



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y  
Recursos Hidráulicos (ERIS)

**DETERMINACIÓN DE LOS ÍNDICES DE CALIDAD DEL AGUA (ICA-NSF E ISCA) PARA  
CONSUMO HUMANO DE LOS RÍOS TEOCINTE Y ACATÁN, QUE ABASTECEN LA PLANTA  
DE TRATAMIENTO DE AGUA SANTA LUISA ZONA 16, GUATEMALA**

**Ing. Pablo César Anibal Saravia Solares**  
Asesorado por el MSc.Ing. Zenón Much Santos

Guatemala, julio de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DETERMINACIÓN DE LOS ÍNDICES DE CALIDAD DEL AGUA (ICA-NSF E ISCA) PARA  
CONSUMO HUMANO DE LOS RÍOS TEOCINTE Y ACATÁN, QUE ABASTECEN LA PLANTA  
DE TRATAMIENTO DE AGUA SANTA LUISA ZONA 16, GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y  
RECURSOS HIDRÁULICOS (ERIS)

POR

**ING. PABLO CESAR ANIBAL SARAVIA SOLARES**  
ASESORADO POR EL MSc. ING. ZENÓN MUCH SANTOS

COMO REQUISITO PREVIO PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS (*MAGISTER SCIENTIFICAE*) EN RECURSOS  
HIDRÁULICOS OPCIÓN GESTIÓN INTEGRADA DE RECURSOS HIDRICOS**

GUATEMALA, JULIO DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

|            |  |
|------------|--|
| DECANO     | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco     |
| VOCAL I    | Ing. Angel Roberto Sic García          |
| VOCAL II   | Ing. Pablo Christian de León Rodríguez |
| VOCAL III  | Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa    |
| VOCAL IV   | Br. Raúl Eduardo Ticún Córdoba         |
| VOCAL V    | Br. Henry Fernando Duarte García       |
| SECRETARIA | Inga. Lesbia Magalí Herrera López      |

**DIRECTOR DE LA ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y  
RECURSOS HIDRÁULICOS**

MSc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

|            |  |
|------------|--|
| EXAMINADOR | MSc. Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos |
| EXAMINADOR | MSc. Ing. Jorám Matías Gil Larroj          |
| EXAMINADOR | MSc. Ing. Zenón Much Santos                |

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DETERMINACIÓN DE LOS ÍNDICES DE CALIDAD DEL AGUA (ICA-NSF E ISCA) PARA CONSUMO HUMANO DE LOS RÍOS TEOCINTE Y ACATÁN, QUE ABASTECEN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA SANTA LUISA ZONA 16, GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS), con fecha 23 de julio 2015.

**Pablo Cesar Anibal Saravia Solares**

**[pc.saravia@gmail.com](mailto:pc.saravia@gmail.com)**

**100020910**



UNIVERSIDAD DE  
SAN CARLOS  
DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERIA



FACULTAD DE INGENIERIA  
Escuela Regional de Ingeniería  
Sanitaria y Recursos Hídricos

Edificio de ERIS,  
Instalaciones de Prefabricados, CII  
Ciudad universitaria Zona 12  
Ciudad de Guatemala 01012  
Guatemala, C.A.

Tel. (502) 24188000,  
Ext.86212 y 86213  
(502) 24189138  
(502) 24189140

Telfax (502) 24189124

[www.ingenieria-usac.edu.gt](http://www.ingenieria-usac.edu.gt)

Guatemala, junio 2 de 2016

M. Sc. Ing. Elfego Orozco  
Coordinador de la Maestría en Recursos Hidráulicos  
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos  
Hidráulicos "ERIS"  
Facultad de Ingeniería, USAC

Habiendo revisado el documento titulado:

**"Determinación de los Índices de Calidad del Agua  
(ICA-NSF E ISCA) para Consumo Humano de los Ríos  
Teocinte y Acatan, que abastecen la Planta de  
Tratamiento de Agua Santa Luisa, Zona 16,  
Guatemala".**

Elaborado por el Ingeniero Pablo Cesar Aníbal Saravia Solares, como parte de su Estudio Especial, y como requisito para optar al grado académico de Maestro en Gestión de Recursos Hidráulicos, mediante la presente me permito informarle mi satisfacción con su contenido y por lo tanto, le comunico que dicho documento cuenta con mi aprobación.

Agradeciendo la atención prestada a la presente, me suscribo de usted,

Atentamente.

**"ID Y ENSEÑAD A TODOS".**

M. Sc. Ing. Zenón Muñoz Santos  
Asesor del estudio





Guatemala, 04 de julio de 2016

Señores  
Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado  
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos  
Facultad de Ingeniería, USAC

UNIVERSIDAD DE  
SAN CARLOS DE GUATEMALA



Facultad de Ingeniería  
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria  
y Recursos Hidráulicos

Respetuosamente les comunico que he revisado la versión corregida, en mi calidad de Coordinador de la Maestría de Recursos Hidráulicos, el trabajo de Estudio Especial titulado:

**DETERMINACIÓN DE LOS ÍNDICES DE CALIDAD DEL  
AGUA (ICA-NSF E ISCA) PARA CONSUMO HUMANO DE LOS  
RÍOS TEOCINTE Y ACATÁN, QUE ABASTECEN LA PLANTA  
DE TRATAMIENTO DE AGUA SANTA LUISA ZONA 16,  
GUATEMALA**

presentado por el estudiante,

**Ingeniero Industrial Pablo César Anibal Saravia Solares**

Les manifiesto que el estudiante cumplió con los requisitos exigidos por la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS) y la Universidad de San Carlos de Guatemala, en la realización de su estudio en forma satisfactoria.

Agradeciéndoles la atención a la presente, se suscribe de ustedes,

Atentamente.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

RECURSOS HIDRAULICOS  
ERIS

MSc. Ing. Elfego Orozco  
Coordinador Maestría de Recursos Hidráulicos

Edificio de ERIS,  
Instalaciones de prefabricados, CII  
Ciudad Universitaria zona 12  
Ciudad de Guatemala 01012  
Guatemala, C.A.

Tel. (502) 2418 8000,  
Ext. 86213 y 86212  
(502) 2418 9138

Telfax (502) 2418 9124

[www.ingenieria-usac.edu.gt](http://www.ingenieria-usac.edu.gt)



UNIVERSIDAD DE  
SAN CARLOS DE GUATEMALA



Facultad de Ingeniería  
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria  
y Recursos Hidráulicos

Edificio de ERIS,  
Instalaciones de prefabricados, C/1  
Ciudad Universitaria zona 12  
Ciudad de Guatemala 01012  
Guatemala, C.A.

Tel. (502) 2418 8000,  
Ext. 86213 y 86212  
(502) 2418 9138

Telfax (502) 2418 9140

[www.ingenieria-usac.edu.gt](http://www.ingenieria-usac.edu.gt)

El Director de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos -ERIS- después de conocer el dictamen del tribunal examinador integrado por los profesores siguientes: MSc. Ing. Joram Matias Gil Laroj, MSc. Ing. Zenón Much Santos y MSc. Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos; así como el visto bueno del Coordinador de la Maestría en Recursos Hidráulicos, MSc. Ing. Elfego Odvin Orozco Fuentes; la revisión lingüística realizada por la Licda. Rosa Amelia González Domínguez, Colegiado 5284, de la unidad de lingüística de la Facultad de Ingeniería; y el trabajo del estudiante: Ing. Pablo César Anibal Saravia Solares, "DETERMINACIÓN DE LOS ÍNDICES DE CALIDAD DEL AGUA (ICA-NSF E ISCA) PARA CONSUMO HUMANO DE LOS RÍOS TEOCINTE Y ACATÁN, QUE ABASTECEN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA SANTA LUISA ZONA 16, GUATEMALA", en representación de la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado, procede a la autorización del mismo, en Guatemala a los 25 de julio de 2016.

**IMPRIMASE**

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

MSc. Ing. Pedro Saravia Celis  
DIRECTOR

Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y  
Recursos Hidráulicos

## **ACTO QUE DEDICO A:**

|                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| <b>Dios</b>                           | Por guiar mis pasos e iluminar mí camino, y permitirme alcanzar esta nueva meta.  |
| <b>Mi hijo</b>                        | Pablo Matías, por ser la inspiración de mi vida y la fuerza para luchar por todas las metas.  |
| <b>Mi esposa</b>                      | Maria José Recinos, por escucharme, aconsejarme y estar siempre presente en mis luchas, gracias por ese amor incondicional.   |
| <b>Mis padres</b>                     | MSc Ing. Pedro Saravia y MSc. Licda. Elda de Saravia, por darme la vida, por sembrar en mí el deseo de superación, por todo el apoyo, este logro es tanto mío como des ustedes, los quiero mucho. |
| <b>Mis hermanos</b>                   | Lic. Pedro Saravia e Ing. Christian Saravia, por su apoyo, cariño y todo el tiempo compartido.  |
| <b>Mi familia en general y amigos</b> | Que siempre me han deseado lo mejor, gracias.   |



## **AGRADECIMIENTOS A:**

|   |  |
|---|--|
| <b>La Universidad de San Carlos de Guatemala</b>                              | Alma máter que me ha formado y provisto de vastos conocimientos.   |
| <b>Facultad de Ingeniería</b>   | Por mi formación profesional.  |
| <b>Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS)</b> | Por su excelente aporte académico.   |
| <b>MSc. Ing. Pedro Saravia</b>  | Por ser mi padre y amigo, por siempre compartir sus conocimientos conmigo y apoyarme incondicionalmente, gracias.                      |
| <b>Mi asesor</b>  | MSc. Ing. Zenon Much, por ser guía en toda la maestría, brindando consejos y conocimiento técnico para poder realizar un buen trabajo. |
| <b>A usted</b>  | Que lee este trabajo.  |

## ÍNDICE GENERAL

|   |       |
|---|-------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....                                  | III   |
| LISTA DE SÍMBOLOS .....                                       | V     |
| GLOSARIO .....  | VII   |
| RESUMEN.....  | IX    |
| PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....                               | XI    |
| JUSTIFICACIÓN.....  | XIII  |
| OBJETIVOS.....  | XV    |
| HIPÓTESIS.....  | XVII  |
| ALCANCE .....   | XIX   |
| ANTECEDENTES.....   | XXI   |
| INTRODUCCIÓN .....  | XXIII |
| <br>  |       |
| 1. MARCO TEÓRICO.....   | 25    |
| 1.1. Calidad del agua.....                                    | 25    |
| 1.2. Clasificación del agua por su uso .....                  | 26    |
| 1.3. Parámetros físicos.....                                  | 27    |
| 1.4. Parámetros químicos.....                                 | 27    |
| 1.5. Parámetros biológicos .....                              | 28    |
| 1.6. Índices de calidad del agua .....                        | 28    |
| 1.7. Índice de Calidad del Agua ICA-NSF. ....                 | 30    |
| 1.8. Parámetros del Índice ICA-NSF .....                      | 31    |
| 1.9. Método para la estimación del índice ICA-NSF .....       | 31    |
| 1.10. Interpretación del ICA-NSF.....                         | 35    |
| 1.11. Índice Simplificado de la Calidad del Agua (ISCA) ..... | 37    |
| 1.12. Método para la determinación del ISCA .....             | 37    |

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 1.13.  | Interpretación del ISCA .....  | 39 |
| 2.     | METODOLOGÍA .....  | 41 |
| 2.1.   | Planta de tratamiento de agua potable Santa Luisa.....                     | 41 |
| 2.2.   | Fuentes de abastecimiento de la planta de tratamiento<br>Santa Luisa ..... | 42 |
| 2.2.1. | Río Acatán.....  | 42 |
| 2.2.2. | Río Teocinte .....   | 42 |
| 2.3.   | Densidad poblacional y uso del suelo presa Teocinte .....                  | 45 |
| 2.4.   | Puntos de muestreo .....   | 47 |
| 2.5.   | Toma de muestra in situ.....   | 47 |
| 2.6.   | Parámetros determinados en el laboratorio .....                            | 48 |
| 2.7.   | Cantidad representativa de muestras.....                                   | 49 |
| 3.     | RESULTADOS.....  | 51 |
| 3.1.   | Resultados de los Índices de Calidad del Agua ICA-NSF e<br>ISCA.....       | 51 |
| 4.     | DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....   | 55 |
| 4.1.   | Índices de calidad del agua.....   | 55 |
|        | CONCLUSIONES.....  | 59 |
|        | RECOMENDACIONES .....  | 61 |
|        | BIBLIOGRAFÍA.....  | 63 |
|        | APÉNDICES.....   | 67 |

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 1.  | Curva de función y factores de calidad ICA-NSF .....                      | 33 |
| 2.  | Ubicación planta Santa Luisa .....  | 41 |
| 3.  | Ubicación presa Teocinte .....  | 43 |
| 4.  | Mapa de tubería de impulsión de presa Teocinte a planta Santa Luisa ..... | 44 |
| 5.  | Vertederos y puntos de muestreo planta Santa Luisa .....                  | 45 |
| 6.  | Densidad poblacional presa teocinte y mapa de uso del suelo .....         | 46 |
| 7.  | Índice de calidad del agua histórico Teocinte 18" (2007-2015) .....       | 55 |
| 8.  | Índice de calidad del agua histórico Teocinte 20" (2007-2015) .....       | 56 |
| 9.  | Índice de calidad del agua histórico Acatán (2007-2015) .....             | 56 |
| 10. | ISCA de muestreos realizados .....  | 58 |

## TABLAS

|      |   |    |
|------|---|----|
| I.   | Ventajas y limitaciones de los ICA .....                                    | 29 |
| II.  | Factores de Ponderación ICA-NSF .....                                       | 31 |
| III. | Interpretación de los valores del índice ICA- NSF para consumo humano ..... | 36 |
| IV.  | Significado de los valores ISCA .....                                       | 39 |
| V.   | Puntos de muestreo .....  | 47 |
| VI.  | Lista de parámetros determinados en el laboratorio para este estudio .....  | 48 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| VII.  | Resultados de los Índices de Calidad del Agua ICA-NSF e ISCA de los muestreo realizados ..... | 51 |
| VIII. | Valores de los parámetros obtenidos en los muestreos realizados .....                         | 52 |

## LISTA DE SÍMBOLOS

| <b>Símbolo</b> | <b>Significado</b>                  |
|----------------|-------------------------------------|
| <b>cm</b>      | Centímetro                          |
| <b>L</b>       | Litro                               |
| <b>MI</b>      | Mililitro                           |
| <b>S</b>       | Segundo                             |
| <b>UNT</b>     | Unidades nefelométricas de turbidez |
| <b>μs</b>      | Microsiemens                        |



## GLOSARIO

|                       |   |
|-----------------------|---|
| <b>Cuerpo de agua</b> | Masa o extensión de agua tal como un río, lago, mar u océano.   |
| <b><i>DWQI</i></b>    | Índice de calidad del agua mundial para agua potable presentado por UNEP.   |
| <b>Embalse</b>        | Acumulación de agua producida por una construcción en el lecho de un río que cierra parcial o totalmente un cauce.                      |
| <b>ICAUCA</b>         | Índice de calidad del agua desarrollado por la Universidad del Valle de Colombia, adaptado a las condiciones ambientales del río Cauca. |
| <b>ICA-CETESB</b>     | Índice de calidad del agua planteado por la compañía de tecnología de saneamiento ambiental de Brasil.                                  |
| <b>ICA-DINUS</b>      | Índice de calidad del agua planteado por S.H. Dinus conformado por 12 parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.                      |
| <b><i>In Situ</i></b> | Expresión latina que significa en el sitio o en el lugar, suele utilizarse para designar una manipulación realizada en el lugar.        |



|                             |  |
|-----------------------------|--|
| <b>Muestra</b>              | Cantidad limitada de una sustancia o material utilizado para representar y estudiar sus propiedades. |
| <b>NMP</b>                  | Número más probable.   |
| <b>Tubería de impulsión</b> | Se utiliza para conducir el agua desde puntos de menor cota hasta otros ubicados a cotas mayores.    |
| <b><i>UWQI</i></b>          | Universal Water Quality Index, índice de calidad del agua desarrollado en Europa                     |

## RESUMEN

El estudio se realizó con el objetivo de determinar los Índice de Calidad del Agua ICA-NSF e Índice Simplificado de Calidad del Agua ISCA de los ríos Teocinte y Acatán que abastecen la planta de tratamiento de agua Santa Luisa ubicada en la zona 16, Guatemala.

Así definir si el agua de las fuentes de abastecimiento se encuentra entre los valores del ICA-NSF de 26 -70 y el ISCA 46–85 valores que indican que el agua puede tratarse para consumo humano.

Para definir esto se realizarán 4 muestreos fisicoquímicos y bacteriológicos en los meses de agosto a noviembre de 2015 a los tres vertederos que conducen y abastecen la Planta Santa Luisa Teocinte 18”, Teocinte 20” y Acatan, así también para los datos históricos del periodo 2007-2014.

El procedimiento de las mediciones *in situ* y la recolección de las muestras se realizaron en los vertederos que abastecen la planta, para su posterior análisis en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria Dra. Alba Tabarini.

Los resultados se compararán con las norma de fuente de agua de la Organización Mundial de la Salud –OMS-, para definir si es apta para su tratamiento para consumo humano.



## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Actualmente, no hay estudios que evidencien los niveles de contaminación de los ríos que abastecen la planta de tratamiento de agua Santa Luisa, por lo que se hace necesario realizar estudios que permitan conocer la realidad sobre la calidad del agua, aplicando el ICA-NSF e ISCA.

Por lo tanto, se debe definir si los resultados de los análisis de la calidad fisicoquímica y bacteriológica de los ríos que ingresan a la planta de tratamiento de aguas Santa Luisa, cumplen con los límites definidos en los Índices de Calidad del Agua ICA-NSF e ISCA, para consumo humano según el análisis de los siguientes parámetros: color, turbiedad, pH, temperatura, sólidos totales, nitratos y coliformes fecales.

¿Será posible que con el análisis de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos de los ríos Teocinte y Acatán, que abastecen la planta Santa Luisa, al aplicar los Índices de Calidad del Agua (ICA-NSF e ISCA) se pueda definir si el agua puede ser tratada para hacerla apta para el consumo humano?.



## **JUSTIFICACIÓN**

Los ríos Teocinte y Acatán son una de las más importantes fuentes con la que cuenta la Empresa Municipal de Agua de la ciudad de Guatemala, EMPAGUA, ya que satisface las necesidades del abastecimiento de agua potable destinada a un sector de la población de la ciudad, esta sirve directamente a la planta Santa Luisa zona 16, la misma representa el 14,33 % de la producción de agua potable en la ciudad de Guatemala.

Estos ríos, que abastecen la planta Santa Luisa, han sufrido un deterioro debido al crecimiento urbano acelerado y otras actividades incontroladas que los rodean, por lo que es necesaria su evaluación.

Este trabajo de graduación aportará la descripción de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos y se podrá determinar si pueden tratarse para consumo humano, con esto se permitirá explicar el comportamiento de la calidad del agua y se desarrollarán los Índices de Calidad del Agua ICA-NSF e ISCA que permitan establecer una evaluación de la calidad del agua en tres puntos de análisis de esta planta.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Determinar los Índices de Calidad de Agua ICA-NSF e ISCA de los ríos Teocinte y Acatán que abastecen la planta de tratamiento Santa Luisa por medio del análisis de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos de la calidad del agua del período 2007 al 2015, y definir si el agua puede tratarse para hacerla apta para el consumo humano.

### **Específicos**

1. Realizar los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos de 4 muestras recolectadas en los ríos Teocinte y Acatán, para definir si el agua puede tratarse para consumo humano.
2. Analizar los resultados de los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos realizados en los ríos Teocinte y Acatán, que abastecen la Planta Santa Luisa, por medio de cuatro muestreos realizados en el 2015, así como los análisis hechos durante el periodo 2007-2014.
3. Calcular los Índices de Calidad del Agua ICA-NSF e ISCA de los análisis realizados.
4. Comparar los resultados obtenidos de los muestreos realizados en el periodo de agosto a noviembre 2015, con la Norma de fuentes de agua de la OMS.





## **HIPÓTESIS**

Los índices de calidad del agua ICA-NSF e ISCA de los ríos Teocinte y Acatán que abastecen la planta de tratamiento Santa Luisa se encuentran en el rango de 26-70 para el ICA y 46-85 para ISCA, cuyos rango indican que el agua puede tratarse para consumo humano.



## **ALCANCE**

Este trabajo está orientado específicamente a determinar los Índices de Calidad del Agua ICA-NSF e ISCA de los ríos Teocinte y Acatan que abastecen la planta de tratamiento de agua Santa Luisa zona 16, tras realizar 4 muestreos de agua durante el periodo de agosto a noviembre 2015; así como el análisis histórico del ICA-NSF de los años 2007- 2015.



## ANTECEDENTES

De acuerdo con la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS), son escasas las investigaciones sobre el Índice de Calidad del Agua ICA e ISCA para consumo humano.

En 1990 se publica, por parte del ingeniero agrónomo Carlos Humberto Rivera Pomes, la tesis *Evaluación de la calidad de agua para fines de consumo humano de tres fuentes cercanas a la población de Santa María de Jesús, Sacatepéquez, mediante la interpretación de análisis fisicoquímicos y bacteriológicos de muestras colectadas*, la misma tuvo como objetivo conocer la variación de los parámetros fisicoquímicos – bacteriológicos de la calidad del agua en los tanques de distribución que abastecen al municipio de Santa María de Jesús, durante un año, así como la interpretación de los resultados de acuerdo con la Norma Coganor NGO 29001.

En el 2005, el Ingeniero Francisco Khalil de León Barrios presenta la tesis *Estudio de calidad del agua del río Samalá del tramo Cantel-Zunil-El Palmar Quetzaltenango*, donde se evalúa la calidad del agua del río Samalá, realizando un plan de muestreo para relacionar los parámetros de calidad del agua y encontrar los coeficientes cinéticos de descomposición bioquímica de materia orgánica y de reaireación, y clasificar el río en cuanto a su calidad.

Para el 2006, los ingenieros Rolando Chitay y Óscar García publican la tesis *Propuesta del Plan de Saneamiento para la Microcuenca del río Teocinte, municipio de San José Pínula*, la cual tiene como objetivo determinar la carga contaminante para el mejoramiento de la calidad del agua del Río teocinte. En la misma se realizan análisis fisicoquímicos y bacteriológicos, para determinar

la calidad del agua, concluyendo que el cuerpo de agua está contaminado, siendo esta tesis la que presenta más datos sobre el río a evaluar en este estudio.

En el 2008, el ingeniero Jorge Leonel Rivera Méndez publica la tesis *Determinación de los índices de calidad y coeficientes cinéticos de auto depuración del agua, en la parte alta de la cuenca del río Naranjo, ubicada en los departamentos de San Marcos y Quetzaltenango*, cuyo objetivo es determinar los índices de calidad del agua del río Naranjo, concluye que los Índices de Calidad del Agua (ICA) y Simplificado de Calidad (ISCA) muestran la autorecuperación del agua del río Naranjo.

## INTRODUCCIÓN

La calidad del agua se refiere a las condiciones en que se encuentra el agua respecto a características físicas, químicas y biológicas, en su estado natural o después de ser alterada por el accionar humano.

El deterioro de los cuerpos de agua hace necesaria su evaluación para tomar acciones de control y mitigación, y así definir la complejidad y costos del tratamiento necesario para hacerla apta para el uso que se proponga.

El presente trabajo de graduación pretende conocer la calidad del agua de los ríos que abastecen la planta de tratamiento de agua Santa Luisa ubicada en la zona 16 del municipio de Guatemala, departamento de Guatemala, esto se realizará determinando los índices de calidad del agua (ICA-NSF) e índice simplificado de calidad del agua (ISCA), estos índices surgen como una herramienta simple de evaluación del agua para procesos de decisión sobre su tratamiento.

La planta Santa Luisa se abastece de los ríos Teocinte y Acatán, estos ríos son conducidos a la planta para su tratamiento antes de ser distribuida hacia la ciudad de Guatemala.

Se analizarán los muestreos fisicoquímicos y bacteriológicos históricos de los años 2007 al 2014, también se harán cuatro monitoreos y análisis de laboratorio de los meses de agosto a diciembre 2015, a los cuales se les realizó análisis fisicoquímico-bacteriológico.



Por último, se presentarán conclusiones basadas en los resultados obtenidos, partiendo de lo indicado en los objetivos del trabajo de graduación y las recomendaciones que facilitarán la interpretación de la información.

# 1. MARCO TEÓRICO

## 1.1. Calidad del agua

“El agua es el solvente universal por naturaleza, por su contacto con la atmósfera o el suelo hace que se incorporen dentro de ella una gran cantidad de elementos como: gases, sales, minerales y microorganismos, todos estos elementos determinan las características del agua en la naturaleza”<sup>1</sup>.

“Al conjunto de características del agua en su estado natural o después de ser alterada para su uso, se denomina: calidad del agua y se refiere a una condición o estado de la sustancia, usualmente se describe mediante indicadores o parámetros”<sup>2</sup>.

Generalmente, tres son los objetivos fundamentales de la calidad del agua:

- Determinar la calidad del agua en su estado natural: con el propósito de conocer su uso o aprovechamiento para un fin determinado. Así como protegerla y conservarla.
- Determinar el impacto de las actividades humanas sobre el cuerpo de agua.

---

<sup>1</sup> Contaminación del agua, MSc. Pedro Saravia, 2007.

<sup>2</sup> Contaminación del agua, MSc. Pedro Saravia, 2007.

- Mantener bajo observación las fuentes y medios de contaminación que pueden ser potencialmente peligrosos a los cuerpos de agua.

## 1.2. Clasificación del agua por su uso<sup>3</sup>

- **“Aguas para consumo humano:** aquellas que se emplean para beber y elaborar los alimentos”.
- **Aguas agrícolas:** se utiliza para el riego de campos agrícolas.
- **Aguas para generación de energía:** se emplean para generar energía eléctrica y mecánica, mediante el uso de motores y generadores.
- **Aguas industriales:** se emplean en la industria, en calderas, operaciones de limpieza, operaciones de enfriamiento, entre otros.
- **Aguas para recreación:** el hombre encuentra en el agua un medio de esparcimiento y diversión como nada navegar, entre otros”.

Para el estudio la calidad del agua se interpretará como el conjunto de características que presenta el agua de los ríos Teocinte y Acatán en los vertederos durante el periodo de análisis. La determinación de la calidad del agua se realiza según los parámetros físicos, químicos y biológicos.

---

<sup>3</sup> Contaminación del agua, MSc. Pedro Saravia, 2007.

### 1.3. Parámetros físicos

“Son las características del agua que se perciben por los sentidos y no involucran reacciones químicas o biológicas. Los parámetros físicos utilizados para esta investigación son:

- Temperatura
- Sólidos suspendidos totales
- Sólidos disueltos totales
- Turbiedad
- Conductividad eléctrica<sup>4</sup>”

### 1.4. Parámetros químicos

El agua como solvente natural tiene sustancias químicas disueltas que le proveen ciertas características. Las sustancias disueltas participan en una serie de reacciones químicas que le dan propiedades químicas y biológicas particulares al agua<sup>5</sup>. Para efectos de este estudio se determinarán las siguientes características químicas.

- Oxígeno disuelto
- Nitratos
- Potencial de hidrógeno (pH)
- Fosfatos

---

<sup>4</sup> CEPIS/OMS/OPS, *tratamiento de agua para consumo humano* P.110

<sup>5</sup> Metcalf y Eddy, *Ingeniería de las aguas residuales, tratamiento vertido y reutilización*, 2003, P 85.

## 1.5. Parámetros biológicos

El agua contaminada con materia orgánica e inorgánica desarrolló actividad biológica. Los microorganismos degradan la materia orgánica en materia celular y componentes más simples. Para efectos del estudio se realizarán los siguientes análisis biológicos<sup>6</sup>.

- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)
- Demanda química de oxígeno (DQO)
- Coliformes fecales

## 1.6. Índices de calidad del agua

“El aumento en los niveles de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas ha generado la necesidad de cuantificar y evaluar la calidad de los cuerpos de agua. Por otra parte, debido a las diferencias de interpretación entre los encargados de tomar decisiones, los expertos en el tema y del público en general, existe un esfuerzo creciente para desarrollar un sistema indicador que agrupe los parámetros contaminantes más representativos dentro de un marco de referencia unificado”<sup>7</sup>.

El índice de calidad, como forma de agrupación simplificada de algunos parámetros, indicadores de un deterioro en la calidad del agua, es una manera de comunicar y evaluar la calidad de los cuerpos de agua. Sin embargo, para que dicho índice sea práctico debe reducir la enorme cantidad de parámetros a una forma más simple, y durante el proceso de simplificación algo de

---

<sup>6</sup> Metcalf y Eddy, *Ingeniería de las aguas residuales, tratamiento vertido y reutilización*, 2003, P 87.

<sup>7</sup> *Guía para la vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano*, 2002, P 55.

información se sacrifica. Por otro lado, si el diseño del índice es adecuado, el valor arrojado puede ser representativo e indicativo del nivel de contaminación y comparable con otros para enmarcar rangos y detectar tendencias.

Los índices son expresiones simplificadas de un conjunto de variables y han resultado ser eficaces para transmitir información sobre calidad del agua a quienes toman decisiones asimismo al público. Existen diferentes índices de calidad del agua, entre los más conocidos se encuentran: ICA-NSF, ISCA, ICA-DINIUS, ICA-CETESB, ICAUCA, CCME-WQI, DWQI, UWQI, IAP. Para este estudio se analizarán el Índice de Calidad del Agua ICA-NSF y el Índice Simplificado de la Calidad del Agua ISCA<sup>8</sup>.

El ICA es un número único que expresa la calidad del recurso hídrico mediante la integración de las mediciones de determinados parámetros de calidad del agua y su uso es cada vez más popular para identificar las tendencias integradas a los cambios en la calidad del agua<sup>9</sup>. La tabla I presenta las principales ventajas y limitaciones de los ICA en General.

Tabla I. **Ventajas y limitaciones de los ICA**

| <b>VENTAJAS</b>  | <b>LIMITACIONES</b>   |
|--|---|
| Permiten mostrar la variación espacial y temporal de la calidad del agua.                              | Proporcionan un resumen de los datos.   |
| Método simple, conciso y válido para expresar la importancia de los datos generados en el laboratorio. | No proporcionan información completa sobre la calidad del agua.<br>No puede evaluar todos los riesgos |

<sup>8</sup> N. Fernández, and F. Solano, *Índices de calidad y contaminación del agua*, Pamplona, 2008. P 61.

<sup>9</sup> *Development and Use of Global Water Quality Indicators and Indices*, 2005. P 36.

|  |   |
|--|---|
| <p>Útiles en la evaluación de la calidad del agua para usos generales.</p> <p>Permite a los usuarios una fácil interpretación de los datos.</p> <p>Pueden identificar tendencias de la calidad del agua y áreas problemáticas.</p> <p>Ayudan en la definición de prioridades con fines de gestión.</p> | <p>presentes en el agua.</p> <p>Pueden ser subjetivos y sesgados en su formulación.</p> <p>No son de aplicación universal debido a las diferentes condiciones ambientales que se presentan en los cuerpos de agua.</p> <p>Algunos científicos y estadísticos tienden a rechazar y criticar su metodología, lo que afecta la credibilidad de los ICA como una herramienta para la gestión.</p> |
|--|---|

Fuente: elaboración propia con base a Development and Use of Global Water Quality Indicators an Indices

### 1.7. Índice de Calidad del Agua ICA-NSF.

El ICA fue desarrollado por la Fundación de Sanidad Nacional de los Estados Unidos (NSF), en 1970. Es ampliamente utilizado entre todos los índices de calidad de agua existentes, y también para medir los cambios en la calidad del agua de diferentes tramos del mismo río, además de compararlos con la calidad de agua de diferentes ríos alrededor del mundo. Los resultados pueden ser utilizados para determinar si un tramo en particular de dicho río, es adecuado o no para el aprovechamiento del agua para consumo humano, el índice estándar llamado WQI (Water Quality Index), que en español se conoce como: índice de calidad del agua-ICA<sup>10</sup>.

<sup>10</sup> *Development and Use of Global Water Quality Indicators and Indices*, 2005. P 70.

## 1.8. Parámetros del Índice ICA-NSF

En el diseño para la determinación del ICA-NSF intervienen nueve parámetros físicos, químicos y biológicos, los cuales se muestran en la tabla II.

## 1.9. Método para la estimación del índice ICA-NSF

Para calcular este índice se debe ponderar cada concentración por un factor, el peso de cada factor es calculado dividiendo la importancia de cada parámetro sobre la valoración del peso de la variable de mayor importancia. Así, los pesos temporales son divididos individualmente entre la suma de los pesos temporales, lo que produce los pesos finales. Estos pesos son: oxígeno disuelto 0,17; coliformes fecales 0,15; pH 0,12; DBO 0,10; nitratos 0,10; fosfatos 0,10; temperatura 0,10; turbiedad 0,08; y sólidos totales 0,08. Tomando como base los 9 parámetros fisicoquímicos y microbiológicos empleados por el ICA NSF 1970. Como se observa en la tabla II.

Tabla II. Factores de Ponderación ICA-NSF

| Parámetro                     | Factor Peso |
|-------------------------------|-------------|
| Oxígeno disuelto              | 0,17        |
| Coliformes fecales            | 0,15        |
| pH                            | 0,12        |
| Demanda bioquímica de oxígeno | 0,10        |
| Temperatura                   | 0,10        |
| Fosfatos                      | 0,10        |
| Nitratos                      | 0,10        |
| Turbiedad                     | 0,08        |
| Sólidos totales               | 0,08        |

**Fuente:** elaboración propias con base al Cálculo de ICA-NSF de Calidad del Agua.



Si alguno de estas variables falta, el valor total del índice puede ser calculado por la distribución de su peso entre las demás variables (se suman los pesos de las variables faltantes y se divide entre la cantidad de parámetros que están registrados, este valor se suma a cada uno de los factores de ponderación y se procede como de costumbre para obtener el valor del índice).

Se desarrolló una curva de valoración para cada parámetro, los niveles de calidad del agua tienen un rango de 0 a 100 que están localizadas en las ordenadas y los diferentes niveles de las variables en las abscisas<sup>11</sup>, como se observa en la figura 1.

La fórmula para calcular el índice de calidad del agua es (1):

$$ICA - NSF = \sum_{i=1}^n SI_i W_i$$

Donde

ICA=índice de calidad del agua

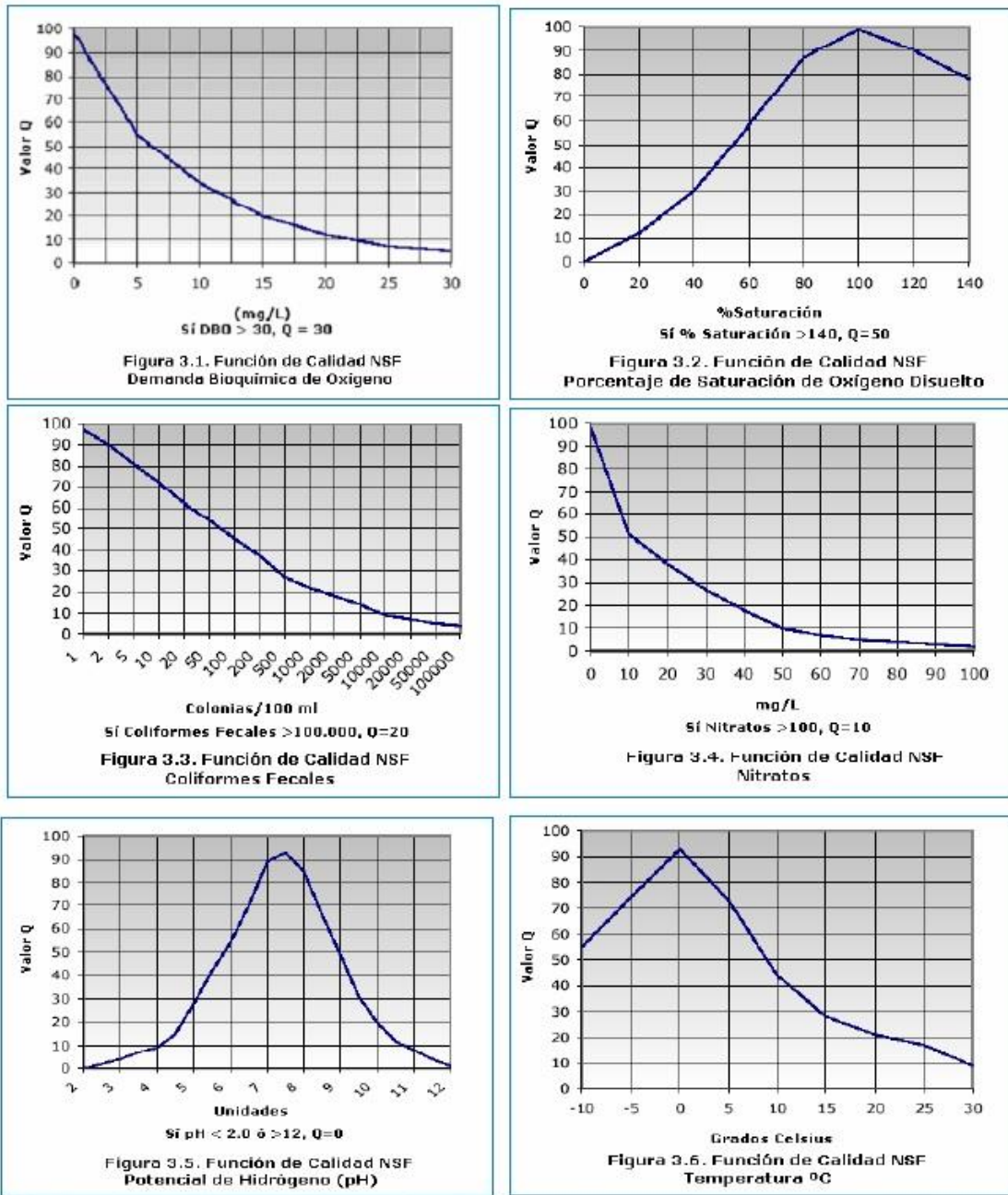
SI= subíndice del parámetro

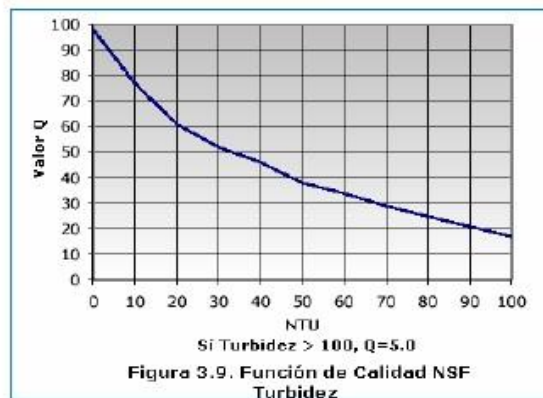
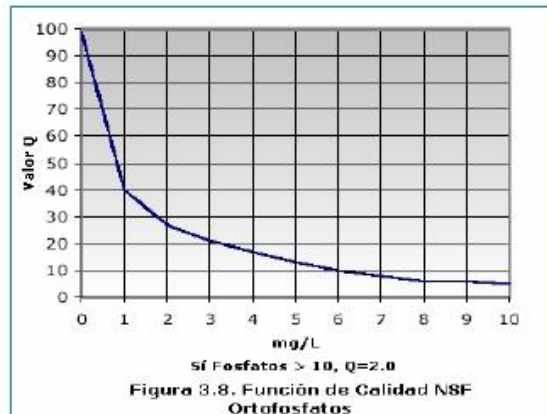
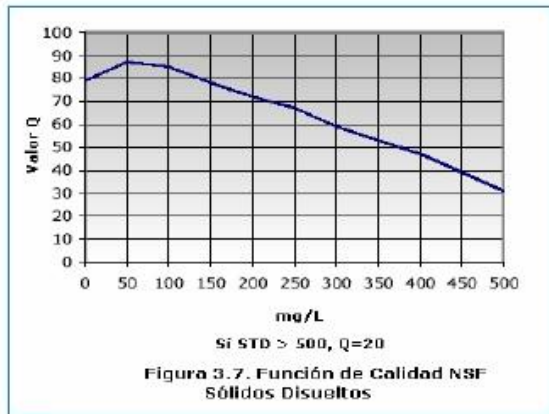
Wi=factor de ponderación para el subíndice i

---

<sup>11</sup> *Cálculo de NSF Índice de calidad del agua, Wilkes University Center for Environmental Engineering and Earth Sciences, P 5.*

Figura 1. Curva de función y factores de calidad ICA-NSF





Fuente: Universidad de Pamplona, Índices de Calidad (ICAs) y de Contaminación (ICOs) del Agua de Importancia Mundial Capítulo III, P.44.

- Los coliformes fecales son indicadores de contaminación fecal y fueron usados como indicadores de una posible contaminación por patógenos en el agua. La aplicación directa en la curva es como NMP/100cm<sup>3</sup>.
- Los nitratos son útiles porque representan, de una manera adecuada, la eutroficación y las categorías de consumo de oxígeno. La unidad de medición utilizada es mg/L.

- La DBO representa la cantidad de oxígeno demandada por la descomposición de materia orgánica presente en un cuerpo de agua. La unidad de medición es mg/L.
- Fosfatos es un indicador de la presencia de fósforo en el agua, que está relacionada con el crecimiento de las algas y la eutrofización.
- El oxígeno disuelto es el porcentaje de saturación del agua.
- El PH muestra un comportamiento similar al oxígeno disuelto, su punto óptimo es alcanzado cuando el valor Q es igual a 7, un pH 7 significa un valor neutral en el agua.
- La curva funcional de la temperatura se refiere al comportamiento de los datos promedios. El valor óptimo es obtenido cuando Q es igual a 20 °C. Esta temperatura es considerada como estándar para la mayoría de las mediciones en laboratorios de calidad de agua.

#### **1.10. Interpretación del ICA-NSF**

El resultado de su aplicación debe ser un número entre 0 y 100, donde 0 representa la calidad del agua muy pobre y 100 representa la calidad de agua excelente. La interpretación de los resultados se describe en la tabla III.

Tabla III. Interpretación de los valores del índice ICA- NSF para consumo humano

| ICA    | Categoría | Descripción   |   |
|--------|-----------|---|---|
| 91-100 | Excelente | El agua es capaz de poseer una alta diversidad de vida acuática. Además, también sería conveniente para todas las formas de contacto directo con ella.  | No requiere tratamiento                                       |
| 71-90  | Buena     | La calidad del agua ha disminuido la diversidad de la vida acuática, presenta una leve contaminación.   | Rango adecuado para consumo humano                            |
| 51-70  | Mediana   | Las aguas tienen, generalmente, menos diversidad de organismos acuáticos y han aumentado con frecuencia el crecimiento de algas.  |   |
| 26-50  | Mala      | Las aguas pueden solamente apoyar una diversidad baja de la vida acuática y están experimentando, probablemente, problemas con la contaminación.  |   |
| 0-25   | Muy mala  | Las aguas pueden solamente apoyar un número limitado de las formas acuáticas, presentan problemas abundantes, no es aceptada para las actividades que implican el contacto directo con ellas. | No apta para realizar tratamiento de agua para consumo humano |

Fuente: elaboración propia con base al cálculo de NSF índice de calidad del agua.

### 1.11. Índice Simplificado de la Calidad del Agua (ISCA)

En España, Ramon Queralt i Torell, en 1982 desarrolló el Índice Simplificado de Calidad del Agua, ISCA, para las cuencas de Cataluña, el cual se basa en 5 parámetros fisicoquímicos y planteó una clasificación de la calidad del agua para 6 usos específicos del recurso, entre los cuales se destaca el abastecimiento para consumo humano<sup>12</sup>.

Este índice permite asignar un valor a la calidad del agua utilizando un número limitado de parámetros. Tiene la ventaja de ser fácil de usar y proporciona una idea rápida e intuitiva de la calidad, pero es arbitrario y puede inducir a error debido a su reduccionismo. Si se utilizan otros índices complementarios se tiene una idea más adecuada y completa de la calidad.

Los parámetros evaluados en el ISCA son:

- Temperatura, demanda química de oxígeno DQO, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, sólidos suspendidos<sup>13</sup>.

### 1.12. Método para la determinación del ISCA<sup>14</sup>

Este método utiliza cinco parámetros físicos y químicos de tipo general, como: la temperatura, DQO, los sólidos suspendidos totales, el oxígeno disuelto y la conductividad eléctrica, con base en la fórmula:

$$\text{ISCA} = T \times (A+B+C+D) \quad (2)$$

---

<sup>12</sup> *La Qualitat de Les*, Ramon Queralt i Torrell, julio 1981.

<sup>13</sup> *La Qualitat de Les*, Ramon Queralt i Torrell, julio 1981.

<sup>14</sup> Hernández. M.A. *Depuración de Aguas Residuales*. 4ta edición.

**T** se deduce de la temperatura (t) en °C del agua del río.

Puede adquirir valores de 1 a 0,8

Si  $t \leq 20$  °C entonces  $T = 1$ .      **(3)**

Si  $t > 20$  °C entonces  $T = 1 - (t - 20) \times 0,0125$       **(4)**

**A** se deduce de la oxidabilidad al permanganato (DQO), (a) expresada en mg/l.

Puede adquirir valores de 0 a 30.

Si  $a \leq 10$  entonces  $A = 30 - a$       **(5)**

Si  $60 > a > 10$  entonces  $A = 21 - (0,35 \times a)$       **(6)**

Si  $a > 60$  entonces  $A = 0$       **(7)**

**B** se deduce a partir de los sólidos suspendidos totales (SST) en mg/l.

Puede adquirir valores de 0 a 25.

Si  $SST \leq 100$  entonces  $B = 25 - (0,15 \times SST)$       **(8)**

Si  $250 > SST > 100$  entonces  $B = 17 - (0,07 \times SST)$       **(9)**

Si  $SST > 250$  entonces  $B = 0$ .      **(10)**

**C** se deduce a partir del oxígeno disuelto (O<sub>2</sub>) en mg/l

Puede adquirir valores de 0 a 25.

$C = 2,5 \times O_2$  disuelto      **(11)**

Si  $O_2$  disuelto  $\geq 10$  entonces  $C = 25$       **(12)**

**D** se deduce de la conductividad eléctrica expresada en  $\mu S/cm$  (c) a 18 °C.

Si la conductividad se ha medido a 25 °C, para convertirla a 18 °C se debe multiplicar por 0,86 los valores de D puede adquirir valores de 0 a 20.

Si conductividad  $\leq 4\ 000$  entonces  $D = (3,6 - \log c) \times 15,4$       **(13)**

Si es > 4 000 entonces  $D = 0$       **(14)**

### 1.13. Interpretación del ISCA

El Índice se basa en el resumen de cinco parámetros físicos y químicos en una escala de 0 a 100 puntos, con las características descritas en la tabla IV.

Tabla IV.      **Significado de los valores ISCA**

| <b>ISCA</b> | <b>Categoría</b>   | <b>Descripción</b>  |
|-------------|--|---|
| 85-100      | Todos los usos   | La calidad del agua está protegida, no existe amenazas, las condiciones son cercanas a los niveles naturales.                                   |
| 61-85       | Consumo humano con tratamiento convencional                | La calidad del agua está protegida contra un menor grado de amenazas; las condiciones raramente se apartan de los niveles naturales o deseados. |
| 46-60       | Consumo humano con tratamiento especial, riego, industrial | La calidad del agua es ocasionalmente afectada; las condiciones a veces no cumplen con los niveles deseados.                                    |
| 31-45       | Recreación y refrigeración                                 | La calidad del agua es frecuentemente afectada; las condiciones a menudo no cumplen con los niveles deseados.                                   |
| 0-30        | No puede usarse  | La calidad del agua es continuamente afectada; las condiciones no cumplen con los niveles deseados.   |

Fuente: elaboración propia con base a La Qualitat de les, Ramon Querelt y Torrell



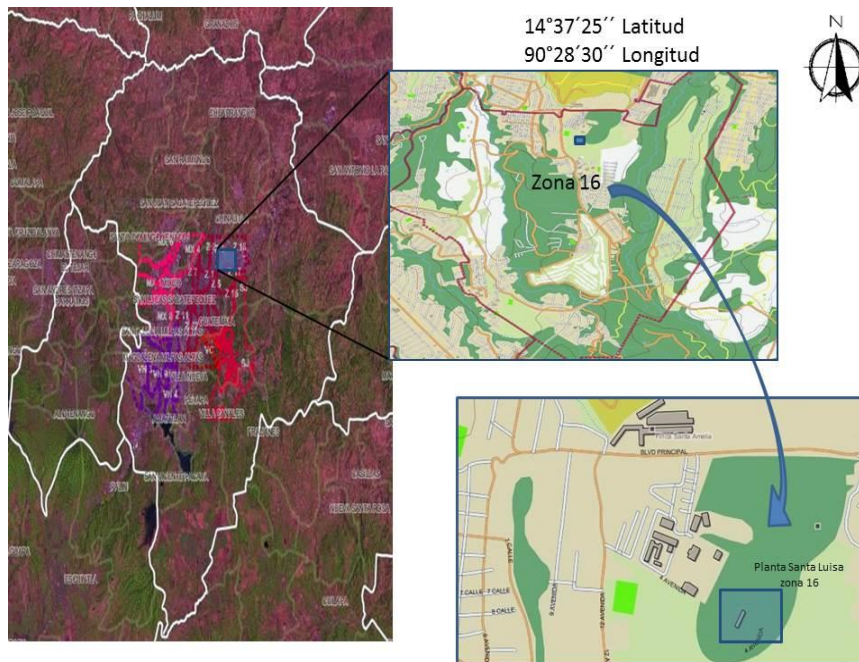


## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. Planta de tratamiento de agua potable Santa Luisa

La planta de tratamiento de agua potable Santa Luisa se encuentra ubicada al este de la ciudad de Guatemala, a una distancia aproximada de 10 kilómetros del centro de la ciudad ( $14^{\circ} 37' 25''$  latitud  $90^{\circ} 28' 30''$  longitud). Abastece a un sector de la ciudad de Guatemala, específicamente las zonas 1, 4, 5, 10, 16 y 17. Actualmente tiene una producción diaria de 10 000 mts<sup>3</sup>, con esto produce el 7 % del agua que suministra la Empresa Municipal de Agua (Empagua). Se abastece de dos fuentes (río Teocinte y Acatán), cuenta con un punto para dosificación de químicos, un floculador, dos sedimentadores, seis filtros, tanque elevado y dos tanques de almacenamiento.

Figura 2. Ubicación planta Santa Luisa



Fuente: elaboración Propia con base a datos de SEGEPLAN.

## **2.2. Fuentes de abastecimiento de la planta de tratamiento Santa Luisa**

### **2.2.1. Río Acatán**

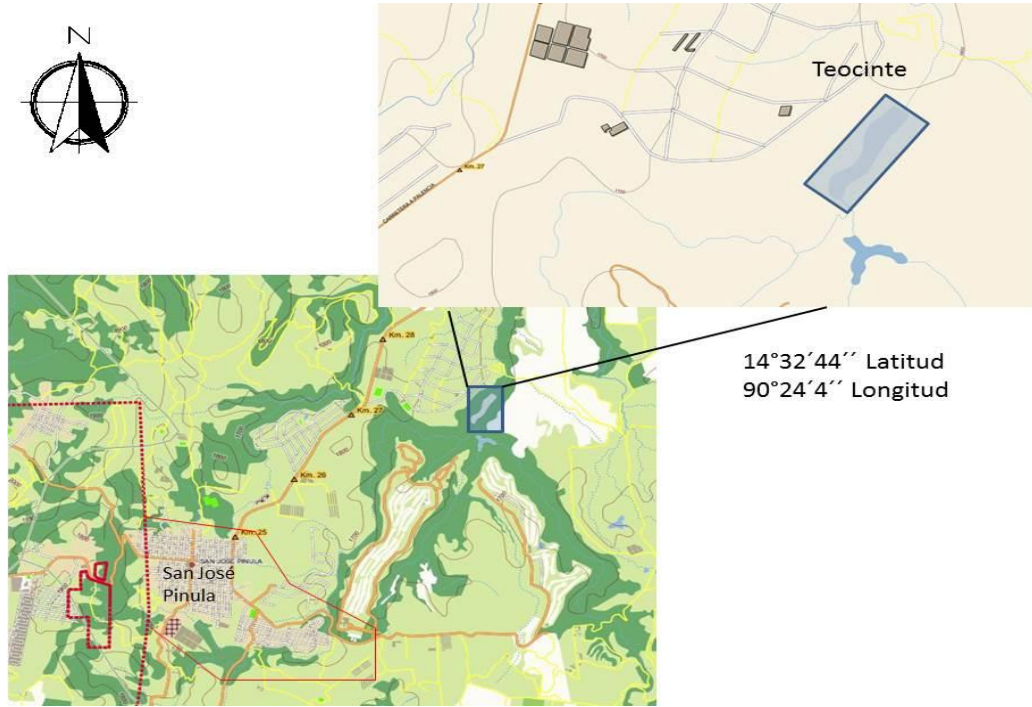
El río nace en lo de Valdez, pasando por la parte posterior norte del centro comercial Pradera Concepción, condominio Iás Luces, Piedra Parada, finca Santa Rosalía y finca San Isidro, donde está la presa Acatán, de ahí es canalizado y conducido hasta la planta, La presa Acatán es derivadora de caudal, se encuentra aproximadamente distantes 7 km.

Caudal actual 36,00 l/s

### **2.2.2. Río Teocinte**

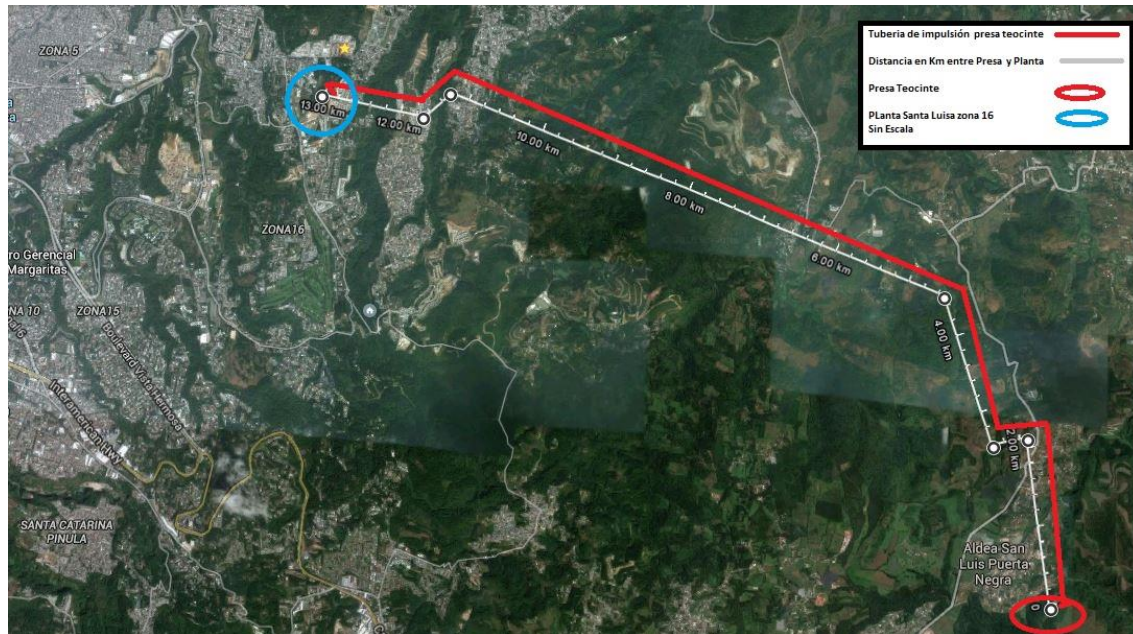
Presa de embalse que reúne las aguas de los ríos: la Piedrona, la Manguita y Quebrada las Pilas, donde fluyen los nacimientos de agua viva, nacimientos del río San Antonio y en verano se conduce el 100 % del río San Antonio, aguas abajo de la presa el Teocinte. El río San José Pínula ya no se utiliza, se deja ir aguas abajo por la presa Montecristo. La presa Teocinte se ubica a 14,2 kilómetros, al este de la planta Santa Luisa, el objetivo principal del embalse es el abastecimiento de agua de la ciudad de Guatemala, se localiza en la latitud  $14^{\circ} 32' 44''$  y en la longitud  $90^{\circ} 24' 4''$ .

Figura 3. **Ubicación presa Teocinte**



Fuente: elaboración propia con base a datos de SEGEPLAN

Figura 4. Mapa de tubería de impulsión de presa Teocinte a planta Santa Luisa



Fuente: elaboración Propia con base a datos de EMPAGUA. Mapa sin Escala.

La planta Santa Luisa cuenta con tres vertederos denominados Teocinte 18", Teocinte 20" y Acatán. Los vertederos Teocinte tienen las mismas fuentes descritas anteriormente y se traslada en diferentes diámetros, ambas tuberías están ubicadas en la presa.

Figura 5. **Vertederos y puntos de muestreo planta Santa Luisa**

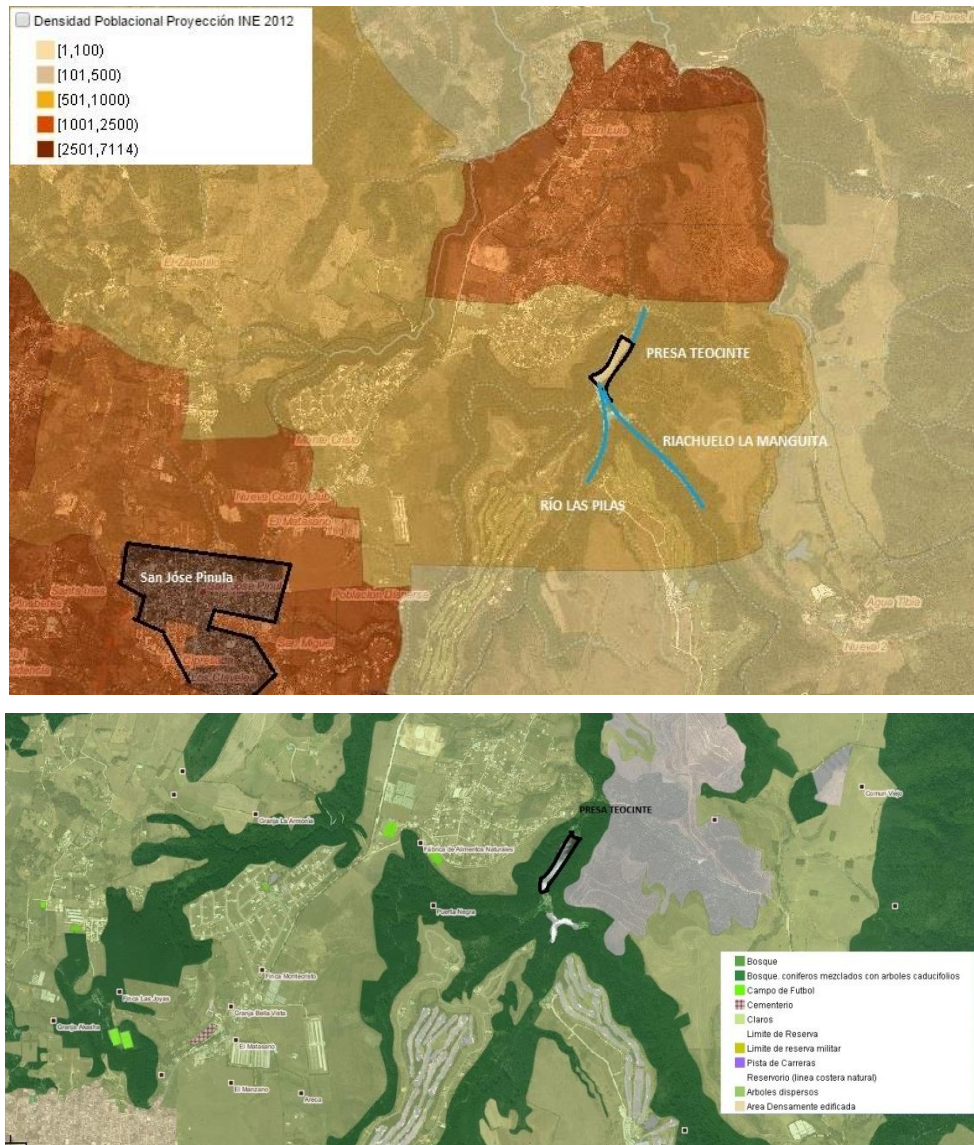


Fuente: vertederos de ingreso, Planta Santa Luisa zona 16.

### 2.3. **Densidad poblacional y uso del suelo presa Teocinte**

La densidad poblacional de la presa teocinte fue ubicada por medio de hojas cartográficas, en la misma se visualiza que el municipio de San José Pínula, las colonias Santa Sofía, los Manantiales, San Luis, Hacienda Nueva, la aldea Las Anonas y los caseríos El Matazano y Las Flores son las que cuentan con mayor población y cercanía a los cuerpos de agua que alimentan la planta Santa Luisa. El uso del suelo en los alrededores de la presa Teocinte es bosque mixto.

Figura 6. Densidad poblacional presa teocinte y mapa de uso del suelo



Fuente: elaboración propia con base a datos de SEGEPLAN

Para la realización del estudio sobre la determinación del Índice de Calidad del Agua ICA e índice Simplificado de Calidad del Agua ISCA, fue necesario establecer los recursos, los materiales, las metodologías, los

procedimientos y técnicas con respaldo técnico científico, que permitieran la seguridad de las diferentes actividades para obtener resultados confiables.

#### **2.4. Puntos de muestreo**

Para propósitos prácticos del estudio, los puntos de muestreo están conformados de los ríos Teocinte y Acatán de la planta de tratamiento de agua potable Santa Luisa zona 16 (ver imagen 3).

Tabla V. **Puntos de muestreo**

|              |                        |
|--------------|------------------------|
| Punto núm.1  | Vertedero Teocinte 18" |
| Punto núm. 2 | Vertedero Teocinte 20" |
| Punto núm. 3 | Vertedero Acatán       |

Fuente: elaboración Propia

#### **2.5. Toma de muestra in situ**

Para determinar los parámetros *in situ* se utilizó un equipo Hach HQ 40d multiparametros. Se toma la muestra en cada vertedero y se coloca la sonda para medir los parámetros. Los cuales son: temperatura, pH y oxígeno disuelto.

Los parámetros fisicoquímicos y biológicos se determinaron por los métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales, descritos en estándar Methods for the Examination of Water & Waste Water.

En cada punto se captó una muestra de agua para análisis posterior en el laboratorio.



## 2.6. Parámetros determinados en el laboratorio

Los parámetros determinados en el laboratorio se muestran en la tabla VI.

Tabla VI. Lista de parámetros determinados en el laboratorio para este estudio

| Variable                           | Tipo de parámetro |         |           |
|------------------------------------|-------------------|---------|-----------|
|                                    | Físico            | Químico | Biológico |
| Nitratos                           |                   | X       |           |
| Demanda bioquímica de oxígeno DBO5 |                   |         | X         |
| Demanda química de oxígeno         |                   |         | X         |
| Coliformes fecales                 |                   |         | X         |
| Sólidos suspendidos totales        | X                 |         |           |
| Sólidos disueltos totales          | X                 |         |           |
| Turbiedad                          | X                 |         |           |
| Fosfatos                           |                   | X       |           |
| Conductividad eléctrica            |                   | X       |           |

Fuente: elaboración propia.

Con los resultados de los análisis de laboratorio, se seleccionaron los parámetros requeridos para el cálculo del ICA. Luego, para cada parámetro se determinó el factor de calidad correspondiente, enseguida los factores de ponderación. Con el factor de calidad, el factor de ponderación y la ecuación uno (1) se determinó el índice ICA para cada vertedero.

Con los resultados de los análisis de laboratorio, se seleccionaron los parámetros requeridos para el cálculo del ISCA, con las ecuaciones de la tres (3) a la catorce (14) se obtuvieron los factores de calidad para cada parámetro. Y con la ecuación dos (2), se determinó el ISCA, para cada vertedero.

## **2.7. Cantidad representativa de muestras**

Como complemento a los datos proporcionados de los muestreos realizados en el periodo comprendido de los años 2007-2014 y debido a que en los mismos no se evaluaron el total de parámetros necesarios para realizar el cálculo de los Índices de Calidad del Agua ICA-NSF e ISCA, se determinó la realización de cuatro muestreos en los tres puntos ubicados en la planta de tratamiento de agua Santa Luisa.



### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Resultados de los Índices de Calidad del Agua ICA-NSF e ISCA

En la tabla VII observan los resultados de los Índices de Calidad del Agua ICA-NSF e ISCA para los muestreos realizados en los puntos 1, 2 y 3 ya definidos.

Tabla VII. **Resultados de los Índices de Calidad del Agua ICA-NSF e ISCA de los muestreo realizados**

| ÍNDICE | Punto de muestreo | FECHA DE MUESTREO |            |            |                         | Promedio | Rango ICA               | Comentario  |
|--------|-------------------|-------------------|------------|------------|-------------------------|----------|-------------------------|---|
|        |                   | 26/08/2015        | 31/08/2015 | 19/10/2015 | 17/11/2015              |          |                         |   |
| ICA    | Punto núm.1       | 50,57             | 43,02      | 36,22      | 35,40                   | 41,30    | Mala calidad (26-50)    | Las aguas estan experimentando problemas de contaminación |
|        | Punto núm.2       | 30,16             | 43,02      | 33,58      | 34,82                   | 35,39    |                         |   |
|        | Punto núm.3       | 77,51             | 34,39      | 66,90      | 92,81                   | 67,90    | Mediana calidad (51-70) | Las aguas tienen menos diversidad de organismos acuaticos |
|        |                   |                   |            |            | <b>Promedio General</b> | 48,20    |                         |   |

| ÍNDICE | Punto de muestreo | FECHA DE MUESTREO |            |            |                         | Promedio | Rango ISCA  |
|--------|-------------------|-------------------|------------|------------|-------------------------|----------|---|
|        |                   | 26/08/2015        | 31/08/2015 | 19/10/2015 | 17/11/2015              |          |   |
| ISCA   | Punto núm.1       | 135,77            | 137,60     | 165,98     | 309,95                  | 187,33   | Consumo humano con tratamiento Convencional (61-85) |
|        | Punto núm.2       | 142,54            | 137,25     | 139,73     | 196,35                  | 153,97   |   |
|        | Punto núm.3       | 126,97            | 173,23     | 174,45     | 191,82                  | 166,62   |   |
|        |                   |                   |            |            | <b>Promedio General</b> | 169,30   |   |

Fuente: elaboración propia

En la tabla VIII se presentan los resultados por vertedero, fecha de muestreo, su comparación con la norma de fuentes de agua y el tipo de tratamiento necesario para los nueve parámetros requeridos para determinar los Índices de Calidad del Agua ICA-NSF e ISCA.

Tabla VIII. Valores de los parámetros obtenidos en los muestreos realizados

| ICA                            |                   | Fecha de muestreo |            |            |            | Norma de fuentes de agua |                     |
|--------------------------------|-------------------|-------------------|------------|------------|------------|--------------------------|---------------------|
| Parámetro                      | Punto de muestreo | 26/08/2015        | 31/08/2015 | 19/10/2015 | 17/11/2015 | L.M.A                    | Tipo de tratamiento |
| OD %                           | Punto núm.1       | 25                | 29         | 45         | 99         | >30 %                    | Tipo A3             |
|                                | Punto núm.2       | 28                | 29         | 32         | 53         | >30 %                    | Tipo A3             |
|                                | Punto núm.3       | 29                | 49         | 49         | 58         | >30 %                    | Tipo A3             |
| Coliformes fecales NMP/100 ml* | Punto núm.1       | 190               | 130        | 240        | 240        | 5000-50000               | Tipo A2             |
|                                | Punto núm.2       | 270               | 126        | 240        | 240        | 5000-50000               | Tipo A2             |
|                                | Punto núm.3       | 190               | 337        | 240        | 240        | 5000-50000               | Tipo A2             |
| pH                             | Punto núm.1       | 6,11              | 7,18       | 6,7        | 6,63       | 6.5-8.5                  | Tipo A1             |
|                                | Punto núm.2       | 5,78              | 7,15       | 6,5        | 6,47       | 6.5-8.5                  | Tipo A1             |
|                                | Punto núm.3       | 6,34              | 7,36       | 6,4        | 6,7        | 6.5-8.5                  | Tipo A1             |
| DBO mg/l                       | Punto núm.1       | 2,78              | 4          | 2,78       | 5,56       | 6                        | Tipo A2             |
|                                | Punto núm.2       | 3,11              | 4,5        | 4,1        | 7,23       | 6                        | Tipo A3             |
|                                | Punto núm.3       | 9,73              | 9          | 12         | 10,24      | 6                        | Tipo A3             |
| Temperatura °C                 | Punto núm.1       | 19,3              | 18,5       | 18,6       | 18,8       | 25                       | Tipo A1             |
|                                | Punto núm.2       | 19,2              | 18,7       | 19,2       | 18,8       | 25                       | Tipo A1             |
|                                | Punto núm.3       | 19,1              | 19,7       | 18,7       | 19,16      | 25                       | Tipo A1             |
| Fosfatos mg/l                  | Punto núm.1       | 21                | 18         | 22         | 20,3       | 0,7                      | Tipo A3             |
|                                | Punto núm.2       | 27                | 24,6       | 36         | 29,2       | 0,7                      | Tipo A3             |
|                                | Punto núm.3       | 33                | 32         | 28         | 31         | 0,7                      | Tipo A3             |
| Nitratos mg/l                  | Punto núm.1       | 9                 | 7,3        | 8,6        | 8,3        | 45                       | Tipo A1             |
|                                | Punto núm.2       | 10,86             | 7,6        | 22,5       | 13,6       | 45                       | Tipo A1             |
|                                | Punto núm.3       | 23,1              | 24,2       | 14,5       | 20,6       | 45                       | Tipo A1             |
| Turbiedad UNT                  | Punto núm.1       | 11,3              | 23,2       | 26,5       | 20,3       |                          |                     |
|                                | Punto núm.2       | 16,1              | 24,5       | 31,5       | 24         |                          |                     |
|                                | Punto núm.3       | 44,7              | 5,57       | 28,2       | 20         |                          |                     |
| Sólidos disueltos totales mg/l | Punto núm.1       | 250               | 200        | 324        | 122        | 1500                     | Tipo A1             |
|                                | Punto núm.2       | 325               | 180        | 276        | 104        | 1500                     | Tipo A1             |
|                                | Punto núm.3       | 288               | 284        | 378        | 143        | 1500                     | Tipo A1             |

\* Aplicación directa en la curva como NMP/100 ml

Continuación Tabla VIII.

| ISCA                                |                   | Fecha de muestreo |            |            |            | Norma de fuentes de agua |                     |
|-------------------------------------|-------------------|-------------------|------------|------------|------------|--------------------------|---------------------|
| Parámetro                           | Punto de muestreo | 26/08/2015        | 31/08/2015 | 19/10/2015 | 17/11/2015 | L.M.A                    | Tipo de tratamiento |
| Oxígeno disuelto<br>mg/l            | Punto núm.1       | 25                | 29         | 45         | 99         | >30%                     | Tipo A3             |
|                                     | Punto núm.2       | 28                | 29         | 32         | 53         | >30%                     | Tipo A3             |
|                                     | Punto núm.3       | 29                | 49         | 49         | 58         | >30%                     | Tipo A3             |
| DQO<br>mg/l                         | Punto núm.1       | 5                 | 7,3        | 8,12       | 6,8        | 10                       | Tipo A1             |
|                                     | Punto núm.2       | 5,5               | 8,7        | 10,1       | 8,1        | 10                       | Tipo A1             |
|                                     | Punto núm.3       | 17,9              | 14,7       | 18,5       | 17,03      | 10                       | Tipo A3             |
| Temperatura<br>°C                   | Punto núm.1       | 19,3              | 18,5       | 18,6       | 18,8       | 25                       | Tipo A1             |
|                                     | Punto núm.2       | 19,2              | 18,7       | 19,2       | 18,8       | 25                       | Tipo A1             |
|                                     | Punto núm.3       | 19,1              | 19,7       | 18,7       | 19,16      | 25                       | Tipo A1             |
| Conductividad eléctrica             | Punto núm.1       | 110,6             | 130        | 132,5      | 124,36     | 1,000                    | Tipo A1             |
|                                     | Punto núm.2       | 112,6             | 126        | 142        | 126,86     | 1,000                    | Tipo A1             |
|                                     | Punto núm.3       | 382               | 337        | 359,2      | 359,4      | 1,000                    | Tipo A1             |
| Sólidos suspendidos totales<br>mg/l | Punto núm.1       | 5                 | 37         | 42         | 60         | 25                       | Tipo A3             |
|                                     | Punto núm.2       | 5                 | 31         | 50         | 42         | 25                       | Tipo A3             |
|                                     | Punto núm.3       | 7                 | 44         | 25         | 62         | 25                       | Tipo A3             |

Tipo A1: Tratamiento físico simple y desinfección.

Tipo A2: Tratamiento físico y químico normales y desinfección

Tipo A3: Tratamiento físico y químico intensivo, afino y desinfección

Fuente: elaboración propia.

En el apéndice se muestra la tabla de calidad de aguas superficiales destinadas para potabilización y los tratamientos que deben recibir las aguas para su potabilización, la cual es la utilizada para comparar la tabla VII.

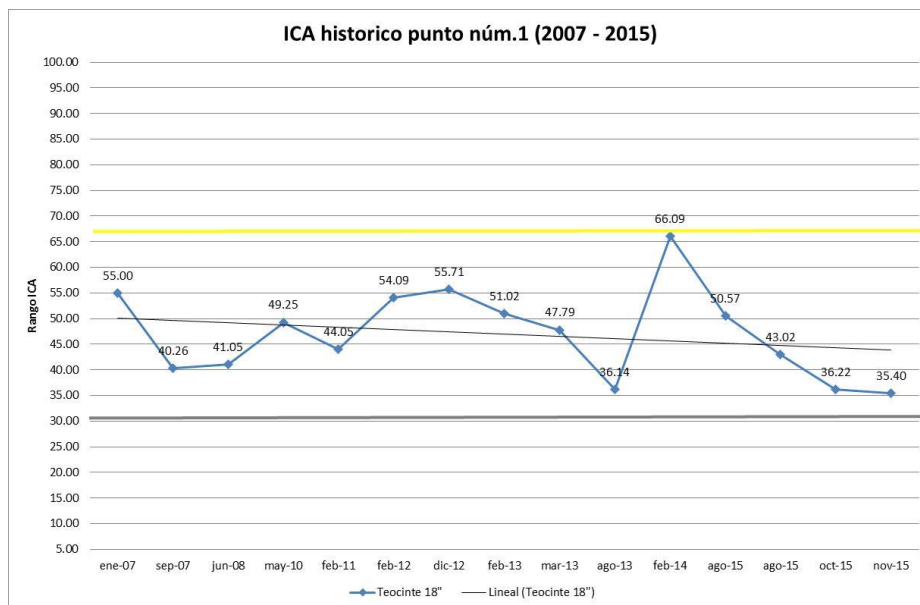


## 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 4.1. Índices de calidad del agua

En la figura 7 se observan los resultados del Índice de Calidad del Agua ICA para los muestreos realizados durante los años 2007-2015.

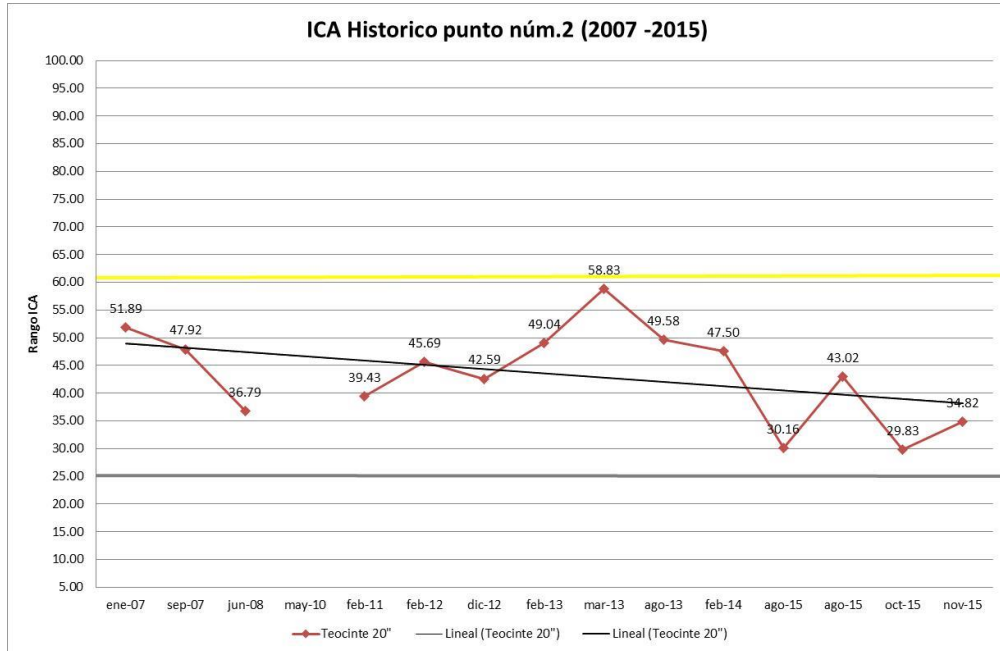
Figura 7. Índice de calidad del agua histórico Teocinte 18” (2007-2015)



Fuente: elaboración propia

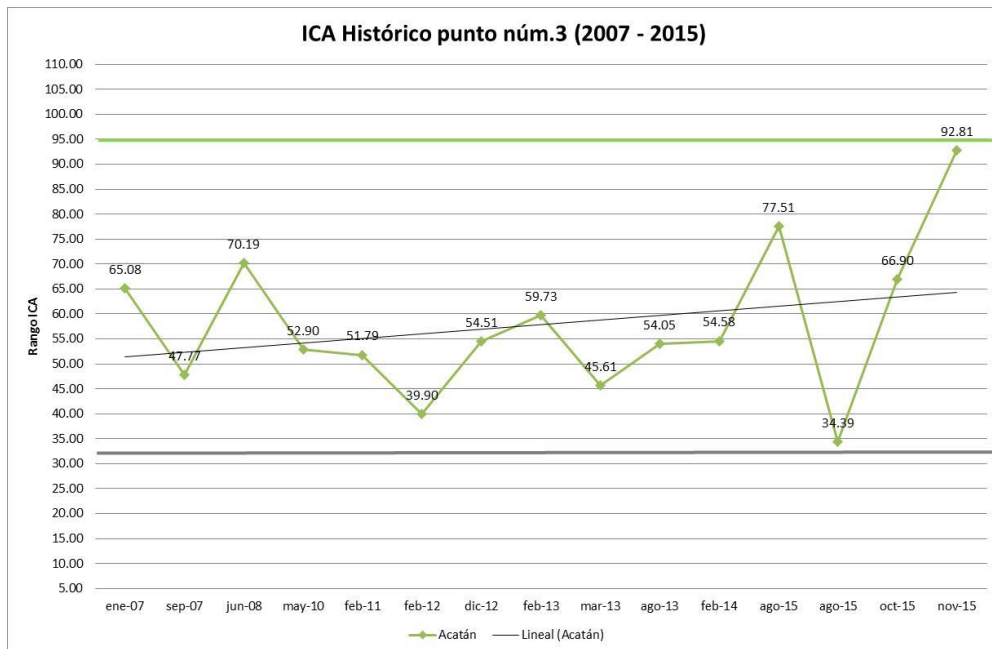


Figura 8. Índice de calidad del agua histórico Teocinte 20" (2007-2015)



Fuente: elaboración propia

Figura 9. Índice de calidad del agua histórico Acatán (2007-2015)



Fuente: elaboración propia

Durante el periodo muestreado de los años 2007-2014 no se analizaron los siguientes parámetros: oxígeno disuelto, DBO, fosfatos, coliformes fecales y nitratos, por lo tanto se tuvo que realizar la corrección en el factor de ponderación de evaluación del ICA-NSF, para esto se sumaron los pesos de estas variables y se dividieron dentro de los valores con los que se contaban.

Se puede observar el detrimento que han sufrido los cuerpos de agua en el transcurso de 15 años (2007-2015), la media del ICA-NSF para los tres puntos muestreados se encuentra en 49,78, valor que se encuentra en la categoría de mala calidad, este tipo de agua tiene una baja diversidad de vida acuática y presenta problemas de contaminación.

Los límites máximos de los puntos 1 y 2 se encuentran entre 60 y 65, pero solo dos valores llegan a este punto, por lo que no son significativos y no deben ser tomados en cuenta para decisiones sobre el manejo del río Teocinte. En el año 2010 no se cuentan con datos para realizar análisis.

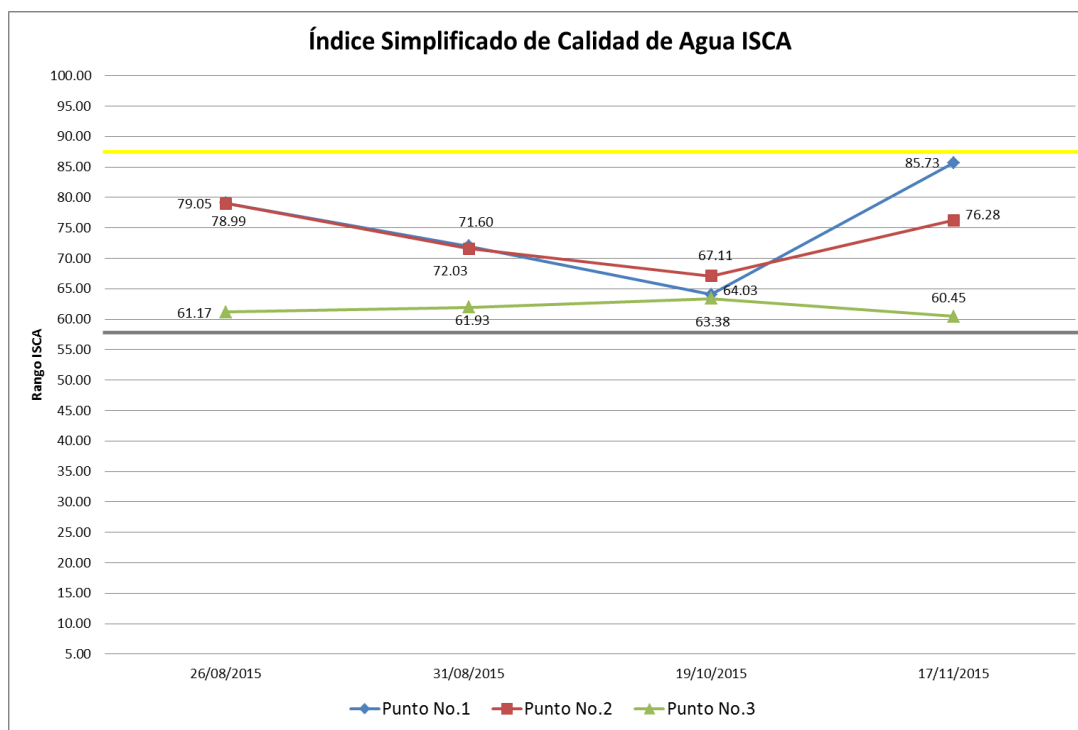
El Punto 3 presenta mejor calidad, dos valores se encuentran en la categoría de excelente, esto son datos aislados que no son representativos.

Sin embargo, para el ICA-NSF el agua de los ríos Teocinte y Acatán se encuentra dentro de los límites donde aún es posible tratarse para consumo humano.

Para el Índice Simplificado de Calidad del Agua ISCA no es posible realizar un análisis histórico, ya que se debe tener la información de los cinco parámetros que el índice requiere, no puede recalcularse el índice.

Este método es sencillo de calcular, es económico y rápido de determinar, tres parámetros se determinan en campo y dos en laboratorio. En poco tiempo se puede disponer de los resultados. Es un método útil y confiable para tomar decisiones sobre fuentes de agua para consumo humano.

Figura 10. **ISCA de muestreos realizados**



Fuente: elaboración propia

De acuerdo con la valoración de la calificación para el ISCA, la calidad del agua se encuentra en apta para consumo humano con tratamiento convencional, sin embargo, para validar estos datos se debe complementar el ISCA con otros índices para obtener una visión real de la calidad del agua.

## CONCLUSIONES

1. Se comprueba la hipótesis planteada afirmativamente en este estudio, donde los Índice de Calidad del Agua ICA-NSF e ISCA se encuentran entre los rangos de (26-70 para el ICA y 46-85 para el ISCA), establecidos para realizar el tratamiento para consumo humano.
2. Los Índices de Calidad del Agua ICA-NSF e ISCA para los muestreos realizado durante el periodo de agosto a noviembre 2015 oscilaron en el rango de 26-70 para el ICA y 46-85 para el ISCA.
3. Los valores de los Índices de Calidad del Agua ICA-NSF histórico de los años 2007 al 2015 de los ríos que abastecen la planta Santa Luisa, presenta una tendencia negativa durante el periodo de tiempo.
4. Los resultados obtenidos en el periodo del 2007-2015 al ser comparados con los valores de la Norma de fuentes de agua de OMS, cumplen con los límites de la misma, por lo que dicha agua puede ser tratada para consumo humano.



## RECOMENDACIONES

1. Realizar monitoreos mensuales por parte de la Empresa Municipal de Agua de los parámetros establecidos en el ICA-NSF e ISCA, para contar con una base de datos que pueda generar información para evaluar los Índices de Calidad del Agua en la planta Santa Luisa.
2. Hacer el análisis del ICA-NSF o ISCA, en diferentes partes de los ríos Teocinte y Acatán, antes de llegar a la presa, tomando en consideración los principales usos del suelo en los tramos evaluados, así poder definir las condiciones ambientales de los ríos.
3. Realizar estudios complementarios en la planta de Tratamiento Santa Luisa sobre el resto de ICA, como el DINUS, CETESB, Rojas, ICAUCA, DWQI, IAP y UWQI, compararlo con este estudio y proponer metodologías para la evaluación de la calidad del agua en ríos de Guatemala.
4. Dependiendo del nivel de riesgo sanitario (químico o microbiológico) en los ríos que abastecen la planta de tratamiento de agua Santa Luisa, se recomienda que el ICA o ISCA desarrollado se adapte para una fuente específica y considerar los parámetros asociados al riesgo.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Calculo de NSF Índice de calidad del agua, Wilkes University Center for Environmental Quality Environmental Engineering and Earth Sciences, 1984, 75 p.
2. CEPIS/OMS/OPS, *Tratamiento de agua para consumo humano, plantas de filtración rápida*, Manual 1, tomo 1, capítulo 1, versión electrónica. Lima Perú, 2004, 150 p.
3. Colilert, Quanty-Tray/2000 y Defined Sustrate Tecnology, IDEXX Laboratories, Inc de los Estados Unidos.
4. CHITAY Rolando; GARCÍA Óscar. *Propuesta de plan de saneamiento para la microcuenca del río Teocinte, municipio de San José Pínula*, Tesis Magister MSc. Ingeniería Sanitaria. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria (ERIS); junio 2006, 150p.
5. DINIUS, S. H. *Disign of a Water Quality Index* W:R: V23 #5, USA, 1987, 833-843P.
6. GONZALES, José. *Evaluación de la planta de tratamiento de agua potable Santa Luisa*. Tesis Magister MSc. Ingeniería Sanitaria. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria (ERIS); Noviembre 1995, 125p.



7. HERNÁNDEZ, Aurelio. *Depuración de Aguas Residuales*. Madrid, 1988. 197 p.
8. METCALF Y HEDDY. *Ingeniería de las aguas residuales, tratamiento vertido y reutilización*. USA, MacGraw-Hill, 1997, 350 p.
9. MÉTODOS normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, 1992 p.
10. QUERALT I TORRELL, Ramón. *La Qualitat de Les, 1981*. 15 p.
11. RIVERA, Jorge. *Determinación de los índices de calidad y coeficientes cinéticos de autodepuración del agua, en la parte alta de la cuenca del río Naranjo, ubicada en los Departamentos de San Marcos y Quetzaltenango*. Tesis Magíster MSc. Ingeniería Sanitaria. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria (ERIS) 2008. 134 p.
12. RIVERA, Carlos. *Evaluación de la calidad del agua para fines de consumo humano de tres fuentes cercanas a la población de Santa María de Jesús, Sacatepéquez, mediante la interpretación de análisis físico-químico-bacteriológico de muestras colectadas*. Tesis Magister MSc. Ingeniería Sanitaria. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria (ERIS); 1990, 140 p.
13. SARAVIA, Pedro. *Contaminación del Agua*. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2007. 110 p.

14. STÁNDAR Methods for the examination of wáter & wastewater.  
Maryland: Victor Graphics, Inc. 1992, 550 p.
  
15. Streeter y Phelps *A Study Of The Pollution And Natural Purification Of The Ohio River. Factors Concerned in the Phenomena of Oxidation and Reaeration, United States Public Health Service Public Health Bulletin No.146 February, 1985, 69 p, version electronica.*
  
16. SAWYER, Clair N. Perry Mc Carty. *Chemistry for Environmental Engineering.* 3th Edition. McGraw-Hill Publishing Company, 1978, 200 p.



## **APÉNDICES**



Apéndice 1. Análisis de laboratorio y campo realizados durante los años 2007-2014

| <b>Resultados de los parámetros analizados punto 1 (vertedero 18") río Teocinte 2007-2014</b> |                        |                        |                     |                        |                        |                        |                        |          |             |        |                        |
|---|------------------------|------------------------|---------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|----------|-------------|--------|------------------------|
| VERTEDERO LINEA 18 "RIO TEOCINTE"   |                        |                        |                     |                        |                        |                        |                        |          |             |        |                        |
| PARÁMETRO   | ene-07                 | sep-07                 | jun-08              | may-10                 | feb-11                 | feb-12                 | dic-12                 | feb-13   | mar-13      | ago-13 | feb-14                 |
| ASPECTO   | Turbio                 | TURBIA                 | Turbio              | Turbia                 | Lig. Turbio            | Lig. Turbia            | Turbia                 | Turbia   | Lig. Turbia | Turbia | Turbia                 |
| COLOR unidades  | 42                     | 78                     | 280                 | 34                     | 16                     | 11                     | 55                     | 14       | 14          | 350    | 50                     |
| TURBIEDAD   | 28                     | 55,7                   | 165                 | 18,9                   | 11,7                   | 3,82                   | 43                     | 8,14     | 6,89        | 136    | 7,65                   |
| pH  | 7                      | 6,8                    | 6,7                 | 6,82                   | 6,47                   | 7,05                   | 6,96                   | 6,4      | 6,45        | 6,22   | 7,18                   |
| TEMPERATURA °C  | 20                     | 20                     | 20                  | 20,9                   | 18,4                   | 18,8                   | 18,5                   | 18,5     | 19,5        | 22,5   | 18                     |
| SOLIDOS TOTALES mg/l  | 129                    | 140                    | 270                 | 99                     | 104                    | 182                    | 114                    | 97       | 94          | 123    | 9                      |
| SOLIDOS EN SUSPENSION mg/l  | 38                     | 63                     | 190                 | 3                      | 3                      | 3                      | 9                      | 7        | 6           | 9      | 11                     |
| SOLIDOS DISUELTOS mg/L  | 78                     | 63                     | 66                  | 88                     | 67                     | 69                     | 69                     | 64       | 59          | 83     | 52                     |
| CONDUCTIVIDAD ELECTRICA micromhos/cm  | 148                    | 119                    | 125                 | 166,5                  | 125,8                  | 126,4                  | 130                    | 212,4    | 112,2       | 157,5  | 97,4                   |
| CLORUROS mg/L   | 10                     | 10                     | 8                   | 15,5                   | 12,5                   | 9                      | 11,5                   | 9,5      | 11          | 10     | 9,5                    |
| FLUORUROS mg/L  | 0,07                   | 0,06                   | 0,16                | 0,07                   | 0,05                   | 0,2                    | 0                      | 0,22     | 0,23        | 0,05   | 0,15                   |
| NITRITOS mg/l   | 0,0066                 | 0,323                  | 0,049               | 0,03                   | 0,033                  | 0,043                  | 0                      | 0        | 0,038       | 0,035  | 0                      |
| NITRATOS mg/l   | 9,24                   | 10,78                  | 11,44               | 22                     | 5,06                   | 4,4                    | 3,2                    | 7,4      | 7,9         | 21,1   |                        |
| CLORO RESIDUAL mg/L   |                        |                        | 3,4                 |                        |                        |                        |                        |          |             |        |                        |
| OXIGENO DISUELTO  |                        |                        |                     |                        | 2,18                   |                        |                        |          |             |        |                        |
| DQO   |                        |                        |                     |                        |                        | 37                     |                        |          |             |        |                        |
| DBO   |                        |                        |                     |                        |                        | 5,19                   |                        |          |             |        |                        |
| FOSFATOS  |                        |                        |                     |                        |                        |                        |                        |          |             |        |                        |
| COLIFORMES TOTALES  | > 16 X 10 <sup>4</sup> | > 16 X 10 <sup>4</sup> | 5 X 10 <sup>5</sup> | > 16 X 10 <sup>4</sup> | > 16 X 10 <sup>4</sup> | > 16 X 10 <sup>3</sup> | > 16 X 10 <sup>3</sup> | 80       | 500         |        | > 28 X 10 <sup>3</sup> |
| COLIFORMES FECALES  | 1,66E+03               | 1,60E+04               | 5,00E+05            | 1,60E+05               | 1,60E+05               | 1,60E+04               | 1,60E+06               | 1,40E+03 | 5,00E+02    |        | 1,60E+05               |

Fuente: elaboración propia con datos de EMPAGUA

| <b>Resultados de los parámetros analizados punto 2 (vertedero 20") río Teocinte 2007-2014</b> |                        |                        |                      |                        |                        |                        |        |        |        |                        |  |
|---|------------------------|------------------------|----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|--------|--------|--------|------------------------|--|
| VERTEDERO LINEA 20 "RIO TEOCINTE"   |                        |                        |                      |                        |                        |                        |        |        |        |                        |  |
| PARÁMETRO   | ene-07                 | sep-07                 | jun-08               | feb-11                 | feb-12                 | dic-12                 | feb-13 | mar-13 | ago-13 | feb-14                 |  |
| ASPECTO   | Turbio                 | TURBIO                 | Turbip               | Turbio                 | Turbia                 | Turbia                 | Turbia | Clara  | Turbia | Turbia                 |  |
| COLOR   | 48                     | 64                     | 275                  | 31                     | 36                     | 85                     | 17     | 18     | 219    | 95                     |  |
| TURBIEDAD   | 31                     | 54                     | 171                  | 56,1                   | 14,4                   | 51,4                   | 9,96   | 5,56   | 50,2   | 13,1                   |  |
| pH  | 7                      | 6,9                    | 6,7                  | 6,55                   | 6,86                   | 6,22                   | 6,36   | 6,43   | 6,35   | 6,57                   |  |
| TEMPERATURA °C  | 20                     | 20                     | 20                   | 18,3                   | 19,2                   | 18,6                   | 18,1   | 19,5   | 22,3   | 19,5                   |  |
| SOLIDOS TOTALES mg/l  | 124                    | 161                    | 327                  | 189                    | 239                    | 116                    | 96     | 90     | 76     | 97                     |  |
| SOLIDOS EN SUSPENSION mg/l  | 43                     | 68                     | 230                  | 5                      | 4                      | 8                      | 6      | 5      | 4      | 10                     |  |
| SOLIDOS DISUELTOS mg/L  | 68                     | 83                     | 73                   | 69                     | 74                     | 70                     | 64     | 58     | 48     | 68                     |  |
| CONDUCTIVIDAD ELECTRICA micromhos/cm  | 128                    | 157                    | 138                  | 129,7                  | 389                    | 131,1                  | 120,5  | 109    | 90,1   | 128,3                  |  |
| CLORUROS mg/L   | 9                      | 10                     | 10                   | 10,5                   | 12                     | 10,5                   | 8      | 10,5   | 9,5    | 7                      |  |
| FLUORUROS mg/L  | 0,06                   | 0,1                    | 0,13                 | 0                      | 0,13                   | 0                      | 0,2    | 0,14   | 0,04   | 0,14                   |  |
| NITRITOS mg/l   | 0,0066                 | 0,501                  | 0,047                | 0,044                  | 0,013                  | 10,5                   | 0      | 0,009  | 0,018  | 0,03                   |  |
| NITRATOS mg/l   | 9,68                   | 7,48                   | 9,46                 | 5,72                   | 6,6                    | 0                      | 11,2   | 3,6    | 15,4   |                        |  |
| OXIGENO DISUELTO  |                        |                        |                      | 4,58                   |                        |                        |        |        |        |                        |  |
| DQO   |                        |                        |                      |                        | 7                      |                        |        |        |        |                        |  |
| DBO   |                        |                        |                      |                        | 4,44                   |                        |        |        |        |                        |  |
| FOSFATOS  |                        |                        |                      |                        |                        |                        |        |        |        |                        |  |
| COLIFORMES FECALES  | > 14 X 10 <sup>2</sup> | > 16 X 10 <sup>3</sup> | 28 X 10 <sup>4</sup> | > 16 X 10 <sup>4</sup> | > 16 X 10 <sup>3</sup> | > 16 X 10 <sup>5</sup> | 80     | 500    |        | 26 X 10 <sup>2</sup>   |  |
| COLIFORMES TOTALES  | > 14 X 10 <sup>2</sup> | > 16 X 10 <sup>3</sup> | 9 X 10 <sup>4</sup>  | > 16 X 10 <sup>4</sup> | > 16 X 10 <sup>3</sup> | > 16 X 10 <sup>5</sup> | 330    | 500    |        | > 16 X 10 <sup>4</sup> |  |

Fuente: elaboración propia con EMPAGUA

**Resultados de los parámetros analizados punto 3 (vertedero río Acatán)  
2007-2014**

| VERTEDERO RIO ACATAN                 |                        |                        |        |                    |                    |                        |                      |                        |                        |        |                     |                     |
|--------------------------------------|------------------------|------------------------|--------|--------------------|--------------------|------------------------|----------------------|------------------------|------------------------|--------|---------------------|---------------------|
| PARÁMETRO                            | ene-07                 | sep-07                 | jun-08 | may-10             | feb-11             | feb-12                 | dic-12               | feb-13                 | mar-13                 | ago-13 | feb-14              | jul-14              |
| ASPECTO                              | Claro                  | Turbio                 | Claro  | Lig. Turbia        | Lig. Turbio        | Turbia                 | Lig. Turbia          | Turbia                 | Turbia                 | Turbia | Turbia              | Turbia              |
| COLOR                                | 6                      | 72                     | 3      | 14                 | 9                  | 70                     | 41                   | 43                     | 110                    | 303    | 65                  | 900                 |
| TURBIEDAD                            | 1,98                   | 51                     | 2,85   | 13                 | 10,7               | 132                    | 7,95                 | 20,9                   | 80,3                   | 60,9   | 12,7                | 270                 |
| pH                                   | 7,8                    | 7,5                    | 7,5    | 7,32               | 7,29               | 6,72                   | 6,9                  | 6,77                   | 7,05                   | 7,04   | 6,9                 | 6,8                 |
| TEMPERATURA °C                       | 21                     | 21                     | 21     | 22,1               | 21,7               | 20,6                   | 18,1                 | 16,6                   | 17,6                   | 23,2   | 16,7                | 23                  |
| SOLIDOS TOTALES mg/l                 | 149                    | 164                    | 131    | 140                | 192                | 239                    | 225                  | 245                    | 213                    | 130    | 211                 | 191                 |
| SOLIDOS EN SUSPENSION mg/l           | 3                      | 67                     | 3      | 2                  | 3                  | 4                      | 5                    | 10                     | 9                      | 4      | 11                  | 11                  |
| SOLIDOS DISUELTOS mg/L               | 138                    | 92                     | 119    | 121                | 163                | 190                    | 193                  | 200                    | 173                    | 104    | 182                 | 147                 |
| CONDUCTIVIDAD ELECTRICA micromhos/cm | 261                    | 173                    | 225    | 229                | 307                | 367                    | 363                  | 378                    | 327                    | 196,8  | 344                 | 277                 |
| CLORUROS mg/L                        | 16                     | 10                     | 7,5    | 19,5               | 20,5               | 19                     | 39,5                 | 35                     | 31,5                   | 14     | 29,5                | 26                  |
| FLUORUROS mg/L                       | 0,31                   | 0,11                   | 0,35   | 0,14               | 0,17               | 0,34                   | 0,13                 | 0,1                    | 0,16                   | 0,03   | 0,24                | 1,55                |
| NITRITOS mg/l                        | 0                      | 0,12                   | 0      | 0,092              | 0,015              | 1,254                  | 1,202                | 0                      | 1,85                   | 0,234  | 1,945               | 0,236               |
| NITRATOS mg/l                        | 7,94                   | 11,22                  | 3,3    | 9,9                | 10,12              | 15,62                  | 9,3                  | 3,7                    | 21,7                   | 17,3   |                     | 20,1                |
| Coliformes Fecales                   | > 14 X 10 <sup>2</sup> | > 16 X 10 <sup>3</sup> | 40     | 16X10 <sup>4</sup> | 16X10 <sup>4</sup> | 2800                   | >16X 10 <sup>5</sup> | 300                    | > 16 X 10 <sup>3</sup> |        | >16X10 <sup>4</sup> | >16X10 <sup>5</sup> |
| FOSFORO                              | > 14 X 10 <sup>2</sup> | > 16 X 10 <sup>3</sup> | 130    | 16X10 <sup>4</sup> | 16X10 <sup>4</sup> | > 16 X 10 <sup>3</sup> | >16X 10 <sup>5</sup> | > 16 X 10 <sup>3</sup> | > 16 X 10 <sup>3</sup> |        | >16X10 <sup>4</sup> | >16X10 <sup>5</sup> |

Fuente: elaboración propia con datos de EMPAGUA

Apéndice 2. Índice de Calidad del Agua ICA de los parámetros analizados para el periodo 2007 - 2014

| Fecha de Muestreo EMPAGUA | ICA        |                   |                   |
|---------------------------|------------|-------------------|-------------------|
|                           | Rio Acatan | Línea 20 Teocinte | Línea 18 Teocinte |
| <b>ene-07</b>             | 65,08      | 51,89             | 55,00             |
| <b>sep-07</b>             | 47,77      | 47,92             | 40,26             |
| <b>jun-08</b>             | 70,19      | 36,79             | 41,05             |
| <b>may-10</b>             | 52,90      |                   | 49,25             |
| <b>feb-11</b>             | 51,79      | 39,43             | 44,05             |
| <b>feb-12</b>             | 39,90      | 45,69             | 54,09             |
| <b>dic-12</b>             | 54,51      | 42,59             | 55,71             |
| <b>feb-13</b>             | 59,73      | 49,04             | 51,02             |
| <b>mar-13</b>             | 45,61      | 58,83             | 47,79             |
| <b>ago-13</b>             | 54,05      | 49,58             | 36,14             |
| <b>feb-14</b>             | 54,58      | 47,50             | 66,09             |

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Resultados de los muestreos *in situ* y de laboratorio de los vertederos Teocinte 18"y 20" y Acatán

| <b>Muestreo In situ # 1</b> |               |                     |                     |                    |
|-----------------------------|---------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| <b>Fecha</b>                | 26/08/2015    | <b>Lugar</b>        | Planta Santa Luisa  | <b>Hora:</b> 09:30 |
| <b>Parámetro</b>            | <b>Unidad</b> | <b>Teocinte 18"</b> | <b>Teocinte 20"</b> | <b>Acatán</b>      |
| Sólidos suspendidos         | mg/l          | 5                   | 5                   | 7                  |
| Nitratos                    | mg/l          | 9                   | 10,86               | 23,1               |
| Fosfatos                    | mg/l          | 21                  | 27                  | 33                 |
| Turbiedad                   | UTN           | 11,3                | 16,1                | 5,57               |
| DBO                         | mg/l          | 2,78                | 3,11                | 9,73               |
| DQO                         | mg/l          | 5                   | 5,5                 | 17,9               |
| Conductividad Eléctrica     | µh/cm         | 110,6               | 112,6               | 382                |
| pH                          | U.pH          | 6,11                | 5,78                | 6,34               |
| Oxígeno disuelto            | mg/l          | 2,31                | 2,58                | 2,68               |
| Temperatura agua            | °C            | 19,3                | 19,2                | 19,1               |
| Coliformes fecales          | NMP/100ml     | < 2                 | 27*10 <sup>2</sup>  | < 2                |

| <b>Muestreo In situ # 2</b> |               |                     |                     |                    |
|-----------------------------|---------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| <b>Fecha</b>                | 31/08/2015    | <b>Lugar</b>        | Planta Santa Luisa  | <b>Hora:</b> 16:30 |
| <b>Parámetro</b>            | <b>Unidad</b> | <b>Teocinte 18"</b> | <b>Teocinte 20"</b> | <b>Acatán</b>      |
| Sólidos suspendidos         | mg/l          | 37                  | 31                  | 44                 |
| Nitratos                    | mg/l          | 7,3                 | 7,6                 | 24,2               |
| Fosfatos                    | mg/l          | 18                  | 24,6                | 32                 |
| Turbiedad                   | UTN           | 23,2                | 24,5                | 26,3               |
| DBO                         | mg/l          | 4                   | 4,5                 | 9                  |
| DQO                         | mg/l          | 7,3                 | 8,7                 | 14,7               |
| Conductividad Eléctrica     | µh/cm         | 130                 | 126                 | 337                |
| pH                          | U.pH          | 7,18                | 7,15                | 7,36               |
| Oxígeno disuelto            | mg/l          | 2,77                | 2,74                | 4,48               |
| Temperatura agua            | °C            | 18,5                | 18,7                | 19,7               |
| Coliformes fecales          | NMP/100ml     | 130                 | 126                 | 337                |



| <b>Muestreo In situ # 3</b> |               |                     |                     |                    |
|-----------------------------|---------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| <b>Fecha</b>                | 19/10/2015    | <b>Lugar</b>        | Planta Santa Luisa  | <b>Hora:</b> 16:30 |
| <b>Parámetro</b>            | <b>Unidad</b> | <b>Teocinte 18"</b> | <b>Teocinte 20"</b> | <b>Acatán</b>      |
| Sólidos suspendidos         | mg/l          | 42                  | 50                  | 25                 |
| Nitratos                    | mg/l          | 8,6                 | 22,5                | 14,5               |
| Fosfatos                    | mg/l          | 22                  | 36                  | 28                 |
| Turbiedad                   | UTN           | 26,5                | 31,5                | 28,2               |
| DBO                         | mg/l          | 9,9                 | 14,1                | 12                 |
| DQO                         | mg/l          | 8,12                | 10,1                | 18,5               |
| Conductividad Eléctrica     | µh/cm         | 132,5               | 142                 | 359,2              |
| pH                          | U.pH          | 6,7                 | 6,5                 | 6,4                |
| Oxígeno disuelto            | mg/l          | 4,22                | 2,95                | 4,57               |
| Temperatura agua            | °C            | 18,6                | 18,8                | 18,7               |
| Coliformes fecales          | NMP/100ml     | ≥240                | ≥240                | ≥240               |

| <b>Muestreo In situ # 4</b> |               |                     |                     |                    |
|-----------------------------|---------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| <b>Fecha</b>                | 17/11/2015    | <b>Lugar</b>        | Planta Santa Luisa  | <b>Hora:</b> 10:30 |
| <b>Parámetro</b>            | <b>Unidad</b> | <b>Teocinte 18"</b> | <b>Teocinte 20"</b> | <b>Acatán</b>      |
| Sólidos suspendidos         | mg/l          | 60                  | 42                  | 62                 |
| Nitratos                    | mg/l          | 8,3                 | 13,6                | 20,6               |
| Fosfatos                    | mg/l          | 20,3                | 29,2                | 31                 |
| Turbiedad                   | UTN           | 20,3                | 24                  | 20                 |
| DBO                         | mg/l          | 5,56                | 7,23                | 10,24              |
| DQO                         | mg/l          | 6,8                 | 8,1                 | 17,3               |
| Conductividad Eléctrica     | µh/cm         | 124,36              | 126,86              | 359,4              |
| pH                          | U.pH          | 6,63                | 6,47                | 6,7                |
| Oxígeno disuelto            | mg/l          | 3,1                 | 2,75                | 3,91               |
| Temperatura agua            | °C            | 18,8                | 18,9                | 19,16              |
| Coliformes fecales          | NMP/100ml     | ≥240                | ≥240                | ≥240               |

Fuente: elaboración Propia

Apéndice 4. Calidad de agua superficial destinada a potabilización, Norma de fuentes de agua OMS.

| <i>Parámetro</i>               | <i>Unidad</i>                      | <i>Tipo A1</i> | <i>Tipo A2</i> | <i>Tipo A3</i> |
|--------------------------------|------------------------------------|----------------|----------------|----------------|
| pH                             | u. pH                              | 6,5 - 8,5      | 5,5 - 9,0      | 5,5 - 9,0      |
| Color                          | mg/l Pt-Co                         | 20             | 100            | 200            |
| Sólidos Suspensión             | mg/l                               | 25             | -              | -              |
| Temperatura                    | °C                                 | 25             | 25             | 25             |
| Conductividad                  | µS/cm                              | 1.000          | 1.000          | 1.000          |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>   | mg/l                               | 50             | 50             | 50             |
| Fluoruros                      | mg/l                               | 1,5            | 1,7            | 1,7            |
| Fe disuelto                    | mg/l                               | 0,3            | 2              | 1              |
| Mn                             | "                                  | 0,05           | 0,1            | 1              |
| Cu                             | "                                  | 0,05           | 0,05           | 1              |
| Zinc                           | "                                  | 3              | 5              | 5              |
| B                              | "                                  | 1              | 1              | 1              |
| As                             | "                                  | 0,05           | 0,05           | 1              |
| Cd                             | "                                  | 0,005          | 0,005          | 0,005          |
| Cr total                       | "                                  | 0,05           | 0,05           | 0,05           |
| Pb                             | "                                  | 0,05           | 0,05           | 0,05           |
| Se                             | "                                  | 0,01           | 0,01           | 0,01           |
| Hg                             | "                                  | 0,001          | 0,001          | 0,001          |
| Ba                             | "                                  | 0,1            | 1              | 1              |
| Cianuros                       | mg/l CN <sup>-</sup>               | 0,05           | 0,05           | 0,05           |
| Sulfatos                       | " SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>    | 250            | 250            | 250            |
| Cloruro                        | " Cl                               | 200            | 200            | 200            |
| Detergentes                    | " LAS                              | 0,2            | 0,2            | 0,5            |
| Fosfatos                       | " P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>    | 0,4            | 0,7            | 0,7            |
| Fenoles                        | " C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH | 0,001          | 0,05           | 0,1            |
| Hidroc. extraídos en éter      | "                                  | 0,05           | 0,2            | 1              |
| HAP                            | "                                  | 0,0002         | 0,0002         | 0,001          |
| Plaguicidas totales            | "                                  | 0,001          | 0,0025         | 0,005          |
| DQO                            | " O <sub>2</sub>                   | -              | -              | 30             |
| O <sub>2</sub> disuelto        | % saturación                       | >70            | >50            | >30            |
| DBO <sub>5</sub>               | mg/l O <sub>2</sub>                | <3             | <5             | <7             |
| N-Kjeldahl                     | mg/l N                             | 1              | 2              | 3              |
| Amoníaco                       | " NH <sub>3</sub>                  | 0,05           | 1,5            | 4              |
| Sust. extraídas con cloroformo | mg/l                               | 0,01           | 0,2            | 0,5            |
| Coliformes totales             | col/100 ml                         | 50             | 5.000          | 50.000         |
| Coliformes fecales             | " "                                | 20             | 2.000          | 20.000         |
| Estreptococos fecales          | " "                                | 20             | 1.000          | 10.000         |
| Salmonellas                    | "                                  | 0/5 l          | 0/1 l          | -              |

Tratamiento que deben recibir las aguas para potabilización:  
 Tipo A1, tratamiento físico simple y desinfección.  
 Tipo A2, tratamiento físico y químico normales y desinfección.  
 Tipo A3, tratamiento físico y químico intensivos, afino y desinfección.

Fuente: Norma de fuentes de agua OMS