



**UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO**

---

---

**DIVISION DE CIENCIAS E INGENIERIAS**

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LAS FUENTES DE  
ABASTECIMIENTO PARA EL POBLADO DE MAHAHUAL,  
QUINTANA ROO.**

**TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE:  
LICENCIADA EN INGENIERIA AMBIENTAL**

**Presenta**

**COBOS CASTRO LINDA SARAY**

**Director de tesis**

**Biol. Alberto Pereira Corona**

Chetumal Quintana Roo, Julio de 2006

049767



## UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO

---


---

Tesis elaborada bajo la supervisión del Comité de Tesis del programa de Licenciatura y aprobada como requisito para obtener el grado de:


LICENCIADA EN INGENIERIA AMBIENTAL

### COMITÉ DE TESIS

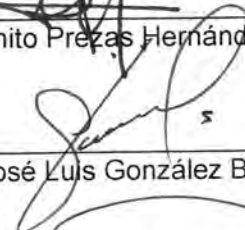
DIRECTOR:

  
Biol. Alberto Pereira Corona


ASESOR:

  
M.C. Benito Prezas Hernández

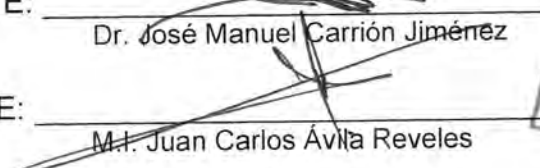
ASESOR:

  
Q.F.B. José Luis González Bucio

ASESOR SUPLENTE:

  
Dr. José Manuel Carrión Jiménez

ASESOR SUPLENTE:

  
M.I. Juan Carlos Ávila Reveles



Chetumal, Quintana Roo, Julio de 2006

A ustedes, las futuras grandes mujeres:  
Karla y Linda

“El agua Crea y Destruye, la mano del hombre Transforma su Calidad”

## *Agradecimientos*

---

Gracias dios por ser el mejor consejero...

Gracias Julio y Carlos, mis mejores hermanos.

Gracias a ti padre, por ser el patrocinador oficial de todos mis sueños. A ti madre Linda, gracias por tus desvelos y preocupaciones. Siempre están en mis pensamientos.

Gracias Javier, porque más que un motivo de rebeldía, eres un gran momento de inspiración.

Gracias Mari, Nancy y Vanessa, ustedes me dieron los peores consejos, pero gracias a esos consejos cometí los errores necesarios para ser mejor.

Gracias a todos mis compañeros de la décima generación de ingeniería ambiental.

Gracias a todos mis maestros. A los buenos maestros, gracias por ser un gran ejemplo de enseñanza y amor por la profesión. A los malos maestros, simplemente gracias por mostrarme las piedras que puedo encontrar en mi camino.

Agradezco el apoyo económico brindado por el CEMIRN, dentro del proyecto "REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DEL PROGRAMA DE ORDENAMIENTO ECOLÓGICO TERRITORIAL DE LA REGIÓN COSTA MAYA".

Agradezco el apoyo brindado por mi director, Biol. Alberto Pereira Corona.

Agradezco el apoyo brindado por mis asesores, M.C. Benito Prezas Hernández y Quím. José Luis Gonzáles Bucio.

Agradezco el apoyo brindado para el procesamiento de las muestras, al personal encargado del Laboratorio de Química y Laboratorio de Recursos Naturales.

Agradezco el apoyo brindado por la población de Mahahual.

Gracias a usted Sr. Adrián por ser un gran colaborador.

## *Resumen*

---

El agua es el elemento primordial para la existencia humana, desafortunadamente su condición ha desmejorado. Hoy en día se observan importantes cuerpos de agua contaminados por la mano del hombre, principalmente por los efectos del desarrollo.

Las fuentes de abastecimiento de agua utilizadas en el poblado de Mahahual, Quintana Roo, se encuentran en deterioro. La calidad es pésima durante la temporada de lluvias, las fuentes de abastecimiento presentan coliformes fecales, debido al suelo permeable y falta de drenaje en el centro del poblado. Mientras que en la temporada de secas el agua tiene buena calidad, pese a esto, en secas las fuentes mantienen el nivel mas bajo en el volumen de agua, lo que disminuye su capacidad.

Mahahual esta contemplado como el principal centro turístico dentro de Costa Maya. Aunque no se cuenta con los valores oficiales de población para el 2006, se observa que de ser un pueblo de pescadores, Mahahual se ha convertido en un centro de gran desarrollo y por lo tanto ha tenido un aumento importante de población. Las nuevas condiciones de vida en Mahahual han ocasionado que los recursos naturales; en este caso agua, la demanda se mayor.

Es necesario que el tratamiento aplicado al agua por parte de CAPA sea supervisado, ya que los resultados obtenidos en el análisis muestran que el agua presenta coliformes fecales, cuando por norma no debe contenerlos. Se recomienda el cierre de los pozos ubicados dentro del poblado, para garantizar la salud pública y evitar problemas ambientales.

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LAS FUENTES DE  
ABASTECIMIENTO PARA EL POBLADO DE MAHAHUAL,  
QUINTANA ROO.**

---

**INDICE**

Índice general.....	I
Lista de fotos.....	II
Lista de figuras .....	III
Lista de graficas.....	IV
Lista de tablas .....	V
I.- Introducción.....	1
I.1.- Antecedentes.....	5
II.-Descripción del área.....	8
III.- Objetivos.....	10
IV.- Metodología.....	11
V.- Resultados.....	16
VI.- Análisis de Resultados.....	21
VII.- Discusión.....	46
VIII.- Conclusión.....	48
IX.-Recomendaciones.....	49
X.- Bibliografía.....	50
XI.- Anexos.....	53

## **Lista de fotos**

---

- Foto 1.** Fuente de abastecimiento nombrado "P-01"
- Foto 2.** Fuente de abastecimiento nombrado "P-02"
- Foto 3.** Fuente de abastecimiento nombrado "P-03"
- Foto 4.** Fuente de abastecimiento nombrado "P-04"
- Foto 5.** Fuente de abastecimiento nombrado "P-05"
- Foto 6.** Fuente de abastecimiento nombrado "P-06"
- Foto 7.** Fuente de abastecimiento nombrado "P-07"
- Foto 8.** Fuente de abastecimiento nombrado "P-08"
- Foto 9.** Fuente de abastecimiento nombrado "P-09"
- Foto 10.** Fuente de abastecimiento nombrado "P-10"
- Foto 11.** Fuente de abastecimiento nombrado "P-11"



## **Lista de gráficas**

---

**Gráfica 1.** Resultado anual de temperatura

**Gráfica 2.** Resultado anual de OD.

**Gráfica 3.** Resultado anual de pH.

**Gráfica 4.** Resultado anual de Turbidez.

**Gráfica 5.** Resultado anual de sólidos disueltos totales.

**Gráfica 6.** Resultado anual de grasas y aceites.

**Gráfica 7.** Resultado anual de SAAM

**Gráfica 8.** Resultado anual de fósforo.

**Gráfica 9.** Resultado anual de dureza total

**Gráfica 10.** Resultado anual de cloruro

**Gráfico 11.** Resultado anual de coliformes fecales.

## Lista de figuras

---

**Figura 1.** Principales zonas establecidas en Mahahual, Q.Roo.

**Figura 2.** PCA correspondiente al mes de julio del 2005.

**Figura 3.** PCA correspondiente al mes de octubre del 2005.

**Figura 4.** PCA correspondiente al mes de Marzo del 2006.

## Lista de tablas

---

**Tabla I.** División de la zona propuesta para el estudio de las fuentes de abastecimiento establecidas en Mahahual, Q.Roo.

**Tabla II.** Descripción de las fuentes utilizadas como abastecimiento de agua para el poblado de Mahahual, Q.Roo.

**Tabla III.** Resultados obtenidos en julio del 2005

**Tabla IV.** Resultados obtenidos en julio del 2005

**Tabla V.** Resultados obtenidos en octubre del 2005

**Tabla VI.** Resultados obtenidos en octubre del 2005

**Tabla VII.** Resultados obtenidos en marzo del 2006

**Tabla VIII.** Resultados obtenidos en marzo del 2006

**Tabla IX.** Matriz de correlación, realizada para resultados obtenidos en julio

**Tabla X.** Matriz de correlación, realizada para resultados obtenidos en octubre

**Tabla XI.** Matriz de correlación, realizada para resultados obtenidos en marzo del 2006

**Tabla XII.** Resultados de los parámetros físico, químicos y biológicos, medidos en el mes de julio

**Tabla XIII.** Resultados de parámetros físicos, químicos y biológicos, medidos en el mes de octubre

**Tabla XIV.** Resultados de los parámetros físicos, químicos y biológicos, medidos en el mes de marzo.

## I.- INTRODUCCIÓN

Se calcula que en la Tierra existen aproximadamente 1'385, 000.000 km<sup>3</sup> de agua. de los cuales el 97.35% es salada, el 2.08% se encuentra congelada en los polos y sólo una pequeña parte está efectivamente disponible para nuestras necesidades (Jiménez E., 2001).

La disponibilidad del agua no sólo depende de la cantidad, sino también de su calidad. Aunque haya agua, si está contaminada y se encuentra en una condición tal que no sea adecuada para el uso que se le quiere dar, su empleo se limita.

Los usos que se pueden dar al agua son variados y podemos agruparlos en siete rubros generales:

1. Consumo humano (bebida, cocina y procesamiento de alimentos).
2. Limpieza personal.
3. Cultivo de peces, mariscos o cualquier tipo de vida acuática.
4. Agricultura.
5. Industria.
6. Municipales (riego, lavado de coches, fuentes de ornato, lavado de calles e instalaciones públicas).
7. Recreativos (natación, veleo, etc.)

Pero, ¿Cómo garantizar que el agua es la indicada para el uso pretendido?, en México se aplica la norma NOM-127-SSA1-1994, la cual establece los límites permisibles de calidad y el tratamiento al que debe someterse el agua para su potabilización; esto cuando el agua se utilice para consumo humano. En el caso de los usos restantes, además de aplicar diferentes normas de calidad, se pueden construir y utilizar índices de calidad de acuerdo con el uso que se pretenda hacer de la misma.

El agua indicada para consumo humano es decir para ingestión (del latín: *poto = beber*) es aquella que ha tenido tratamiento de potabilización (de ahí la palabra agua potable), en la mayor parte de la República Mexicana, el agua es potabilizada mediante un tratamiento convencional como es la cloración.

México es un país que por su diversidad geográfica conjunta diferentes climas y áreas biogeográficas dando origen a una gran variedad de hábitats, entre los que destacan los ambientes costeros, presentes a lo largo de aproximadamente 11,500 Km. de franja litoral, bañados por aguas del Océano Pacífico, Golfo de México y Mar Caribe. En ellos se observan playas arenosas y rocosas de espectacular belleza, bahías, estuarios, ensenadas, zonas de manglar, praderas de pastos marinos, humedales y arrecifes de coral (<http://www.semarnat.gob.mx/qroo/oet2/oet1.shtml>).

Por situarse en zona costera, Quintana Roo es un estado con importantes atractivos turísticos para México y el mundo. Sin embargo, estar dentro de una zona de belleza natural privilegiada ha ocasionado que se desarrollen complejos turísticos de gran tamaño, lo que ha llevado a la sobrepoblación de estas zonas y a la sustitución de la naturaleza por edificios, estos dos efectos del desarrollo se agravan con el tiempo. Al crecer la población, aumenta la demanda de servicios básicos; el agua como buen ejemplo, si la población crece, las fuentes de abastecimiento tienen que aumentar su capacidad, en caso de que la capacidad de la fuente llegue al límite y termine con su función, el siguiente paso es usar nuevas fuentes de abastecimiento. El aumento de la capacidad puede ser una acción que conduzca a los acuíferos de las zonas con asentamientos descontrolados hacia la sobreexplotación.

La zona denominada "Costa Maya" ha mostrado en los últimos años un notable desarrollo. Dentro de ella se encuentran cuatro polos turísticos de atracción tanto para el turismo extranjero como para el nacional, siendo estos los siguientes:

- Pulticub (previsto, aún no desarrollado)
- Mahahual (en desarrollo incipiente)

- Xahuachol (previsto, aún no desarrollado)
- Xcalak (en desarrollo incipiente)

De estos cuatro centros, Mahahual es más atractivo para los inversionistas por el arribo de cruceros.

Mahahual era un pueblo pobremente desarrollado, su gente dedicada a la pesca, la población no contaba con servicio de agua y luz. El agua que utilizaban para las actividades cotidianas, incluso para beber, la obtenían mediante la excavación del subsuelo. Con el tiempo Mahahual ha dejado de ser un pueblo de pescadores para convertirse en el destino turístico más importante dentro de Costa Maya, esta transformación tiene como efectos el aumento en la demanda de servicios básicos. Para abastecer del servicio de agua potable en la población se realizó en 1998 bajo la supervisión de la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del estado de Quintana Roo (CAPA), los primeros estudios en algunos pozos para la identificación de las fuentes de abastecimiento de agua potable para todo Costa Maya (CAPA, 1998). En Mahahual, Quintana Roo, se estableció el pozo con clave del INEGI 230040053, el cual es utilizado como fuente de abastecimiento de agua desde el año 2000.

El agua es extraída del pozo por medio de una bomba que la inyecta en una tubería, la cual permite transportar el agua hasta el sitio de tratamiento y después es suministrada a la población.

A pesar de contar con agua tratada por CAPA en las principales zonas de Mahahual, la población aún sigue utilizando el agua de los pozos, agua sin tratamiento previo, ya sea por costumbre o por necesidad. Sin importar la principal causa por la que siguen utilizando el agua de los pozos, es importante que la población conozca las condiciones que el agua de los pozos presenta y de la cual se están abasteciendo, de igual manera es importante por motivos sanitarios que sepan si el uso que se le da al líquido extraído es el adecuado por la calidad que tiene.

En este trabajo se presentan datos obtenidos en muestreos realizados en dos épocas del año, época de lluvias y época de secas, con el fin de mostrar si la calidad del agua se ve afectada por la variación de la precipitación, ya que esta representa el nivel de volumen de agua contenido en los pozos muestreados.

Se determinaron parámetros físicos, químicos y bacteriológicos en los once puntos establecidos en la zona. En el punto P-11 se evaluó el agua tratada por CAPA. Suponiendo que el agua del punto once (P-11) es la de mejor calidad, será el punto de comparación para los diez puntos restantes, con esto se pretende evaluar la calidad del agua sin tratamiento extraída de los diez pozos y la calidad del agua potabilizada por CAPA.

Se evaluó la calidad del agua aplicando la norma NOM-127-SSA1-1994 en los once puntos durante todo un año.

El proceso de análisis se basó de tres importantes normas oficiales mexicanas que regulan el uso de sistemas de abastecimiento de agua, siendo estas las siguientes:

I.- NOM-012-SSA1-1993. REQUISITOS SANITARIOS QUE DEBEN CUMPLIR LOS SISTEMAS DE ABASTECIMINETO DE AGUA POTABLE PARA USO Y CONSUMO HUMANO PUBLICOS Y PRIVADOS.

II.- NOM-179-SSA1-1998. VIGILANCIA Y EVALUACIÓN DEL CONTROL DE CALIDAD DEL AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO, DISTRIBUIDA POR SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO PÚBLICO.

III.- NOM-127-SSA1-1994. SALUD AMBIENTAL, AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO, LÍMITES PERMISIBLES DE CALIDAD Y TRATAMIENTO A QUE DEBE SOMETERSE EL AGUA PARA SU POTABILIZACIÓN.

## **I.1.-ANTECEDENTES**

Son pocos los trabajos que se han realizado en Mahahual relacionados con la calidad del agua para consumo humano o uso doméstico.

A continuación se describen tres importantes trabajos en los cuales se encontraron datos importantes tanto para la caracterización del lugar como para la comparación de resultados:

### **1.-PROGRAMA DE ORDENAMIENTO ECOLOGICO TERRITORIAL DE LA REGIÓN COSTA MAYA.**

Este estudio se realizó en Mayo de 1998, teniendo como principal objetivo regular el uso de suelo. Muestra la caracterización del ambiente natural, socioeconómico y productivo de Costa Maya. Dentro del subsistema natural describe: clima, relieve, hidrología, suelos, vegetación, fauna, áreas naturales protegidas; en el subsistema socioeconómico describe las características de la población y la estructura socioeconómica; y en el subsistema productivo hace referencia a los sectores primario, secundario y terciario.

El estudio establece que el impacto sobre el ambiente en la región por actividades antropogénicas es prácticamente nulo. Con respecto al clima establece que es tropical, con lluvias en verano y parte del invierno, con precipitación promedio de 1400 mm al año, con oscilaciones de 753 a 3,783 mm, cuando hay afectación por ciclones, y con canícula en Julio y Agosto. La temperatura media anual es de 26.5°C con una oscilación térmica menor de 5°C; las temperaturas más altas se registran de Junio a Agosto y los meses más fríos se presentan de diciembre a febrero.



El resultado de este trabajo fueron importantes propuestas representadas en un mapa, el cual permite ordenar el uso de suelo, logrando así la sustentabilidad de los recursos naturales de esta zona.

Desde el punto de vista del recurso agua, en esta ordenación de los usos del suelo se pretende proteger las zonas de infiltración o captura de agua mediante la reducción de las actividades antrópicas en algunas regiones dentro del área ordenada.

## 2.-ESTUDIO GEOHIDROLOGICO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LAS FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA EL CENTRO INTEGRALMENTE PLANEADO COSTA MAYA, ESTADO DE QUINTANA ROO. (1998).

Este es el primer trabajo de evaluación de calidad de agua realizado en Costa Maya, su objetivo fue identificar las principales zonas para el abastecimiento de agua. El estudio evalúa las posibles fuentes de abastecimiento de acuerdo con las condiciones observadas en cuanto a calidad y cantidad.

Para evaluar la calidad se realizaron análisis de las propiedades químicas y físicas en laboratorio y en campo, los resultados obtenidos fueron comparados con la norma NOM-127-SSA1-1994.

De este trabajo se tiene que el pozo establecido en Mahahual, es una fuente de abastecimiento confiable, ya que los resultados obtenidos se mantuvieron en los límites permisibles. El estudio concluye que el agua de la zona es de tipo cloruro-sódica, por lo que su calidad es aceptable, desde el punto de vista ambiental, determina que la zona no presenta contaminación notable en el subsuelo por aguas residuales domésticas, agroquímicas o industriales. Y como punto importante menciona que las variaciones en la calidad, se deben a las características geológicas de la zona y a los cambios climatológicos.

### 3.-COMISIÓN DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DEL ESTADO DE QUINTANA ROO.

REPAMA, S.A. DE C.V. laboratorio acreditado ante la Comisión Nacional del Agua (CNA), realiza el 16 de agosto del 2004, análisis de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos del agua fluyendo de una válvula proveniente de la bomba de extracción Clave del INEGI 230040053. El objetivo de este muestreo fue la verificación de los valores de los parámetros químicos, físicos y biológicos medidos en el agua.

Los resultados se compararon con la norma NOM-127-SSA1-1994.

Los parámetros que no cumplieron con la norma son: la concentración de cloruros, la dureza, la cantidad de sólidos disueltos totales, la turbidez y la cuenta de número más probable (NMP) de coliformes totales. Los que cumplieron con la norma fueron: el pH, color, concentración de sulfatos, número más probable (NMP) de coliformes fecales, concentración de fierro, concentración de fluor, concentración de nitritos, concentración de nitratos, concentración de nitrógeno amoniacal y concentración de magnesio.

## II.- DESCRIPCIÓN DEL ÁREA

El área de estudio se localiza en la región denominada Costa Maya, ubicada en la parte sureste del estado de Quintana Roo.

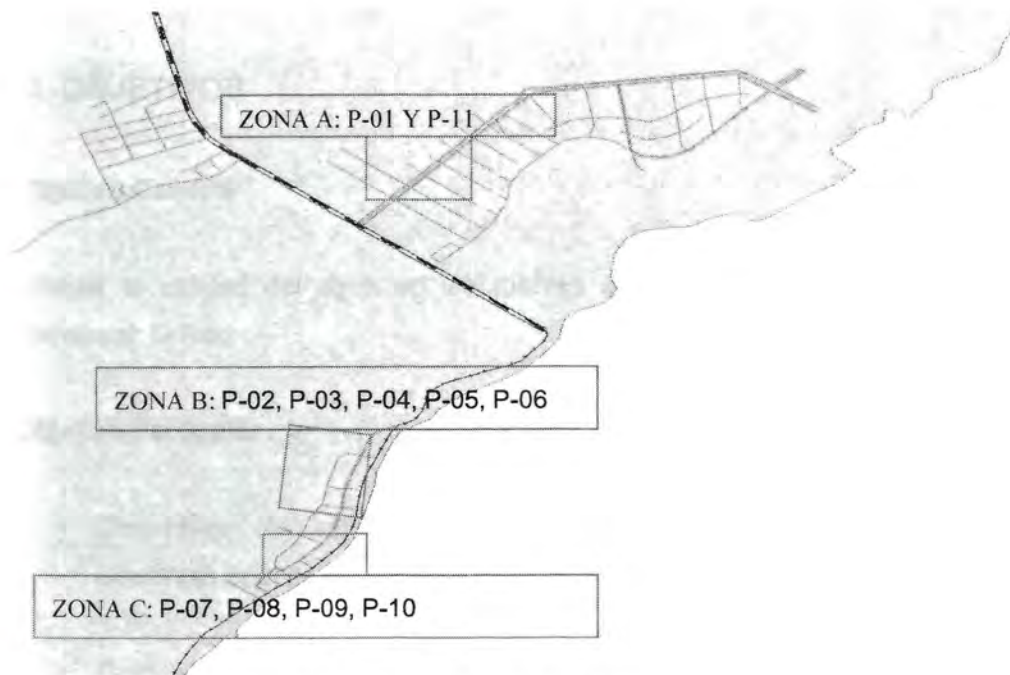
Mahahual se considera uno de los cuatro polos turísticos dentro del plan maestro de Costa Maya, polos turísticos que están comprendidos en la Zona Costa Norte y en la Zona Peninsular del estado de Quintana Roo. "Mahahual, centro de población costera cuenta con una población total de 149 habitantes, de los cuales 84 son hombres y 65 mujeres. Con un total de viviendas habitadas de 47, de estas 13 viviendas cuentan con dos cuartos incluyendo cocinas, solamente 34 viviendas disponen de servicio sanitario exclusivo, con disponibilidad de agua entubada solo 3 viviendas, con disponibilidad de energía eléctrica 14 viviendas y con disponibilidad de drenaje únicamente 31 viviendas" (INEGI, 2000). Estos datos corresponden al conteo estadístico realizado en el año 2000, sin embargo, del 2000 al 2005 Mahahual ha tenido un notable desarrollo, por lo que los datos para este año deben de tener un aumento.

Por sus características demográficas Mahahual, puede ser dividido en tres zonas importantes:

Zona A: en ella se ubica un nuevo conjunto habitacional con todos los servicios básicos, esta se encuentra antes de la entrada al pueblo.

Zona B: es una zona con la mayor concentración de restaurantes y comercios, así como casas particulares y constituye el centro del poblado.

Zona C: es la zona más alejada del centro, se encuentra pasando el muelle de pescadores, en ella se ubican hoteles, cabañas en renta y pocas casas particulares.



**Figura 1.** Principales zonas establecidas en Mahahual, Q.Roo.

**Tabla I.** División de la zona propuesta para el estudio de las fuentes de abastecimiento establecidas en Mahahual, Q.Roo.

Zona	Característica	Puntos establecidos
A	Conjunto habitacional: población considerable y pozo CAPA	P-01 y P-11
B	Centro: mayor población	P-02,P-03,P-04,P-05,P-06
C	Zona menor población	P-07,P-08,P-09,P-10

### **III.-OBJETIVOS**

#### **Objetivo General**

Evaluar la calidad del agua en las fuentes de abastecimiento para el poblado de Mahahual, Q.Roo.

#### **Objetivo Particular**

- Determinar los valores de parámetros físicos, químicos y biológicos, en diferentes épocas del año.
- Comparar los resultados obtenidos de los parámetros medidos en cada punto con los valores establecidos en la norma NOM-127-SSA1-1994.
- Determinar si las condiciones que presenta el agua analizada son las indicadas para el uso dado.

#### **Hipótesis:**

Durante distintas épocas del año las fuentes de abastecimiento de agua se encuentran en los límites permisibles de calidad.

#### IV.- METODOLOGÍA

Se realizaron tres muestreos con base en los valores mensuales de precipitación registrados para el municipio de Othón P. Blanco. El primero, durante el mes de Julio representando la época de lluvias; el segundo, en el mes de Octubre (temporada de huracanes), y el último durante el mes de Marzo, temporada de secas.

Se realizó un recorrido por el poblado de Mahahual para conocer las fuentes establecidas dentro de la zona de estudio y utilizadas para abastecer de agua a los pobladores. Se determinaron once puntos de muestreo, de los cuales 9 son pozos hechos por la población y se carece de información acerca de la calidad del agua que proporcionan, otro punto es un pozo establecido por CAPA para el cual si se cuenta con estudios de calidad del agua y un último punto que es la toma domiciliaria de agua. Las observaciones para los once puntos establecidos se describen en la **tabla II**.

**Tabla II.** Descripción de las fuentes utilizadas como abastecimiento de agua para el poblado de Mahahual, Q.Roo.

FUENTE DE ABASTECIMIENTO	OBSERVACIONES	UTILIZA EL AGUA	USOS	RAZON DE USO
F-01	Pozo establecido por CAPA con estudio previo.	SI	Lavado de carros, aseo personal y abastecimiento para pipas.	Mal funcionamiento del servicio de agua potable y pozo de extracción establecido por CAPA.
F-02	Pozo artesanal ubicado en terreno privado, prestando servicios de renta de cuartos	NO	NA*	NA*
F-03	Pozo artesanal ubicado en terreno privado con casa particular habitada y prestando servicios de comida.	NO	NA*	NA*
F-04	Pozo artesanal ubicado en terreno privado lote deshabitado.	SI	Lavar trastes	Mal funcionamiento del servicio de agua potable
F-05	Pozo artesanal ubicado en terreno privado, prestando servicio de renta de cuartos.	SI	Bañarse, lavar ropa, para el baño, lavar trates.	No cuenta con servicio de agua potable
F-06	Pozo artesanal ubicado en terreno privado, prestando servicios de renta de cuartos.	NO	NA*	NA*

F-07	Pozo artesanal ubicado en terreno privado, prestando servicios de renta de cabañas.	NO	NA*	NA*
F-08	Pozo artesanal ubicado en terreno privado, con casa particular habitada.	SI	Lavar ropa y lavar trastes.	Ahorrar agua
F-09	Pozo artesanal ubicado en terreno privado, prestando servicios de renta de cabañas.	NO	NA*	NA*
F-10	Pozo artesanal ubicado en terreno privado, casa particular habitada.	SI	Lavar ropa, lavar trastes y bañarse.	Mal funcionamiento del servicio de agua potable
F-11	Llave localizada en vivienda	SI		Agua servida por CAPA

\*NA, No Aplica

El punto 1 y punto 11 descritos en la **tabla II** se consideraron como puntos de muestreo, el primero por ser el pozo de donde CAPA extrae el agua para posteriormente ser potabilizada y servida a la población y el segundo, el punto 11, por que representa el agua ya potabilizada. Se consideran estos dos puntos como las fuentes de abastecimiento más confiables para la población.

Es importante mencionar que el pozo de extracción de CAPA es utilizado también para abastecer a pipas, que transportan agua a las zonas donde no se cuenta con el servicio de agua entubada o transportan agua a la población de Mahahual en caso de que el suministro por parte de CAPA falle.

En el caso de los pozos artesanales hechos por la misma población se realizó una breve entrevista con las personas responsables de los nueve pozos, preguntando lo siguiente: ¿Utilizan el agua?, ¿por qué la utilizan?, y ¿para qué la utilizan? Para el punto P-01, la entrevista se realizó en las oficinas de CAPA en la ciudad de Chetumal.

En el caso del punto 11, recordemos que el agua de este punto es agua potable, según lo establecido por CAPA. Sabemos que el agua potable es utilizada para las actividades humanas, que van desde lavar ropa hasta aseo personal, pero como el agua es aparentemente confiable, también puede ser ingerida.

En cada punto se tomaron muestras para analizar la calidad con base en parámetros que establece la NOM-127-SSA1-1994.

Se realizaron mediciones en campo empleando una sonda multiparamétrica modelo YSI650 MDS, misma que cumple con los requisitos de precisión y exactitud establecidos en la NMX-AA-014-1980.

Los parámetros medidos por la Sonda YSI650 fueron los siguientes:

- Salinidad
- Sólidos Disueltos Totales
- Oxígeno Disuelto
- Conductividad
- Temperatura
- Turbiedad
- pH (Potencial de Hidrógeno)
- Cloruros
- Potencial de Oxido-reducción

Los parámetros medidos en laboratorio fueron:

#### **Coliformes fecales**

Se empleó el método del número más probable (NMP), establecido en la norma NMX-AA-042-1987.

#### **Fósforo total**

La medición de fósforo se realizó mediante el método cloruro estañoso establecido por la norma mexicana, NMX-AA-029-SCFI-2001. Este método se basa en la reacción del fósforo contenido en la muestra como ortofosfato con el ácido molibdico para formar el ácido 12-molibdofosfórico.



El ácido 12-molibdofosforico es reducido por el cloruro de estaño azul de molibdeno, compuesto de composición desconocida que contiene una mezcla de Mo (VI) y Mo (V), que absorbe a 690nm. La intensidad del color azul formado depende de la concentración de fosfatos adicionados al heteropoliácido.

### **Grasas y Aceites**

El método de prueba se basa en la absorción de grasas y aceites en tierra de diatomeas, los cuales son extraídos en un equipo Soxhlet empleando hexano y se pesa el residuo que ha quedado en el recipiente; siendo este el contenido de grasas.

Establecido en la norma, NMX-AA-005-SCFI-2000.

### **Dureza**

El método se basa en la formación de complejos por la sal disódica del ácido etilendiaminotetraacético con los iones calcio y magnesio. El método consiste en una valoración empleando un indicador visual de punto final, el negro de eriocromo T, que es de color rojo en la presencia de calcio y magnesio y vira a azul cuando estos se encuentran acomplejados o ausentes. El complejo del EDTA con el calcio y el magnesio es más fuerte que el que estos iones forman con el negro de eriocromo T, de manera que la competencia por los iones se desplaza hacia la formación de los complejos con EDTA desapareciendo el color rojo de la disolución y tornándose azul. Este método lo establece la norma NMX-AA-072-SCFI-2001.

### **Sustancias Activas al Azul de Metileno**

El método establecido se basa en la formación de un par iónico extractable en cloroformo de color azul por la reacción de azul de metileno catiónico y un tensoactivo aniónico incluyendo al sulfonato de alquibenceno lineal, otros sulfonatos y ésteres de sulfonatos. La muestra se acidifica y se mezcla con una disolución de azul de metileno. El par iónico hidrófobo que se forma se extrae con cloroformo. Los extractos de cloroformo son lavados con una disolución ácida para remover los pares iónicos menos

hidrófobos (con coeficiente de partición bajos) que pueden formarse por sustancias que interfieren potencialmente. El cloroformo retiene los pares iónicos altamente hidrófobos. La intensidad del color azul presente en la fase orgánica se mide espectrofotométricamente a una longitud de onda de 652nm, y es proporcional a la cantidad de surfactantes aniónicos presentes en la muestra. Establecido en la norma mexicana NMX-AA-039-SCFI-2001.

Los resultados se analizaron mediante el programa estadístico XLSTAT.2006 versión 2006.2, Copyright Addinsoft 1995-2006.

## V.- RESULTADOS

En el primer muestreo realizado el 6 de julio del 2005, el valor de la temperatura se encontró en un intervalo de 27.59 °C – 33.86 °C, el punto P-01 obtuvo la temperatura más baja, mientras que el punto P-11 obtuvo la más alta. Los resultados de conductividad se encontraron dentro de un intervalo más amplio, de 2.581µSiemens/cm- 19.09 µSiemens/ cm, obteniendo el valor más alto el punto

P-08 y el valor más bajo se presentó en el punto P-02, la concentración más alta de sólidos disueltos totales se obtuvo en el punto P-07 y la concentración más baja en el punto P-11. El valor de salinidad alcanzó un mínimo de 1.32ppm y un máximo de 11.30 ppm, obtenidos en el punto P-02 y P-08, respectivamente. El oxígeno disuelto se mantuvo en un intervalo de 2.52mg/L – 12.85mg/L, obteniendo el punto P-03 el valor más bajo y el punto P-11 el valor más alto. El pH se mantuvo dentro de los valores de 7.41 a 8.42.

El valor de potencial Redox, se mantuvo en un intervalo de -68 a 121, obteniendo el punto P-03 el valor más bajo y el punto P-10 el valor más alto. La concentración más baja de cloruros se encontró en el punto P-02 con 69.71 mg/L y el punto P-08 con la concentración más alta, 802.90 mg/L. La medida de turbiedad más baja fue de cero Unidades de Turbiedad Nefelométrica (UTN) y la medida más alta de 0.2 UTN en el punto P-10, en los once puntos de muestreo se presentaron Coliformes fecales, la concentración más alta de 41 Número Más probable en 100ml (NMP/100ml) en el punto P-01 y la más baja de 2 NMP/100ml en el punto P-11.

La concentración de detergentes fue más alta en el punto P-06 con 0.28 mg/L y la más baja de 0.04 mg/L en el punto P-03. El valor de grasas y aceites se mantuvo en un intervalo de 0.04 mg/L – 0.72 mg/L, los puntos P-04 y P-05 como los de menor concentración, la mayor concentración fue en el punto P-11, de la misma manera se obtuvieron valores muy cercanos entre los puntos P-11 y P-09 como los de menor valor, siendo este de 0.03 mg P/L y el punto de mayor concentración el P-04 (**Tabla III y Tabla IV**).

**Tabla III.** Resultados obtenidos en julio del 2005

Punto	Temperatura °C	Conductividad $\mu$ Siemens/ cm	*SDT (Mg/L)	Salinidad(ppm)	Oxígeno Disuelto mg/L	pH
P-01	27.59	5.22	339	2.79	3.40	7.49
P-02	29.12	2.58	1678	1.32	4.33	7.78
P-03	28.56	7.15	465	3.91	2.52	7.41
P-04	29.65	8.39	5455	4.63	4.39	7.60
P-05	29.11	6.06	394	3.27	3.63	7.39
P-06	29.78	5.36	3484	2.87	6.83	8.04
P-07	29.55	13.12	8529	7.50	4.63	7.89
P-08	27.88	19.01	1242	11.30	7.11	8.10
P-09	28.58	2.93	1905	1.51	5.79	7.91
P-10	30.67	9.32	606	5.18	6.09	7.59
P-11	33.86	4.69	305	2.47	12.85	8.42

\* Sólidos disueltos totales

**Tabla IV.** Resultados obtenidos en julio del 2005

Punto	Potencial REDOX	Cloruros mg/L	Turbiedad UTN	Coliformes Fecales NMP/100ml	* SAAM mg/L	Grasas y Aceites (mg/L)	Fósforo (mg P/L)
P-01	-15	189.60	0.0	41	0.2	0.06	0.25
P-02	36	69.71	0.0	8	0.12	0.11	0.06
P-03	-68	277.80	0.0	28	0.04	0.12	0.92
P-04	38	311.70	0.0	29	0.12	0.04	1.12
P-05	64	214.20	0.0	8	0.08	0.04	0.65
P-06	56	197.10	0.0	25	0.28	0.26	0.74
P-07	54	515.50	0.0	37	0.16	0.06	0.83
P-08	56	802.90	0.0	38	0.24	0.06	0.89
P-09	57	105.90	0.0	5	0.8	0.06	0.03
P-10	121	304.90	0.2	35	0.16	0.18	0.05
P-11	69	161.80	0.1	2	0.08	0.72	0.03

\* Sustancias activas al azul de metileno.

El segundo muestreo realizado el 15 de octubre del 2005, la máxima temperatura fue de 31.72 °C, medida en el punto P-11 y la mínima de 26.70 °C, medida en el punto P-10, el punto P-03 la conductividad fue de 0.063  $\mu$ Siemens/ cm, siendo esta la más baja, y en el punto P-07 la conductividad fue de 10.93  $\mu$ Siemens/ cm, siendo esta la más alta. La concentración de sólidos disueltos totales se mantuvo en un intervalo de 23 mg/L a 7106 mg/L, P-02 el punto con el valor más bajo y P-07 el punto con el valor más alto, la salinidad más baja de 0.03 ppm se obtuvo en el P-03 mientras que la más alta de 6.17 ppm se obtuvo en el P-07. La concentración de oxígeno disuelto más alta fue de 7.80mg/L en el punto P-11 y la concentración más baja en el punto P-05 con 5.80 mg/L.

El valor de pH se mantuvo en 7.24 y 8.24, el punto P-07 con el valor bajo y el punto P-09 con el valor alto, el potencial Redox en el punto P-01 fue el más bajo con -122 y en el punto P-07 con -33, siendo este la medida más alta.

La concentración de cloruros más baja fue de 76.36 mg/L en el punto P-02 y la más alta de 400.20 mg/L en el punto P-04, la mayor turbiedad en el punto P-09 con 0.9 UTN, el valor más bajo fue de cero. La medida más alta de coliformes fecales fue de 75 NMP/100ml en el punto P-05, mientras que la medida más baja se obtuvo en dos puntos el punto P-03 y el punto P-04, fue de 3 NMP/100ml.

La concentración de detergentes se mantuvo en un intervalo de 0.01 a 0.14 mg/L, la medida más baja en el punto P-01 y la más alta en el punto P-03, el valor de grasas y aceites más alto fue de 0.14 mg/L en el punto P-03 y la medida más baja en el punto P-07 con 0.01 mg/L. El punto P-11 fue el único punto en el cual la concentración de fósforo fue cero, la medida más alta de fósforo fue en el punto P-07 con 0.05 mg P/L, en los puntos restantes la concentración mantuvo un intervalo de 0.02 a 0.05, mg P/L. La medida de dureza más alta fue de 773.76 mg/L CaCO<sub>3</sub> en punto P-06 y la medida más baja en el punto P-10 con 89.85 mg/L CaCO<sub>3</sub> (**Tabla V y Tabla VI**).

**Tabla V.** Resultados obtenidos en octubre del 2005

Punto	Temperatura °C	Conductividad μSiemens/ cm	SDT (mg/L)	Salinidad (ppm)	Oxígeno Disuelto mg/L	pH	Potencial REDOX
P-01	28.31	3.35	218	1.75	6.00	7.29	-132
P-02	28.30	0.35	23	0.17	7.31	7.92	-85
P-03	26.88	0.06	41	0.03	5.95	7.37	-76
P-04	28.78	5.71	3711	3.07	6.63	7.54	-76
P-05	28.80	1.07	697	0.53	5.80	7.71	-72
P-06	27.59	2.23	145	1.14	6.00	7.80	-122
P-07	27.52	10.93	7106	6.17	6.01	7.24	-33
P-08	27.05	2.93	1903	1.51	6.83	7.32	-72
P-09	27.66	1.66	1081	0.83	7.58	8.24	-82
P-10	26.70	6.00	3902	3.25	6.24	7.28	-85
P-11	31.72	3.63	2361	1.89	7.80	8.07	-80

**Tabla VI.** Resultados obtenidos en octubre del 2005

Punto	Cloruros mg/L	Turbiedad UTN	Coliformes Fecales NMP/100ml	SAAM mg/L	Grasas y Aceites (mg/L)	Fósforo (mg P/L)	Dureza total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )
P-01	213.50	0.0	45	0.01	0.08	0.02	378.56
P-02	76.36	0.4	3	0.05	0.04	0.04	395.5
P-03	141.40	0.0	3	0.24	0.14	0.05	149.76
P-04	400.20	0.0	55	0.13	0.1	0.03	193.85
P-05	368.30	0.2	75	0.05	0.1	0.01	163.07
P-06	230.40	0.4	30	0.07	0.05	0.04	773.76
P-07	88.36	0.0	65	0.09	0.01	0.05	366.08
P-08	79.63	0.0	8	0.05	0.06	0.04	199.68
P-09	398.60	0.9	45	0.06	0.1	0.02	291.5
P-10	160.60	0.2	26	0.07	0.07	0.02	89.85
P-11	191.80	0.0	5	0.03	0.08	0.00	208

En el tercer muestreo realizado el 12 de marzo del 2006, la temperatura máxima fue de 31.10 °C en el punto P-01 y la mínima de 24.44 °C, medida en el punto P-08, el valor de conductividad más alto fue de 20.87, leída en el punto P-07, el punto P-04 el valor de conductividad fue cero, en los puntos restantes las medidas estuvieron en un intervalo de 0.91  $\mu$ Siemens/ cm a 20.87  $\mu$ Siemens/ cm. La concentración mayor de sólidos disueltos totales fue de 5518 mg/L, medida en el punto P-10, la menor concentración de 2.00 mg/L corresponde al punto P-04. En el punto P-04 la salinidad mostró un valor de cero, mientras que el mayor valor se presentó en el punto P-07, con 12.49ppm, la concentración de oxígeno disuelto más alta fue de 3.20 mg/L, medida en los puntos P-04 y P-08, la más baja de 2.67 mg/L en el punto P-01. El intervalo de pH fue de 5.55 a 9.04, el punto P-05 con el menor valor y el punto P-11 con la mayor medida. El potencial Redox en un intervalo de -370 a 306, la menor medida en el punto P-03 y la mayor en el punto P-05.

El valor de cloruros se mantuvo en un intervalo de 0.02 a 190.90 mg/L, el menor valor en el punto P-05 y el mayor valor en el punto P-11, la turbiedad tuvo valores de cero, excepto en los puntos P-06 y P-09, con el valor más alto de 0.6 UTN. En relación a las coliformes fecales, los resultados en los once puntos analizados, mostraron ausencia de estas bacterias.

La concentración de detergentes más alta fue de 1.85 mg/L en el punto P-03, mientras que en los puntos P-04, P-05, P-09 y P-11, la lectura fue de cero. El valor de grasas y aceites más bajo fue de 0.20 mg/L en el punto P-11 y la más alta de 0.60 mg/L en el punto P-03. La medida de fósforo más alta se registró en el punto P-03 con un valor de 0.91 mg P/L, mientras que en el punto P-09 la medida fue de 0.04 mg P/L siendo la más baja. La concentración de dureza en el punto P-06 fue de 95.68 mg/L CaCO<sub>3</sub>, medida mínima y 998.40 mg/L CaCO<sub>3</sub> en el punto P-07, medida máxima (Tabla VII y Tabla VIII).

Tabla VII. Resultados obtenidos en marzo del 2006

Punto	Temperatura °C	Conductividad $\mu$ Siemens/ cm	SDT (mg/L)	Salinidad (ppm)	Oxígeno disuelto mg/L	pH	Potencial REDOX
P-01	31.10	3.45	2274	1.82	2.67	7.65	158
P-02	26.22	0.91	593	0.45	3.11	7.54	118
P-03	25.01	3.22	2093	1.68	3.17	7.55	-370
P-04	25.06	0.00	2	0.00	3.20	7.65	-31
P-05	26.55	5.11	332	2.74	3.02	5.55	306
P-06	25.33	0.77	501	0.38	3.17	8.74	106
P-07	25.06	20.88	1357	12.49	2.98	8.70	136
P-08	24.44	6.10	3968	3.32	3.20	8.21	114
P-09	25.67	4.12	2679	2.18	3.11	7.48	128
P-10	25.02	8.49	5518	4.72	3.12	8.14	117
P-11	29.32	3.07	1995	1.59	2.80	9.04	97

Tabla VIII. Resultados obtenidos en marzo del 2006

Punto	Cloruros mg/L	Turbiedad UTN	Col. Fecales NMP/100ml	SAAM mg/L	Grasas y Aceites (mg/L)	Fósforo (mg P/L)	Dureza total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )
P-01	19.79	0.0	0.00	0.02	0.40	0.29348	216.32
P-02	10.13	0.0	0.00	0.08	0.53	0.23737	116.48
P-03	141.60	0.0	0.00	1.85	0.60	0.91497	282.88
P-04	24.72	0.0	0.00	0	0.53	0.06473	349.44
P-05	0.02	0.0	0.00	0	0.33	0.20716	303.68
P-06	32.22	0.6	0.00	0.06	0.40	0.12516	95.68
P-07	158.30	0.0	0.00	0.06	0.33	0.15105	998.40
P-08	79.00	0.1	0.00	0.12	0.26	0.0561	266.72
P-09	50.25	0.6	0.00	0	0.40	0.04747	169.72
P-10	133.80	0.0	0.00	0.03	0.53	0.33232	465.92
P-11	190.90	0.0	0.00	0	0.20	0.09495	274.56

## VI.- ANÁLISIS DE RESULTADOS

Al aplicar el Análisis de Componentes Principales (ACP), representado en la **figura 2**, se obtuvo en el mes de julio el 69.39 % de la varianza total a través dos componentes. El primer componente principal, se define por la conductividad, la cantidad de detergentes, concentración de cloruros, salinidad, NMP de coliformes fecales y concentración de fósforo en el agua, este conjunto de variables explica el 37.50 % de la varianza total. El segundo componente principal se define por la concentración de oxígeno disuelto, la turbiedad, el pH, la temperatura, la concentración de grasas y aceites, y el potencial Redox, estas otras explican el 31.89 %.

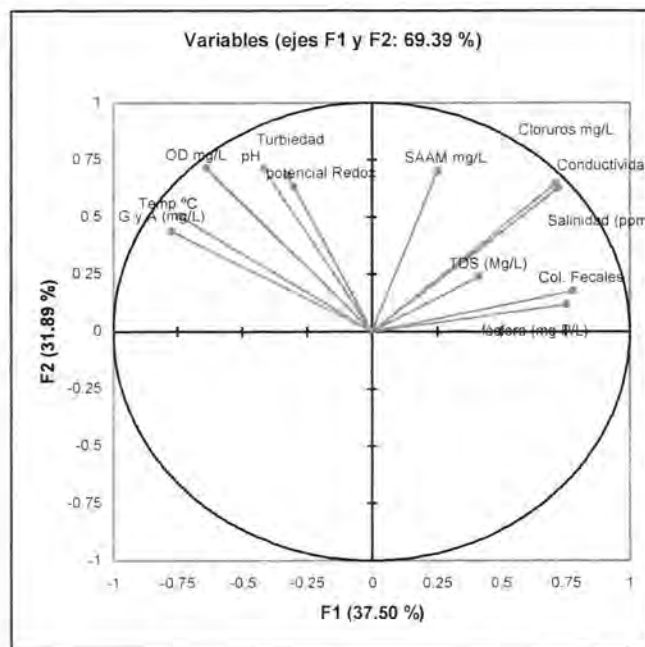


Figura 2. PCA correspondiente al mes de julio del 2005.

En la matriz de correlación la conductividad obtuvo los valores más altos al relacionarse con la salinidad y la concentración de cloruros. La relación conductividad-salinidad, se debe a que la capacidad conductora del agua depende de la concentración de sales disueltas ionizadas. La relación conductividad-



cloruros se debe a la presencia de sales disueltas en el agua, ya que el cloro presente en el agua se debe a la intrusión salina, la intrusión salina es un problema ocasionado por la sobreexplotación del manto acuífero provocando que agua salada sustituya al agua dulce. La salinidad en el agua coloca en riesgo el abasto de agua de calidad para la vida humana si no hay un tratamiento para remediarlo.

El oxígeno disuelto, en la matriz de correlaciones (**Tabla IX**), obtuvo los valores más altos al relacionarse con la temperatura y con la concentración de las grasas y aceites. La temperatura influye en la solubilidad del oxígeno, cuando la temperatura aumenta la solubilidad de un gas en agua disminuye (Romero A., 1999). Si el agua mantiene valores altos de temperatura y disminuye el oxígeno disuelto ocasiona la mortandad de organismos aerobios, los cuales proporcionan al cuerpo de agua una cierta capacidad autodepuradora (Jiménez E., 2001). Otro parámetro que afecta la capacidad autodepuradora del agua son las grasas y aceites, las cuales dificultan el transporte de oxígeno en el agua debido a que crean películas, las películas forman una capa espesa aisladora del medio, lo que impiden el proceso de oxigenación.

La **figura 3** representa el PCA para el mes de octubre, se observa que explica el 51.60 % de la varianza total a través de dos componentes principales.

El primer componente explica el 31.85 % y está definido por la conductividad, la salinidad, NMP de coliformes fecales, concentración de detergentes, concentración de fósforo y potencial redox. El segundo componente participa con el 19.74 % de la varianza total explicada, definido por la temperatura, la dureza, el pH, la concentración de oxígeno disuelto, concentración de cloruros, la turbiedad y, concentración de grasas y aceites.

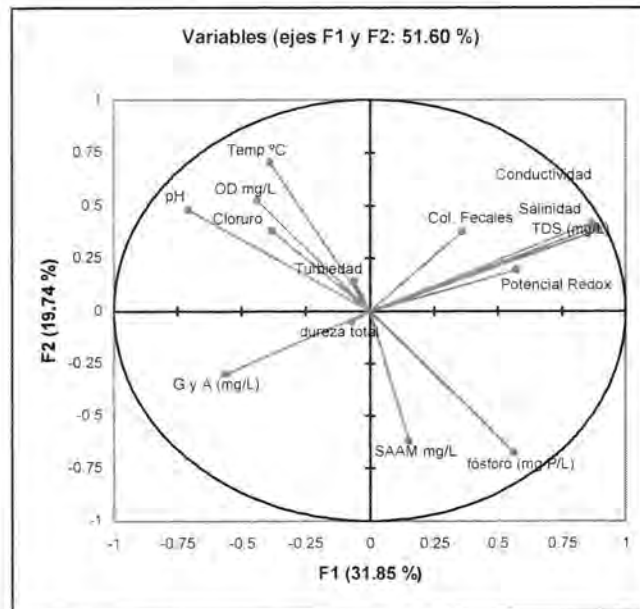


Figura 3. PCA correspondiente al mes de octubre del 2005.

En la matriz de correlación correspondiente al mes de octubre, la salinidad se relacionó con la conductividad, la relación conductividad-salinidad, se debe a que la capacidad conductora del agua depende de la concentración de sales disueltas ionizadas. En octubre el pH afectó la capacidad conductora del líquido, debido a que se tiene una mezcla de diferentes soluciones y sales. La temperatura influyó en la solubilidad del oxígeno, cuando la temperatura aumenta la solubilidad de un gas en agua disminuye (Romero A., 1999). En octubre se presentó la relación temperatura-pH, puede ser un efecto producto de la presencia de las diferentes sales que contiene el agua, las cuales reaccionan con la variación de la temperatura provocando la alcalinidad o acidez del medio (**Tabla X**).

En la matriz se observa la relación fósforo-detergentes, generalmente el fósforo que hallamos disuelto en los acuíferos superficiales proviene de las plantas, animales, suelos, fertilizantes y detergentes, su presencia estimula el crecimiento

de organismos fotosintéticos, como algas, las cuales provocan la eutroficación en un cuerpo de agua (Romero A., 1999).

El análisis de componentes principales y la matriz de correlación aplicadas para los valores obtenidos en marzo tuvieron el mismo comportamiento que los analizados para el mes de octubre se representa en la **figura 4** y en la **tabla XI**.

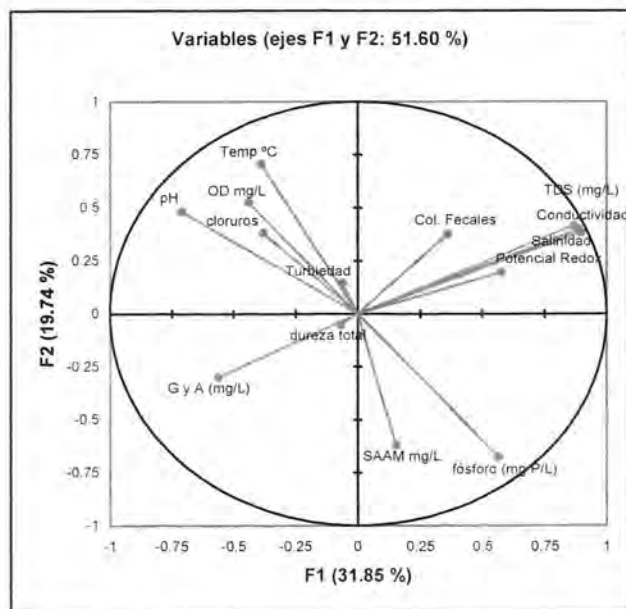


Figura 4. PCA correspondiente al mes de Marzo del 2006.

Ø49767-

Tabla IX. Matriz de correlación, realizada para resultados obtenidos en julio

Variable	*T °C	Conduc tividad	SDT (Mg/L)	Salinidad d (ppm)	Oxígeno disuelto mg/L	pH	Potencia I Redox	Cloruros mg/L	Turbieda d NTU	Col. Fecales	SAAM mg/L	G rasas y Aceites (mg/L)	fósforo (mgP/L)
Temperatura	1												
Conductividad	-0.216	1											
SDT	-0.023	0.300	1										
Salinidad	-0.224	1.000	0.293	1									
Oxígeno disuelto	0.798	0.024	-0.147	0.028	1								
pH	0.552	0.141	0.126	0.152	0.883	1							
Potencial Redox	0.465	0.153	0.114	0.153	0.511	0.400	1						
Cloruro	-0.253	0.995	0.294	0.996	0.025	0.170	0.100	1					
Turbiedad NTU	0.666	0.253	-0.152	0.246	0.584	0.306	0.647	0.188	1				
Col. Fecales	-0.443	0.657	0.296	0.648	-0.367	-0.283	-0.185	0.635	-0.028	1			
SAAM mg/L	0.066	0.498	0.339	0.500	0.296	0.448	0.508	0.491	0.265	0.276	1		
Grasas y Aceites (mg/L)	0.895	-0.256	-0.252	-0.258	0.874	0.674	0.226	-0.262	0.480	-0.430	0.043	1	
fósforo (mg P/L)	-0.338	0.554	0.491	0.546	-0.371	-0.225	-0.349	0.575	-0.227	0.475	0.338	-0.389	1

\* Temperatura

Tabla X. Matriz de correlación, realizada para resultados obtenidos en octubre

Variables	*T °C	Conducti vidad	SDT (mg/L)	Salinidad (ppm)	Oxígeno Disuelto mg/L	pH	Potencial Redox	Cloruros mg/L	Turbieda d UTN	Col. Fecales NMP/100 ml	SAAM mg/L	Grasas y Aceites (mg/L)	fosforo (mg P/L)	Dureza total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )
*T	1													
Conducti vidad	-0.044	1												
SDT	-0.031	0.954	1											
Salinidad	-0.056	0.999	0.956	1										
Oxígeno Disuelto	0.507	-0.186	-0.067	-0.196	1									
pH	0.524	-0.472	-0.391	-0.476	0.713	1								
Potencial Redox	-0.039	0.471	0.686	0.487	0.088	-0.135	1							
Cloruro	0.239	-0.162	-0.147	-0.175	0.043	0.433	-0.166	1						
Turbieda d	-0.126	-0.095	0.113	-0.087	0.324	0.523	0.441	0.190	1					
Col. Fecales	-0.028	0.431	0.372	0.432	-0.447	-0.124	0.185	0.597	-0.026	1				
SAAM	-0.379	-0.079	0.034	-0.062	-0.316	-0.277	0.310	-0.029	0.193	-0.158	1			
Grasas y Aceites	0.077	-0.571	-0.480	-0.574	-0.010	0.142	-0.172	0.483	-0.055	-0.128	0.527	1		
Fósforo	-0.754	0.184	0.199	0.206	-0.417	-0.526	0.331	-0.548	0.148	-0.130	0.533	-0.305	1	
Dureza total	-0.059	-0.046	-0.237	-0.044	-0.123	0.226	-0.476	-0.079	0.027	0.033	-0.238	-0.490	0.220	1

Tabla XI. Matriz de correlación, realizada para resultados obtenidos en marzo del 2006.

Variables	*T °C	Conducti vidad	SDT (mg/L)	Salinidad (ppm)	Oxígeno Disuelto mg/L	pH	Potencial Redox	Cloruros mg/L	Turbieda d UTN	Col. Fecales	SAAM mg/L	Grasas y Aceites (mg/L)	Fósforo (mg P/L)	Dureza total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )
*T	1													
Conducti vidad	-0.044	1												
SDT	-0.031	0.954	1											
Salinidad	-0.056	0.999	0.956	1										
Oxígeno disuelto	0.507	-0.186	-0.067	-0.196	1									
pH	0.524	-0.472	-0.391	-0.476	0.713	1								
Potencial Redox	-0.039	0.471	0.686	0.487	0.088	-0.135	1							
Cloruro	0.239	-0.162	-0.147	-0.175	0.043	0.433	-0.166	1						
Turbieda d	-0.126	-0.095	0.113	-0.087	0.324	0.523	0.441	0.190	1					
Col. Fecales	-0.028	0.431	0.372	0.432	-0.447	-0.124	0.185	0.597	-0.026	1				
SAAM	-0.379	-0.079	0.034	-0.062	-0.316	-0.277	0.310	-0.029	0.193	-0.158	1			
Grasas y Aceites	0.077	-0.571	-0.460	-0.574	-0.010	0.142	-0.172	0.483	-0.055	-0.128	0.527	1		
Fósforo	-0.754	0.184	0.199	0.206	-0.417	-0.526	0.331	-0.548	0.148	-0.130	0.533	-0.305	1	
Dureza total	-0.059	-0.046	-0.237	-0.044	-0.123	0.226	-0.476	-0.079	0.027	0.033	-0.238	-0.490	0.220	1

El análisis de componentes principales (ACP), aplicado para los valores obtenidos en los meses de Julio, Octubre y Marzo, establece dos variables. Para el eje X, la variable que determina la máxima dispersión sobre este eje, es el de parámetro de condición química. Como se observa en las **figuras 2, 3 y 4**, en el eje X, se encuentran ubicadas las Coliformes fecales, los detergentes, el fósforo, la conductividad y la salinidad. Para el eje Y, la variable que determina la máxima dispersión sobre este eje, es el parámetro de condición física. Como se observa en las **figuras 2, 3 y 4**, en el eje Y, se encuentran ubicados la turbiedad, la temperatura, el oxígeno disuelto, el pH. Estos parámetros describen la condición física del agua. Determinándose que en la zona de estudio la dispersión de las variables esta limitada por las condiciones físicas y químicas.

Se observa en los ACP analizados para octubre y marzo que la dispersión de los parámetros, tanto en el eje X como en el eje Y es similar. Por lo tanto, queda demostrado que la dispersión mantienen el mismo comportamiento en los once puntos de muestreo, es decir, no hay cambios en el medio que puedan alterar la dispersión de la variable de condición física y de la variable de condición química.

En el ACP analizado para los resultados obtenidos en julio, comparándolos con los ACP de octubre y marzo, se observa que hay un cambio de posición en el eje X y en el eje Y. En el eje X se ubica los cloruros y en el eje Y se ubica el potencial redox. Esta posición se encuentra invertida en los ACP de octubre y marzo. Esto demuestra que en el mes de julio los cloruros se encuentran en mayor concentración que en los otros meses, afectando la capacidad amortiguadora del agua.

La **gráfica 1**, contiene los valores de temperatura medidos en los tres meses de muestreo, se observa que en cada mes los once puntos sobrepasaron el límite guía permitido de 22°C. La trayectoria fue diferente para cada mes.

Las altas temperaturas se deben a que los nueve pozos artesanales muestreados se encuentran descubiertos y no son de gran profundidad, la ubicación de los

pozos es otro factor que afecta la temperatura ya que favorece la penetración de los rayos solares. En el caso del punto once, el agua no proviene directamente de la tubería, proviene de un tanque de almacenamiento localizado en la parte superior de la casa expuesta al contacto directo de los rayos solares.

Aunque los valores de temperatura son altos, por si solos no pueden ser un factor determinante para evaluar la calidad del agua, la importancia de mantener el valor de temperatura bajo se debe a que altas temperaturas favorecen el crecimiento de microorganismos y aumenta los problemas de gusto, olor y corrosión.

En el mes de julio y en octubre, el punto 11, mantuvo el valor más alto de temperatura.

El punto P-01, es un pozo profundo, sin embargo el agua fue tomada por medio de una manguera de plástico que se encontraba expuesta al sol lo que favoreció el aumento de temperatura.

La **gráfica 2**, contiene los valores de oxígeno disuelto en los tres meses de muestreo, cada mes representa una línea trazada diferente. El valor permitido debe estar por arriba de 6 mg/L. Los puntos que no están dentro del valor permitido son:

- En **Julio**: P-01, P-02, P-03, P-04, P-05, P-07 y P-09.
- En **Octubre**: P-03 y P-05.
- En **Marzo** los once puntos.

La disminución o aumento de oxígeno disuelto, depende de la concentración o estabilidad del material orgánico. Otros factores que determinan el valor de oxígeno disuelto en el agua son la temperatura y el volumen de agua contenida en los pozos. Uno de los problemas que ocasiona la disminución de oxígeno en los puntos muestreados es el aumento de salinidad ya que la salinidad afecta la



pureza del agua, cuando la cantidad de sales disueltas en el agua es alta dificulta la transferencia de oxígeno.

La **gráfica 3**, contiene los valores de pH en los tres meses de muestreo, siendo el límite permitido de 6.5-8.5. Para cada mes la línea trazada es diferente. En julio y octubre todos los puntos se encuentran dentro del valor permitido. Únicamente en marzo los puntos P-05, P-06, P-07 y P-11, sobrepasan el valor permitido.

En marzo, según el valor de pH medido en el punto P-05, contiene agua ácida y el punto P-11 contiene agua alcalina. La acidez que presenta el agua en el punto P-05 puede deberse a la oxidación de la materia orgánica. La alcalinidad del agua en el punto P-11, puede deberse a la dureza del líquido.

La **gráfica 4**, contiene los resultados de turbiedad en los tres meses de muestreo. La trayectoria fue diferente en cada mes. El límite permitido es de 5 UTN, se mantienen dentro del valor en los tres meses de muestreo, aunque su trayectoria es diferente.

La **gráfica 5**, contiene los resultados de sólidos disueltos totales, medidos en los tres meses de muestreo. La trayectoria fue diferente en cada mes. El límite permitido es de 1000 mg/l. Los puntos que se encuentran fuera del límite son:

- En **Julio**, P-02, P-04, P-06, P-07, P-08 y P-09.
- En **Octubre**, P-04, P-07, P-08, P-09, P-10 y P-11
- En **Marzo**, P-01, P-03, P-07, P-08, P-09, P-10 y P-11

La concentración de sólidos disueltos en el agua se debe a la presencia de minerales, gases, producto de la descomposición de materia orgánica, metales y compuestos químicos orgánicos (Romero A., 1999).

Concentraciones elevadas afectan al sabor del agua y aumentan la conductividad eléctrica. Se observa que durante los tres meses, los puntos P-07, P-08, P-09 y P-10 sobrepasan el límite, lo que nos indica problemas de contaminación en todo el

año, requiriendo la aplicación inmediata de un proceso de floculación para disminuir las concentraciones de los sólidos disueltos.

La **gráfica 6** contiene los resultados de grasas y aceites medidos en los tres meses de muestreo. Cada mes represento una trayectoria diferente. Se observa que el límite permitido es de 0.5 mg/l. Julio y Octubre, son los meses en donde los once puntos cumplen con la norma, únicamente en Marzo los puntos P-02, P-03 y P-04, están fuera del límite permitido.

Como se observa en la **figura 1**, tres de los cuatro puntos con problemas de grasas y aceites están ubicados en la zona B, que es la zona centro, y el otro punto ubicado en la zona C.

Los valores fuera del límite de grasas y aceites se deben a una posible infiltración de productos de limpieza, aparentemente no existe otra fuente que genere este conjunto de sustancias pobremente solubles.

La **gráfica 7**, contiene los valores de SAAM obtenidos para cada mes. Se observa una trayectoria diferente en las variaciones de SAAM para cada mes. El límite permitido es de 0.50 mg/l. En Octubre todos los puntos se encuentran dentro del límite permitido, en julio el punto P-09 se mantiene fuera del límite permitido y en marzo el punto P-03 sobrepasa el límite permitido.

El punto P-03, es un pozo abierto sin embargo el agua no se utiliza, este pozo a simple vista presenta problemas, ya que se la ha vertido basura y materia orgánica. El valor alto de SAAM se debe al vertido de detergentes.

El fósforo es un elemento esencial en el crecimiento de las plantas y animales (Romero A., 1999). La **gráfica 8**, contiene los valores de fósforo medidos en los tres meses de muestreo. Cada mes representa una trayectoria diferente. Se observa que el límite permitido es de 0.4 mg/l. En octubre todos los puntos

medidos se encuentra dentro del límite permitido, los puntos que se mantienen fuera del límite son:

- En **Julio**, P-03, P-04, P-05, P-06, P-07 y P-08
- En **Marzo**, P-03

La presencia de fósforo en el agua puede deberse a que se encuentra de manera natural en el ambiente o puede ser por descargas de aguas domésticas.

Los puntos, P-04, P-05, P-06, P-07 y P-08, se mantuvieron en el límite permitido de detergentes, por esta razón el contenido bajo de fósforo se debe a que se encuentra de manera natural en estos pozos. En el caso del punto P-03, el límite de detergentes fue sobrepasado, el valor alto de fósforo obtenido en este punto indica posibles problemas por descarga de aguas con concentraciones de fósforo, ya que este punto se ubica en la zona donde se encuentra la mayor concentración de casas y comercios. El pozo P-03, es un pozo abierto pero el agua no es utilizada.

Altos contenidos de fósforo ocasionan crecimiento excesivo de plantas provocando la eutrofización, que con el tiempo deteriora la calidad del agua en la fuente de abastecimiento.

Las aguas duras requieren cantidades considerables de jabón para producir espuma, lo que crea problemas de lavado. Desde el punto de vista sanitario las aguas duras pueden utilizarse para consumo humano (OMS, 2000). El valor de dureza es tomado en cuenta para determinar su conveniencia para uso doméstico e industrial y la necesidad de un proceso de ablandamiento. La **gráfica 9**, contiene el resultado de dureza obtenido en los tres meses de muestreo. Cada mes representado por una trayectoria diferente. El valor límite permitido es de 500 mg/L. En Julio los once puntos se mantuvieron dentro del límite permitido, los puntos que estuvieron fuera del límite permitido son:

- En **Octubre**, el punto P-06.
- En **Marzo**, el punto P-07.

Los valores altos de dureza en los puntos citados, se debe a que el suelo en esta zona tiene gran contenido de calcio.

Como se observa en la tabla, la dureza se midió en octubre y marzo. En julio el contenido de dureza no se determinó por falta de material en el laboratorio ocasionando que el tiempo de almacenamiento establecido en la norma NMX-AA-072-SCFI-2001 no se cumpliera, haciendo inválida la determinación.

El ión cloruro es una de las especies de cloro de importancia en aguas. Los cloruros aparecen en todas las aguas naturales en concentraciones que varían ampliamente.

La **gráfica 10**, contiene los valores medidos de cloruros en los tres meses de muestreo. Cada mes representado por una trayectoria diferente. El límite permitido es de 250 mg/l. En marzo los once puntos se mantuvieron dentro del límite permitido, en julio los puntos que sobrepasaron el límite permitido fueron el punto P-03, P-04, P-07, P-08 y P-10. En octubre se sobrepasó el límite permitido en el punto P-04, P-05 y P-09.

La presencia de cloruros en el agua se debe a fuentes naturales, aguas residuales, escorrentía urbana e intrusión salina. Altas concentraciones de cloruros afectan el sabor del agua y, además, le confieren un poder laxante.

Las Coliformes totales y fecales, son grupos de bacterias considerados como indicadores, el valor determinado esta relacionado directamente con el grado de contaminación (Jiménez E., 2001).

Las Coliformes fecales están estrechamente relacionadas con la probabilidad de encontrar patógenos excretados.

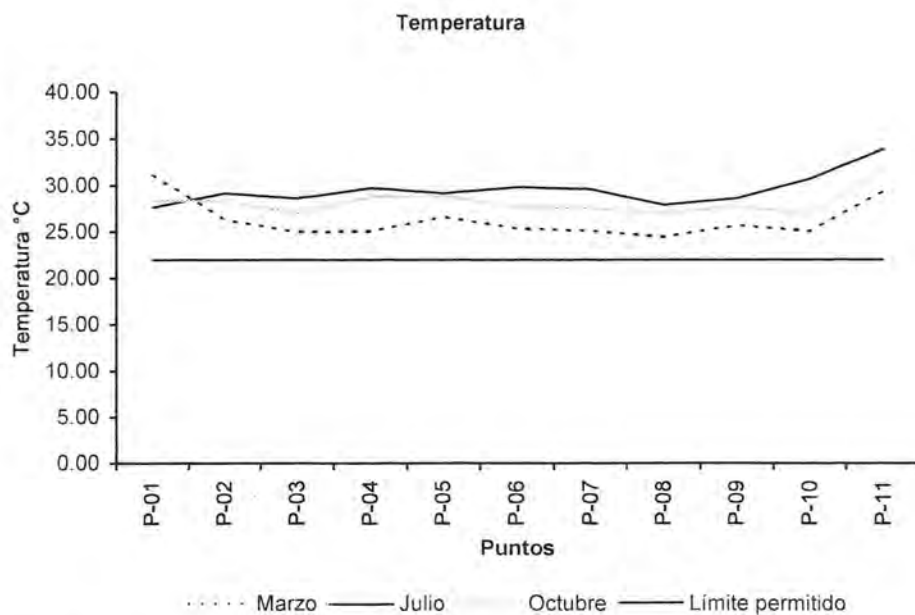
La **gráfica 11**, contiene los resultados de Coliformes fecales medidos en los tres meses de muestreo. Cada mes representó una trayectoria diferente. Se observa

que en julio y marzo, hay presencia de Coliformes fecales en todos los puntos muestreados. Estos resultados determinan que la calidad del agua durante estos meses es inadecuada para uso humano, siendo necesario la aplicación de un proceso de desinfección. El punto P-11, es la muestra tomada de una toma domiciliaria (agua potable). Como se muestra los resultados el agua del P-11 esta contaminada. Por norma las aguas para consumo humano no deben contener Coliformes fecales.

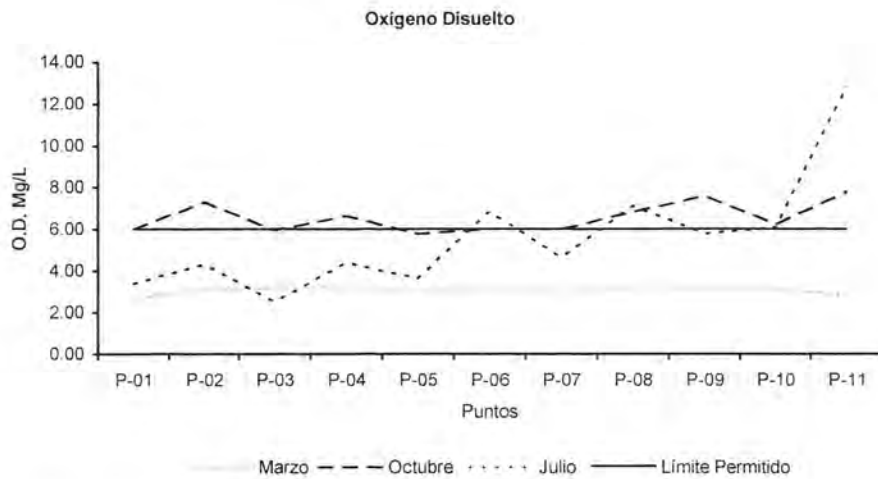
La presencia de Coliformes fecales en el agua se debe a infiltraciones de heces fecales al subsuelo y problemas en el servicio de drenaje. Como se observa en la **gráfica 11**, se presentaron Coliformes fecales únicamente en los meses de lluvias, lo que comprueba la alta permeabilidad del suelo en esta zona.

En marzo, no se encontró indicadores de contaminación microbiológica, todos los puntos muestreados cumplieron con el límite establecido de Coliformes fecales en el agua. De esto se deduce que durante la temporada de secas el agua mantiene la mejor calidad para ser considerada apta para consumo humano.

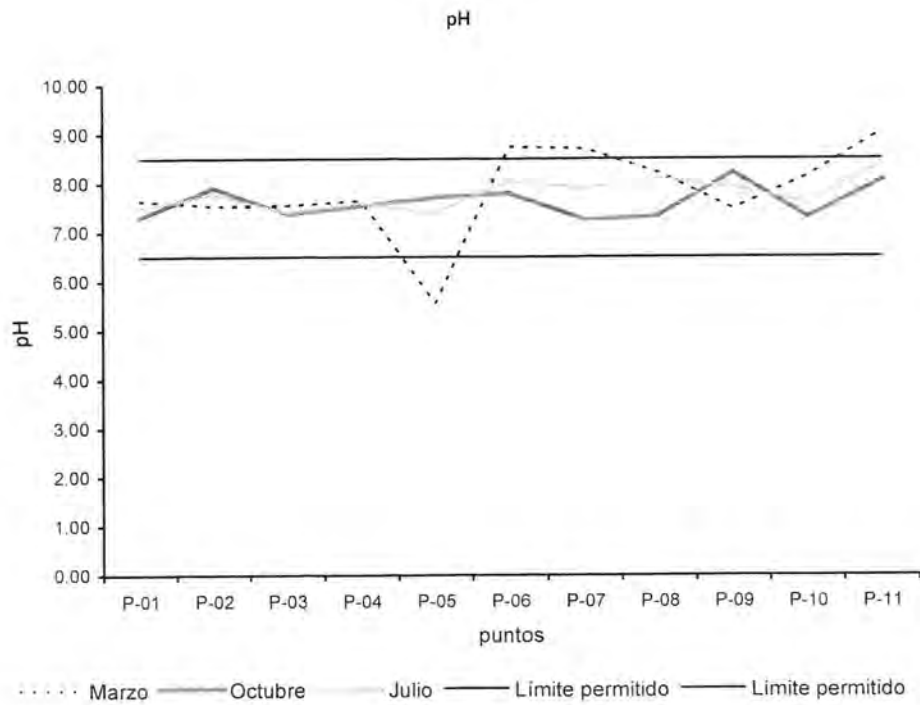
Las trayectorias representadas en las siguientes gráficas muestran el comportamiento de los valores obtenidos para cada parámetro medido durante los tres meses de muestreo, estas representaciones son importantes para conocer las variaciones de cada parámetro como resultado de las condiciones presentes en cada punto de muestro. Si el comportamiento de un parámetro es igual en trayectoria y valor para los tres meses, quiere decir que este parámetro se mantuvo bajo las mismas condiciones en todos los punto analizados, en cambio si el parámetro representa la misma trayectoria pero con valores diferentes quiere decir que hay condiciones en los puntos de muestreo que alteran el valor del parámetro pero no cambia el comportamiento, y si el valor y la trayectoria no es igual en los tres monitoreos indica que los puntos muestreados presentan condiciones que afectan la medida de cada parámetro. La variación en los resultados se debe a las diferentes condiciones presentadas en cada mes en los puntos muestreados.



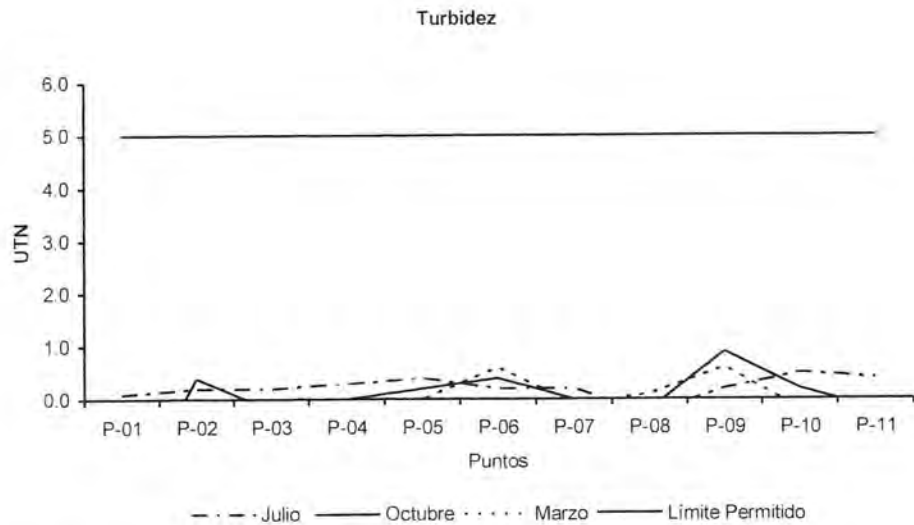
**Gráfica 1.** Resultado anual de Temperatura



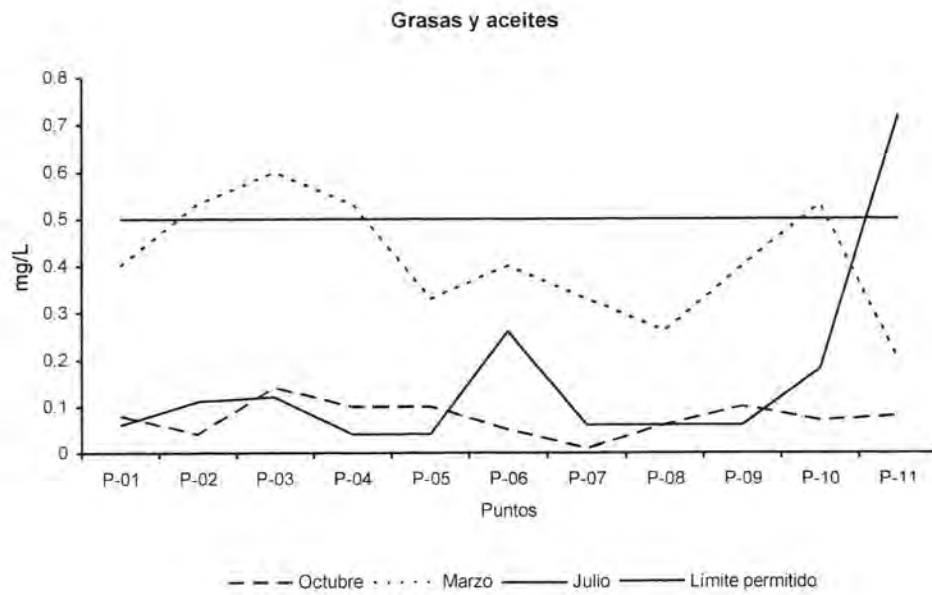
**Gráfica 2.** Resultado anual de oxígeno disuelto



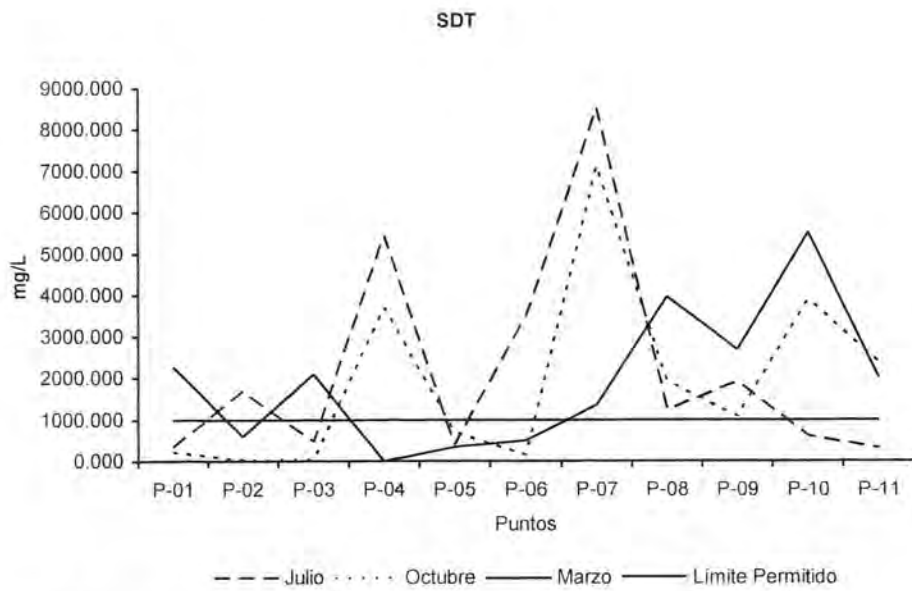
**Gráfica 3.** Resultado anual de pH.



**Gráfica 4.** Resultado anual de Turbidez.

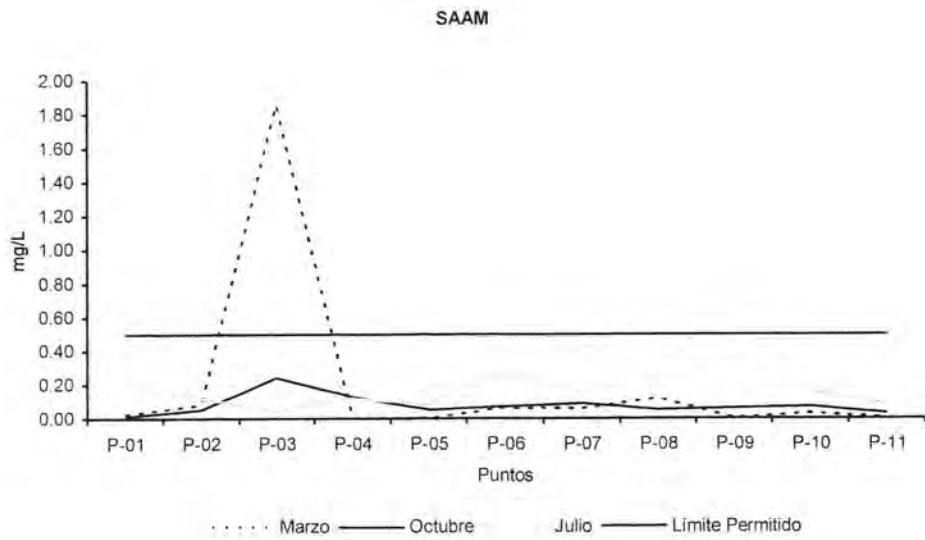


**Gráfica 5.** Resultado anual de grasas y aceites.

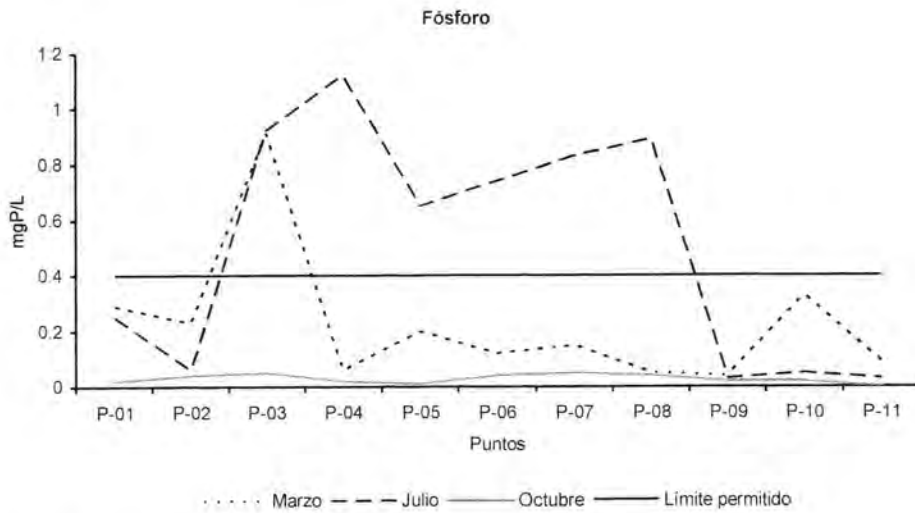


**Gráfica 6.** Resultado anual de Sólidos Disueltos Totales.

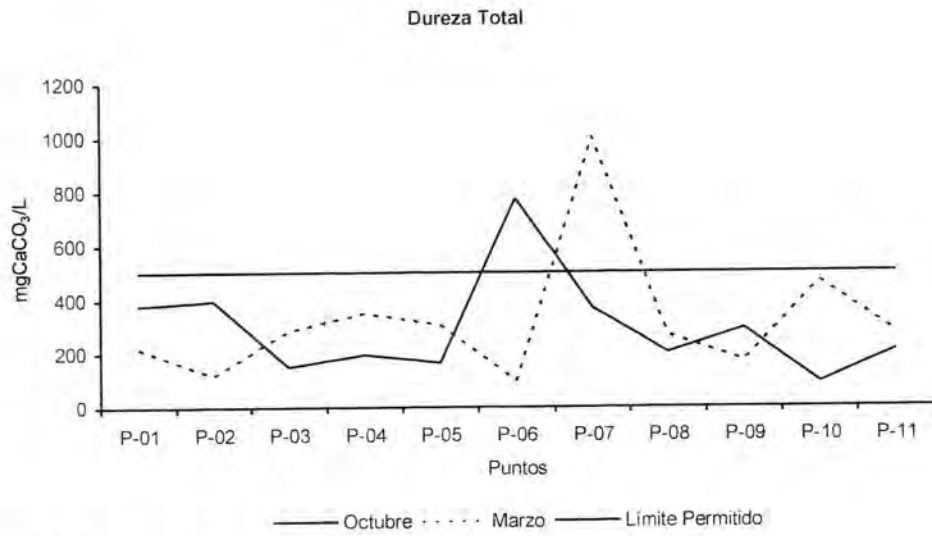




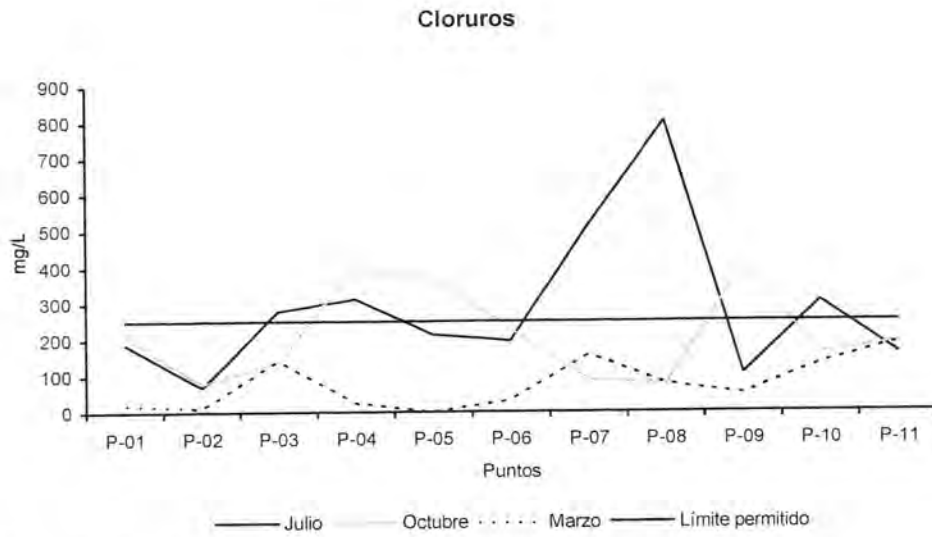
**Gráfica 7.** Resultado anual de SAAM.



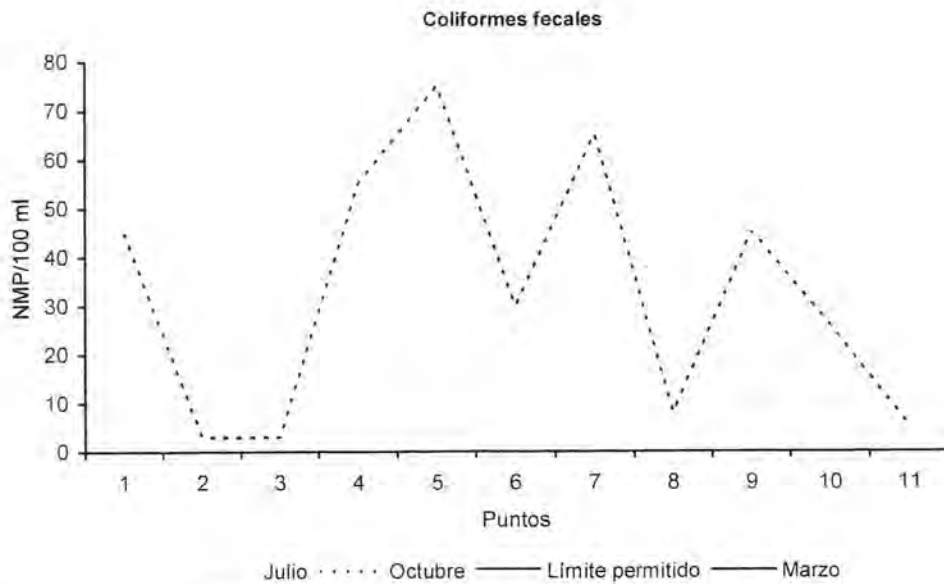
**Gráfica 8.** Resultado anual de fósforo.



**Gráfica 9.** Resultado anual de dureza total.



**Gráfica 10.** Resultado anual de cloruros.



**Gráfica 11.** Resultado anual de coliformes fecales.

La **tabla XII**, presenta los valores de parámetros físicos, químicos y biológicos, medidos en el mes de julio. Las medidas determinan que el agua de los once puntos presenta una calidad no aceptable por la norma NOM-127-SSA1-1994, por lo tanto el agua no debe ser utilizada para consumo humano, sin tratamiento previo.

La **tabla XII**, presenta los resultados de los parámetros físicos, químicos y biológicos, medidos en el mes de octubre. Los valores definen que el agua de los once puntos presenta una calidad no aceptable por norma NOM-127-SSA1-1994, por lo tanto el agua no puede ser utilizada para consumo humano, sin tratamiento previo.

La **tabla XIII**, presenta los valores obtenidos para los parámetros físicos, químicos y biológicos, medidos en el mes de marzo. Los resultados definen que el agua de los once pozos presenta una calidad buena calidad según la norma NOM-127-SSA1-1994.

Tabla XII. Resultados de los parámetros físico, químicos y biológicos, medidos en el mes de julio

Puntos	Físico										Químico					Biológico	
	Temperatura LP 22°C	Turbiedad LP 5 UTN	Sólidos totales LP 1000mg/L	Oxígeno disuelto LP menor a 6mg/L	pH LP 6,5-8,5	Grasas y aceites LP 0,5mg/L	Sustancias activas al azul de metileno LP 0,50mg/L	Fósforo LP 0,4mgP /L	Dureza LP 500mg CaCO <sub>3</sub> /L	Cloruros LP 250mg/L	Coliformes fecales LP 0 NMP/100m l						
P-01	* 27.59	0	339	* 3.40	7.49	0.06	0.2	0.25	S/A	189.60	*41						
P-02	* 29.12	0	* 1678	* 4.33	7.78	0.04	0.12	0.06	S/A	69.71	* 8						
P-03	* 28.56	0	465	* 2.52	7.41	0.14	0.04	* 0.92	S/A	* 277.80	* 28						
P-04	* 29.65	0	* 5455	* 4.39	7.60	0.1	0.12	* 1.12	S/A	* 311.70	* 29						
P-05	* 29.11	0	394	* 3.63	7.39	0.1	0.08	* 0.65	S/A	214.20	* 8						
P-06	* 29.78	0	* 3484	6.83	8.04	0.05	0.28	* 0.74	S/A	197.10	* 25						
P-07	* 29.55	0	* 8529	* 4.63	7.89	0.01	0.16	* 0.83	S/A	* 515.50	* 37						
P-08	* 27.88	0	* 1242	7.11	8.10	0.06	0.24	* 0.89	S/A	* 802.90	* 38						
P-09	* 28.58	0	* 1905	* 5.79	7.91	0.1	* 0.8	0.03	S/A	105.90	* 5						
P-10	* 30.67	0.2	606	6.09	7.59	0.07	0.16	0.05	S/A	* 304.90	* 35						
P-11	* 33.86	0.1	305	12.85	8.42	0.08	0.08	0.03	S/A	161.80	* 2						

\*LP, Limite Permitido

\*UTN, unidades de turbiedad nefelométrica

\*NMP, número más probable

\* sobrepasa el límite permitido

\*S/A, sin analizar

Tabla XIII. Resultados de parámetros físicos, químicos y biológicos, medidos en el mes de octubre

Puntos	Físico										Químico					Biológico	
	Temperatura LP 22°C	Turbiedad LP 5 UTN	Sólidos disueltos LP 1000mg/L	Oxígeno disuelto LP menor a 6mg/L	pH LP 6.5-8.5	Grasas y aceites LP 0.5mg/L	Sustancias azules al azul de metileno LP 0.50mg/L	Fósforo LP 0.4mgP/L	Dureza LP 500mg CaCO <sub>3</sub> /L	Cloruros LP 250mg/L	Coliformes fecales LP 0 NMP/100m <sup>l</sup>						
P-01	* 28.31	0	218	6.00	7.29	0.08	0.01	0.02	378.56	213.50	* 45						
P-02	* 28.30	0.4	23	7.31	7.92	0.04	0.05	0.04	395.5	76.36	* 3						
P-03	* 26.88	0	41	* 5.95	7.37	0.14	0.24	0.05	149.76	141.40	* 3						
P-04	* 28.78	0	* 3711	6.63	7.54	0.1	0.13	0.02	193.85	* 400.20	* 55						
P-05	* 28.80	0.2	697	* 5.80	7.71	0.1	0.05	0.01	163.07	* 368.30	* 75						
P-06	* 27.59	0.4	145	6.00	7.80	0.05	0.07	0.04	* 773.76	230.40	* 30						
P-07	* 27.52	0	* 7106	6.01	7.24	0.01	0.09	0.05	366.08	88.36	* 65						
P-08	* 27.05	0	* 1903	6.83	7.32	0.06	0.05	0.04	199.68	79.63	* 8						
P-09	* 27.66	0.9	* 1081	7.58	8.24	0.1	0.06	0.02	291.5	* 398.60	* 45						
P-10	* 26.70	0.2	* 3902	6.24	7.28	0.07	0.07	0.02	89.85	160.60	* 26						
P-11	* 31.72	0	* 2361	7.80	8.07	0.08	0.03	0.00	208	191.80	* 5						

\*LP, Límite Permitido  
 \*UTN, unidades de turbiedad nefelométrica  
 \*NMP, número más probable  
 \* sobrepasa el límite permitido

Tabla XIV. Resultados de lo parámetros físicos, químicos y biológicos, medidos en el mes de marzo.

Puntos	Físico										Químico				Biológico	
	Temperatura LP 22°C	Turbiedad LP 5 UNTN	Sólidos disueltos totales LP 1000mg/L	Oxígeno disuelto LP menor a 6mg/L	pH LP 6,5-8,5	Grasas y aceites LP 0,5mg/L	Sustancias activas al azul de metileno LP 0,50mg/L	Fósforo LP 0,4mgP/L	Dureza LP 500mg CaCO <sub>3</sub> /L	Cloruros LP 250mg/L	Coliformes fecales LP 0 NMP/100m <sup>3</sup>					
P-01	* 31,10	0	* 2274	* 2,67	7,65	0,40	0,02	0,29	216,32	19,79	0,00					
P-02	* 26,22	0	593	* 3,11	7,54	* 0,53	0,08	0,23	116,48	10,13	0,00					
P-03	* 25,01	0	* 2093	* 3,17	7,55	* 0,60	* 1,85	* 0,91	282,88	141,60	0,00					
P-04	* 25,06	0	2	* 3,20	7,65	* 0,53	0	0,06	349,44	24,72	0,00					
P-05	* 26,55	0	332	* 3,02	* 5,55	0,33	0	0,20	303,68	0,02	0,00					
P-06	* 25,33	0,6	501	* 3,17	* 8,74	0,40	0,06	0,12	95,68	32,22	0,00					
P-07	* 25,06	0	* 1357	* 2,98	* 8,70	0,33	0,06	0,15	* 998,40	158,30	0,00					
P-08	* 24,44	0,1	* 3968	* 3,20	8,21	0,26	0,12	0,05	266,72	79,00	0,00					
P-09	* 25,67	0,6	* 2679	* 3,11	7,48	0,40	0	0,04	169,72	50,25	0,00					
P-10	* 25,02	0	* 5518	* 3,12	8,14	* 0,53	0,03	0,33	465,92	133,80	0,00					
P-11	* 29,32	0	* 1995	* 2,80	* 9,04	0,20	0	0,09	274,56	190,90	0,00					

\*LP, Límite Permitido  
 \*UTN, unidades de turbiedad nefelométrica  
 \*NMP, número más probable  
 \* sobrepasa el límite permitido

El análisis de resultados muestra que en Julio el agua de los pozos esta contaminada por heces fecales, lo que posibilita la presencia de patógenos. Las heces fecales pueden provenir del filtrado en el subsuelo, ya que el suelo de la zona es muy permeable. Las primeras lluvias presentes en este mes facilitan aún más el transporte de materiales al subsuelo.

En algunas zonas del poblado de Mahahual, no se cuenta con el servicio de drenaje, utilizan fosa séptica. Por la permeabilidad del suelo el contenido de las fosas se transporta a las zonas bajas, ocasionando contaminación fecal.

Es considerado el mes de Octubre como un mes con abundantes lluvias, se incluye en la temporada de huracanes. En Octubre el agua presenta coliformes fecales, al igual que Julio la razón de la contaminación es, la capacidad permeable del suelo, que al aumentar las lluvias facilita el filtrado del material orgánico. Las Coliformes fecales provienen de las descargas directas al subsuelo debido a la falta de drenaje.

En marzo, comparado con los otros dos meses, obtuvo valores de temperatura bajos, a pesar de esto, los valores obtenidos de oxígeno disuelto sobrepasaron el límite en todos los puntos, podría suponerse gran presencia de materia orgánica, sin embargo no se encontró indicios de contaminación. La razón de este comportamiento se debe a que en marzo la precipitación es menor que en los otros meses, por lo tanto, el volumen del agua en los pozos disminuye lo que puede provocar la intrusión salina.

En Julio y octubre el punto P-11 presentó contaminación fecal, lo que nos indica que el tratamiento aplicado al agua no es eficiente; estos meses son de lluvias. Para el mes de marzo el agua se encuentra limpia de coliformes fecales, pero hay un aumento en la salinidad. El aumento de salinidad se debe a que el pozo de donde se extrae el agua para después ser potabilizada es sobreexplotado durante los meses de secas.

El año presenta dos temporadas, la temporada de lluvias y la de secas, en la temporada de lluvias las fuentes de abastecimiento se contaminan por las Coliformes fecales lo que imposibilita el consumo de esta agua y en la temporada de secas el agua de las fuentes mantiene la mejor calidad para ser consumirla.

Si en la temporada de lluvia el uso destinado al agua extraída de los diez pozos es para consumo humano, es decir, si la beben, si cocinan con esta agua y procesan alimentos, por norma el agua debe potabilizarse. Puede ser por medio de la cloración, un tratamiento convencional utilizado para la desinfección del agua.

El punto P-11 es la muestra de agua potable, abastecida por CAPA. A pesar de que el agua se mantiene en tratamiento, presentó en Julio y Octubre coliformes fecales, indicando que el tratamiento aplicado al agua es ineficiente, ya que los valores están por arriba del valor permisible para consumo humano. Sin la aplicación o el mejoramiento del proceso de potabilización se recomienda que el agua sea útil para el riego de jardines, lavado de coches, lavado de calle y limpieza de casa.

En Marzo, el agua extraída de los pozos no presenta algún tipo de contaminación, pero hay una disminución en el volumen de agua contenida en estas fuentes.



## VII.- DISCUSIÓN

Son pocos los trabajos que se han realizado en materia de calidad del agua en pozos artesanales establecidos en Mahahual, los trabajos de evaluación son de vital importancia para conocer la utilidad del agua, sin mediciones de parámetros físicos, químicos y microbiológicos, los cuales determinan la calidad del agua, la utilidad es incierta. La mayoría de los monitoreos de calidad del agua se hace únicamente en la toma domiciliaria del suministro de CAPA.

Durante los meses de julio y octubre las fuentes de abastecimiento de agua están contaminadas por coliformes fecales debido a la infiltración de estas bacterias al subsuelo. El suelo de la zona es altamente permeable. La permeabilidad del suelo facilita la infiltración de material orgánico y otros compuestos contaminantes a las aguas, modificando su calidad. El punto P-01, que es el pozo establecido por CAPA, está contaminado por coliformes fecales. En julio el valor medido fue de 2 NMP/100ml y en octubre fue de 5 NMP/100ml, estuvieron dentro de los valores más bajos medidos en los once puntos.

Los resultados indican que hay problemas graves por contaminación fecal, siendo necesario aplicar tratamientos de desinfección en los nueve pozos establecidos por la población. Los altos valores de coliformes fecales deben ser considerados como una alerta, si estas concentraciones llegan al agua de mar puede ocasionar problemas en la flora y fauna marina y sobre la salud humana, además de disminuir la calidad de las playas para uso recreativo

En marzo el agua de los pozos mantiene la mejor calidad, ya que no hay presencia de Coliformes fecales.

Las variaciones en la concentración de coliformes fecales durante las épocas de lluvias y secas demuestran que la precipitación es un factor determinante para la

calidad del agua. Si el valor de la precipitación es alto, los puntos presentarían coliformes fecales, por el contrario, cuando el valor de la precipitación es menor, los puntos están libres de coliformes fecales.

El estudio geohidrológico para la Identificación de las Fuentes de abastecimiento de Agua Potable para el Centro Integralmente Planeado Costa Maya, estado de Quintana Roo. Realizado por la empresa Nacional de Tecnologías S. A. de C. V. Mantiene que los cambios climáticos afectan la calidad del agua. Además, establece que hay zonas con alta permeabilidad que favorecen la infiltración y posteriormente se da un flujo subterráneo en dirección poniente-oriental (hacia el mar).

En la temporada de seca, representada por el mes de marzo, refleja en los resultados, que los pozos mantienen un nivel bajo en volumen de agua. En este mes la calidad del agua es alta respecto a lo registrado para los otros muestreos, debido a que no hay infiltraciones de materiales contaminantes al subsuelo. Las fuentes de abastecimiento en marzo presentan problemas de cantidad y por lo tanto los valores obtenidos de cloruros presentan problemas de salinidad.

El punto P-11 en marzo, mantiene fuera del límite el valor de oxígeno disuelto. Este problema se debe al tipo de agua que tiene la zona; el agua es tipo cloruro-sódica. El punto P-11 tiene el valor más alto de cloruro, pero no sobrepasa el límite establecido.

El mismo trabajo antes citado establece en el panorama general del área de estudio, lo siguiente: "el agua de la zona es de tipo cloruro-sódica. Su calidad es aceptable, desde el punto de vista ambiental"

## VIII. CONCLUSIÓN

- La calidad de las fuentes de abastecimiento establecidas en Mahahual, Quintana Roo, durante todo un ciclo anual mostró variaciones, obteniendo la mínima calidad durante los meses de julio y agosto (meses de lluvia), y calidad media en el mes de marzo (mes de seca).
- Existen variaciones en la calidad de las fuentes de abastecimiento durante la época de lluvia y en la época de seca, por lo cual la hipótesis nula se rechaza y es necesario aceptar la hipótesis alternativa de que "La calidad del agua no se mantiene dentro de los límites permisibles a lo largo de todo el año.
- Durante los meses de Julio y octubre el agua de los once puntos sobrepasó los límites permisibles de coliformes fecales y en el mes de marzo el agua de los once puntos sobrepasó los límites permisibles de oxígeno disuelto.
- Las fuentes de abastecimiento durante la temporada de lluvia se contaminaron por las Coliformes fecales y durante la temporada de seca el nivel del agua bajo, ocasionando la sobreexplotación de la fuente y la entrada de agua salada en los pozos.
- La desinfección es el tratamiento que debe aplicarse en las fuentes de abastecimiento de agua establecidas en el poblado de Mahahual, para mejorar la calidad y garantizar su utilidad.
- De no aplicarse el tratamiento recomendado, el agua extraída de estas fuentes solo puede ser útil para riego de jardines, lavado de coches, lavado de calle y limpieza de casa.
- Los resultados del análisis microbiológico realizados en julio y octubre muestran presencia de coliformes fecales, estos pueden causar enfermedades gastrointestinales en la población. Por lo tanto el agua de los pozos no debe ser considerada para consumo humano.
- Existe contaminación en el agua de la toma domiciliaria por coliformes fecales.

## IX. RECOMENDACIONES

- I. CAPA debe mejorar la potabilización del agua.
- II. Se recomienda reducir el tiempo entre monitoreos en el agua suministrada por CAPA, con el fin de conocer la composición del agua durante periodos cortos, lo que ayudará a controlar posibles deficiencias en la potabilización.
- III. Es mejor utilizar el agua que suministra CAPA y administrar la cantidad de agua en el hogar para cumplir con todas las necesidades.
- IV. Si el agua de los pozos no es utilizada, la clausura de estos debe ser total sin áreas abiertas que faciliten la entrada de contaminantes provenientes del exterior.
- V. CAPA debe aplicar políticas integrales de administración del agua, buscando la conservación del recurso, la preservación de su calidad y su uso eficiente.
- VI. Instalar la red de drenaje en la zona poblacional cercana a la costa.
- VII. Se debe evitar la explotación del manto acuífero para extraer agua sin la mínima calidad ya que los pozos pueden ser puerta de entrada de contaminantes que afecten la calidad del agua de mar, poniendo en riesgo la flora y fauna marina.

## X.- BIBLIOGRAFÍA

1. NMX-AA-014-1980, Norma mexicana, Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistema de abastecimiento de agua públicos y privados.
2. NMX-AA-042-1987, Norma Mexicana, Determinación de coliformes fecales en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.
3. NMX-AA-005-SCFI-2000 Norma Mexicana, Determinación de grasas y aceites en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.
4. NMX-AA-029-SCFI-2001 Norma Mexicana, Determinación de fósforo total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.
5. NMX-AA-039-SCFI-2001 Norma Mexicana, Determinación de sustancias activas al azul de metileno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.
6. NMX-AA-072-SCFI-2001 Norma Mexicana, Determinación de dureza total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.
7. NOM-012-SSA1-1993, Norma Oficial Mexicana, Requisitos sanitarios que deben cumplir los sistemas de abastecimiento de agua potable para uso y consumo humano públicos o privados.
8. NOM-127-SSA1-1994, Norma Oficial Mexicana, Salud ambiental, agua para uso y consumo humano, límite permisibles de calidad y tratamiento a que debe someterse el agua para su potabilización.

9. NOM-179-SSA1-1998, Norma Oficial Mexicana, Vigilancia y evaluación del control de calidad del agua para uso y consumo humano, distribuida por sistemas de abastecimiento de público.
10. Organización Mundial de la Salud (OMS) (2000). Guía de calidad del agua para consumo humano.
11. Comisión agua potable y alcantarillado de Quintana Roo (1998) Estudio geohidrologico para la identificación de las fuentes de abastecimiento de agua potable para el centro integralmente planeado costa maya, estado de Quintana Roo.
12. Seoáñez M. (1999) Ingeniería del medio ambiente, aplicada al medio natural continental. (Ed.) Mundí, España, pp. 702
13. Tebbutt T. (1999) Fundamentos de control de la calidad del agua. (Ed.) LIMUSA, México, D. F., pp.239
14. Romero A. (1999) Calidad del agua. (Ed.) Alfaomega, México, D. F., pp.273
15. Snoeyink L., Jenkins D., (1990) Química del agua. (Ed.) LIMUSA, México, D. F., pp.508
16. Pytlik, Lauda, Jonson (1996) Tecnología, cambio y sociedad. (Ed.) Alfaomega, México, D. F., pp.299
17. Jiménez E. (2001) La contaminación ambiental en México. UNAM, México D. F., pp.925

Documentación en línea consultada

<http://www.fcga.es/paq/plus.php3?tabla=Laboratorios&tabla2=InterpretarAguas>

Consulta: 12/03/05

<http://uninet.mty.itesm.mx/legis-demo/indices/indaa.htm>  
Consulta: 12/03/05

<http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacq/e/indica.html>  
Consulta: 12/03/05

<http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/gacetas/191/criterios.html#top>  
Consulta: 15/03/05

[http://www.unicef.org/spanish/wes/index\\_wes\\_related.html](http://www.unicef.org/spanish/wes/index_wes_related.html)  
Consulta: 15/03/05

<http://www.semarnat.gob.mx/qroo/oet2/oet1.shtml>  
Consulta: 15/03/05

[http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/338/Medina.pdf?id\\_publicacion=338&id\\_tema=8&dir=Consultas](http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/338/Medina.pdf?id_publicacion=338&id_tema=8&dir=Consultas)  
Consulta: 20/03/05

<http://www.epa.gov/owow/oceans/>  
Consulta: 20/03/05

<http://www.semarnat.gob.mx/wps/portal/cmd/cs/ce/155/s/3520/s.155/3512>  
Consulta: 1/04/05

<http://www.idaan.gob.pa/importancia.htm>  
Consulta: 3/04/05

[http://cecaedesu.semarnat.gob.mx/biblioteca\\_digital/educadores\\_ambientales/edu\\_amb\\_03.shtml](http://cecaedesu.semarnat.gob.mx/biblioteca_digital/educadores_ambientales/edu_amb_03.shtml)  
Consulta: 4/04/05

<http://www.estrucplan.com.ar/Articulos/verarticulo.asp?IDArticulo=178>  
Consulta: 4/04/05

<http://www.quintanaroo.gob.mx/nuestrogobierno/planestrategico/planeacionterritorial.htm>  
Consulta: 4/04/05

<http://www.lenntech.com/espanol/EEEdirectorio.htm>  
Consulta: 5/04/05

<http://acsmedioambiente.com/LoNuevo/SALUD%20AMBIENTAL,%20AGUA%20PARA%20USO%20Y%20CONSUMO%20HUMANOS.htm>  
Consulta: 5/04/05

<http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nomssa.html>  
Consulta: 10/04/05

<http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/014ssa13.html>  
Consulta: 10/04/05

<http://www.fao.org/docrep/T0715E/t0715e0e.htm>  
Consulta: 10/04/05

## **ANEXOS**





Foto 1. Fuente de abastecimiento nombrado "P-01"

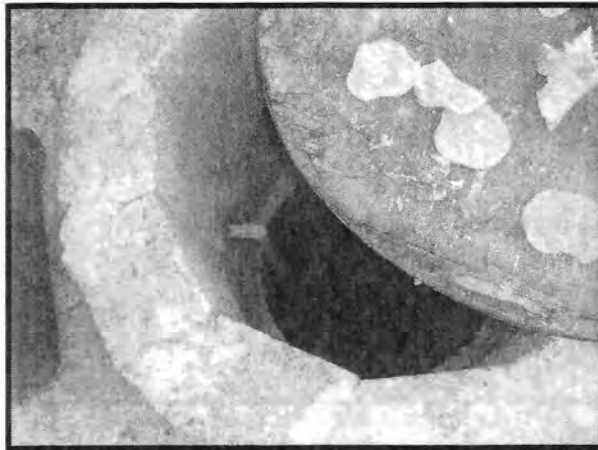


Foto 2. Fuente de abastecimiento nombrado "P-02"



Foto 3. Fuente de abastecimiento nombrado "P-03"



Foto 4. Fuente de abastecimiento nombrado "P-04"



Foto 5. Fuente de abastecimiento nombrado "P-05"

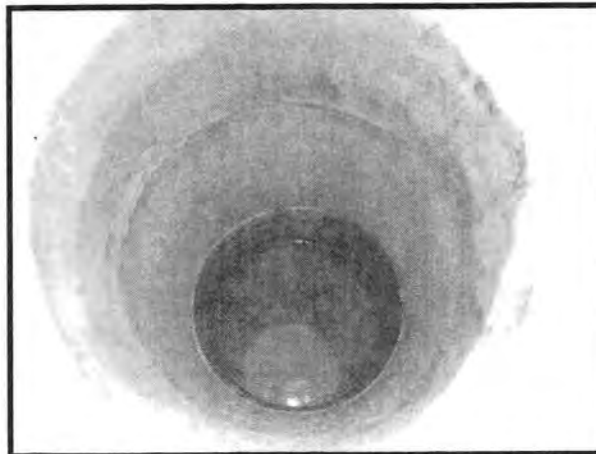


Foto 6. Fuente de abastecimiento nombrado "P-06"



Foto 7. Fuente de abastecimiento nombrado "P-07"



Foto 8. Fuente de abastecimiento nombrado "P-08"



Foto 9. Fuente de abastecimiento nombrado "P-09"



Foto 10. Fuente de abastecimiento nombrado "P-10"

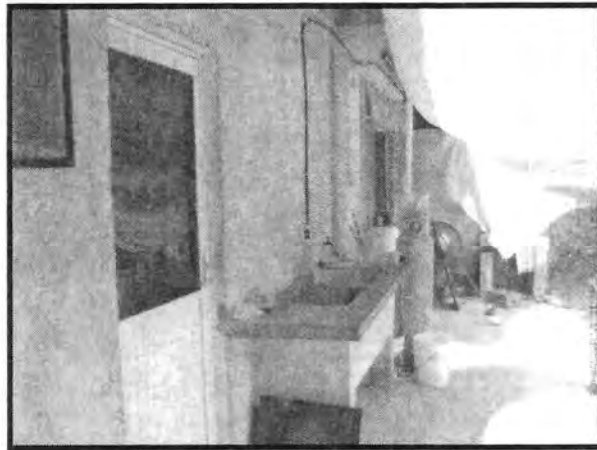


Foto 11. Fuente de abastecimiento nombrado "P-11"