



# Universidad de Sonora

---

---

División de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Química y Metalurgia

**“DETERMINACIÓN DE VARIABLES PARA EL  
DISEÑO DE UN PROTOTIPO EN EL  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES  
DOMÉSTICAS”**

Tesis

Que para obtener el título de:

**INGENIERO QUÍMICO**

Presenta:

Anel Lilián Martínez Biebrich

Martha Isabel Picos Enríquez

Hermosillo, Sonora

Mayo de 2013

# Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A LA UNIVERSIDAD DE SONORA**

Por enseñarnos las bases de Ingeniería Química, y prepararnos para los retos a enfrentar en éste y todos los ámbitos.

### **A NUESTROS MAESTROS**

A todos y cada uno de nuestros maestros que nos impartieron conocimientos, tanto como para nuestra educación como para nuestra vida diaria.

Especialmente, al Maestro Manuel Balcázar Meza, por su paciencia, guía y cariño.

### **A NUESTRO JURADO DE EXAMEN PROFESIONAL**

Por sus consejos y paciencia al ayudarnos a elaborar esta tesis profesional.

### **A NUESTROS PADRES**

Por su amor, confianza y educación brindada en nuestra vida.

## ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	1
ÍNDICE.....	2
LISTA DE FIGURAS.....	5
LISTA DE TABLAS.....	6
LISTA DE GRÁFICAS.....	7
RESUMEN.....	11
1 Antecedentes.....	14
2 Introducción.....	16
3 Objetivos.....	17
4 Aguas residuales.....	18
4.1 Clasificación.....	18
4.2 Composición.....	19
4.3 Tratamiento.....	19
4.3.1 Etapa preliminar.....	20
4.3.2 Etapa primaria.....	21
4.3.3 Etapa secundaria.....	21
4.3.4 Etapa terciaria.....	22
5 Aguas residuales domésticas.....	23
5.1 Composición.....	23
6 Aguas de colonias populares.....	27
6.1 Colonias seleccionadas y su localización.....	27
6.2 Cantidad de agua utilizada por persona y por actividad.....	29
7 Metodología de la investigación.....	30
7.1 Pruebas de laboratorio.....	30

7.2	Equipo utilizado .....	30
7.3	Determinación de salinidad, pH, TDS, conductividad, turbidez .....	32
7.3.1	PH.....	32
7.3.2	Total de Sólidos Disueltos (TDS).....	33
7.3.3	Conductividad.....	34
7.3.4	Turbidez.....	35
7.3.5	Cloración .....	36
8	Tabulación y gráficas de los datos obtenidos en la experimentación .....	37
8.1	Colonia Rincón de Palmas .....	37
8.2	Colonia Prados del Sol.....	39
8.3	Ley 57 .....	40
8.4	Floresta .....	42
8.5	Misión del Real.....	43
8.6	Santa Lucía .....	45
8.7	Cuauhtémoc.....	46
8.8	Las Quintas .....	48
8.9	Nacameri.....	50
8.10	Loma Linda.....	51
8.11	Balderrama.....	53
8.12	Paseo de la Colina .....	54
8.13	Los Jardines.....	56
8.14	Villa de Seris .....	57
8.15	Álvaro Obregón .....	59
9	Comportamiento de las variables .....	61
9.1	Interpretación del comportamiento de las variables por colonia.....	62
10	Gráficos de los resultados experimentales con dosis de Coagulante- Floculante en aguas residuales .....	66
10.1	Comparación de variables con diferentes dosis, en colonias.....	66
11	Interpretación de resultados .....	109

12 Propuesta para la utilización de los datos en el diseño de un prototipo para el tratamiento de aguas residuales. ....	110
13 Conclusiones y recomendaciones .....	112
14 Bibliografía.....	115

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de una planta convencional de tratamiento de aguas....	20
Figura 2. Mapa de Hermosillo, indicando las colonias.....	28
Figura 3. Ilustración del equipo para medir pH, TDS, Conductividad y Temperatura.....	31
Figura 4. Ilustración del equipo para medir salinidad.....	31
Figura 5. Ilustración de balanza digital.....	31
Figura 6. Ilustración del agitador de jarras.....	32
Figura 7. Ilustración del equipo experimental a escala para el sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas (TARD).....	111

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Relación de alimentos con su respectivo pH.....	25
Tabla 2. Relación de jabones y detergentes con su respectivo pH.....	26
Tabla 3. Consumo de agua por actividad.....	29
Tabla 4. Rangos estimados del TDS para diferentes aplicaciones del agua...	34
Tabla 5. Conductividad para diferentes tipos de agua.....	35
Tabla 6. Dosis típicas de cloro en desinfección.....	37
Tabla 7. Tabulación de las variables Colonia Rincón de Palmas.....	38
Tabla 8. Tabulación de las variables Colonia Prados del Sol.....	39
Tabla 9. Tabulación de las variables Colonia Ley 57.....	41
Tabla 10. Tabulación de las variables Colonia Floresta. ....	42
Tabla 11. Tabulación de las variables Colonia Misión del Real. ....	43
Tabla 12. Tabulación de las variables Colonia Santa Lucia. ....	45
Tabla 13. Tabulación de las variables Colonia Cuauhtémoc. ....	46
Tabla 14. Tabulación de las variables Colonia Las Quintas. ....	48
Tabla 15. Tabulación de las variables Colonia Nacameri. ....	50
Tabla 16. Tabulación de las variables Colonia Loma Linda. ....	51
Tabla 17. Tabulación de las variables Colonia Balderrama. ....	53
Tabla 18. Tabulación de las variables Colonia Paseo de la Colina. ....	54
Tabla 19. Tabulación de las variables Colonia Los Jardines. ....	56
Tabla 20. Tabulación de las variables Colonia Villa de Seris. ....	57
Tabla 21. Tabulación de las variables Colonia Álvaro Obregón.....	59
Tabla 22. Análisis de máximos y mínimos de Sulfato de Aluminio con respecto a las variables.....	61
Tabla 23. Rangos de Sulfato de Aluminio sugerido por colonia.....	65



## LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Comportamiento de pH Colonia Rincón de Palmas.....	38
Gráfica 2. Comportamiento de Conductividad Colonia Rincón de Palmas....	38
Gráfica 3. Comportamiento de TDS Colonia Rincón de Palmas.....	39
Gráfica 4. Comportamiento de pH Colonia Prados del Sol.....	39
Gráfica 5. Comportamiento de Conductividad Colonia Prados del Sol.....	40
Gráfica 6. Comportamiento de TDS Colonia Prados del Sol.....	40
Gráfica 7. Comportamiento de pH Colonia Ley 57.....	41
Gráfica 8. Comportamiento de Conductividad Colonia Ley 57.....	41
Gráfica 9. Comportamiento de TDS Colonia Ley 57.....	42
Gráfica 10. Comportamiento de pH Colonia Floresta.....	42
Gráfica 11. Comportamiento de Conductividad Colonia Floresta.....	43
Gráfica 12. Comportamiento de TDS Colonia Floresta.....	43
Gráfica 13. Comportamiento de pH Colonia Misión del Real.....	44
Gráfica 14. Comportamiento de Conductividad Colonia Misión del Real.....	44
Gráfica 15. Comportamiento de TDS Colonia Misión del Real.....	44
Gráfica 16. Comportamiento de pH Colonia Santa Lucia.....	45
Gráfica 17. Comportamiento de Conductividad Colonia Santa Lucia.....	45
Gráfica 18. Comportamiento de TDS Colonia Santa Lucia.....	46
Gráfica 19. Comportamiento de pH Colonia Cuauhtémoc.....	47
Gráfica 20. Comportamiento de Conductividad Colonia Cuauhtémoc.....	47
Gráfica 21. Comportamiento de TDS Colonia Cuauhtémoc.....	47
Gráfica 22. Comportamiento de pH Colonia Las Quintas.....	48
Gráfica 23. Comportamiento de Conductividad Colonia Las Quintas.....	49
Gráfica 24. Comportamiento de TDS Colonia Las Quintas.....	49
Gráfica 25. Comportamiento de pH Colonia Nacameri.....	50
Gráfica 26. Comportamiento de Conductividad Colonia Nacameri.....	50
Gráfica 27. Comportamiento de TDS Colonia Nacameri.....	51
Gráfica 28. Comportamiento de pH Colonia Loma Linda.....	52
Gráfica 29. Comportamiento de Conductividad Colonia Loma Linda. ....	52

Gráfica 30. Comportamiento de TDS Colonia Loma Linda.....	52
Gráfica 31. Comportamiento de pH Colonia Balderrama.....	53
Gráfica 32. Comportamiento de Conductividad Colonia Balderrama.....	53
Gráfica 33. Comportamiento de TDS Colonia Balderrama.....	54
Gráfica 34. Comportamiento de pH Colonia Paseo de la Colina.....	55
Gráfica 35. Comportamiento de Conductividad Colonia Paseo de la Colina..	55
Gráfica 36. Comportamiento de TDS Colonia Paseo de la Colina.....	55
Gráfica 37. Comportamiento de pH Colonia Los Jardines.....	56
Gráfica 38. Comportamiento de Conductividad Colonia Los Jardines.....	56
Gráfica 39. Comportamiento de TDS Colonia Los Jardines.....	57
Gráfica 40. Comportamiento de pH Colonia Villa de Seris.....	57
Gráfica 41. Comportamiento de Conductividad Colonia Villa de Seris.....	58
Gráfica 42. Comportamiento de TDS Colonia Villa de Seris.....	58
Gráfica 43. Comportamiento de pH Colonia Álvaro Obregón.....	59
Gráfica 44. Comportamiento de Conductividad Colonia Álvaro Obregón.....	59
Gráfica 45. Comportamiento de TDS Colonia Álvaro Obregón.....	60
Gráficos 46. Comparación de gráficas para pH Colonia Rincón de Palmas vs. Otras.....	67
Gráficos 47. Comparación de gráficas para pH Colonia Prados del Sol vs. Otras.....	68
Gráficos 48. Comparación de gráficas para pH Colonia Ley 57 vs. Otras.....	69
Gráficos 49. Comparación de gráficas para pH Colonia Floresta vs. Otras...	70
Gráficos 50. Comparación de gráficas para pH Colonia Misión del Real vs. Otras.....	71
Gráficos 51. Comparación de gráficas para pH Colonia Santa Lucía vs. Otras.....	72
Gráficos 52. Comparación de gráficas para pH Colonia Cuauhtémoc vs. Otras.....	73
Gráficos 53. Comparación de gráficas para pH Colonia Las Quintas vs. Otras.....	74

Gráficos 54. Comparación de gráficas para pH Colonia Nacameri vs. Otras.	75
Gráficos 55. Comparación de gráficas para pH Colonia Loma Linda vs. Otras.....	76
Gráficos 56. Comparación de gráficas para pH Colonia Balderrama vs. Otras.....	77
Gráficos 57. Comparación de gráficas para pH Colonia Paseo de la Colina vs. Otras.....	78
Gráficos 58. Comparación de gráficas para pH Colonia Los Jardines vs. Otras.....	79
Gráficos 59. Comparación de gráficas para pH Colonia Villa de Seris vs. Otra.....	80
Gráficos 60. Comparación de gráficas para Conductividad Colonia Rincón de Palmas vs. Otras.....	81
Gráficos 61. Comparación de gráficas para Conductividad Colonia Prados del Sol vs. Otras.....	82
Gráficos 62. Comparación de gráficas para Conductividad Colonia Ley 57 vs. Otras.....	83
Gráficos 63. Comparación de gráficas para Conductividad Colonia Floresta vs. Otras.....	84
Gráficos 64. Comparación de gráficas para Conductividad Colonia Misión del Real vs. Otras.....	85
Gráficos 65. Comparación de gráficas para Conductividad Colonia Santa Lucía vs. Otras.....	86
Gráficos 66. Comparación de gráficas para Conductividad Colonia Cuauhtémoc vs. Otras.....	87
Gráficos 67. Comparación de gráficas para Conductividad Colonia Las Quintas vs. Otras.....	88
Gráficos 68. Comparación de gráficas para Conductividad Colonia Nacameri vs. Otras.....	89
Gráficos 69. Comparación de gráficas para Conductividad Colonia Loma	

Linda vs. Otras.....	90
Gráficos 70. Comparación de gráficas para Conductividad Colonia Balderrama vs. Otras.....	91
Gráficos 71. Comparación de gráficas para Conductividad Colonia Paseo de la Colina vs. Otras.....	92
Gráficos 72. Comparación de gráficas para Conductividad Colonia Los Jardines vs. Otras.....	93
Gráficos 73. Comparación de gráficas para Conductividad Colonia Villa de Seris vs. Otras.....	94
Gráficos 74. Comparación de graficas de TDS Colonia Rincón de Palmas vs. Otras.....	95
Gráficos 75. Comparación de graficas de TDS Colonia Prados del Sol vs. Otras.....	96
Gráficos 76. Comparación de graficas de TDS Colonia Ley 57 vs. Otras.....	97
Gráficos 77. Comparación de graficas de TDS Colonia Floresta vs. Otras...	98
Gráficos 78. Comparación de graficas de TDS Colonia Misión del Real vs. Otras.....	99
Gráficos 79. Comparación de graficas de TDS Colonia Santa Lucía vs. Otras.....	100
Gráficos 80. Comparación de graficas de TDS Colonia Cuauhtémoc vs. Otras.....	101
Gráficos 81. Comparación de graficas de TDS Colonia Las Quintas vs. Otras.....	102
Gráficos 82. Comparación de graficas de TDS Colonia Nacameri vs. Otras..	103
Gráficos 83. Comparación de graficas de TDS Colonia Loma Linda vs. Otras.....	104
Gráficos 84. Comparación de graficas de TDS Colonia Balderrama vs. Otras.....	105
Gráficos 85. Comparación de graficas de TDS Colonia Paseo de la Colina vs. Otras.....	106

Gráficos 86. Comparación de graficas de TDS Colonia Los Jardines vs. Otras.....	107
Gráficos 87. Comparación de graficas de TDS Colonia Villa de Seris vs. Otras.....	108

## RESUMEN

El origen de la realización del presente trabajo, se da en base a la necesidad urgente que tienen ciudades como Hermosillo, Sonora en el buen uso del agua potable y algunas otras localidades del noroeste del país; dicho trabajo consiste en el tratamiento de aguas residuales procedentes de casas habitación y para el caso particular, el agua utilizada en la experimentación procede de los residuos principalmente de alimentos y de otros, además de detergentes y jabones en su mayoría empleados para la limpieza de los artículos de cocina, y en algunas ocasiones agua de lavabos, se aclara que las aguas procedentes del servicio sanitario no se mezclaran con las utilizadas.

Así, se tomaron muestras en un número de cuatro, con un volumen de un litro cada una, correspondientes a quince colonias. La metodología consiste en agitar primeramente las muestras en un agitador de jarras para obtener los datos iniciales después de un determinado tiempo, posteriormente se añaden cantidades específicas de coagulante-floculante, que se utiliza Sulfato de Aluminio, de nueva cuenta se somete cada una de las muestras a agitación y después de un tiempo se procede a reposar la muestra. Acto seguido, con equipo de medición para medir pH, conductividad, TDS y salinidad se determinaron datos y se tabularon para su posterior interpretación. Se graficaron todas las variables considerando el número de muestras pertenecientes a cada una de las colonias. De acuerdo a los alimentos consumidos usualmente en los diferentes tipos de comidas hogareñas se hace el análisis de los resultados para ver la influencia ejercida sobre el agua, al igual que los jabones y detergentes que existieron con respecto a las variables que se determinaron en las pruebas. Con los datos anteriores se establecen hipótesis en función de los agentes que pueden influir tanto en el pH, conductividad, TDS y salinidad de las aguas analizadas. Se hace notar que otra variable importante como lo es la turbidez, se observa de manera cualitativa clasificándola en tres categorías: baja, regular, y muy turbia. Los datos obtenidos pueden ser utilizados para otros tipos de estudios, los cuales pudieran resultar más útiles y con mayor precisión si se realizan mayor número de pruebas con más

frecuencias. Dado que las muestras fueron relativamente pocas comparándolas con el universo de colonias que existen en la ciudad de Hermosillo, es necesario realizar más muestreo por colonia y para el total de ellas.

Con los datos obtenidos también se propone un sistema sencillo y económico para tratar el agua residual doméstica.

## **1 Antecedentes**

La capital de Sonora experimenta cada vez más la falta de agua, debida a la sobreexplotación de acuíferos, al crecimiento poblacional y a las altas temperaturas, aunada a la sequía que se ha prolongado por unos 17 años.

Esto ha obligado a que el Gobierno racione el abasto de agua a máximo 12 horas diarias desde hace unos dos años, incluso en invierno.

Las altas temperaturas que durante seis meses del año alcanzan los 40 grados centígrados en Hermosillo y llegan a rebasar los 48 grados en ocasiones, se conjunta con un abatimiento en el acuífero que la han colocado, según la Comisión Nacional del Agua (Conagua), en situación "crítica".

Independiente de los fenómenos mundiales como la contaminación y el calentamiento global de la Tierra, nuestra posición geográfica que nos ubica en una zona desértica, cálida y seca en donde las lluvias escasean más cada año, ha provocado que nuestras fuentes tradicionales de abastecimiento de agua, como lo son las corrientes de los ríos San Miguel Sonora, se hayan visto reducida al mínimo. Este mismo ciclo hidrológico que permitía la recuperación natural del líquido, en otras alternativas como los mantos acuíferos cercanos a nuestra ciudad, ya no es suficiente tampoco.

El crecimiento de Hermosillo, la frecuente y desmedida migración de la sierra y el campo a nuestra ciudad, las exigencias de un desarrollo y una sociedad que requiere de enormes cantidades de agua para su supervivencia, aunado a la falta de cultura sobre el uso y aprovechamiento de este vital líquido, han rebasado ya la capacidad natural de este recurso.

Últimamente algunas actividades económicas, como es el caso de la ganadería se han visto seriamente afectadas los últimos 10 años por la falta de agua, dado que los pastizales no cuentan con el suficiente alimento para abastecer a una de las principales actividades del Estado; inclusive, se ha llegado a considerar a Sonora por la carencia de agua como zona de desastre. Así mismo, debido al abatimiento



del acuífero, la actividad agrícola en la costa de Hermosillo se ha visto seriamente afectada de tal manera que de los aproximadamente los 500 pozos para riego apenas si están funcionando alrededor del 40% lo cual se debe también a los altos costos de energía eléctrica para extraer de mayores profundidades el vital líquido.

## 2 Introducción

El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los sólidos en suspensión y algunos contaminantes presentes en el agua efluente del uso humano. El objetivo del tratamiento es producir agua limpia (o efluente tratado) o reutilizable en el ambiente y un residuo sólido o fango (también llamado biosólido o lodo) convenientes para su disposición o reuso.

Este trabajo pretende brindar a colonias populares una solución al grave problema que tienen con el agua, diseñando una metodología para identificar las dosis adecuadas de químicos durante las pruebas hechas al agua residual para acercarla a los parámetros establecidos por los organismos encargados de proponer los rangos específicos de estos. Así mismo para que el agua tratada pueda ser reutilizada mediante un prototipo en actividades como el lavado de trastes, de ropa, limpieza de la casa, y otros usos domésticos. De esta manera se beneficia su economía, al tener un menor consumo de metros cúbicos de agua potable; a las familias, al tener abasto de agua a la hora que la ocupen; al medio ambiente, al darle doble uso al agua que se recibe.

Para darle tratamiento se utiliza Sulfato de aluminio, que permite clarificar el agua potable ya que es un coagulante-floculante y por ello sedimenta los sólidos en suspensión, los cuales por su tamaño requieren un tiempo considerable para sedimentar, así mismo se obtienen datos de pH, salinidad, total de sólidos, conductividad y turbidez.

Con lo anterior, se verifica que el agua sea propio reusarse diariamente.

### **3 Objetivos**

#### **Objetivo general**

Encontrar las dosis adecuadas de químicos para tratar el agua residual doméstica y su posible reuso.

#### **Objetivos específicos**

- Graficar los resultados obtenidos en la experimentación con el coagulante-floculante.
- Comparar los resultados con las Normas existentes nacionales e internacionales.
- Proponer un posible diseño de prototipo para el tratamiento de aguas residuales domésticas.
- Establecer hipótesis en base a la posible composición de las aguas residuales.

## **4 Aguas residuales**

“Las aguas residuales pueden definirse como las aguas que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población, después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias.....” (Mara 1976)

Según su origen, las aguas residuales resultan de la combinación de líquidos y residuos sólidos transportados por el agua que proviene de residencias, oficinas, edificios comerciales e instituciones, junto con los residuos de las industrias y de actividades agrícolas, así como de las aguas subterráneas, superficiales o de precipitación que también pueden agregarse eventualmente al agua residual (Mendonca 1987).

### **4.1 Clasificación**

De acuerdo con su origen, las aguas residuales pueden ser clasificadas como:

- **Domésticas:** son aquellas utilizadas con fines higiénicos (baños, cocinas, lavanderías, etc.). Consisten básicamente en residuos humanos que llegan a las redes de alcantarillado por medio de descargas de instalaciones hidráulicas de la edificación también en residuos originados en establecimientos comerciales, públicos y similares.
- **Industriales:** son líquidos generados en los procesos industriales. Poseen características específicas, dependiendo del tipo de industria.
- **Infiltración y caudal adicionales:** las aguas de infiltración penetran en el sistema de alcantarillado a través de los empalmes de las tuberías, paredes de las tuberías defectuosas, tuberías de inspección y limpieza, etc. Hay también aguas pluviales, que son descargadas por medio de varias fuentes, como canales, drenajes y colectores de aguas de lluvias.
- **Pluviales:** son agua de lluvia, que descargan grandes cantidades de agua sobre el suelo. Parte de esta agua es drenada y otra escurre por la

superficie, arrastrando arena, tierra, hojas y otros residuos que pueden estar sobre el suelo.

## **4.2 Composición**

Las aguas servidas están formadas por un 99% de agua y un 1% de sólidos en suspensión y solución. Estos sólidos pueden clasificarse en orgánicos e inorgánicos.

Los sólidos inorgánicos están formados principalmente por nitrógeno, fosforo, cloruros, sulfatos, carbonatos, bicarbonatos, algunas sustancias toxicas como arsénico, cianuro, cadmio, cromo, cobre, mercurio, plomo y zinc.

Los sólidos orgánicos pueden ser nitrogenados y no nitrogenados. Los nitrogenados, es decir, los que contienen nitrógeno en su molécula, son proteínas, ureas, aminas y aminoácidos. Los no nitrogenados son principalmente celulosa, grasa y jabones.

Como las aguas residuales tienen contaminantes muy complejos y variados en cuanto a composición y cantidad, para fines prácticos se ha definido un parámetro que mide el grado de contaminación. Tal indicador se conoce como DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO), definido como la cantidad de oxígeno que consumen los microorganismos mientras degradan la materia contaminante (generalmente la oxidan). Para medir la DBO existen técnicas de laboratorio estandarizadas.

En este trabajo no se considera la DBO por ser parte de otros trabajos sobre tratamiento de aguas residuales.

## **4.3 Tratamiento**

El proceso de tratamiento del agua residual se puede dividir en cuatro etapas: pretratamiento, primaria, secundaria y terciaria. Algunos autores llaman a las etapas preliminar y primaria unidas como etapa primaria.

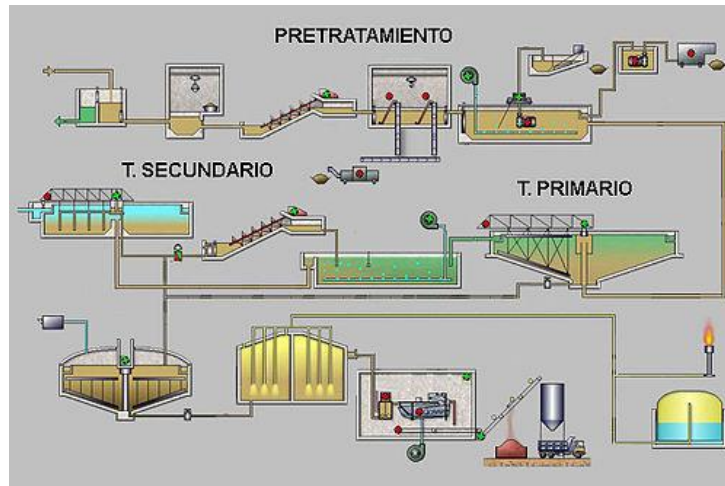


Figura 1. Diagrama de una planta convencional de tratamiento de aguas.

Como se ve en este gráfico, la etapa primaria elimina el 60% de los sólidos suspendidos y un 35% de la DBO. La etapa secundaria, en cambio, elimina el 30% de los sólidos suspendidos y un 55% de la DBO.

#### 4.3.1 Etapa preliminar

La etapa preliminar debe cumplir dos funciones:

1. Medir y regular el caudal de agua que ingresa a la planta
2. Extraer los sólidos flotantes grandes y la arena (a veces, también la grasa).

Normalmente las plantas están diseñadas para tratar un volumen de agua constante, lo cual debe adaptarse a que el agua servida producida por una comunidad no es constante. Hay horas, generalmente durante el día, en las que el volumen de agua producida es mayor, por lo que deben instalarse sistemas de regulación de forma que el caudal que ingrese al sistema de tratamiento sea uniforme.

Asimismo, para que el proceso pueda efectuarse normalmente, es necesario filtrar el agua para retirar de ella sólidos y grasas. Las estructuras encargadas de esta función son las rejillas, tamices, trituradores (a veces), desgrasadores y desarenadores. En esta etapa también se puede realizar la preaireación, cuyas

funciones son: a) Eliminar los compuestos volátiles presentes en el agua servida, que se caracterizan por ser malolientes, y b) Aumentar el contenido de oxígeno del agua, lo que ayuda a la disminución de la producción de malos olores en las etapas siguientes del proceso de tratamiento.

#### **4.3.2 Etapa primaria**

Tiene como objetivo eliminar los sólidos en suspensión por medio de un proceso de sedimentación simple por gravedad o asistida por coagulantes y floculantes. Así, para completar este proceso se pueden agregar compuestos químicos (sales de hierro, aluminio y polielectrolitos floculantes) con el objeto de precipitar el fósforo, los sólidos en suspensión muy finos o aquellos en estado de coloide.

Las estructuras encargadas de esta función son los estanques de sedimentación primarios o clarificadores primarios. Habitualmente están diseñados para suprimir aquellas partículas que tienen tasas de sedimentación de 0,3 a 0,7 mm/s. Asimismo, el período de retención es normalmente corto, 1 a 2 h. Con estos parámetros, la profundidad del estanque fluctúa entre 2 a 5 m.

En esta etapa se elimina por precipitación alrededor del 60 al 70% de los sólidos en suspensión. En la mayoría de las plantas existen varios sedimentadores primarios y su forma puede ser circular, cuadrada a rectangular.

#### **4.3.3 Etapa secundaria**

Tiene como objetivo eliminar la materia orgánica en disolución y en estado coloidal mediante un proceso de oxidación de naturaleza biológica seguido de sedimentación. Este proceso biológico es un proceso natural controlado en el cual participan los microorganismos presentes en el agua residual, y que se desarrollan en un reactor o cuba de aireación, más los que se desarrollan, en menor medida en el decantador secundario. Estos microorganismos, principalmente bacterias, se alimentan de los sólidos en suspensión y estado coloidal produciendo en su degradación anhídrido carbónico y agua, originándose una biomasa bacteriana

que precipita en el decantador secundario. Así, el agua queda limpia a cambio de producirse unos fangos para los que hay que buscar un medio de eliminarlos.

En el decantador secundario, hay un flujo tranquilo de agua, de forma que la biomasa, es decir, los flóculos bacterianos producidos en el reactor, sedimentan. El sedimento que se produce y que, como se dijo, está formado fundamentalmente por bacterias, se denomina fango activo.

Los microorganismos del reactor aireado pueden estar en suspensión en el agua (procesos de crecimiento suspendido o fangos activados), adheridos a un medio de suspensión (procesos de crecimiento adherido) o distribuidos en un sistema mixto (procesos de crecimiento mixto).

Las estructuras usadas para el tratamiento secundario incluyen filtros de arena intermitentes, filtros percoladores, lechos fluidizados, estanques de fangos activos, lagunas de estabilización u oxidación y sistemas de digestión de fangos.

#### **4.3.4 Etapa terciaria**

Tiene como objetivo suprimir algunos contaminantes específicos presentes en el agua residual tales como los fosfatos que provienen del uso de detergentes domésticos e industriales y cuya descarga en cursos de agua favorece la eutrofización, es decir, un desarrollo incontrolado y acelerado de la vegetación acuática que agota el oxígeno, y mata la fauna existente en la zona. No todas las plantas tienen esta etapa ya que dependerá de la composición del agua residual y el destino que se le dará. En algunos casos, esta etapa es conocida como tratamiento avanzado.



## **5 Aguas residuales domésticas**

Éstas son aquellas utilizadas con fines higiénicos (baños, cocinas, lavanderías, etc.). Consisten básicamente en residuos humanos que llegan a las redes de alcantarillado por medio de descargas de instalaciones hidráulicas de la edificación también en residuos originados en establecimientos comerciales, públicos y similares.

Las aguas residuales domésticas consideradas en el presente trabajo son aquellas cuya clasificación obedece al tipo de servicio que se presentan en casa habitación. Estos servicios son el de regadera, lavamanos, lavadora/lavadero, y lavatrastes.

Se considera que para darle mayor uso y utilizar un tratamiento químico sencillo, se excluyen las aguas residuales procedentes de sanitarios, lo cual ocasionaría que se formara un cuerpo de agua negra.

Debido al tipo de muestra recabada, nada más se consideró el agua procedente de residuos alimenticios, y en algunas ocasiones el agua de lavamanos y los jabones y detergentes empleados. De acuerdo a la literatura general para el caso, estas aguas pueden ser consideradas como jabonosas o grises, que representan del total aproximadamente un 20%.

### **5.1 Composición**

El agua residual doméstica está compuesta de constituyentes físicos, químicos y biológicos. Es una mezcla de sustancias orgánicas e inorgánicas, suspendidas o disueltas. La mayor parte de la materia orgánica consiste en residuos alimenticios, materia vegetal, sales minerales y materiales diversos como jabones y detergentes sintéticos.

La fracción orgánica corresponde al 70% de la cantidad de materia sólida existente (Tebutt, 1977; Jordão&Pessoa, 1975); el 30% restante es inorgánico.

De acuerdo a la composición de las aguas se hace una clasificación elemental de los componentes que le dan acidez y alcalinidad a las aguas aquí utilizadas, como lo son los alimentos más comunes para las colonias en donde fueron obtenidas las muestras. A continuación se enlistan los alimentos, jabones y detergentes que le producen al agua el estado correspondiente con respecto al pH, en la Tabla 1 y 2, respectivamente.

Alimentos	14	10	8	6	4	2
	Alta alcalinidad	Alcalino	Baja alcalinidad	Baja Acidez	Acido	Alta Acidez
Tocino						2
Avena				6		
Mermelada						2
Miel						2
Yogurt						2
Carne de res						2
Carne de cerdo						2
Pescado					4	
Pollo					4	
Hígado				6		
Pepino	14					
Pasta				6		
Jícama			8			
Calabaza		10				
Hortalizas y verduras		10				
Cátsup						2
Repollo			8			
Col			8			
Lechuga		10				
Zanahoria		10				
Betabel		10				
Zumos de frutas						2
Apio	14					
Aguacate	14					
Manzana				6		
Pera				6		
Plátano				6		
Naranja				6		
Ajo	14					
Toronja				6		
Piña				6		
Melón				6		
Sandia				6		
Mango				6		

Fresas				6		
Papaya	14					
Uvas				6		
Champiñones				6		
Cilantro y hierbas			8			
Pera				6		
Nuez		10				
Cacahuete		10				
Almendra		10				
Pepitas		10				
Chocolate					4	
Lentejas				6		
Huevo					4	
Papas			8			
Carnes						2
Embutidos						2
Chile					4	
Arroz				6		
Leche				6		
Te			8			
Café						2
Mantequilla				6		
Manteca				6		
Limón					4	
Pimienta y especias			8			
Cereales			8			
Manzana			8			
Cebolla			8			
Harina de trigo				6		
Harina de maíz				6		
Queso		10				
Frijoles			8			
Aceite vegetal		10				
Sal	14					
Tomate	14					

Tabla 1. Relación de alimentos con su respectivo pH. (Fuente: FDA 2010)

	<b>Jabón/Marca</b>	<b>pH</b>
<b>Jabones en barra para manos</b>	Palmolive	9.99
	Lux	10.23
	Nivea	10.25
	Dove	7.39
	Camay	8.5
	Neutrogena	8
	Neutrobalance	9.7
<b>Detergentes multiusos</b>	Blana Nieves	10.8
	Comercial Mexicana (marca propia)	10.9
	Audax	10.3
	uno - dos - tres	11.2
	Fab	10.9
<b>Detergentes lavatrastres en polvo</b>	Axion lima limón	11.7
	Salvo	11.1
	Lirio	10.9
	Lirio aroma	11.2
	Aurrera	11.2
<b>Detergentes lavatrastres en crema o pasta</b>	Axion lima limón	10.7
	Comercial Mexicana (marca propia)	10.1
	Aurrera	10.1

Tabla 2. Relación de jabones y detergentes con su respectivo pH. (Fuente: PROFECO, 2005)

## **6 Aguas de colonias populares**

### **6.1 Colonias seleccionadas y su localización**

Se solicitaron muestras en un número de cuatro a cinco con capacidad de un litro a cada una a familias establecidas en las colonias que aquí se señalan. Estas muestras se analizaron en el laboratorio de Ingeniería de Procesos situado en el edificio Manuel Puebla del Departamento de Ingeniería Química y Metalurgia de la Universidad de Sonora. Se pidió que la toma de las muestras fuera lo más representativo en cuanto a la forma normal en que se utilizaba el agua para lavar los utensilios de cocina (platos, tazas, cucharas, tenedores, etc.) y en el lavamanos.

Las colonias se seleccionaron considerando una división de nueve zonas a la ciudad de Hermosillo, sin embargo, esto no se cumplió cabalmente ya que la recolección de muestras no fue obtenida como se había planeado inicialmente.

En el mapa correspondiente se observan las colonias que se tomaron como ejemplo para recolectar las muestras de agua para su correspondiente análisis. Se observa la ubicación y en algunos casos datos adicionales para su mayor identificación.



Figura 2. Mapa de Hermosillo, indicando las colonias.

## 6.2 Cantidad de agua utilizada por persona y por actividad

En la tabla 3 se muestra un estimado consumo máximo de agua utilizada diariamente por persona y por actividad.

<b><i>Actividad</i></b>	<b><i>Consumo de agua</i></b>
Bañarse	50 litros
Usar el baño	25 litros
Regar jardín	35 litros
Limpiar la casa	15 litros
Lavadora	50 litros
Lavado de trastes a mano	30 litros
Lavado de manos	15 litros
Cocer alimentos	6 litros
Beber agua	2 litros
Otros	10 litros

Tabla 3. Consumo de agua por actividad. (Fuente: CONAGUA, 2010)

## **7 Metodología de la investigación**

### **7.1 Pruebas de laboratorio**

1. Tomar muestras de agua residual por cada una de las quince colonias.
2. Calibrar el equipo HI 9212-5 (Portable pH/EC/TDS/°C Meter) con la solución HI 7031L para conductividad y TDS, y HI 7007L para pH, de Hanna Instruments.
3. Vaciar agua muestreada en vasos de precipitado con capacidad de un litro.
4. Colocarlos en el agitador de jarras durante 15 minutos.
5. Pesarse paralelo al punto anterior las cantidades a utilizar de floculante en balanza digital. Dichas cantidades variaron en un rango de 0.25 a 0.90, con un incremento de 0.05 entre ellas.
6. Detener la agitación para proceder a tomar las lecturas de pH, conductividad, TDS, y salinidad. La turbidez se observa de manera cualitativa sin utilizar equipo.
7. Añadir las diferentes cantidades de Sulfato de Aluminio para cada muestra.
8. Empezar de nuevo el proceso de agitación por otros 15 minutos.
9. Una vez transcurrido el tiempo anterior, dejar las muestras en reposo por 15 minutos.
10. Tomar las lecturas correspondientes a pH, conductividad, TDS y salinidad para cada una de las muestras.

### **7.2 Equipo utilizado**

- HI 9212-5 (Portable pH/EC/TDS/°C Meter), Marca Hanna Instruments.  
Las muestras se toman introduciendo el electrodo en el líquido para proceder a la lectura de manera directa.





Figura 3. Ilustración del equipo para medir pH, TDS, Conductividad y Temperatura.

- Automatic Compensation Salinity Refractometer (Master-S/MillM, Marca Atago).

Se inicia con la limpieza del portalíquido, para continuar añadiéndole pequeñas gotas del agua a muestrear, asegurándose de que cubra toda la superficie sin burbujas. Posteriormente se lee en una escala de partes por mil.



Figura 4. Ilustración del equipo para medir salinidad.

- Balanza Scout Pro, Marca OHAUS.

Se utiliza una balanza digital con capacidad de 200 g.



Figura 5. Ilustración de balanza digital.

- Agitador p/pbas. de jarras de 6 paletas, 120 V.  
En este equipo se hacen las mezclas homogéneas del agua residual con y sin coagulante-floculante.



Figura 6. Ilustración del agitador de jarras.

- Vasos de precipitado de 1 L.
- Cronómetro
- Espátula
- Guantes Ambiderm Latex
- Cubrebocas

### 7.3 Determinación de salinidad, pH, TDS, conductividad, turbidez

#### 7.3.1 PH

El pH es un indicador de la acidez de una sustancia, está determinado por el número de iones libres de hidrógeno ( $H^+$ ) en una sustancia. El pH sirve como un indicador que compara algunos de los iones más solubles en agua.

El resultado de una medición de pH viene determinado por una consideración entre el número de protones (iones  $H^+$ ) y el número de iones hidroxilo ( $OH^-$ ). Cuando el número de protones iguala al número de iones hidroxilo, el agua es neutra. Tendrá entonces un pH alrededor de 7.

El pH del agua puede variar entre 0 y 14. Cuando el pH de una sustancia es mayor de 7, es una sustancia básica. Cuando el pH de una sustancia está por debajo de 7, es una sustancia ácida. Cuanto más se aleje el pH por encima o por

debajo de 7, más básica o ácida será la solución. El término común para referirse al pH es la alcalinidad.

Las medidas de pH se realizan con un electrodo de vidrio, el cual genera un potencial que varía linealmente con el pH de la solución en la que está inmerso. El electrodo consiste en una célula con un potencial controlado por la actividad del protón a cada lado de una membrana de vidrio muy fina.

Este método se utiliza si se quiere obtener medidas muy precisas y puede aplicarse a cualquier caso particular.

### **7.3.2 Total de Sólidos Disueltos (TDS)**

El Total de Sólidos Disueltos (TDS) es una medida de las sustancias orgánicas e inorgánicas, en forma molecular, ionizada o micro-granular, que contienen los líquidos, en nuestro caso, el agua. Para considerarse TDS, las sustancias deben ser lo suficientemente pequeñas como para pasar una criba o filtración del tamaño de dos micras.

El TDS y la conductividad eléctrica están estrechamente relacionadas. Cuanto mayor sea la cantidad de sales disueltas en el agua, mayor será el valor de la conductividad eléctrica. La mayoría de los sólidos que permanecen en el agua tras una filtración de arena, son iones disueltos.

### VIII.3.2.1 TDS óptimos según el uso del agua

En la siguiente tabla se muestra los valores óptimos según la aplicación que se le dé al agua.

<i>Aplicación del agua</i>	<i>Rango de TDS estimados</i>	<i>Observaciones sobre cómo utilizar el lector de TDS</i>
Agua de beber	0 - 50 ppm	A más bajo valor de TDS, agua más pura.
Filtrado de agua	0 - 50 ppm	Medir el valor de TDS, del agua de red y del agua filtrada. Calcular el % de rechazo: a mayor rechazo, mejor performance
Agua en piscinas y spas (estánderes)	Variable	Medir el TDS y ajustar el valor recomendado por el fabricante.
Agua de piscinas saladas	Variable Normalmente, 1000-2000 ppm	Medir el TDS y ajustar el valor recomendado por el fabricante.
Agua de hidroponía y jardinería	Variable Normalmente, 500-2000 ppm	A más bajo valor de TDS, agua más pura. Medir los nutrientes con lector de TDS añadiendo los del agua.
Agua de acuarios	Variable Normalmente, 150-850 ppm	Usar un filtro para eliminar los TDS del agua de entrada para añadir sal y nutrientes. Utilizar el medidor de TDS para ajustar filtros.
Agua salada para / de acuarios y arrecifes	Variable Normalmente, 0-10 ppm	Usar un filtro para eliminar los TDS del agua de entrada para añadir sal y nutrientes. Utilizar el medidor de TDS para ajustar filtros.
Agua para el lavado de coches y ventanas	0-50 ppm	A más bajo valor de TDS, agua más pura para no dejar manchas.
Agua para hacer café	100-200 ppm	Medir el TDS y añadir o filtrar TDS para un mejor sabor y calidad del café.

Tabla 4. Rangos estimados del TDS para diferentes aplicaciones del agua.

(Fuente: Blog Agua Pasión, 2011)

### 7.3.3 Conductividad

La conductividad electrolítica es una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la

presencia de iones, de su concentración total, de su movilidad, valencia y concentraciones relativas, así como de la temperatura.

La determinación de conductividad es de gran importancia pues da una idea del grado de mineralización del agua natural, potable, residual, residual tratada, de proceso o bien del agua para ser usada en el laboratorio en análisis de rutina o para trabajos de investigación.

El valor de conductividad es un parámetro regulado por límites máximos permisibles en descargas de aguas residuales al alcantarillado o a cuerpos receptores, también es un parámetro de calidad del agua para usos y actividades agrícolas, para contacto primario y para el consumo humano.

En la tabla continua se puede observar la conductividad para distintos tipos de aguas:

Agua ultra pura	$5.5 \cdot 10^{-6}$ S/m
Agua potable	0.005 – 0.05 S/m
Agua del mar	5 S/m

Tabla 5. Conductividad para diferentes tipos de agua. (Fuente: Water treatment solutions 2011)

#### **7.3.4 Turbidez**

La turbidez se refiere a lo clara o turbia que pueda estar el agua. El agua clara tiene un nivel de turbidez bajo y el agua turbia o lodosa tiene un nivel alto de turbidez. Los niveles altos de turbidez pueden ser causados por partículas suspendidas en el agua tales como tierra, sedimentos, aguas residuales y plancton. La tierra puede llegar al agua por la erosión o el escurrimiento de tierras cercanas. Los sedimentos pueden ser revueltos por demasiada actividad en el agua, ya sea por parte de los peces o los humanos. Las aguas residuales son el resultado de las descargas de agua y los altos niveles de plancton pueden deberse a nutrientes excesivos en el agua.

La turbidez es uno de los parámetros más importantes para determinar la calidad del agua potable. A las empresas que suministran agua a la población se les exige tratarla para eliminar la turbidez. El agua superficial adecuadamente tratada no presenta normalmente problemas de turbidez. La Organización Mundial de la Salud indica un valor de referencia de turbidez de 5 FTU para el agua potable. Este valor ha sido establecido basándose en las características estéticas del agua.

Históricamente, la turbidez es uno de los parámetros principales a controlar en las aguas residuales. De hecho, hubo un momento en el que el proceso de control y tratamiento de los mismos se basaba solamente en el control de la turbidez. Actualmente, es necesario medir la turbidez al final del proceso de tratamiento de aguas residuales para verificar que los valores están dentro de las normas reguladoras. Hablando en términos generales, el valor de turbidez ha de encontrarse entre 0 FTU y 50 FTU, con una precisión de  $\pm 3$  FTU, dependiendo de la fase del proceso de tratamiento de aguas. Vigilando el nivel de turbidez, se puede determinar si las diferentes fases del proceso, en particular los de filtrado y purificación, se han llevado a cabo correctamente.

### **7.3.5 Cloración**

La cloración es el procedimiento de desinfección de aguas mediante el empleo de cloro o compuestos clorados. Se puede emplear gas cloro, pero normalmente se emplea hipoclorito de sodio (lejía) por su mayor facilidad de almacenamiento y dosificación. La cloración es un proceso muy usado en el tratamiento de aguas residuales industriales y urbanas. Los objetivos de la cloración se resumen como sigue:

1. Desinfección.
2. Reducción de la DBO.
3. Eliminación o reducción de colores y olores.
4. Oxidación de los iones metálicos.
5. Oxidación de los cianuros a productos inocuos.

<b><i>Efluente de</i></b>	<b><i>Intervalo de dosificación (mg/L)</i></b>
Aguas residuales sin tratar (precloración)	6-25
Sedimentación primaria	5-20
Planta de precipitación química	2-6
Filtro precolador	3-15
Lodo activo	2-8
Filtro múltiple seguido de planta de lodos activos	1-5

Tabla 6. Dosis típicas de cloro en desinfección.

## **8 Tabulación y gráficas de los datos obtenidos en la experimentación**

De los datos obtenidos en la experimentación se procede a hacer una comparación con las variables de: pH, Conductividad, TDS, Salinidad y Turbidez, estas dos últimas tomándose en cuenta de manera cualitativa.

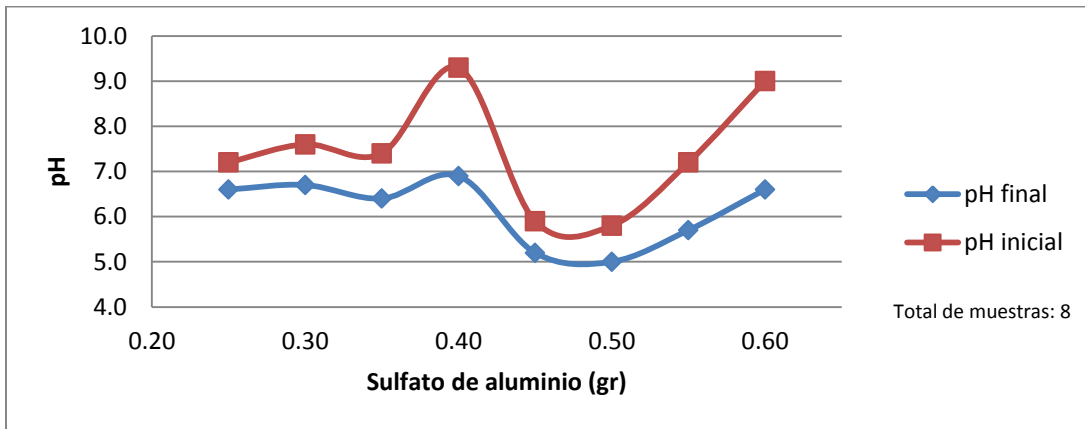
Inicialmente se presentan los datos por cada colonia y posteriormente se realiza una comparación de cada colonia con el resto, para buscar puntos de coincidencia de aproximación y distantes. La razón de lo anterior es para encontrar valores que se aproximen a la norma establecida y a la vez, encontrar las dosis de coagulante-floculante para las aguas correspondientes a cada colonia. Se hace la aclaración que los datos son interpretados inicialmente de manera separada, posteriormente se agrupan y finalmente se obtiene un solo valor para cada una de las variables con respecto a la dosis que resulta.

### **8.1 Colonia Rincón de Palmas**

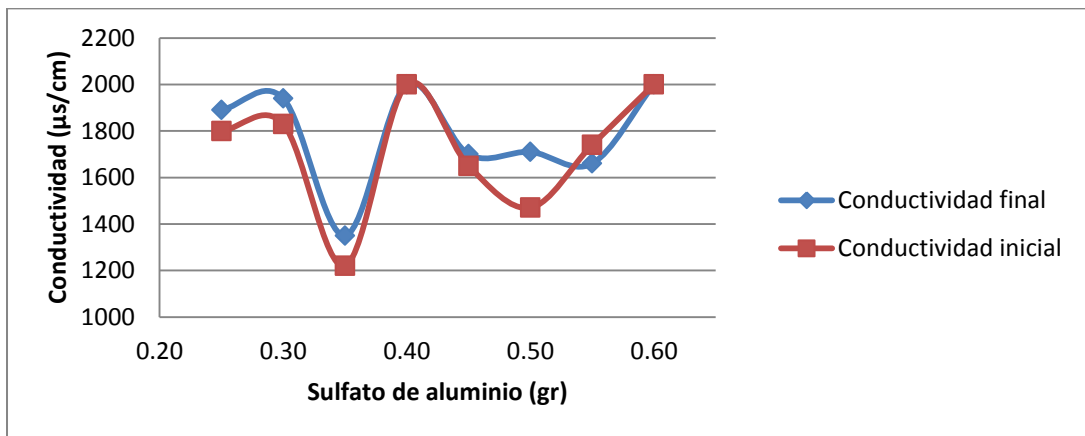
A continuación se presenta la tabulación y las gráficas correspondientes a los datos para la Colonia Rincón de Palmas, donde la salinidad y la turbidez se consideraron muy bajas.

Sulfato de aluminio (gr)	Tiempo (min)		RPM		pH		Conductividad ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )		TDS (ppm)	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
0.25	5	5	100	100	7.2	6.6	1800	1890	750	950
0.30	5	5	100	100	7.6	6.7	1830	1940	830	930
0.35	5	5	100	100	7.4	6.4	1220	1350	620	680
0.40	5	5	100	100	9.3	6.9	2000	2000	1450	1290
0.45	5	5	100	100	5.9	5.2	1650	1700	810	840
0.50	5	5	100	100	5.8	5.0	1470	1710	750	860
0.55	5	5	100	100	7.2	5.7	1740	1660	860	820
0.60	5	5	100	100	9.0	6.6	2000	2000	1660	1460

Tabla 7. Tabulación de las variables Colonia Rincón de Palmas.

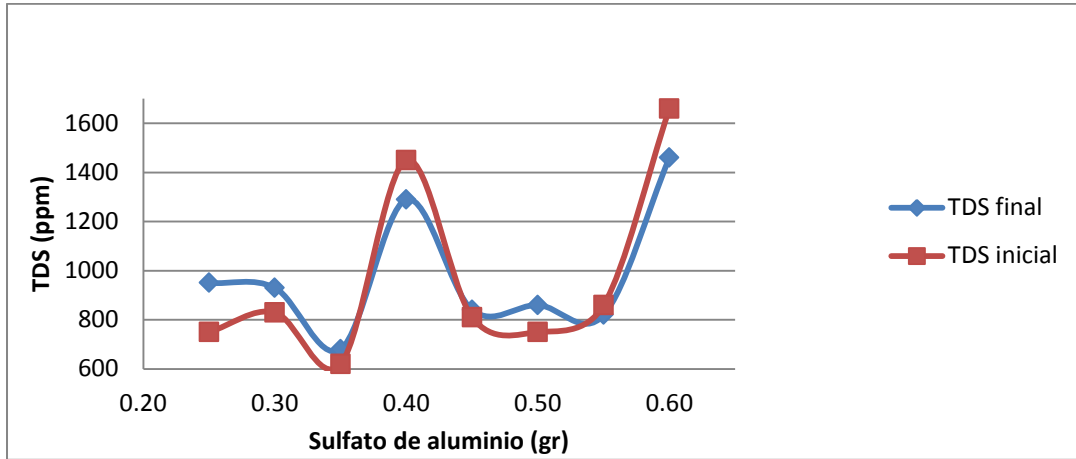


Gráfica 1. Comportamiento de pH Colonia Rincón de Palmas.



Gráfica 2. Comportamiento de Conductividad Colonia Rincón de Palmas.





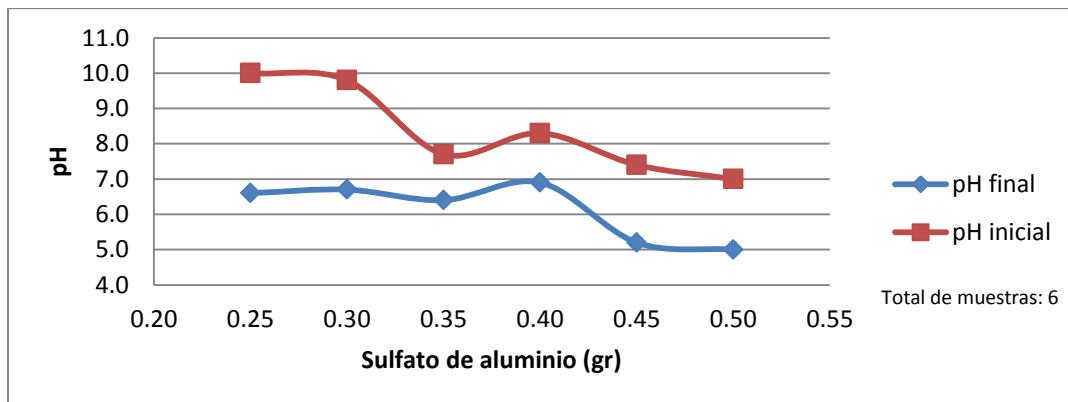
Gráfica 3. Comportamiento de TDS Colonia Rincón de Palmas.

## 8.2 Colonia Prados del Sol

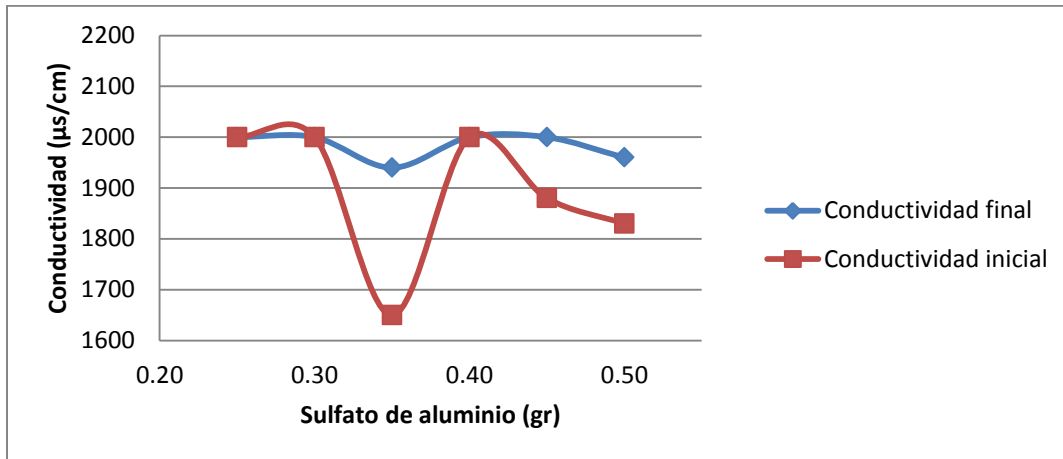
A continuación se presenta la tabulación y las gráficas correspondientes a los datos para la Colonia Prados del Sol, donde la salinidad se considera baja y la turbidez media.

Sulfato de aluminio (gr)	Tiempo (min)		RPM		pH		Conductividad ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )		TDS (ppm)	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
0.25	5	5	100	100	10.0	8.3	2000	2000	1400	1560
0.30	5	5	100	100	9.8	7.6	2000	2000	1090	1240
0.35	5	5	100	100	7.7	6.6	1650	1940	820	970
0.40	5	5	100	100	8.3	6.8	2000	2000	1130	1360
0.45	5	5	100	100	7.4	6.1	1880	2000	930	990
0.50	5	5	100	100	7.0	6.0	1830	1960	900	980

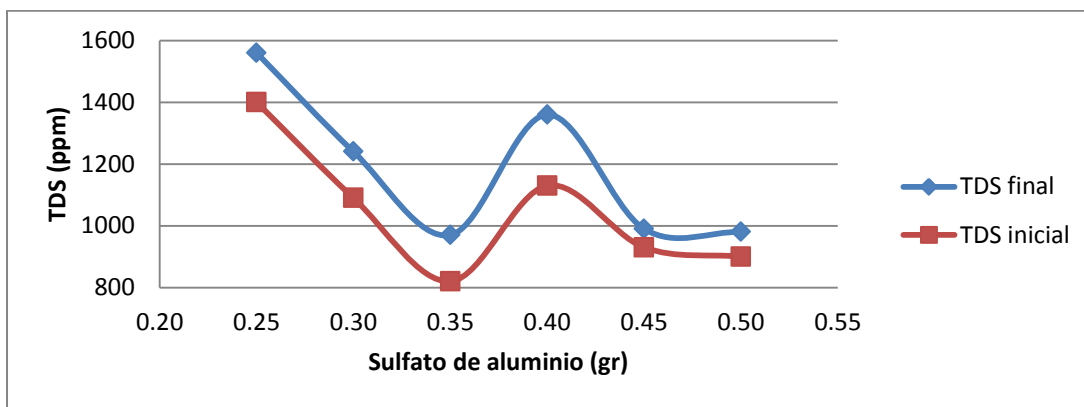
Tabla 8. Tabulación de las variables Colonia Prados del Sol.



Gráfica 4. Comportamiento de pH Colonia Prados del Sol.



Gráfica 5. Comportamiento de Conductividad Colonia Prados del Sol.



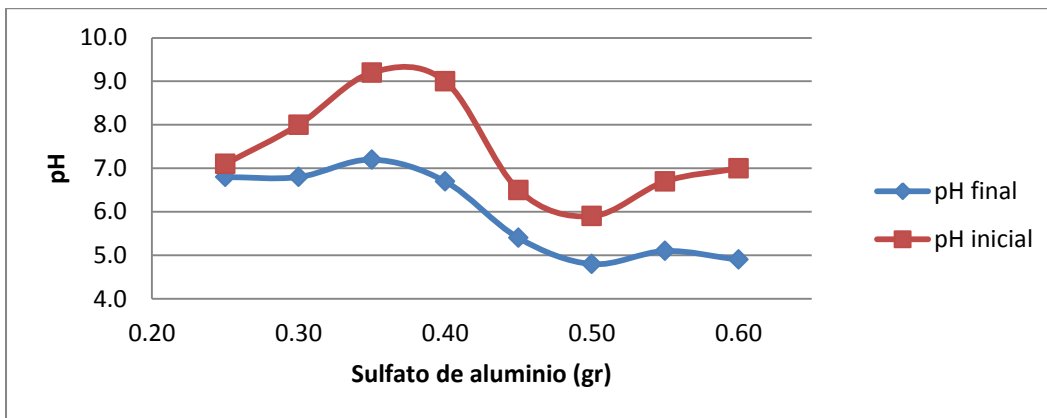
Gráfica 6. Comportamiento de TDS Colonia Prados del Sol.

### 8.3 Ley 57

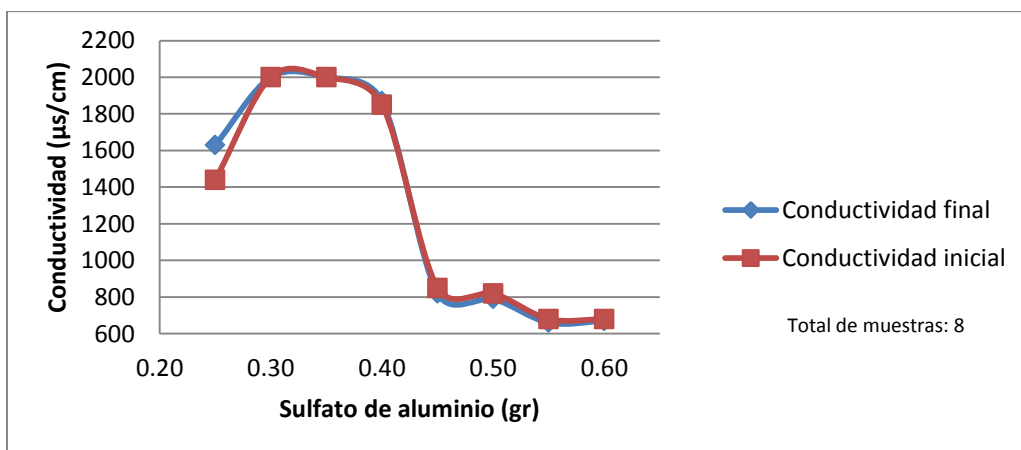
A continuación se presenta la tabulación y las gráficas correspondientes a los datos para la Colonia Ley 57, donde la salinidad se considera baja y la turbidez media. A partir de esta colonia se le dio tiempo de reposo de 5 minutos para observar el fenómeno de la sedimentación.

Sulfato de aluminio (gr)	Tiempo (min)		RPM		pH		Conductividad ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )		TDS (ppm)	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
0.25	5	5	100	100	7.1	6.8	1440	1630	720	800
0.30	5	5	100	100	8.0	6.8	2000	2000	1220	1250
0.35	5	5	100	100	9.2	7.2	2000	2000	1220	680
0.40	5	5	100	100	9.0	6.7	1850	1870	920	920
0.45	5	5	100	100	6.5	5.4	850	820	420	400
0.50	5	5	100	100	5.9	4.8	820	790	410	390
0.55	5	5	100	100	6.7	5.1	680	660	340	330
0.60	5	5	100	100	7.0	4.9	680	670	340	330

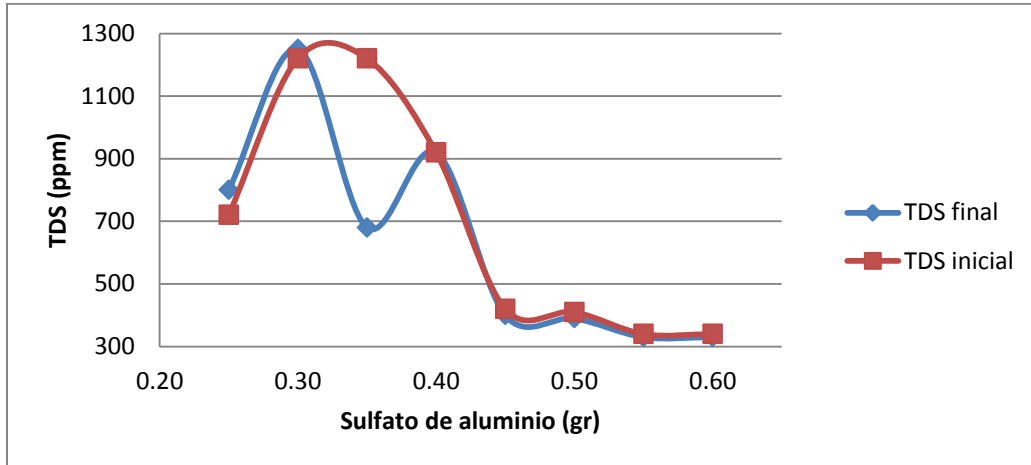
Tabla 9. Tabulación de las variables Colonia Ley 57.



Gráfica 7. Comportamiento de pH Colonia Ley 57.



Gráfica 8. Comportamiento de Conductividad Colonia Ley 57.



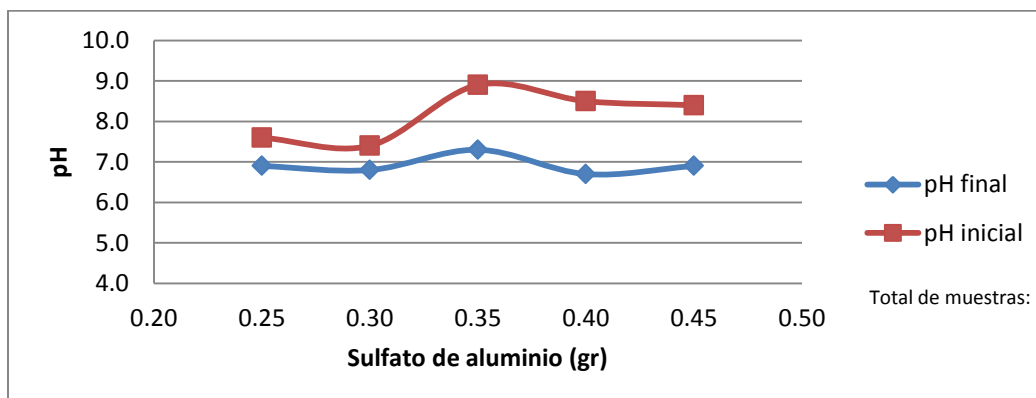
Gráfica 9. Comportamiento de TDS Colonia Ley 57.

#### 8.4 Floresta

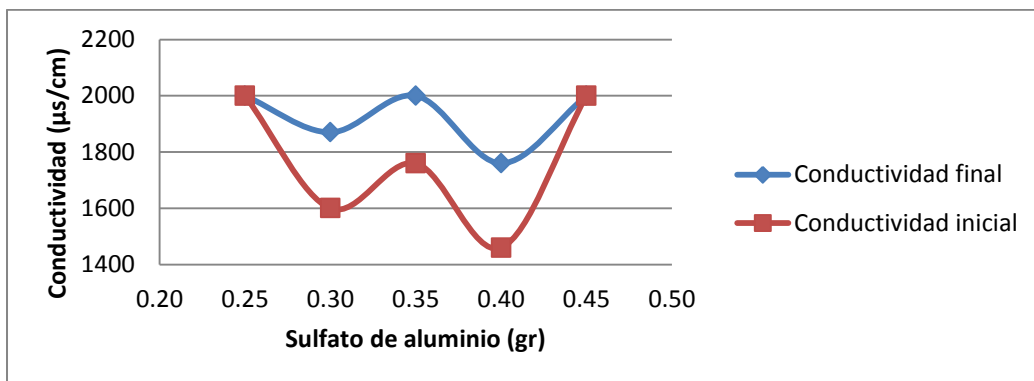
A continuación se presenta la tabulación y las gráficas correspondientes a los datos para la Colonia Floresta, donde la salinidad se considera baja y la turbidez alta y altos olores desagradables.

Sulfato de aluminio (gr)	Tiempo (min)		RPM		pH		Conductividad ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )		TDS (ppm)	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
0.25	5	5	100	100	7.6	6.9	2000	2000	1000	1130
0.30	5	5	100	100	7.4	6.8	1600	1870	790	930
0.35	5	5	100	100	8.9	7.3	1760	2000	1880	1060
0.40	5	5	100	100	8.5	6.7	1460	1760	720	870
0.45	5	5	100	100	8.4	6.9	2000	2000	1050	1170

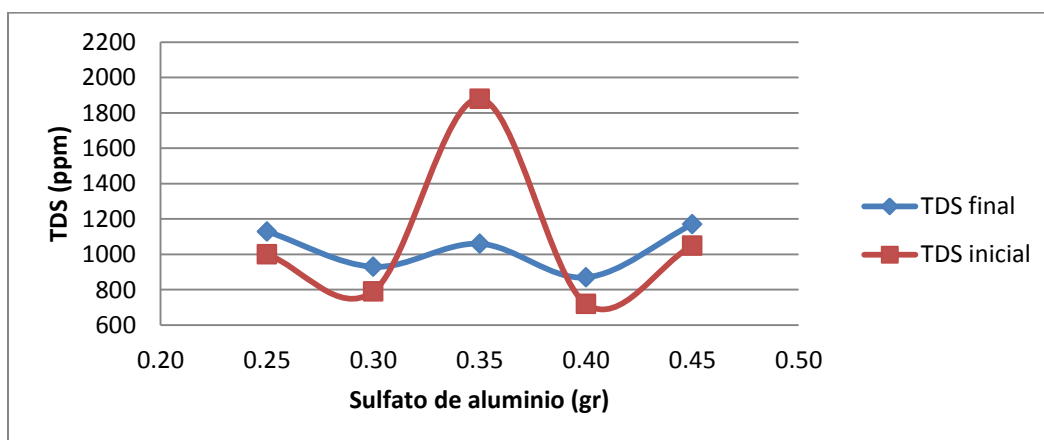
Tabla 10. Tabulación de las variables Colonia Floresta.



Gráfica 10. Comportamiento de pH Colonia Floresta.



Gráfica 11. Comportamiento de Conductividad Colonia Floresta.



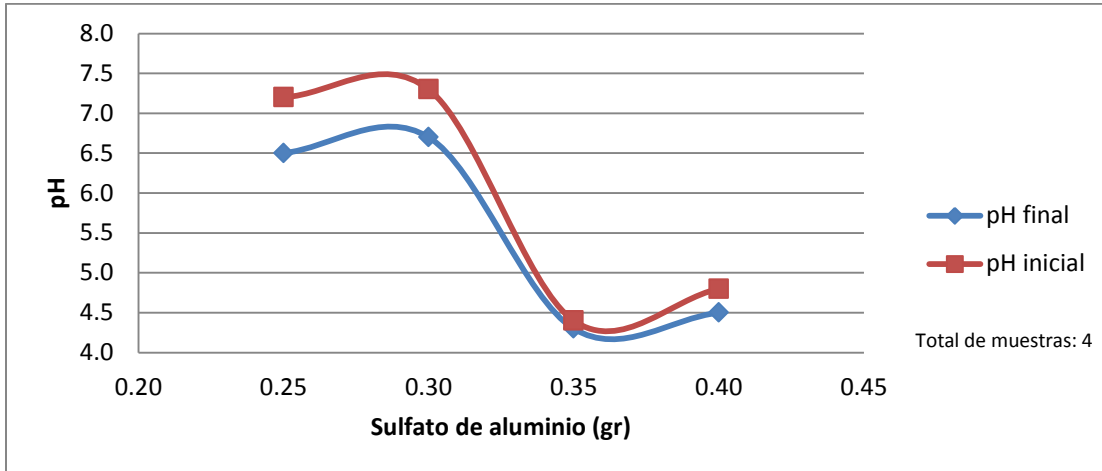
Gráfica 12. Comportamiento de TDS Colonia Floresta.

## 8.5 Misión del Real

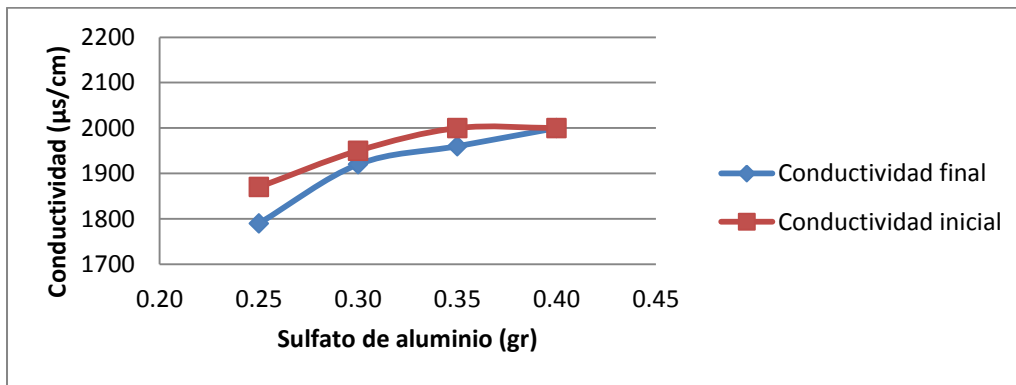
A continuación se presenta la tabulación y las gráficas correspondientes a los datos para la Colonia Misión del Real, donde la salinidad se considera baja y la turbidez alta. El tiempo de reposo cambia a 10 minutos.

Sulfato de aluminio (gr)	Tiempo (min)		RPM		pH		Conductividad (µs/cm)		TDS (ppm)	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
0.25	10	10	100	100	7.2	6.5	1870	1790	920	890
0.30	10	10	100	100	7.3	6.7	1950	1920	970	950
0.35	10	10	100	100	4.4	4.3	2000	1960	1020	970
0.40	10	10	100	100	4.8	4.5	2000	2000	1530	1340

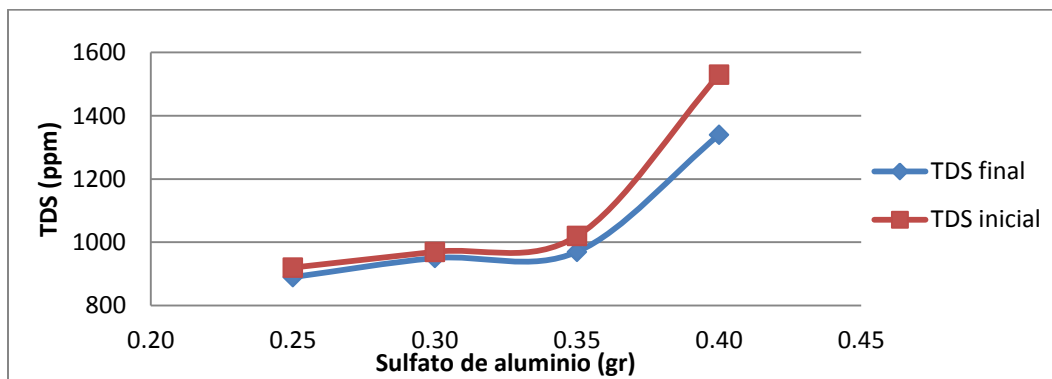
Tabla 11. Tabulación de las variables Colonia Misión del Real.



Gráfica 13. Comportamiento de pH Colonia Misión del Real.



Gráfica 14. Comportamiento de Conductividad Colonia Misión del Real.



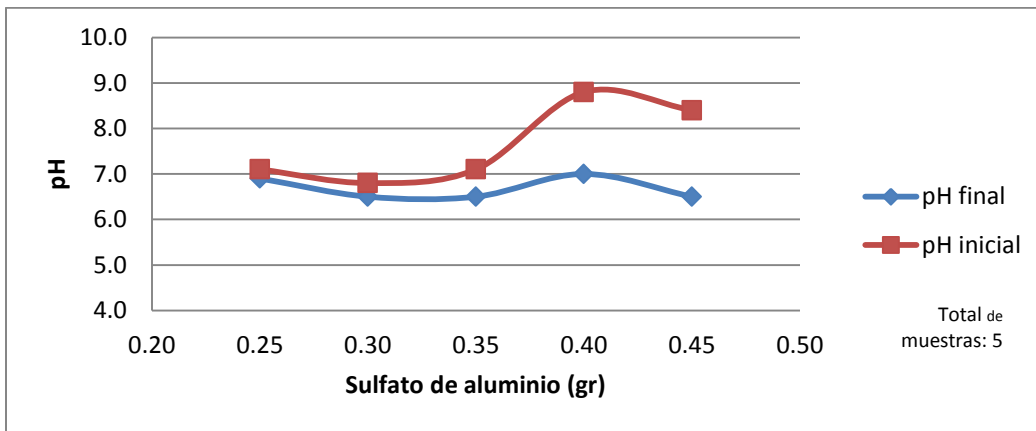
Gráfica 15. Comportamiento de TDS Colonia Misión del Real.

## 8.6 Santa Lucía

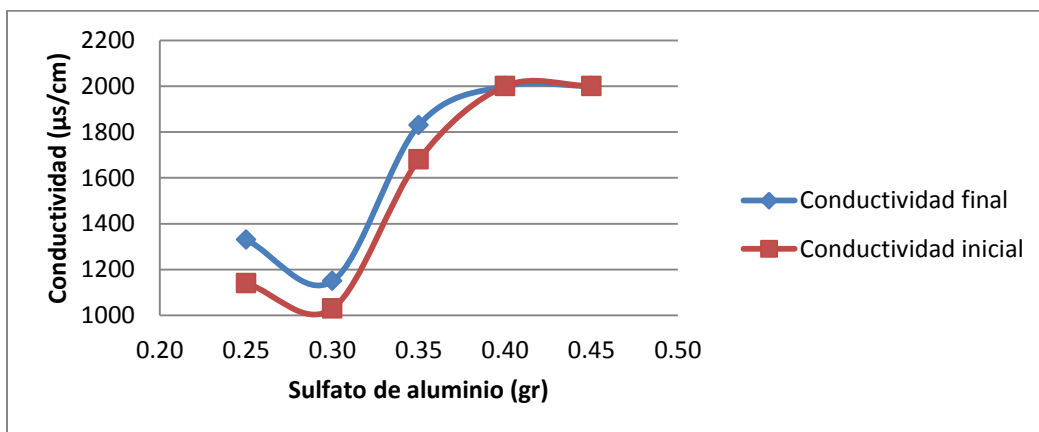
A continuación se presenta la tabulación y las gráficas correspondientes a los datos para la Colonia Santa Lucía, donde la salinidad y turbidez se consideran bajas.

Sulfato de aluminio (gr)	Tiempo (min)		RPM		pH		Conductividad ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )		TDS (ppm)	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
0.25	10	10	100	100	7.1	6.9	1140	1330	570	660
0.30	10	10	100	100	6.8	6.5	1030	1150	510	570
0.35	10	10	100	100	7.1	6.5	1680	1830	830	910
0.40	10	10	100	100	8.8	7.0	2000	2000	1020	1080
0.45	10	10	100	100	8.4	6.5	2000	2000	1080	1130

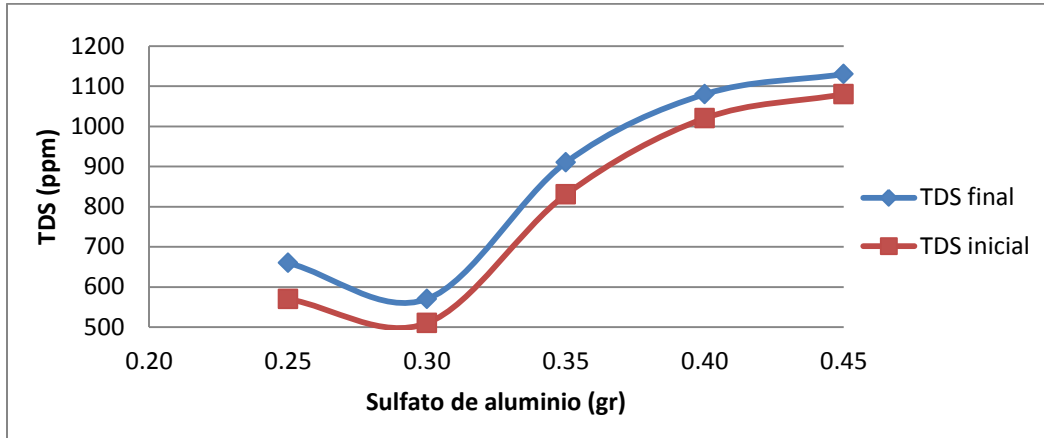
Tabla 12. Tabulación de las variables Colonia Santa Lucía.



Gráfica 16. Comportamiento de pH Colonia Santa Lucía.



Gráfica 17. Comportamiento de Conductividad Colonia Santa Lucía.



Gráfica 18. Comportamiento de TDS Colonia Santa Lucía.

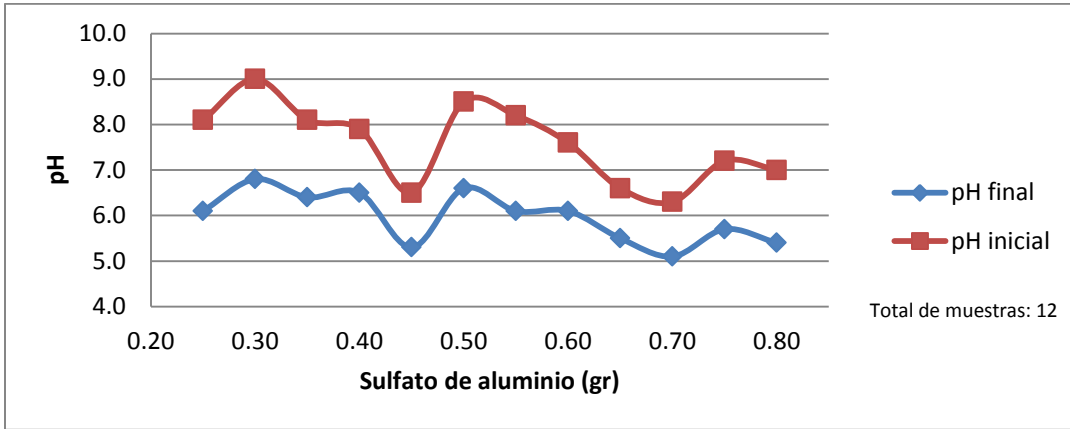
### 8.7 Cuauhtémoc

A continuación se presenta la tabulación y las gráficas correspondientes a los datos para la Colonia Cuauhtémoc, donde la salinidad y turbidez se consideran bajas.

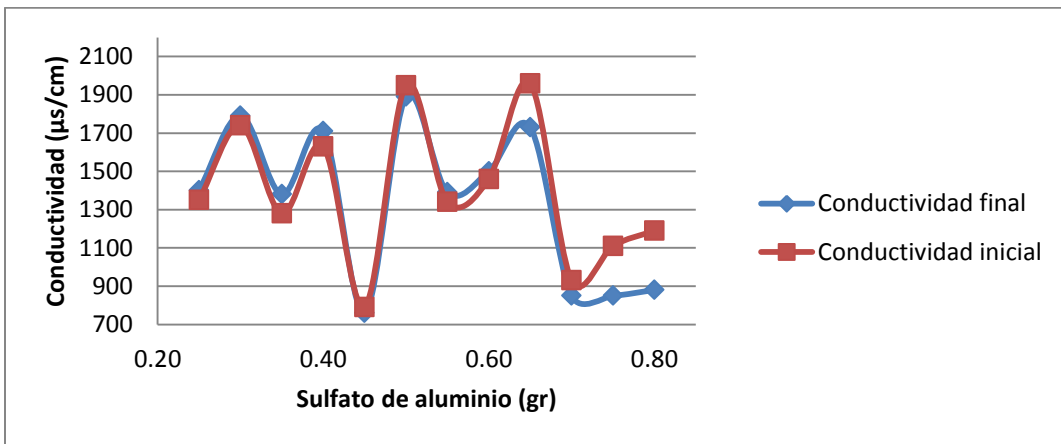
Sulfato de aluminio (gr)	Tiempo (min)		RPM		pH		Conductividad ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )		TDS (ppm)	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
0.25	10	10	100	100	8.1	6.1	1350	1400	660	690
0.30	10	10	100	100	9.0	6.8	1740	1790	870	890
0.35	10	10	100	100	8.1	6.4	1280	1380	630	680
0.40	10	10	100	100	7.9	6.5	1630	1710	810	840
0.45	10	10	100	100	6.5	5.3	790	760	390	370
0.50	10	10	100	100	8.5	6.6	1950	1890	970	950
0.55	10	10	100	100	8.2	6.1	1340	1390	660	690
0.60	10	10	100	100	7.6	6.1	1460	1500	720	740
0.65	10	10	100	100	6.6	5.5	1960	1730	970	880
0.70	10	10	100	100	6.3	5.1	930	850	460	410
0.75	10	10	100	100	7.2	5.7	1110	850	550	420
0.80	10	10	100	100	7.0	5.4	1190	880	590	440

Tabla 13. Tabulación de las variables Colonia Cuauhtémoc.

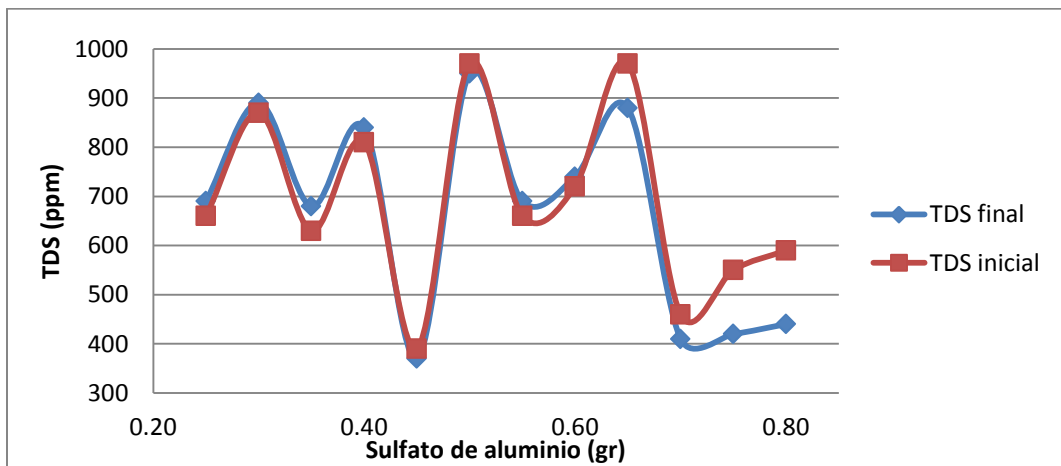




Gráfica 19. Comportamiento de pH Colonia Cuauhtémoc.



Gráfica 20. Comportamiento de Conductividad Colonia Cuauhtémoc.



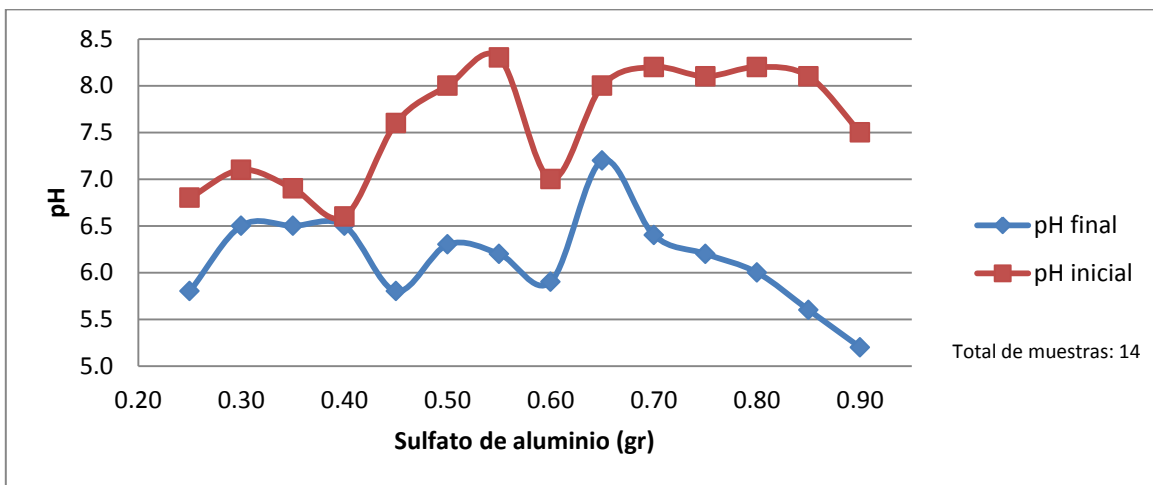
Gráfica 21. Comportamiento de TDS Colonia Cuauhtémoc.

## 8.8 Las Quintas

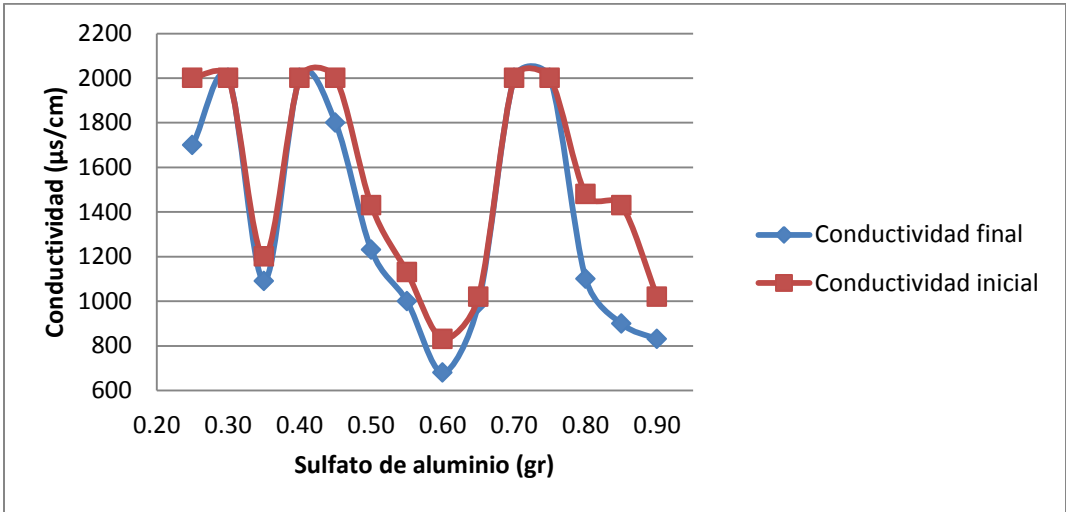
A continuación se presenta la tabulación y las gráficas correspondientes a los datos para la Colonia Las Quintas, donde la salinidad y turbidez se consideran bajas. Durante la experimentación, el tiempo de reposo se toma de 10 minutos en el rango de 0.25 a 0.60 gramos de Sulfato de Aluminio, de ahí en adelante se toma de 20 minutos, donde se observa que la sedimentación fue del doble que con el tiempo anterior.

Sulfato de aluminio (gr)	Tiempo (min)		RPM		pH		Conductividad (μs/cm)		TDS (ppm)	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
0.25	10	10	100	100	6.8	5.8	2000	1700	1030	840
0.30	10	10	100	100	7.1	6.5	2000	2000	1320	1100
0.35	10	10	100	100	6.9	6.5	1200	1090	590	540
0.40	10	10	100	100	6.6	6.5	2000	2000	1210	1060
0.45	10	10	100	100	7.6	5.8	2000	1800	1140	940
0.50	10	10	100	100	8.0	6.3	1430	1230	710	610
0.55	10	10	100	100	8.3	6.2	1130	1000	560	500
0.60	10	10	100	100	7.0	5.9	830	680	410	330
0.65	10	10	100	100	8.0	7.2	1020	990	500	490
0.70	10	10	100	100	8.2	6.4	2000	2000	1560	1270
0.75	10	10	100	100	8.1	6.2	2000	2000	1550	1210
0.80	10	10	100	100	8.2	6.0	1480	1100	730	530
0.85	10	10	100	100	8.1	5.6	1430	900	710	450
0.90	10	10	100	100	7.5	5.2	1020	830	500	410

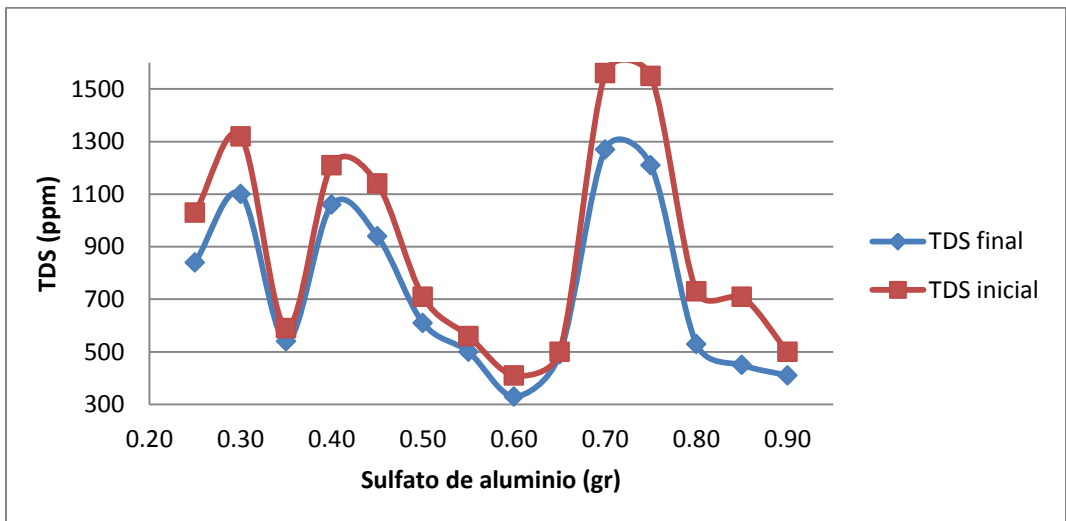
Tabla 14. Tabulación de las variables Colonia Las Quintas.



Gráfica 22. Comportamiento de pH Colonia Las Quintas.



Gráfica 23. Comportamiento de Conductividad Colonia Las Quintas.



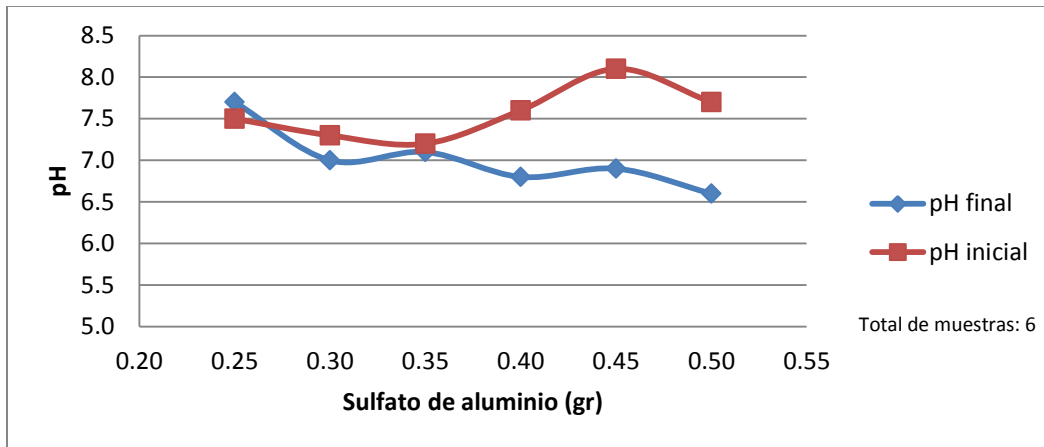
Gráfica 24. Comportamiento de TDS Colonia Las Quintas.

## 8.9 Nacameri

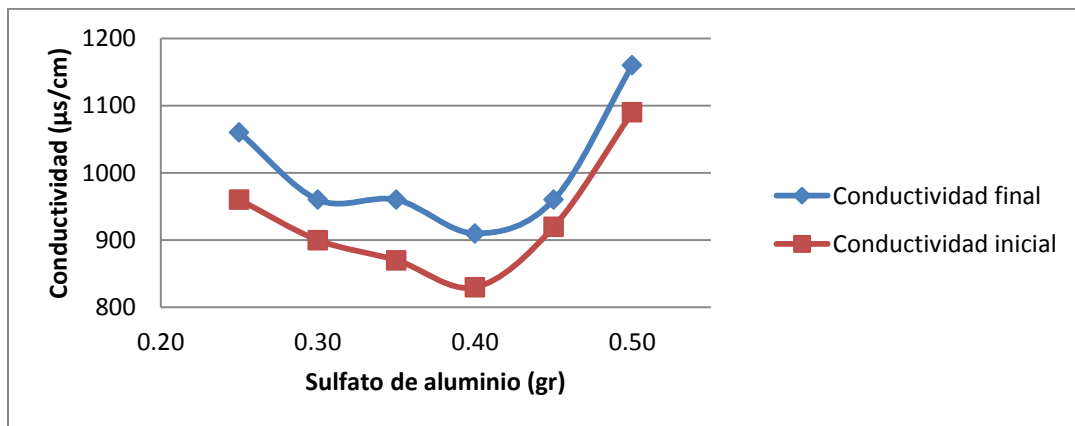
A continuación se presenta la tabulación y las gráficas correspondientes a los datos para la Colonia Nacameri, donde la salinidad y turbidez se consideran bajas.

Sulfato de aluminio (gr)	Tiempo (min)		RPM		pH		Conductividad ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )		TDS (ppm)	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
0.25	10	10	100	100	7.5	7.7	960	1060	480	530
0.30	10	10	100	100	7.3	7.0	900	960	440	480
0.35	10	10	100	100	7.2	7.1	870	960	430	470
0.40	10	10	100	100	7.6	6.8	830	910	410	450
0.45	10	10	100	100	8.1	6.9	920	960	440	470
0.50	10	10	100	100	7.7	6.6	1090	1160	540	570

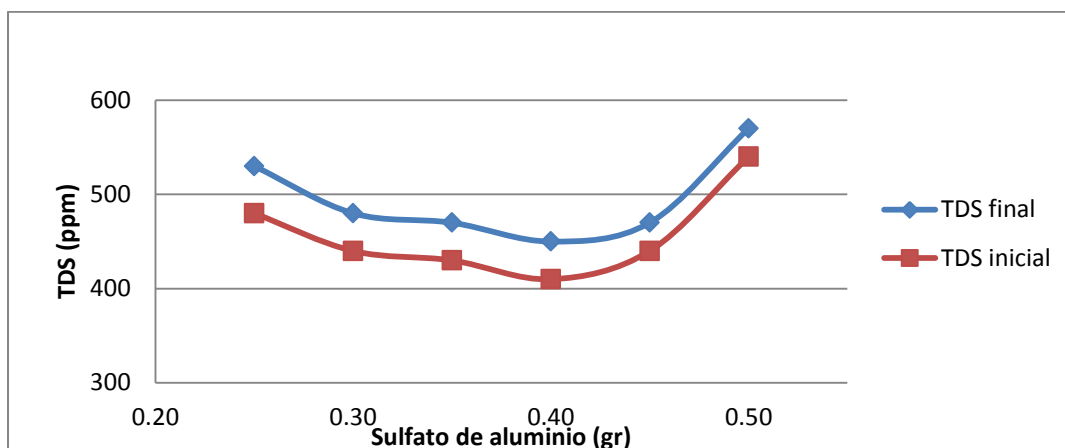
Tabla 15. Tabulación de las variables Colonia Nacameri.



Gráfica 25. Comportamiento de pH Colonia Nacameri.



Gráfica 26. Comportamiento de Conductividad Colonia Nacameri.



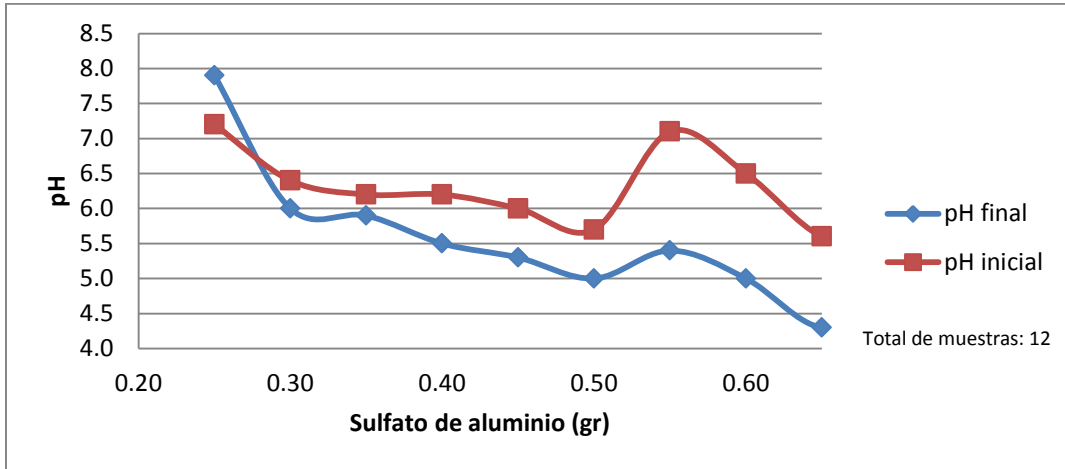
Gráfica 27. Comportamiento de TDS Colonia Nacameri.

### 8.10 Loma Linda

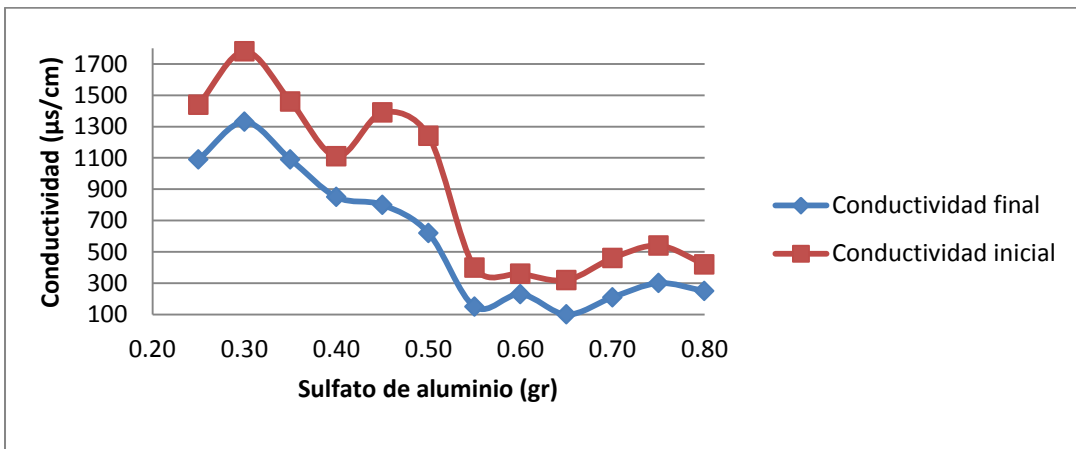
A continuación se presenta la tabulación y las gráficas correspondientes a los datos para la Colonia Loma Linda, donde la salinidad y turbidez se consideran bajas. El tiempo de reposo es de 10 minutos, y en las seis primeras dosis de coagulante-floculante, se presenta mayor sedimentación a comparación de las últimas.

Sulfato de aluminio (gr)	Tiempo (min)		RPM		pH		Conductividad (µs/cm)		TDS (ppm)	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
0.25	10	10	100	100	7.2	7.9	1440	1090	720	540
0.30	10	10	100	100	6.4	6.0	1780	1330	880	590
0.35	10	10	100	100	6.2	5.9	1460	1090	720	540
0.40	10	10	100	100	6.2	5.5	1110	850	560	450
0.45	10	10	100	100	6.0	5.3	1390	800	690	390
0.50	10	10	100	100	5.7	5.0	1240	620	610	310
0.55	10	10	100	100	7.1	5.4	400	150	190	70
0.60	10	10	100	100	6.5	5.0	360	230	180	110
0.65	10	10	100	100	5.6	4.3	320	100	150	50
0.70	10	10	100	100	5.5	4.7	460	210	200	100
0.75	10	10	100	100	6.3	5.2	540	300	270	150
0.80	10	10	100	100	6.3	5.3	420	250	210	120

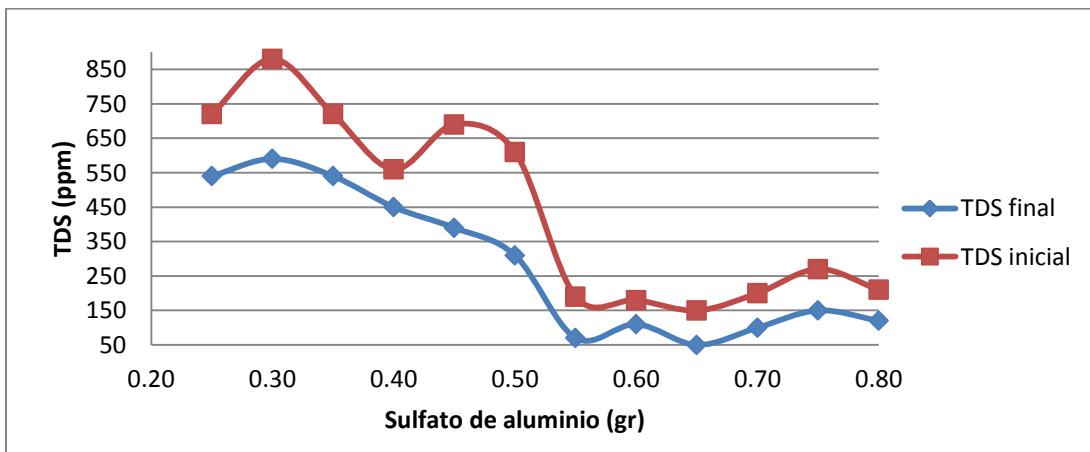
Tabla 16. Tabulación de las variables Colonia Loma Linda.



Gráfica 28. Comportamiento de pH Colonia Loma Linda.



Gráfica 29. Comportamiento de Conductividad Colonia Loma Linda.



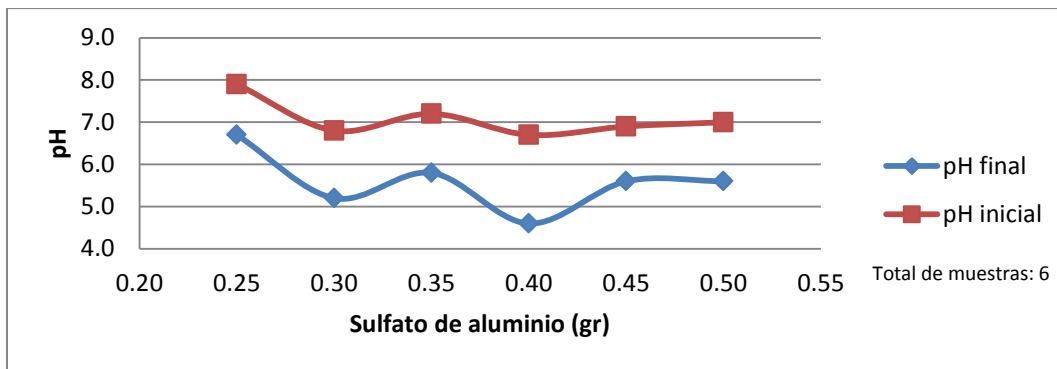
Gráfica 30. Comportamiento de TDS Colonia Loma Linda.

### 8.11 Balderrama

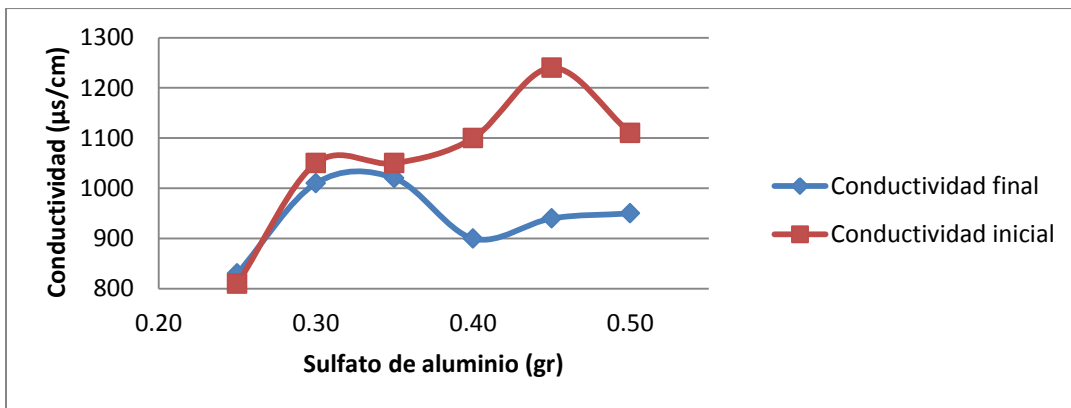
A continuación se presenta la tabulación y las gráficas correspondientes a los datos para la Colonia Balderrama, donde la salinidad y turbidez se consideran bajas.

Sulfato de aluminio (gr)	Tiempo (min)		RPM		pH		Conductividad ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )		TDS (ppm)	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
0.25	10	10	100	100	7.9	6.7	810	830	410	410
0.30	10	10	100	100	6.8	5.2	1050	1010	530	500
0.35	10	10	100	100	7.2	5.8	1050	1020	510	510
0.40	10	10	100	100	6.7	4.6	1100	900	550	450
0.45	10	10	100	100	6.9	5.6	1240	940	600	470
0.50	10	10	100	100	7.0	5.6	1110	950	550	470

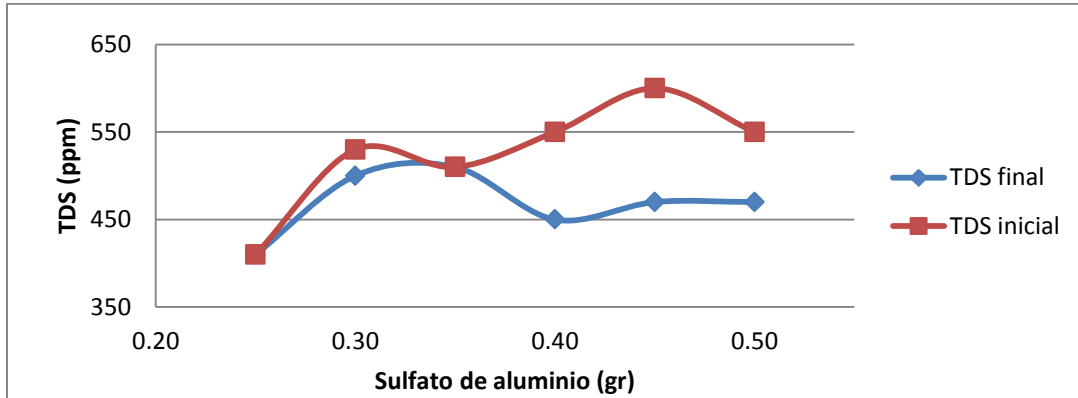
Tabla 17. Tabulación de las variables Colonia Balderrama.



Gráfica 31. Comportamiento de pH Colonia Balderrama.



Gráfica 32. Comportamiento de Conductividad Colonia Balderrama.



Gráfica 33. Comportamiento de TDS Colonia Balderrama.

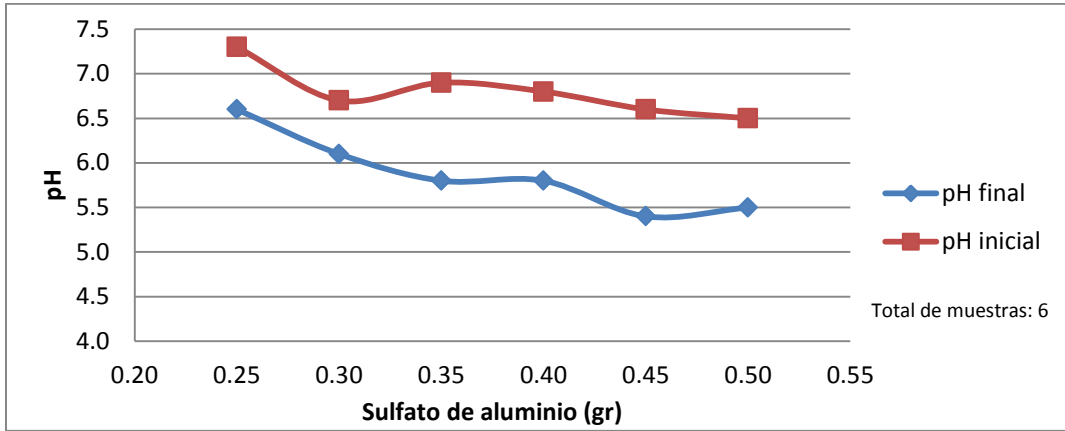
### 8.12 Paseo de la Colina

A continuación se presenta la tabulación y las gráficas correspondientes a los datos para la Colonia Paseo de la Colina, donde la salinidad y turbidez se consideran bajas.

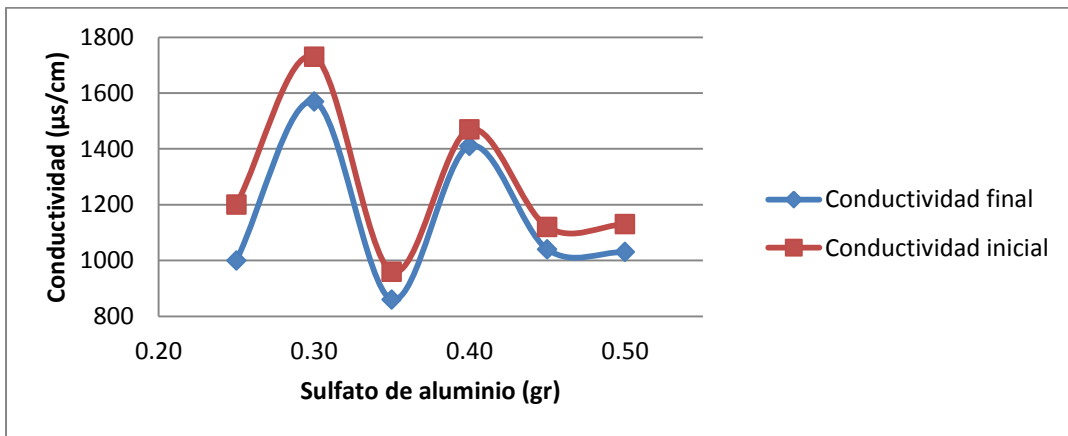
Sulfato de aluminio (gr)	Tiempo (min)		RPM		pH		Conductividad ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )		TDS (ppm)	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
0.25	10	10	100	100	7.3	6.6	1200	1000	580	500
0.30	10	10	100	100	6.7	6.1	1730	1570	860	800
0.35	10	10	100	100	6.9	5.8	960	860	470	420
0.40	10	10	100	100	6.8	5.8	1470	1410	730	700
0.45	10	10	100	100	6.6	5.4	1120	1040	550	510
0.50	10	10	100	100	6.5	5.5	1130	1030	560	500

Tabla 18. Tabulación de las variables Colonia Paseo de la Colina.

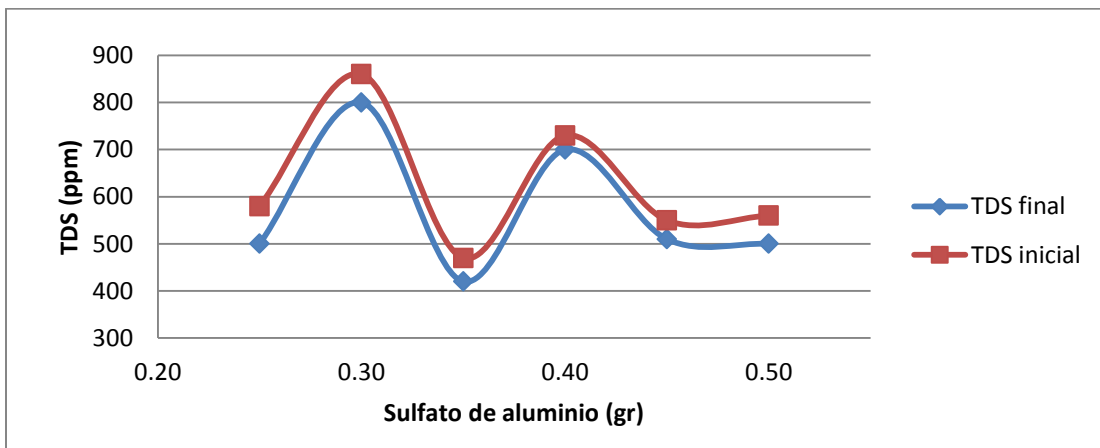




Gráfica 34. Comportamiento de pH Colonia Paseo de la Colina.



Gráfica 35. Comportamiento de Conductividad Colonia Paseo de la Colina.



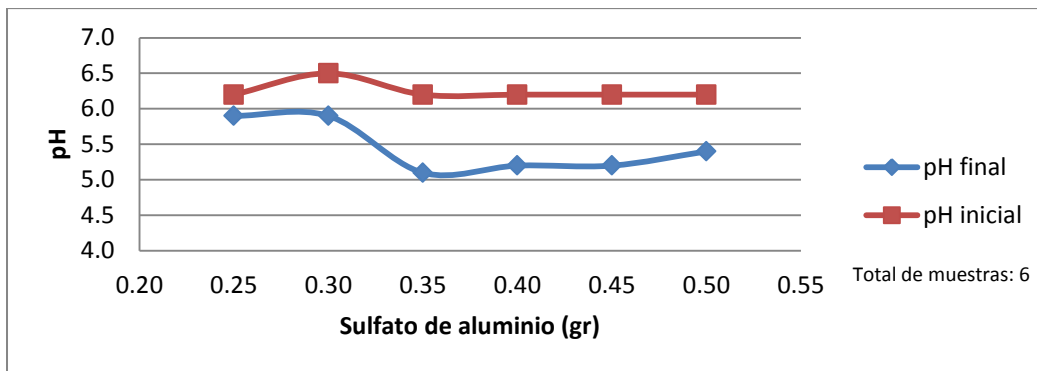
Gráfica 36. Comportamiento de TDS Colonia Paseo de la Colina.

### 8.13 Los Jardines

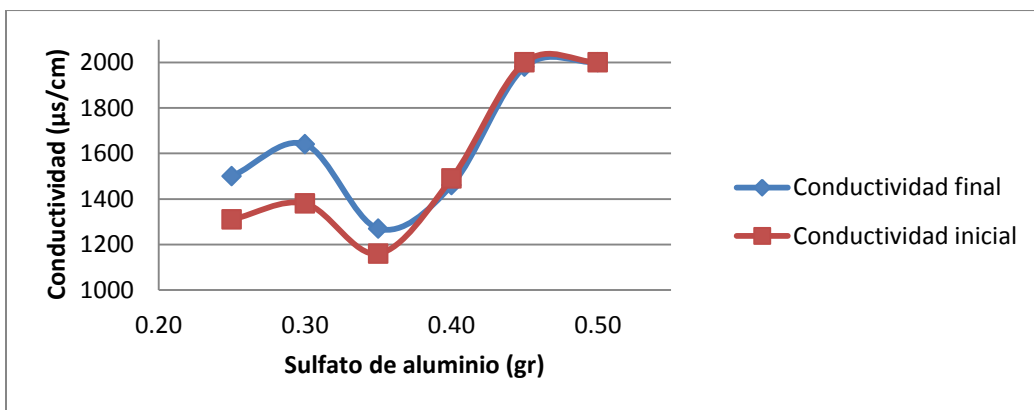
A continuación se presenta la tabulación y las gráficas correspondientes a los datos para la Colonia Los Jardines, donde la salinidad y turbidez se consideran bajas.

Sulfato de aluminio (gr)	Tiempo (min)		RPM		pH		Conductividad (µs/cm)		TDS (ppm)	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
0.25	10	10	100	100	6.2	5.9	1310	1500	650	740
0.30	10	10	100	100	6.5	5.9	1380	1640	700	810
0.35	10	10	100	100	6.2	5.1	1160	1270	580	620
0.40	10	10	100	100	6.2	5.2	1490	1460	740	720
0.45	10	10	100	100	6.2	5.2	2000	1980	1050	1000
0.50	10	10	100	100	6.2	5.4	2000	2000	1130	1120

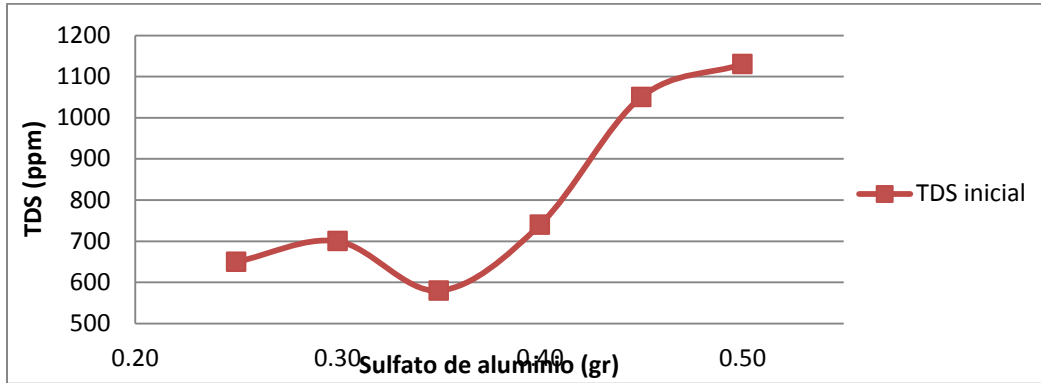
Tabla 19. Tabulación de las variables Colonia Los Jardines.



Gráfica 37. Comportamiento de pH Colonia Los Jardines.



Gráfica 38. Comportamiento de Conductividad Colonia Los Jardines.



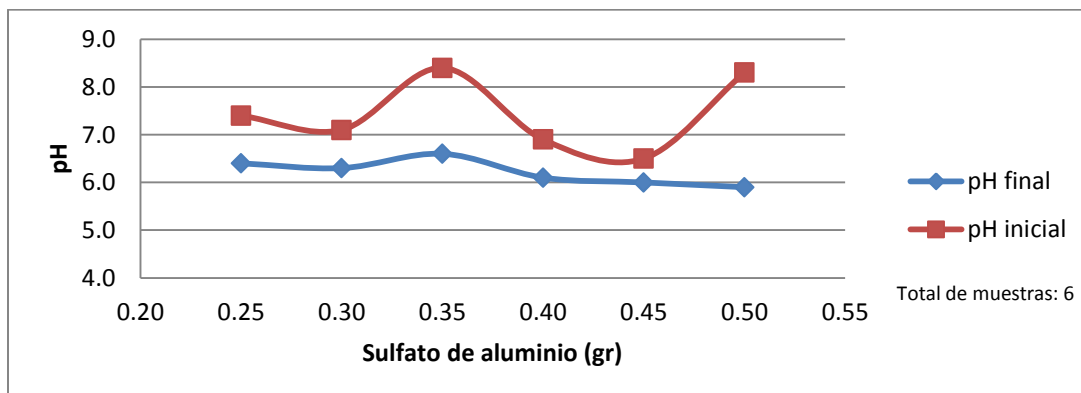
Gráfica 39. Comportamiento de TDS Colonia Los Jardines.

### 8.14 Villa de Seris

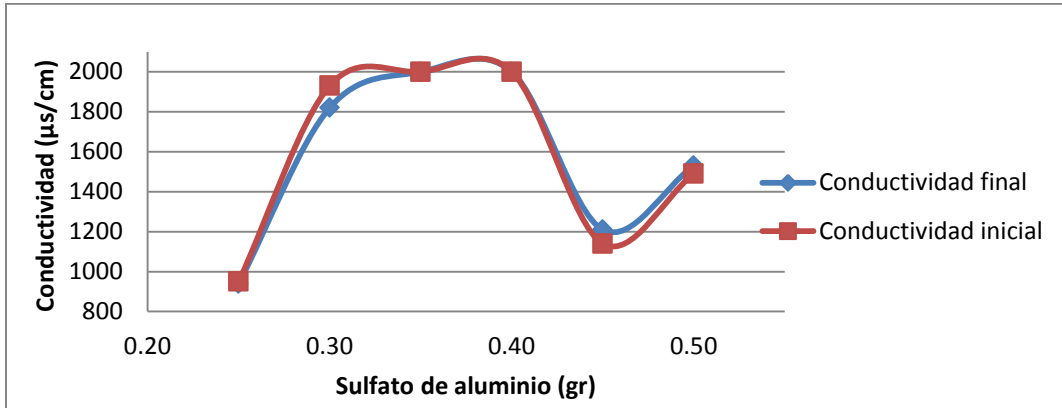
A continuación se presenta la tabulación y las gráficas correspondientes a los datos para la Colonia Villa de Seris, donde la salinidad y turbidez se consideran bajas, además de presentar un intenso y desagradable olor.

Sulfato de aluminio (gr)	Tiempo (min)		RPM		pH		Conductividad (µs/cm)		TDS (ppm)	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
0.25	10	10	100	100	7.4	6.4	950	940	460	470
0.30	10	10	100	100	7.1	6.3	1930	1820	960	890
0.35	10	10	100	100	8.4	6.6	2000	2000	1250	1220
0.40	10	10	100	100	6.9	6.1	2000	2000	1200	1150
0.45	10	10	100	100	6.5	6.0	1140	1210	570	590
0.50	10	10	100	100	8.3	5.9	1490	1530	740	750

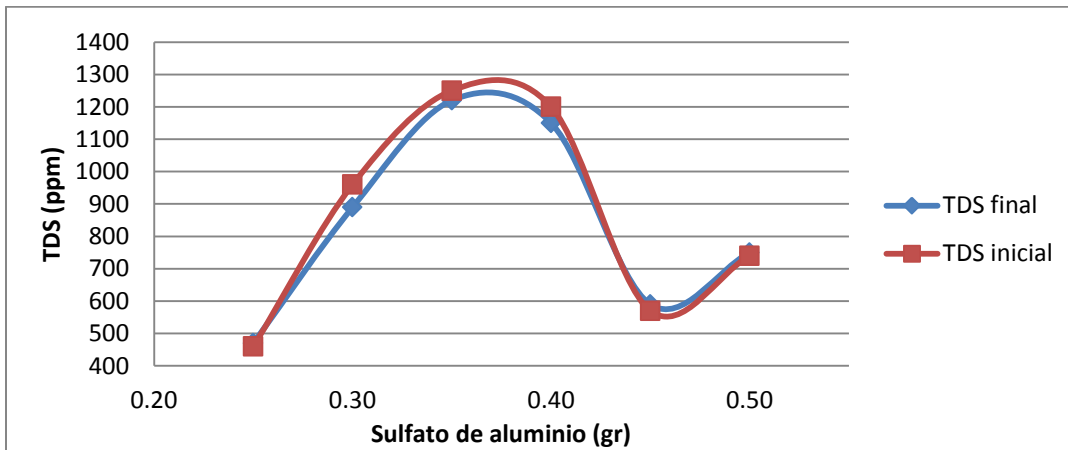
Tabla 20. Tabulación de las variables Colonia Villa de Seris.



Gráfica 40. Comportamiento de pH Colonia Villa de Seris.



Gráfica 41. Comportamiento de Conductividad Colonia Villa de Seris.



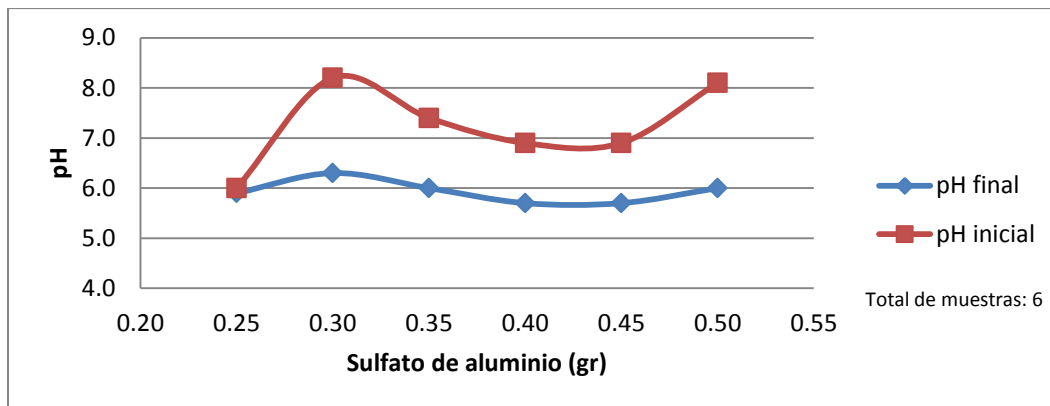
Gráfica 42. Comportamiento de TDS Colonia Villa de Seris.

### 8.15 Álvaro Obregón

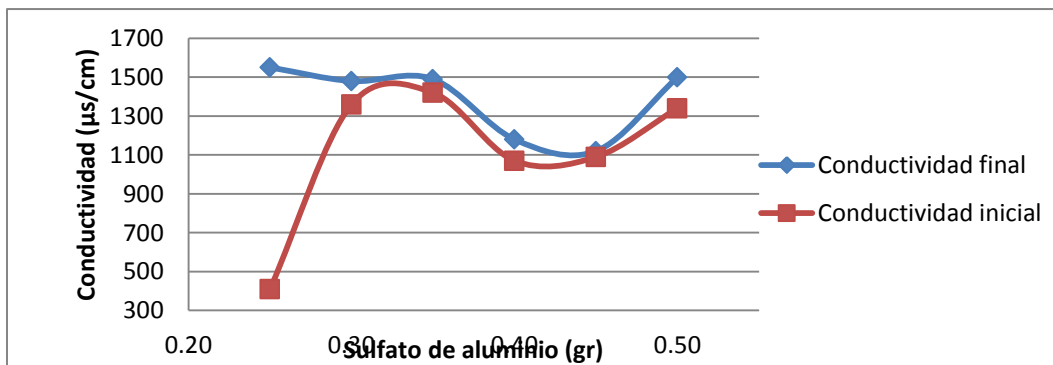
A continuación se presenta la tabulación y las gráficas correspondientes a los datos para la Colonia Álvaro Obregón, donde la salinidad y turbidez se consideran bajas.

Sulfato de aluminio (gr)	Tiempo (min)		RPM		pH		Conductividad ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )		TDS (ppm)	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
0.25	10	10	100	100	6.0	5.9	410	1550	710	770
0.30	10	10	100	100	8.2	6.3	1360	1480	680	730
0.35	10	10	100	100	7.4	6.0	1420	1490	700	740
0.40	10	10	100	100	6.9	5.7	1070	1180	530	580
0.45	10	10	100	100	6.9	5.7	1090	1120	540	550
0.50	10	10	100	100	8.1	6.0	1340	1500	660	740

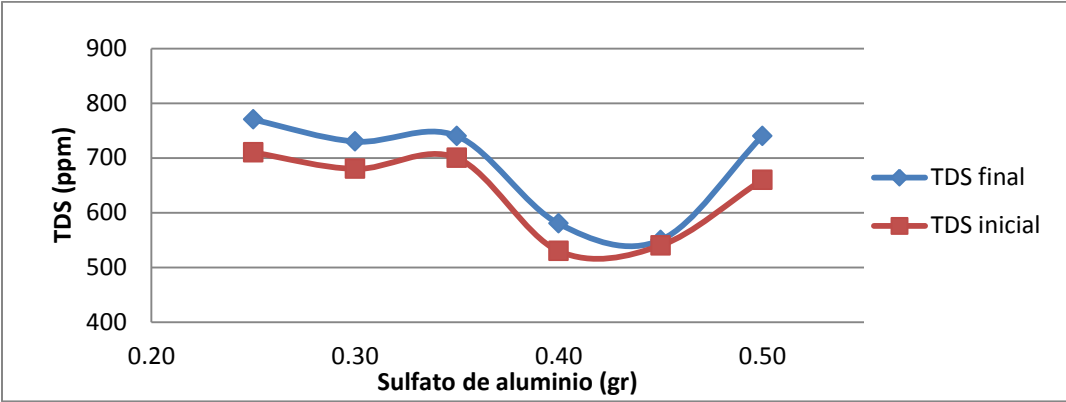
Tabla 21. Tabulación de las variables Colonia Álvaro Obregón.



Gráfica 43. Comportamiento de pH Colonia Álvaro Obregón.



Gráfica 44. Comportamiento de Conductividad Colonia Álvaro Obregón.



Gráfica 45. Comportamiento de TDS Colonia Álvaro Obregón.

## 9 Comportamiento de las variables

COLONIA	Sulfato de aluminio (gr) MIN-MAX	pH		EPA / OMS	Conductividad (µs/cm)		EPA (EEUU)	TDS (ppm)		EPA / OMS	
		Inicial	Final	6.5 - 8.5	Inicial	Final	1500	Inicial	Final	500	1000
RINCON DE PALMAS	0.25	7.2	6.6	Si	1800	1890	No	750	950	Si	
	0.60	9.0	6.6	Si	2000	2000	No	1660	1460	No	
PRADOS DEL SOL	0.25	10.0	8.3	Si	2000	2000	No	1400	1560	No	
	0.50	7.0	6.0	No	1830	1960	No	900	980	Si	
LEY 57	0.25	7.1	6.8	Si	1440	1630	No	720	800	Si	
	0.60	7.0	4.9	No	680	670	Si	340	330	Si	
FLORESTA	0.25	7.6	6.9	Si	2000	2000	No	1000	1130	No	
	0.45	8.4	6.9	Si	2000	2000	No	1050	1170	No	
MISIÓN DEL REAL	0.25	7.2	6.5	Si	1870	1790	No	920	890	Si	
	0.40	4.8	4.5	No	2000	2000	No	1530	1340	No	
SANTA LUCÍA	0.25	7.1	6.9	Si	1140	1330	Si	570	660	Si	
	0.45	8.4	6.5	Si	2000	2000	No	1080	1130	No	
CUAUHTÉMOC	0.25	8.1	6.1	Si	1350	1400	Si	660	690	Si	
	0.80	7.0	5.4	No	1190	880	Si	590	440	Si	
LAS QUINTAS	0.25	6.8	5.8	No	2000	1700	No	1030	840	Si	
	0.90	7.5	5.2	No	1020	830	Si	500	410	Si	
NACAMERI	0.25	7.5	7.7	Si	960	1060	Si	480	530	Si	
	0.50	7.7	6.6	Si	1090	1160	Si	540	570	Si	
LOMA LINDA	0.25	7.2	7.9	Si	1440	1090	Si	720	540	Si	
	0.80	6.3	5.3	No	420	250	Si	210	120	Si	
BALDERRAMA	0.25	7.9	6.7	Si	810	830	Si	410	410	Si	
	0.50	7.0	5.6	No	1110	950	Si	550	470	Si	
PASEO DE LA COLINA	0.25	7.3	6.6	Si	1200	1000	Si	580	500	Si	
	0.50	6.5	5.5	No	1130	1030	Si	560	500	Si	
LOS JARDINES	0.25	6.2	5.9	No	1310	1500	Si	650	740	Si	
	0.50	6.2	5.4	No	2000	2000	No	1130	1120	No	
VILLA DE SERIS	0.25	7.4	6.4	Si	950	940	Si	460	470	Si	
	0.50	8.3	5.9	No	1490	1530	Si	740	750	Si	
ÁLVARO OBREGÓN	0.25	6.0	5.9	No	410	1550	Si	710	770	Si	
	0.50	8.1	6.0	No	1340	1500	Si	660	740	Si	

Tabla 22. Análisis de máximos y mínimos de Sulfato de Aluminio con respecto a las variables.

En la Tabla 22 se puede observar si las cantidades máximas y mínimas de coagulante-floculante cumplen con las variables que se analizaron: pH, Conductividad y TDS de acuerdo a los parámetros que establece la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) y la Organización Mundial de la Salud (OMS).

### **9.1 Interpretación del comportamiento de las variables por colonia.**

#### **RINCÓN DE PALMAS**

De acuerdo a la Tabla 7, se deduce la hipótesis de que la dosis que se podría suponer ideal estaría en un rango de 0.35 a 0.40 gramos de Sulfato de Aluminio, ya que dentro de estos parámetros se encuentra el pH más cercano a 7, y la conductividad y TDS son los más bajos. En este rango los TDS entran dentro de los parámetros permitidos según la OMS y la EPA. Sin embargo, la conductividad promedio presentada en el rango propuesto se sale en un 10% los límites permitidos, lo cual no es realmente significativo.

#### **PRADOS DEL SOL**

Analizando la Tabla 8, se da la hipótesis de que el rango que se podría admitir como ideal sería de 0.30 a 0.40 gramos de Sulfato de Aluminio, esto dado a que el pH más cercano a neutral se encuentra aquí; así mismo, para los TDS se puede considerar un cumplimiento con la normatividad, sin embargo en el muestreo general se presentan altos valores de conductividad que no cumplen con la Norma.

#### **LEY 57**

Al examinar la Tabla 9, se puede considerar un rango que va desde 0.25 a 0.40 gramos de Sulfato de Aluminio, donde el pH más neutral es de 6.8, y así como también cumple con los valores ideales para TDS, se puede notar que la conductividad está fuera de los valores permitidos en un 25%, que se le puede atribuir a un error en el proceso de experimentación.



## **FLORESTA**

El comportamiento que se observa en la Tabla 10 de la presente colonia, sale la hipótesis de que el valor ideal se podría suponer como de 0.40 gramos de Sulfato de Aluminio, dado que las variables de pH, conductividad y TDS entran en los rangos permitidos.

## **MISION DEL REAL**

De acuerdo a la Tabla 11, se deduce que el rango probable para el tratamiento de aguas podría ser entre 0.25 y 0.30 gramos de Sulfato de Aluminio, ya que aunque la conductividad se sale un 20% de lo permitido, el pH y los TDS cumplen a la perfección.

## **SANTA LUCÍA**

De la Tabla 12 surge la hipótesis de un rango que comprende de 0.25 a 0.30 gramos de Sulfato de Aluminio, cumpliendo adecuadamente en los tres parámetros analizados.

## **CUAUHTÉMOC**

Se encuentra un amplio rango de acuerdo a la Tabla 13, que va desde 0.30 a 0.55 gramos de Sulfato de Aluminio; cabe señalar que los valores óptimos se pueden considerar como 0.45 y 0.55 gramos.

## **LAS QUINTAS**

El rango que se supone ideal en esta colonia se encuentra de 0.30 a 0.60 gramos de Sulfato de Aluminio, según lo señalado en la Tabla 14, en donde se tiene un promedio de pH 6.3, de conductividad 1400  $\mu\text{s}/\text{cm}$  y de TDS 725 ppm.

## **NACAMERI**

Del comportamiento observado en la Tabla 15 se tiene la hipótesis de que el rango para el tratamiento de aguas se encuentra de 0.30 a 0.45 gramos de Sulfato de Aluminio, en donde se cumple con los parámetros analizados.

## **LOMA LINDA**

Se deduce de la Tabla 16 que el rango ideal podría variar de 0.25 a 0.30 gramos de Sulfato de Aluminio, donde se estaría cumpliendo con los valores de pH, TDS y conductividad.

## **BALDERRAMA**

La dosis ideal en esta colonia según la Tabla 17 se podría considerar como 0.25 gramos de Sulfato de Aluminio, ya que es con la única dosis en la que se manifiesta un buen desempeño del coagulante-floculante. Sin embargo, se puede mencionar que se cierra en un solo valor, ya que pudo haber interferencia, tanto de los contenidos del agua muestreada (alimentos, suciedad, jabones y detergentes), como de errores que se pudieron presentar durante la experimentación.

## **PASEO DE LA COLINA**

La hipótesis que surge de la Tabla 18, es que el rango supuesto como ideal comprende de 0.25 a 0.30 gramos de Sulfato de Aluminio, por sus valores finales de pH, conductividad y TDS.

## **LOS JARDINES**

Cabe destacar que al realizar la experimentación en esta colonia, se observó como lo muestra la Tabla 19 se tienen valores de pH muy ácidos, por lo que la dosis que se podría suponer ideal se cierra en 0.25 gramos de Sulfato de Aluminio.

## VILLA DE SERIS

Según la Tabla 20, se tiene la hipótesis de que el posible rango ideal es de 0.25 a 0.30 gramos de Sulfato de Aluminio, donde se cumplen con los valores permitidos de pH, TDS y conductividad.

## ÁLVARO OBREGÓN

De la Tabla 21, se deduce que el rango que se puede considerar como ideal sería de 0.30 a 0.35 gramos de Sulfato de Aluminio, dado su cumplimiento con los parámetros analizados.

Con base en el análisis anterior, la siguiente tabla arroja un resumen de lo dicho anteriormente, dando como resultado un rango promedio de Sulfato de Aluminio para el tratamiento de aguas residuales domesticas de las colonias mencionadas.

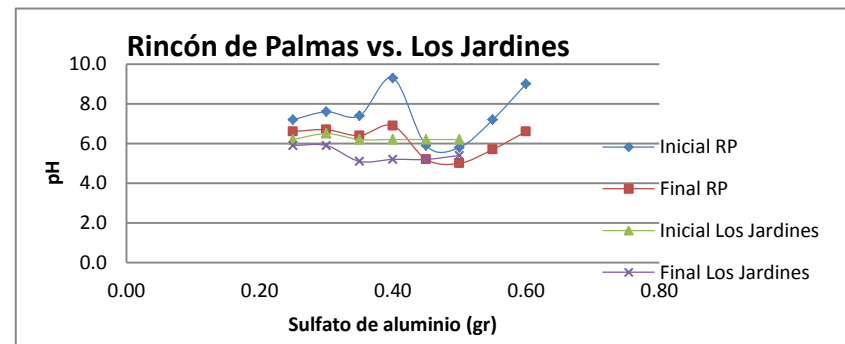
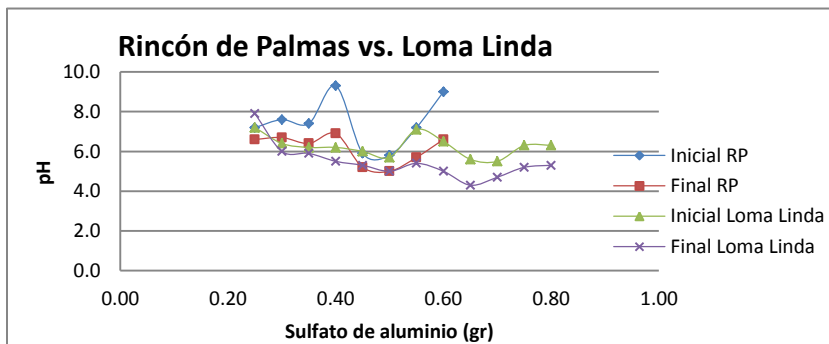
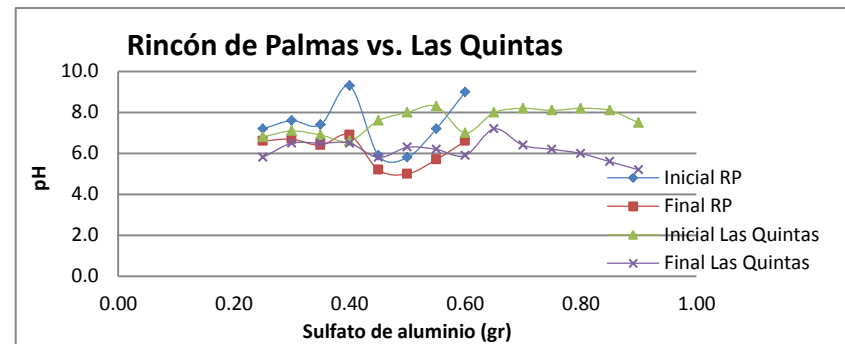
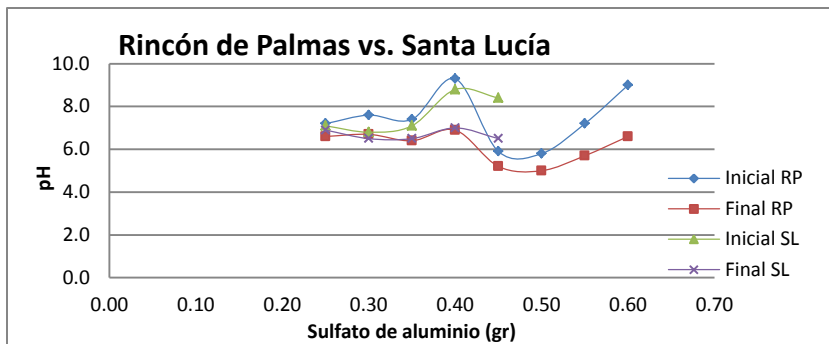
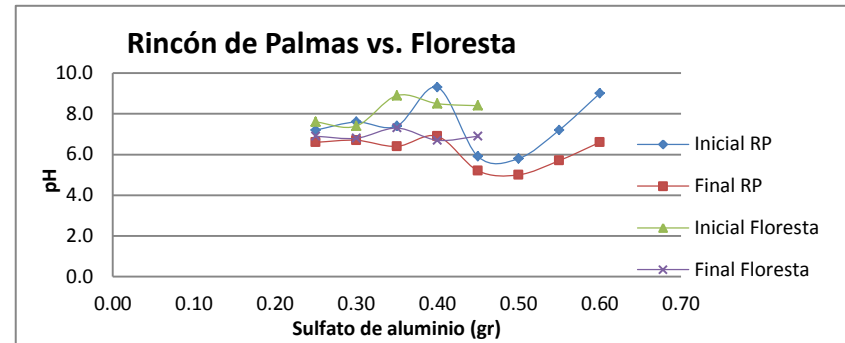
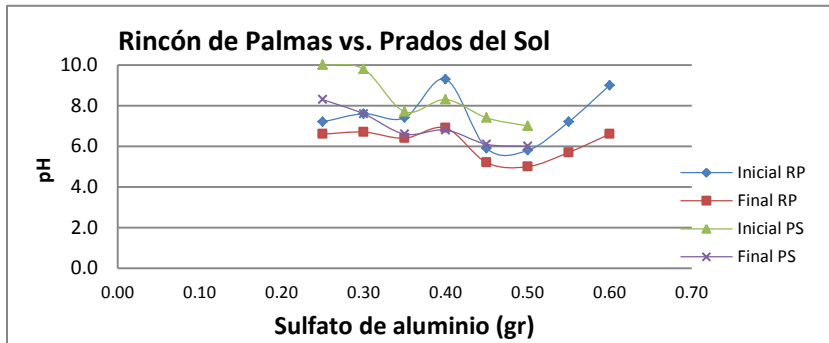
<b>COLONIA</b>	<b>RANGO DE SULFATO DE ALUMINIO (gr.)</b>
Rincón de Palmas	0.30 - 0.40
Prados del Sol	0.30 - 0.40
Ley 57	0.25 - 0.40
Floresta	0.40
Misión del Real	0.25 - 0.30
Santa Lucía	0.25 - 0.30
Cuauhtémoc	0.30 - 0.55
Las Quintas	0.30 - 0.60
Nacameri	0.30 - 0.45
Loma Linda	0.25 - 0.30
Balderrama	0.25
Paseo de la Colina	0.25 - 0.30
Los Jardines	0.25
Villa de Seris	0.25 - 0.30
Álvaro Obregón	0.30 - 0.35
<b>RANGO PROMEDIO</b>	<b>0.25 - 0.38</b>

Tabla 23. Rangos de Sulfato de Aluminio sugerido por colonia.

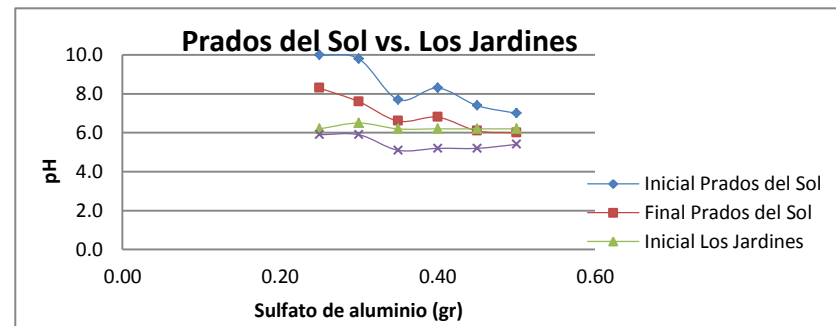
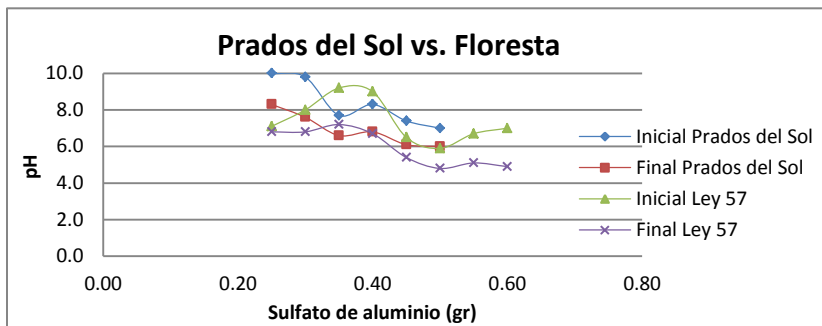
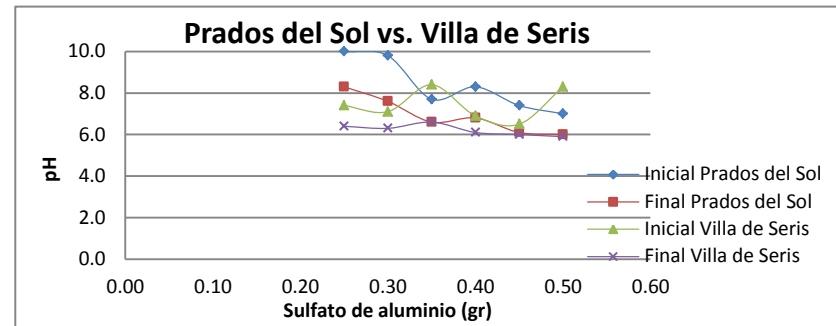
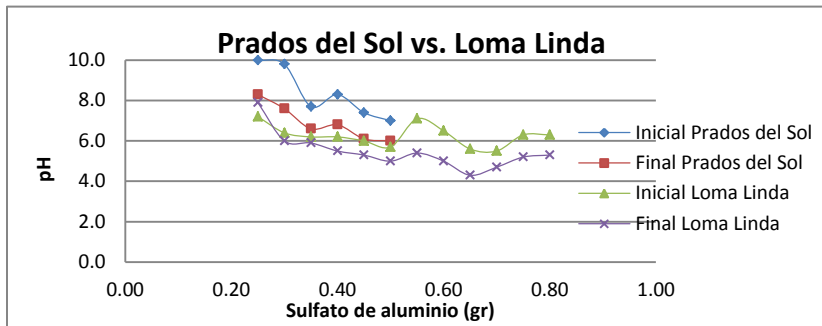
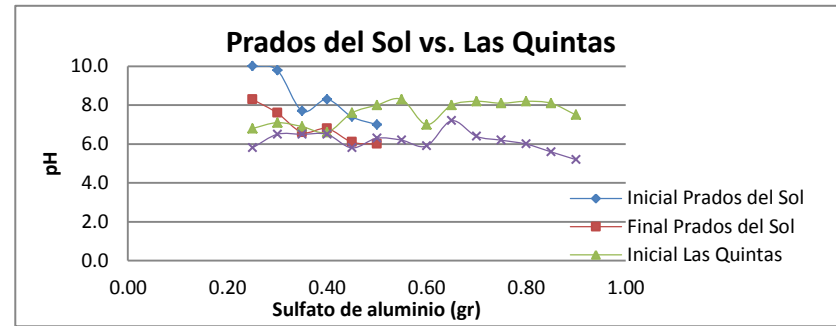
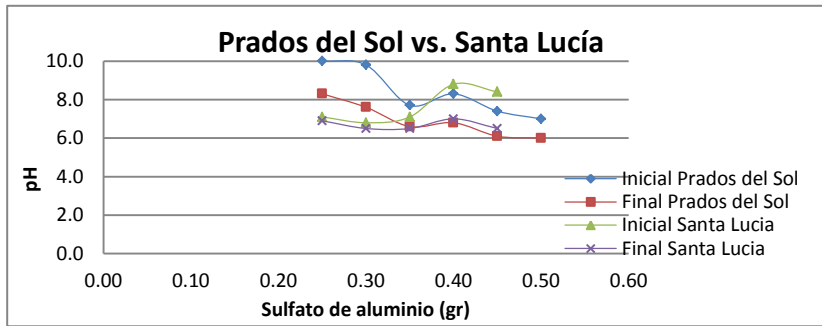
## **10 Gráficos de los resultados experimentales con dosis de Coagulante-Floculante en aguas residuales**

### **10.1 Comparación de variables con diferentes dosis, en colonias.**

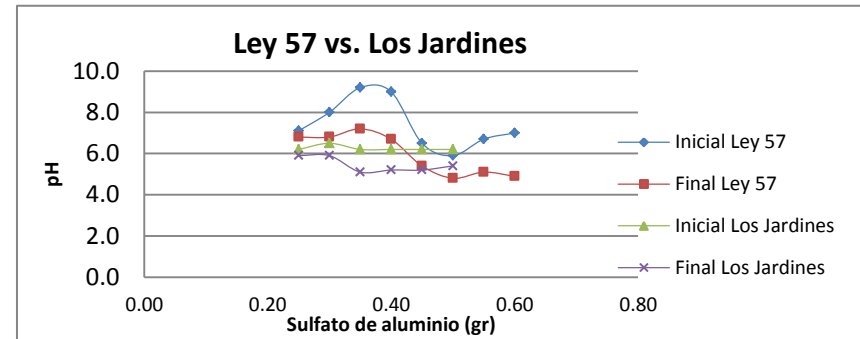
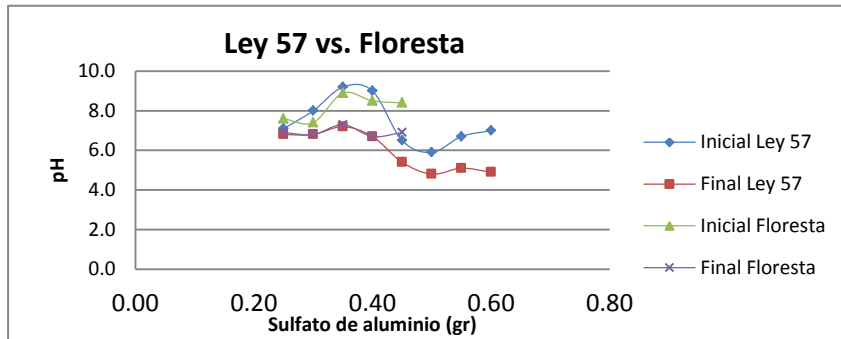
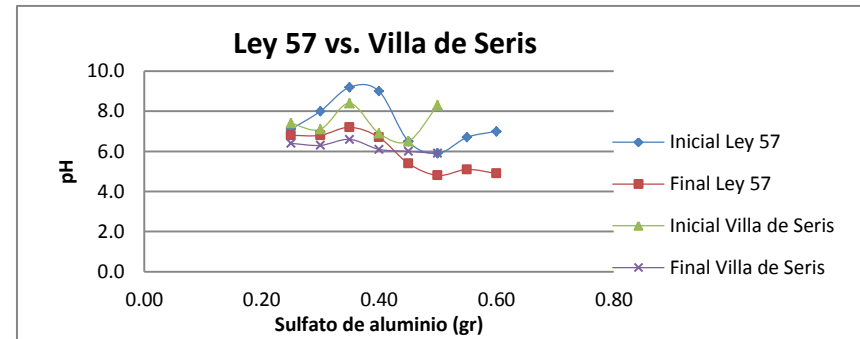
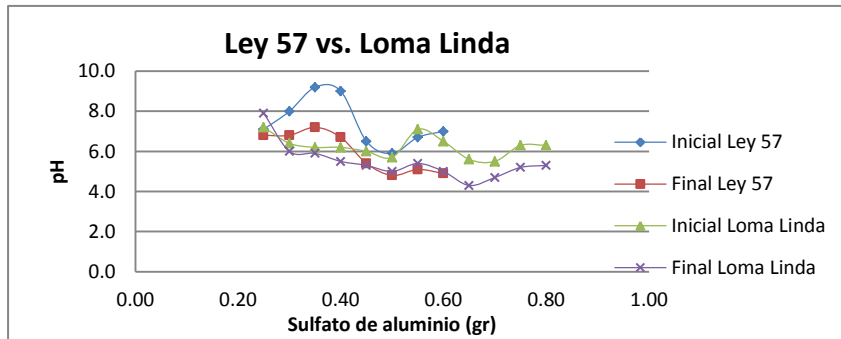
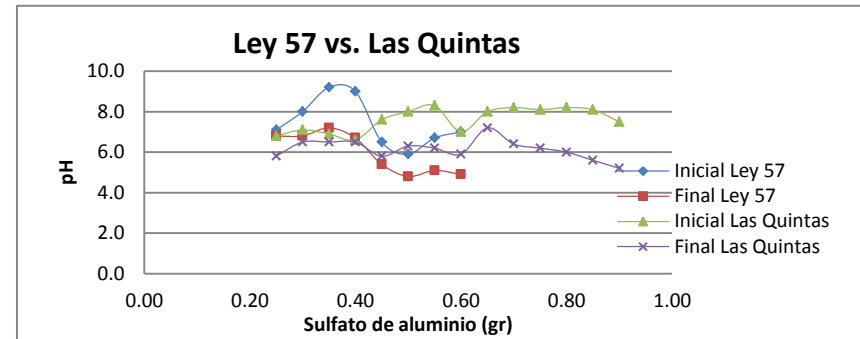
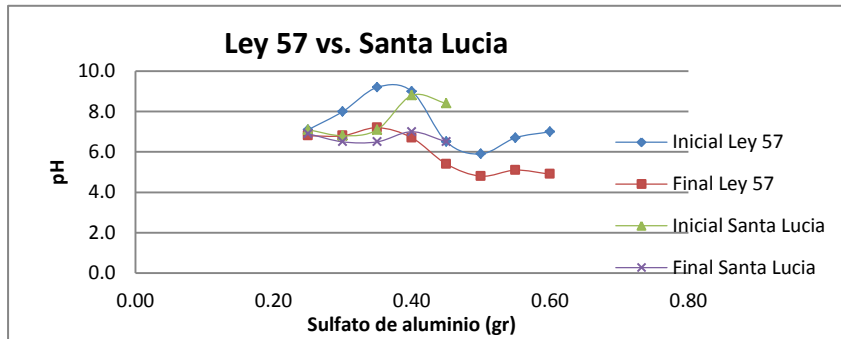
A continuación se muestran los gráficos correspondientes a las variables que fueron determinadas con las muestras de agua recolectadas en las diferentes colonias, mismas graficas que se comparan entre sí.



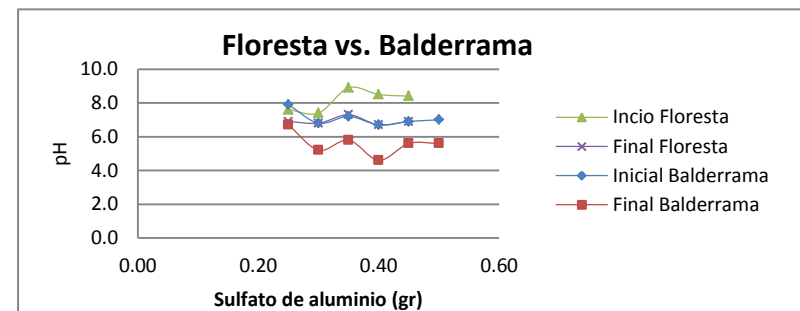
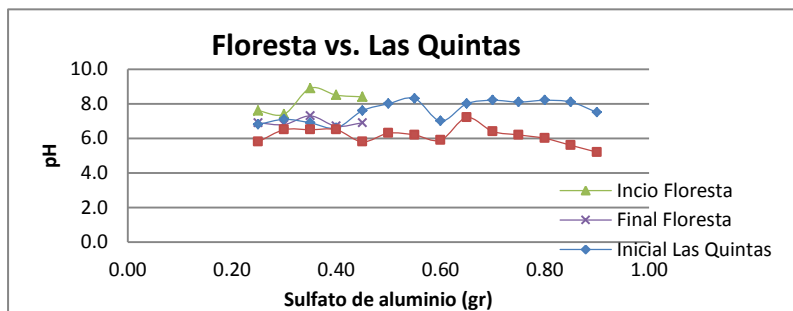
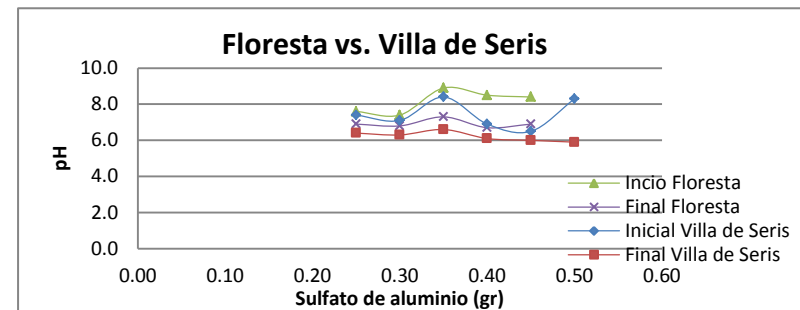
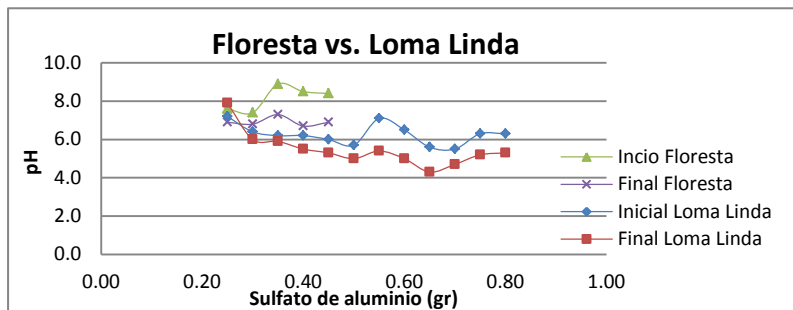
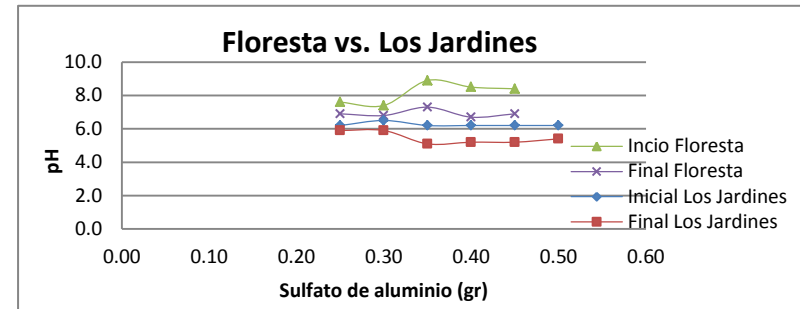
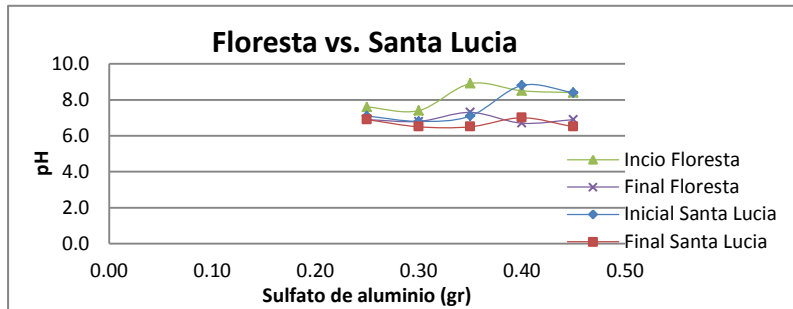
Gráficos 46. Comparación de gráficas para pH Colonia Rincón de Palmas vs. Otras.



Gráficos 47. Comparación de gráficas para pH Colonia Prados del Sol vs. Otras.

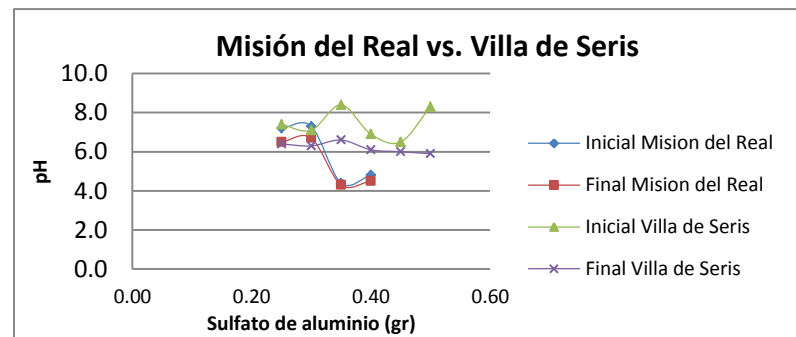
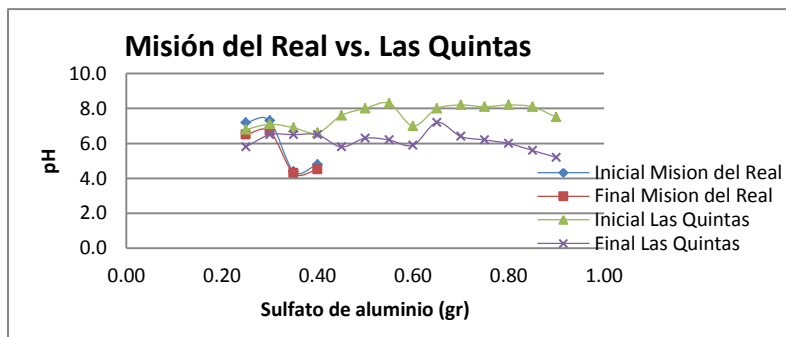
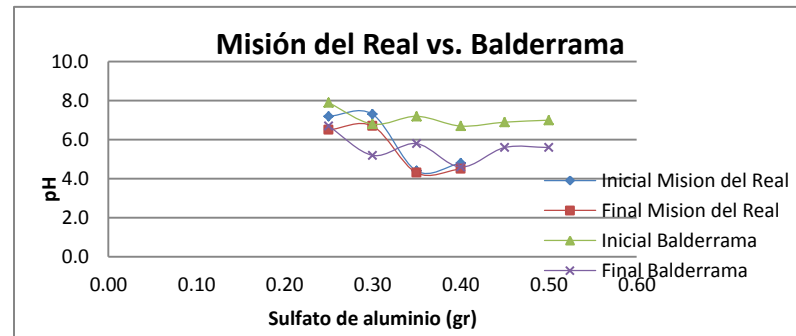
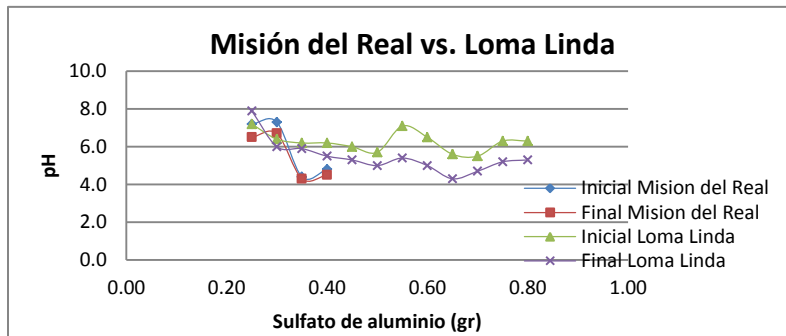
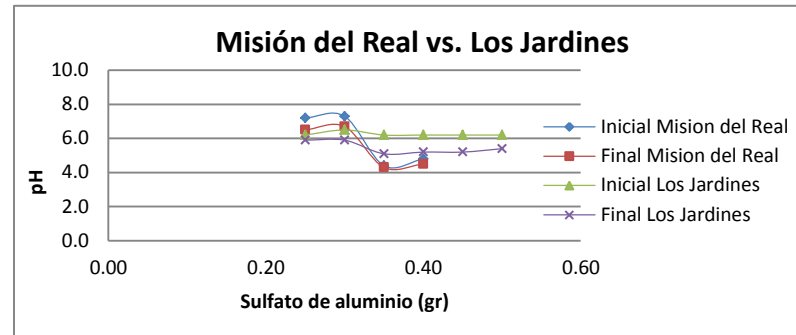
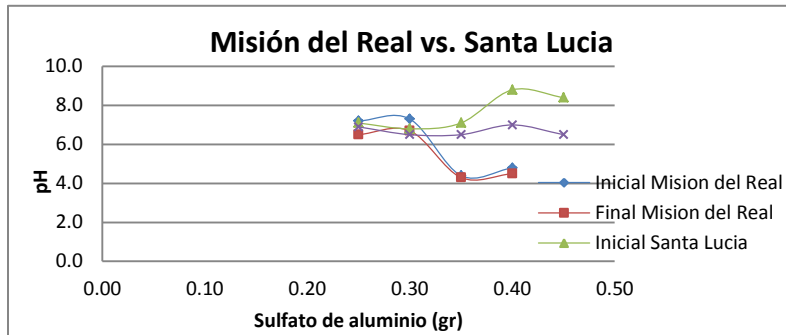


Gráficos 48. Comparación de gráficas para pH Colonia Ley 57 vs. Otras.

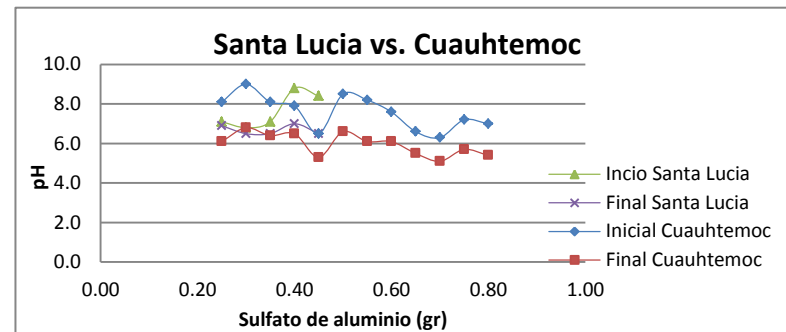
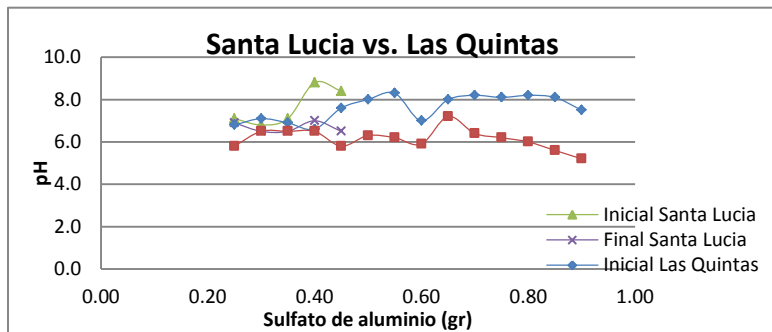
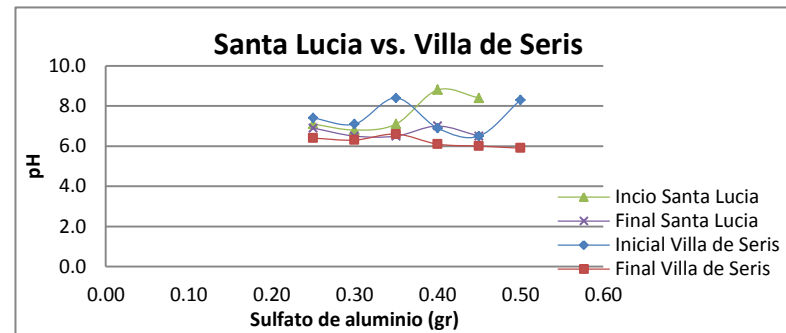
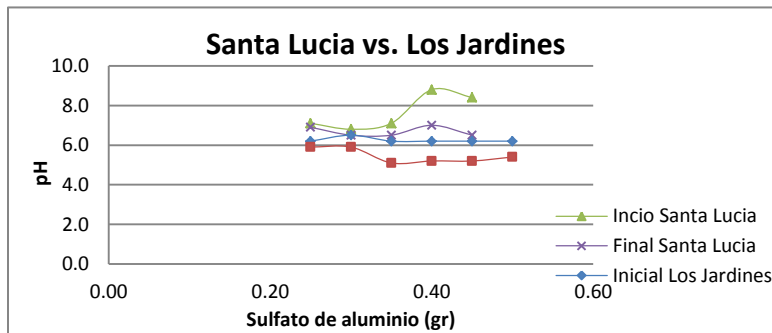
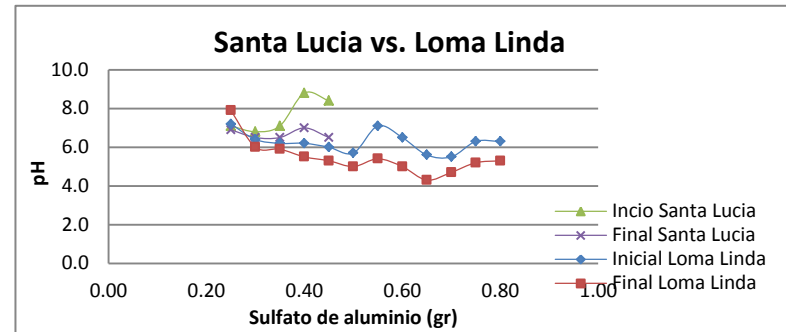
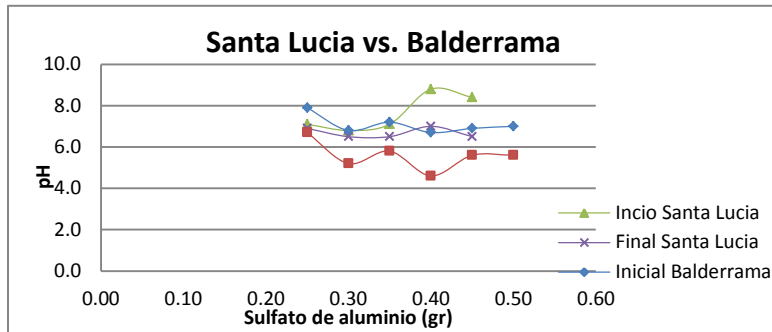


Gráficos 49. Comparación de gráficas para pH Colonia Floresta vs. Otras.

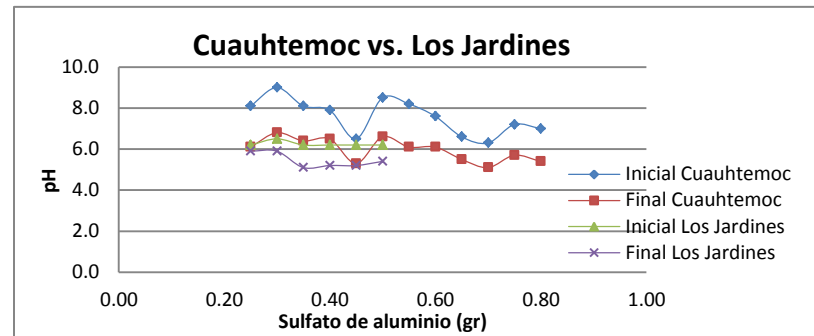
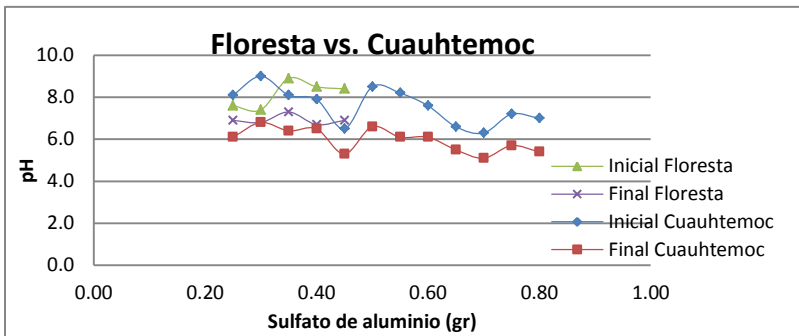
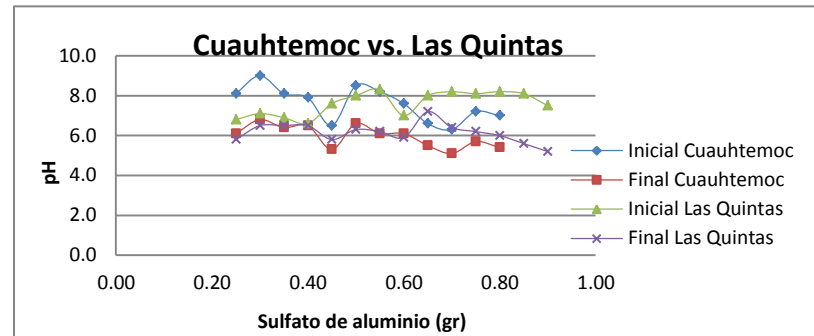
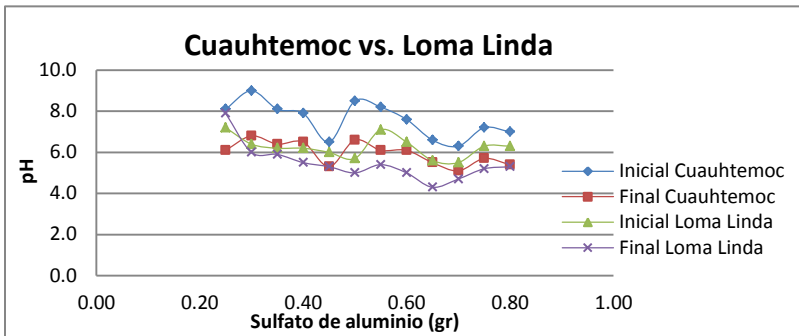
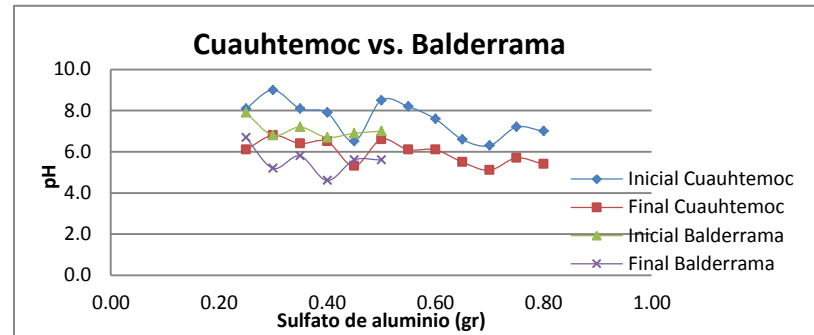
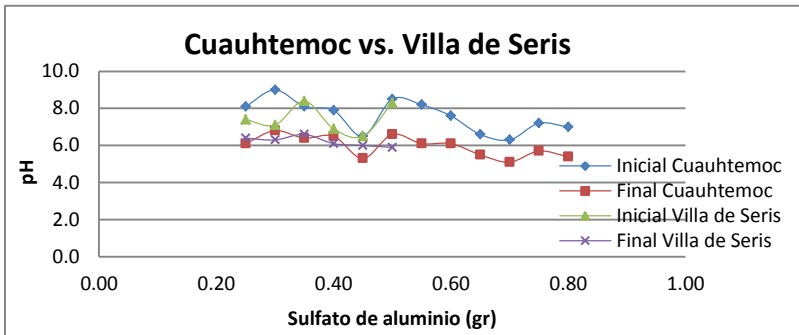




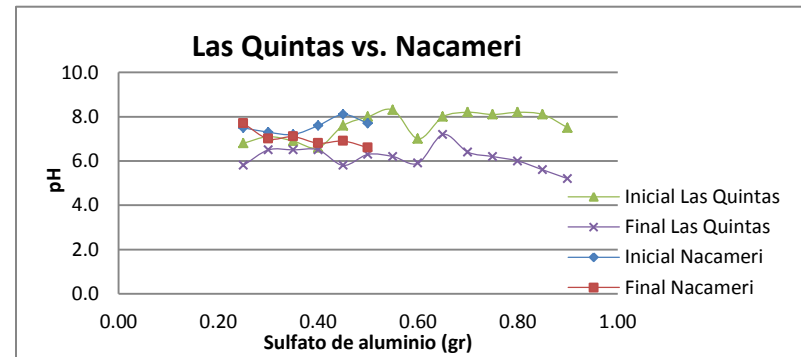
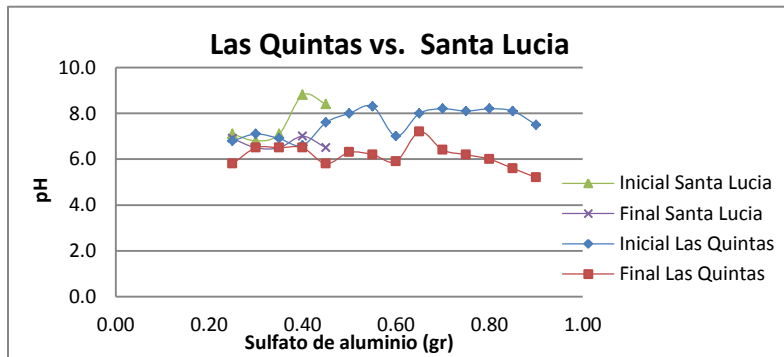
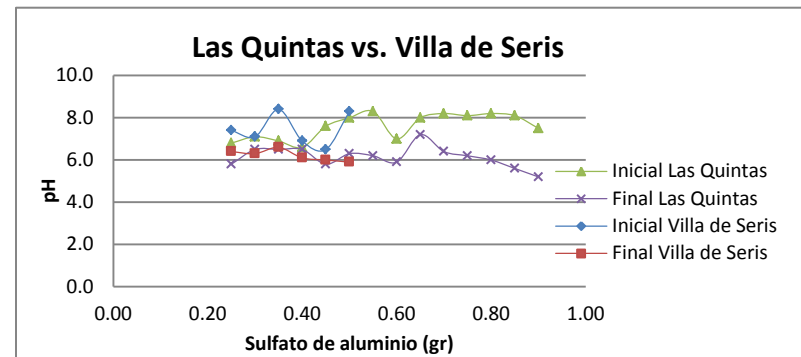
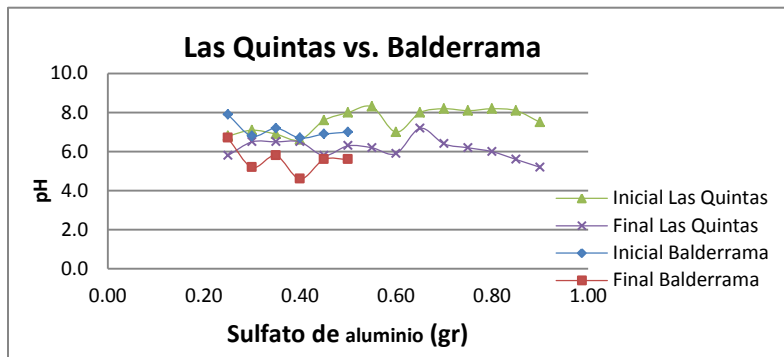
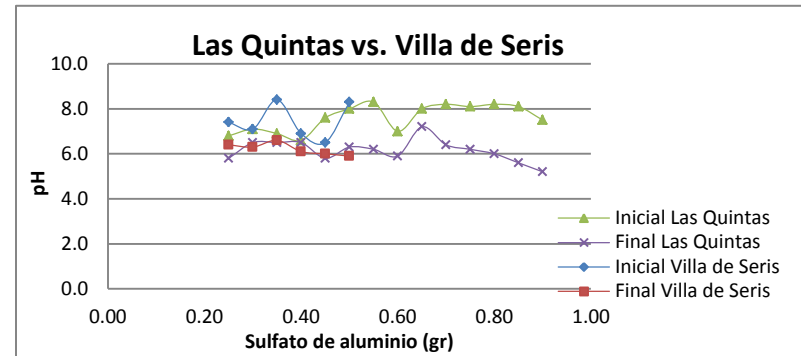
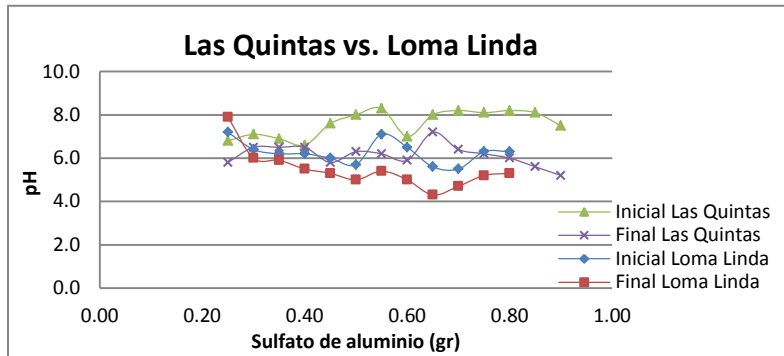
Gráficos 50. Comparación de gráficas para pH Colonia Misión del Real vs. Otras.



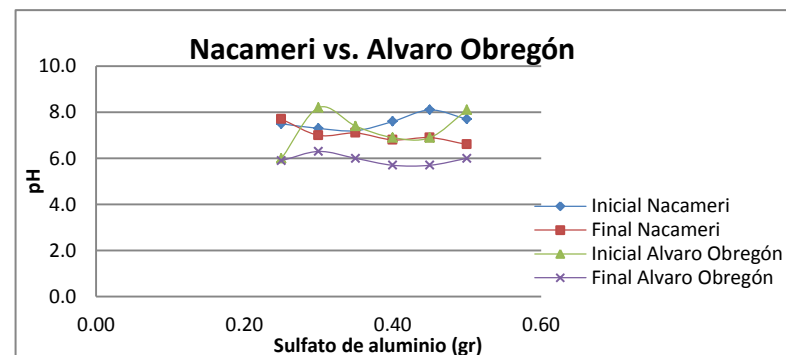
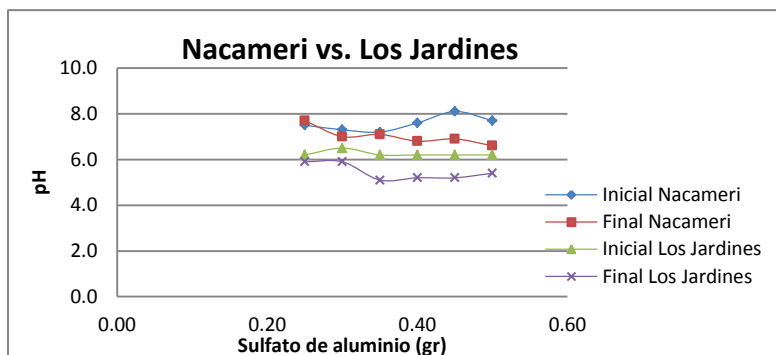
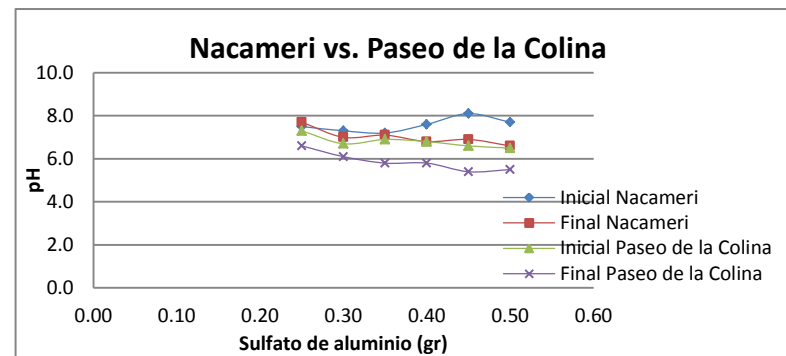
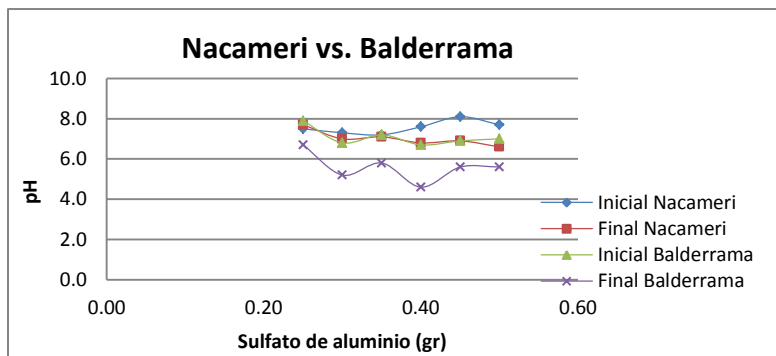
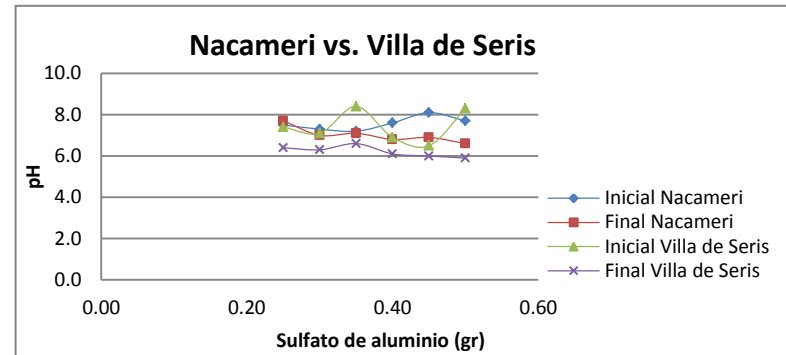
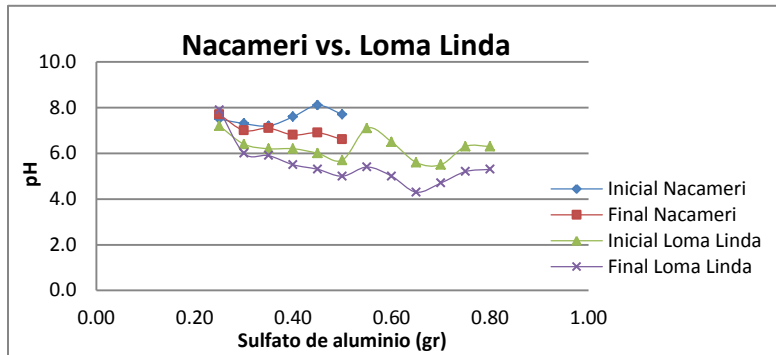
Gráficos 51. Comparación de gráficas para pH Colonia Santa Lucía vs. Otras.



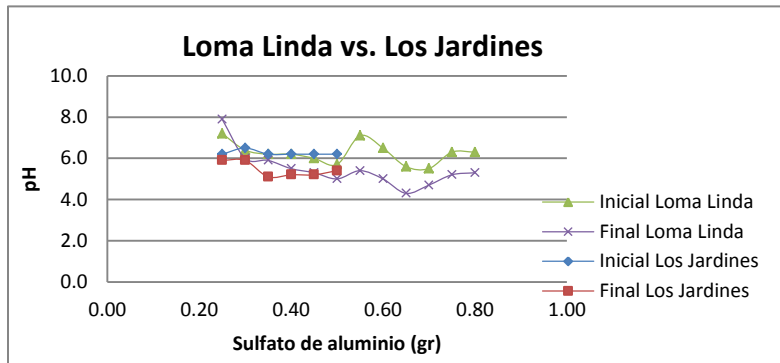
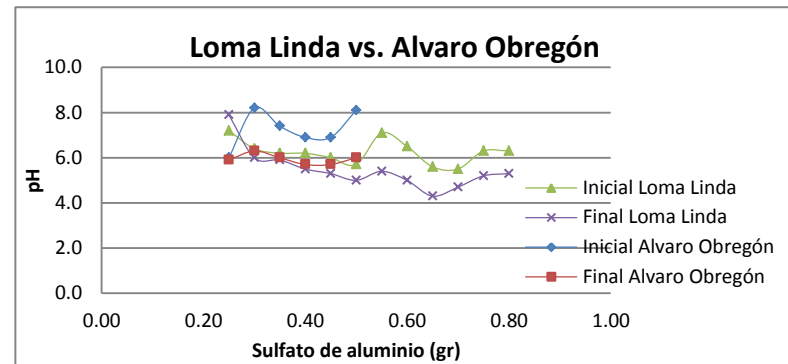
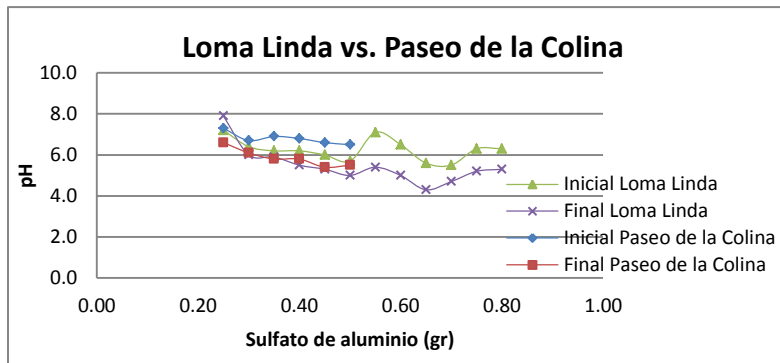
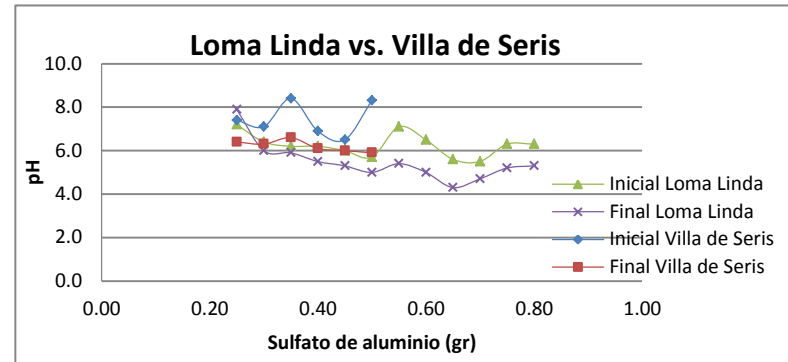
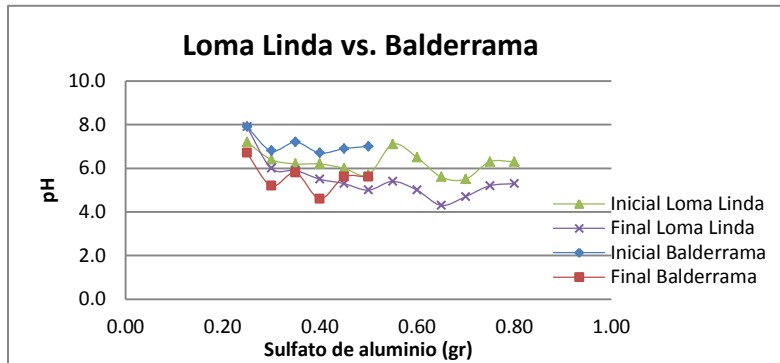
Gráficos 52. Comparación de gráficas para pH Colonia Cauhtémoc vs. Otras.



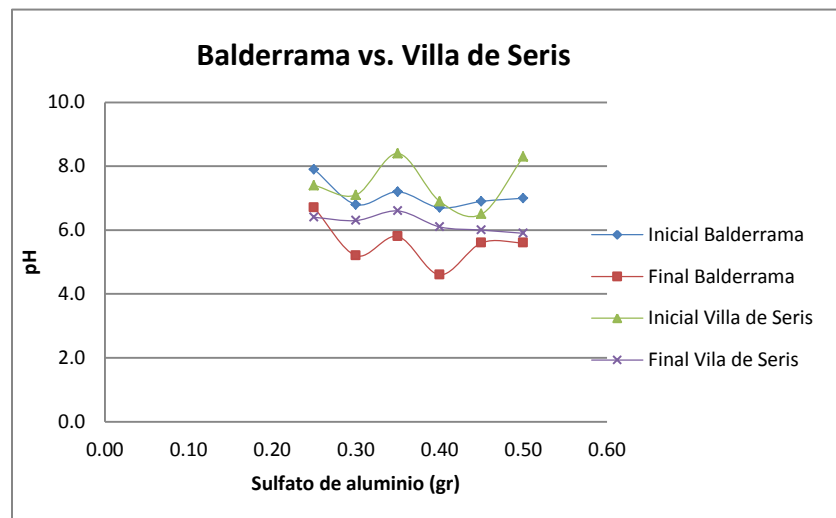
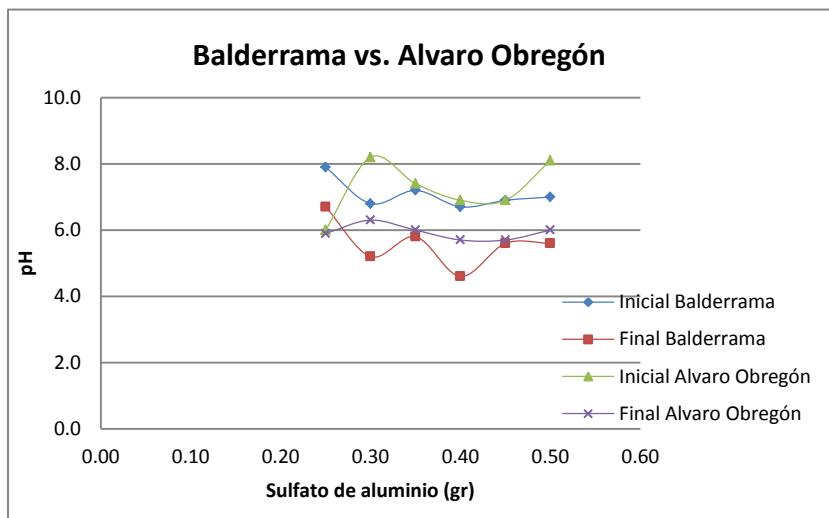
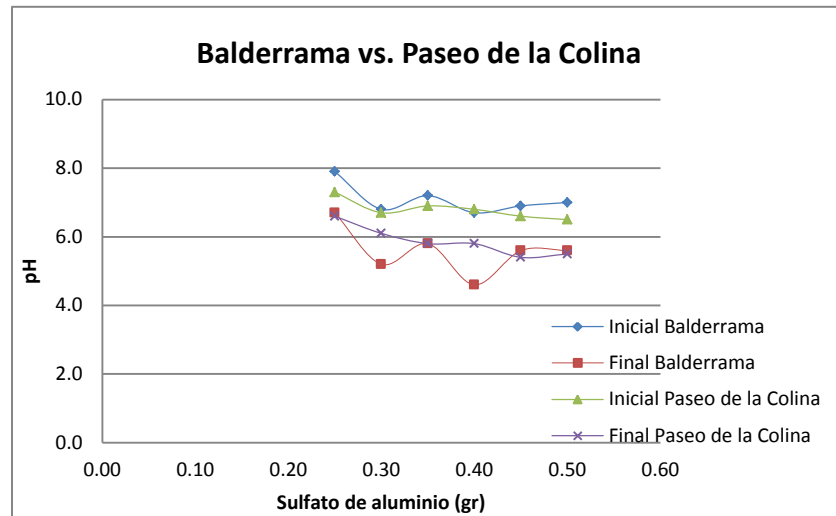
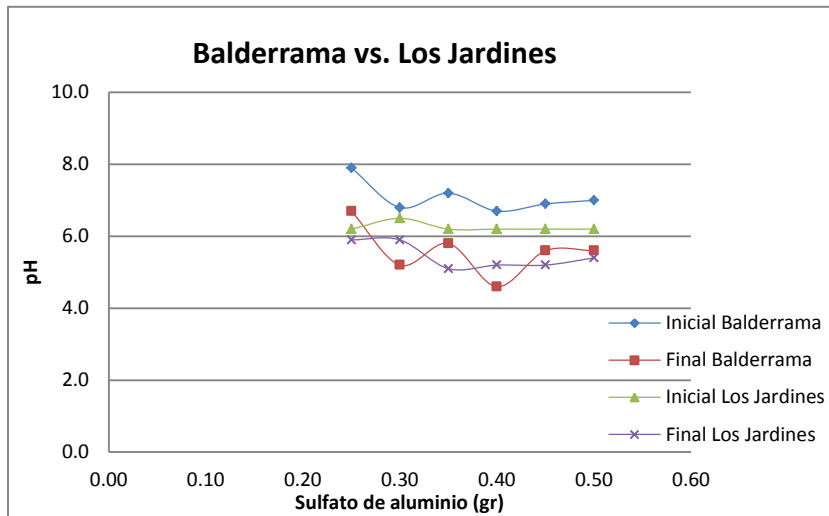
Gráficos 53. Comparación de gráficas para pH Colonia Las Quintas vs. Otras.



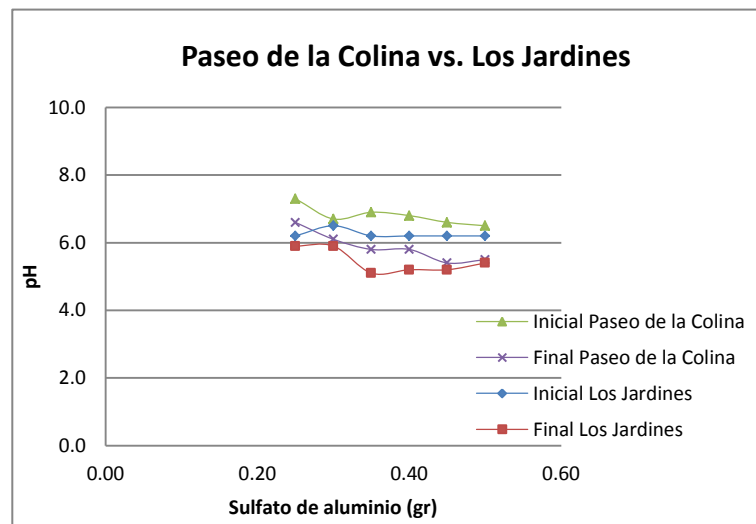
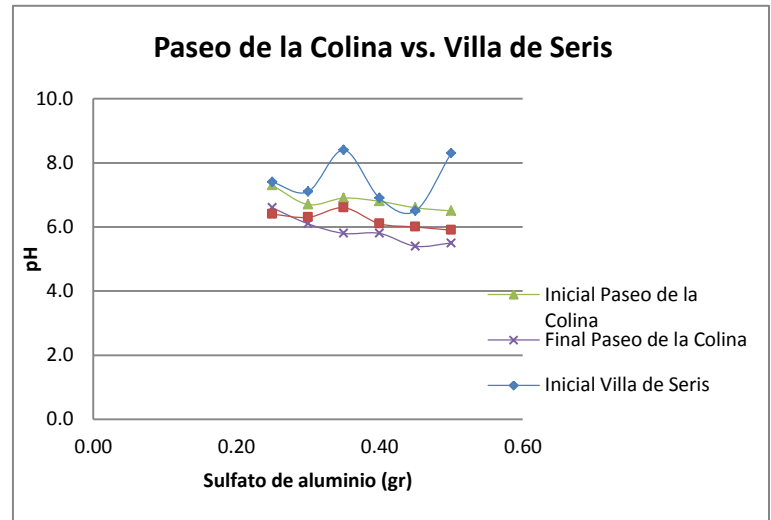
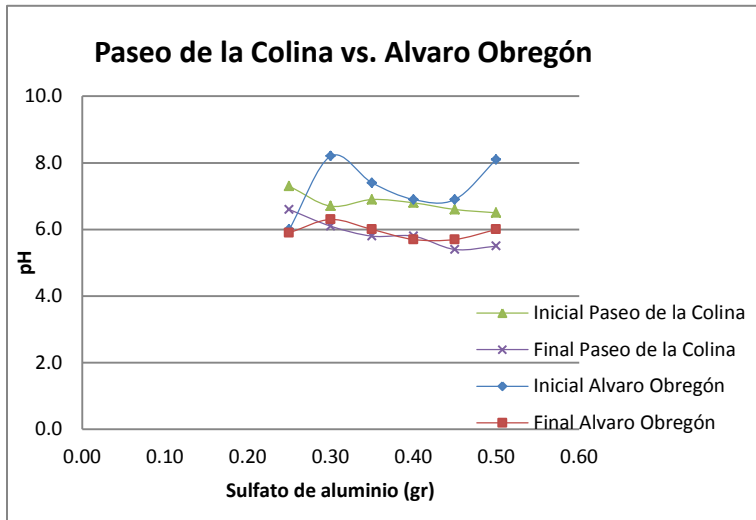
Gráficos 54. Comparación de gráficas para pH Colonia Nacameri vs. Otras.



Gráficos 55. Comparación de gráficas para pH Colonia Loma Linda vs. Otras.

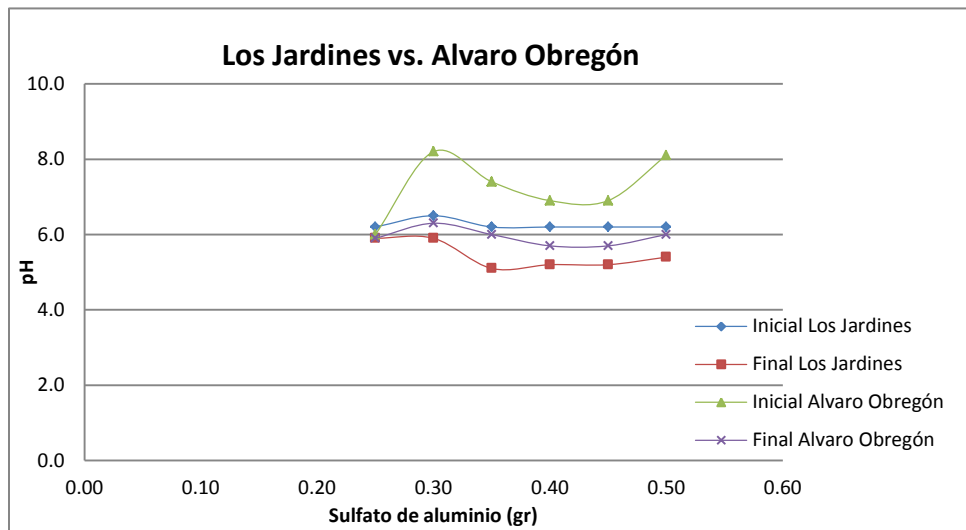
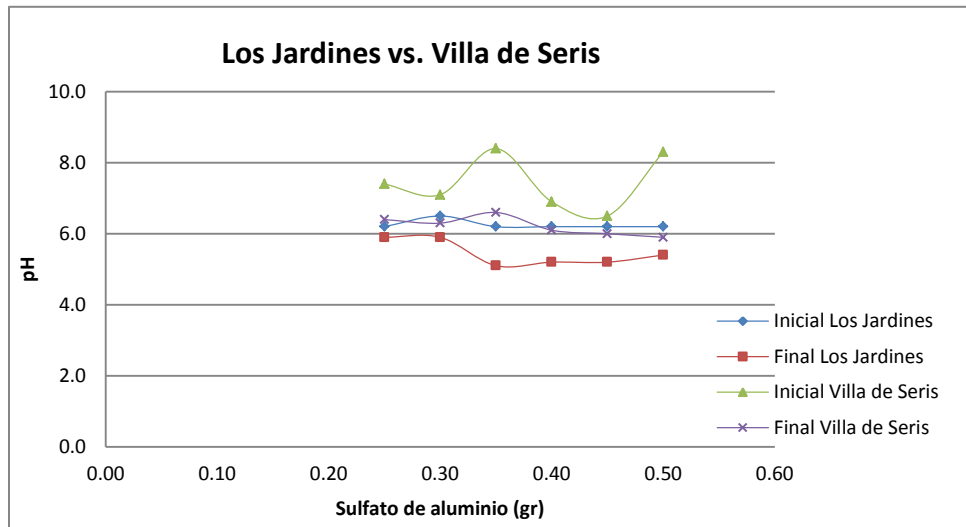


Gráficos 56. Comparación de gráficas para pH Colonia Balderrama vs. Otras.

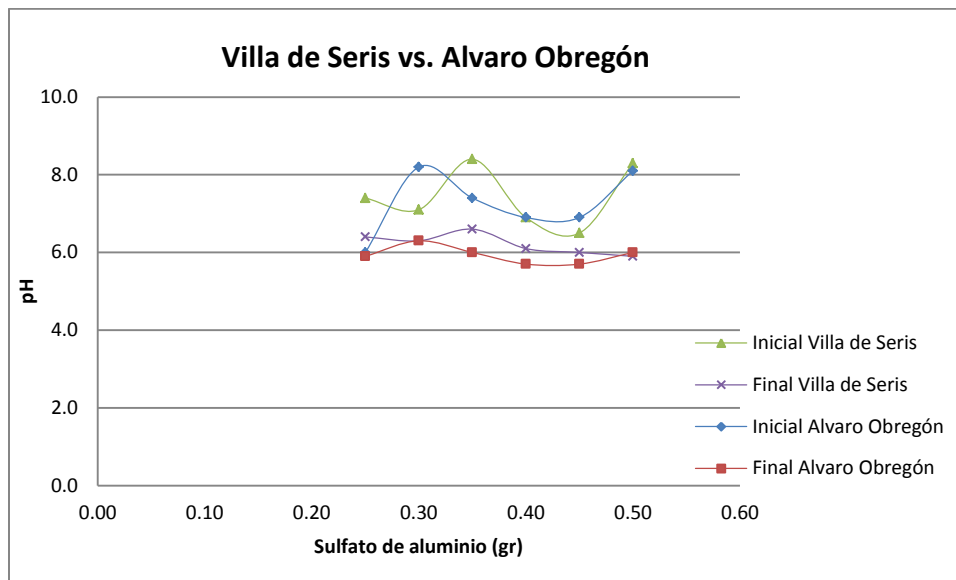


Gráficos 57. Comparación de gráficas para pH Colonia Paseo de la Colina vs. Otras.

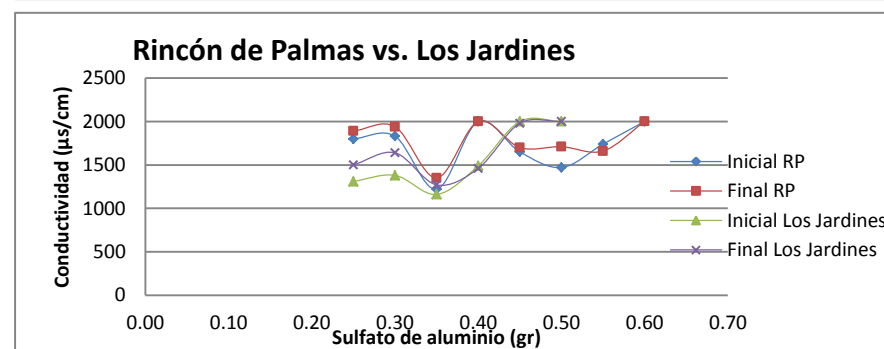
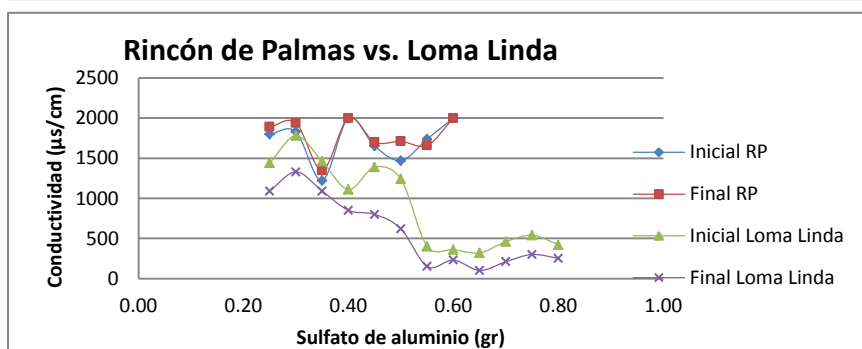
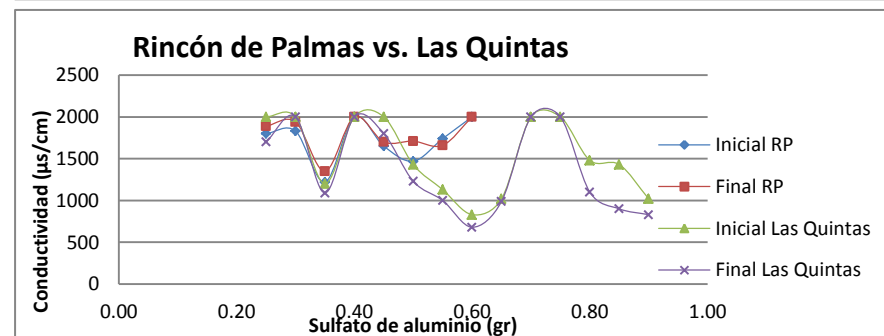
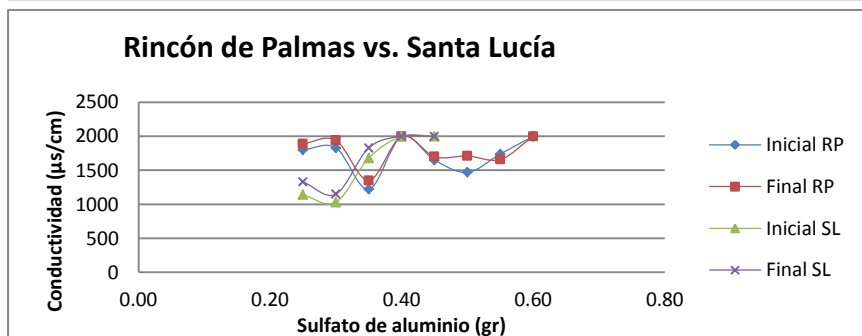
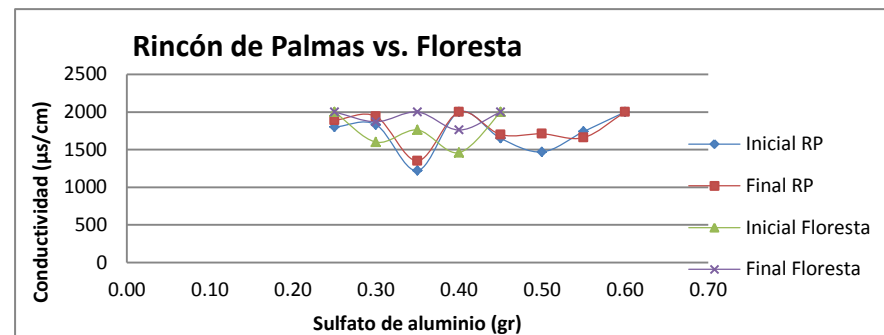
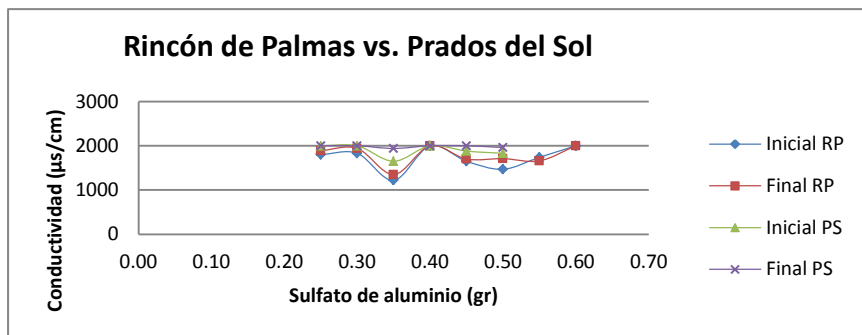




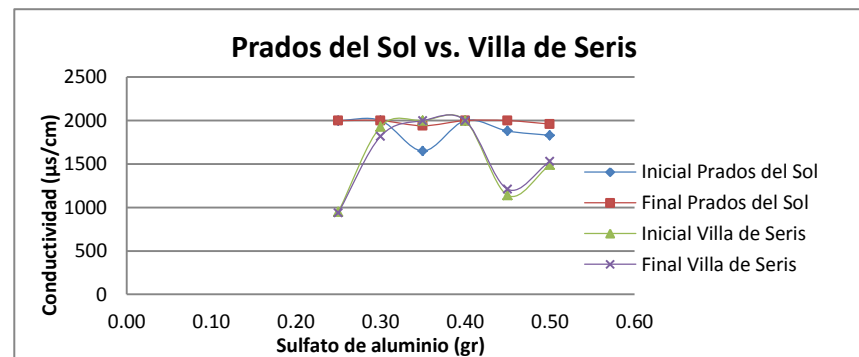
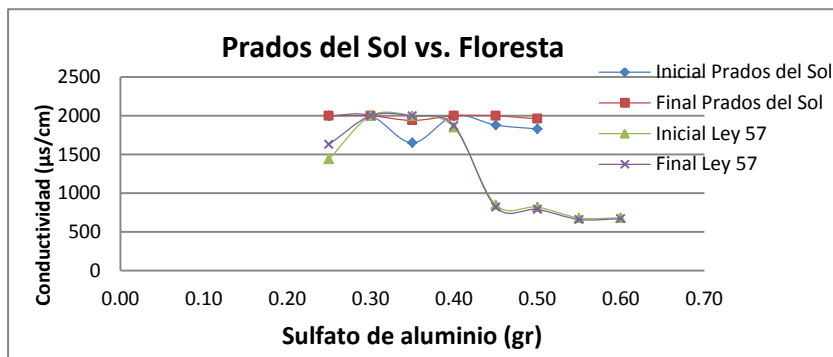
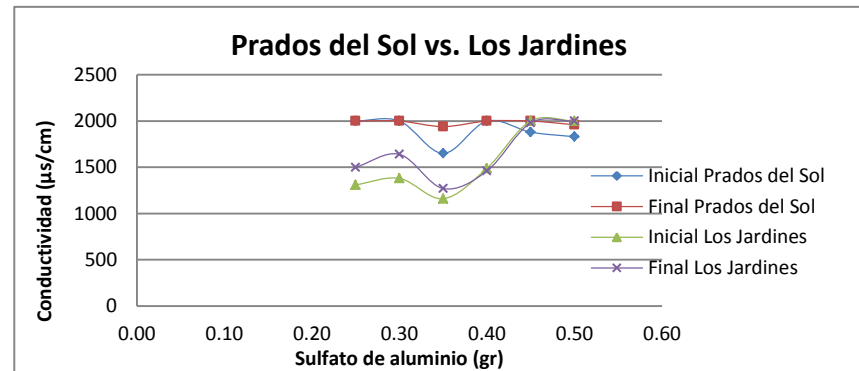
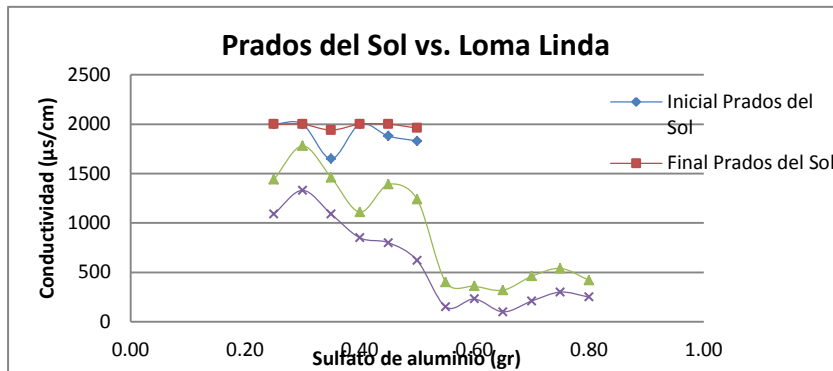
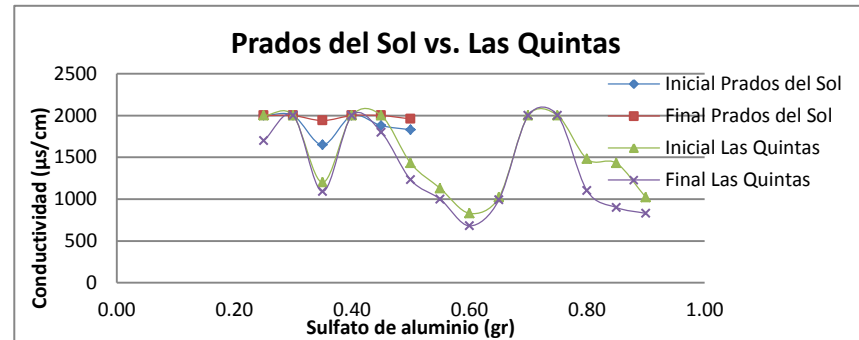
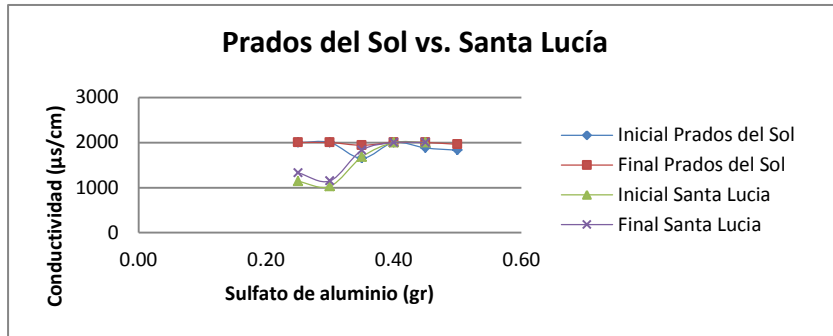
Gráficos 58. Comparación de gráficas para pH Colonia Los Jardines vs. Otras.



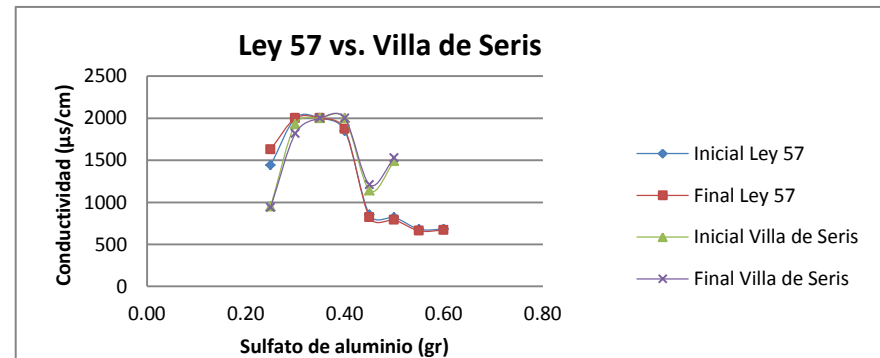
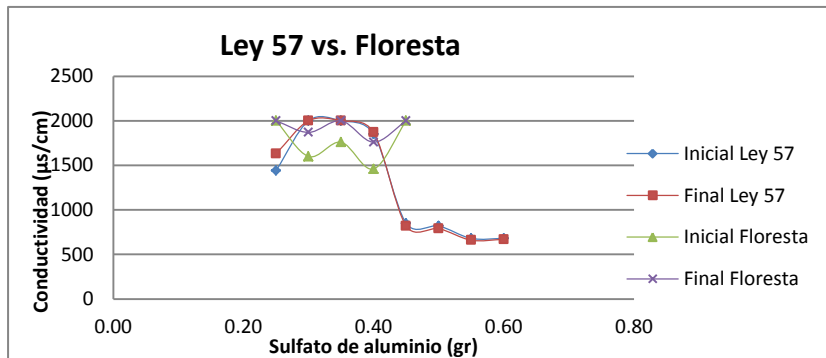
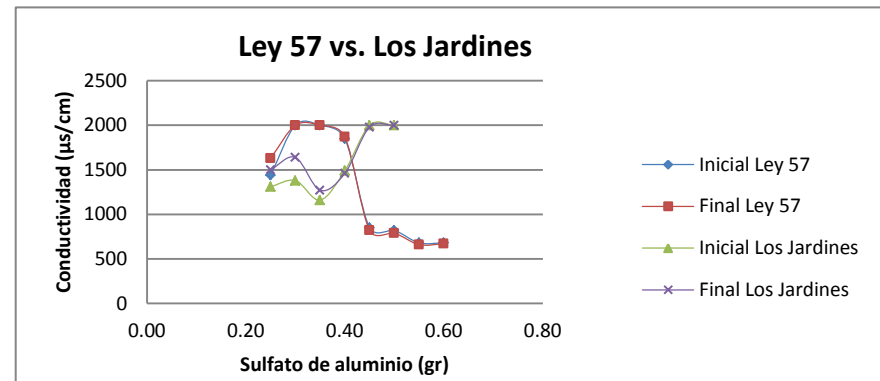
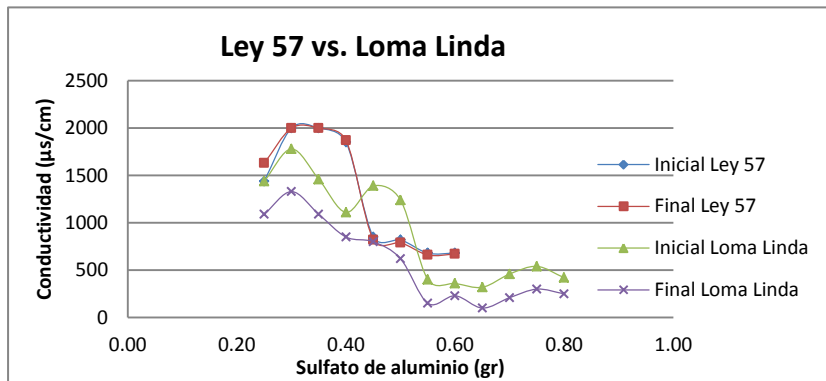
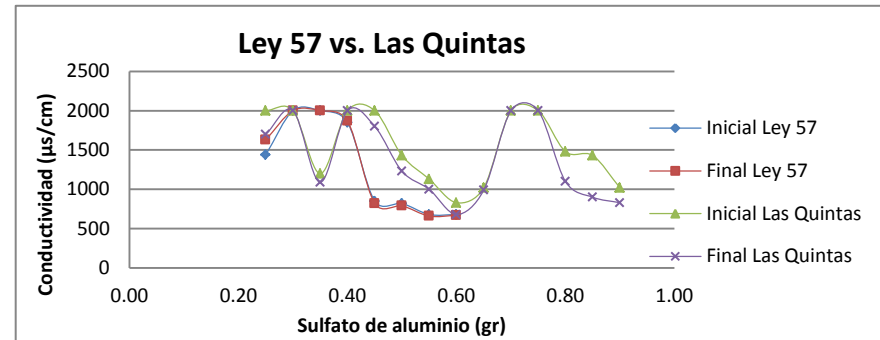
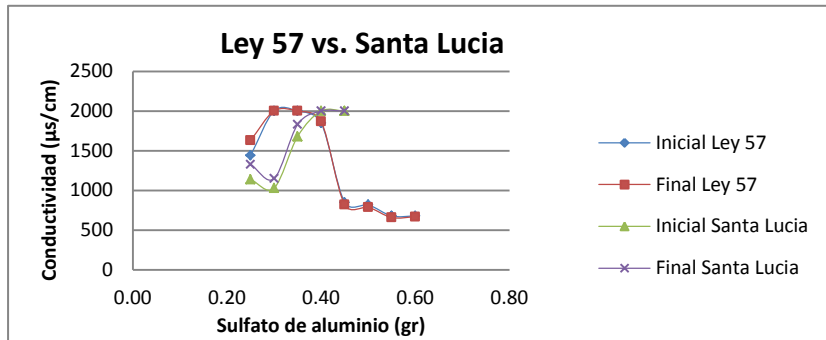
Gráficos 59. Comparación de gráficas para pH Colonia Villa de Seris vs. Otra.



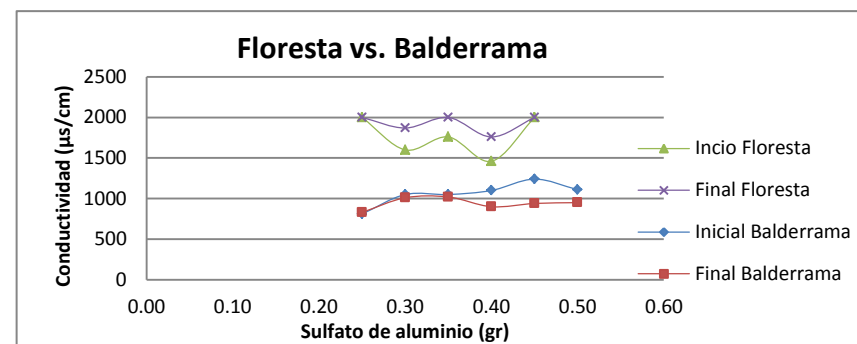
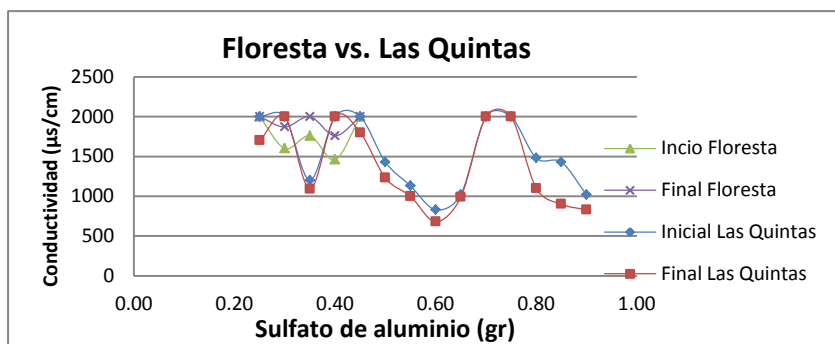
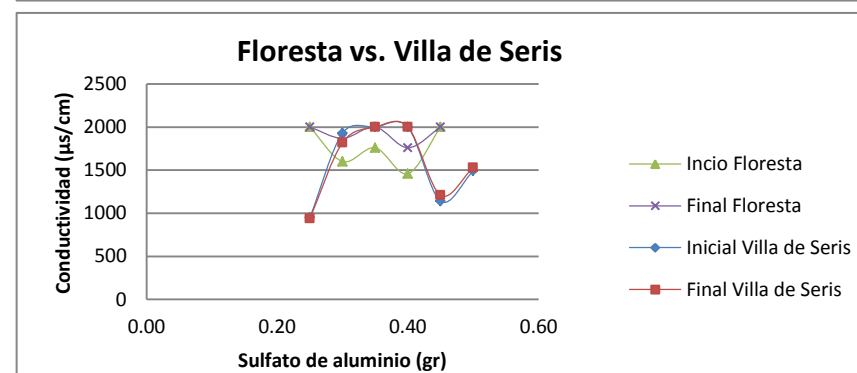
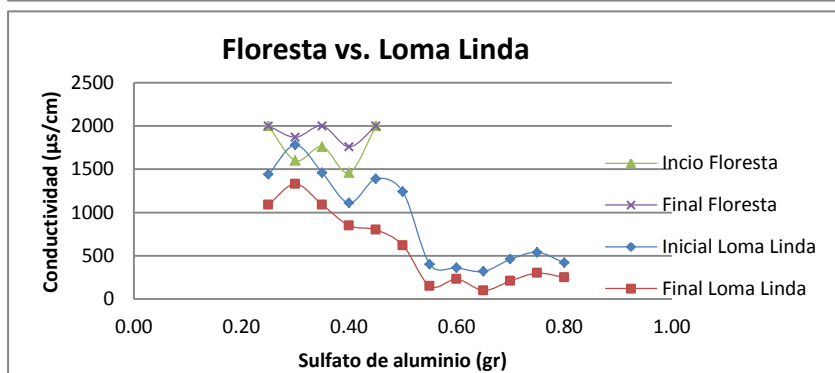
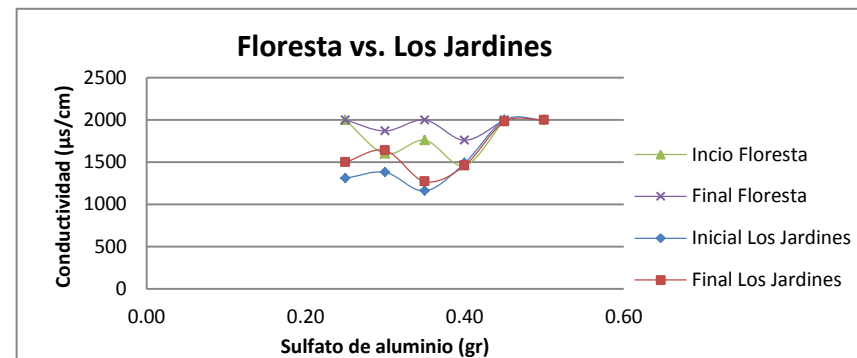
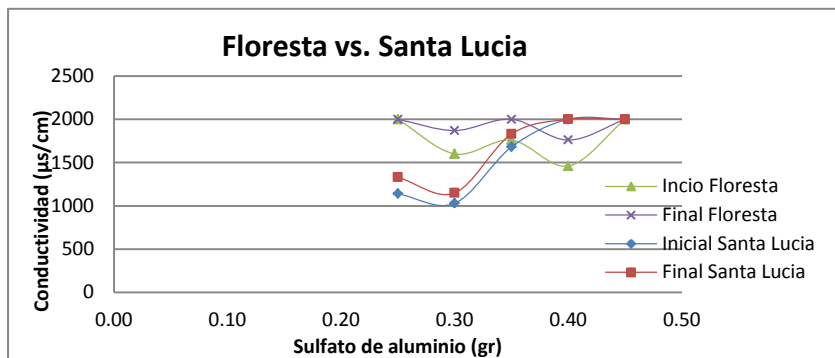
Gráficos 60. Comparación de gráficas para Conductividad Colonia Rincón de Palmas vs. Otras.



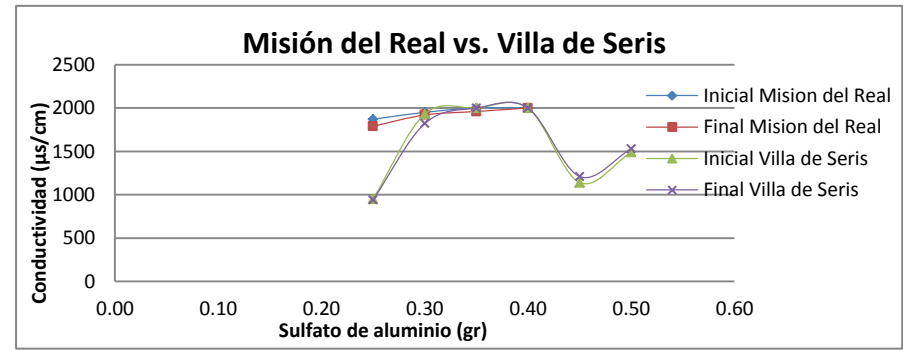
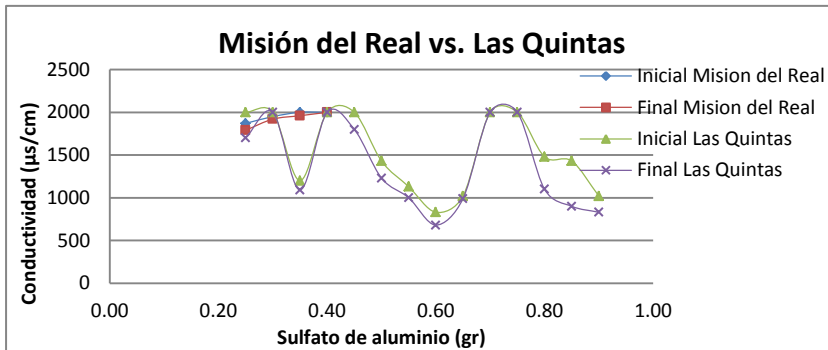
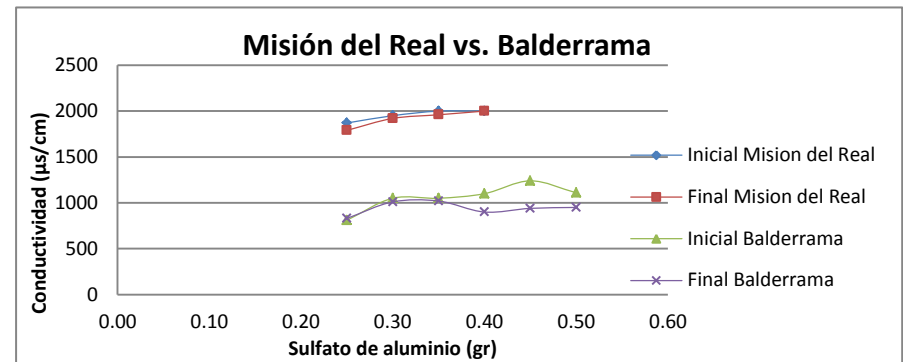
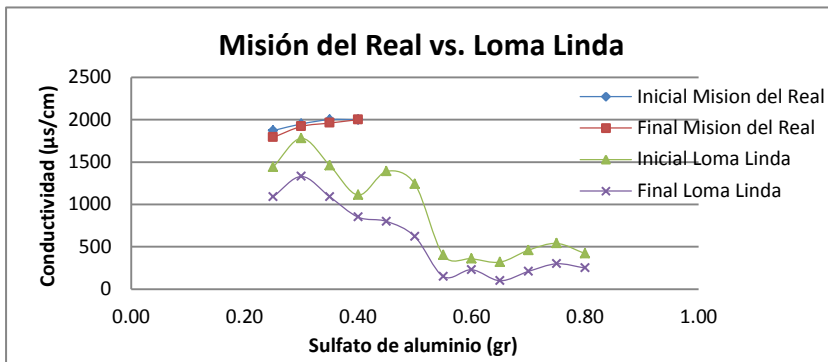
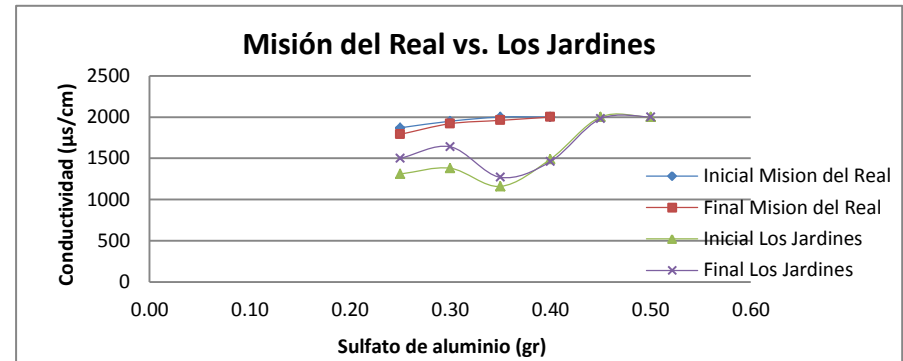
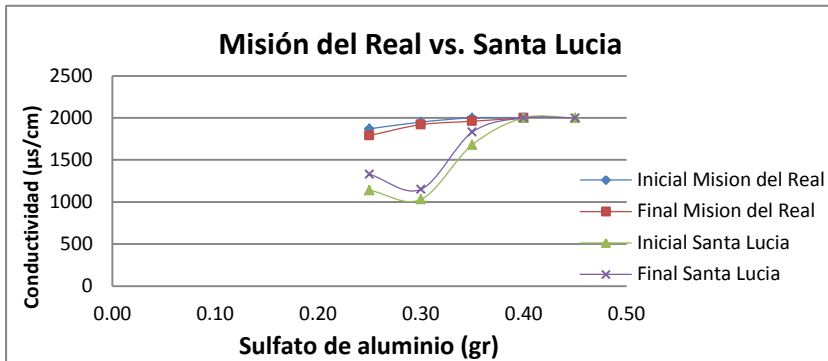
Gráficos 61. Comparación de gráficas para Conductividad Colonia Prados del Sol vs. Otras.



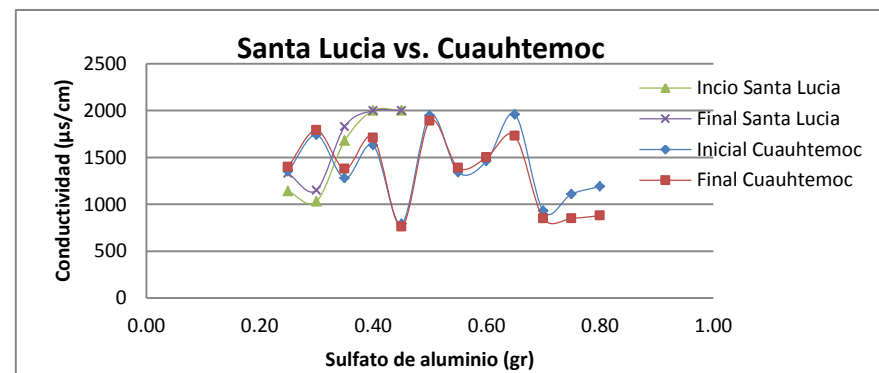
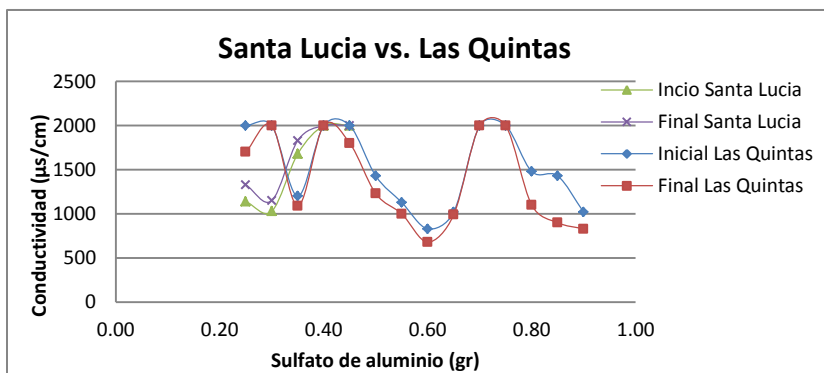
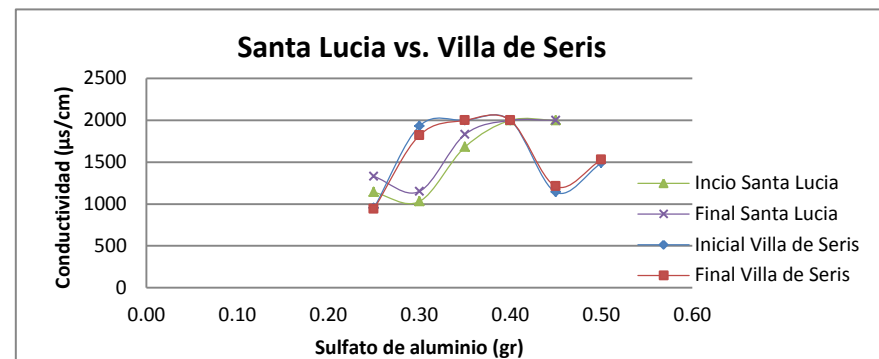
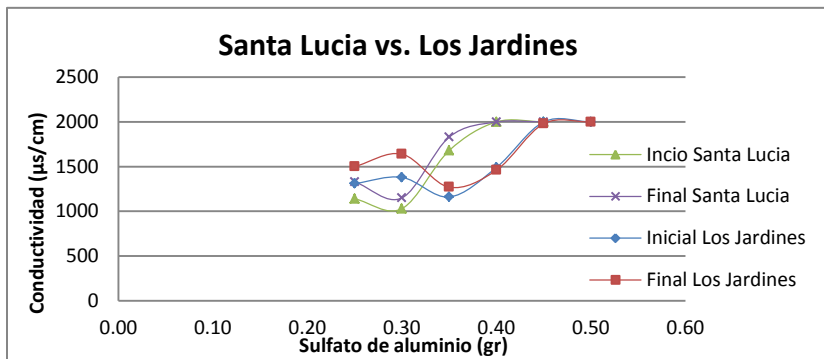
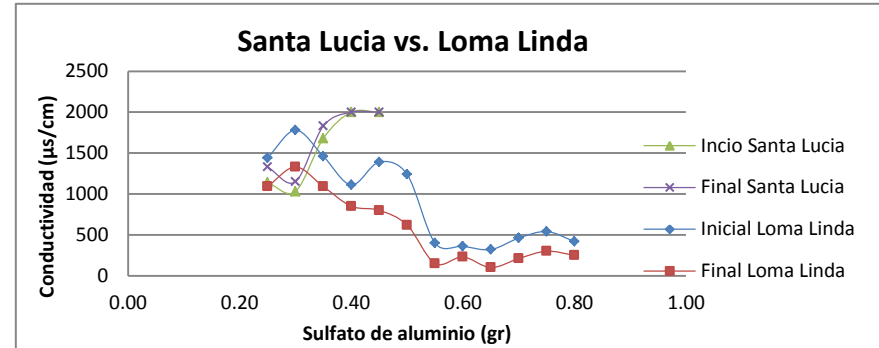
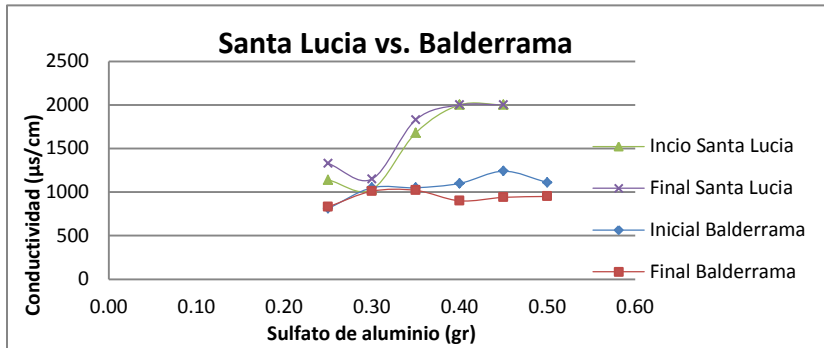
Gráficos 62. Comparación de gráficas para Conductividad Colonia Ley 57 vs. Otras.



Gráficos 63. Comparación de gráficas para Conductividad Colonia Floresta vs. Otras.

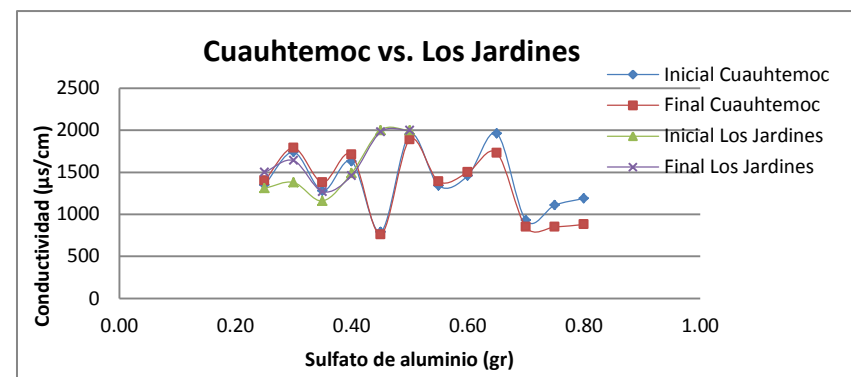
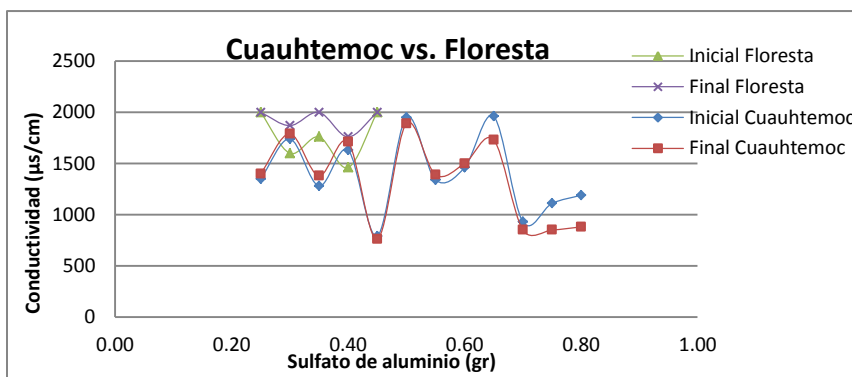
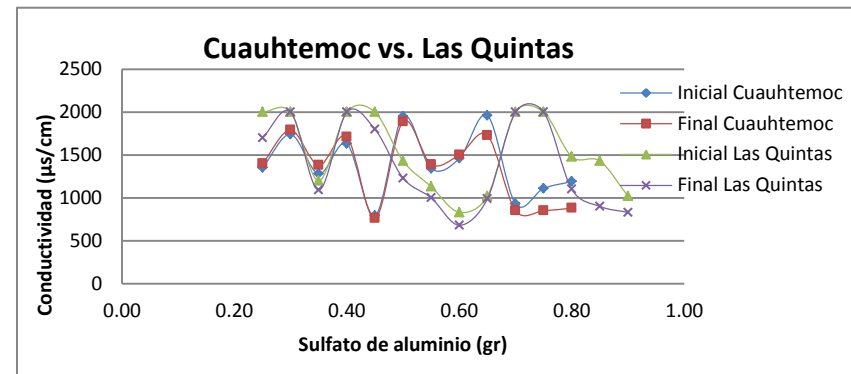
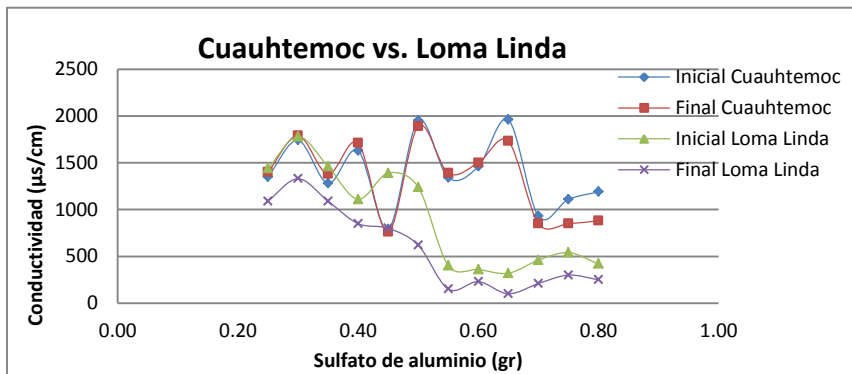
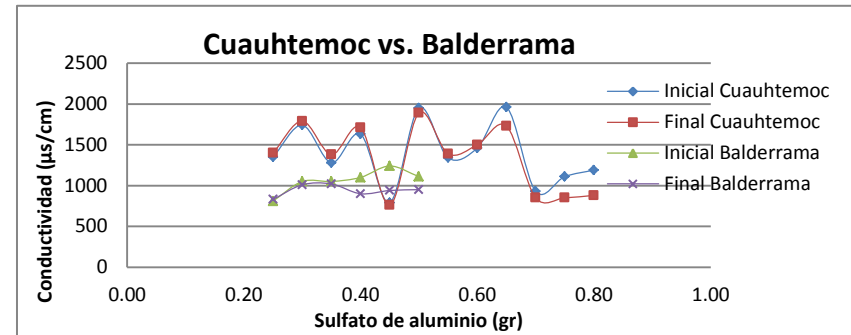
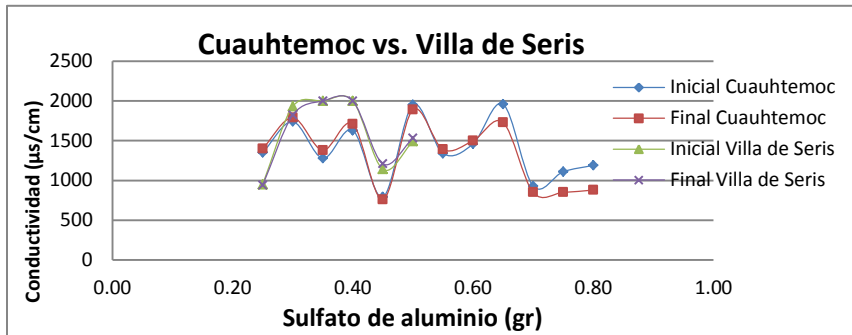


Gráficos 64. Comparación de gráficas para Conductividad Colonia Misión del Real vs. Otras.

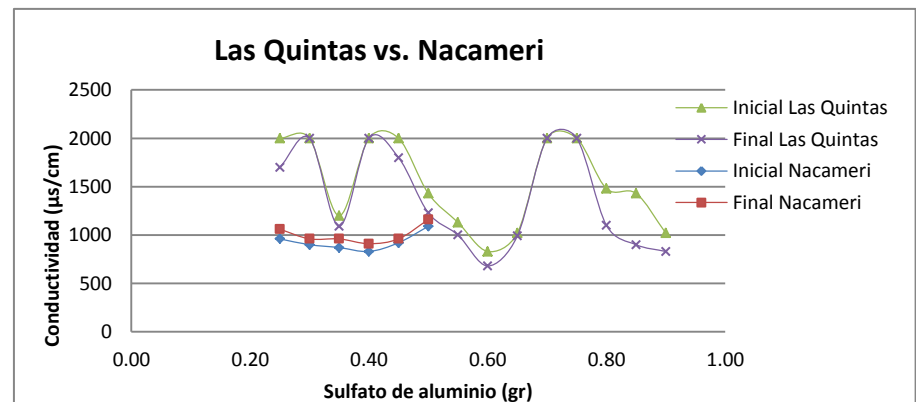
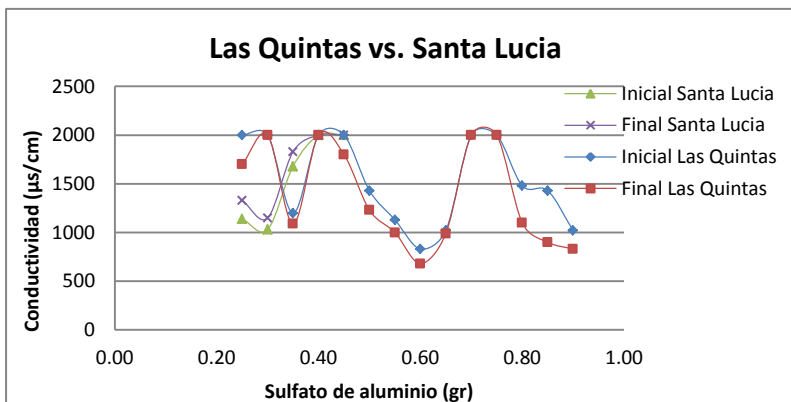
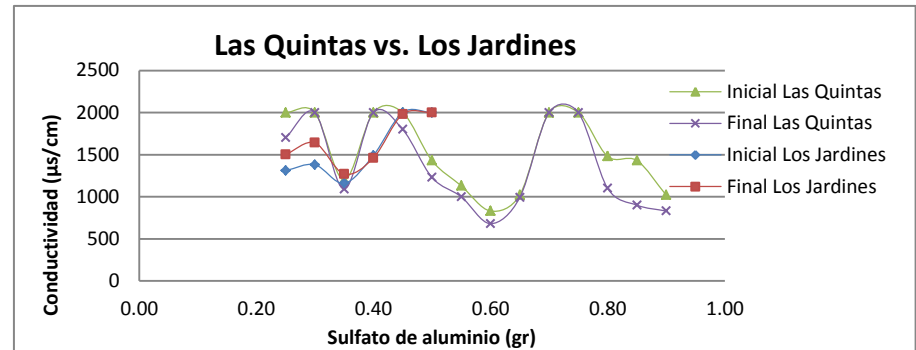
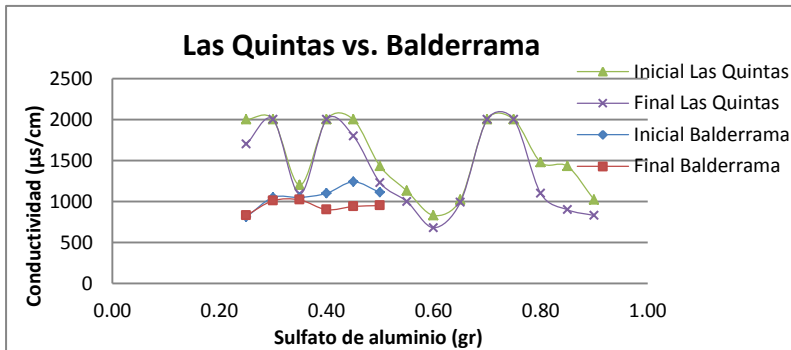
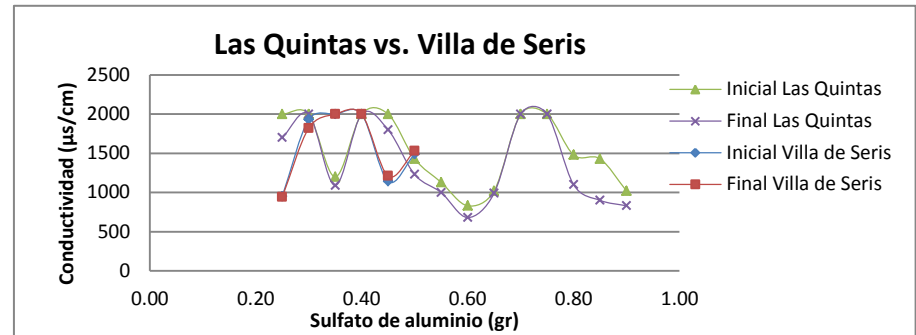
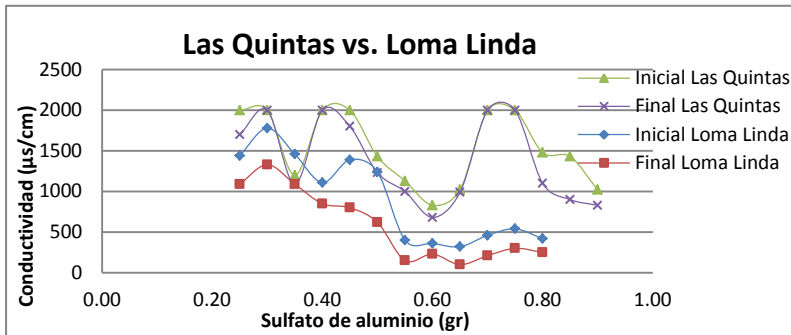


Gráficos 65. Comparación de gráficas para Conductividad Colonia Santa Lucía vs. Otras.

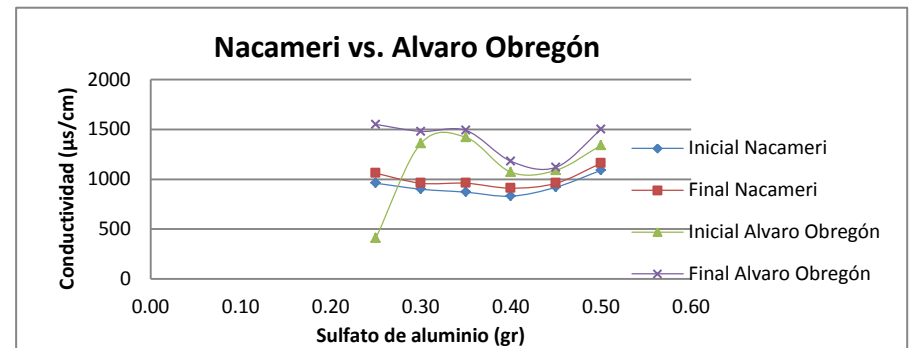
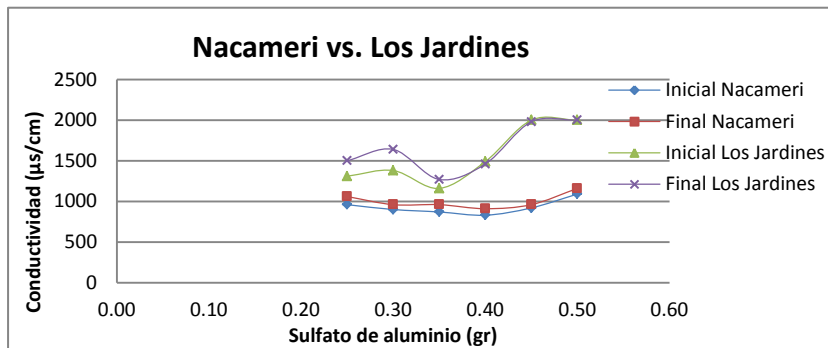
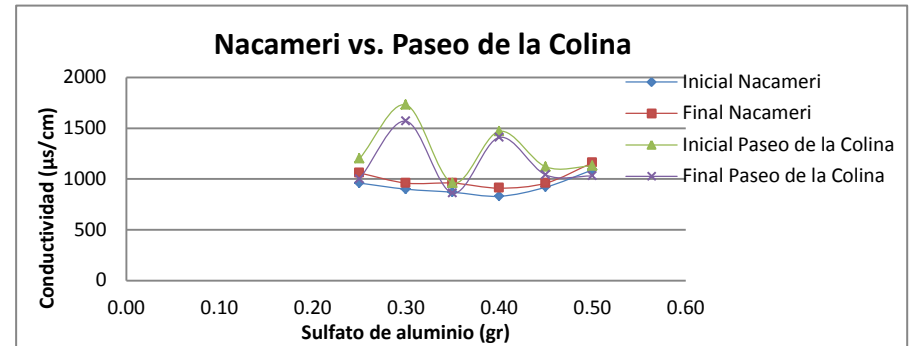
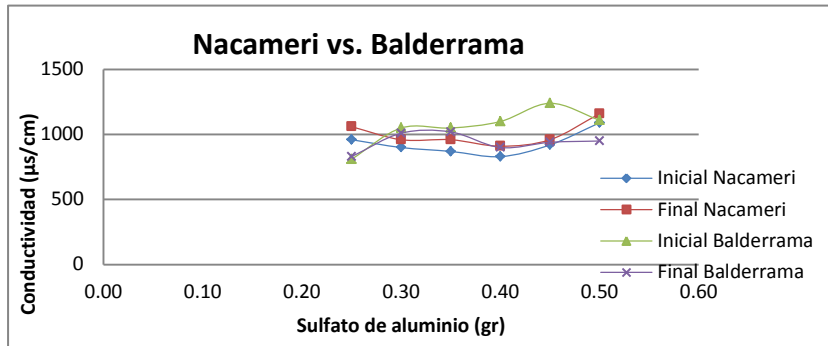
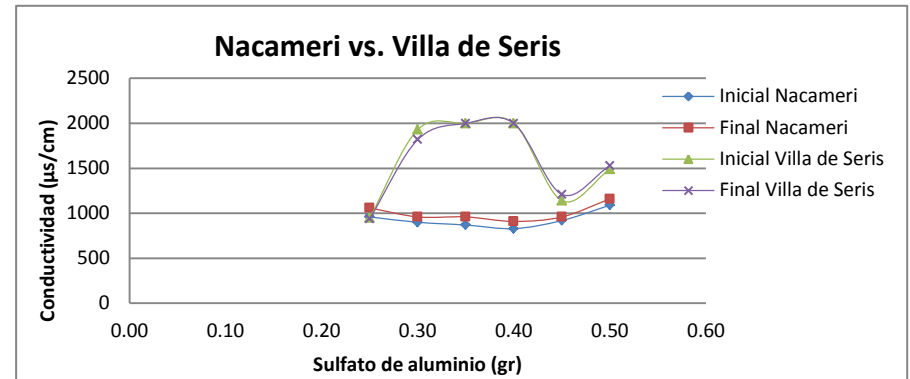
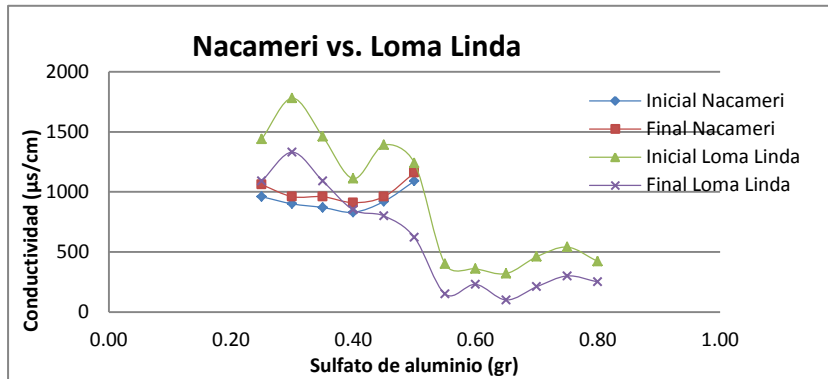




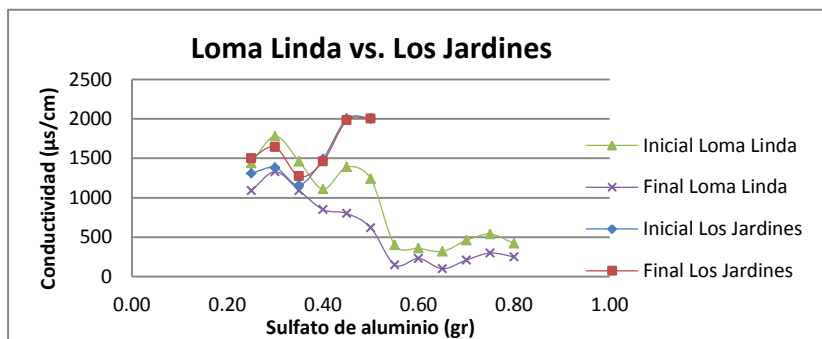
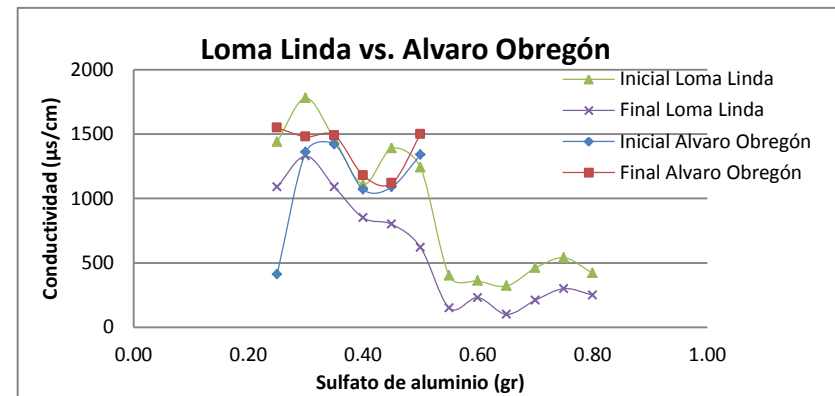
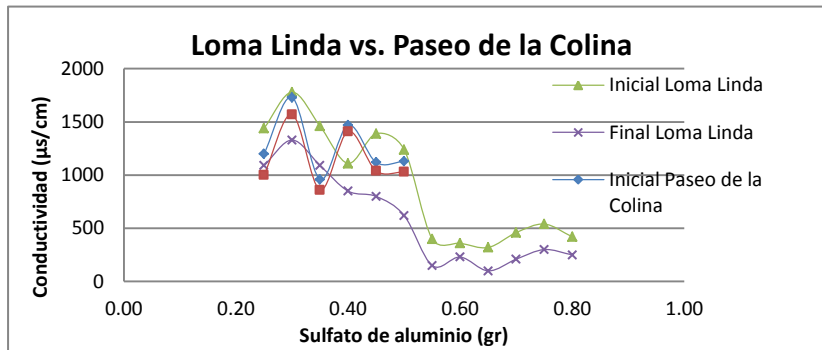
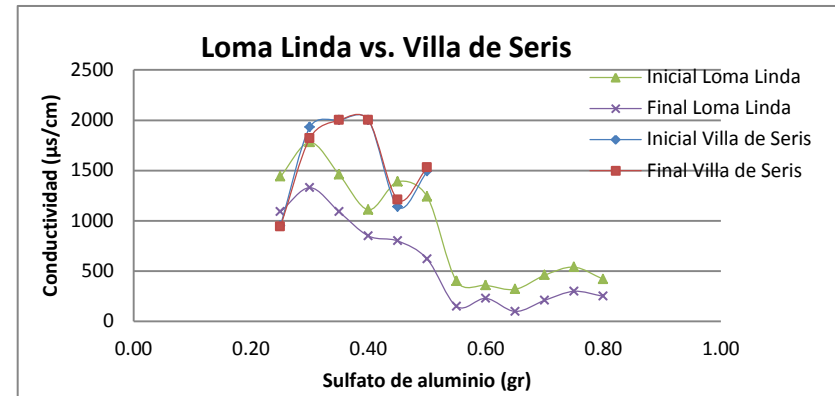
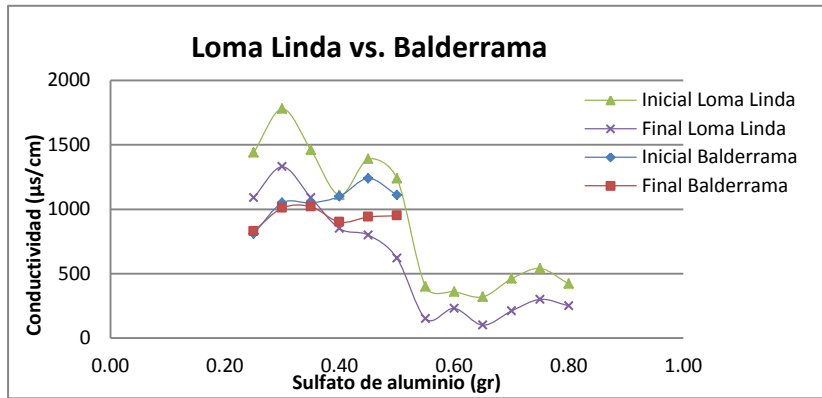
Gráficos 66. Comparación de gráficas para Conductividad Colonia Cuauhtémoc vs. Otras.



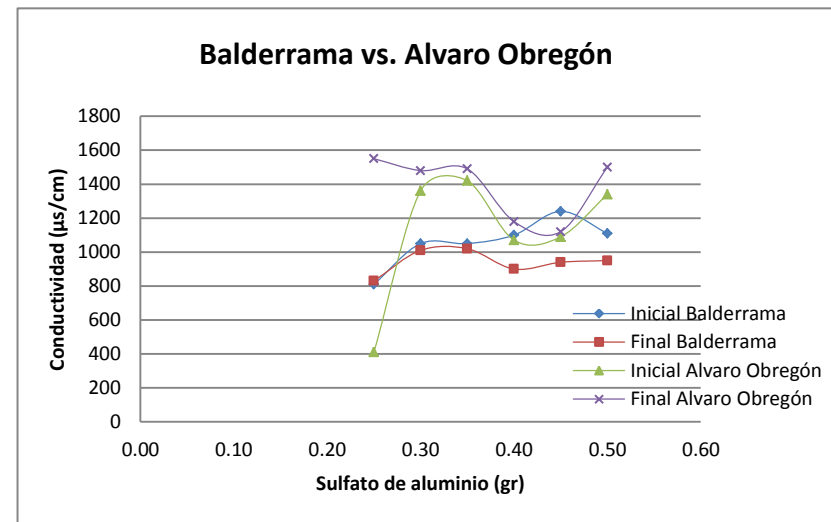
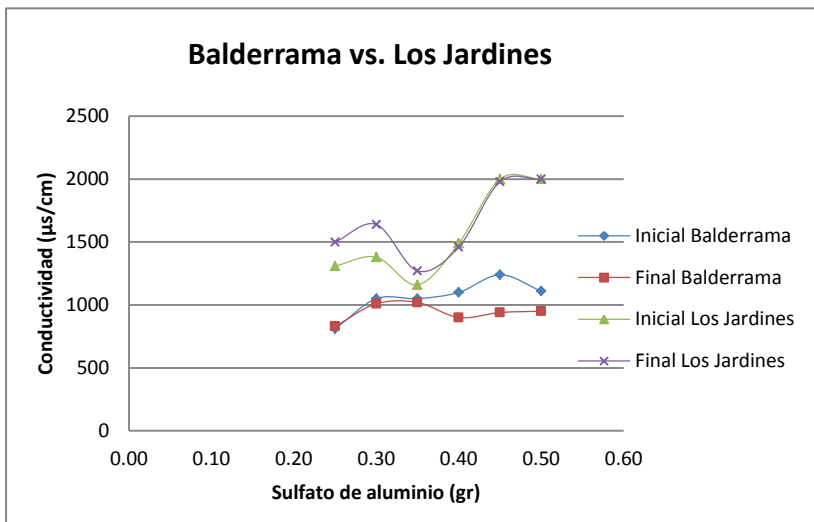
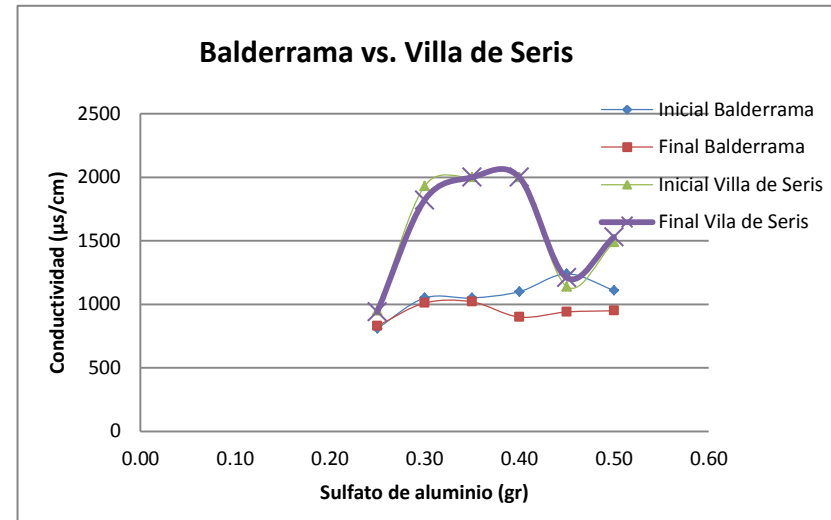
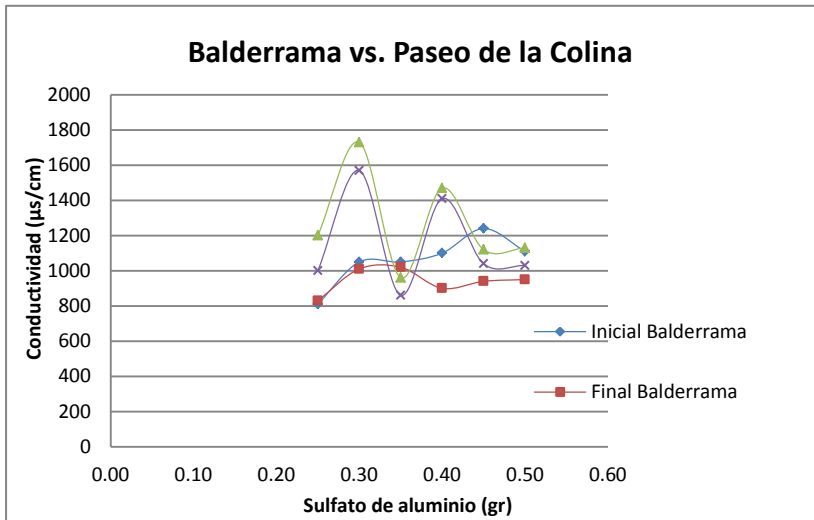
Gráficos 67. Comparación de gráficas para Conductividad Colonia Las Quintas vs. Otras.



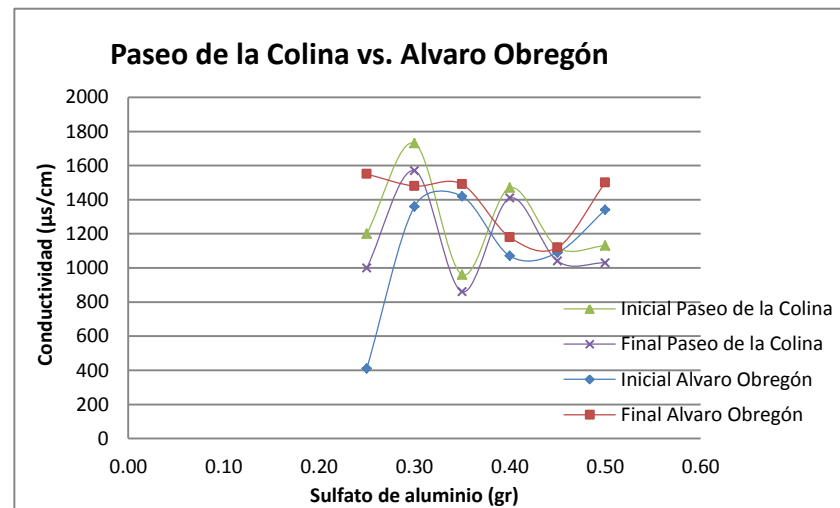
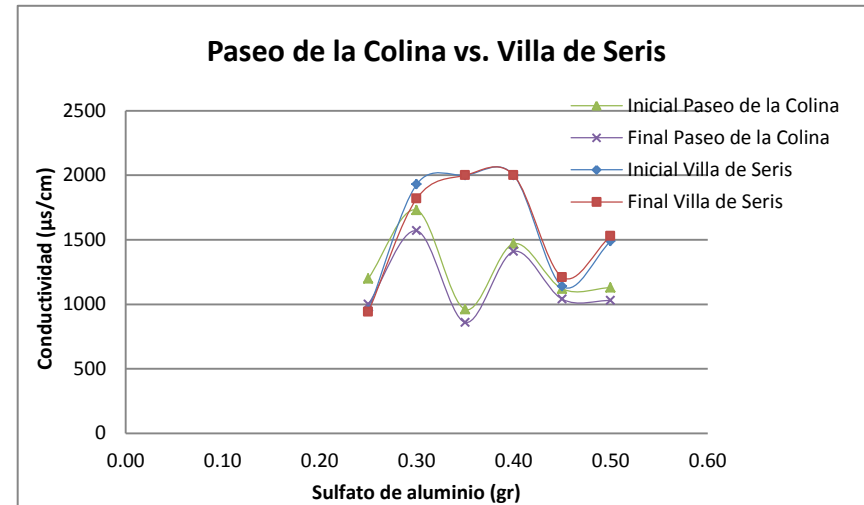
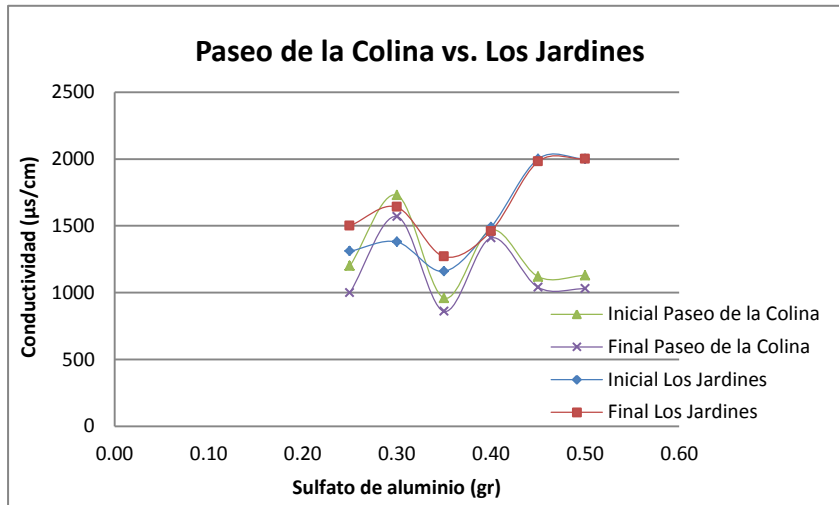
Gráficos 68. Comparación de gráficas para Conductividad Colonia Nacameri vs. Otras.



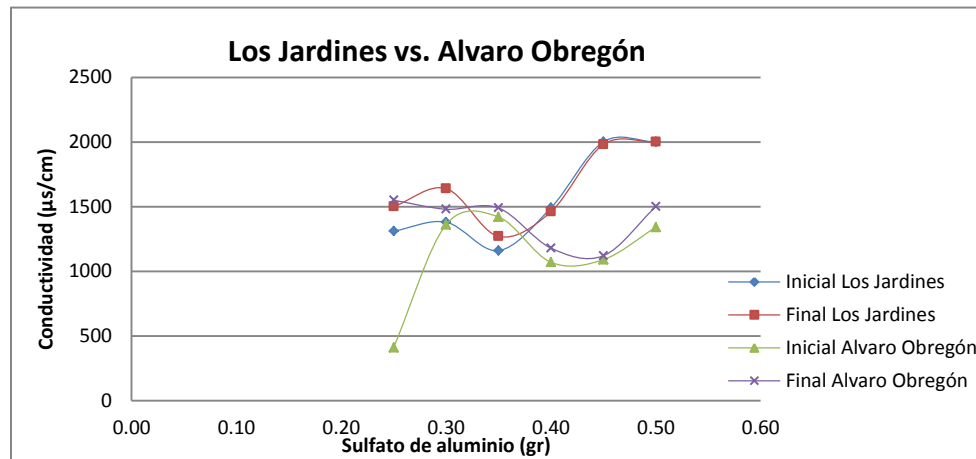
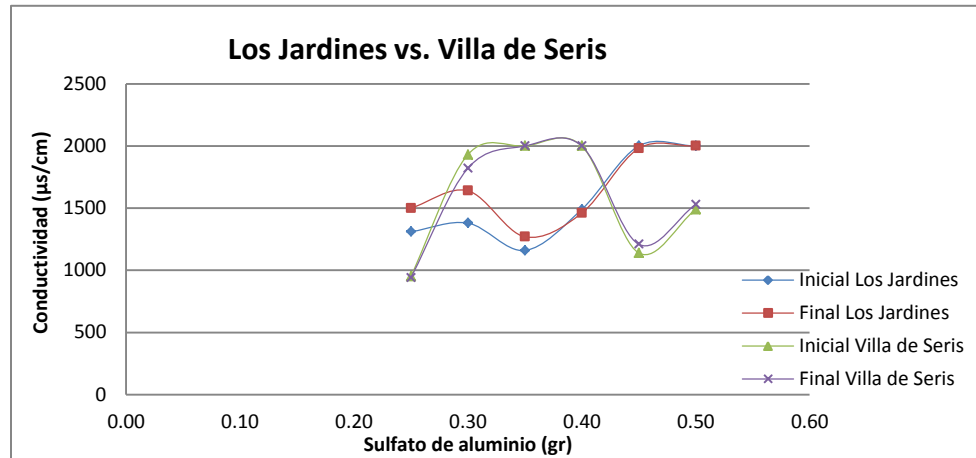
Gráficos 69. Comparación de gráficas para Conductividad Colonia Loma Linda vs. Otras.



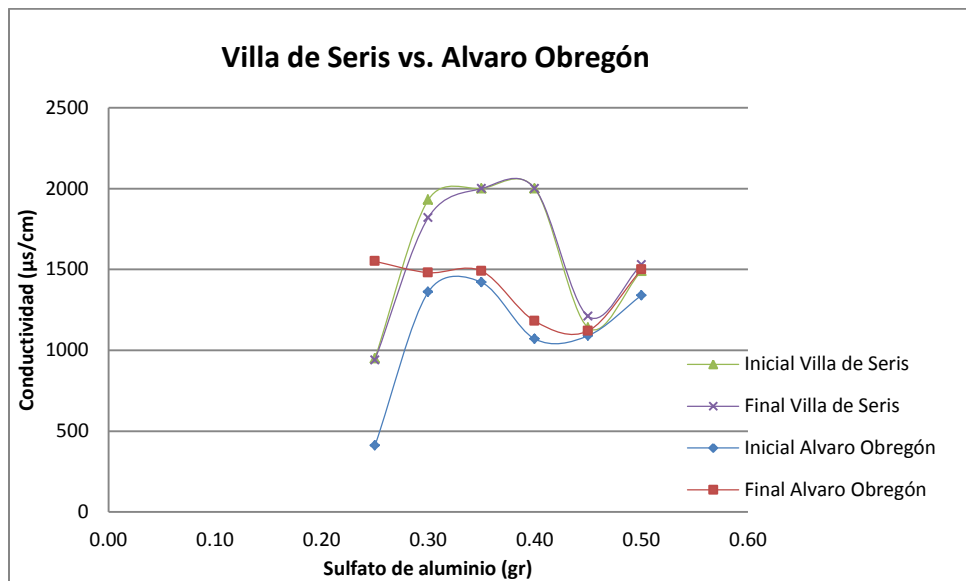
Gráficos 70. Comparación de gráficas para Conductividad Colonia Balderrama vs. Otras.



Gráficos 71. Comparación de gráficas para Conductividad Colonia Paseo de la Colina vs. Otras.

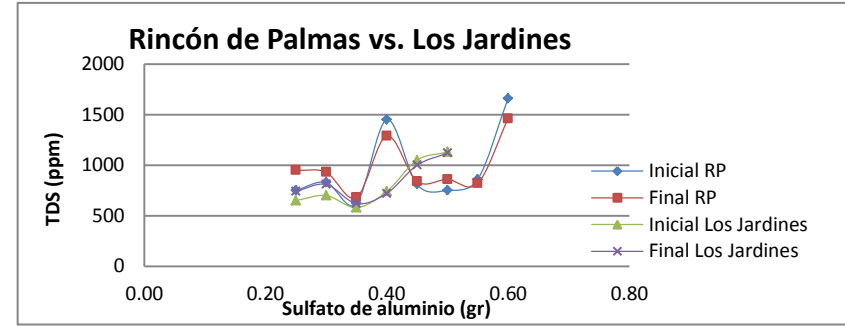
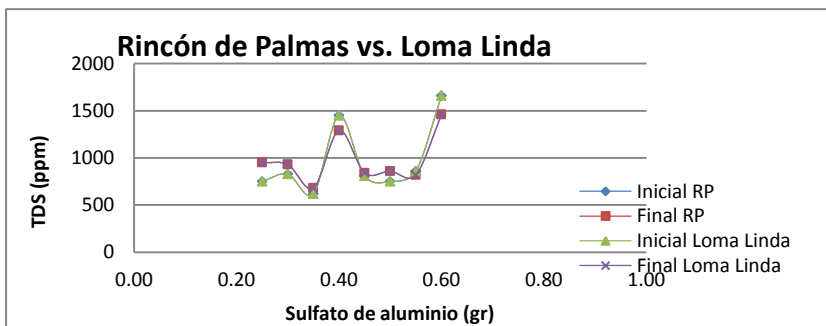
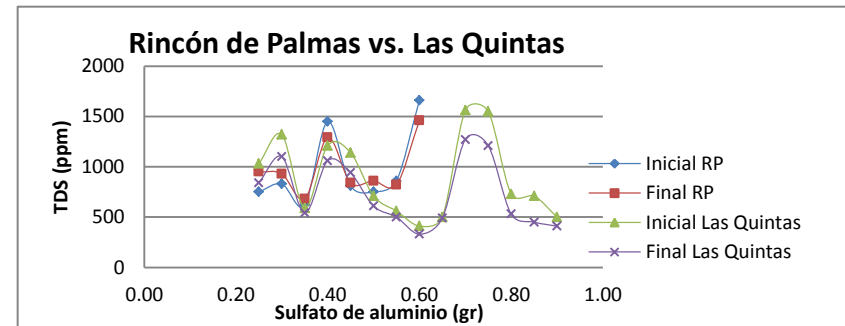
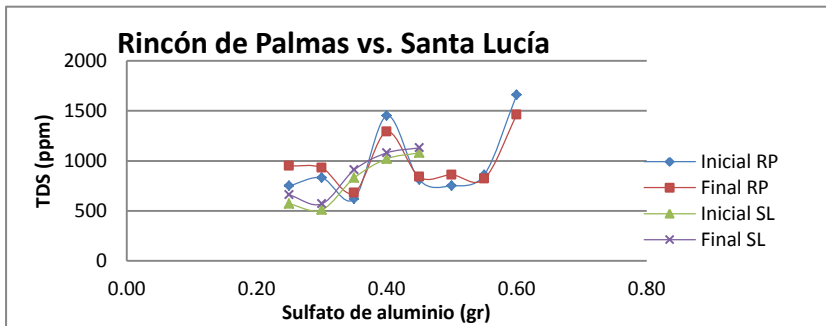
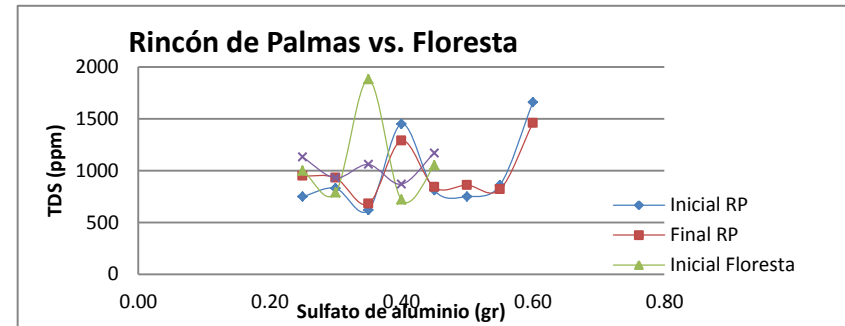
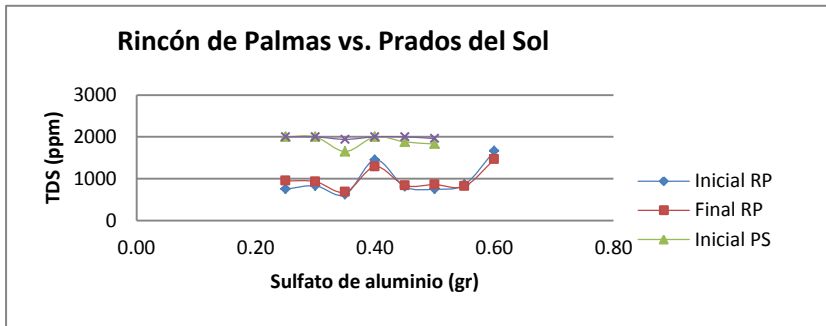


Gráficos 72. Comparación de gráficas para Conductividad Colonia Los Jardines vs. Otras.

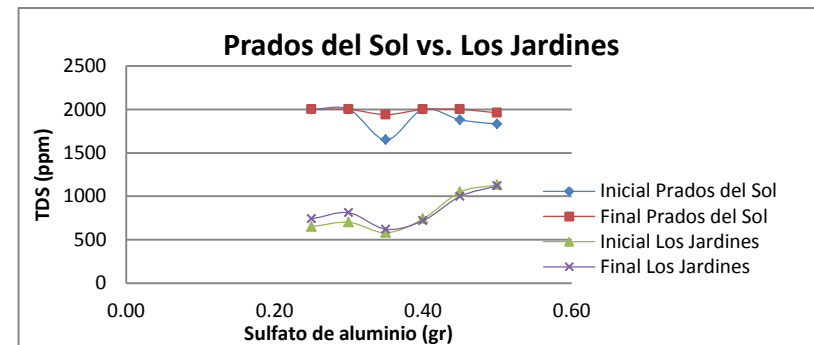
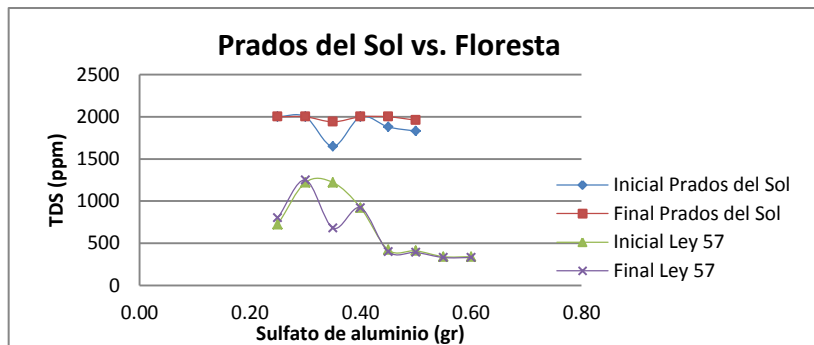
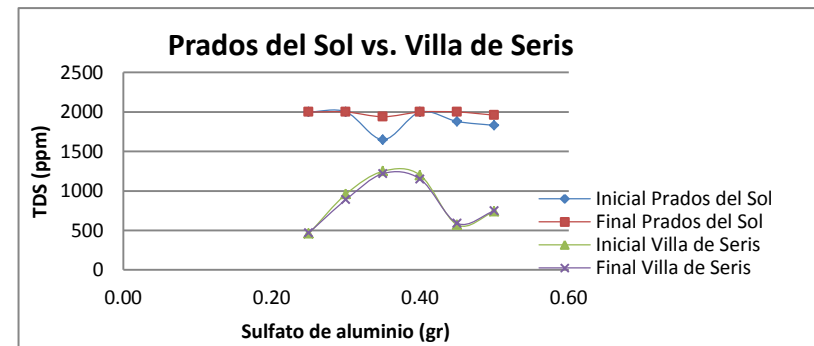
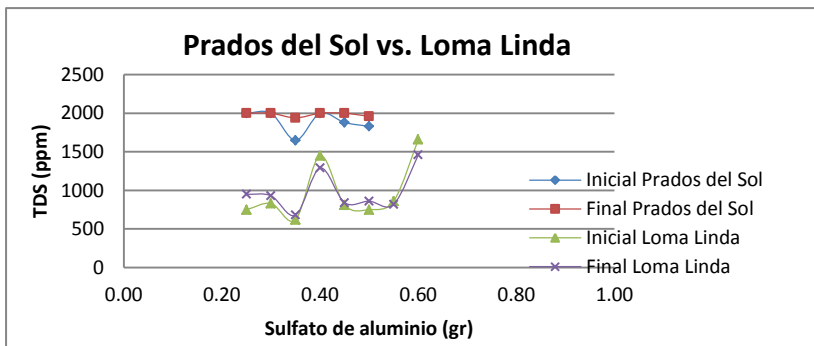
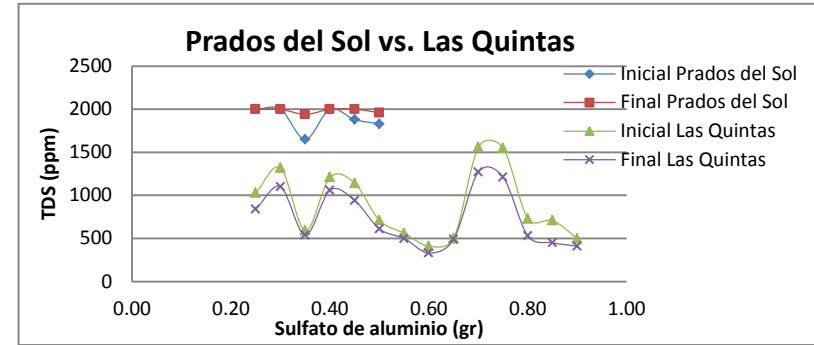
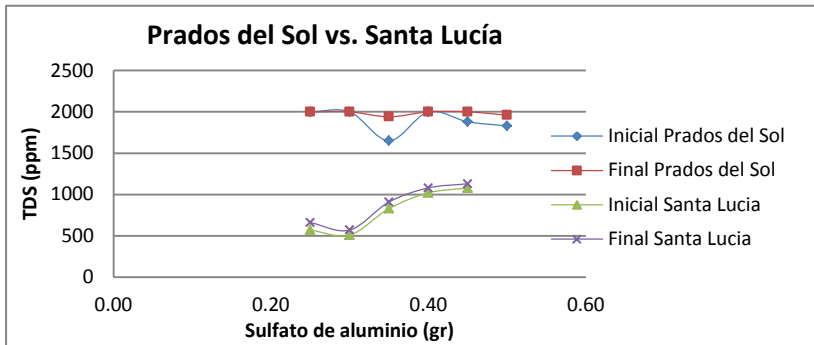


Gráficos 73. Comparación de gráficas para Conductividad Colonia Villa de Seris vs. Otras.

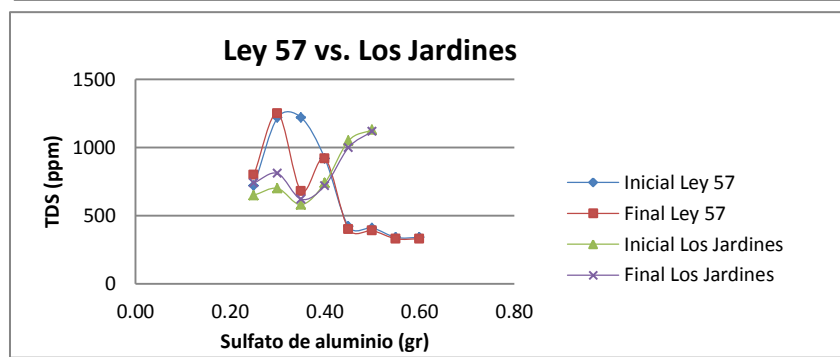
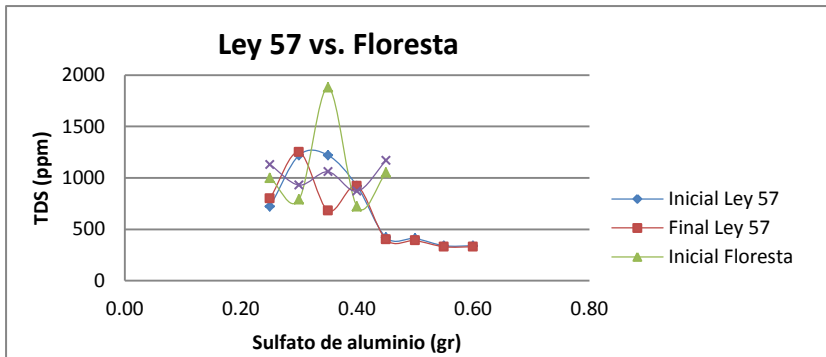
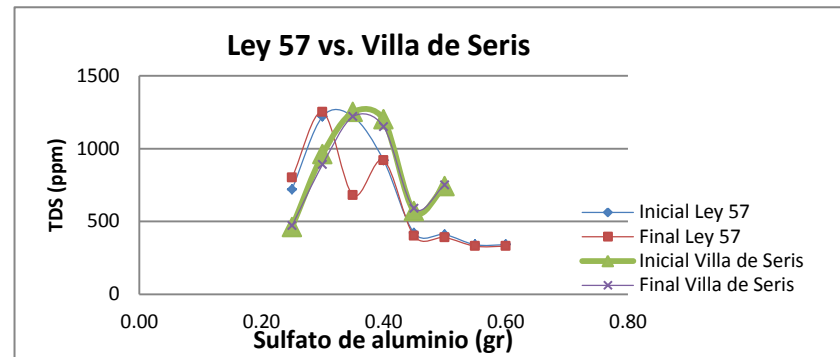
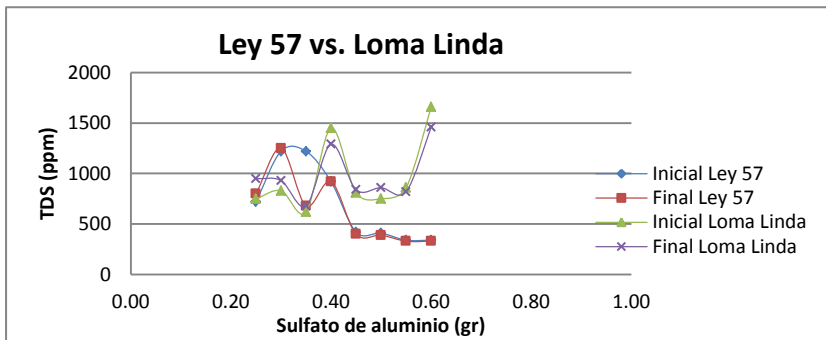
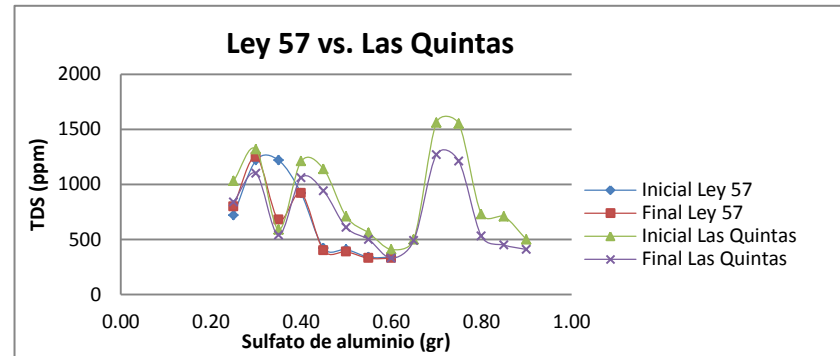
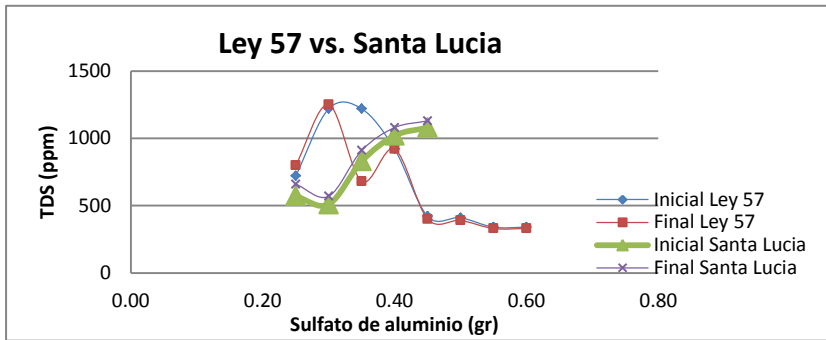




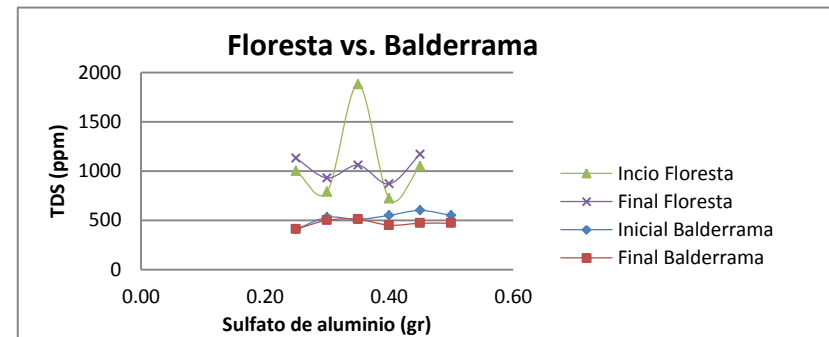
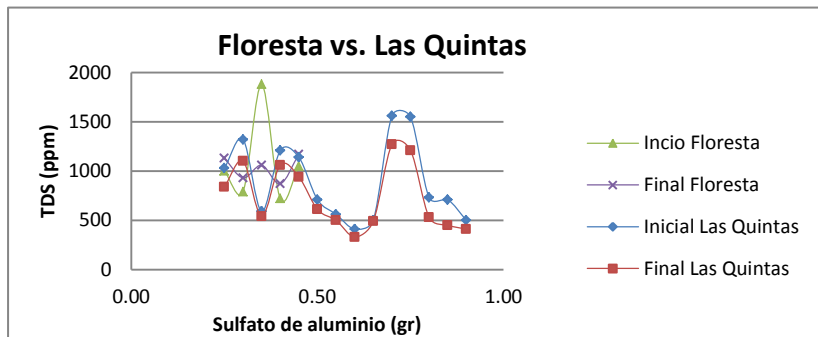
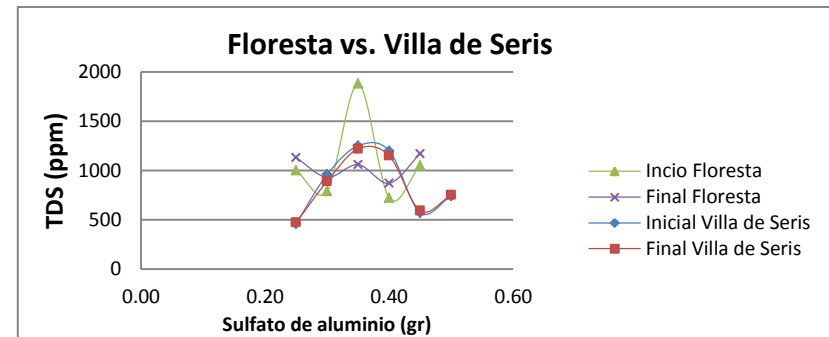
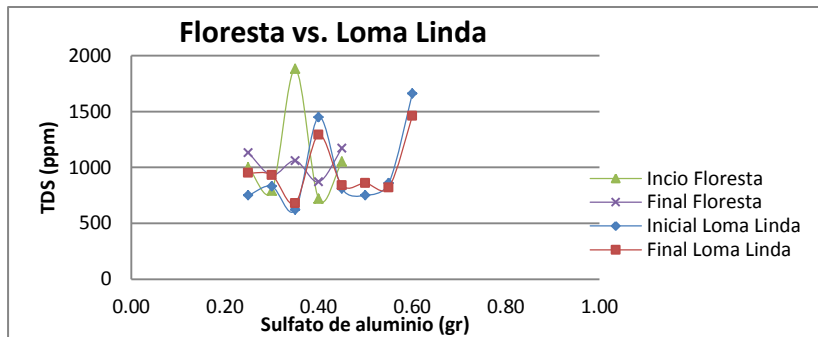
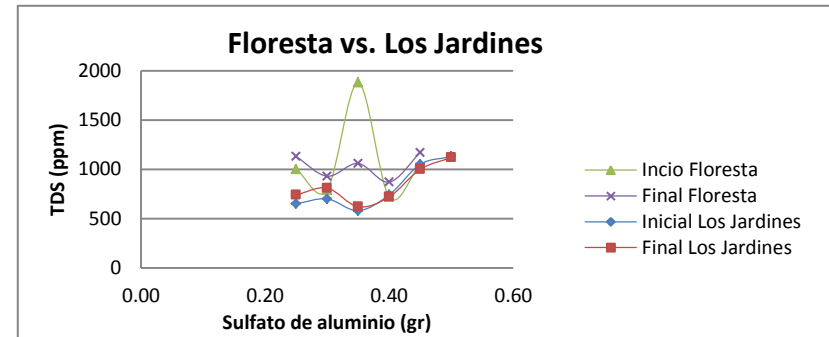
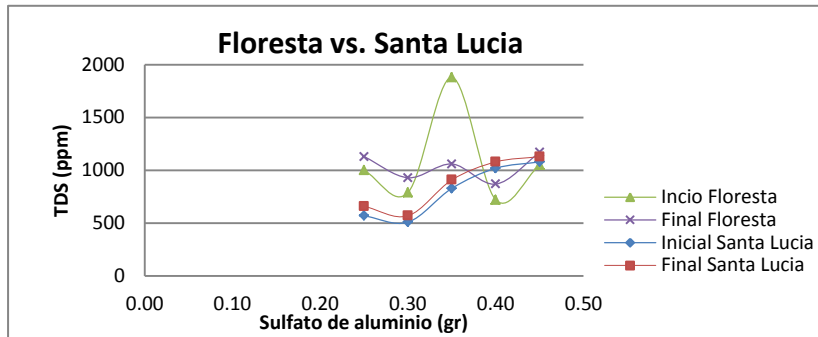
Gráficos 74. Comparación de graficas de TDS Colonia Rincón de Palmas vs. Otras.



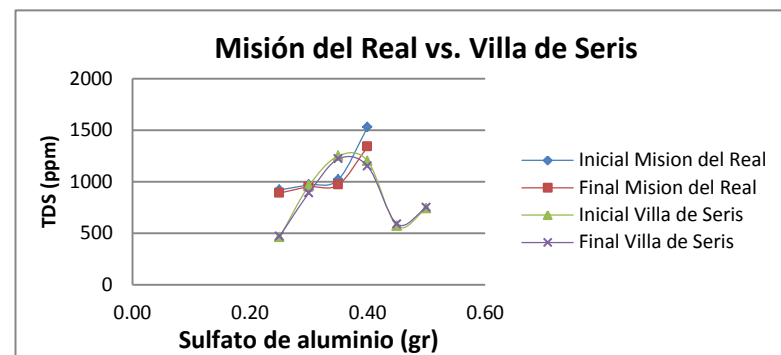
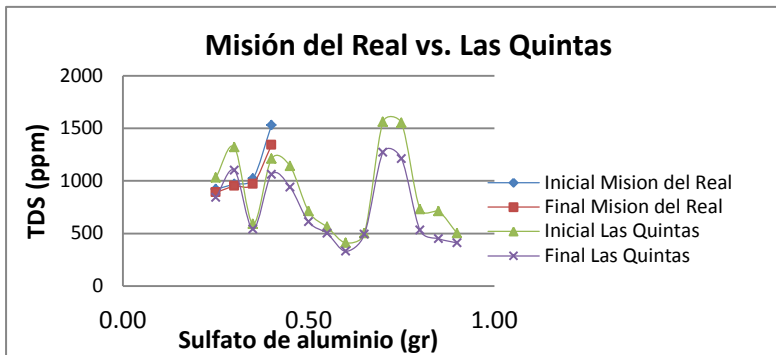
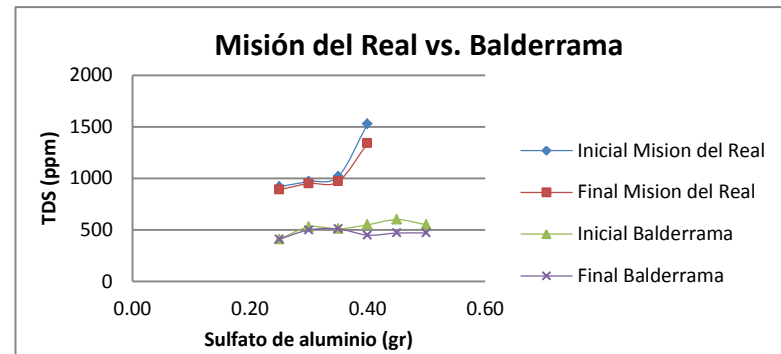
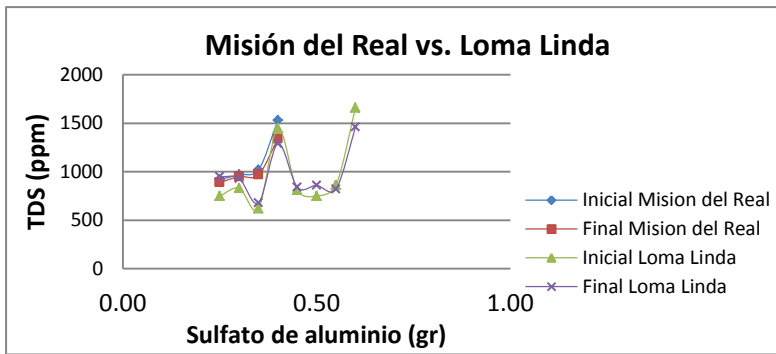
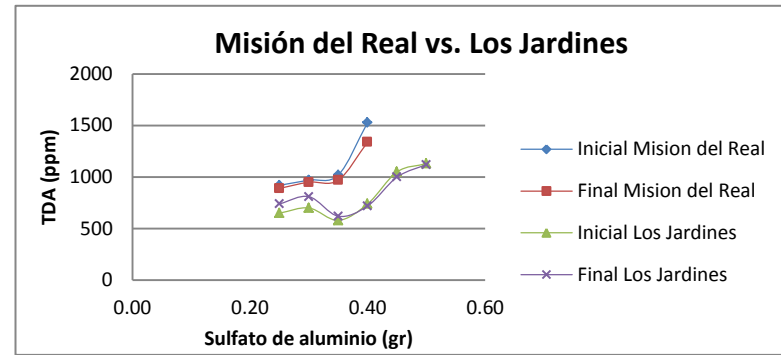
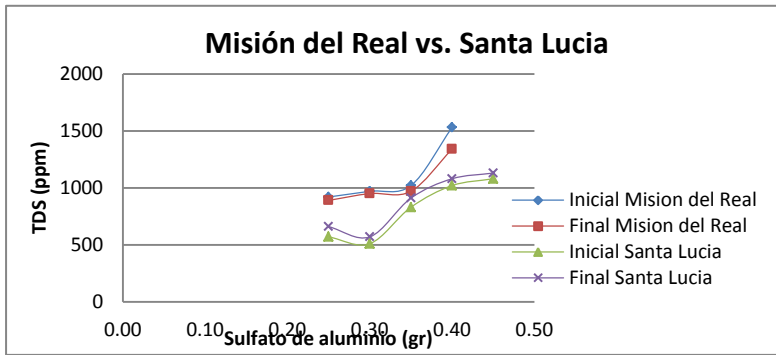
Gráficos 75. Comparación de graficas de TDS Colonia Prados del Sol vs. Otras.



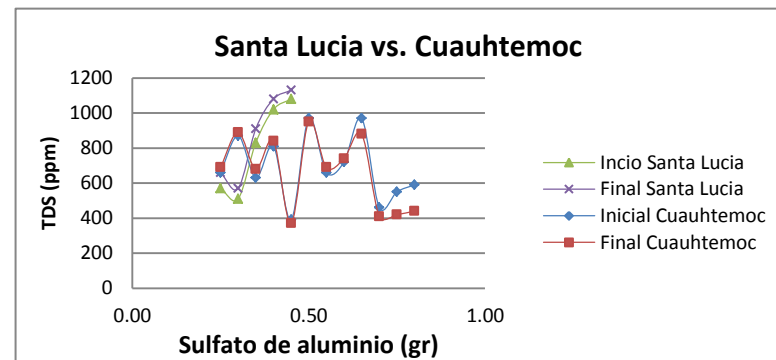
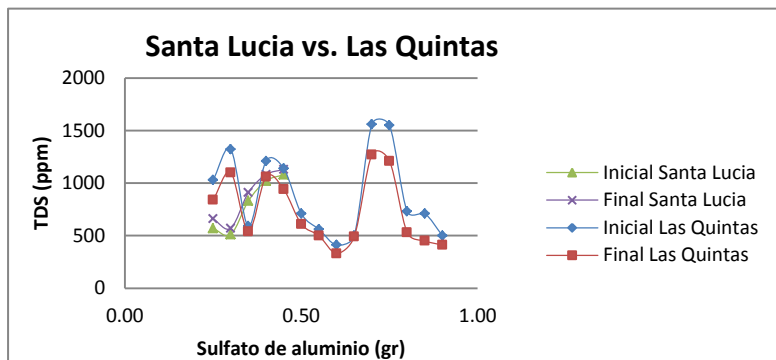
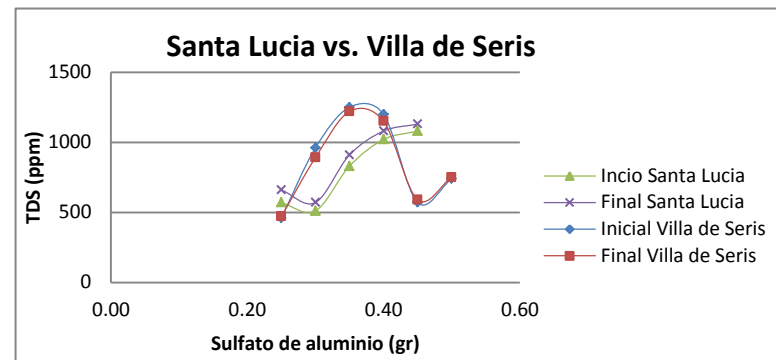
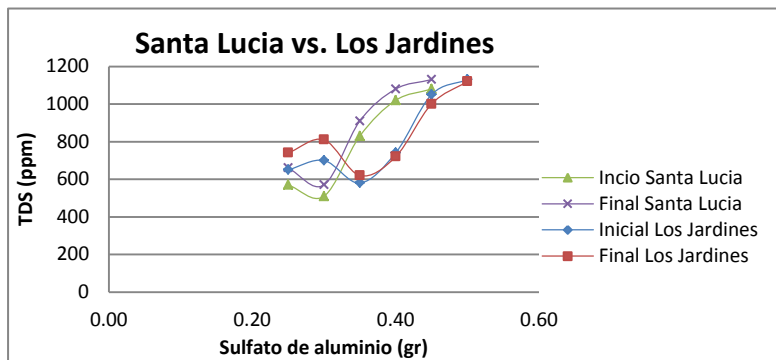
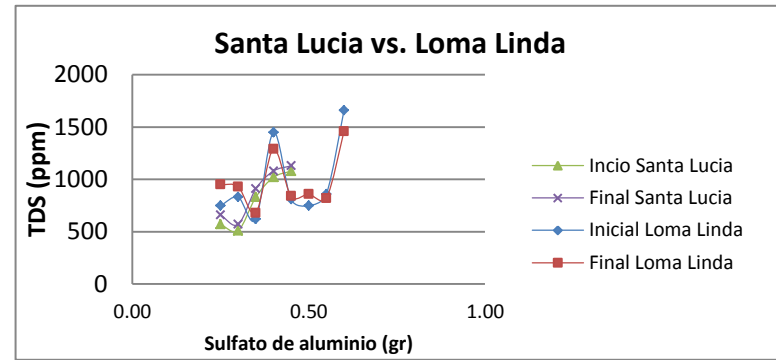
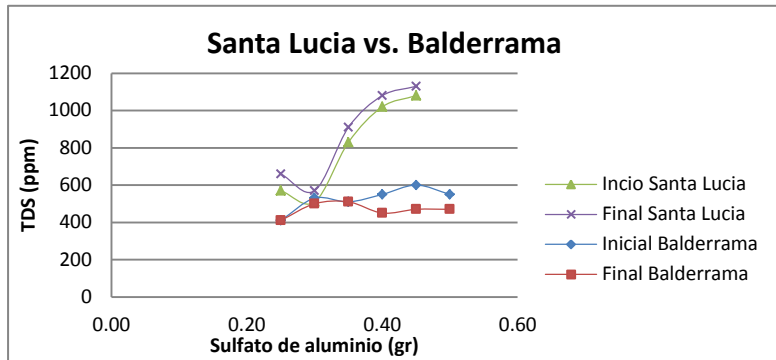
Gráficos 76. Comparación de graficas de TDS Colonia Ley 57 vs. Otras.



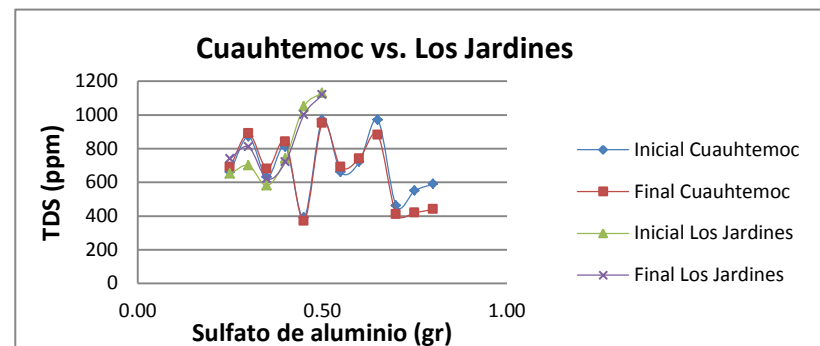
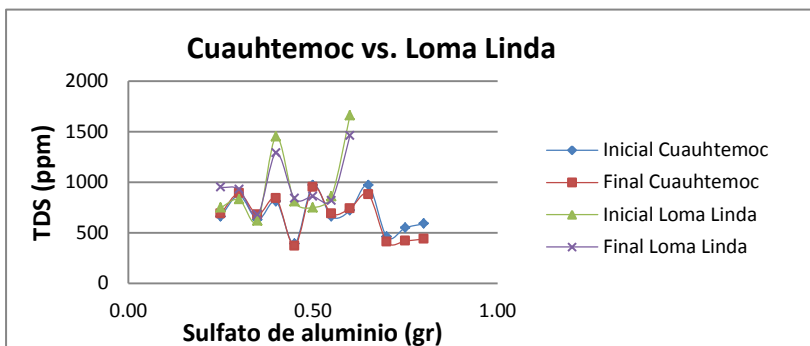
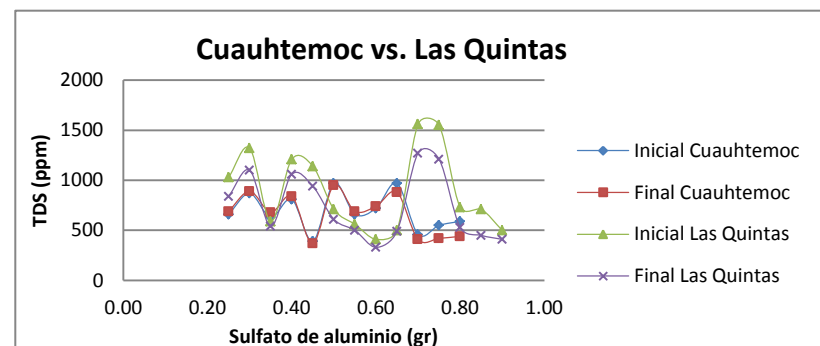
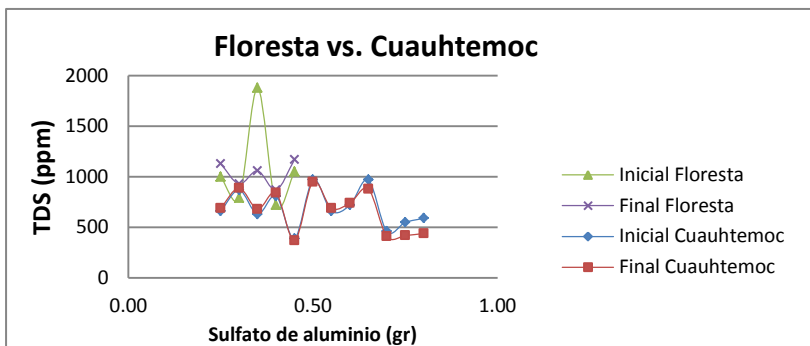
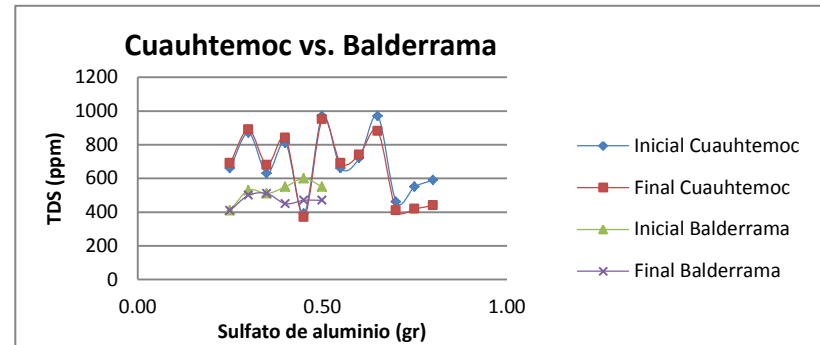
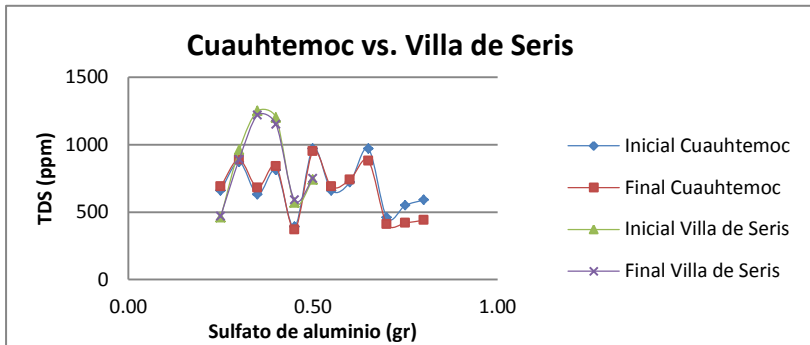
Gráficos 77. Comparación de graficas de TDS Colonia Floresta vs. Otras.



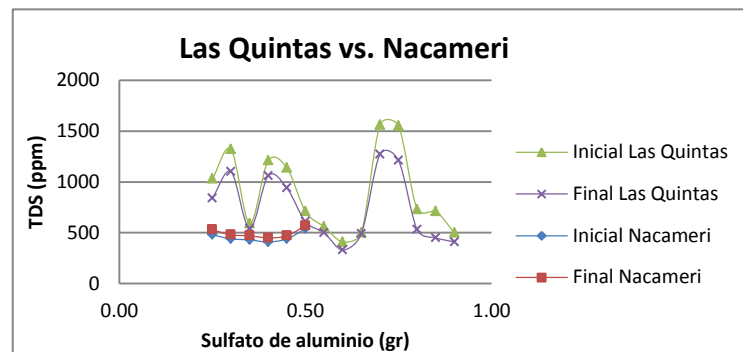
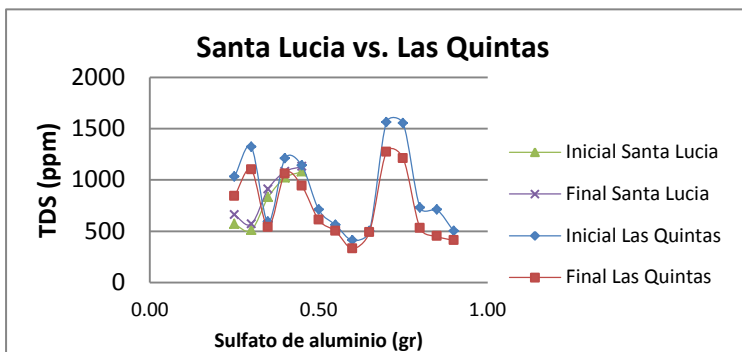
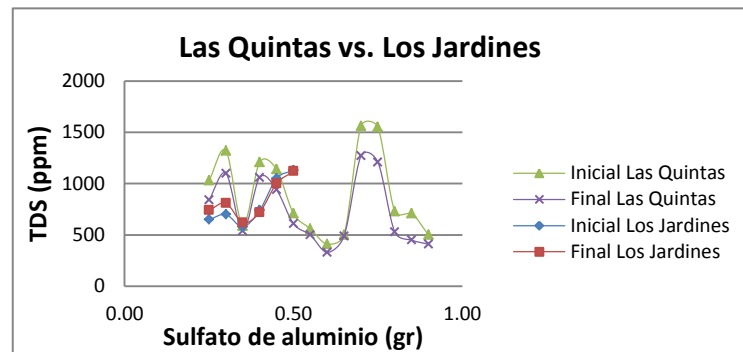
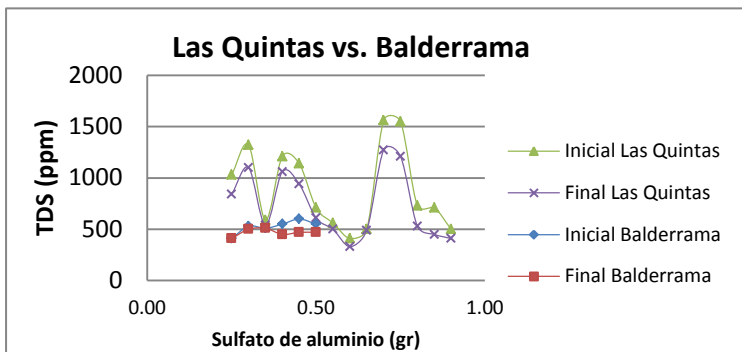
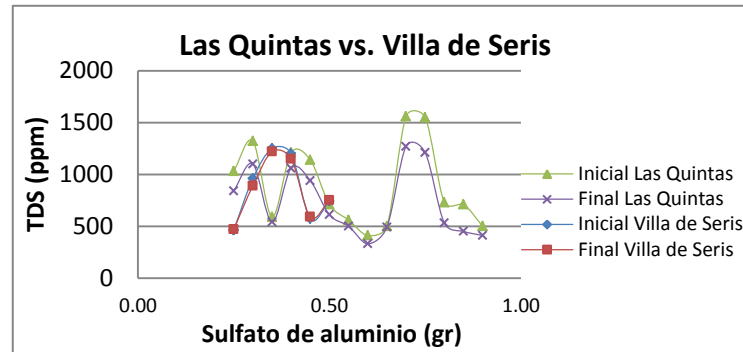
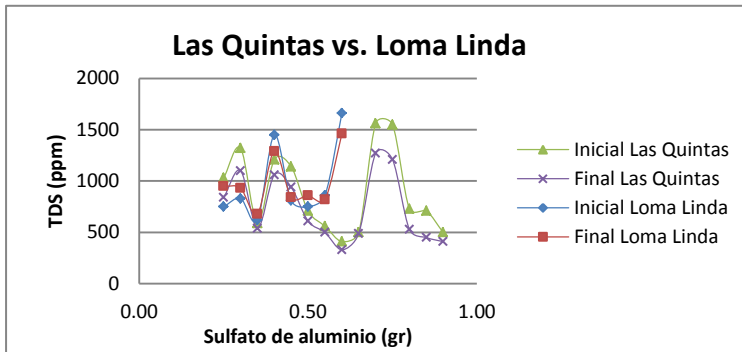
Gráficos 78. Comparación de graficas de TDS Colonia Misión del Real vs. Otras.



Gráficos 79. Comparación de graficas de TDS Colonia Santa Lucía vs. Otras.

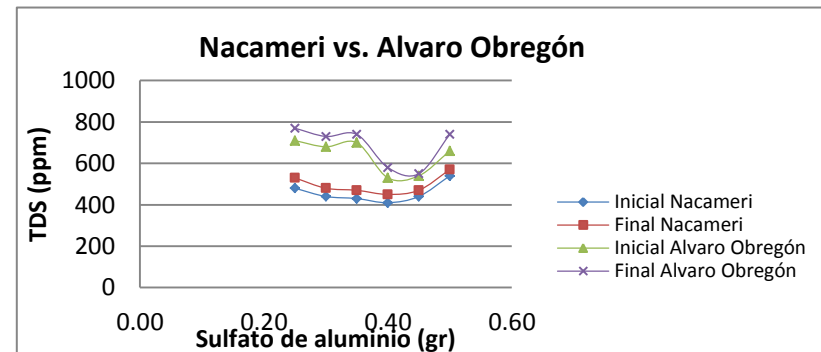
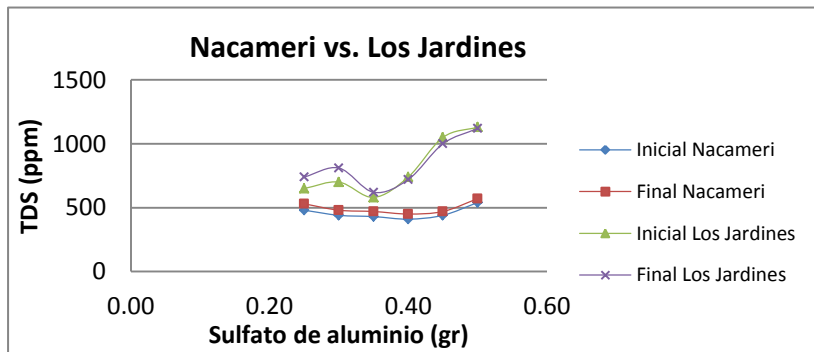
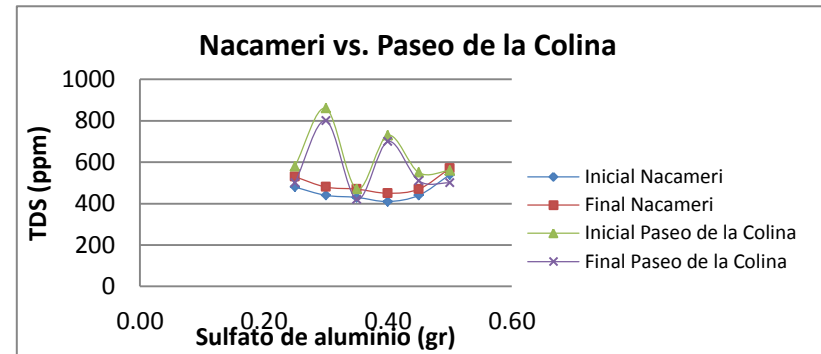
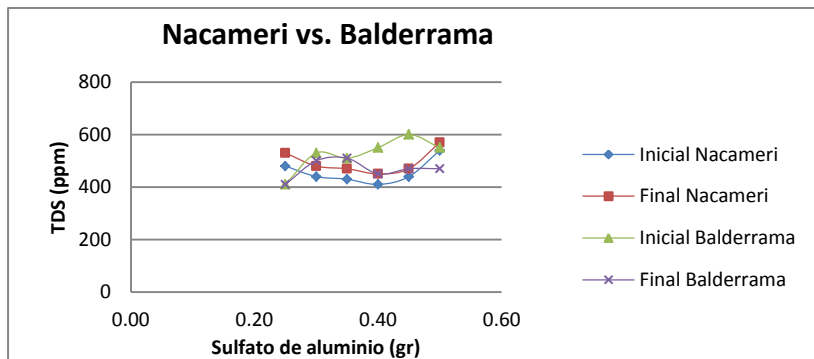
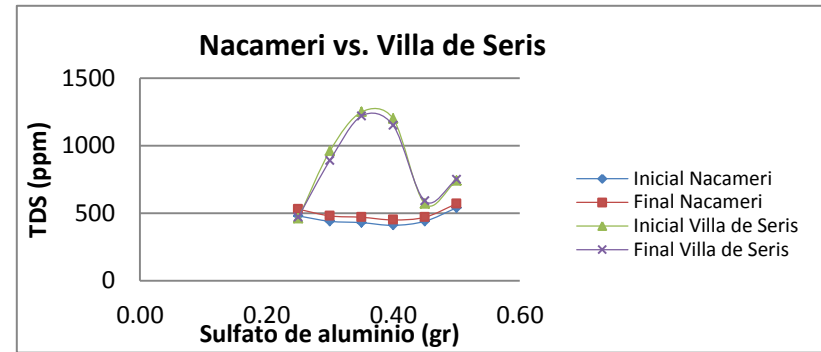
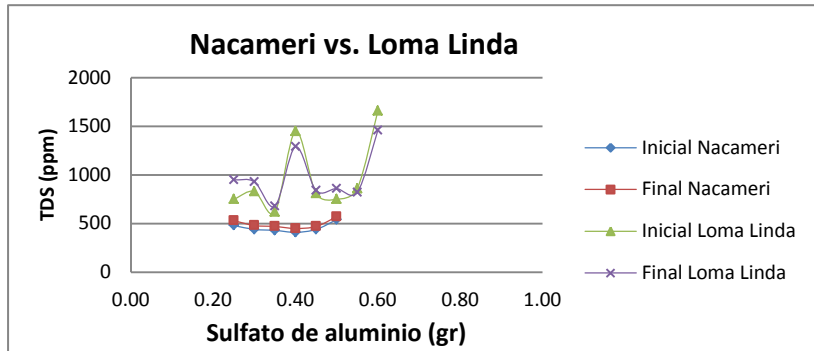


Gráficos 80. Comparación de graficas de TDS Colonia Cauhtémoc vs. Otras.

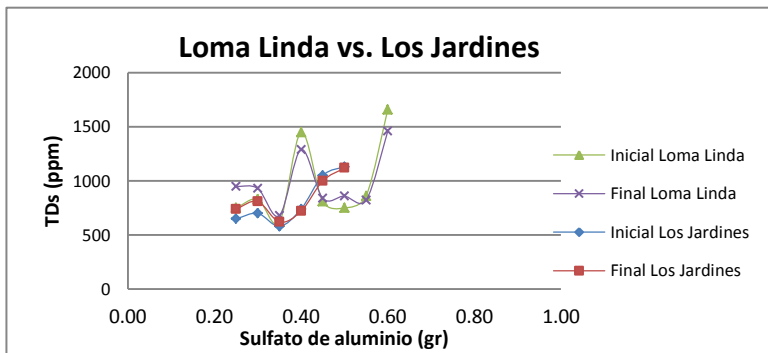
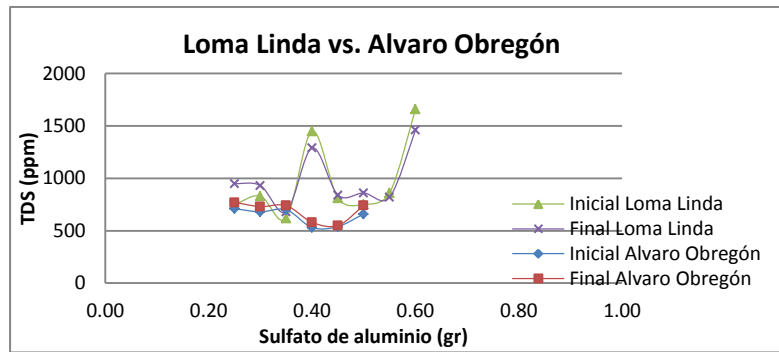
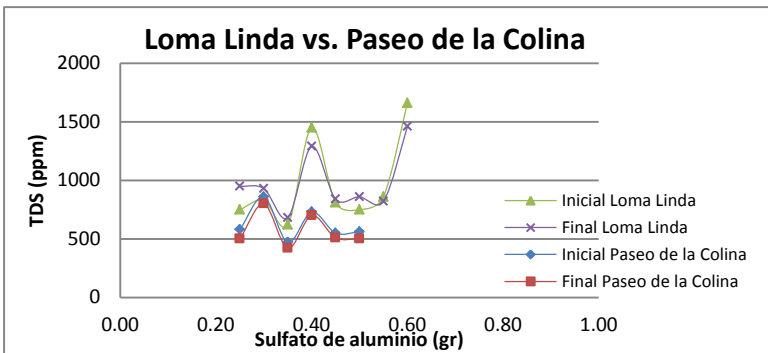
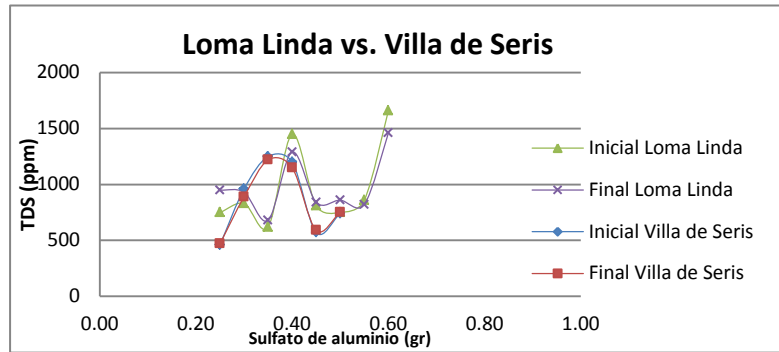
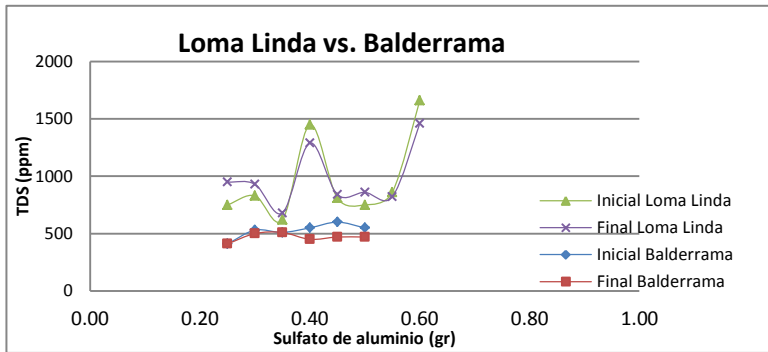


Gráficos 81. Comparación de graficas de TDS Colonia Las Quintas vs. Otras.

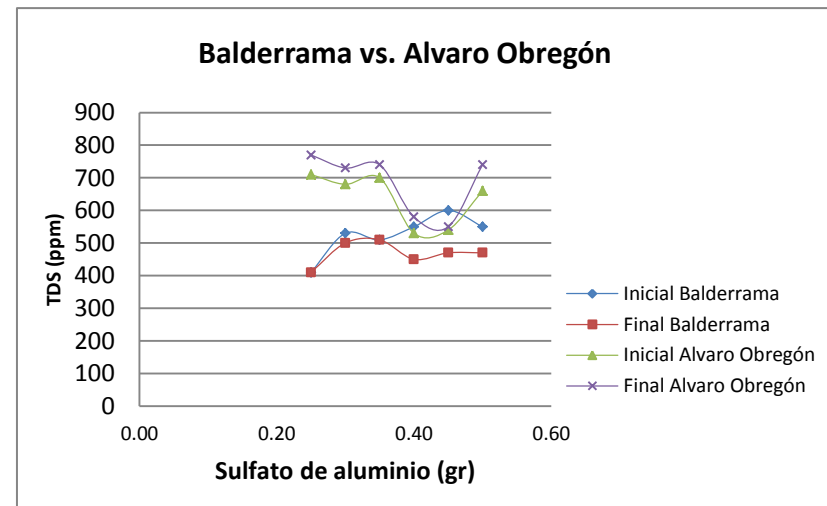
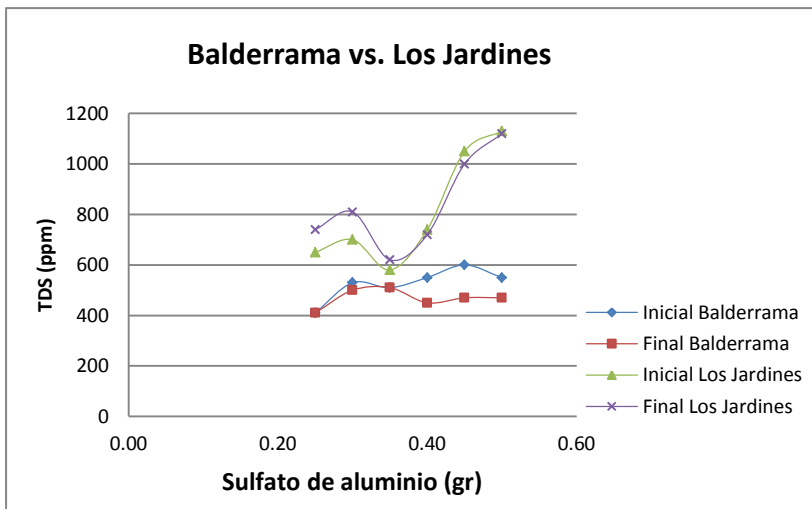
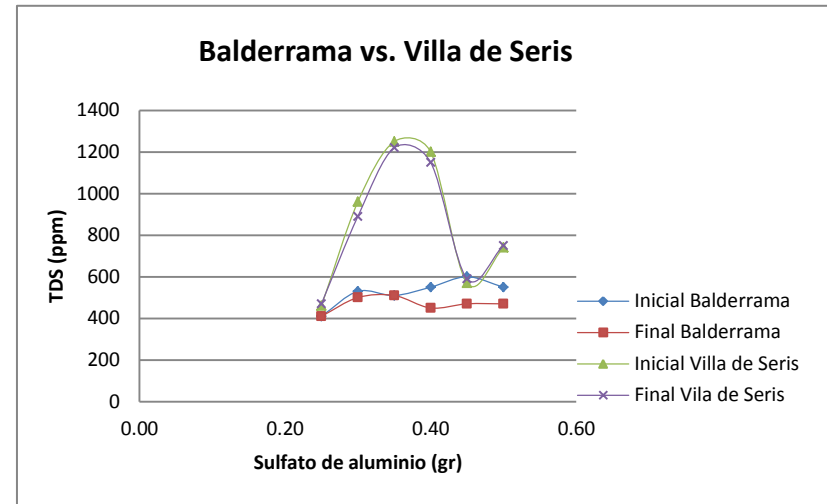
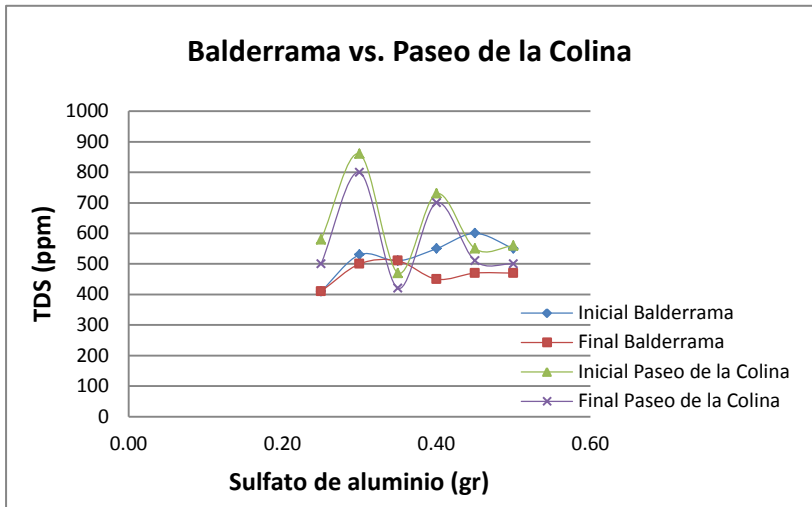




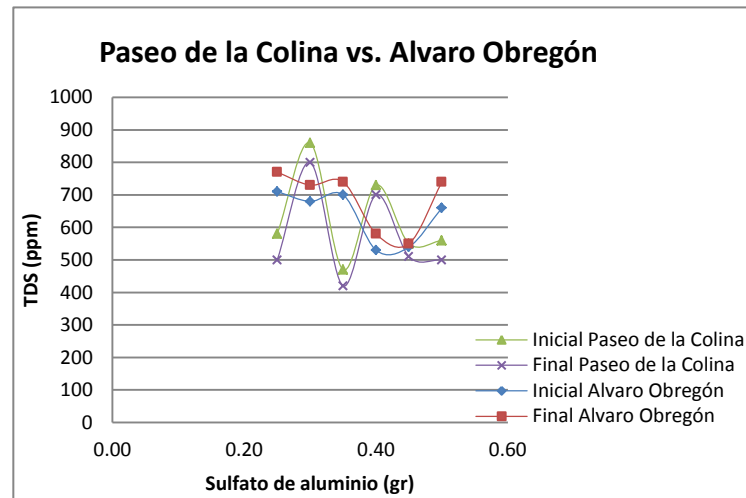
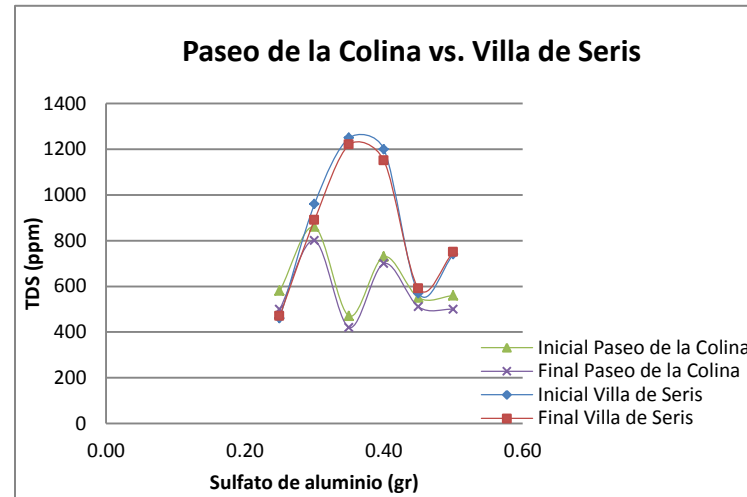
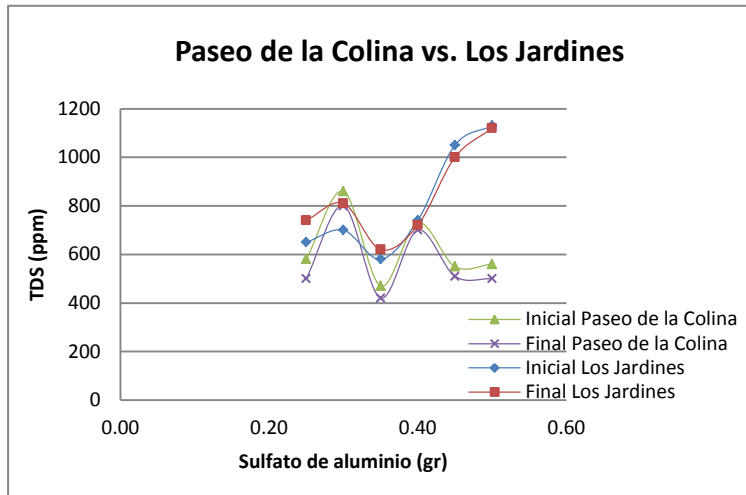
Gráficos 82. Comparación de graficas de TDS Colonia Nacameri vs. Otras.



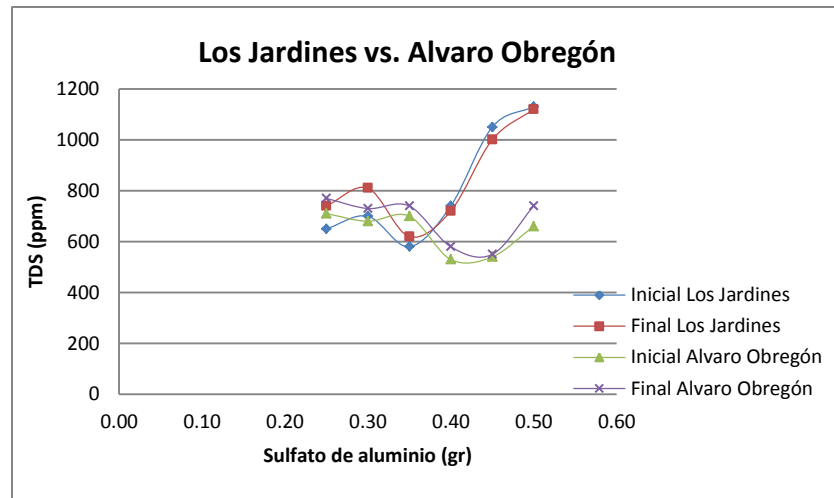
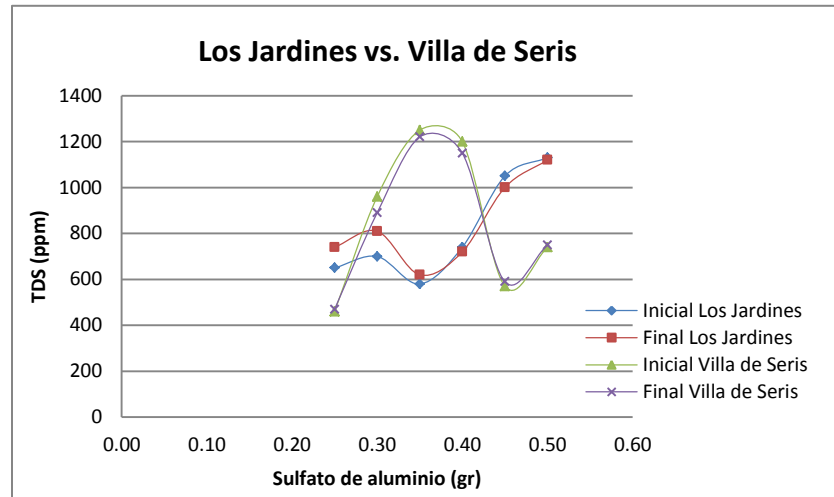
Gráficos 83. Comparación de graficas de TDS Colonia Loma Linda vs. Otras.



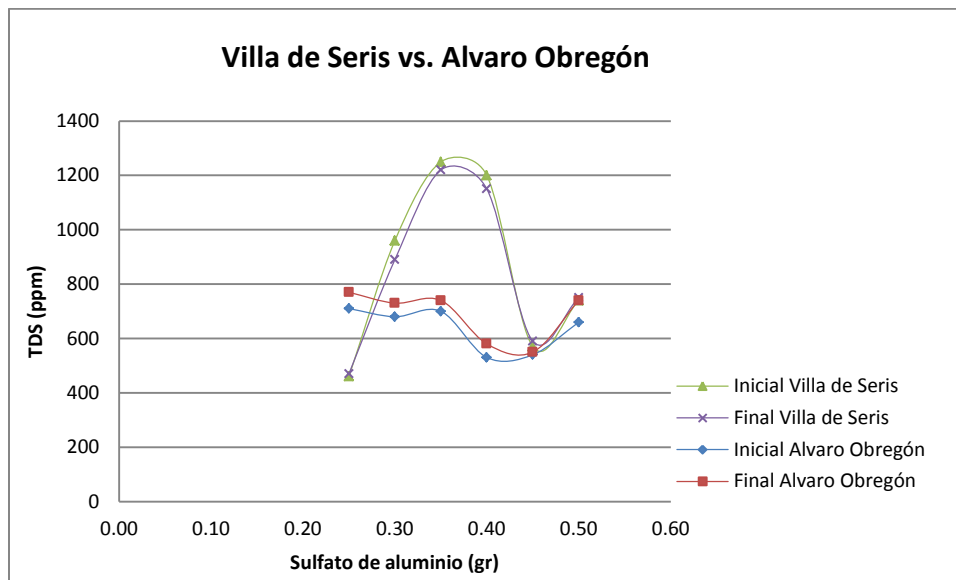
Gráficos 84. Comparación de graficas de TDS Colonia Balderrama vs. Otras.



Gráficos 85. Comparación de graficas de TDS Colonia Paseo de la Colina vs. Otras.



Gráficos 86. Comparación de graficas de TDS Colonia Los Jardines vs. Otras.



Gráficos 87. Comparación de graficas de TDS Colonia Villa de Seris vs. Otras.

## 11 Interpretación de resultados

En las gráficas anteriores se establecen puntos en los cuales en algunos casos se encuentran alejados unos con respecto a otros, en algunas ocasiones se acercan con gran frecuencia y en otras se intersectan. Esto sirve para establecer hipótesis con respecto al agua residual para ser utilizada de nuevo, es decir, predecir la composición posible que puede tener el líquido con respecto a su acidez y alcalinidad, considerando los materiales que domésticamente le han proporcionado tales características. De acuerdo a los alimentos, suciedad, jabones y detergentes, que originan las características de las aguas que se sometieron a análisis, se observa que es lo que ocasiona su estado ácido o alcalino y que dosis serían las más convenientes de establecerse. Las aguas tratadas dan puntos donde diferentes dosis del químico, pueden proporcionar un fluido para ser utilizado en diferentes actividades domésticas. Lo anterior sugiere, por ejemplo, si se utilizan aguas para riego de planta, estas dependiendo de su tipo podrán ser regadas con aguas alcalinas y/o ácidas. De igual forma, para el aseo de utensilios domésticos podrán usarse aguas con distintas dosis y así, para cualquier otra actividad que pudiera ser, lavado de patios y autos, riego de jardinería diversa, uso en sanitarios, etcétera. El análisis de cada gráfica proporciona información hipotética sobre el contenido antes y después de las dosis de coagulante-floculante y sus posteriores usos. Se hace la aclaración que de los datos obtenidos se pueden concluir situaciones particulares y generales con respecto a la utilización del agua.

## **12 Propuesta para la utilización de los datos en el diseño de un prototipo para el tratamiento de aguas residuales.**

De acuerdo a las metodologías establecidas en las normas: NMX-AA-008-SCFI-2000, NMX-AA-093-SCFI-2000, NMX-AA-034-SCFI-2001, y NMX-AA-038-SCFI-2001 de las variables: pH, conductividad, TDS, salinidad y turbidez, respectivamente, se propone escalar un equipo para tratar las aguas residuales domésticas. El proceso consistiría, para uso en casa habitación de tres recipientes con capacidad cada uno para procesar cien litros de agua cada uno por un método de lotes (BATCH). El primer recipiente sería cilíndrico y vertical con un agitador central que se opera manualmente, en el citado recipiente se añaden cien litros de agua residual y la cantidad correspondiente de Sulfato de Aluminio y se procede a seguir el método aplicado en el presente trabajo. Enseguida después de un determinado reposo el agua pasara a un segundo recipiente el cual también tiene las mismas dimensiones que el anterior, con un agitador central y se le añadirán una porción determinada de cloro comercial y se agitará de igual manera dejándose reposar por un tiempo determinado. Posteriormente después de transcurrido un tiempo el Agua podrá ser utilizada de nueva cuenta en algunos servicios de la vivienda, exceptuando el consumo humano directo. El agua finalmente puede ser almacenada en un tercer recipiente cilíndrico y vertical que puede tener la misma capacidad de los anteriores (200 litros) y si se realizan diferentes tratamientos por lotes el agua producto podrá ser almacenada en diferente número de recipientes. El uso más común y de gran beneficio sería utilizar el agua en ciertas cantidades para aseo de patios, riego de jardín, lavado de utensilios, y otros, dependiendo de la calidad de agua que se obtenga. Lo anterior se refiere a que si se utiliza el agua del lavamanos y de artículos de cocina, pudiera utilizarse esta agua en estos mismos servicios.

Las dimensiones aproximadas (considerando no homogeneidad en las dimensiones) de los recipientes son D=54 cm y H=90 CM.



El proceso anterior puede ser promovido ya sea por familias o por colonias para que de manera económica y sencilla se trate el agua residual para reutilizarse en otros servicios, obteniéndose con ello un ahorro sustancial.



Figura 7. Ilustración del equipo experimental a escala para el sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas (TARD).

Consta de un recipiente receptor de las aguas residuales con agitador manual y un depósito para proveer del coagulante-floculante, enseguida se encuentra un recipiente para realizar la posible clorinación, y finalmente un recipiente de almacenamiento del agua tratada.

### **13 Conclusiones y recomendaciones**

1. El sulfato de aluminio libre de fierro da mejores resultados económicos (porque es más fácil de conseguir en el mercado, cuesta menos)
2. El coagulante-floculante tiene mayor efectividad conforme se incrementa el tiempo de reposo del agua muestreada.
3. Entre mayor sea el tiempo de asentamiento mayor es la cantidad de sólidos en suspensión que se precipitan.
4. La cantidad de Sulfato de aluminio varia directamente proporcional con la cantidad de solidos depositados en el fondo y el tiempo de asentamiento.
5. Dado el origen de las aguas (lava trastes y lavamanos) la salinidad por lo general, se mantiene constante.
6. Las revoluciones por minuto de agitación son independientes con y sin Sulfato de aluminio.
7. Dependiendo de la densidad de los sólidos en suspensión (residuos alimenticios, jabones y detergentes), se asentaran o flotaran.
8. De acuerdo a la calidad que se requiera del agua producto se añade el Sulfato de aluminio tratando de encontrarse la dosis óptima (no añadir poco ni añadir demasiado).
9. En los gráficos cuando existe una intersección de las curvas de comparación de las distintas variables entre las distintas colonias significa que la dosis añadida a las aguas pueden tomarse como un buen punto de referencia para la selección de la cantidad de coagulante-floculante.
10. El incremento en la dosis de coagulante-floculante no significa necesariamente que se tendrá un agua de gran calidad, esto debido a que también dependerá del tiempo de residencia, el tiempo de agitación, y el tiempo de asentamiento.
11. El agua tratada dependiendo de la calidad en función de la dosis, agitación, y tiempo de asentamiento podrá ser utilizada, ya sea para usarse en servicios al interior de casa habitación o como uso externo en jardinería, lavado de autos, regar espacios, limpieza, etc.

12. Para obtener mejores resultados de calidad es necesario realizar un mayor de número de pruebas por colonia, y por número de colonias, para observar mayor número de puntos en cada una de las variables y hacer el ajuste a una recta para observar una mejor proyección de los datos.
13. Los datos obtenidos en el presente trabajo pueden ser utilizados para un diseño sencillo y económico de sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas.
14. Si se va a emplear para contacto directo del agua tratada con las personas (contacto con la piel) se le añaden porciones adecuadas de solución clorada.
15. La dosis de cloro utilizada para semi purificar el agua de acuerdo a la literatura es de 5-20 mg/L.
16. En los puntos de intersección de los gráficos para las distintas colonias, se puede establecer la hipótesis que para las diferentes variables, las familias consumen determinados alimentos y utilizan así mismo ciertos jabones y detergentes u otros materiales utilizados en la limpieza.
17. Para las distintas dosis coagulante-floculante se puede establecer que la agitación no debe ser muy intensa ni durable debido a que la actividad de aglutinamiento de los sólidos en suspensión puede ser rotos y no permitir que se precipiten de manera rápida.
18. La mayor parte de las pruebas se infiere que el detergente utilizado y que se manifestó en las pruebas es en polvo, debido a que la mayor parte de las pruebas pertenecían a lava trastes, sin embargo, se simulo agua de lavamanos agregándole una dosis determinada de jabón con las características anteriores y lo cual dio los resultados señalados.
19. Con el tratamiento del agua propuesto en este trabajo, se puede tener un conservador ahorro de 50% en el uso del vital líquido colaborando con lo anterior a fortalecer la economía doméstica y a la vez, no sobrecargar las líneas de drenaje que pueden colapsar sobre todo en las épocas de verano.
20. Con las dosis obtenidas, se puede escalar el equipo de manera semi-comercial y comercial, es decir, para manejar volúmenes en tanques de 35 a 45 mil litros por día, para satisfacer las necesidades de 65 familias, lo cual

permitiría que una colonia fuera sectorizada en 3 o 4 partes con cuatro sistemas de agua residual doméstica.

21. Con la metodología presentada aquí para el análisis de las aguas se pueden continuar otro tipo de trabajos, no solo con aguas residuales domésticas, sino con aguas que tengan efluentes de otra naturaleza, como desechos comerciales e industriales, agrícolas y ganaderos.

## 14 Bibliografía

1. Administración de Drogas y Alimentos (FDA), Normas - Estados Unidos, 2010.
2. Kirk-Othmer. Enciclopedia de Tecnología, Primera Edición, New York 1998.
3. Metcalf & Eddy. Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización, Tomo I, México, 1996.
4. Metcalf & Eddy. Ingeniería de Aguas Residuales: Redes de alcantarillado y bombeo, Tomo III. McGraw-Hill México, 1996.
5. Nalco Chemical Company, Frank N. Kemmer-John McCallion. Manual del Agua: Su Naturaleza, Tratamiento y Aplicaciones, Tomo II, Primera Edición en Español, México, 1989.
6. NMX-AA-008-SCFI-2000, Análisis del agua – Determinación de pH – Método de prueba.
7. NMX-AA-034-SCFI-2001, Análisis del agua – Determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Método de prueba.
8. NMX-AA-038-SCFI-2001, Análisis del agua – Determinación de turbiedad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Método de prueba.
9. NMX-AA-093-SCFI-2000, Análisis del agua – Determinación de conductividad electrolítica en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Método de prueba.
10. Orellana, J.A., Artículo Características del agua potable, Argentina, 2005.
11. Procuraduría Federal del Consumidor (PROFECO), Calidad de detergentes lava trastes, Revista del Consumidor No. 279, México, Mayo 2000.
12. Qasim, S.R.: Wastewater Treatment Plants: Planning, Design and Operation, Holt, Rine Hart and Winston, New York, 1985.
13. Ramalho R.S., Tratamiento de aguas residuales, Segunda Edición, Capítulo 7, Pág. 636-639, Editorial Reverté S.A., España, 1996.
14. Warren L. McCabe- JulianC. Smith- Peter Harriot. Operaciones Básicas de Ingeniería Química, Editorial Reverté S.A., Cuarta Edición, 1991.

15. Water Pollution Control Federation: Clarifier Design Manual of Practice, FD-8, 1985.
16. Water Pollution Control Federation: Wastewater Treatment Plant Design, Manual of Practice Num. 8, 1977.