



JULIO DE 2019

# EVALUACIÓN DE CLORO RESIDUAL TOTAL Y LIBRE EN EL AGUA POTABLE DE LA FES ARAGÓN

INFORME A JULIO DE 2019, PROGRAMA PUMAGUA

M. EN C. SERGIO ALFONSO MARTÍNEZ GONZÁLEZ  
PROFESOR DE CARRERA ASOCIADO "C", TIEMPO COMPLETO INTERINO  
Área de Estudios Ambientales, Centro Tecnológico Aragón



# Introducción

---

A partir de la implementación del Programa PUMAGUA en la Facultad de Estudios Superiores Aragón, surgió la preocupación de conocer la calidad microbiológica del agua que se distribuye en la FES, ya que este líquido no sólo se usa en los sanitarios, sino que también está en contacto directo con una gran parte de la comunidad universitaria que hacen uso de las regaderas y sobre todo en el servicio médico.

En este sentido, se hizo la planeación de monitorear la calidad bacteriológica del agua de manera mensual, pero esto no se ha logrado debido a que no se cuenta todavía con el equipo e infraestructura requerida para este tipo de análisis. En su lugar, se propuso medir la cantidad de cloro residual total y cloro libre residual, pues si se detecta la presencia de éste último, se tiene una baja probabilidad de que en el agua esté contaminada por microorganismos. El problema es que fue hasta el año 2015 cuando ya se pudo hacer esta evaluación de manera mensual.

El objetivo principal de este monitoreo del agua, no solo es conocer la concentración de cloro, sino que se quiere contar con un seguimiento de la calidad del agua y así solicitar al organismo operador del agua correspondiente, se incremente la concentración de cloro en el agua que alimenta a la Facultad y así disminuir la probabilidad de presencia de organismos patógenos. También servirá esta información para proponer un sistema de recloración de agua, pero se puede hacer más específico, al detectar las zonas más vulnerables del sistema de distribución.

Este reporte no está concluido, pues se trata de un Programa Institucional y que los resultados pueden servir para la toma de decisiones en momentos de vulnerabilidad de la comunidad universitaria ante la presencia de algún fenómeno de tipo meteorológico.

M. en C. Sergio Alfonso Martínez González

# Cloración

---

Desinfección es el término aplicado a aquellos procesos en los cuales se destruyen microorganismos patógenos, pero no sus esporas. El propósito primario de la desinfección del agua es impedir la diseminación de enfermedades hídricas. La importancia del control de enfermedades transmisibles por el agua es hoy en día evidente, pero hasta 1854 se demostró que este líquido servía como vehículo de algunas enfermedades. Durante el siglo XIV una enfermedad llamada en esa época “peste negra” exterminó aproximadamente el 25% de la población de Europa. En Londres, durante el invierno de 1664, una epidemia produjo 70,000 decesos. Con la industrialización y la aglomeración resultante de población, la frecuencia de epidemias aumentó. En 1854, gracias al estudio cuidadoso de los señores Snow y York sobre las causas de una epidemia de cólera en Londres, se pudo probar que la fuente de la infección había sido el agua; posteriormente, se demostró que un pozo de suministro de agua había sido contaminado con aguas residuales provenientes de una casa en la cual habitaba un individuo enfermo de cólera. Más adelante, con el desarrollo de la microbiología, se pudo probar que el agua servía como transmisor de enfermedades. En este sentido, es importante implementar algún proceso de desinfección en el agua, siendo el más común la cloración.

El uso del cloro como agente desinfectante empezó a principios del siglo XX y pasó a completar el proceso de filtración, que era el ampliamente utilizado. El cloro se ha usado principalmente para el control de microorganismos en aguas de consumo, aguas residuales, piscinas, lodos, etc., así como oxidante de hierro y manganeso, para control de olores y sabores, oxidación de sulfuros, remoción de amoníaco y control orgánico y oxidación de cianuros.

En purificación y tratamiento de agua, el cloro se usa como gas generado a partir de la vaporización de cloro líquido almacenado bajo presión en cilindros; como líquido, comúnmente hipoclorito de sodio y como sólido, se usa hipoclorito de alto grado, HTH o hipoclorito de calcio.

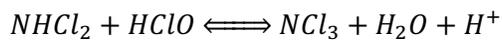
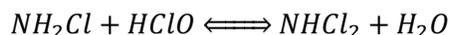
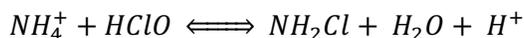
El cloro ( $\text{Cl}_2$ ) es un gas tóxico, más denso que el aire, de color verde amarillento. Es un producto muy oxidante que reacciona con muchísimos compuestos. En presencia de humedad es extremadamente corrosivo y por ello, los conductos y los materiales en contacto con él han de ser de aleaciones especiales. El vapor de cloro es irritante por inhalación y puede causar heridas graves en caso de exposición a altas concentraciones. El manejo de cloro se debe realizar por personal capacitado y son necesarios sistemas de control y de alarma muy efectivos. Por estos motivos es preferible la utilización de hipoclorito en disolución o en forma sólida.

El hipoclorito sódico ( $\text{NaClO}$ ) en disolución es un desinfectante que se utiliza desde el siglo XVIII y que popularmente se conoce como lejía. A nivel industrial se obtiene por reacción del cloro gas con hidróxido de sodio en disolución. Al término de la reacción, se obtiene una disolución acuosa de color amarillo verdoso, que tiene una concentración determinada de cloro activo por litro. Se comercializa en disoluciones de concentraciones entre 3 y 15% en peso. El hipoclorito sódico es un oxidante muy potente.

El hipoclorito cálcico ( $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ ) es un sólido blanco con contenido entre el 20 y el 70% de cloro activo. Es muy corrosivo y puede inflamarse al entrar en contacto con ciertos materiales ácidos. Sin embargo, presenta dos ventajas respecto al hipoclorito sódico: su mayor contenido en cloro y estabilidad. Para ser utilizado, se diluye con agua para obtener una disolución de concentración más manejable, por ejemplo, 2%.

Una de las desventajas del uso de cloro y derivados es que reacciona con mucha materia orgánica y da lugar a trihalometanos (THM) muchos de los cuales se ha demostrado son tóxicos o carcinogénicos. Otro inconveniente es la formación de clorofenoles en aguas que contienen fenoles, lo que daría lugar a malos olores.

El cloro también reacciona con el amoníaco disuelto en el agua para formar cloraminas. Estos productos también tienen cierto poder desinfectante, aunque son aproximadamente 25 veces menos eficaces que el cloro libre. No obstante, su tiempo de permanencia en el agua es largo y por ello, a veces se han usado como reserva de cloro residual. Presentan dos grandes inconvenientes: pueden dar lugar a olores y sabores y son potencialmente tóxicas de forma crónica, en las siguientes reacciones se puede observar la formación de monocloramina, dicloramina y tricloramina.



De todo lo expuesto anteriormente, se puede deducir que el cloro (y derivados), además de reaccionar con los microorganismos, también lo hace con otra materia disuelta en el medio: materia orgánica, hierro, manganeso, entre otros. Por este motivo, para tener un cierto nivel de cloro residual, la cantidad necesaria que se ha de añadir es bastante superior al residual obtenido.

Por todo lo anterior, antes de decidir la dosis de cloro que se ha de utilizar para desinfectar, se ha de determinar la demanda de cloro, es decir, la cantidad de cloro que se consume hasta la aparición del residual.

# Determinación de cloro

---

El cloro es un compuesto comúnmente utilizado para evaluar la calidad del agua de suministro, habitualmente su determinación se hace mediante su reacción con o-tolidina-arsenito o bien con N,N-dietil-p-fenilendiamina (DPD). Se divide en cloro libre residual y cloro total. Por lo tanto, el agua siempre debe presentar una cantidad del primero para garantizar que el agua está libre de microorganismos que pueden causar enfermedades en el ser humano.

La o-tolidina es un compuesto aromático oxidable en disolución ácida por el cloro, las cloraminas y otros oxidantes; esta oxidación produce un complejo de color amarillo que a  $\text{pH} < 1.8$  es proporcional a la cantidad de oxidantes existentes. El inconveniente de este método es que no permite una buena diferenciación entre el cloro libre residual y el combinado, pues la o-tolidina reacciona rápidamente con el cloro libre, pero a partir de los 5 segundos, también reacciona con el combinado, de forma que no se pueden cuantificar por separado. Al no poder determinar si realmente existe cloro libre residual y en qué cantidad, se puede tener un agua mal clorada, es decir, con alto contenido de cloro total pero ausencia de cloro libre.

Por lo anteriormente expuesto, es más recomendable el uso de la metodología con DPD, que sí permite distinguir entre cloro libre y total. La DPD a  $\text{pH}$  entre 6.2 y 6.5 da lugar a una coloración rojiza que es proporcional a la cantidad de cloro libre presente en el medio. Por comparación con una escala de color se puede determinar la cantidad de cloro libre. Sobre la misma muestra, se añade yoduro potásico, que libera el cloro combinado y hace que éste reaccione con la DPD, con lo que finalmente se tiene la lectura de cloro total. Por diferencia entre ambos valores se puede determinar el cloro libre combinado.

Esta reacción se puede monitorizar de forma sencilla mediante kits de reactivos, suministrados por diversos proveedores. Una forma precisa de realizar esta determinación es utilizando un fotómetro, que es un instrumento que hace una lectura de la intensidad de color y permite relacionarla directamente con la concentración de los productos. La determinación colorimétrica de reacción con DPD está reconocido como el método estándar de la EPA 4500-IC G.

Para cumplir con los objetivos del Programa PUMAGUA que se está implementando en la FES Aragón, se decidió implementar un programa de muestreo de agua potable en la FES Aragón de forma mensual, aunque al principio no pudo ser posible por la falta de reactivos, hasta que a partir del año 2015, ya se están haciendo de manera mensual. Los valores obtenidos se comparan con los establecidos en la NOM-127-SSA1-1994 **“Agua para uso y consumo humano”** en donde se marca que el cloro residual libre debe tener una concentración entre 0.20 y 1.50 mg/L.

El equipo que se utiliza para determinar la concentración de cloro libre residual y cloro libre total es un espectrofotómetro marca HACH, modelo DR890 y se sigue la técnica de reacción con DPD.



Colorímetro utilizado para la determinación de cloro en agua

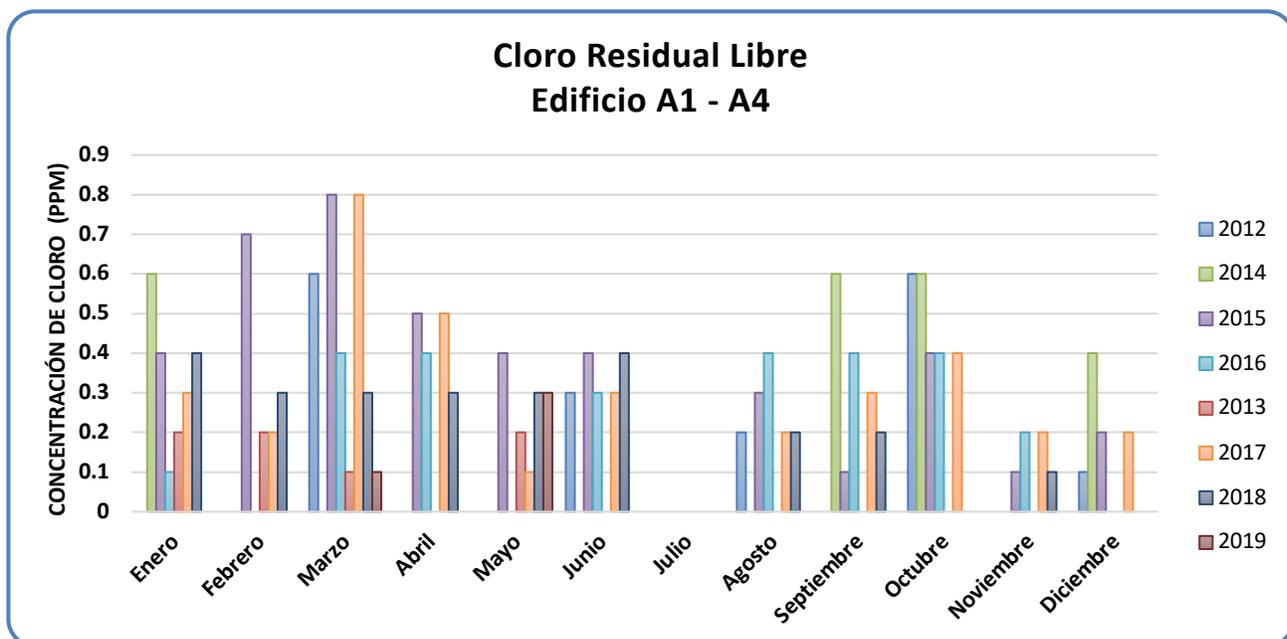
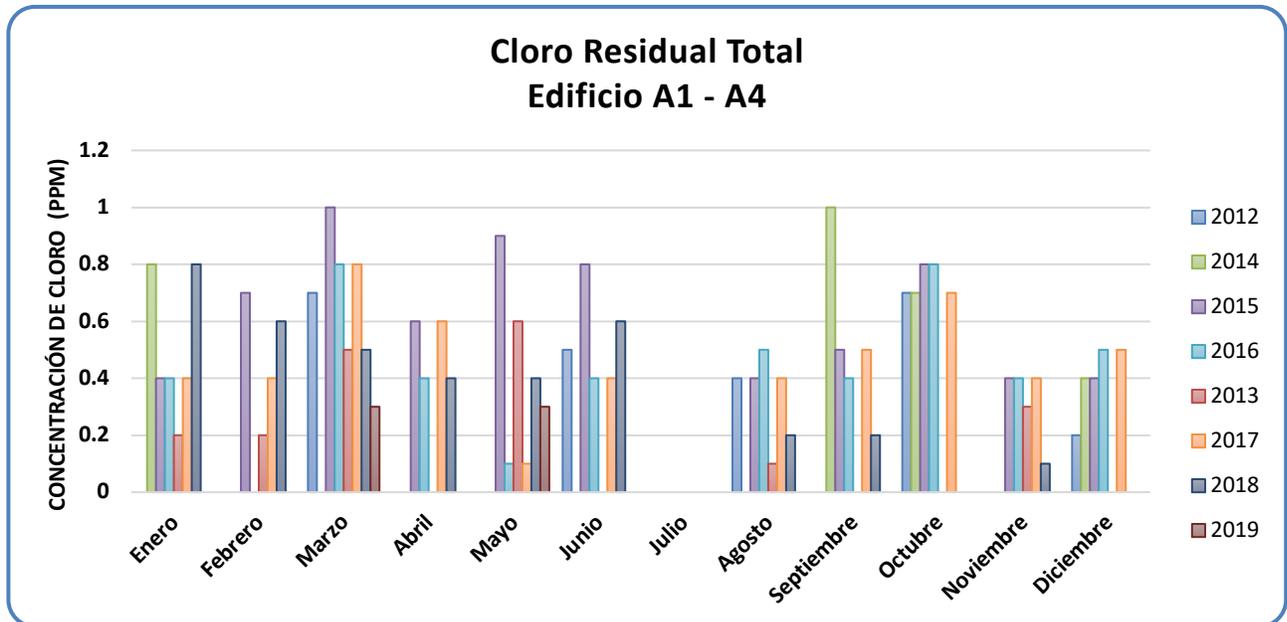


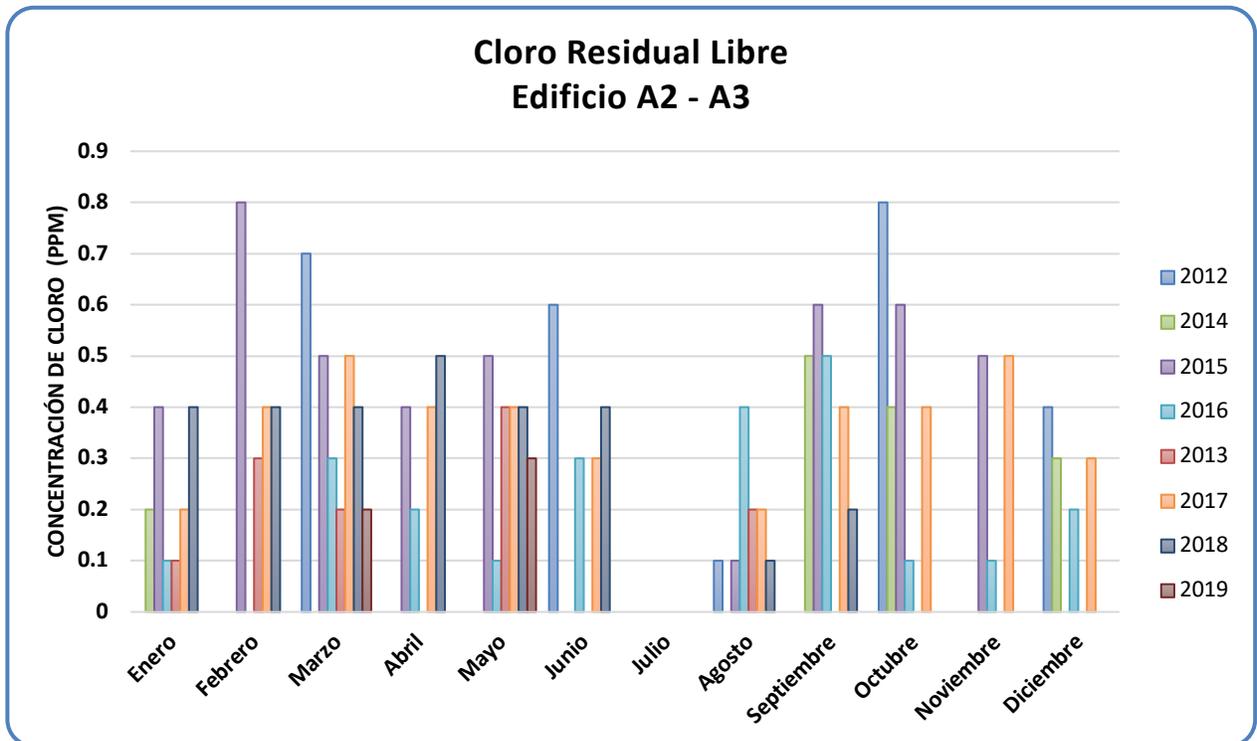
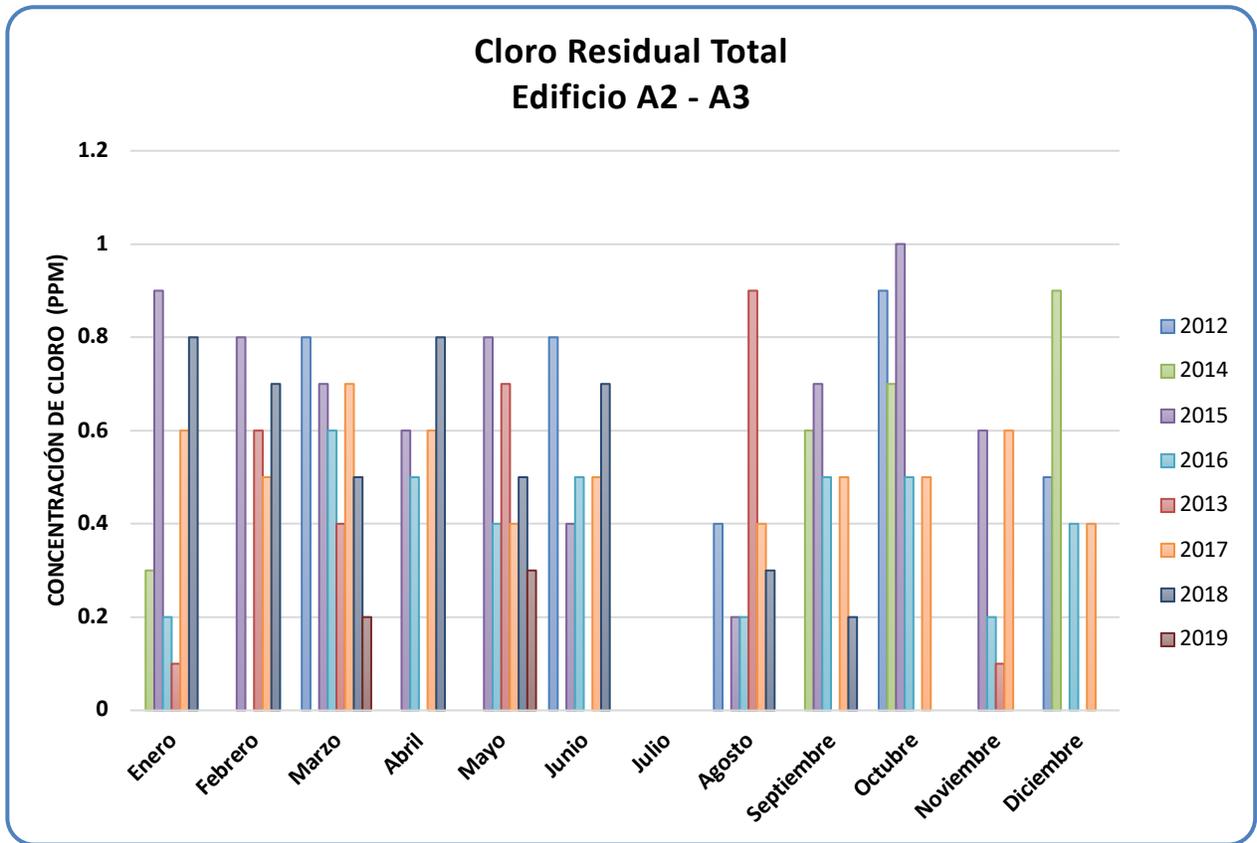
Reactivos utilizados para determinar cloro libre y cloro total

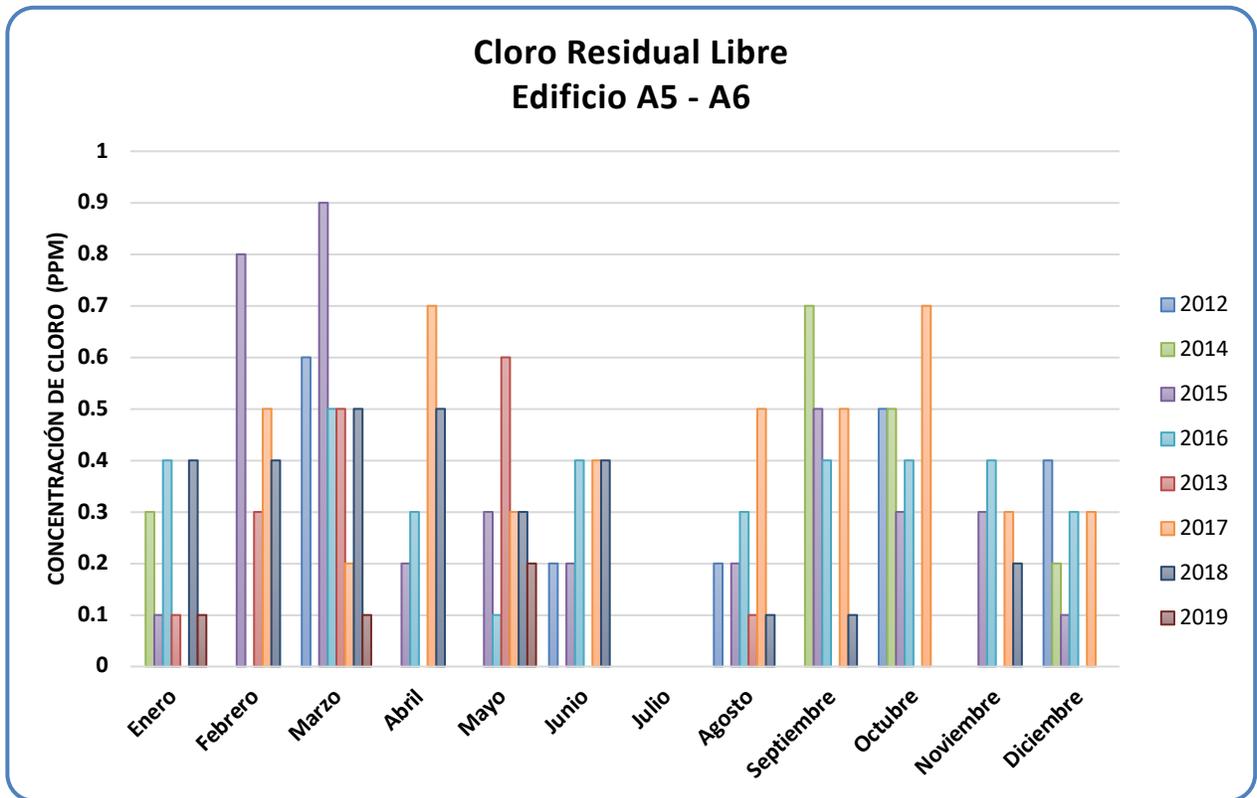
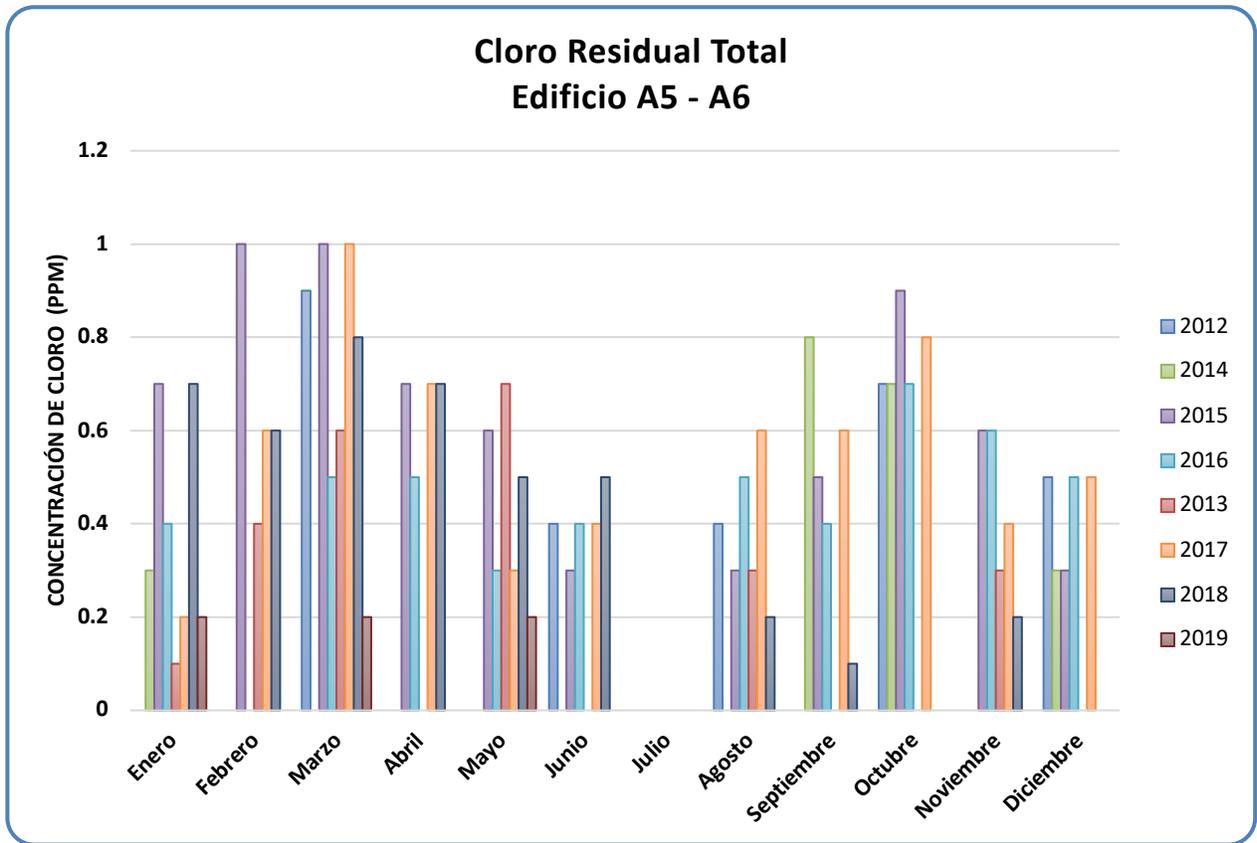
Los puntos de muestreo son todos los edificios donde se encuentran instalaciones de agua, es decir, sitios donde se maneja agua que está en contacto con la comunidad estudiantil, de esta forma, se decidió tomar las muestras de agua de los lavamanos que hay en alguno de los baños (hombres o mujeres) de un edificio, pues la concentración no varía significativamente en él.

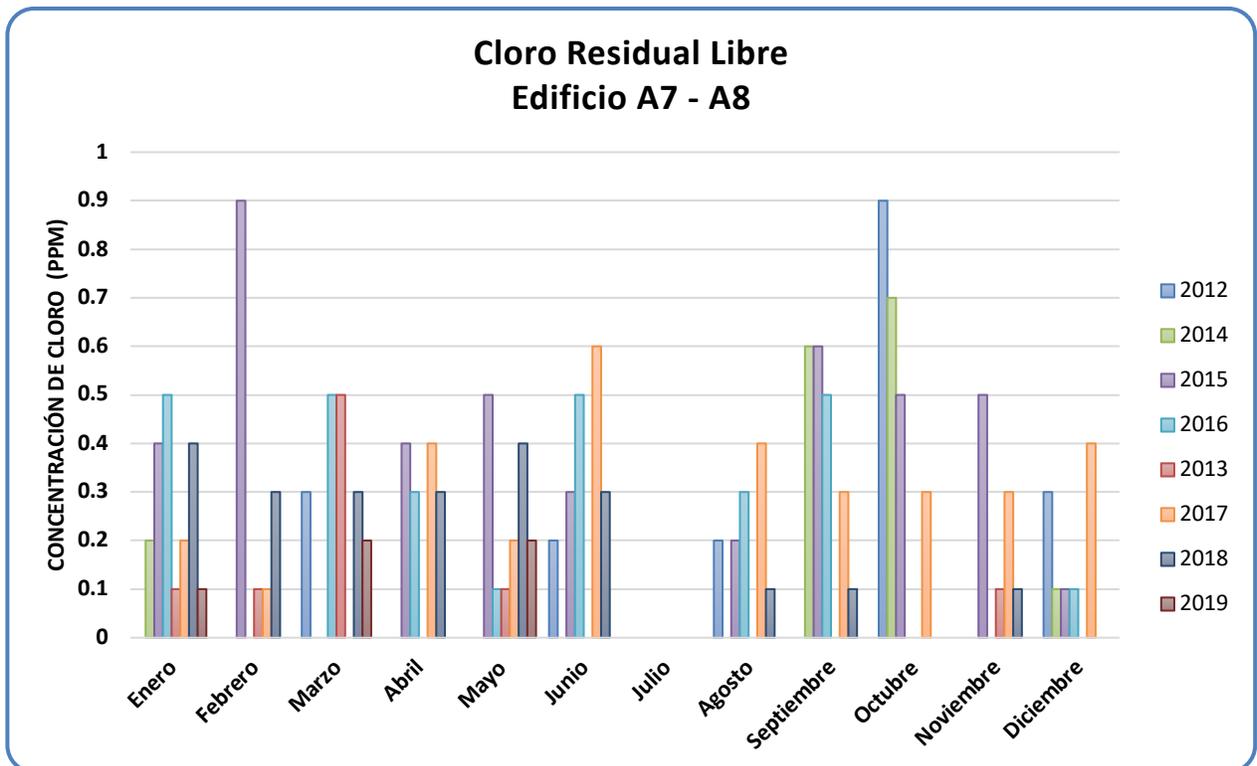
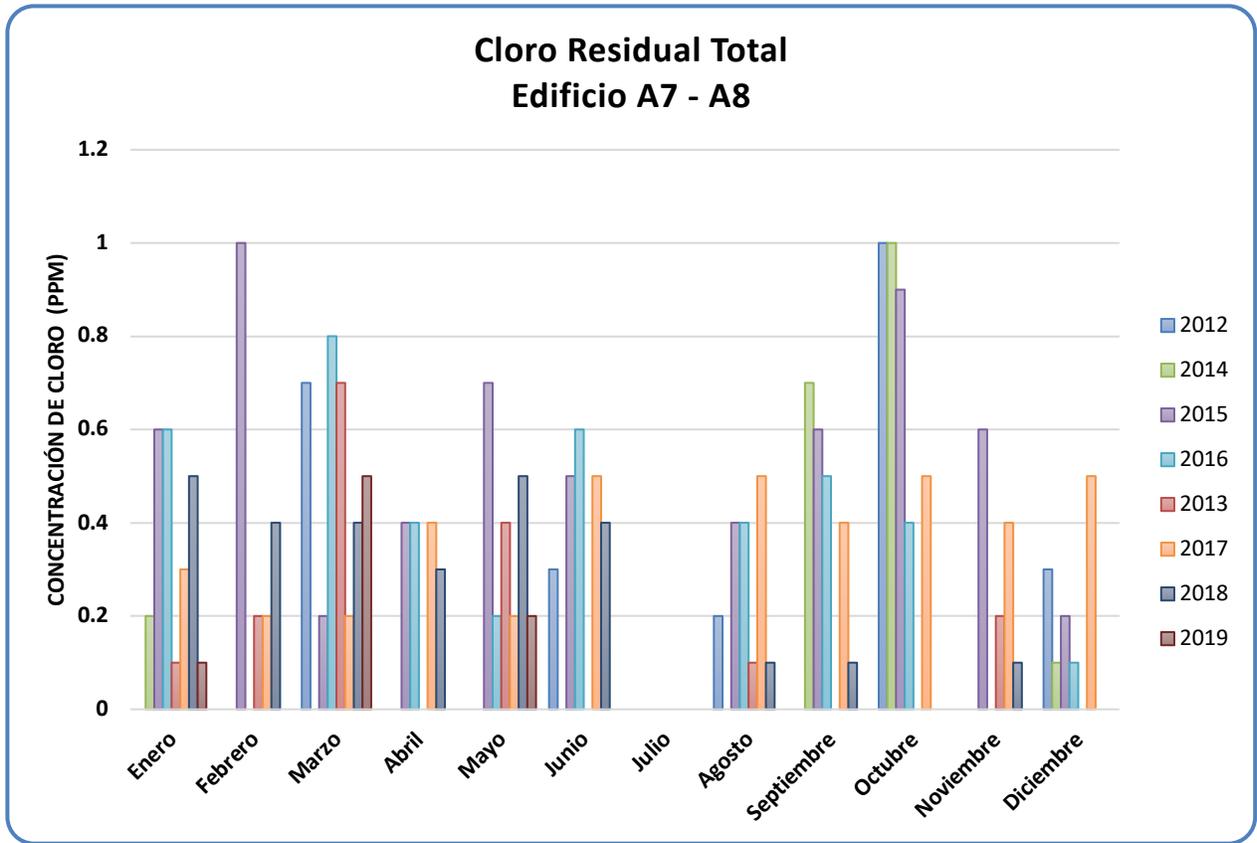
# Resultados de la medición de Cloro

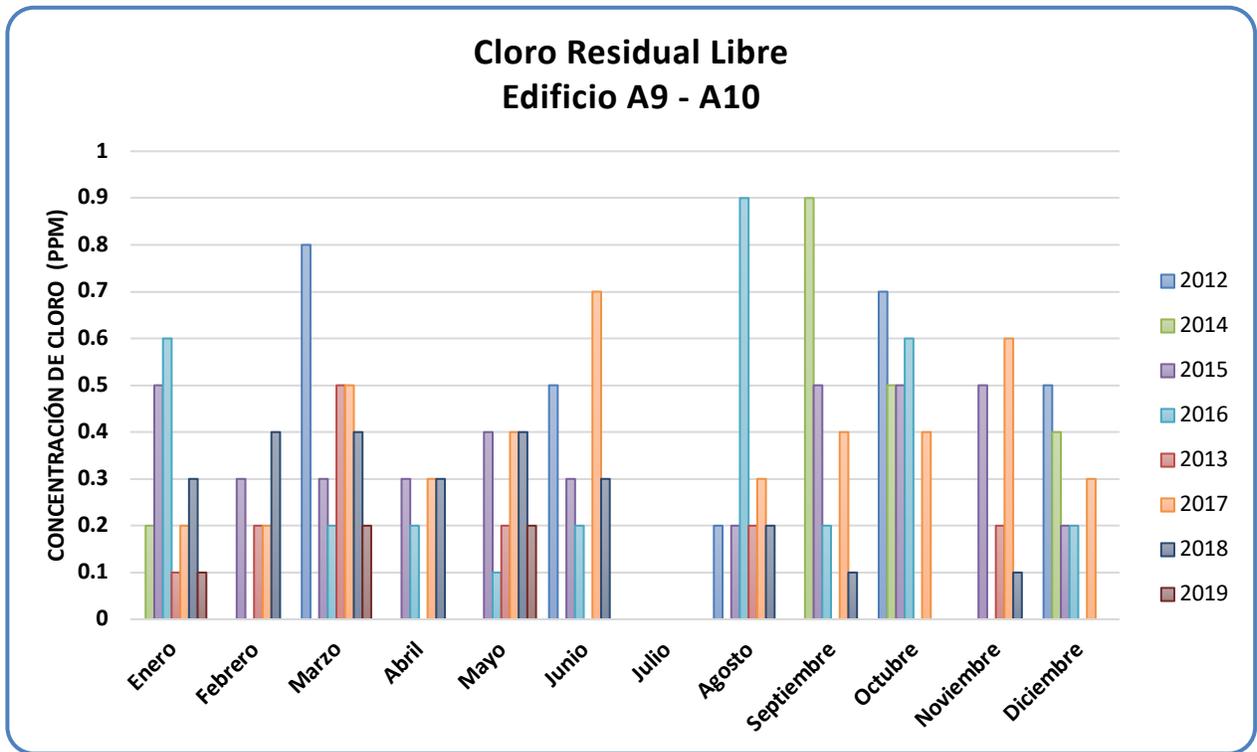
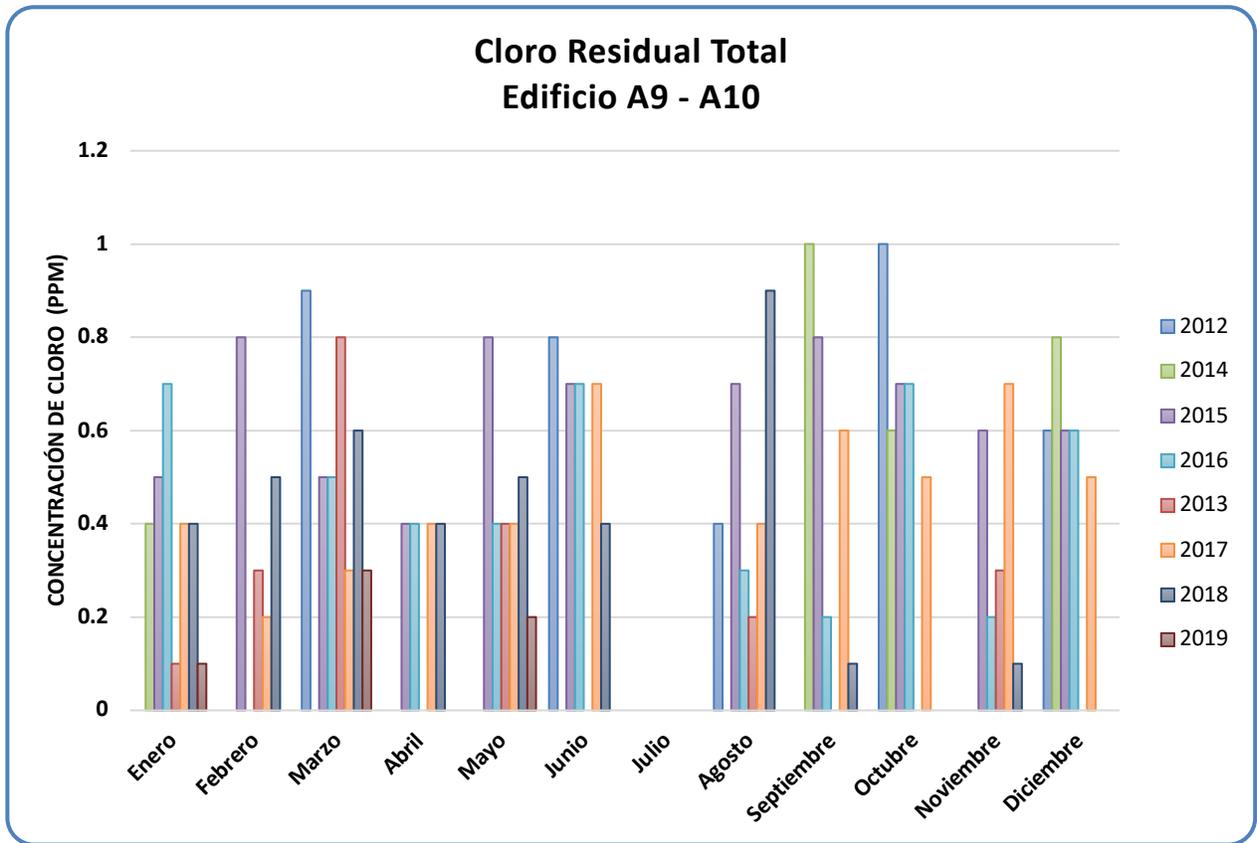
A continuación se muestran las gráficas con los resultados de los análisis de laboratorio que se hicieron a muestras de agua, para conocer la cantidad de cloro libre total y cloro libre residual y así evaluar si el agua representa un riesgo sanitario para la comunidad universitaria.

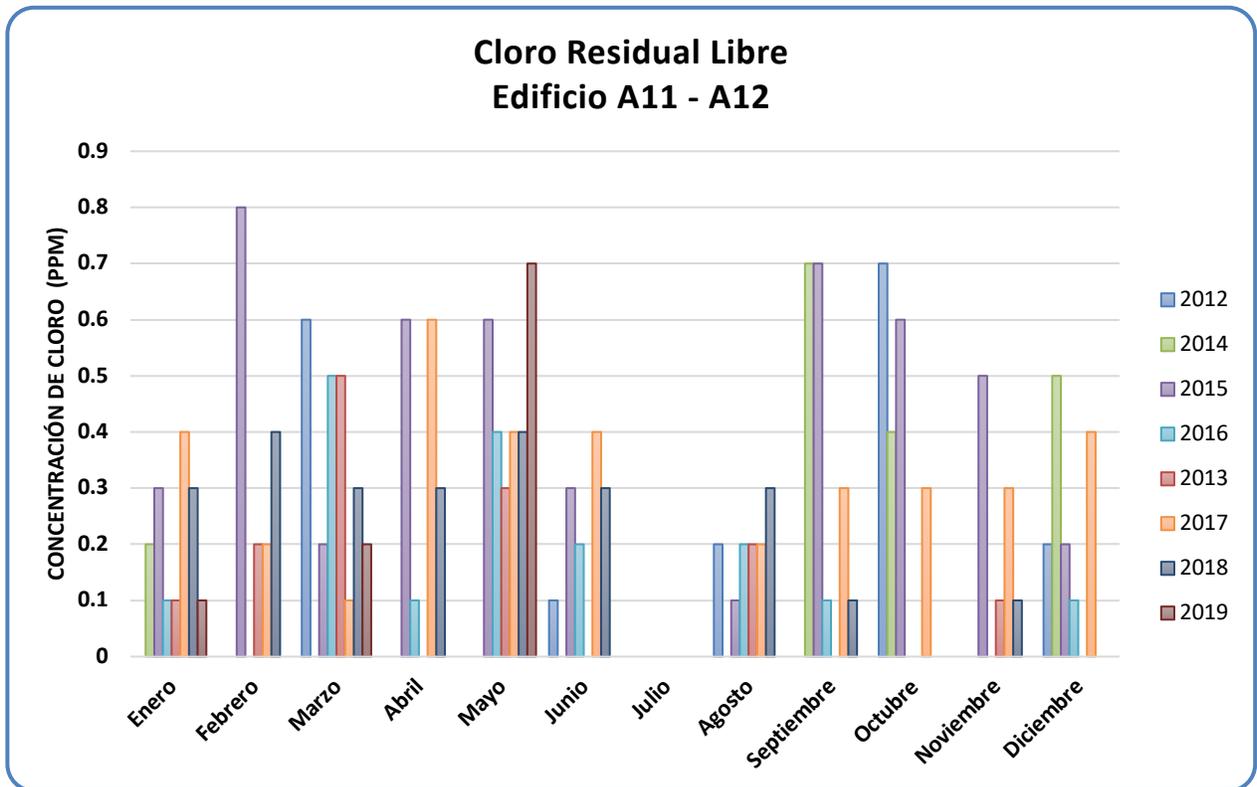
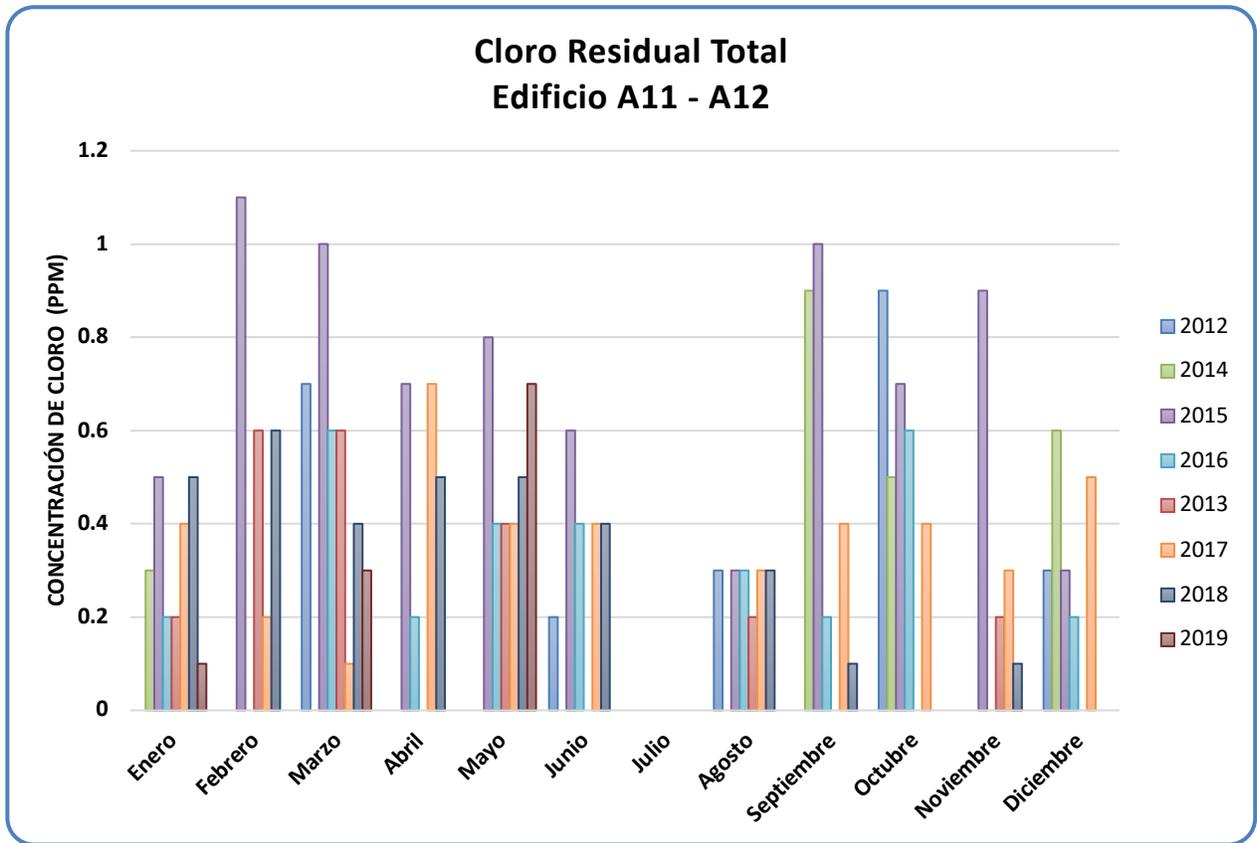


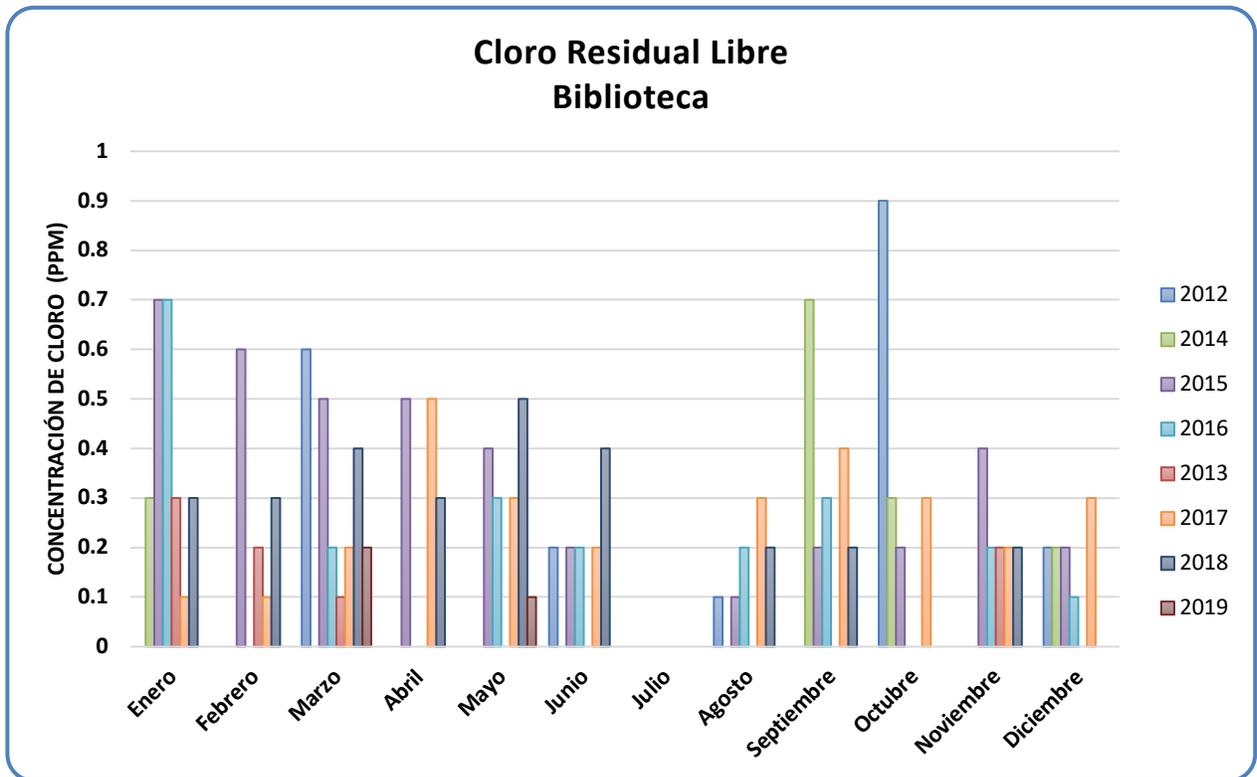
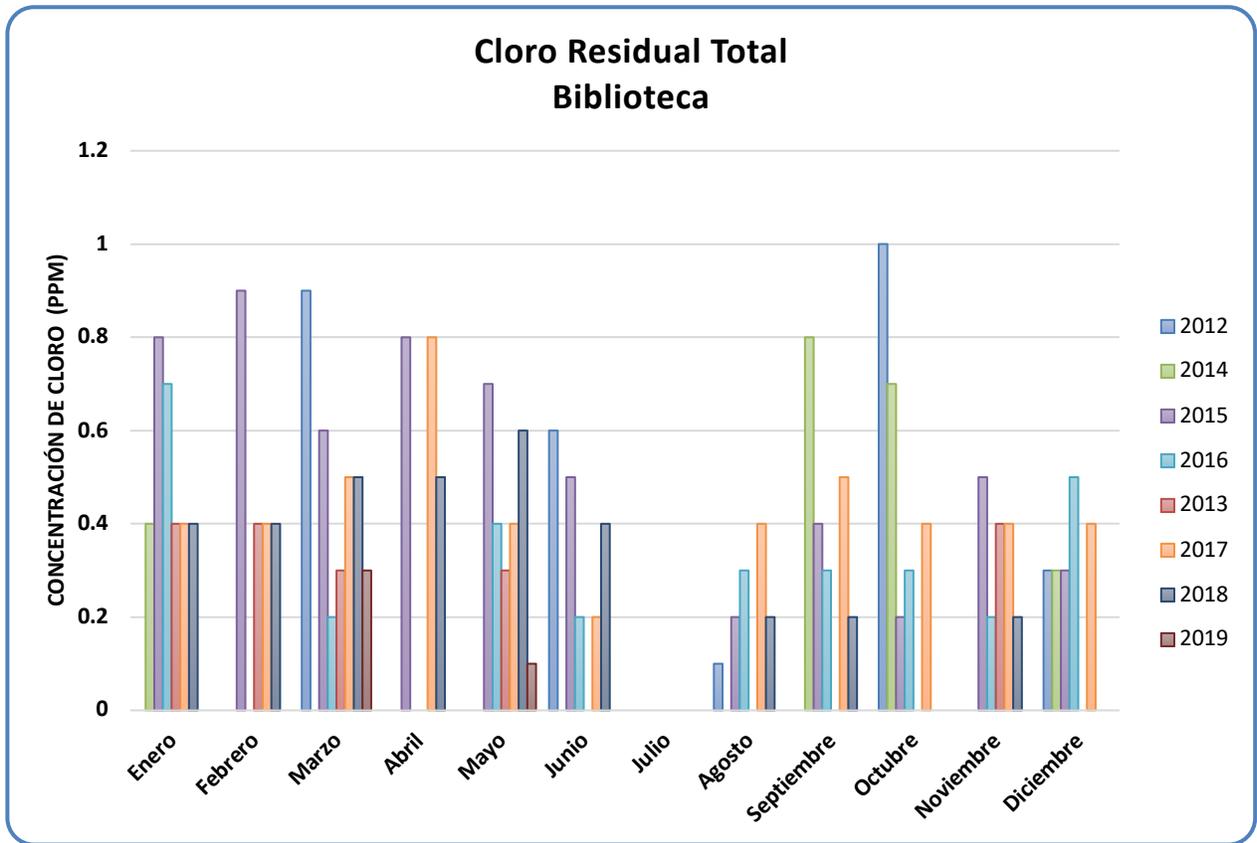


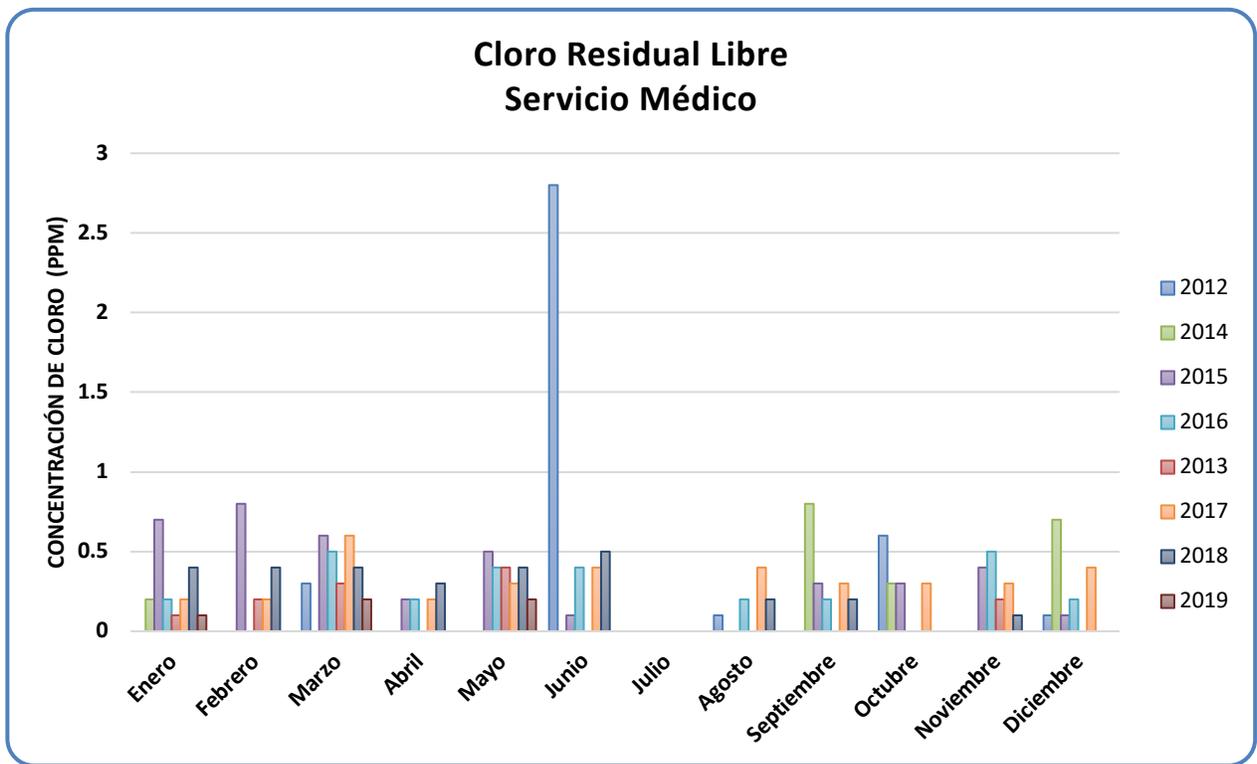
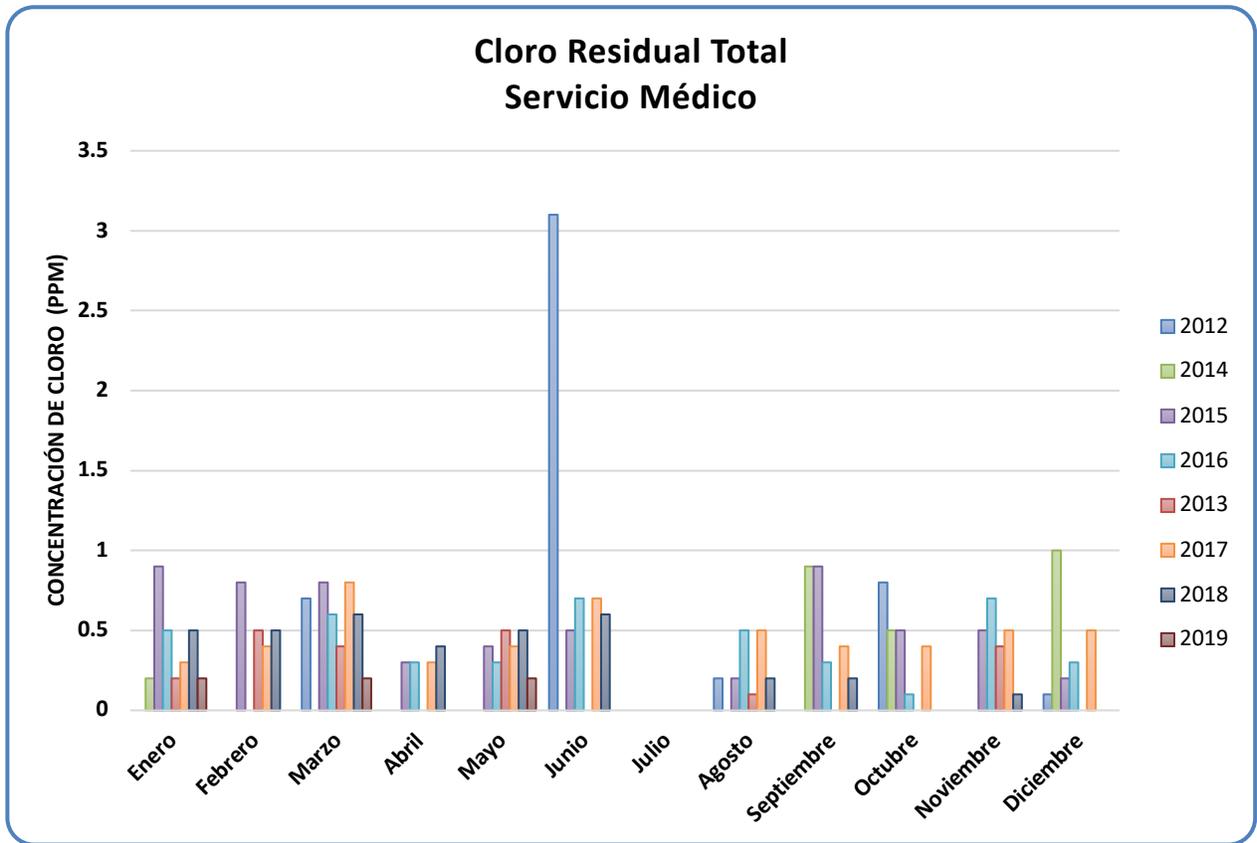


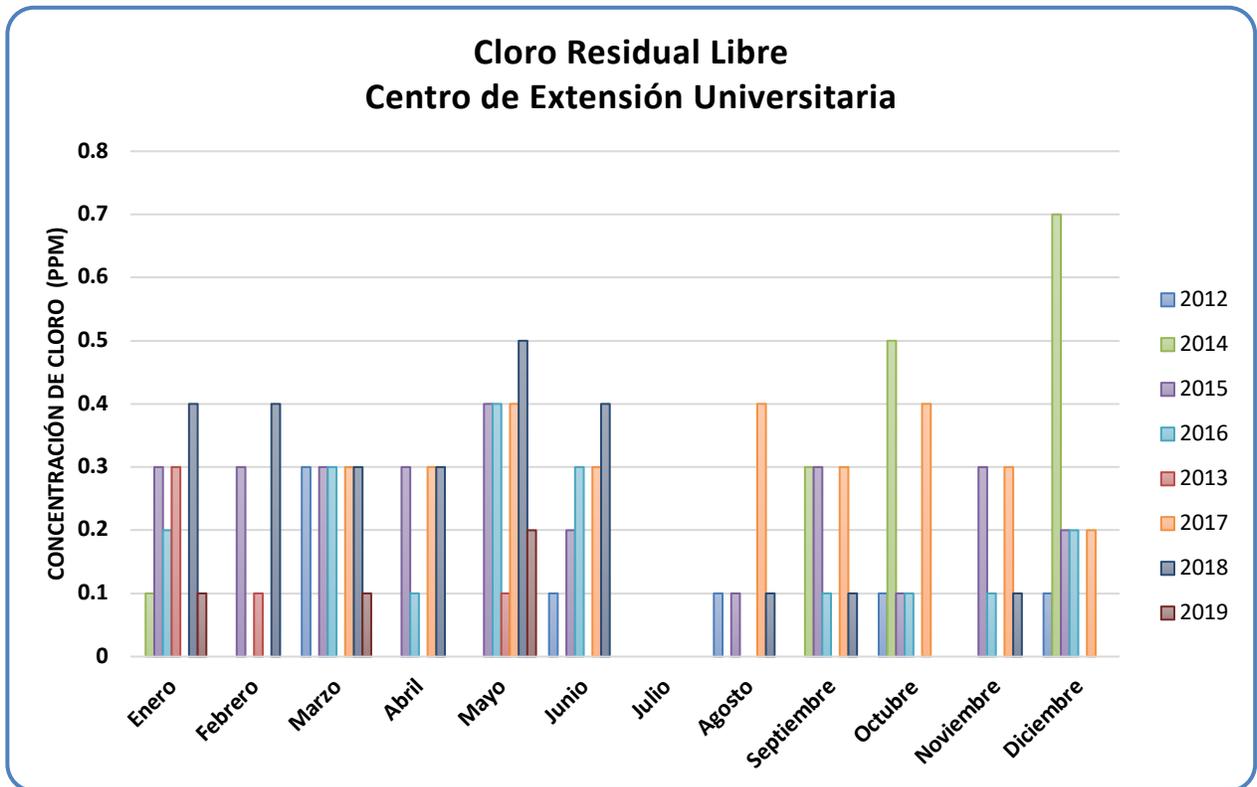
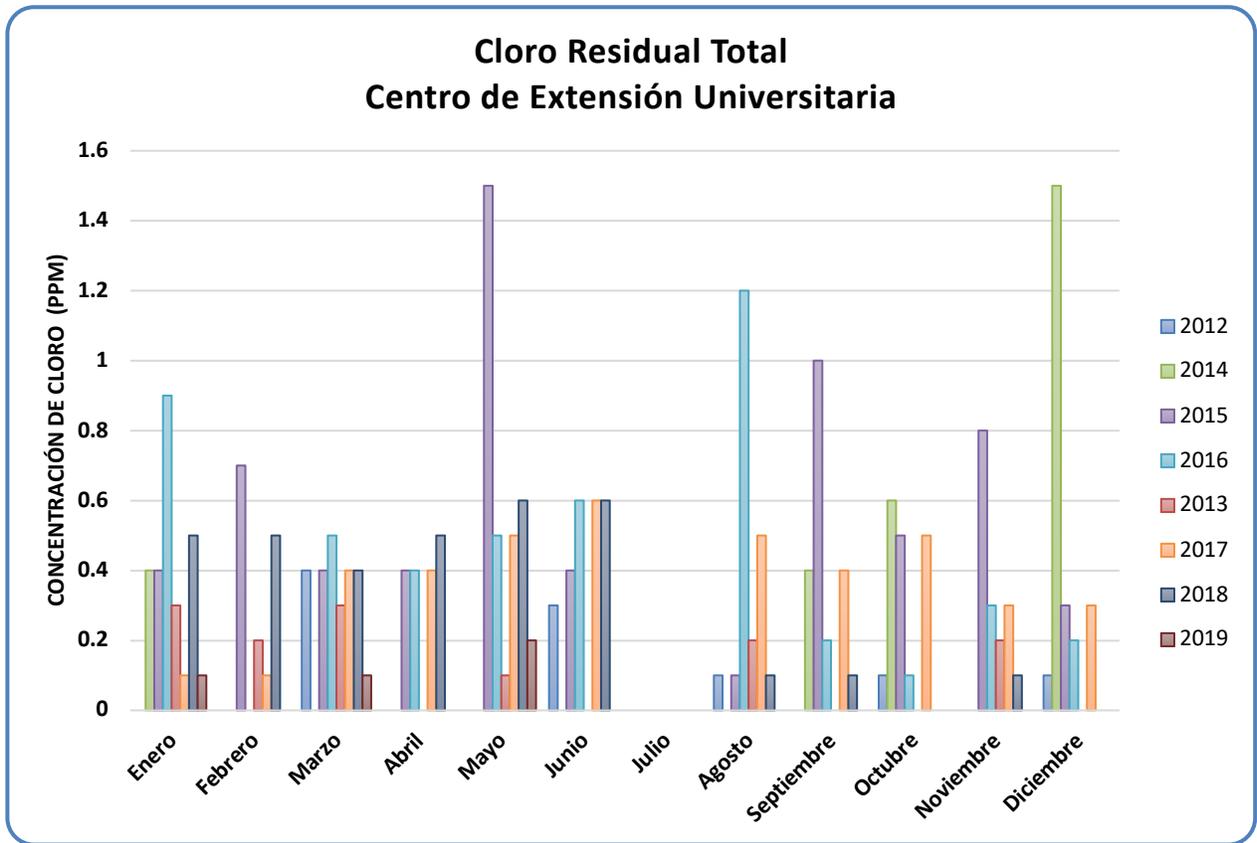


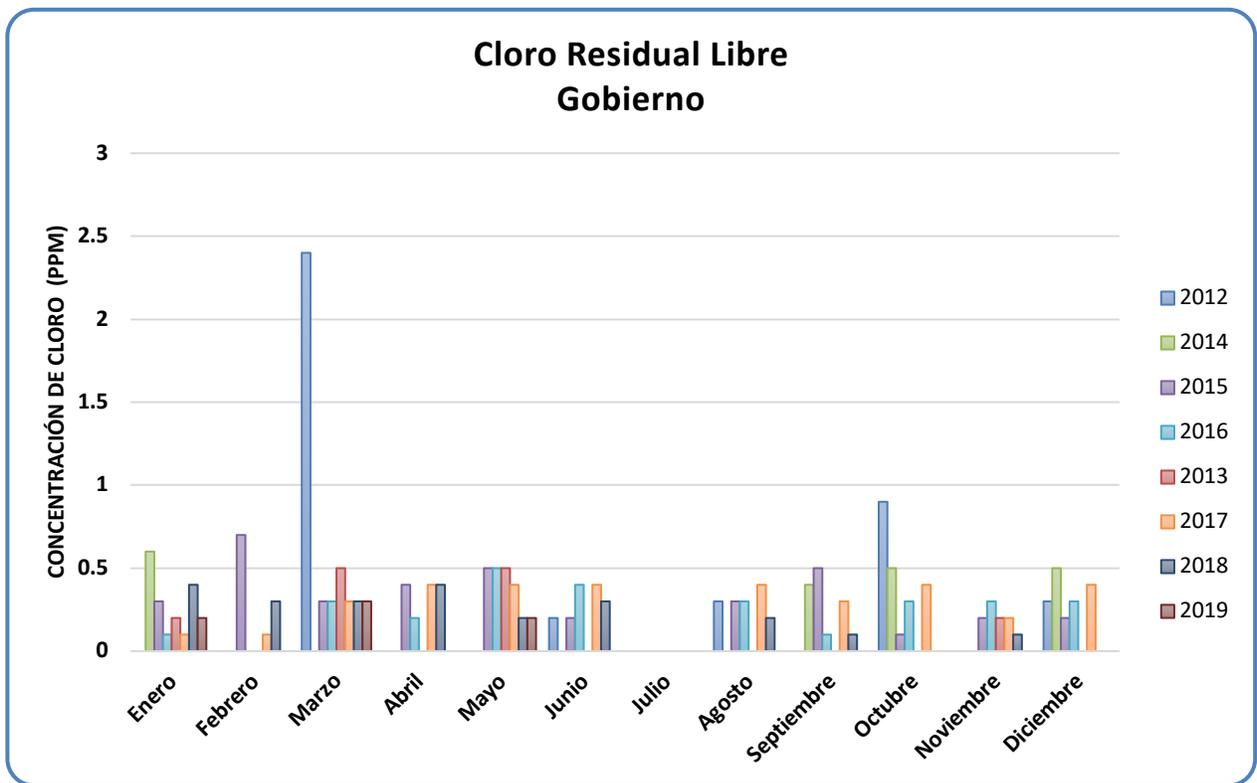
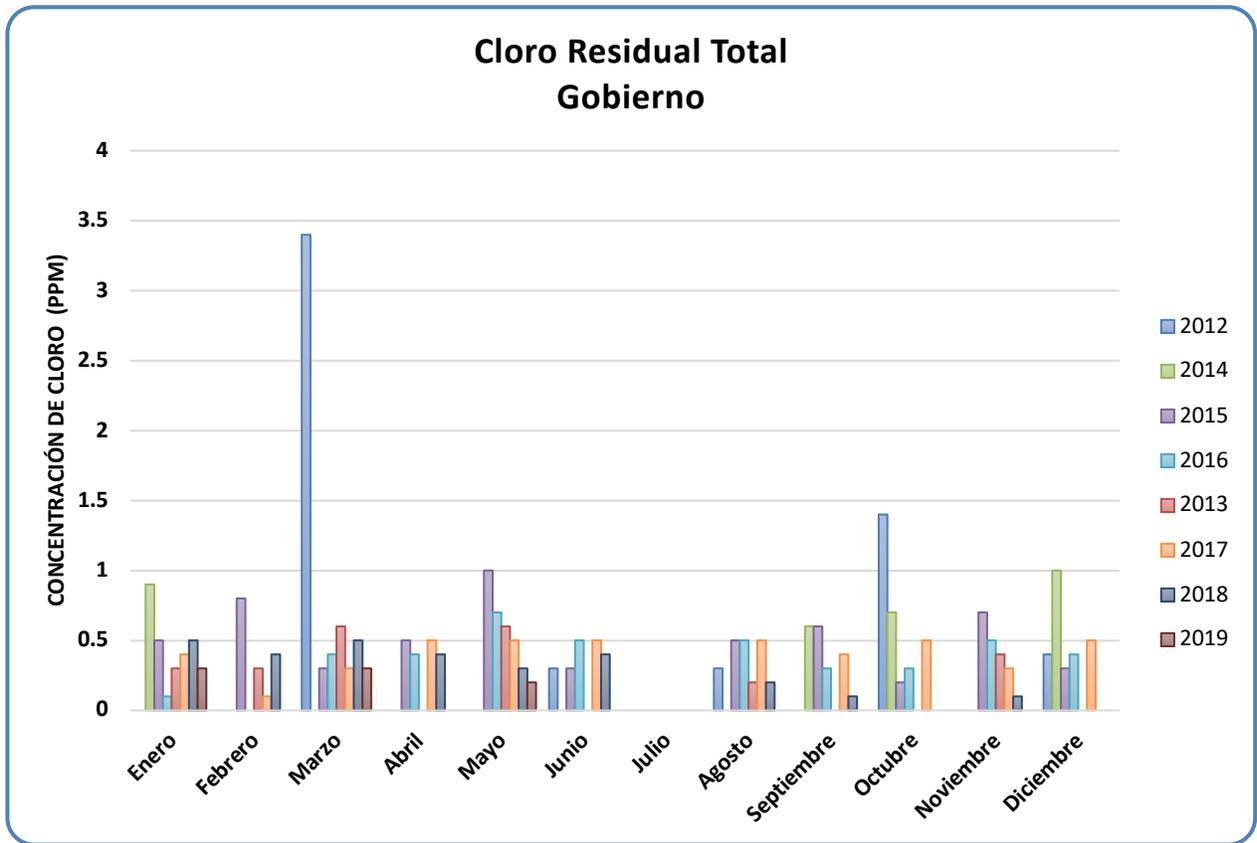


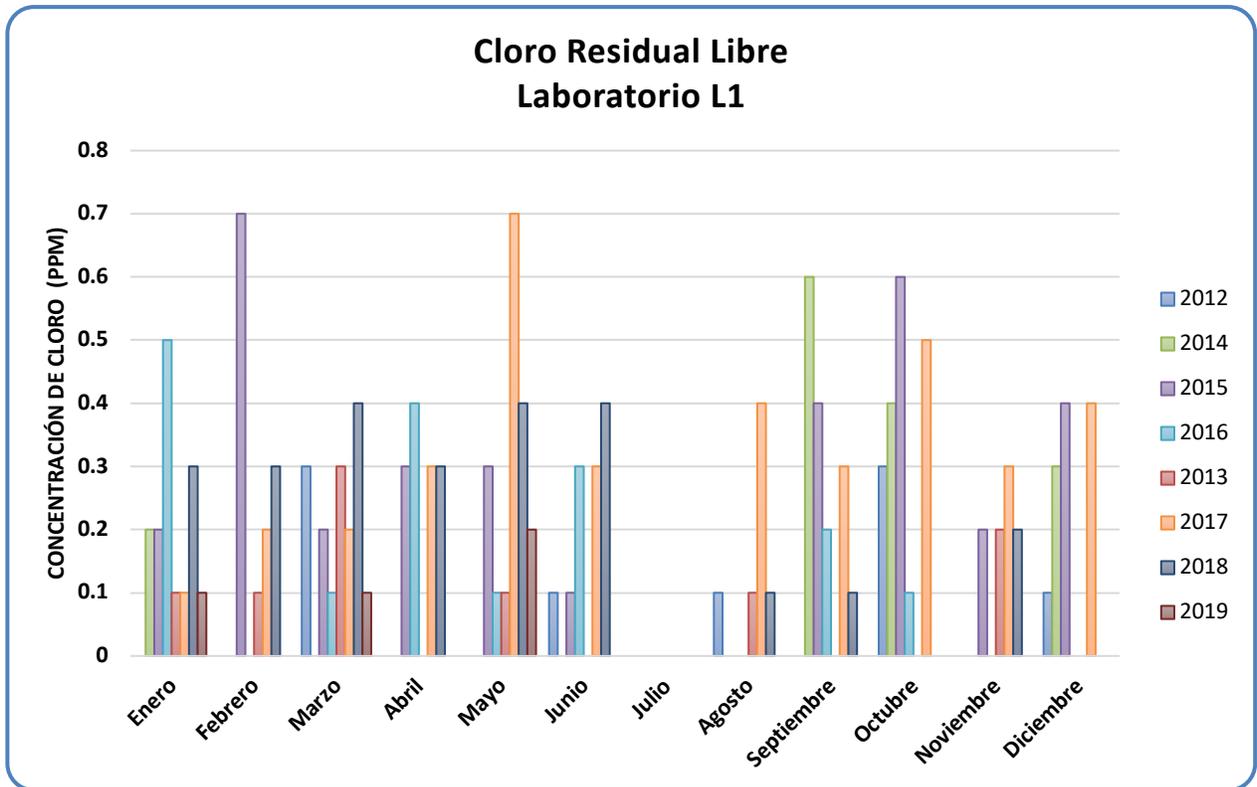
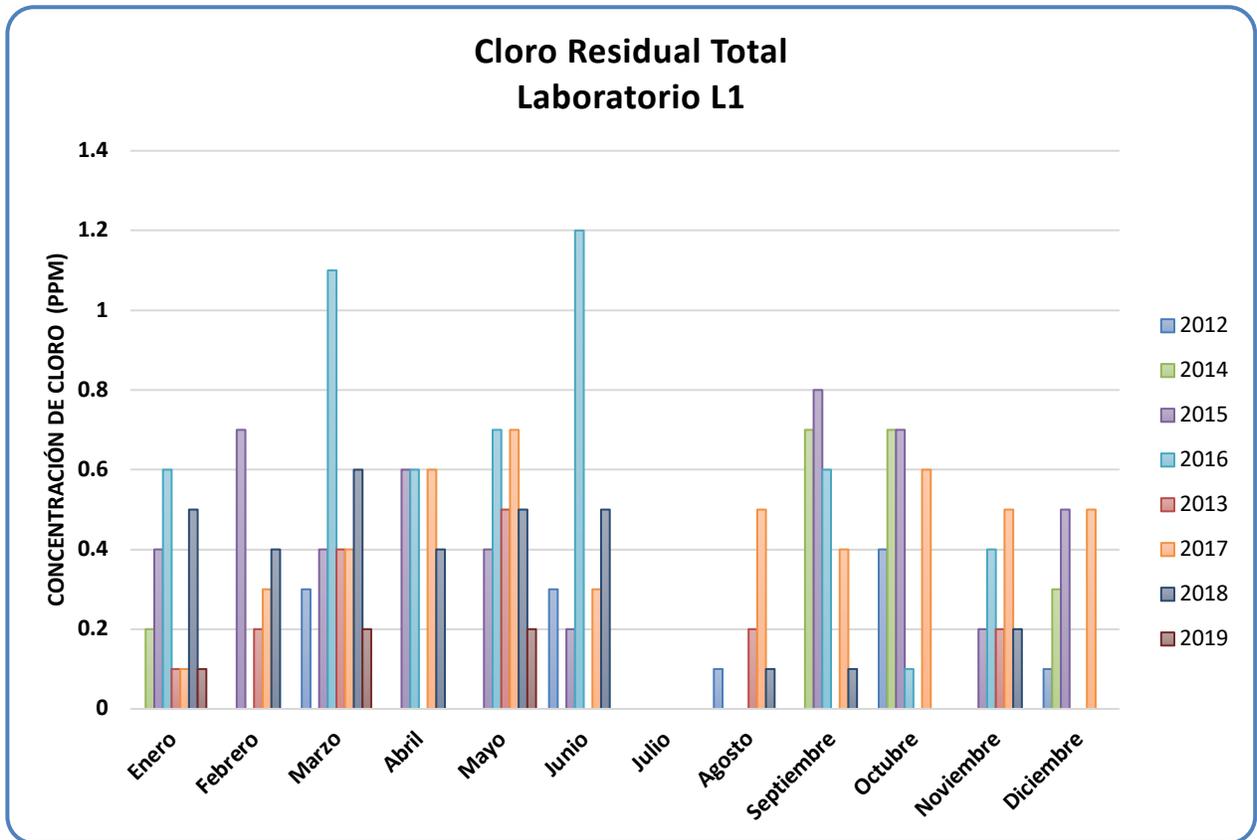


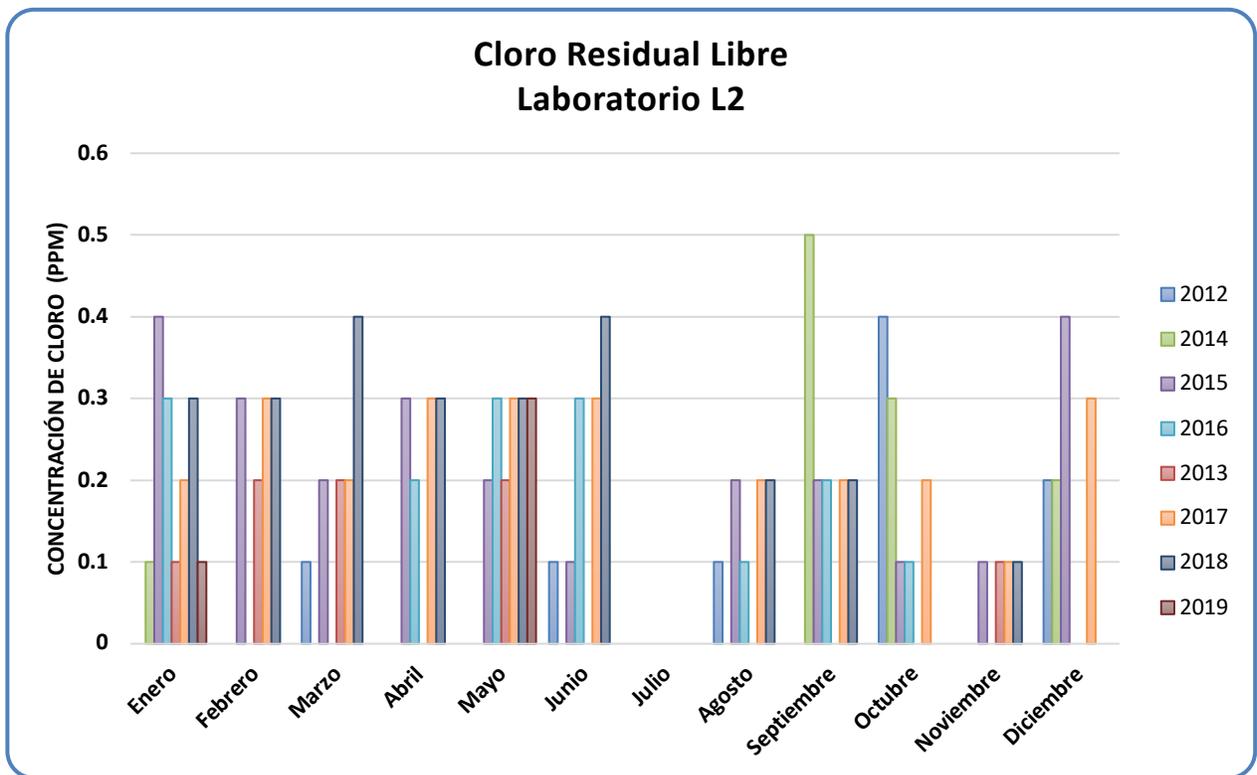
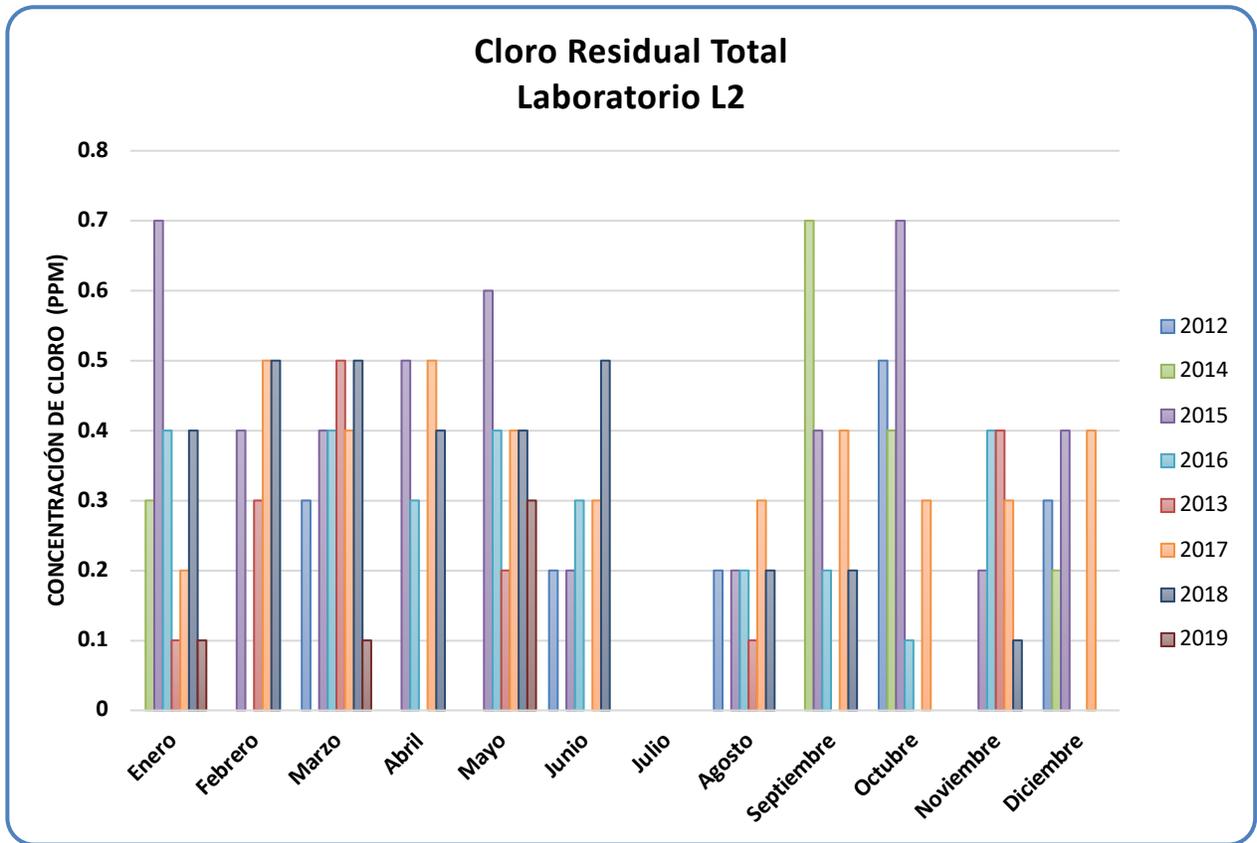


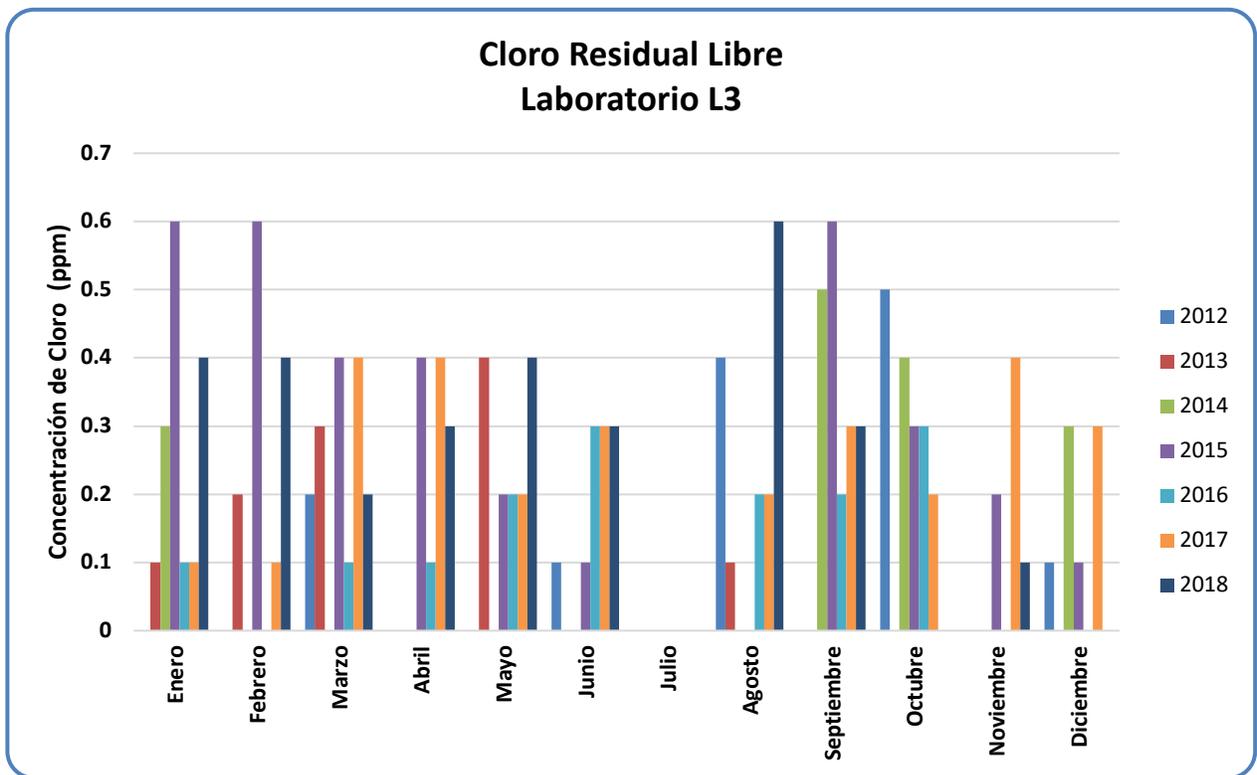
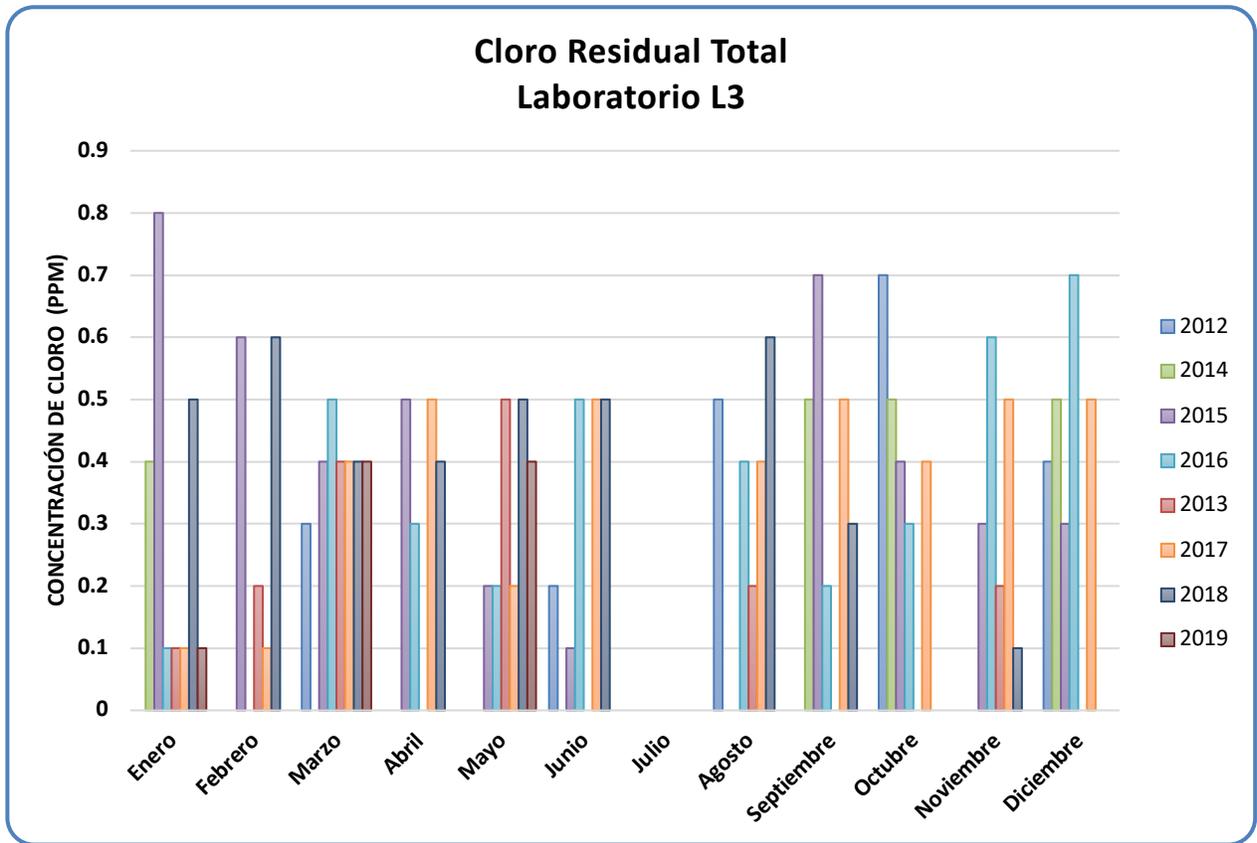


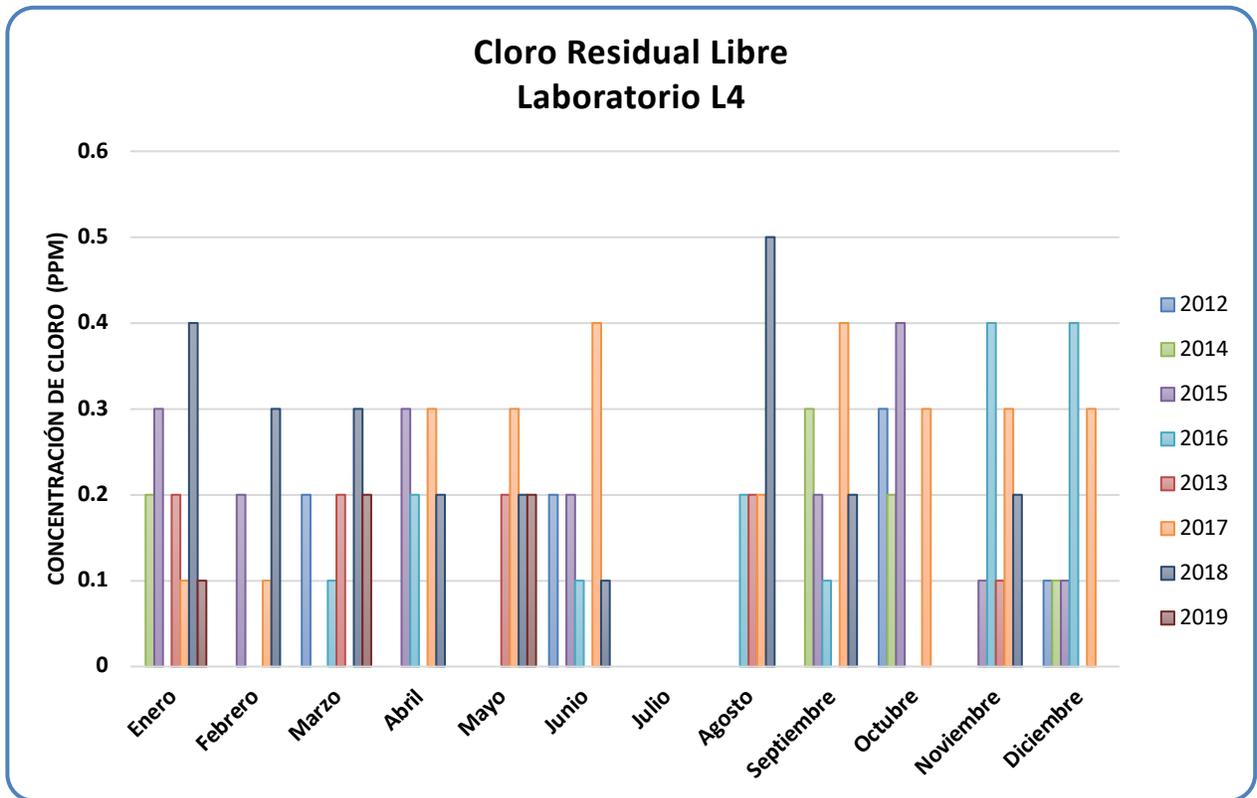
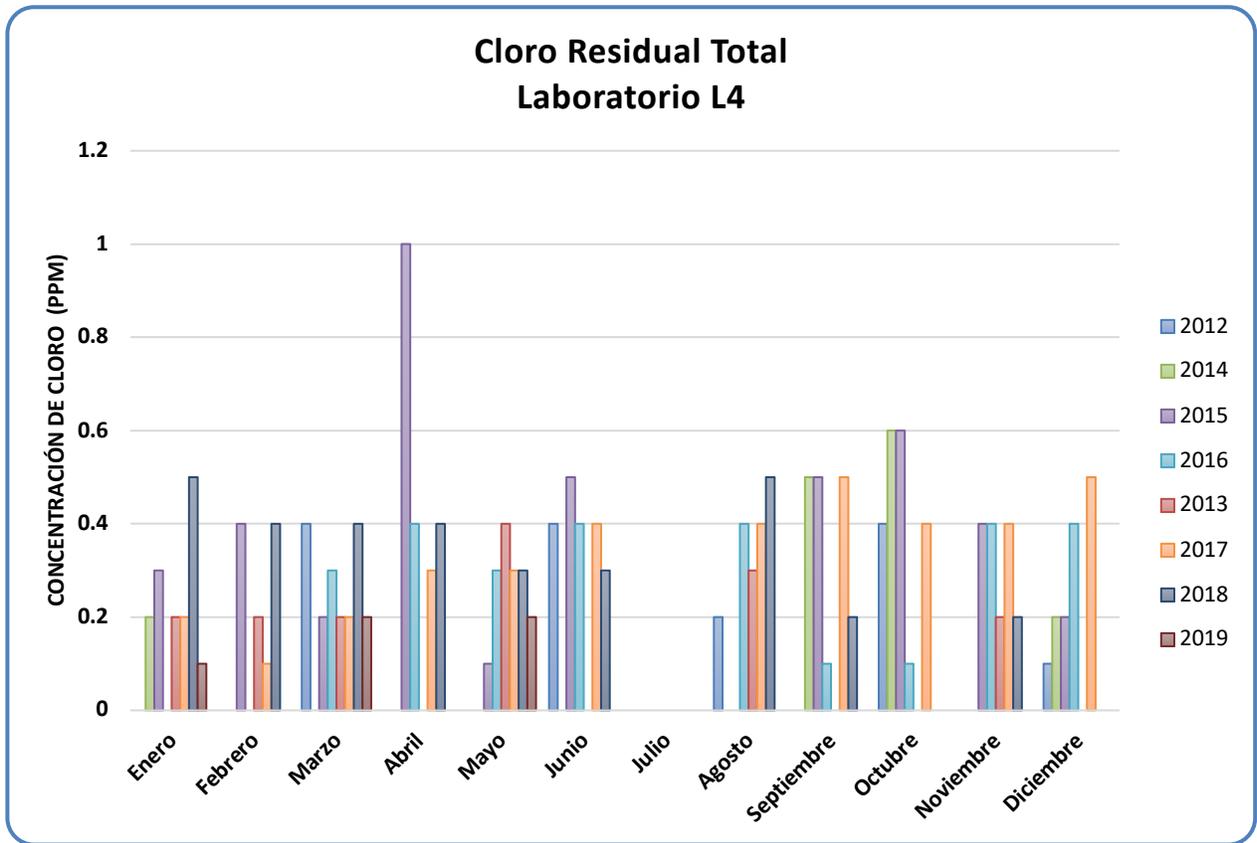


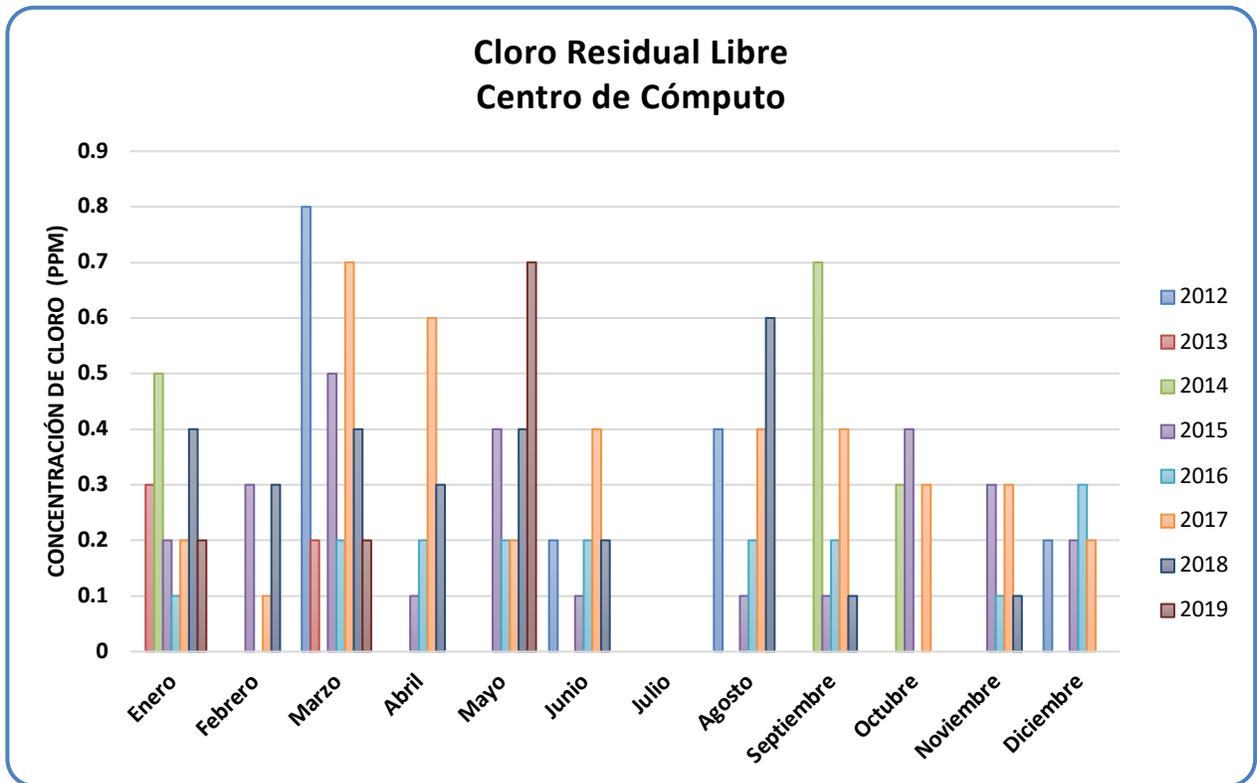
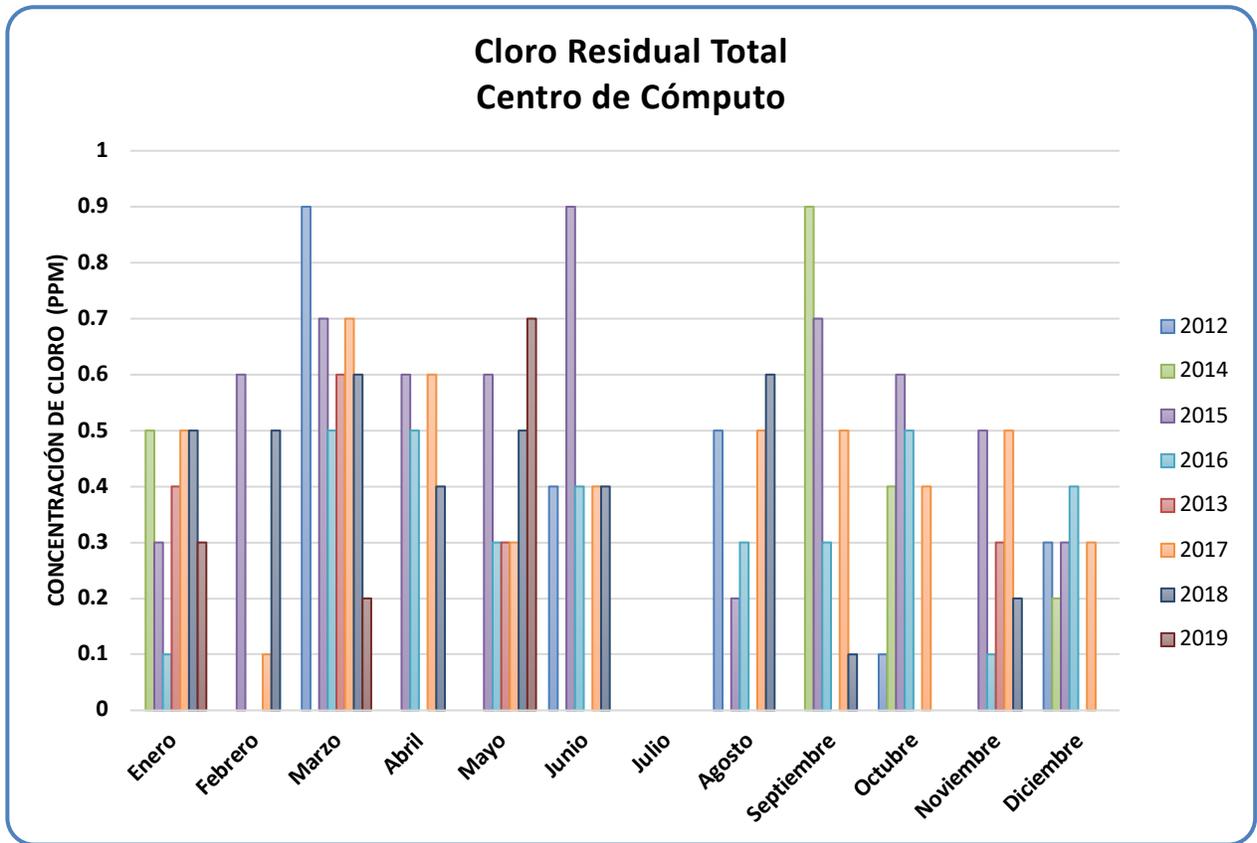


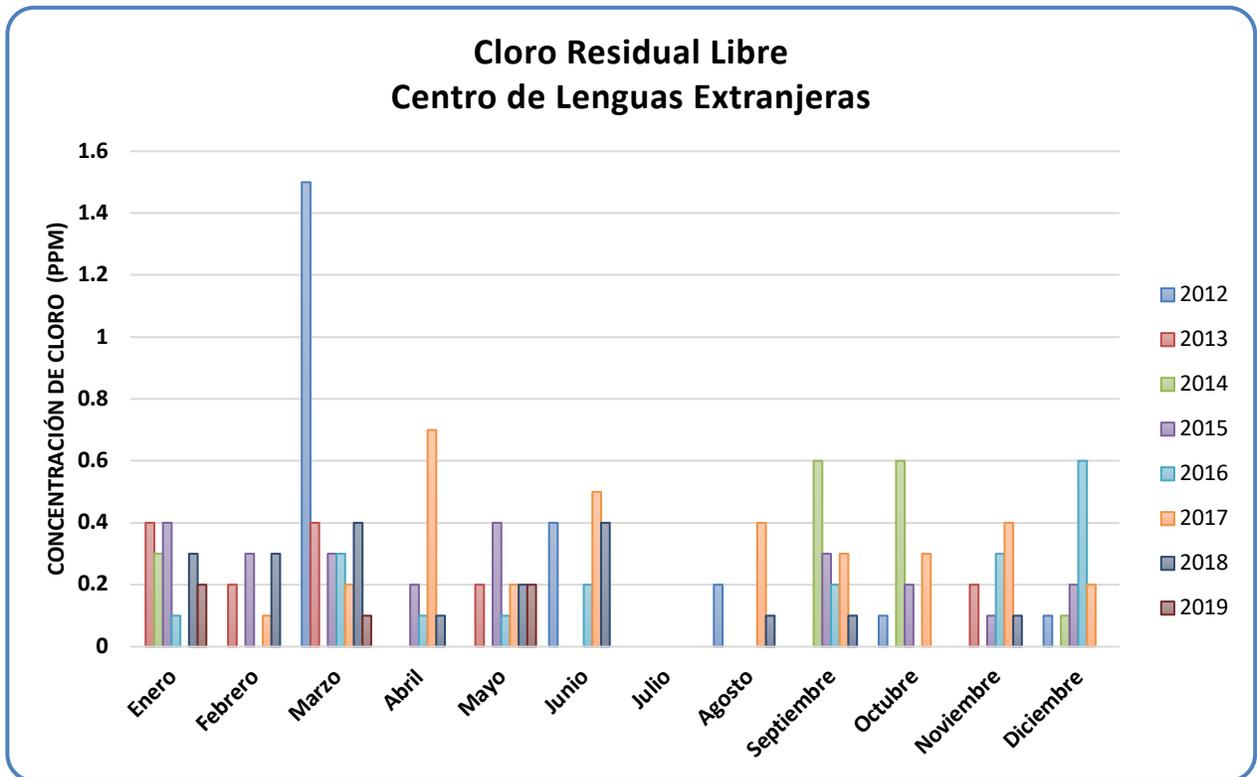
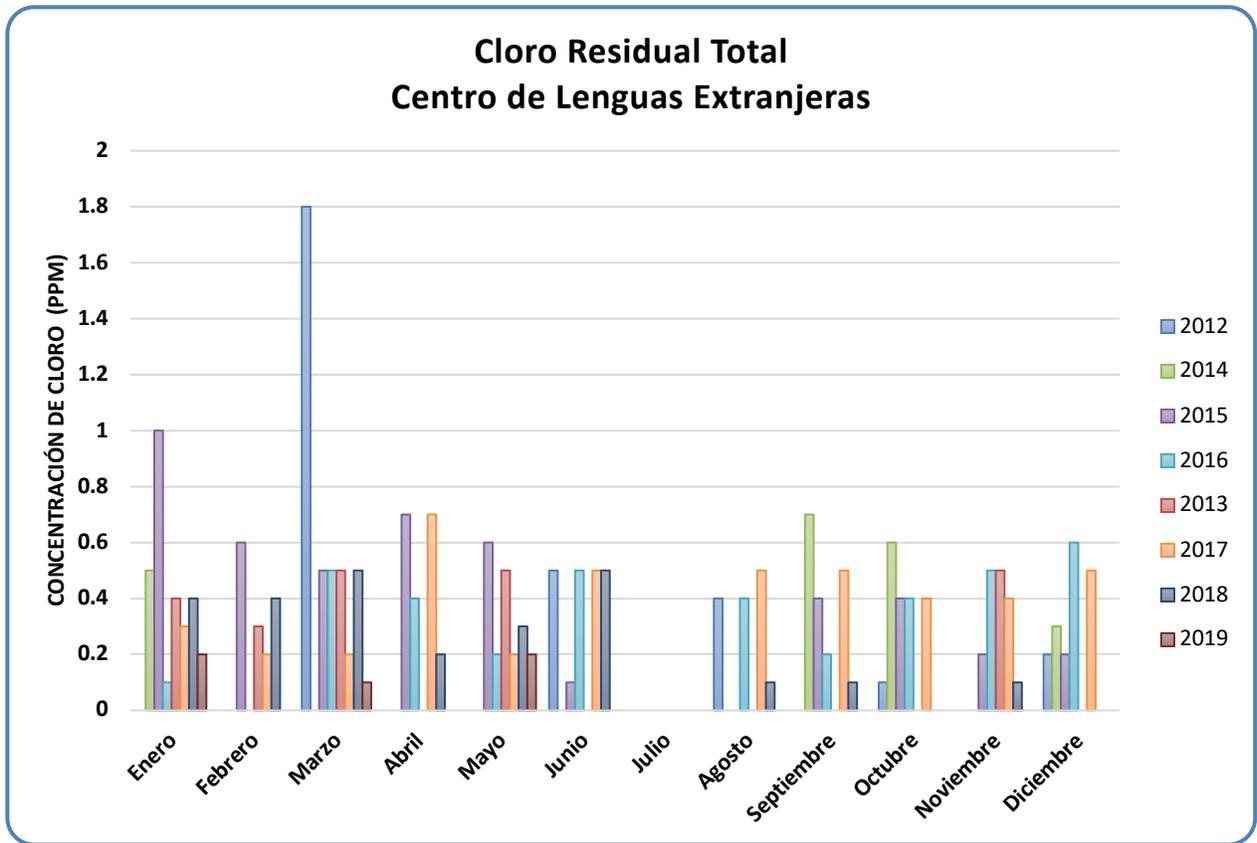


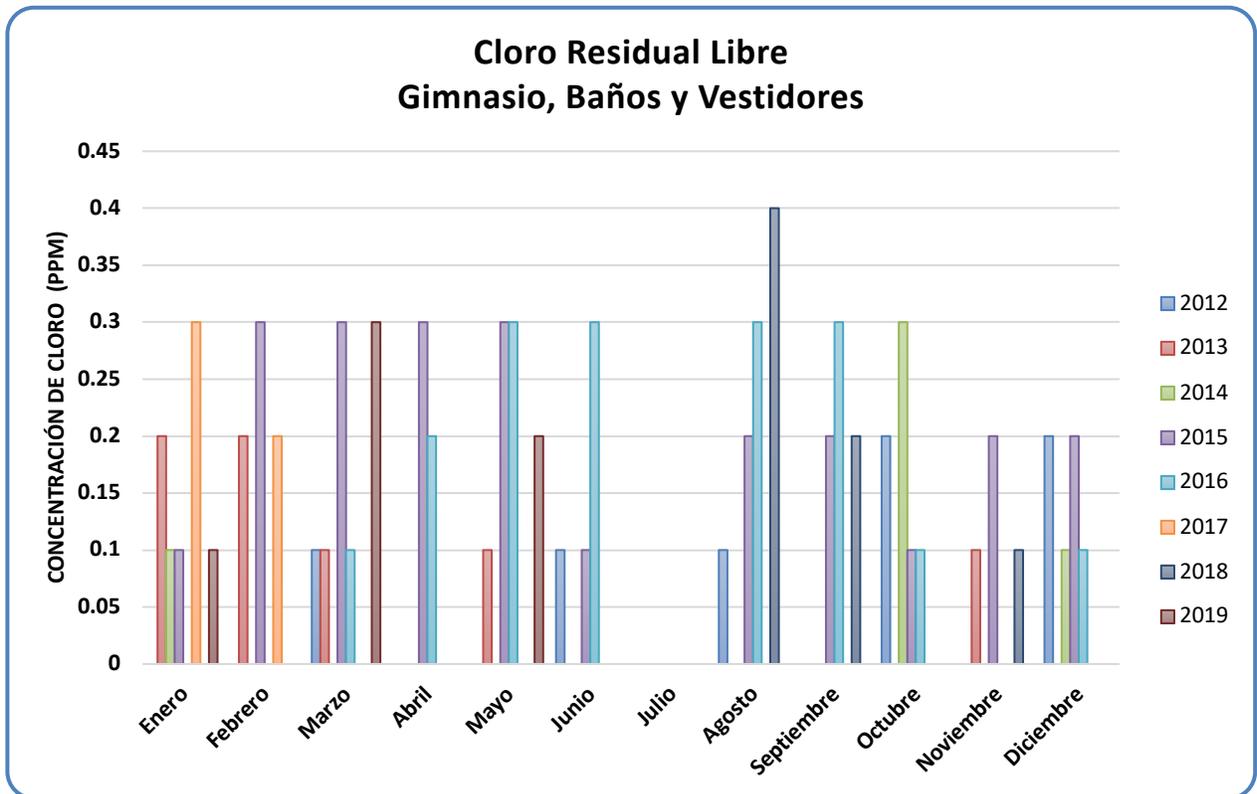
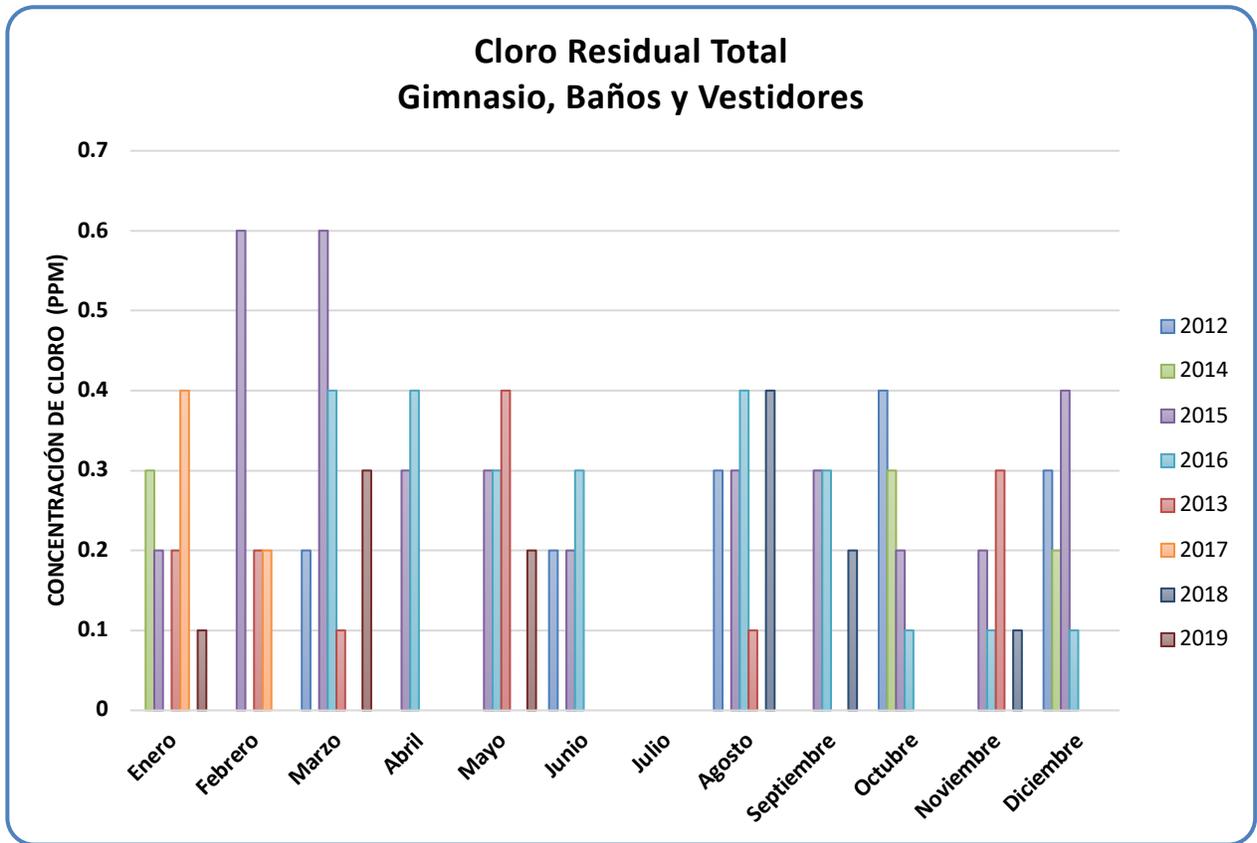


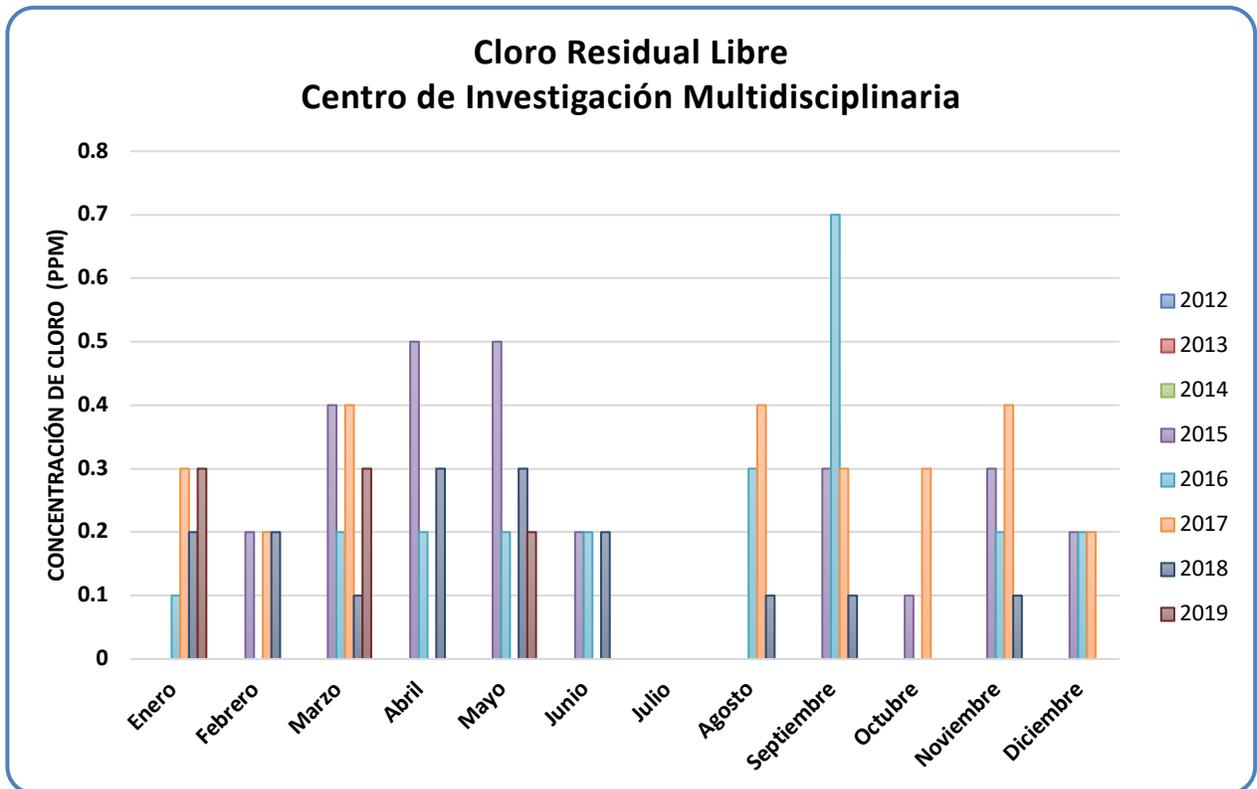
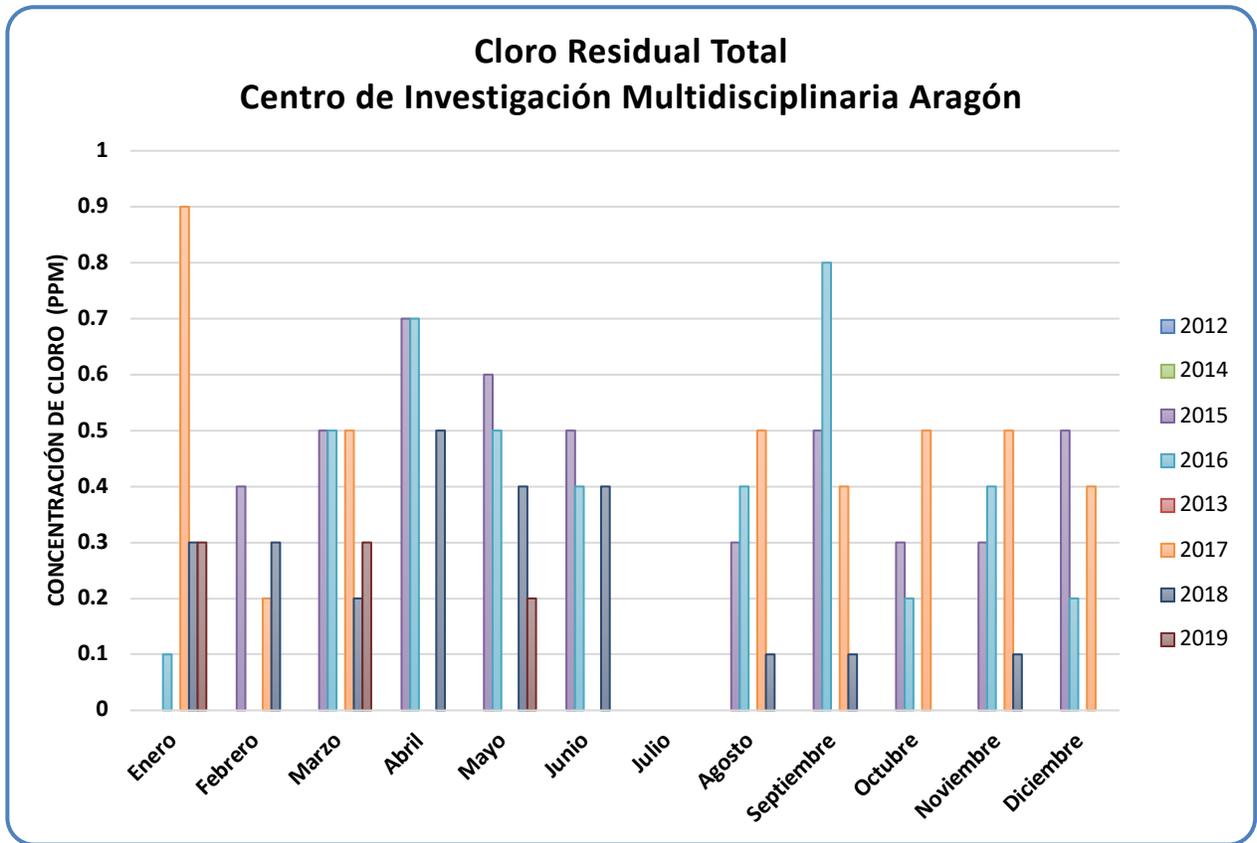


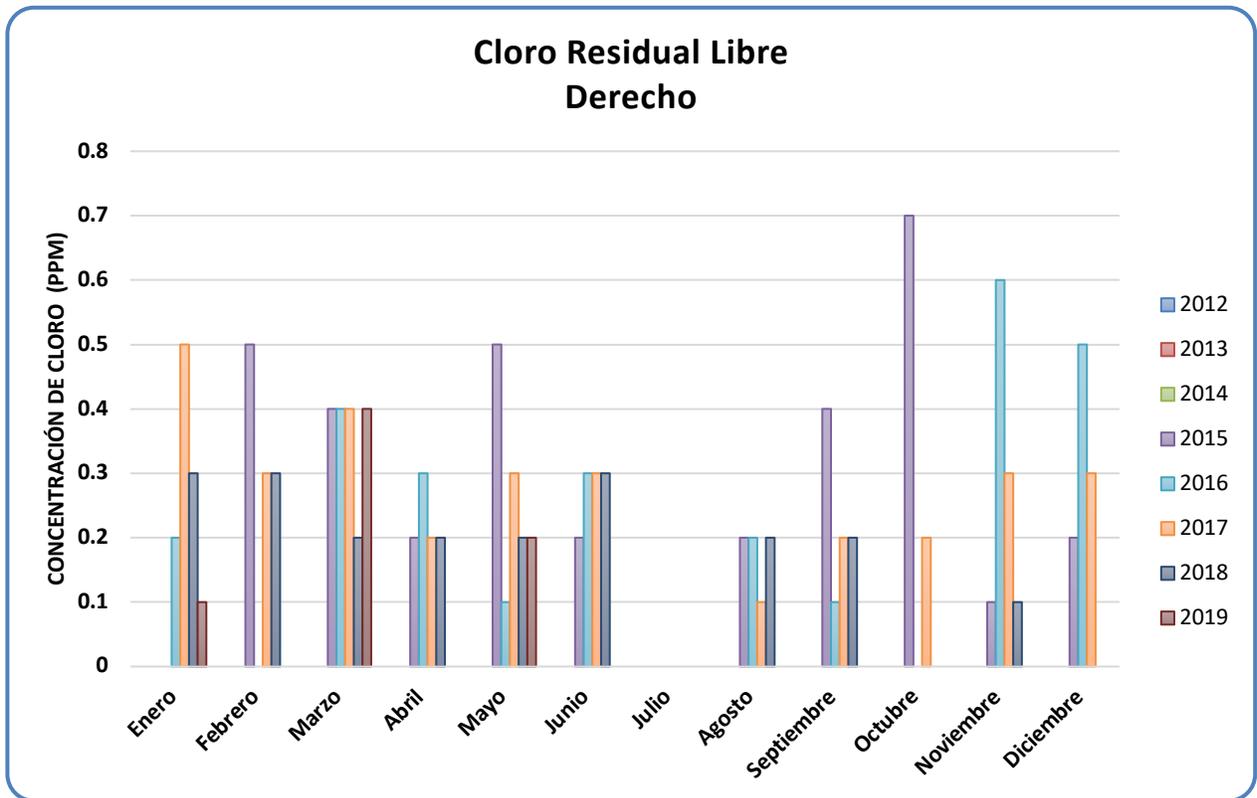
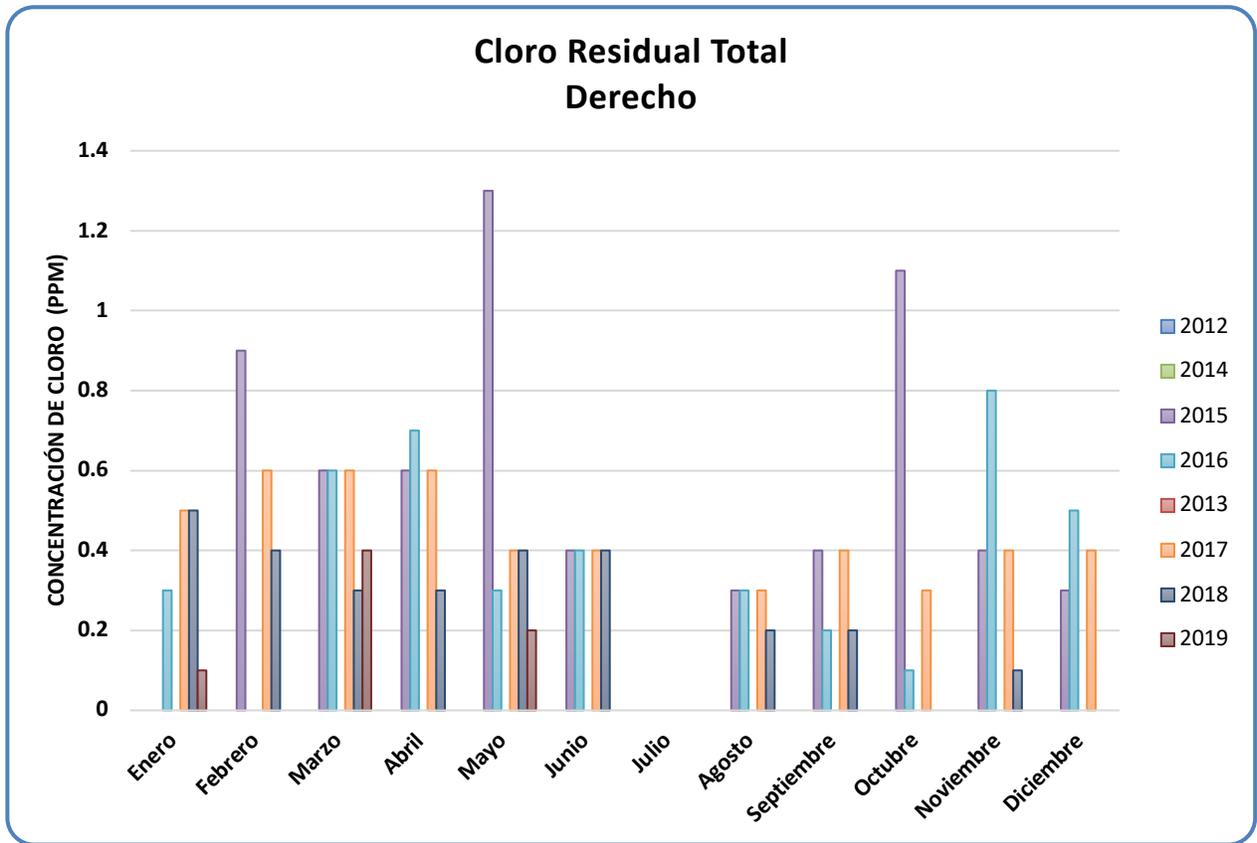


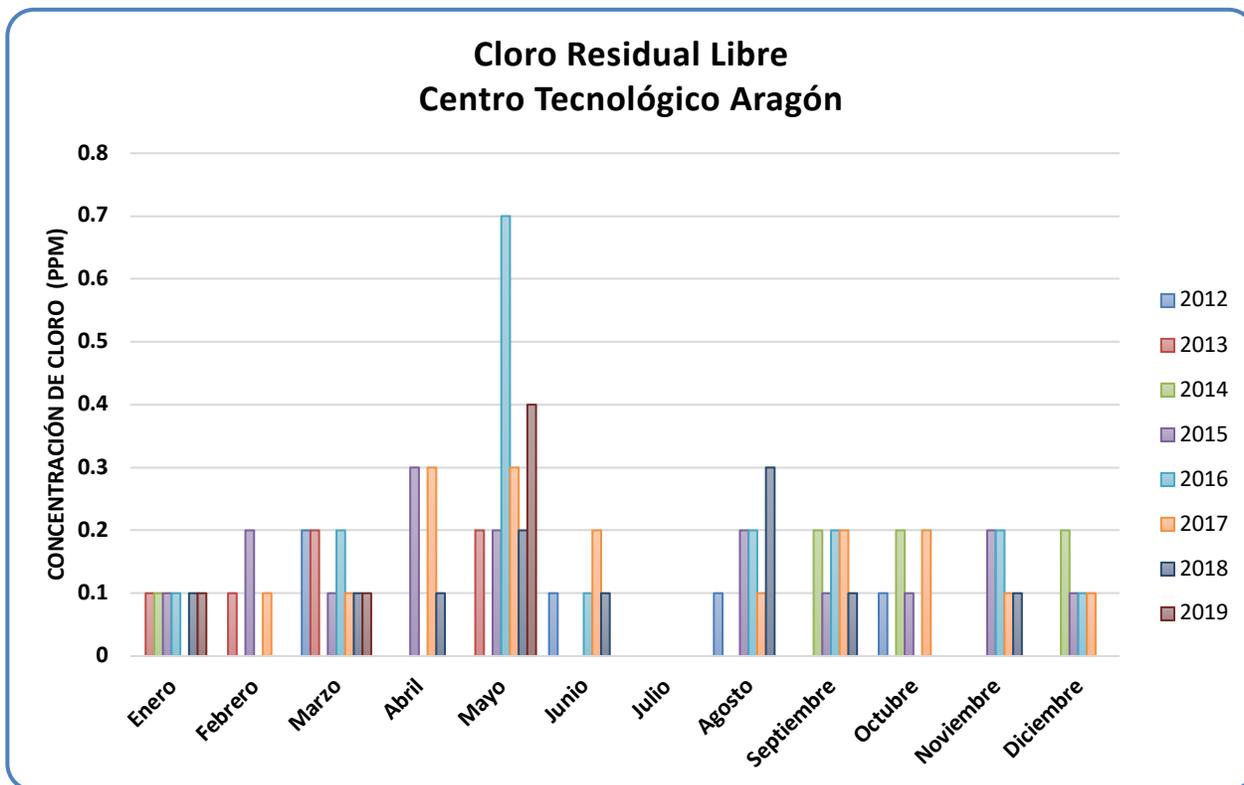
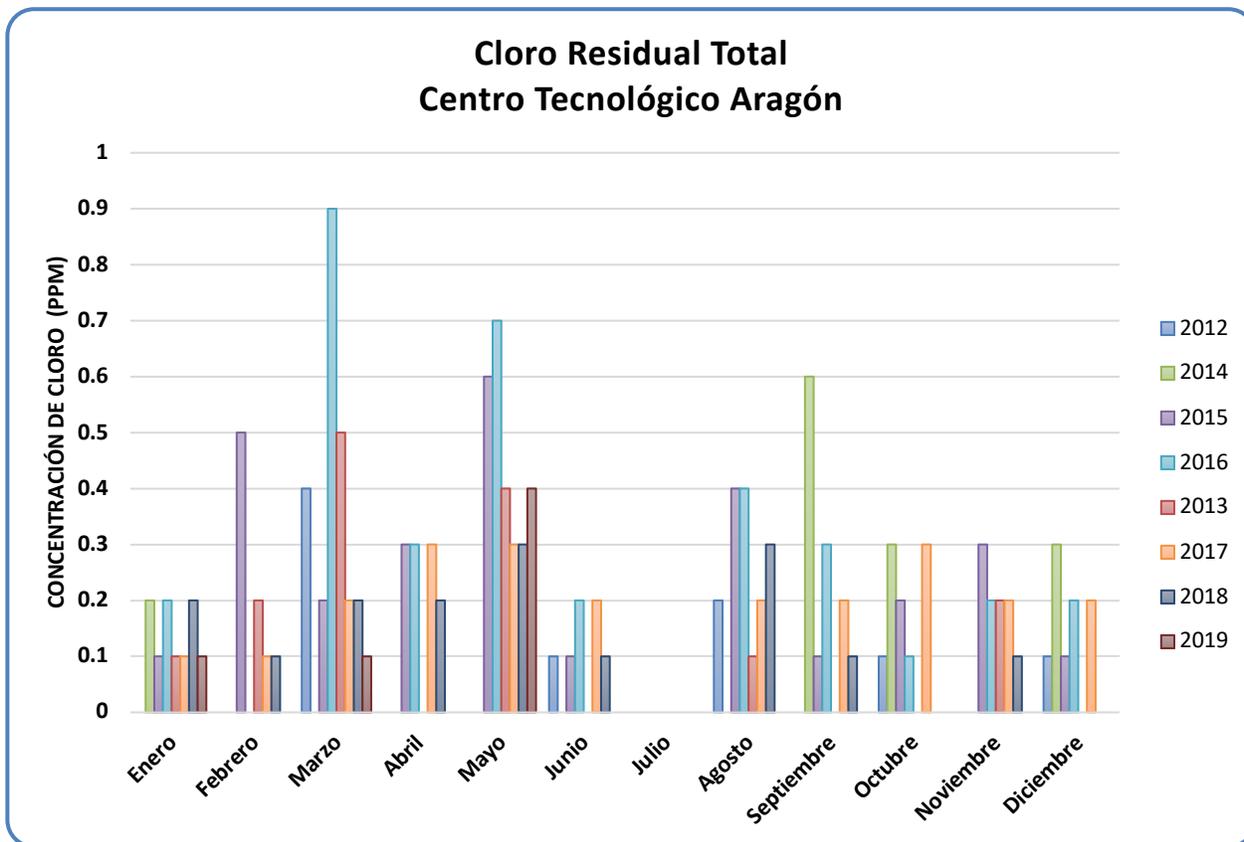












## Resultados de la medición de Cloro

---

Como ya se mencionó, de forma mensual se mide la cantidad de cloro residual, en sus modalidades libre y total, con la finalidad de prevenir algún problema de contaminación del agua que pueda repercutir en algún problema de salud entre los miembros de la comunidad universitaria, pues el agua no solo se usa en los sanitarios, sino también en el Servicio Médico para limpieza de las manos del personal de enfermería, en la limpieza de utensilios de cocina en el Comedor, en las Regaderas para limpieza de las personas que hicieron uso del gimnasio y cualquier lavabo de los baños para limpieza de dientes después de la ingesta de alimentos. Es por esta razón que si el agua está contaminada, se puede propagar algún tipo de enfermedad gástrica o incluso conjuntivitis.

Lo importante es verificar que el agua siempre tenga una concentración de por lo menos 0.20 mg/L de cloro libre residual y un máximo de 1.5 mg/L, el problema es que el valor mínimo no siempre se ha obtenido, lo que significa que hay una alta probabilidad de contaminación del agua generada durante el recorrido del agua dentro del propio sistema de distribución de la Facultad.

Por lo que se ha investigado, la FES Aragón cuenta con un sistema de distribución de agua que está conformado con tuberías de diversos materiales, como son, PVC, Polietileno de Alta Densidad (PEAD), hierro fundido y asbesto cemento. Esto debido a que no se ha contado con un Plan Maestro de crecimiento de dicha red, por lo que se han utilizado materiales de acuerdo a la época en que se hacen las ampliaciones. Además, de que este sistema tiene 40 años de servicio y durante este tiempo el mantenimiento no ha sido el adecuado, por lo tanto, accesorios como codos, ramificaciones y válvulas de seccionamiento, se encuentran totalmente inservibles por el grado de corrosión presentado.

Finalmente, y debido a la falta de planos, se ha inferido el recorrido del agua en el circuito de distribución, por lo que si se analizan las concentraciones de cloro, se ha determinado que el agua de alimentación tiene la concentración de adecuada de cloro residual libre, pero este se va perdiendo hasta alcanzar concentraciones cercanas al cero, en los edificios más lejanos, como es el Centro Tecnológico, lo que puede significar que las tuberías de distribución se encuentran sucias y el cloro está cumpliendo su objetivo de mantener el agua libre de organismos patógenos.

A partir de la información anterior, se está desarrollando una propuesta de rechloración del agua. Esta propuesta consistirá en alimentar cloro en estado líquido a las cisternas que conforman el sistema de distribución de agua potable. No se tiene contemplado hacer uso de cloro gaseoso, ya que este representa un alto riesgo en su manejo y almacenamiento en una Institución Educativa. Este proyecto aún continúa en desarrollo, pues se debe cuidar que la concentración sea la adecuada, pues de lo contrario se estarían formando compuestos químicos más peligrosos que los que se quiere eliminar. Por tal razón, también se hacen otros análisis químicos que sirven para conocer la concentración de dichos compuestos y que limitarían el uso del proceso de rechloración.

El programa PUMAGUA, ya no continuará con ese nombre, pues con el cambio de administración, se deberá hacer un cambio en este programa, pero el Laboratorio de Ingeniería Ambiental debe mantener su carácter social en beneficio de la comunidad universitaria y continuar midiendo la calidad del agua que se distribuye en la FES, por lo que se propone desarrollar las actividades que se listan a continuación:

1. Continuar midiendo, de manera mensual, la concentración de cloro en cada uno de los edificios en los que se utiliza el agua.
2. Investigar los dispositivos que existen en el mercado para reclusión y disminuir el riesgo de enfermedades en la comunidad universitaria por la presencia de microorganismos.

## Agradecimientos

Se agradece a la **M. en C. Marjorie Márquez Vázquez** por haber coordinado y desarrollado las actividades de toma de muestras de agua en toda la red de distribución, así como los análisis de laboratorio correspondientes para la determinación de la concentración de cloro libre total y residual, que han permitido hacer el análisis mostrado en este informe parcial.

También se agradece a todos los alumnos de servicio social, que todos los días han estado tomando los valores que se tienen en las carátulas de los medidores de agua, cuyos nombres son los siguientes:

- ✓ **Hinostrosa García Efrén Jesús**
- ✓ **Osorio Martínez Heriberto**
- ✓ **Santillán Jiménez Luis Eduardo**
- ✓ **Alzaga Fonseca Ricardo**
- ✓ **Araiza Siliceo Mijail**
- ✓ **Sánchez Aparicio Olivia**
- ✓ **Ayala Sánchez Alejandro**
- ✓ **Luna Alonso Joana**
- ✓ **Carranza Ortega Erick**
- ✓ **Melgar Olaya Lillian**
- ✓ **Villasana Pérez Jorge**
- ✓ **Vega Silva Guillermo Roberto**
- ✓ **Peña del Valle Gabriela**
- ✓ **Rivera Tellez Luis Ángel**
- ✓ **Gómez Martínez Wendy**
- ✓ **Quiroz de la Rosa José Manuel**
- ✓ **Ávila Sánchez Luis Jair**
- ✓ **Moreno Ponce de León David Israel**
- ✓ **Sánchez Rivas Diego**
- ✓ **Hernández Díaz Yoloxochitl**
- ✓ **Calderón Bravo José Roberto**
- ✓ **García Álvarez Jocelyn**
- ✓ **Jiménez Martínez Alma**
- ✓ **Orozco Vélez Iris**
- ✓ **Orozco Castañón Adrián**
- ✓ **Santiago Cruz Iván**
- ✓ **Hernández García Johnatan**
- ✓ **Lazcano Licea Jocelin**
- ✓ **Michelle Noria Govea**
- ✓ **Jorman Pérez Rivas**
- ✓ **Miranda González Mario Alberto Enrique**
- ✓ **Vázquez Vázquez César Agustín**
- ✓ **Pérez López Carlos Alberto**
- ✓ **Reyes Ortiz Luis Fernando**
- ✓ **Rodríguez Aviléz Brenda Michelle**
- ✓ **Bustamante Delgadillo Jessica Karina**
- ✓ **Olivares Fuentes Eduardo**
- ✓ **Yair Israel Sánchez Gracia**
- ✓ **Pedro Sánchez Esquivel**
- ✓ **Aréchiga Cruz Jessica Rocío.**
- ✓ **Domínguez Patiño Karime Magaly.**
- ✓ **Trinidad Evangelista Eduardo.**