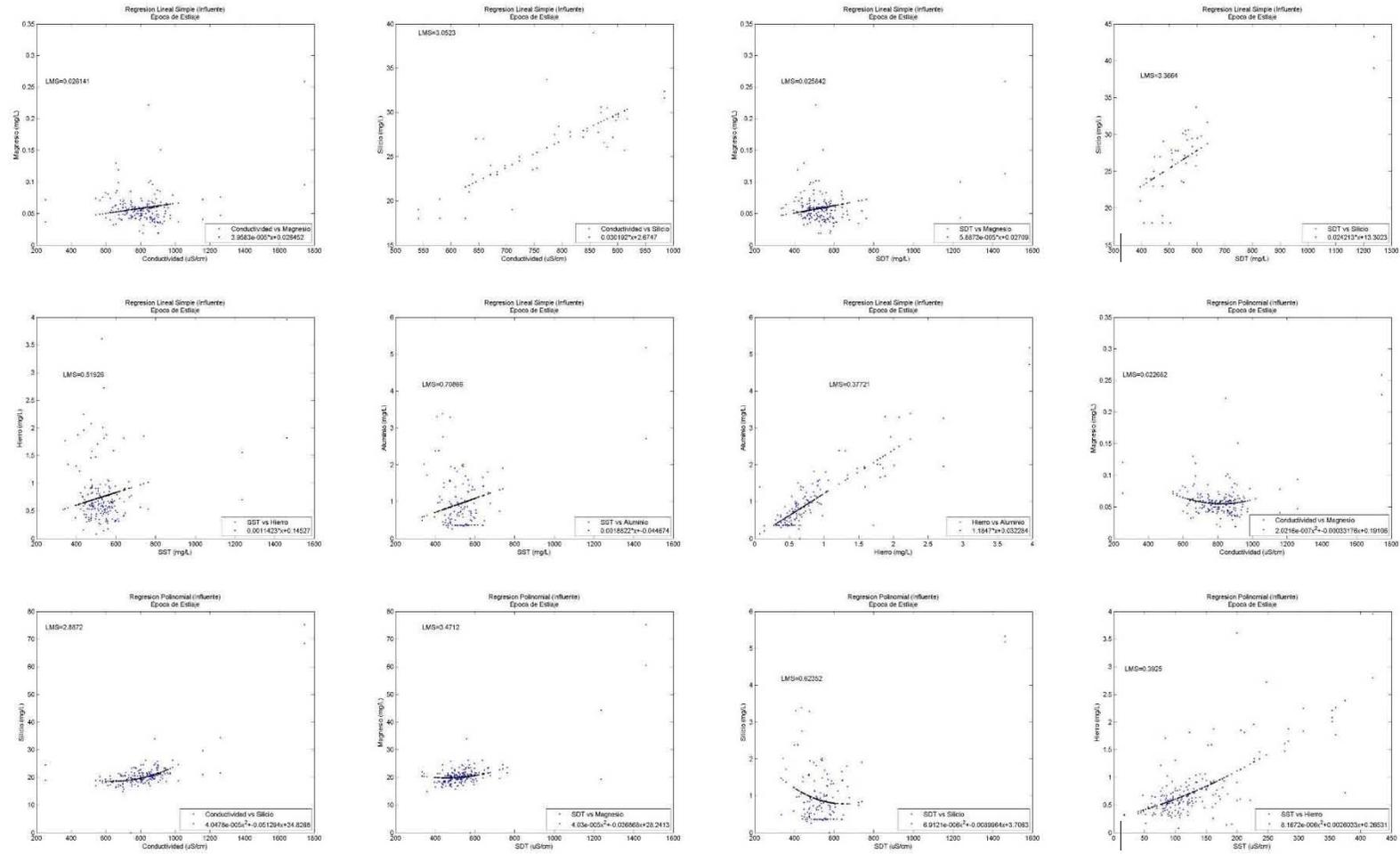
Correlación y Regresión PTAR, Influyente



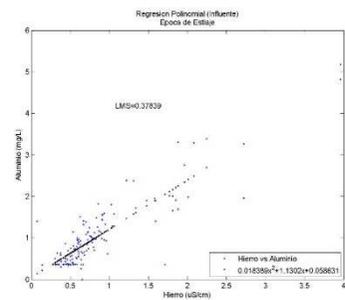
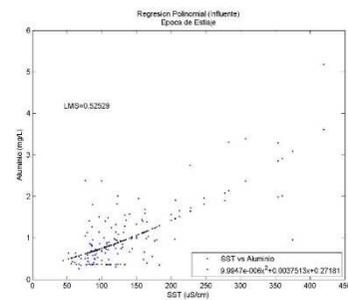
Anexo 7

Correlación y Regresión PTAR, Influyente

Época de Estiaje



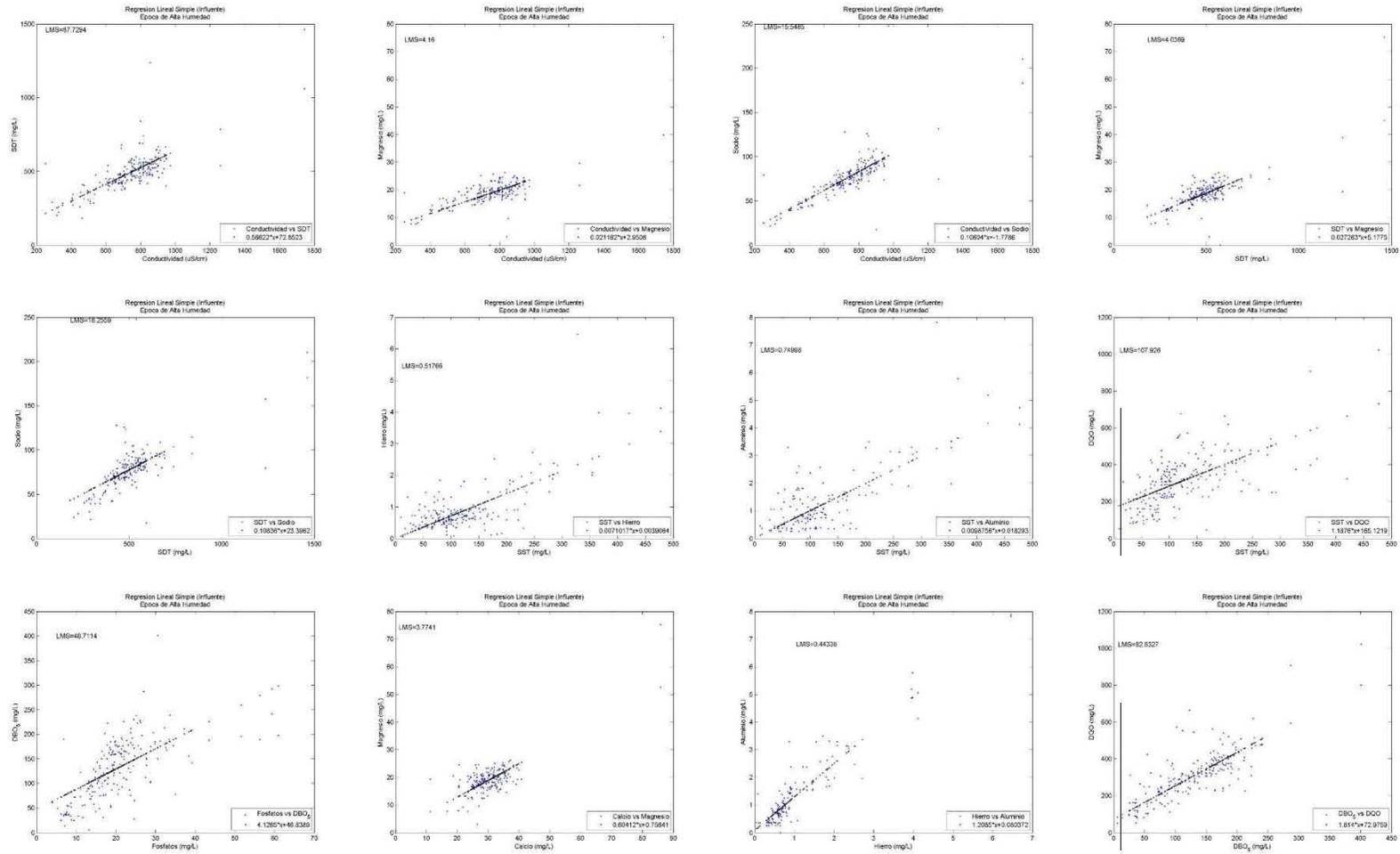
Anexo 7 Correlación y Regresión PTAR, Influyente



Anexo 7

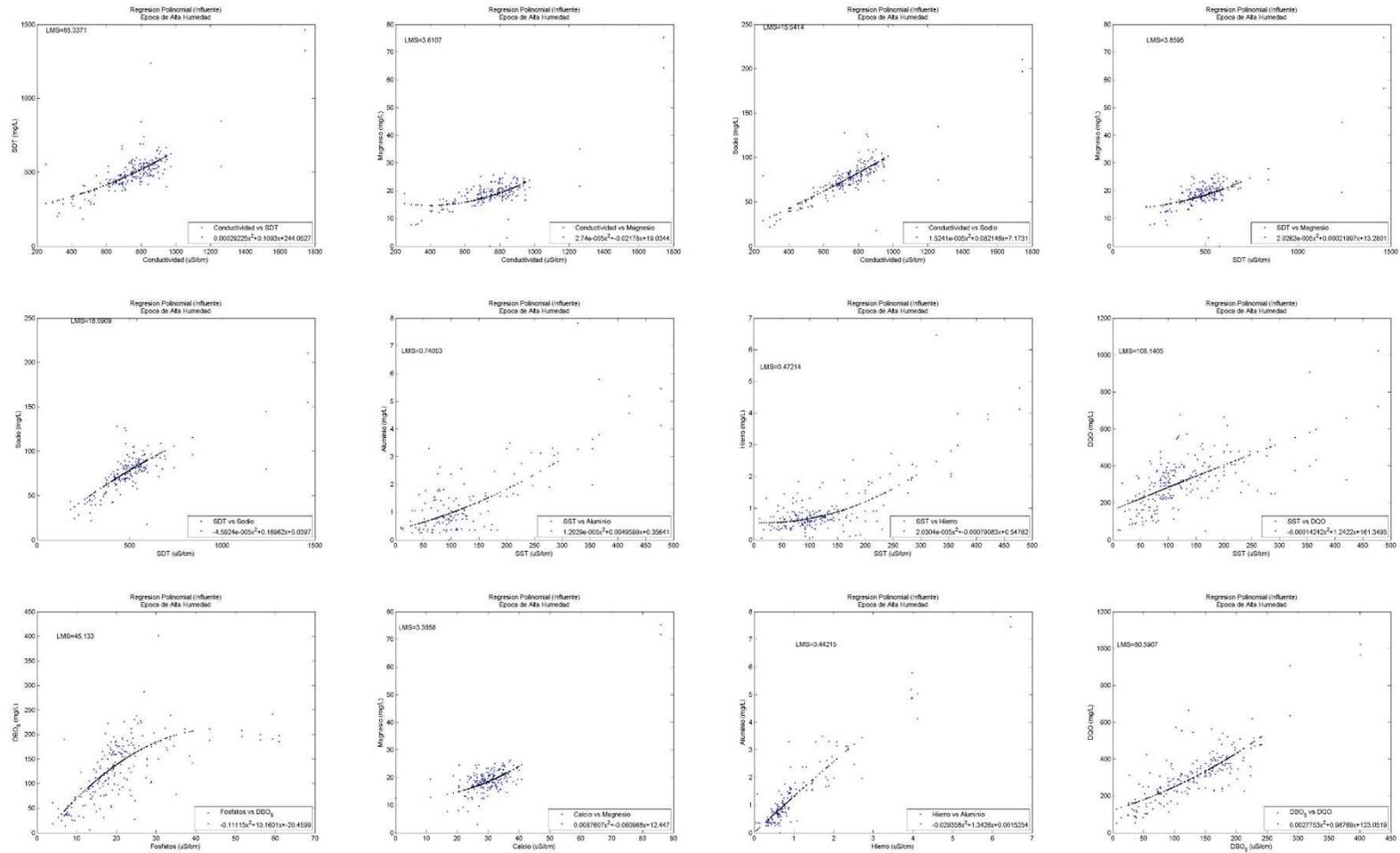
Correlación y Regresión PTAR, Influyente

Época de Alta Humedad



Anexo 7

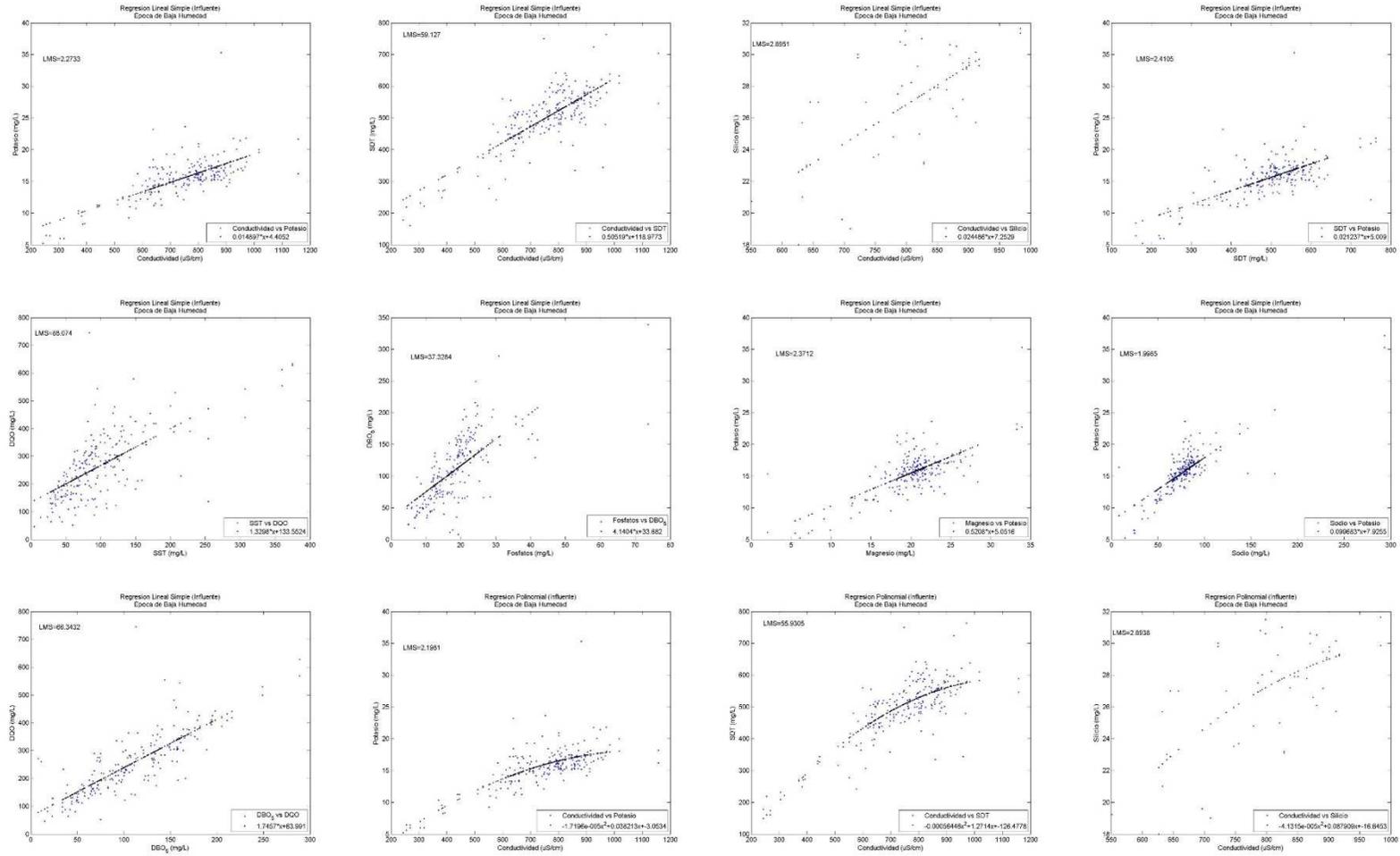
Correlación y Regresión PTAR, Influyente



Anexo 7

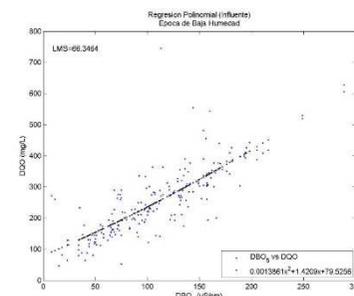
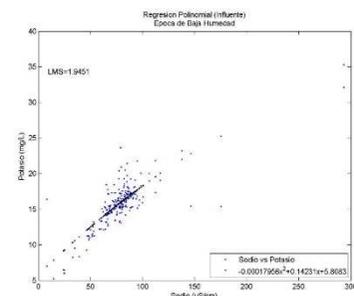
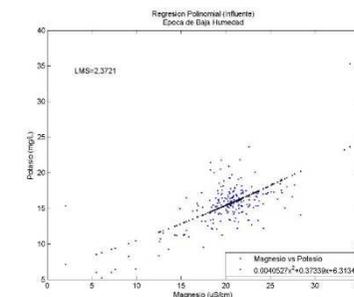
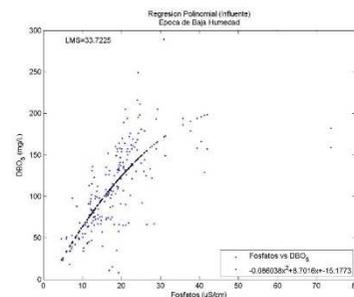
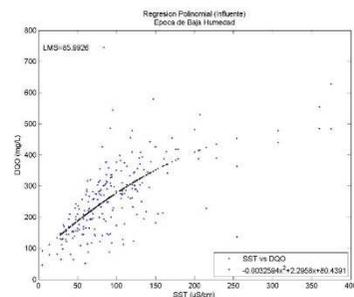
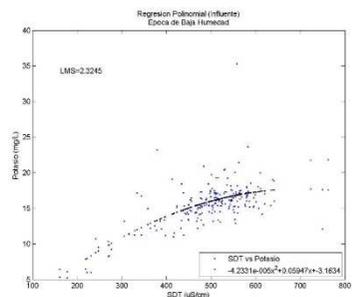
Correlación y Regresión PTAR, Influyente

Época de Baja Humedad



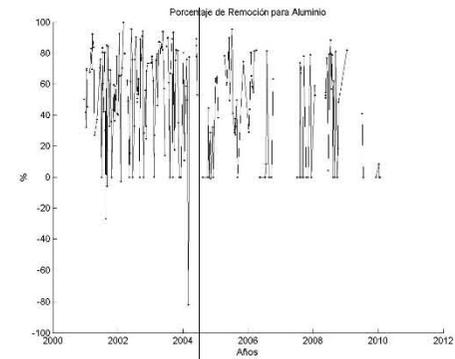
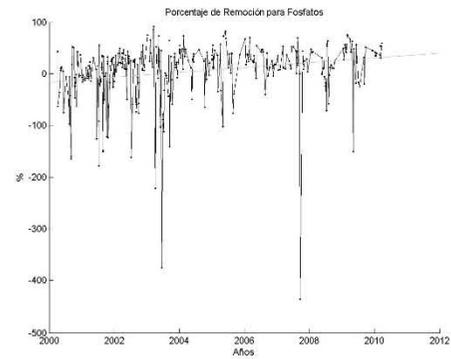
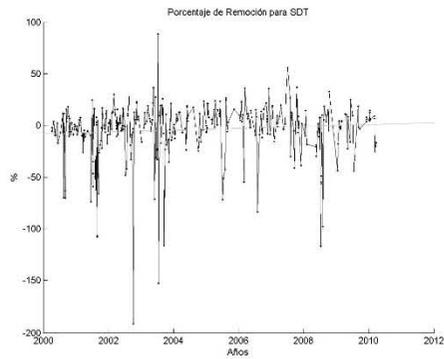
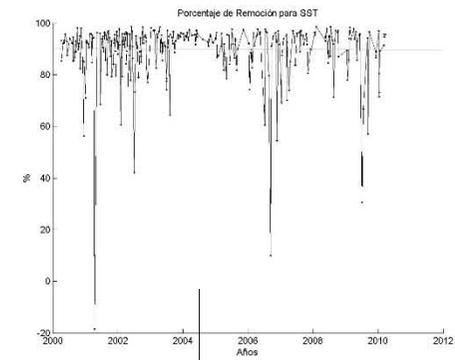
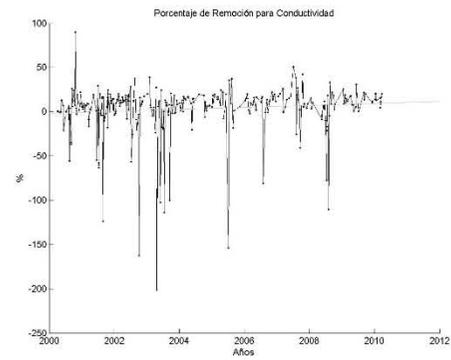
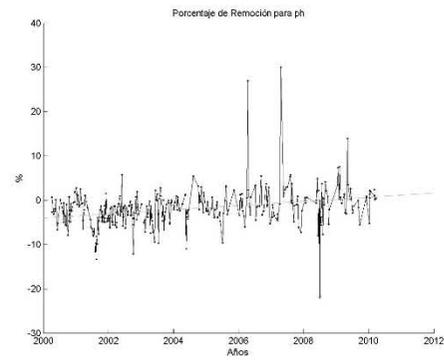
Anexo 7

Correlación y Regresión PTAR, Influyente



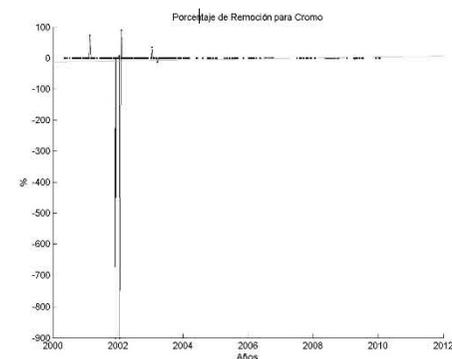
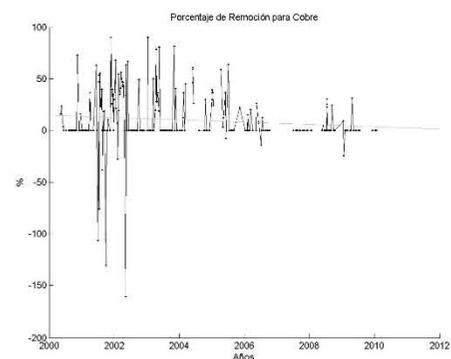
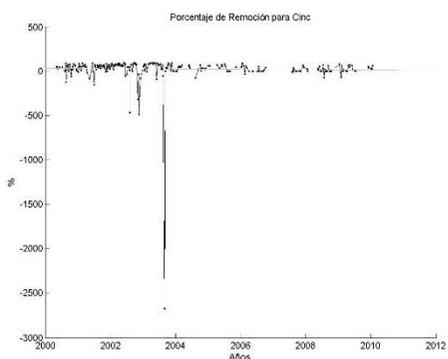
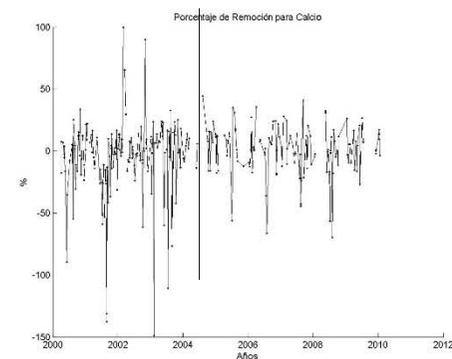
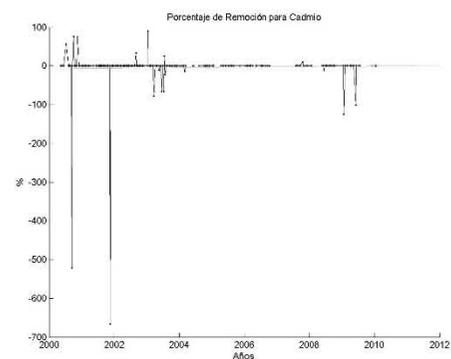
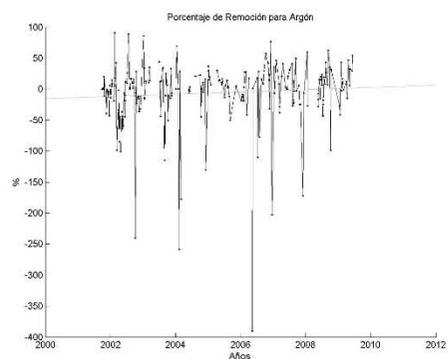
Anexo 8

Porcentaje de Remoción: Planta de Tratamiento de Agua Residual “Cerro de la Estrella”



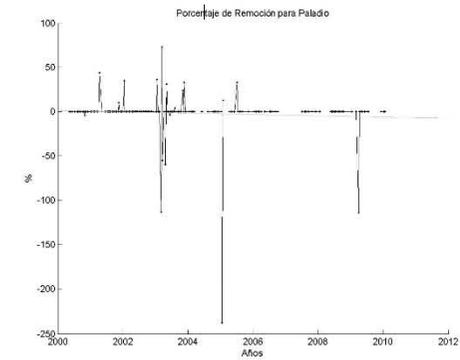
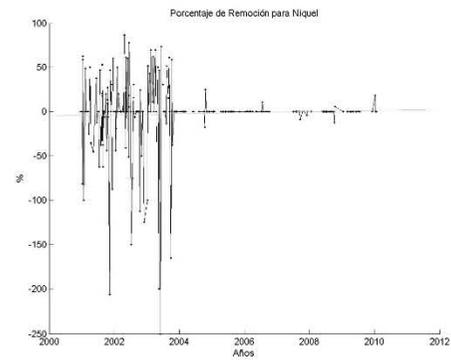
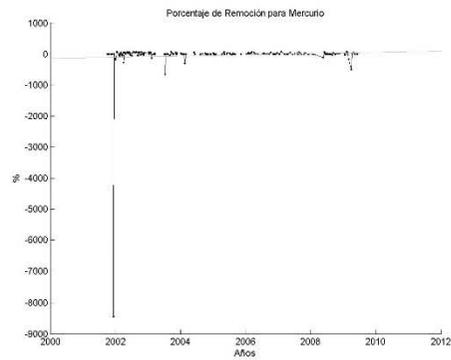
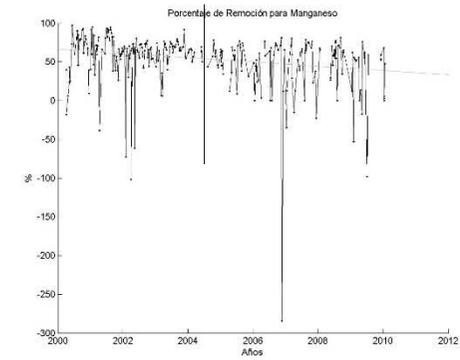
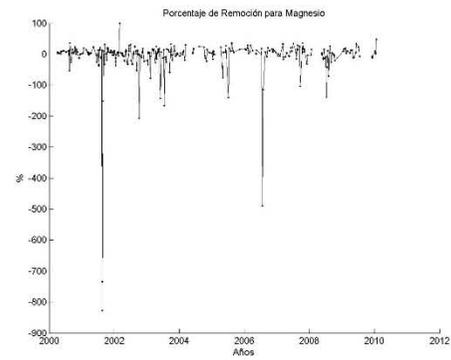
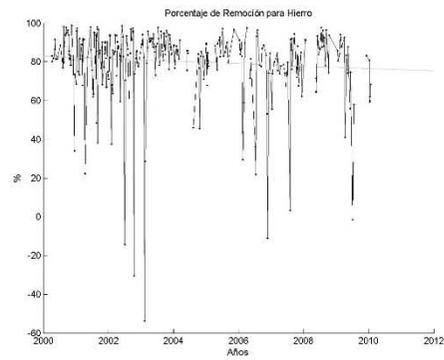
Anexo 8

Porcentaje de Remoción: Planta de Tratamiento de Agua Residual “Cerro de la Estrella”



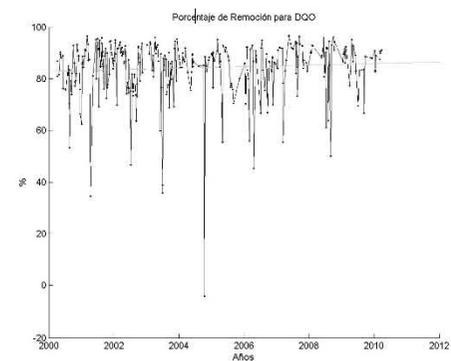
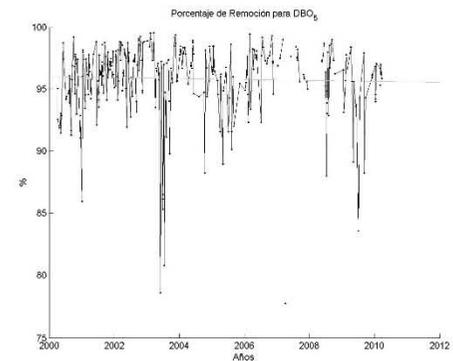
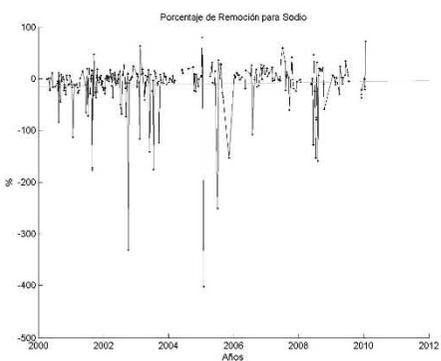
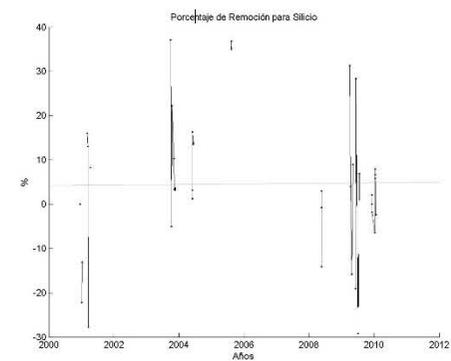
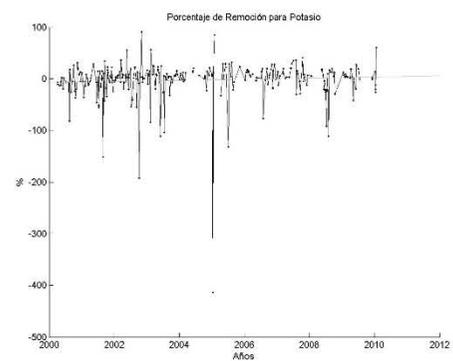
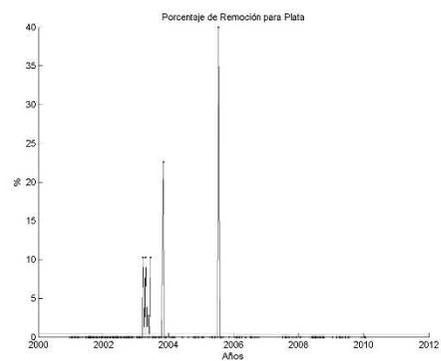
Anexo 8

Porcentaje de Remoción: Planta de Tratamiento de Agua Residual “Cerro de la Estrella”



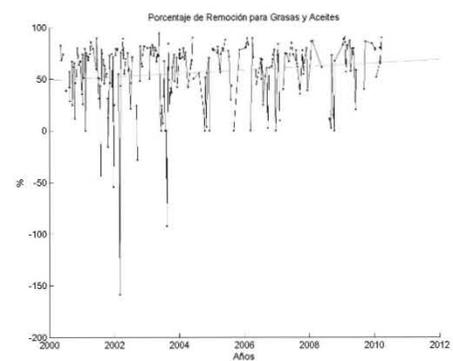
Anexo 8

Porcentaje de Remoción: Planta de Tratamiento de Agua Residual “Cerro de la Estrella”



Anexo 8

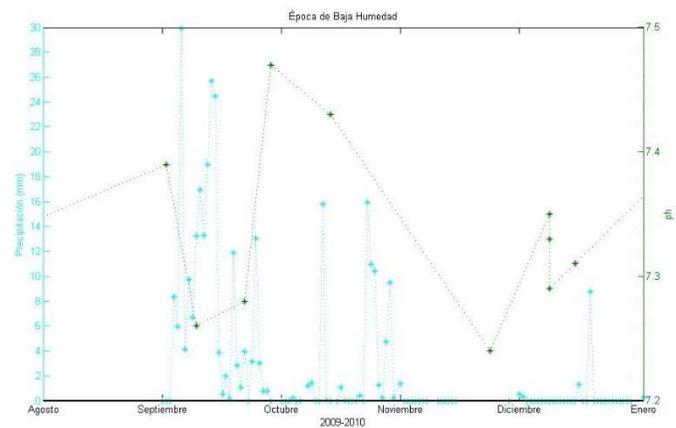
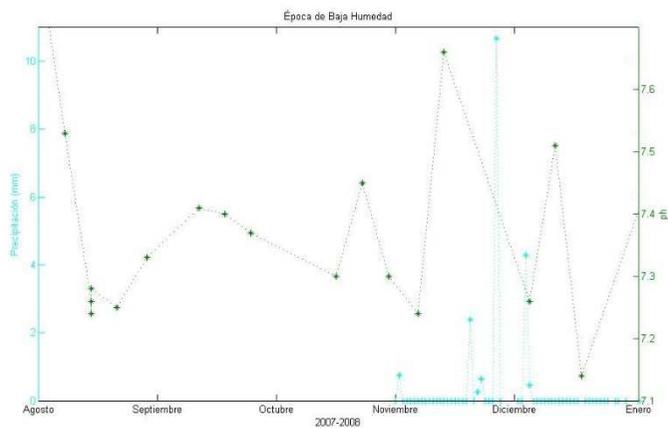
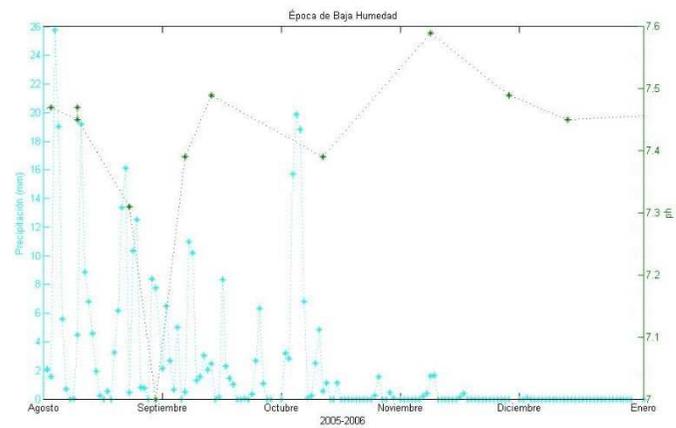
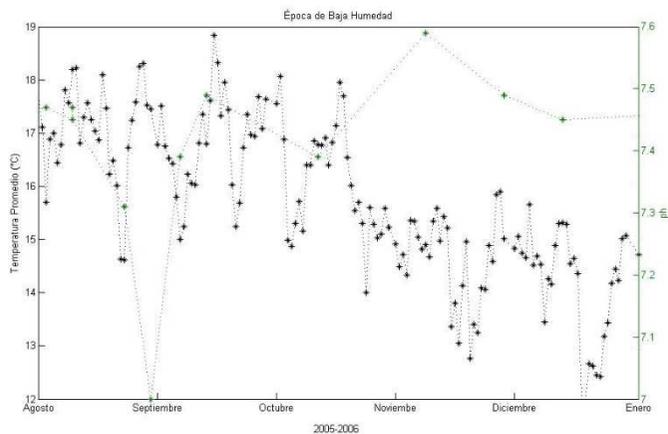
Porcentaje de Remoción: Planta de Tratamiento de Agua Residual “Cerro de la Estrella”



Anexo 9

Gráficas en Tiempo, Acercamiento de Influyente

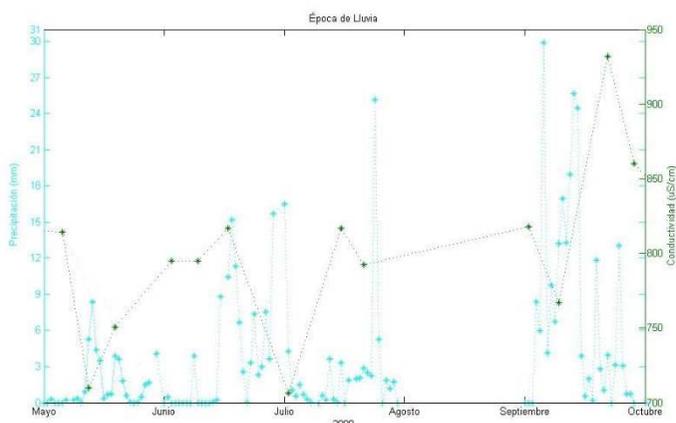
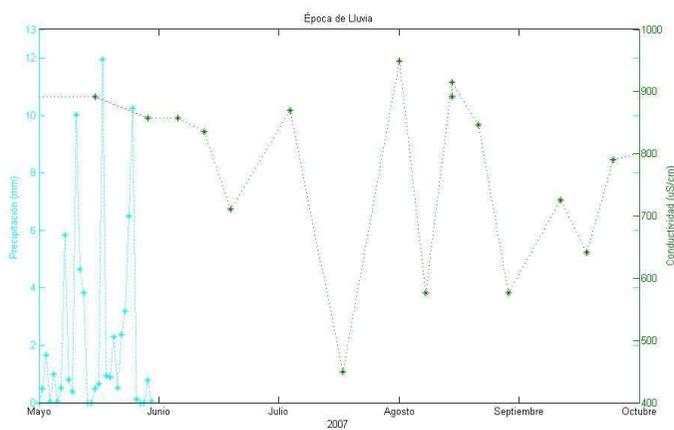
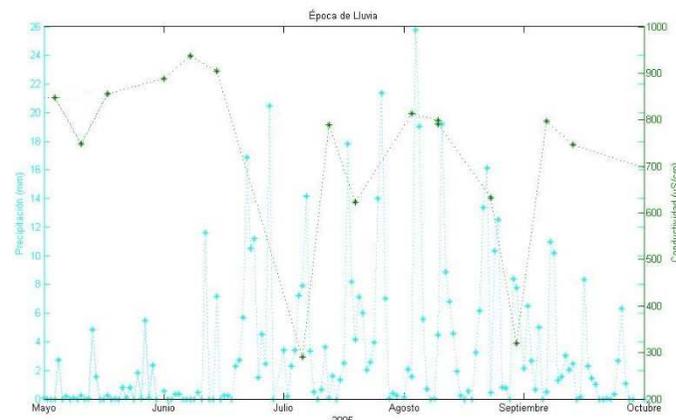
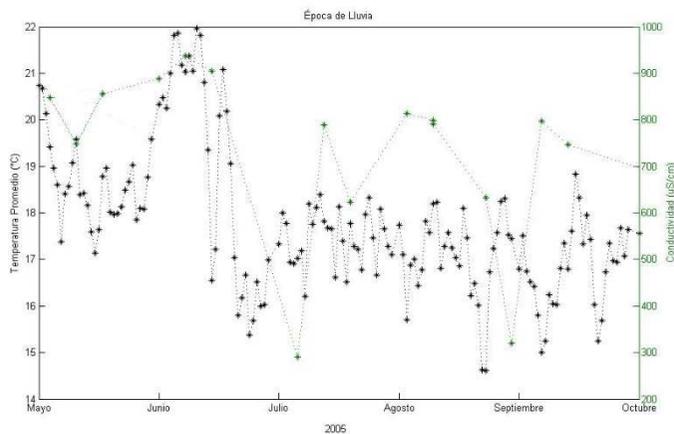
pH



Anexo 9

Gráficas en Tiempo, Acercamiento de Influyente

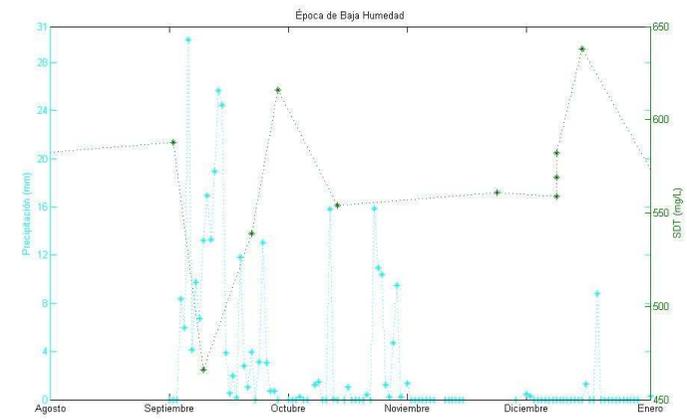
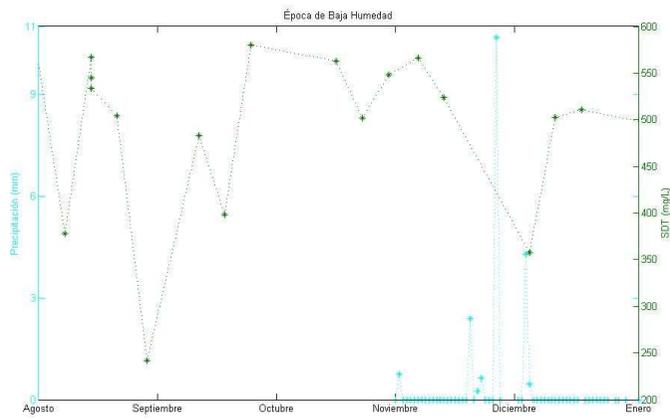
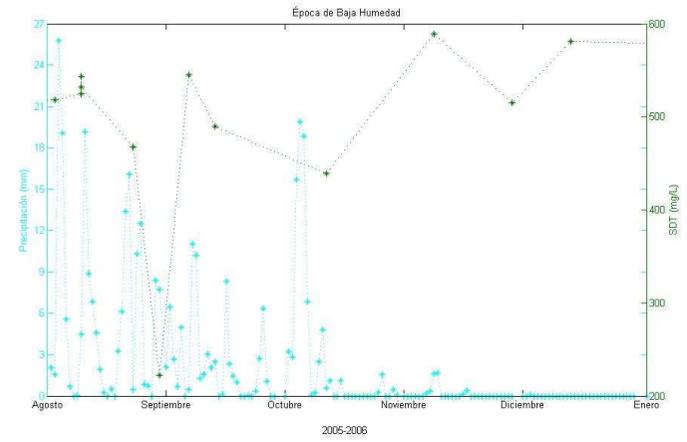
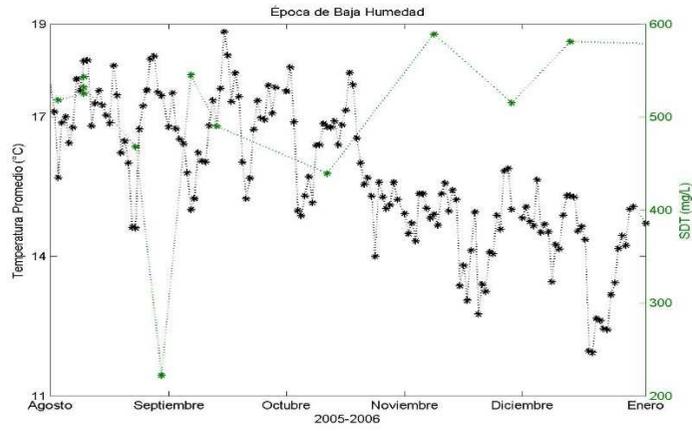
Conductividad



Anexo 9

Gráficas en Tiempo, Acercamiento de Influyente

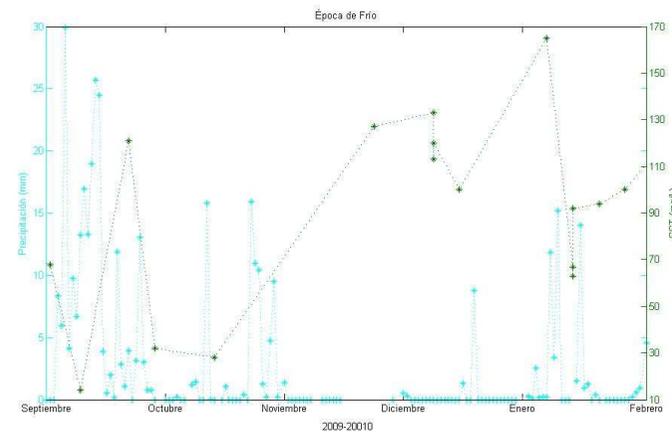
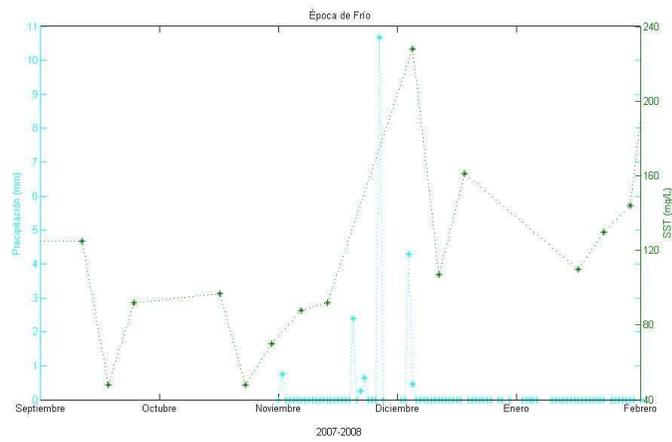
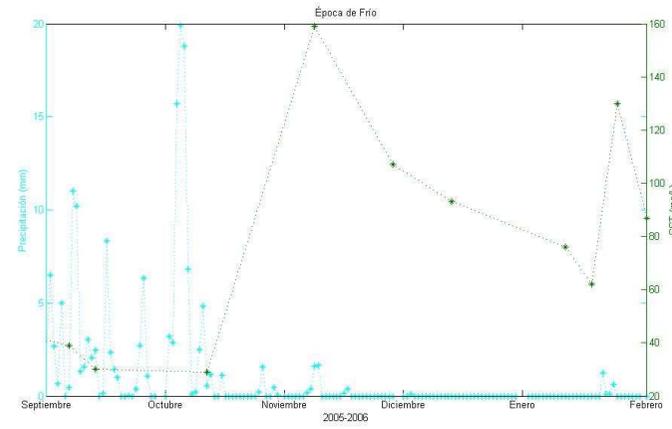
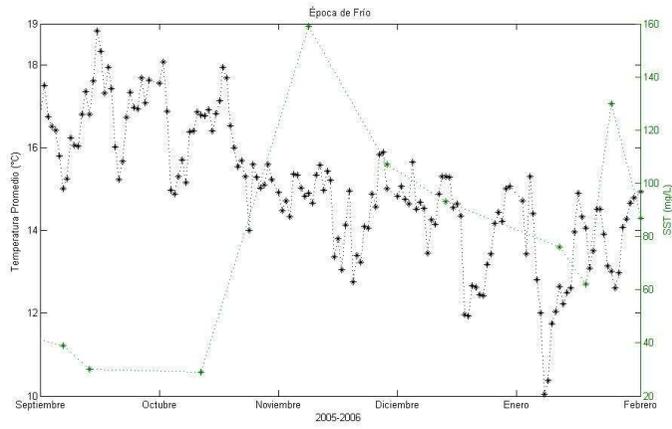
SDT



Anexo 9

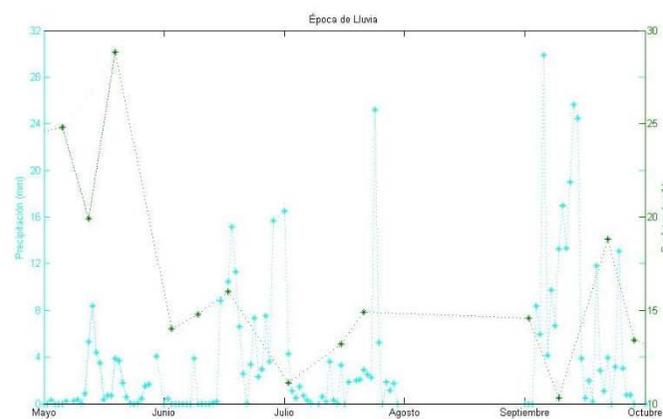
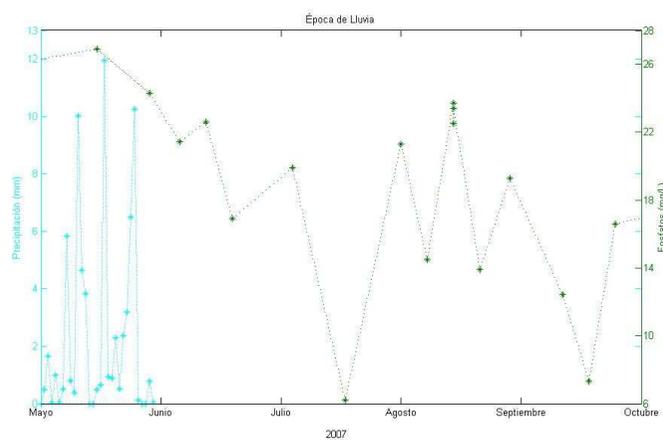
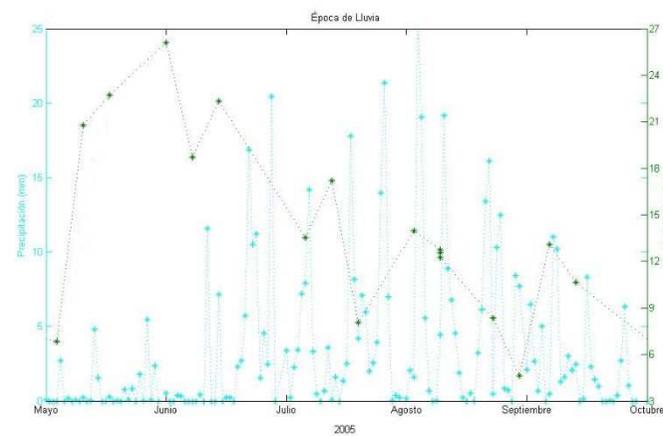
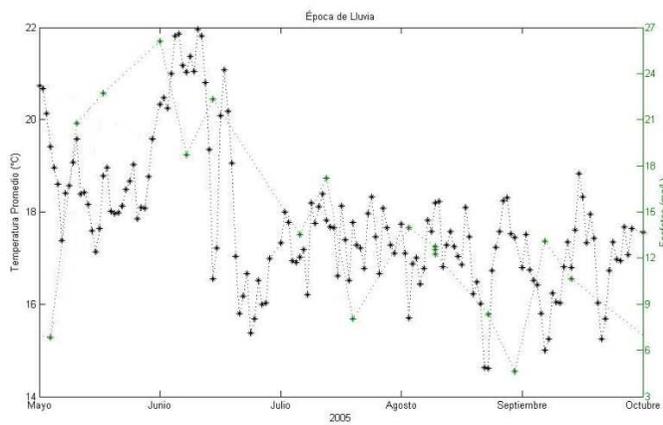
Gráficas en Tiempo, Acercamiento de Influyente

SST



Anexo 9 Gráficas en Tiempo, Acercamiento de Influyente

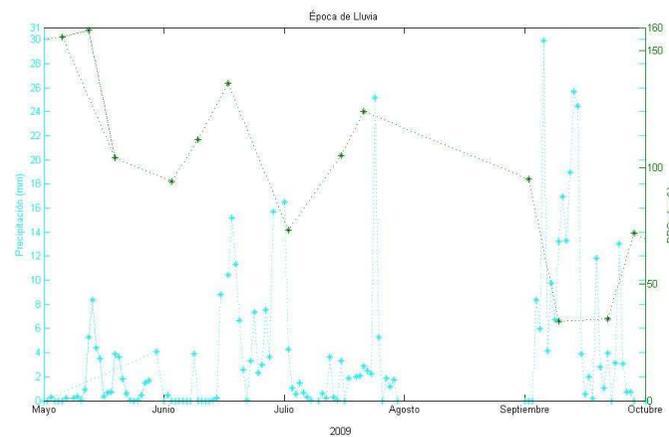
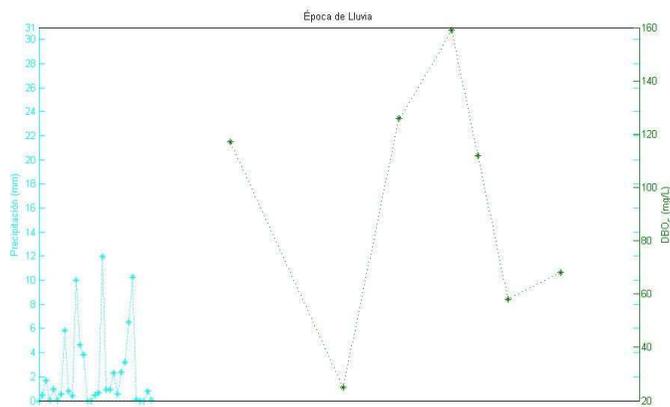
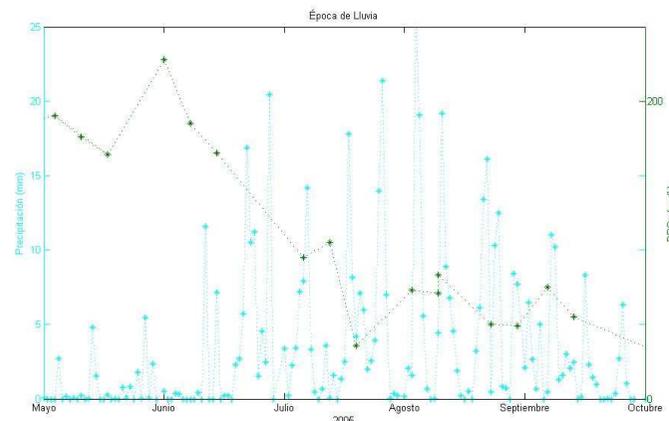
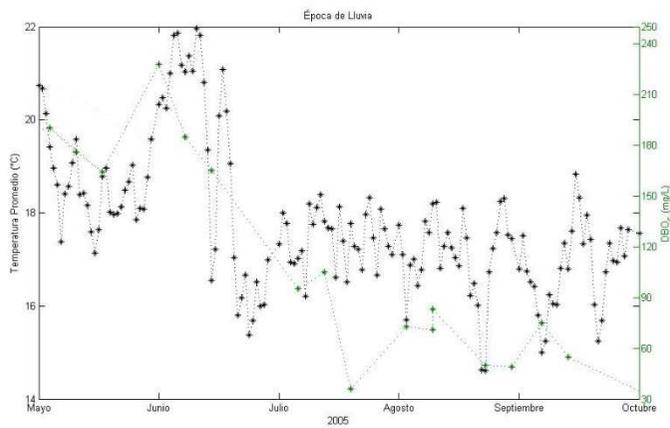
Fosfatos



Anexo 9

Gráficas en Tiempo, Acercamiento de Influyente

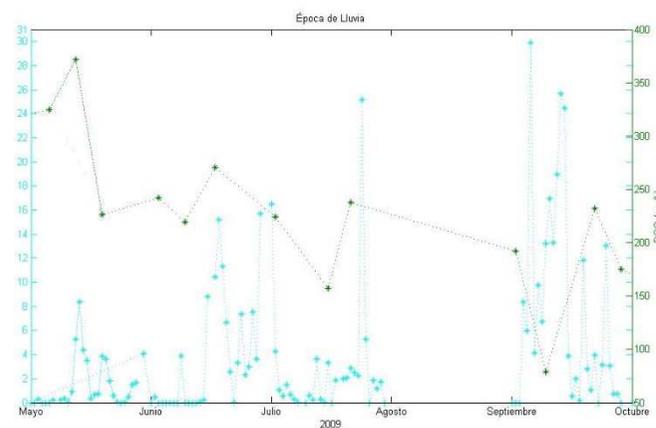
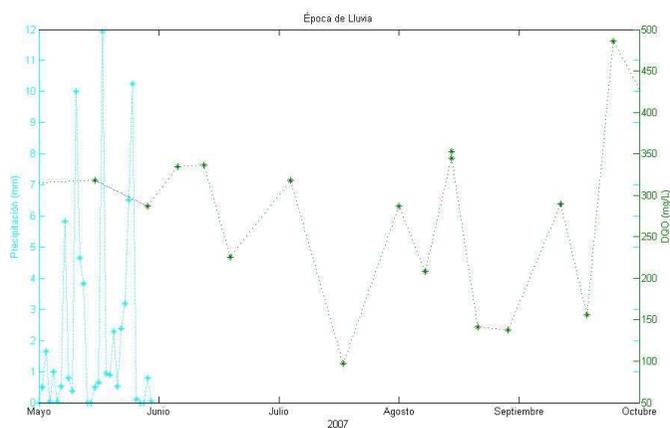
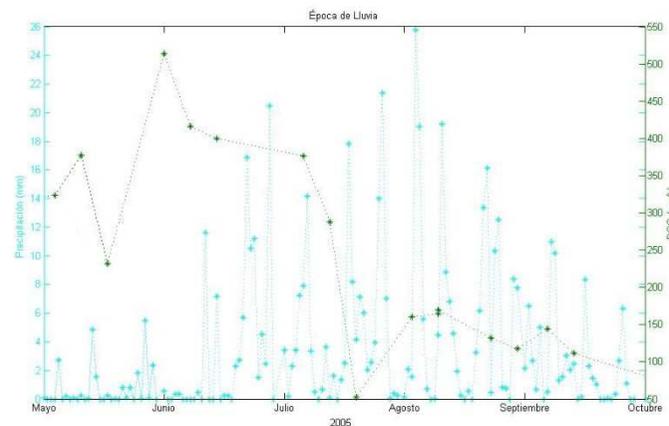
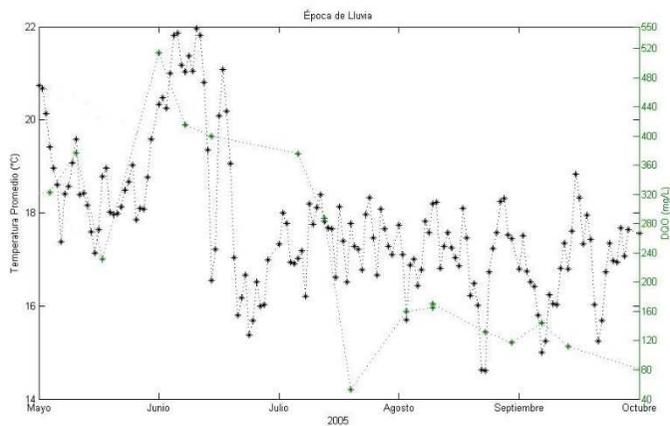
DBO₅



Anexo 9

Gráficas en Tiempo, Acercamiento de Influyente

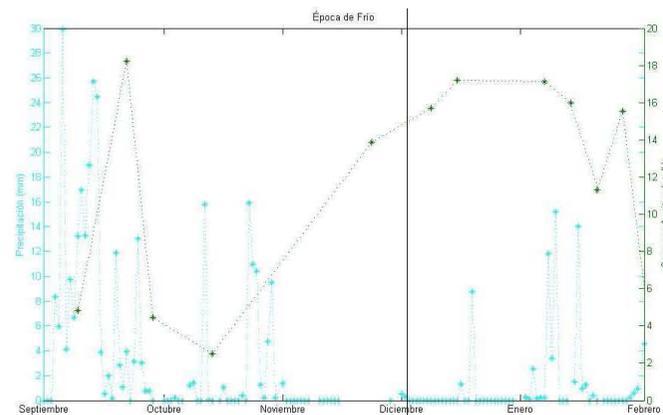
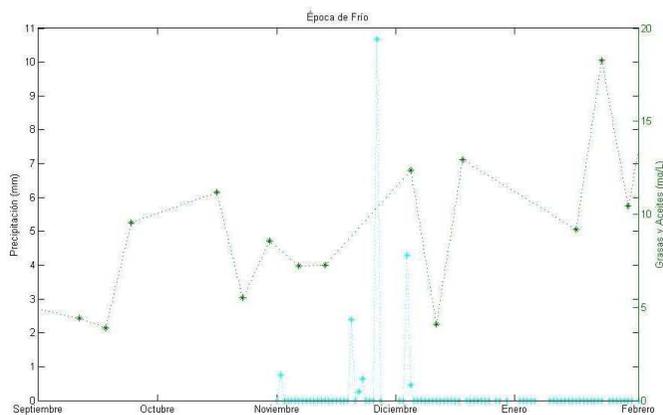
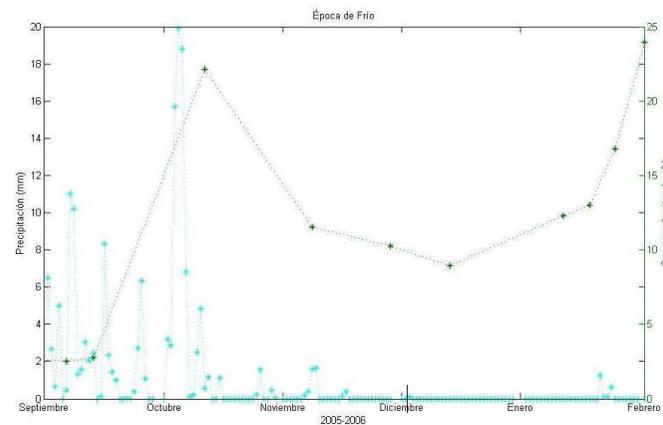
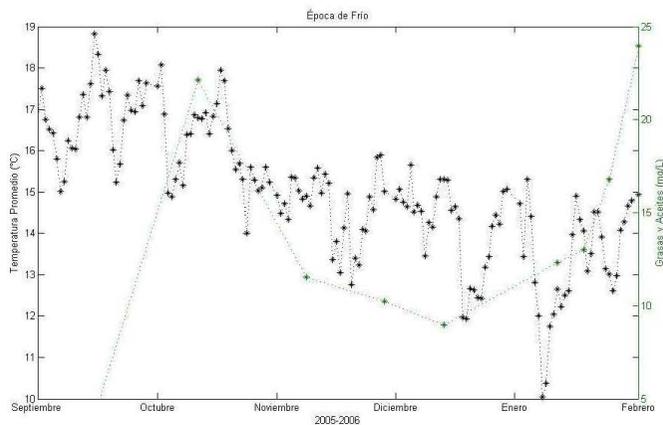
DQO



Anexo 9

Gráficas en Tiempo, Acercamiento de Influyente

Grasas y Aceites



Anexo 10

Hojas de Datos Sensores

Ficha técnica DS/AP300-ES Rev. F

Serie AP300

Sensores combinados de pH/Redox (ORP)

Serie AP300

Sensores combinados de pH/Redox (ORP)

Especificación

Generales

pH measuring range

Rango de medición de pH estándar (vidrio amarillo) pH de 0 a 14

Baja Temperatura (vidrio azul) pH de 0 a 10

Rango de medición Redox (ORP)

-2000 a 2000 mV

Rango de temperatura

Cuerpo de 0 a 105 °C

Bulbo de vidrio de 0 a 105 °C

Vidrio plano de 5 a 100 °C

Vidrio azul de -5 a 60 °C

Redox (ORP) de 0 a 105 °C

Presión máxima

6 bar a 25 °C

Compensador de temperatura (sensores de pH solamente)

Pt100 Integral o Balco 3 kW

Materiales mojados

Electrodo de pH	Vidrio
Electrodo de redox (ORP)	Platino
Unión	PTFE
Cuerpo AP301	PPS (Ryton)
Cuerpo AP302/3 y AP304/5	PVDF (Kynar)
Cámara de flujo	PVC
Protección para inmersión	PVC
Vástago y válvula AP304 y AP305	Acero inoxidable

Tipos de vidrio para pH

Bulbo	Aplicaciones generales
Plano	Autolimpieza, en línea
Azul	Baja temperatura

Sistema de referencia

Ag/AgCl-3,5M KCl en matriz forma de gel

Unión de referencia

PTFE poroso

Accesorios y piezas de repuesto

Adaptador de contratuerca con rosca, PPS (Ryton) (1 pulg. NPT) 4TB9515-0120

Protector de PVC ara inmersión 4TB5205-0120

Caja de conexiones (necesita prensacables) 4TB5023-0162

Prensacables 4TB9515-0244

Cámaras de flujo

1 * NPT (para adaptador) + 7670046

1 * NPT (para conexiones a proceso)

1 * NPT (para adaptador) + 7670043

1 * BSPT (para conexiones a proceso)

Adaptadores de tubería para cámaras de flujo

1 * BSPT. a 1/2 * BSPT de polipropileno 7601 420

1 * BSPT. a 1/2 * NPT de polipropileno 7601 430

Cables de extensión

Cables de extensión con terminales marcados (5 hilos 1015/16X para AX460 y AX466)

5 m 1015 160

10 m 1015 161

20 m 1015 162

30 m 1015 163

Muestras de referencia de pH (caja de 25)

4 pH 0 400/110

7 pH 0 400/120

0 pH 0 400/130

Anexo 10

Hojas de Datos Sensores

1.1.1 Conductivity Detector

The conductivity detector can be classified into the following two types in terms of application and cell constant.

SC210G-A conductivity detector for low range (cell constant: 0.05 cm⁻¹)

SC210G-B conductivity detector for medium range (cell constant: 5 cm⁻¹)

These conductivity detectors are structured (follow-through structure) to introduce a measuring solution to themselves through a connected sampling pipe (nominal diameter: 15A).

The SC210G-A and SC210G-B have a type which is connected directly to a process pipe (direct insertion type).

- (1) SC210G-A conductivity detector for low range (cell constant: 0.05 cm⁻¹)

This detector's electrode is a stainless steel (SUS316) 2-electrode coaxial type and is used to measure a solution whose conductivity is 0 to 200 μS/cm.

- (2) SC210G-B conductivity detector for medium range (cell constant: 5 cm⁻¹)

This detector's electrode is a 2-electrode type having three ringed platinum electrodes arranged at an equal distance in its glass tube bore (of the three platinum electrodes, two on the sides are short-circuited internally and serve as a pair with the middle electrode). It is used to measure a solution whose conductivity is 200 μS/cm to 20 mS/cm.

1.2.1 Standard Specifications

Applicable to SC202G, SC202SJ, FLXA21 transmitters and SC450G converters

Object of measurement : Conductivity of solutions

Measuring principle : Two-electrode system

Cell constant : 0.05 cm⁻¹, 5 cm⁻¹

Measuring range : 0 - 0.5 μS/cm to 0 - 200 μS/cm (Cell constant: 0.05 cm⁻¹)
0 - 200 μS/cm to 0 - 20 mS/cm (Cell constant: 5 cm⁻¹)

Temperature Range : 0 to 105 °C (chamber material: SCS14)
0 to 100 °C (chamber material: Polypropylene)

Pressure range : 0 to 1 MPa (chamber material: SCS14)
0 to 500 kPa (chamber material: Polypropylene)

Measured solution condition :

Although flow rate is not limited in measurement, less than 20 L/min is recommended for flow-through type. If slurry is included in measured solutions in flow-through type detectors, the electrode part and the inside of solution chamber may be worn significantly. Air bubbles should not be mixed in the measured solutions to obtain correct measured values.

Temperature sensor : Thermistor (PB38NTC)

Wet part Materials

SC210G-A : For sensor, SUS 316 stainless steel, Viton (O-ring) and Polytrifluorochloroethylene
For body, SUS316 stainless steel, polypropylene and Viton (O-ring)

SC210G-B : For sensor, Platinum, glass and Viton (O-ring)
For body, SUS316 stainless steel, polypropylene and Viton (O-ring)

Construction : JIS C0920 watertight (equal to NEMA 4)

Combination of detector and converters

Converter	Type of terminals		
	Pin	Ring M4	Ring M3
Converter: SC100		N.A.	
Transmitter: SC202G, SC202SJ	Yes	N.A.	Yes (Note 1)
Converter: SC402G (Note 3)	Yes	N.A.	N.A.
Converter: SC450G	(Note 2)	N.A.	Yes
Analyzer: FLXA21	Yes	Yes	N.A.

Note 1: Applicable when option code /TB (screw terminal) specified for SC202G/SC202SJ.

Note 2: Both pin and M3 ring can be used for SC450G, but M3 ring are recommended.

Note 3: SC402G has been terminated.

Anexo 10

Hojas de Datos Sensores

Technical Information

Turbimax CUS31

Turbidity sensor

Installation and immersion sensor for drinking water and industrial water according to the 90° scattered light method

Input

Measured variable	Turbidity
Measuring range	0.000 to 9999 FNU 0.00 to 3000 ppm 0.0 to 3.0 g/l 0.0 to 200 %

Performance characteristics

Maximum measured error	< 5 % (min. 0.02 FNU) of measured value (system measured error related to the primary formazine standard / tracing according to ISO 5725 and ISO 7027 / EN 27027)
Repeatability	< 1 % (min. 0.01 FNU) of measured value
Wavelength	880 nm
Factory calibration	traceable to formazine standard and SiO ₂

Environment

Storage temperature	-20 to 60°C (-4 to 140°F)
Ingress protection	IP 68 (similar to NEMA 6P)
Temperature sensor	NTC resistor 30K at 25°C (77°F)

Anexo 10

Hojas de Datos Sensores

Data sheet DS/AZT6P-EN Rev. D

Aztec 600 phosphate Phosphate analyzer

Specification

Measurement Range

Phosphate

Auto-ranging	0.05 to 50 ppm PO ₄
Undiluted range	0.05 to 10 ppm PO ₄
Diluted range	10 to 50 ppm PO ₄

Chemical Method

Phosphate

Phosphomolybdenum blue

Background color correction

Compensated at the measurement wavelength

Self-cleaning

Programmable automatic chemical rinsing – piston cleaned every measurement

Measurement Mode

Batch measurement

User-selectable 1 to 4 measurements per hour

Sample streams

Single or up to 3 streams – sequencing is programmable

Measurement Performance

Accuracy¹

<±5 % of reading² or ±0.005 ppm (whichever is the greater)

Repeatability

<Max. ±5 % of reading² or ±0.030 ppm (whichever is the greater)

Resolution

0.001 ppm or 1 ppb

Measurement units

mg/l, ppm, ppb, µg/l

Calibration

2-point, automatic calibration, with the option of manual initiation. The interval between automatic calibrations manually selectable from four times a day to once per week.

¹ Maximum measured error across full measurement range.

² Tested in accordance with IEC 61298 Parts 1-4 : Edition 2.0 2008-10.

³ Tested in accordance with BS ISO 15839 : 2003.

Environmental Data

Ambient Operating Temperature

5 to 45 °C (41 to 113 °F)

Ambient Operating Humidity

Up to 95 % RH non-condensing

Sample Temperature

1 °C to 40 °C (32 °F to 104 °F)

Sample Flow

Continuous, 200 to 500 ml/min

Sample Pressure

5 psi maximum

Sample Limitations

Samples containing particles 100 microns (0.004 in) in diameter or larger may require pre-filtration.

Maintenance

Routine service interval

12 months

Reagent consumption

0.75 ml of each reagent per measurement

Display

Color, TFT, liquid crystal display (LCD) with built-in backlight and brightness adjustment

Diagonal display area 145 mm (5.7 in)

76800 pixel display*

* A small percentage of the display pixels may be either constantly active or inactive. Max. percentage of inoperative pixels <0.01 %.

Dedicated operator keys

- Group Select/Left cursor
- View Select/Right cursor
- Menu key
- Up/Increment key
- Down/Decrement key
- Enter key

Anexo 10
Hojas de Datos Sensores
 Technical Information

Stamolys CA71CR

Chromium analyzer

Compact photometric analysis system for the chromium measurement in industrial applications

Input

Measured variable	Cr (VI) [mg/l]
Measuring ranges	0.10 to 2.50 mg/l (CR-A) 0.20 to 5.00 mg/l (CR-B)
Wavelength	565 nm
Reference wavelength	880 nm

Output

Output signal	0/4 to 20 mA
Signal on alarm	Contacts: 2 limit contacts (per channel), 1 system alarm contact optional: end of measurement (with two channel version display of channel no. available)
Load	max. 500 Ω
Data interface	RS 232 C
Data logger	1024 data pairs per channel with date, time and measured value 100 data pairs with date, time and measured value for calibration factor determination (diagnostic tool)
Load capacity	230 V / 115 V AC max. 2 A, 30 V DC max. 1 A

Performance characteristics

Time between two measurements	t_{mes} = reaction time + rinse time + waiting time + rinse again time + filling time + sampling time + reagent refusal time (min. waiting time = 0 min)
Maximum measured error	±2 % of measuring range end
Measuring interval	t_{mes} to 120 min
Reaction time	1 minute
Sample requirement	15 ml (0.004 US.gal.) per measurement
Reagent requirement	3 x 0.21 ml (0.000055 US.gal) 0.91 l (0.24 US.gal) per reagent per month with 10 minute measuring interval
Calibration interval	0 to 720 h
Rinse interval	0 to 720 h
Rinse time	selectable from 20 to 300 s (standard = 60 s)
Rinse again time	30 s
Filling time	22 s
Maintenance interval	6 months (typical)
Servicing requirement	15 minutes per week (typical)

Anexo 10

Hojas de Datos Sensores

Environment

Ambient temperature	5 to 40 °C (41 to 104 °F), avoid strong fluctuations
Humidity	below the condensation limit, installation in usual, clean rooms outdoor installation only possible with protective devices (customer supplied)
Ingress protection	IP 43

Process

Sample temperature	5 to 40 °C (41 to 104 °F)
Sample flow rate	Min. 5 ml (0.0013 US.gal.) per min
Consistence of the sample	Low solid content (< 50 ppm)
Sample inlet	Pressureless

Anexo 10
Hojas de Datos Sensores
 Technical Information

Stamolys CA71CU

Copper analyzer
 Compact photometric analysis system for copper measurement in industrial applications

Input

Measured variable	Cu (II) [mg/l]
Measuring ranges	0.10 to 2.00 mg/l (CU-A) 0.20 to 5.00 mg/l (CU-B)
Wavelength	565 nm
Reference wavelength	880 nm

Output

Output signal	0/4 to 20 mA
Signal on alarm	Contacts: 2 limit contacts (per channel), 1 system alarm contact optional: end of measurement (with two channel version display of channel no. available)
Load	max. 500 Ω
Data interface	RS 232 C
Data logger	1024 data pairs per channel with date, time and measured value 100 data pairs with date, time and measured value for calibration factor determination (diagnostic tool)
Load capacity	230 V / 115 V AC max. 2 A, 30 V DC max. 1 A

Performance characteristics

Time between two measurements	t_{mes} = reaction time + rinse time + waiting time + rinse again time + filling time + sampling time + reagent refusal time (min. waiting time = 0 min)
Maximum measured error	±2 % of measuring range end
Measuring interval	t_{mes} to 120 min
Reaction time	2 minutes
Sample requirement	15 ml (0.004 US.gal.) per measurement
Reagent requirement	2 x 0.21 ml (0.000055 US.gal) 0.91 l (0.24 US.gal) per reagent per month with 10 minute measuring interval
Calibration interval	0 to 720 h
Rinse interval	0 to 720 h
Rinse time	selectable from 20 to 300 s (standard = 60 s)
Rinse again time	30 s
Filling time	22 s
Maintenance interval	6 months (typical)
Servicing requirement	15 minutes per week (typical)

Anexo 10

Hojas de Datos Sensores

Environment

Ambient temperature	5 to 40 °C (41 to 104 °F), avoid strong fluctuations
Humidity	Below the condensation limit, installation in usual, clean rooms Outdoor installation only possible with protective devices (customer supplied)
Ingress protection	IP 43

Process

Sample temperature	5 to 40 °C (41 to 104 °F)
Sample flow rate	Min. 5 ml (0.0013 US.gal.) per min
Consistence of the sample	Low solid content (< 50 ppm)
Sample inlet	Pressureless

Anexo 10

Hojas de Datos Sensores



LANGE 
UNITED FOR WATER QUALITY

Medida en continuo de la carga orgánica: UVAS plus sc

Especificaciones técnicas

Camino óptico	2 mm
Compensación	550 nm
Dimensiones (A x L)	70 mm x 333 mm
Intervalo de medición	1 min
Intervalo de servicio	6 meses
Longitud	333 mm
Longitud de cable	10 m cable integrado al sensor
Método de medición	Medida de absorción UV (técnica de 2 haces patentada) SAC 254 conforme a DIN 38404 C3
Peso	3.6 kg
Rango de Temperatura de operación	2 - 40 °C
Rango de medición	0 - 1500 1/m SAC 254 calibrable según parámetros "suma" tales como DQO, DBO o TOC, dependiendo de la aplicación
Rango de presión	0.5 bar
Requisito de mantenimiento	1 h/mes en aplicaciones standard

Información sujeta a cambio sin previo aviso.