



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AMBIENTAL**

“Efecto de la concentración y tamaño de partícula de carbón activado
de *Zea mays* en las propiedades fisicoquímicas del agua de lluvia de
Otuzco”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Ambiental

AUTORA:

Ana Mercedes Del Águila Ramírez

ASESOR:

José Félix Rivero Méndez

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y gestión de los recursos naturales

TRUJILLO – PERÚ

2016

UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO

Título de tesis

Efecto de la concentración y tamaño de partícula de carbón activado de *Zea mays* en el mejoramiento de las propiedades fisicoquímicas del agua de lluvia de Otuzco.

Ana Mercedes Del Aguila Ramírez

Autora

Presentada a la Escuela de Ingeniería Ambiental de la Universidad César Vallejo,
para su aprobación.

Dr. Alberto Quezada Álvarez

Presidente

Ms. Misael Ydilbrando Villacorta

Secretario

Dr. José Félix Rivero Méndez

Vocal

DEDICATORIA

Dedico esta tesis con mucho cariño a dos mujeres exitosas que han inspirado todos mis años de estudio y son mi ejemplo a seguir, Jessica y Cintya, por ser las amigas, confidentes y profesionales que me han enseñado a vencer mis miedos y luchar por mis metas. Dios me dio una gran bendición con ustedes, mis queridas hermanas.

A mis amigos y profesores de Arequipa; sólo quiero que sepan que mis sueños de la secundaria que fueron compartidos con ustedes, se están volviendo realidad.

AGRADECIMIENTO

A mis padres y familiares por su apoyo moral, por tenerme paciencia ante los días de estrés y angustia. Gracias por su apoyo incondicional.

Al Dr. José Rivero Méndez que pese a las circunstancias, se quedó conmigo hasta la culminación de este trabajo; su apoyo fue primordial, gracias por compartirme sus conocimientos y su tiempo.

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Ana Mercedes Del Aguila Ramírez con DNI: 71787736, a efecto de cumplir con los criterios de evaluación de la experiencia curricular de Desarrollo de Proyecto de Tesis, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica.

Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Trujillo, 16 de Diciembre del 2016.

Del Aguila Ramírez, Ana Mercedes

DNI: 71787736

PRESENTACIÓN

Señores miembros del jurado presento ante ustedes la tesis titulada “Efecto de la concentración y tamaño de partícula de carbón activado de *Zea mays* en las propiedades fisicoquímicas del agua de lluvia de Otuzco”, con la finalidad de determinar el efecto de un carbón activado de coronta de *Zea mays* en los parámetros de cloruros, conductividad eléctrica, dureza total, pH y sulfatos del agua de lluvia en Otuzco; en cumplimiento del reglamento de grados y títulos de la Universidad César Vallejo para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.

Esperando cumplir con los requisitos de aprobación.

La autora.

ÍNDICE

RESUMEN.....	6
ABSTRACT.....	7
I. INTRODUCCIÓN.....	8
1.1. Realidad problemática.....	8
1.2. Trabajos Previos.....	9
1.1. Marco Conceptual.....	11
1.1.1. Adsorción.....	11
1.1.2. Carbón activado.....	11
1.1.3. Carbón activado granular.....	11
1.1.4. Carbón activado en polvo.....	11
1.1.5. Activación Física.....	11
1.1.6. Activación química.....	11
1.1.7. Coronta de Maíz.....	11
1.1.8. Agua de lluvia.....	11
1.1.9. Cloruro.....	12
1.1.10. Conductividad Eléctrica.....	12
1.1.11. Dureza.....	12
1.1.12. pH.....	
1.1.13. Sulfatos.....	12
1.2. Marco Teórico.....	12
1.2.1. Elaboración del carbón activo.....	12
1.2.2. Procesos de activación de un carbón activado.....	13
1.2.3. Carbón activado de coronta de <i>Zea mays</i>	14
1.2.4. Características fisicoquímicas del agua de lluvia.....	15
1.2.5. Efecto de la concentración de Carbón activado.....	17
1.2.6. Efecto del tamaño de partícula de Carbón activado.....	17
1.2.7. Carbón activado en el mejoramiento de agua de lluvia.....	17
1.2.8. Normativa.....	18
1.5. Formulación del problema.....	19
1.6. Justificación del estudio.....	20
1.7. Hipótesis.....	21
1.8. Objetivos.....	21
II. MÉTODO.....	22
2.1. Diseño de la investigación.....	22

2.2. Operacionalización de variables.....	23
2.3. Población y muestra	24
2.3.1. Población.....	24
2.3.4. Unidad de análisis	24
2.3.3. Puntos de muestreo	24
2.3.2. Muestra.....	24
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.....	25
2.4.1. Método de análisis para los parámetros fisicoquímicos	25
2.4.2. Validación de métodos	25
2.4.3. Calibración de equipos.....	26
2.5. Método de análisis de datos	26
2.6. Aspectos éticos.....	26
IV. RESULTADOS	27
4.1. Preparación de carbón activado de <i>Zea mays</i>	27
4.2. Resultados iniciales de los parámetros fisicoquímicos	27
V. DISCUSIONES.....	32
VI. CONCLUSIONES.....	37
VII. RECOMENDACIONES.....	38
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

RESUMEN

Se estudió el efecto de la concentración y tamaño de partícula de carbón activado de coronta de *Zea mays* en las propiedades fisicoquímicas del agua de lluvia del distrito de Otuzco. Diferentes concentraciones (2 g/L, 4 g/L y 6 g/L) y tamaños de partículas (150 μm , 210 μm y 600 μm) de carbón activado de coronta de maíz fueron usados en el agua de lluvia y se evaluó el pH, conductividad eléctrica, dureza total, cloruros y sulfatos.

El carbón activado de coronta de *Zea mays* si tuvo efecto en las propiedades fisicoquímicas evaluadas; sin embargo hubo un factor interviniente en el carbón activado que hizo que aumente las concentraciones de ppm de cloruros. Los parámetros cumplieron con los Estándares de Calidad Ambiental para agua categoría 1, siendo así el agua de lluvia una alternativa importante para la solución de problemas actuales de demanda de agua.

PALABRAS CLAVES: carbón activado, coronta de *Zea mays*, agua de lluvia, propiedades fisicoquímicas.

ABSTRACT

It was studied the effect of the concentration and particle size of activated carbon of *Zea mays* cob on the physicochemical properties of rainwater in the Otuzco district. Different concentrations (2 g/L, 4 g/L and 6 g/L) and particle sizes (150 μm , 210 μm and 600 μm) of Corn cob activated carbon were used in the rainwater and evaluated pH, electrical conductivity, total hardness, chlorides and sulfates.

The activated carbon of *Zea mays* Cob had an effect on the physicochemical properties evaluated; However there was an intervening factor in the activated carbon that caused the concentrations of ppm of chlorides to increase. The parameters complied with the Environmental Quality Standards for category 1 water, thus rainwater is an important alternative for solving current water demand problems.

KEY WORDS: activated charcoal, *Zea mays* cob, rainwater, physicochemical properties

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Siendo el agua el único recurso fundamental común a todas las formas de vida conocidas, se ha visto afectado a tal grado que utilizamos aguas contaminadas o de baja calidad para nuestras actividades. A eso hay que sumarle el comportamiento inestable del clima que en temporadas trae fuertes precipitaciones y en otras, la escasez del agua.

Nuestro país no es ajeno a esta problemática y ante ella, el ser humano se ha ingeniado usando todos nuestros recursos hídricos disponibles, entre ellos el agua de lluvia; sin embargo, en nuestro país no se ha hecho de una manera adecuada, ya que muchas de estas fuentes no han sido evaluadas y no se puede decir que cumplen con los Estándares de Calidad Ambiental para agua; además de no recibir un debido tratamiento para mejorarlas, pudiendo causar diferentes enfermedades a los consumidores de este recurso.(OMS)

El distrito de Otuzco, al igual que la mayoría de pueblos de la sierra, se ha visto afectado drásticamente por el comportamiento del clima, siendo los más vulnerables y con mayor incidencia de sequías que no solo afecta a su principal actividad económica (agronomía); sino a su misma agua de consumo ya que la poca agua que queda es de baja calidad ambiental o tiene un tratamiento precario. A pesar de ello, Otuzco, tienen fuertes temporadas de lluvia, trayendo problemas de inundación y pérdida de grandes cantidades agua. (Red de Salud Otuzco, 2015)

En su origen, el agua de lluvia es un recurso de muy buena calidad, sin embargo, su pureza también depende en gran medida de la superficie por la que escurre. Además, en zonas urbanas con alto nivel de polución en el aire, la atmósfera puede presentar un alto índice de elementos como: nitrógeno, oxígeno y gases contaminantes como el dióxido y monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y azufre, producto de la actividad humana. (Burbano y Figueroa, 2015)

Rojas *et al.* (2012) mencionan que la mayor parte de los estudios de la captación de agua de lluvia, se encuentran enfocados al ahorro del agua sin tomar en cuenta

que la calidad de la misma es de gran importancia para conocer el tratamiento que se le debe dar para que ésta entre en contacto con el hombre de manera segura.

Por otro lado, Otuzco tiene como uno de sus principales productos agrícolas la siembra y venta del grano de maíz (*Zea mays*); sin embargo, la coronta que es un desecho agrícola derivado del maíz, en su mayoría es quemada por toneladas, generando contaminación del suelo y aire (Torres y Gaibor, 2015).

Es necesario diseñar estrategias que prevean la falta de agua para consumo humano de buena calidad en esta localidad, siendo el agua de la lluvia una opción viable; para ello es importante mejorar su calidad con métodos económicos y eficientes como la utilización de la coronta de *Zea mays* transformada en un carbón activado que tenga efecto en la variación y remoción de contaminantes fisicoquímicos en el agua de lluvia.

1.2. Trabajos Previos

Ensuncho *et al.* (2015) estudiaron la remoción del colorante rojo altura con diferentes tipos de carbón activado, obtenidos a partir varias fuentes de desechos agrícolas. El carbón de coronta de maíz, mostró mayor porcentaje de remoción del colorante con respecto a los carbones cáscara de coco y cascarilla de arroz.

Primera *et al.* (2011) prepararon carbones activados con bagazo de caña de azúcar (BC) y zuro de maíz (ZM) para adsorber cadmio y plomo. BC y ZM fueron carbonizados a 400°C por 1 hora, activados con ácido fosfórico y modificados con ácido nítrico o peróxido de hidrógeno y posterior calentamiento. La activación aumentó el área superficial de los carbones. Se obtuvieron carbones activados con altas capacidades de adsorción de cadmio y plomo.

Fonseca *et al.* (2015) prepararon carbones activados a partir de coronta de maíz por activación con Dióxido de Carbono (CO₂) a diferentes tiempos de activación y su comportamiento en la adsorción de Cr(III) desde solución acuosa se comparó con el material natural que tiene propiedades adsorbentes.

Barragán *et al.* (2011) presentaron las variables óptimas encontradas para la activación del carbón vegetal a partir del precursor *Guadua angustifolia*. Estas condiciones óptimas de carbonización, permitieron obtener la mayor capacidad de

adsorción en procesos de decoloración con Azul de Metileno. La temperatura de carbonización de 300°C durante 1h, el tamaño de partícula menor a 180µm para la activación, la impregnación en el agente activante a una temperatura de 110°C durante 15h con ácido fosfórico (H₃PO₄), en una relación de 2:1 activante: carbón y una temperatura de activación de 450°C durante 1h.

Burbano y Figueroa (2015) evaluaron las variables físicas y químicas: Sulfuros, Cloruros, pH y conductividad del agua lluvia en diez sitios de la ciudad de Popayán, Colombia. El objetivo fue evaluar la sensibilidad a la formación de lluvia ácida considerando las posibles fuentes de los iones determinados. Los resultados se analizaron conforme a la variabilidad espacial y temporal, y se atribuyeron sus valores a fuentes naturales como la influencia volcánica, los aerosoles emitidos desde el suelo y al arrastre de sales marinas provenientes del Océano Pacífico, como las posibles fuentes de los iones Sulfuros y Cloruros.

Veloso *et al.* (2013) presentaron la alternativa para el aprovechamiento del agua de la lluvia como agua potable con el fin de contribuir a la sostenibilidad del abastecimiento local. A pesar de la Amazonía ser rica en recursos hídricos, su población tiene dificultades en el acceso al agua potable. La caracterización socioeconómica y el diagnóstico del abastecimiento de agua apoyaron la implementación de los sistemas.

Arboleda (2014) realizó análisis fisicoquímicos y microbiológicos al agua de lluvia recolectada sin y con tratamientos. Concluyó que la relativa buena calidad del agua lluvia que precipita en las viviendas de la zona de estudio, hace que no se requieran tratamientos complejos y se puedan implementar alternativas tecnológicas sencillas para el tratamiento del agua lluvia captada.

1.1. Marco Conceptual

- 1.1.1. Adsorción:** Es un proceso por el cual los átomos en la superficie de un sólido, atraen y retienen moléculas de otros compuestos. Hablamos de adsorción cuando una sustancia se adhiere a una superficie, en este caso sería a la superficie interna del carbón activado
- 1.1.2. Carbón activado:** Es un material de variados y grandes usos en la industria debido a sus propiedades adsorbentes. Se caracteriza por poseer una alta superficie interna, variedad de grupos funcionales y una buena distribución de poros; propiedades que le permiten atrapar una gran diversidad de moléculas.
- 1.1.3. Carbón activado granular:** Partícula de forma irregular cuyos tamaños oscilan entre los 0,2 y 5 mm. Este tipo de carbón activado es utilizado tanto en aplicaciones en fase líquida como en fase gas.
- 1.1.4. Carbón activado en polvo:** Carbón activado pulverizado con un tamaño de partícula inferior a 0,18 mm. Carbón activado principalmente utilizado en aplicaciones en fase líquida y para el tratamiento de gases de combustión.
- 1.1.5. Activación Física:** El material de inicio se somete a un proceso de pirolisis o carbonización a temperatura entre 400 y 700°C, en atmósfera inerte. El segundo paso es activarlo o gasificarlo a través de agentes oxidantes.
- 1.1.6. Activación química:** Se obtiene carbón activado a través de la impregnación química del material precursor con una dilución concentrada de un agente químico. La mezcla resultante se somete a un proceso pirolítico.
- 1.1.7. Coronta de Maíz:** Material orgánico con un alto porcentaje de lignina. Es un subproducto del maíz, considerado un desecho industrial y agrícola.
- 1.1.8. Agua de lluvia:** Es la precipitación de agua desde las nubes hacia el suelo. Esta caída de agua se produce a partir de la condensación del vapor de agua que se encuentra dentro de las nubes y que, al volverse más pesado, cae por efecto de la gravedad hacia el suelo.

- 1.1.9. Cloruro:** El ion cloruro es uno de los iones inorgánicos que se encuentran en mayor cantidad en aguas. Un alto contenido de cloruros puede dañar estructuras metálicas y evitar el crecimiento de plantas.
- 1.1.10. Conductividad Eléctrica:** Es la capacidad de que una sustancia pueda conducir la corriente eléctrica. Es una variable que depende de la cantidad de sales disueltas en un líquido. Cuando mayor sea la concentración de sales, mayor será la conductividad. Las unidades de medida son en siemens/cm (S/cm), microsiemens/cm ($\mu\text{S/cm}$), o milisiemens/cm (mS/cm).
- 1.1.11. Dureza:** Es la concentración de compuestos minerales (Magnesio y calcio) dentro de una cantidad de agua. Es considerada agua “dura” cuando dichas sales tienen alta concentración y son consideradas aguas “blandas” cuando hay poco contenido de dichas sales.
- 1.1.12. pH:** La medición del pH se emplea para expresar la intensidad de la acidez o la basicidad. Menor a 7 el agua es ácida y mayor el agua es básica o alcalina.
- 1.1.13. Sulfatos:** El ion sulfato (SO_4^{-2}) es uno de los compuestos que se hallan distribuidos ampliamente en aguas naturales. Si se consume agua con cantidades excesivas de sulfato, causan una acción laxante en el cuerpo.

1.2. Marco Teórico

1.2.1. Elaboración del carbón activo

La materia prima que va ser utilizada como carbón activado debe contar con propiedades específicas como dureza, estructura inherente de poros, alto contenido de carbono, bajo contenido de cenizas y alto rendimiento en masa durante el proceso de carbonización. Materias primas como la madera, lignito, huesos de algunas frutas, bagazo de caña, semillas de frijoles, desechos de maíz, cáscara de arroz o de coco, entre otros, presentan buenas propiedades para la activación. (Fombuena y Valentin, 2011).

El siguiente paso es carbonizar la materia aplicando un tratamiento térmico con atmósfera inerte a temperaturas menores a 900 °C (Primera *et al*, 2011) y

posteriormente tratar el material carbonoso con un agente activante químico o físico.

1.2.2. Procesos de activación de un carbón activado

1.2.2.1. Activación física o térmica

Se refiere a la oxidación parcial del carbón mediante gases como el CO₂ o vapor de agua; para que se logre formar los poros, pero evitando que se gasifique y se pierda más carbón del necesario. Esto ocurre a temperaturas que están entre los 600 y los 1100 °C, y en una atmósfera controlada (Fonseca *et al.*, 2015).

Este proceso envuelve dos pasos, la pirolisis y la posterior reacción del pirolizado con una atmósfera de gases oxidantes como vapor de agua, CO₂ o mezcla de estos a una temperatura entre 800°C y 1000°C para extraer átomos de carbono de la estructura y favorecer la formación de poros en el material carbonoso. (Barragán *et al.*, 2011)

Las características del carbón resultante están fuertemente influenciadas por el grado de activación, por la naturaleza del agente activante y por el tiempo y temperatura de activación. (Martínez, 2012)

1.2.2.2. Activación química

En los procesos químicos se utilizan reactivos como agentes deshidratantes que rompen las uniones que ligan entre sí a las cadenas de celulosa. Las sustancias más usadas son: ácido fosfórico (H₃PO₄), Cloruro de zinc (ZnCl₂), ácido sulfúrico (H₂SO₄). Posteriormente, el material se carboniza a una temperatura relativamente baja (de unos 550 °C) y luego se lava para eliminar los restos de reactivo y de otros subproductos. (Fombuena y Valentin, 2011).

La activación química posee mayor aplicación en la actualidad debido a su baja temperatura de activación y alto rendimiento comparado con la física. Su ventaja es que se logra un mayor ahorro de energía y un rendimiento más alto. Este método solo puede aplicarse sobre materiales orgánicos relativamente blandos y que están formados por moléculas de celulosa. (Padrón *et al.*, 2013).

1.2.3. Carbón activado de coronta de *Zea mays*

Coronta de maíz (*Zea mays*) es un material orgánico con un apreciable porcentaje de lignina, el cual, por ser considerado como desecho y tener características tales como dureza y estructura porosa; considerado un material alternativo para ser aplicado en procesos de adsorción. (Torres y Gaibor, 2015).

Tabla 1. Análisis bromatológico de la Coronta de *Zea mays*

Parámetro (%)	Olote 100%
Fibra	25,99
Grasas	7,29
Proteínas	3,85
Humedad	9,37
Cenizas	10,85

Fuente: Torres y Gaibor, 2015

Tabla 2. Análisis mineralógico de los resultados

OLOTE	N %	K mg/Kg	P mg/Kg	Ca mg/Kg	Mg mg/Kg	Zn mg/Kg	Fe mg/Kg	Cu mg/Kg	Na mg/Kg	Mn mg/Kg
	1,7	3654	5.5	2173	1096	35.48	52.1	1.81	1469	8.13

Fuente: Torres y Gaibor, 2015

Tabla 3. Porcentaje de lignina y celulosa

Análisis	Coronta 100%
Celulosa (%)	5,28
Lignina (%)	1,57

Fuente: Torres y Gaibor, 2015

Se obtuvo resultados óptimos en el tratamiento de agua con Cromo (III) a partir de un tratamiento físico usando el agente activante de CO₂ que se usó para preparar carbón activado de coronta de *Zea mays*. La activación fue a diferentes horas, siendo el más óptimo el fabricado a temperatura de 850 °C por 8 horas. (Fonseca *et al*, 2014).

Para una activación química, se impregnó ácido ortofosfórico al 21% p/v (agente activante) con agitación constante por 4.5 horas, se secaron a 105°C

por 24 horas, se calentaron en atmósfera de nitrógeno (flujo de 110 mL/min) desde 30°C hasta 450 ± 5°C (10°C/min) y se mantuvieron a estas condiciones por 120 minutos. Este carbón activado fue para la adsorción de cadmio y plomo, obteniendo óptimos resultados. (Primera *et al.*, 2011)

La fabricación de un carbón activado de coronta de maíz es importante para evaluar sus efectos en los parámetros fisicoquímicos estudiados en el agua de lluvia de Otuzco para ver si efectivamente hay una mejora.

1.2.4. Características fisicoquímicas del agua de lluvia

El agua de lluvia a menudo es considerada una fuente segura de agua limpia. Sin embargo, cuando las sustancias químicas y los contaminantes se elevan en el aire, la lluvia los vuelve a bajar a la tierra. Cuando aumenta la cantidad de químicos en el agua de lluvia, se convierte en lluvia ácida. El agua de lluvia en general contiene químicos provenientes de la contaminación del aire, independientemente de que la acidez sea alta o baja. (Bustamante y Bárcenas, 2014).

1.2.4.1. Cloruros

En el agua de lluvia la concentración de cloruros varía de 1 a 3 mg/L. (Bustamante y Bárcenas, 2014). Sin embargo, el agua de lluvia puede ser una fuente importante de ión cloruro, especialmente en zonas próximas a la costa y urbanizadas como en el trabajo de Burbano y Figueroa (2015) que en sus análisis de cloruros en agua de lluvia, el valor máximo fue de 24.16 mgL⁻¹.

En zonas rurales tiene un valor medio de 3,667 mgL⁻¹. (Arboleda, 2014). Y en una zona urbanizada-rural tuvo resultados entre 15 mgL⁻¹ y 6 mgL⁻¹. (Ospina y Ramírez, 2014).

1.2.4.2. Conductividad Eléctrica

En el trabajo de Bustamante y Figueroa (2015) de una localidad de Colombia, la conductividad eléctrica varió desde 75.10 µS.cm⁻¹ y 2.80 µS cm⁻¹ posiblemente a consecuencia del lavado de iones atmosféricos al inicio de la temporada de lluvias abundantes.

El agua de lluvia tiene cierta conductividad por tener disueltos gases y polvo que arrastra de la atmósfera. Es decir, mientras más contaminantes o agentes tenga el agua de lluvia, mayor será la conductividad eléctrica.

1.2.4.3. Dureza Total

La forma de dureza más común y problemática es la causada por la presencia de bicarbonato cálcico ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$). Cuando el agua de lluvia cae disuelve dióxido de carbono (CO_2) del aire y forma ácido carbónico (H_2CO_3), por lo que se acidifica ligeramente. (Burbano y Figueroa, 2015). Algunas moléculas de ácido carbónico también ionizan, expulsando un ion hidrógeno para convertirse en bicarbonato. La presencia de sulfatos y/o cloruros de calcio y de magnesio en el agua causan una dureza permanente en el agua ya que son sales más solubles según sube la temperatura, hasta cierta temperatura, luego la solubilidad disminuye conforme aumenta la temperatura. (Bustamante y Bárcenas, 2014).

1.2.4.4. pH

El agua de lluvia registra un pH normal de 5,6 debido al ácido carbónico, un resultado de dióxido de carbono disuelto en agua. En este bajo nivel de acidez, el agua de lluvia es inofensiva. Cuando en la atmósfera hay excesos de ácidos más fuertes que el CO_2 (H_2SO_4 y HNO_3 , y ocasionalmente HCl), el resultado es la formación de lluvia ácida. (Burbano y Figueroa, 2015).

Algunas lluvias tienen bajo pH debido a los contaminantes industriales. Este fenómeno se conoce como lluvia ácida. Los contaminantes que predominan son el ácido sulfúrico y el óxido de nitrógeno. (Bustamante y Bárcenas, 2014).

1.2.4.5. Sulfatos

El dióxido de azufre reacciona con el agua y otros productos químicos en la atmósfera para formando ácido sulfúrico. (Bustamante y Bárcenas, 2014).

Burbano y Figueroa (2015) en su trabajo de investigación en valor máximo de SO_4^{2-} fue de 7.32 mg L^{-1} y el mínimo de 1.07 mg L^{-1}

1.2.5. Efecto de la concentración de Carbón activado

La cantidad de adsorbato que puede retener un adsorbente es en función de las características y de las concentraciones del adsorbente. Se agregan cantidades variables de carbón activado en una proporción que cubra un rango de 0.10 a un 5.0 de porcentaje en peso de carbón con relación al líquido. (Fombuena y Valentin, 2011). Llega un momento en que la cantidad de carbón que se agrega a una cierta cantidad de muestra, tiene el mismo efecto como se demuestra en el trabajo de Ensuncho *et al.* (2015) que se estudió en un rango de 0,1 a 2,0 g de carbón donde hay un aumento gradual del porcentaje de remoción del colorante con el incremento de la cantidad de carbón, debido a que se proporciona mayor área de superficie del adsorbente y disponibilidad de más sitios de adsorción. La mayor remoción fue de 0,3 g de carbón activado en una muestra con concentración de 10 mg de Colorante Rojo Allura por litro de agua destilada. Luego de ello, empezó a ser constante.

Cuando mayor sea la concentración de contaminantes en el agua, mayor será la dosis de carbón activado que se debe usar.

1.2.6. Efecto del tamaño de partícula de Carbón activado

Las mallas o tamices se utilizan para dividir los granos en varias fracciones de tamaño y por lo tanto determinar las distribuciones de tamaño de partícula. La cinética (velocidad de adsorción) sí aumenta sustancialmente al disminuir el tamaño de partícula del carbón. El tamaño óptimo para la adsorción de contaminantes es 180 μm (Prías, 2011)

Cuanto más fino es el tamaño de las partículas de un determinado carbón activado, mejor es el acceso al área superficial y más rápida es la tasa de cinética de absorción. Sin embargo, cuando es muy fino, para favorecer y facilitar la eliminación de las partículas de carbón, puede ser necesario emplear un coagulante. (Fombuena y Valentin, 2011).

1.2.7. Carbón activado en el mejoramiento de agua de lluvia

El carbón activado tiene capacidad para lograr estados de equilibrio tales, que la concentración de los compuestos adsorbibles en el agua llegue a niveles

indetectables por los métodos de análisis comunes. (Fombuena y Valentin, 2011).

A pH ácido, la superficie del adsorbente se carga positivamente, debido a la alta concentración de iones H^+ en el medio; por tal motivo hay mayor atracción electrostática entre la carga positiva en la superficie del carbón y la carga negativa del anión. (Ensuncho *et al.*, 2015). En este punto, los parámetros sulfatos y cloruros, tienen cargas negativas que podrían tener mayor porcentaje de remoción a pH bajos.

El carbón activado tiene mayor efecto en la adsorción de compuestos con mayor peso molecular y baja solubilidad y su capacidad de adsorción dependerá de la presencia de otros compuestos orgánicos que competirán con otros compuestos por los lugares de adsorción disponible. Pero el ion cloruro forma sales de alta solubilidad, no se oxida ni se reduce en aguas naturales, no es adsorbido significativamente ni entra a formar parte de procesos bioquímicos. El carbón activado puede tener baja influencia en este parámetro.

La capacidad de retención de un carbón activado frente a contaminantes muy diluidos en aire y que además tengan volúmenes moleculares bajos es muy escasa. Este sería el caso de sustancias como el sulfuro de hidrógeno que se encuentran en ppb. De esta forma, el carbón actuaría como adsorbente y además, como soporte poroso para que se produzcan reacciones del gas tóxico con los agentes químicos, inmovilizándolo o dando productos inocuos que se desorben. (Rodríguez Reinoso y Molina Sabio). En ese caso, puede ser que la influencia en sulfatos sea negativa.

Si el agua cuenta con grandes concentraciones de contaminantes, será complejo el tratamiento; sin embargo, el agua de lluvia por su misma naturaleza es un agua limpia que puede ser tratado con un carbón activado casero sin mayores dificultades.

1.2.8. Normativa

En nuestro país no contamos con una normativa específica para la medición de la calidad de agua de lluvia; por lo tanto, se usará el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM que comprende los Estándares de Calidad Ambiental para agua.

Además, se usarán las normas APHA para la metodología y análisis correspondiente de las propiedades fisicoquímicas

Tabla 4. Parámetros y Valores Consolidados.

Categoría 1 - A

PARÁMETRO	UNIDADES	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable		
		A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser Potabilizadas con Tratamiento Avanzado
Cloruros	mg/L	250	250	250
Conductividad	(μ S/cm)	1 500	1 600	**
Dureza Total	mg/L	500	**	**
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5	5,5 – 9,0	5,5 - 9,0
Sulfatos	mg/L	250	500	**

Fuente: Estándares de Calidad Ambiental para agua 2015

1.5. Formulación del problema

¿Qué efecto tendrá la concentración y tamaño de partículas del carbón activado de coronta de *Zea mays* en las propiedades fisicoquímicas del agua de lluvia del distrito de Otuzco?

- VARIABLE DEPENDIENTE: Propiedades fisicoquímicas del agua de lluvia de del distrito de Otuzco

- VARIABLE INDEPENDIENTE: Concentración y tamaño de partículas del carbón activado de coronta de *Zea mays*

1.6. Justificación del estudio

Se puede hacer uso del agua de las lluvias como una fuente para satisfacer la demanda de agua para consumo humano; tratándolas a través de un carbón activado de desecho agrícola (coronta de *Zea mays*), que es el purificante más utilizado por el ser humano.

Debido a que los insuficientes trabajos de investigación sobre calidad del agua de lluvia, la escases y baja calidad del agua en zonas de la sierra Liberteña, viéndolo desde el punto de vista ambiental como una necesidad a futuro de usar todos nuestros recursos disponibles de agua por las alteraciones del clima, por el incremento de contaminantes en el aire donde afecta no solamente a las zonas emisoras de contaminantes sino a áreas remotas; por todo ello es importante el estudio de parámetros físicos y químicos del agua lluvia contribuyendo a la comprensión de por qué se encuentran tales concentraciones y posteriormente mejóralas a través de un carbón activado con fines de satisfacer necesidades básicas de la población.

Con este trabajo se podrá hacer una rápida identificación de posibles fuentes de contaminación, agentes contaminantes y factores ambientales, antropogénicos y climatológicos que participan en la calidad del agua de lluvia de Otuzco.

Con este interés de contribuir al conocimiento de la situación ambiental actual del distrito de Otuzco y ser una referencia a futuras investigaciones de mayor profundización en los procesos implicados al tratamiento de agua de lluvia con materiales de la zona (como es el caso de un carbón activado de coronta de maíz), se realizó la evaluación de cinco parámetros fisicoquímicos fundamentales del agua de lluvia del distrito: pH, conductividad eléctrica, cloruro, dureza total y sulfatos donde se empleó carbón activado a base de coronta de maíz.

El carbón activado de coronta de *Zea mays* traerá mejoras en las propiedades fisicoquímicas del agua de lluvia de Otuzco que será una primera base para la solución de los problemas de la baja calidad de agua, de las fuertes precipitaciones y la escasez del agua en la sierra específicamente Otuzco, utilizándolo posiblemente como una fuente de agua potable.

Este trabajo corresponde a una demanda científica y social respecto a la realidad de la sierra Liberteña específicamente Otuzco. Para una sostenibilidad y la satisfacción de las necesidades de la población, se busca evaluar de una manera breve los aspectos relacionados con la cantidad, el acceso y la calidad del agua de lluvia.

1.7. Hipótesis

La concentración y tamaño de partículas del carbón activado de coronta de *Zea mays* tienen efecto en las propiedades fisicoquímicas del agua de lluvia de Otuzco.

1.8. Objetivos

1.8.1. General

Estudiar el efecto de la concentración y tamaño de partícula del carbón activado de coronta de *Zea mays* en las propiedades fisicoquímicas del agua de lluvia del distrito de Otuzco.

1.8.2. Específicos

- Elaborar un carbón activado de coronta de maíz.
- Evaluar el efecto de la concentración de carbón activado de coronta de *Zea mays* en las propiedades fisicoquímicas del agua de lluvia: conductividad eléctrica, pH, cloruros, dureza total y sulfato; de Otuzco.
- Evaluar el efecto del tamaño de partícula de carbón activado de tusa de *Zea mays* en las propiedades fisicoquímicas en el agua de lluvia: conductividad eléctrica, pH, dureza, sulfato y turbidez; de Otuzco.
- Comparar los resultados obtenidos del análisis con lo establecido en el ECA categoría 1.

II. MÉTODO

2.1. Diseño de la investigación

Diseño experimental: Diseño bifactorial de 3x3

PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS

Las propiedades fisicoquímicas que se evaluaron fueron 5 (conductividad eléctrica, pH, dureza total, cloruros y sulfatos). Se usó el siguiente diseño experimental para cada una de las propiedades físicas, donde:

A= Tamaño de partícula del carbón activado

B= Cantidad de carbón activado

Tabla 5: Diseño de investigación

		B1	B2	B3	Total
Muestra 1	A1	A1xB1xM1	A1xB2xM1	A1xB3xM1	3
	A2	A2xB1xM1	A2xB2xM1	A2xB3xM1	3
	A3	A3xB1xM1	A3xB2xM1	A3xB3xM1	3
Muestra 2	A1	A1xB1xM2	A1xB2xM2	A1xB3xM2	3
	A2	A2xB1xM2	A2xB2xM2	A2xB3xM2	3
	A3	A3xB1xM2	A3xB2xM2	A3xB3xM2	3
Muestra 3	A1	A1xB1xM3	A1xB2xM3	A1xB3xM3	3
	A2	A2xB1xM3	A2xB2xM3	A2xB3xM3	3
	A3	A3xB1xM3	A3xB2xM3	A3xB3xM3	3
Total		9	9	9	27

Fuente: Propia

Por cada propiedad fisicoquímica se evaluó 27 análisis. Entonces, como son 5 propiedades fisicoquímicas: $27 \times 5 = 135$

A ello hay que sumarle los análisis iniciales, entonces $135 + 15 = 150$

2.2. Operacionalización de variables

TABLA 6: Operacionalización de variables

Variable	Conceptualización	Dimensiones	Operacionalización	Indicadores	Escala
Concentración y tamaño de partículas de Carbón activado de coronta de Zea mays	Es el carbón poroso del residuo producido luego de desgranar la mazorca del maíz, activado con agentes físicos o químicos; atrapa compuestos presentes en un líquido. (Torres y Gaibor, 2015)	Concentración de partículas del carbón activado de coronta de <i>Zea mays</i>	Dosis de carbón activado de coronta de <i>Zea mays</i> agregado en cierta cantidad de agua. La relación es gramos por litro.	2 g/L 4 g/L 6 g/L	Intervalo
		Tamaño de partículas del carbón activado de coronta de <i>Zea Mays</i>	Granulometría del carbón activado de coronta de <i>Zea mays</i> . Consiste en pasar el carbón activado por una serie de tamices o mallas donde se determinará el tamaño de la partícula.	600 µm 210 µm 150 µm	Intervalo
Propiedades fisicoquímicas del agua de lluvia de Otuzco	Evaluación de parámetros físico-químicos para determinar la calidad de agua de lluvia y el mejor tratamiento.	Cloruro	Compuesto de cloro y otro elemento químico diferente del oxígeno.	mg/L	Intervalo
		Conductividad	Capacidad de que una sustancia pueda conducir la corriente eléctrica. Depende de la cantidad de sales disueltas en un líquido.	(µS/cm)	Intervalo
		Dureza	Concentración de compuestos minerales en el agua	mg/L	Intervalo
		pH	La medición del pH se emplea para expresar la intensidad de la acidez o la basicidad.	Unidad de pH	Intervalo
		Sulfato	Sales o los ésteres del ácido sulfúrico. Las sales de sulfato contienen el anión (SO ₄ ²⁻)	mg/L	Intervalo

2.3. Población y muestra

2.3.1. Población

La población estuvo conformada por el agua de lluvia en la ciudad de Otuzco.

El distrito de Otuzco tiene una población de 25 134 habitantes y un área: 444,1 km²

Según la estación meteorológica Virgen de la puerta, reporta las precipitaciones totales por año de Otuzco desde 1994 hasta el 2016. Se ha determinado la cantidad de volumen de agua de lluvia en metros cúbicos por año.

Se hizo una proyección hacia el 2016 siendo 730 958 993,3 m³ la cantidad de agua de lluvia en el área de Otuzco; sin embargo, por temas del cambio climático no ha precipitado lo que normalmente debería ser hasta la fecha.

2.3.4. Unidad de análisis

Por cada uno de los análisis físico-químicos, se recolectarán 250 mL (0.25 L)

2.3.3. Puntos de muestreo

Para definir los puntos de muestreo, se tomó en cuenta los siete barrios de Otuzco.

Luego de ello se combinaron para formar una muestra compuesta.

2.3.2. Muestra

Se tomó tres muestras compuestas en diferentes días. Cada muestra compuesta es la combinación del agua de lluvia los 7 puntos en uno solo.

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

2.4.1. Método de análisis para los parámetros fisicoquímicos

Tabla 7: Métodos

Parámetro	Método	Norma
Cloruro	Volumétrico	APHA- AWWA- WPCF 4500 CL-
Conductividad Eléctrica	Electrométrico	APHA- AWWA- WPCF 2510 B
Dureza total	Volumétrico	APHA-AWWA-WPCF 2340
pH	Potenciométrico	APHA- AWWA- WPCF 4500 H
Sulfato	Turbidimétrico	APHA- AWWA- WPCF 4500-SO ₄ ²⁻

2.4.2. Validación de métodos

Tabla 8: Validación

Parámetro	Norma	Validación
Cloruro	APHA- AWWA- WPCF 4500 CL-	MOLLABS. Quimiométricas. Informe de validación del método analítico para la determinación del ensayo (contenido) de Cloruros en producto cárnico según AOAC método volumétrico 935.47, en un rango entre 0.58 y 3.51 % NaCl.
Conductividad Eléctrica	APHA- AWWA- WPCF-2510 B	Cortés Silva Guillermo. Informes de Prevalidación y Validación de Conductividad eléctrica. IDEAM. Santafé de Bogotá. 1997 – 1998.
Dureza total	APHA-AWWA- WPCF 2340	CARLOS HERNÁN RODRÍGUEZ M. Técnico Químico. Dureza total en agua con EDTA por volumetría. Código:TP0341
pH	APHA- AWWA- WPCF-4500 H	JHONATAN RÍOS RODRÍGUEZ Cod.1.088.274.091
Sulfato	APHA- AWWA- WPCF 4500-SO ₄ ²⁻	MICHEL DARWIN APONTE MARIN COD: 1088245026

2.4.3. Calibración de equipos

Tabla 9: Calibración

Equipo	Calibración
pH-metro	PC-020 Procedimiento para la calibración de medidores de pH. 3a. ed. Lima: Indecopi, Jun. 2010. 32p. A/389/I49PC-020
Conductímetro	Procedimiento para la calibración de conductividad eléctrica según el Estándar ASTM D1125-95
Espectrofotómetro	Procedimiento QU-001 para la calibración de equipos de espectrometría de absorción atómica (E.A.A.). Madrid: CEM, 2000. 54p. Serie: Procedimiento de Calibración A/389/C43QU-001
Balanza	PC-001 Procedimiento para la calibración de balanzas de funcionamiento no automático clase III y clase IV - PC. 3a. ed. Lima: Indecopi, Ene. 2009. 27p. A/389/I49PC-001

2.5. Método de análisis de datos

En la metodología se utilizará el método MANOVA.

2.6. Aspectos éticos

Para el presente proyecto se tendrá en cuenta la veracidad de los resultados, sin ninguna alteración de estos.

Se tendrá en cuenta la normativa y políticas de la Universidad Cesar Vallejo.

Se respeta la propiedad intelectual, citando en todo momento conceptos y procedimientos extraídos de investigaciones y trabajo previos.

IV. RESULTADOS

4.1. Preparación de carbón activado de *Zea mays*

Se preparó carbón activado de coronta de maíz. Los detalles de la preparación se encuentran en el Anexo B.

4.2. Resultados iniciales de los parámetros fisicoquímicos

A continuación, se presenta una tabla donde se describe los resultados de los análisis realizados de los parámetros fisicoquímicos del agua de lluvia recolectada:

Tabla 10. Resultados de los análisis fisicoquímicos del agua de lluvia de Otuzco

N° Muestra	Propiedades Fisicoquímicas				
	Cloruro (ppm Cl ⁻)	CE (μS/cm)	Dureza (ppm CaCO ₃)	pH	Sulfatos (ppm SO ₄ ²⁻)
1	20,49	115	34,91	6,01	15,36
2	17,92	102,0	30,51	6,13	11,10
3	16,22	108,0	31,77	6,28	10,27
PROMEDIOS	18,21	108,33	32,40	6,14	12,24

Fuente: Propia

4.3. Resultados finales después de los tratamientos

En la siguiente tabla tenemos los resultados de los análisis de las propiedades fisicoquímicas del agua de lluvia después de los tratamientos a diferentes tratamientos y tamaños de partícula de carbón activado de coronta.

Tabla 11. Resultados finales de las propiedades fisicoquímicas

Tamaño de partícula (μm)	Concentración (g/L)	Propiedades fisicoquímicas				
		Cloruro (ppm Cl ⁻)**	CE (μS/cm)	Dureza (ppm CaCO ₃)	pH	Sulfatos (ppm SO ₄ ²⁻)
150	2	16,69	184,64	27,20	6,60	10,44
	4	17,18	201,81	29,23	6,89	10,74
	6	17,72	225,67	30,86	7,02	11,57
210	2	15,22	131,67	25,33	6,57	10,59
	4	15,78	171,95	27,60	6,66	10,70
	6	15,96	203,09	29,64	6,90	11,50
600	2	14,51	113,33	24,35	6,47	10,34
	4	15,01	139,31	26,38	6,57	10,97
	6	15,55	176,67	28,09	6,74	11,26

Fuente: Propia

**En la tabla 11. Se muestran los resultados finales después de restar el blanco realizado para determinar las ppm de cloruros en el carbón activado de *Zea mays*:

Blanco: 10.1 ppm Cl⁻ (Se diluyó 0.6 g de C.A en 100 ml de agua destilada; luego se hizo regla de tres simples para saber cuánto se restaría a menores concentraciones)

4.4. Variación de los parámetros fisicoquímicos en porcentaje

En la tabla 12. Se presentan los porcentajes de remoción de cloruros, sulfatos y dureza total. En el caso de conductividad eléctrica y pH, se determinó el porcentaje de incremento:

Tabla 12. Variación de las propiedades fisicoquímicas en porcentaje

Tamaño de partícula (µm)	Concentración (g/L)	Propiedades fisicoquímicas				
		Cloruro % Remoción	CE % Incremento	Dureza % Remoción	pH % Incremento	Sulfatos % Remoción
150	2	8,35	70,44	16,05	7,44	14,74
	4	5,64	86,29	9,78	12,16	12,29
	6	2,67	108,31	4,73	14,33	5,51
210	2	16,40	21,54	21,81	7,00	13,48
	4	13,34	58,72	14,82	8,41	12,58
	6	12,36	87,47	8,51	12,43	6,05
600	2	20,34	4,62	24,83	5,37	15,58
	4	17,55	28,59	18,56	7,06	10,42
	6	14,63	63,08	13,28	9,77	8,07

Fuente: Propia

4.5. Prueba MANOVA

Para realizar la prueba MANOVA y saber si los tratamientos son diferentes, se tiene que realizar las pruebas de bondades de ajustes (Ver en Anexo D: Tabla A.1., Tabla A.2. y Tabla A.3)

Como se cumplió con las condiciones de bondades de ajuste, se realizó el análisis multivariante de la varianza (MANOVA), teniendo como H₀ (hipótesis nula), que los tratamientos son iguales, y H₁ (hipótesis alterna) indicando que al menos uno de los tratamientos es diferente. Entonces, en la tabla 13. Se observa que la significancia fue menor que el nivel de significancia 0.05, con un nivel de confianza

del 95%, rechazando la hipótesis nula, existiendo una diferencia significativa entre los datos.

Tabla 13. Prueba inter – sujetos

Origen	Variable dependiente	Tipo III de suma de cuadrados	GI	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	Cloruros	26,679 ^a	8	3.335	1.658	.177
	Conductividad eléctrica	33179,630 ^b	8	4147.454	43.370	.000
	Dureza Total	105,084 ^c	8	13.136	4.181	.006
	pH	,831 ^d	8	.104	3.705	.010
	Sulfatos	4,895 ^e	8	.612	.101	.999
Intersección	Cloruros	6876.206	1	6876.206	3418.749	.000
	Conductividad eléctrica	799112.037	1	799112.037	8356.323	.000
	Dureza Total	20614.467	1	20614.467	6561.278	.000
	pH	1216.725	1	1216.725	43391.312	.000
	Sulfatos	3208.524	1	3208.524	527.252	.000
Tamaño de partícula	Cloruros	22.569	2	11.284	5.610	.013
	Conductividad eléctrica	16808.074	2	8404.037	87.881	.000
	Dureza Total	35.919	2	17.959	5.716	.012
	pH	.259	2	.130	4.624	.024
	Sulfatos	.032	2	.016	.003	.997
Concentración	Cloruros	3.963	2	1.982	.985	.053
	Conductividad eléctrica	15502.519	2	7751.259	81.055	.000
	Dureza Total	68.786	2	34.393	10.947	.001
	pH	.528	2	.264	9.411	.002
	Sulfatos	4.510	2	2.255	.371	.695

Tamaño de partícula * concentración	Cloruros	.147	4	.037	.018	.999
	Conductividad eléctrica	869.037	4	217.259	2.272	.102
	Dureza Total	.379	4	.095	.030	.998
	pH	.044	4	.011	.394	.811
	Sulfatos	.354	4	.088	.015	1.000
Error	Cloruros	36.204	18	2.011	1.658	
	Conductividad eléctrica	1721.333	18	95.630	43.370	
	Dureza Total	56.553	18	3.142		
	pH	.505	18	.028		
	Sulfatos	109.537	18	6.085		
Total corregido	Cloruros	6939.089	27			
	Conductividad eléctrica	834013.000	27			
	Dureza Total	20776.104	27			
	pH	1218.061	27			
	Sulfatos	3322.956	27			

Fuente: SPSS versión 23

4.5. Comparación con los Estándares de Calidad de Ambiental

En las siguientes Tabla 14 y 15 se compara los parámetros de cloruros, dureza, sulfatos, pH y conductividad, en donde se observa que se cumplió con la normatividad en todos los parámetros para ECAs de aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable en la Categoría 1, para desinfección.

Tabla 14. Comparación con ECAs para consumo humano – Categoría 1

Tamaño de partícula (µm)	Concentración (g/L)	Propiedades fisicoquímicas					
		Cloruro (ppm Cl-)		Dureza (ppm CaCO3)		Sulfatos (ppm SO24)	
150	2	16.69	250	27.20	500	10.44	250
	4	17.18		29.23		10.74	
	6	17.72		30.86		11.57	
210	2	15.22		25.33		10.59	
	4	15.78		27.60		10.70	
	6	15.96		29.64		11.50	
600	2	14.51		24.35		10.34	
	4	15.01		26.38		10.97	
	6	15.55		28.09		11.26	

Fuente: Propia

Tabla 15. Comparación con ECAs para consumo humano – Categoría 1

Tamaño de partícula (µm)	Concentración (g/L)	Propiedades fisicoquímicas			
		CE (µS/cm)		pH	
150	2	184.64	1500	6.60	6,5 – 8,5
	4	201.81		6.89	
	6	225.67		7.02	
210	2	131.67		6.57	
	4	171.95		6.66	
	6	203.09		6.90	
600	2	113.33		6.47	
	4	139.31		6.57	
	6	176.67		6.74	

Fuente: Propia

V. DISCUSIONES

Cloruros

Hubo un factor interviniente en el carbón activado que aumentaba las ppm de cloruros, teniéndose que hacer un blanco para poder tener el valor real de la remoción de dicho parámetro.

En el análisis inicial del agua de lluvia se obtuvo un promedio de 18.21 ppm Cl⁻ (Ver tabla 10) y los resultados obtenidos después de los tratamientos a diferentes concentraciones y tamaños de partículas de carbón activado de *Zea mays* fue de disminución como se puede apreciar en la tabla 11. El efecto fue significativo (Ver tabla 13) ya que el nivel de significancia es menor a 0.05. En el Anexo D se encuentra la tabla A4. De Pruebas de Post Hoc del efecto del tamaño de partículas donde se interpreta que el tratamiento que obtuvo una máxima remoción de cloruros fue el de tamaño de partícula de 600 µm. En la tabla A5., la prueba de Post Hoc del efecto de la concentración, se interpreta que la mayor remoción de cloruros fue con concentración de 2 g/L. Los tratamientos juntos, tienen una remoción de 20.34 % (Ver tabla 12), siendo el mejor tratamiento. Eso quiere decir que, a menor concentración y mayor tamaño de partícula, disminuye las ppm de cloruros.

En la tabla 14. Se compara los resultados con los Estándares de Calidad Ambiental donde el máximo valor permitido es 250 ppm Cl⁻. En este caso, todos los tratamientos cumplen.

El cloruro en agua de lluvia, en zonas rurales tiene un valor medio de 3,667 mgL⁻¹ (Arboleda, 2014). Y en una zona urbanizada-rural se tiene resultados entre 15 mgL⁻¹ y 6 mgL⁻¹ (Ospina y Ramírez, 2014). Sin embargo, el agua de lluvia puede ser una fuente importante de ion cloruro, especialmente en zonas próximas a la costa y urbanizadas como en el trabajo de Burbano y Figueroa (2015) que, en sus análisis de cloruros en agua de lluvia, el valor máximo fue de 24.16 ppm. En la tesis presente se obtuvo un valor un máximo de 20,49 ppm Cl⁻ en la primera muestra. Al igual que el trabajo Burbano y Figueroa se justifica este suceso debido a que en la primera muestra se evidenció el lavado de partículas atmosféricas. A medida que las lluvias se intensifican, el promedio de Cl⁻ disminuye, por lo tanto, pudo presentarse una mayor dilución de este ion en el agua lluvia. Los valores de los

análisis de cloruros no están dentro de los rangos impuestos por los autores ni cumplen con las características de la ubicación del lugar (cerca al océano o a volcanes). Es posible que estos valores sean un poco elevados por el crecimiento urbano de Otuzco que trae consigo aumento de aportes domésticos y partículas de polvo; además de quema de plásticos con cloro en los botaderos como se contrasta en el Plan de Contingencia Frente a temporada de lluvias de Otuzco.

Conductividad eléctrica

En el análisis inicial del agua de lluvia se obtuvo un promedio de 108.33 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Ver tabla 10) y los resultados obtenidos después de los tratamientos a diferentes concentraciones y tamaños de partículas de carbón activado de *Zea mays* fue de aumento como se puede apreciar en la tabla 11. El efecto fue significativo (Ver tabla 13) ya que el nivel de significancia es menor a 0.05. En el Anexo E se encuentra la tabla A4. De Pruebas de Post Hoc del efecto del tamaño de partículas donde se interpreta que el tratamiento que obtuvo un máximo incremento en la conductividad eléctrica fue el de tamaño de partícula de 150 μm . En la tabla A5., en la prueba de Post Hoc del efecto de la concentración, se interpreta que el mayor incremento de la conductividad eléctrica fue con concentración de 6 g/L. Los tratamientos juntos, tienen un incremento máximo de 108.31 % (Ver tabla 12). Eso quiere decir que, a mayor concentración y menor tamaño de partícula, tiene un mayor incremento este parámetro.

El incremento de este parámetro es posible debido a la existencia de un factor interviniente ya que se deduce que la coronta de maíz ha absorbido sales del suelo como el caso de Cloruros. Para cloruros se hizo el blanco, sin embargo para otras sales no y eso es lo que posiblemente ha hecho que aumente la conductividad eléctrica. Además, se encontró que a menor partícula, el efecto de incremento ha sido mayor; esto se explica que cuando más pequeña es la partícula, su dilución es mayor. A mayor cantidad de sólidos disueltos, mayor es la conductividad eléctrica. Como su efecto fue de aumento, se justifica que sí mejoró la lluvia en este parámetro porque el agua de lluvia inicial fue de 108.33 $\mu\text{S}/\text{cm}$ lo cual quiere decir que es similar al agua destilada y carece de sales. Cuando un agua carece de sales, puede causar deshidratación y daños a la salud; entonces al aumentar la C.E. se

asemeja al agua potable (500-800 $\mu\text{S}/\text{cm}$.), pudiendo ser una alternativa utilizable en los problemas de demanda de agua para consumo humano.

En la tabla 14. Se compara los resultados con los Estándares de Calidad Ambiental donde el máximo valor permitido es 1 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En este caso, todos los tratamientos cumplen.

En el primer muestreo se presentó la máxima conductividad eléctrica inicial del agua de lluvia (115 $\mu\text{S}/\text{cm}$), posiblemente, como nos lo dicen Burbano y Figueroa (2015), a consecuencia del lavado de iones atmosféricos al inicio de la temporada de lluvias. Durante esta primera muestra también se registró el valor de pH más bajo (6.01). Es probable que la conductividad se deba a una mayor acumulación de aquellos aniones (Cloruro, sulfato) que le confirieron el carácter ácido al agua lluvia.

Dureza Total

En el análisis inicial del agua de lluvia se obtuvo un promedio de 32,40 ppm CaCO_3 (Ver tabla 10) y los resultados obtenidos después de los tratamientos a diferentes concentraciones y tamaños de partículas de carbón activado de *Zea mays* fue de disminución como se puede apreciar en la tabla 11. El efecto fue significativo (Ver tabla 13) ya que el nivel de significancia es menor a 0.05. En el Anexo D se encuentra la tabla A4. De Pruebas de Post Hoc del efecto del tamaño de partículas donde se interpreta que el tratamiento que obtuvo una máxima remoción de dureza total fue el de tamaño de partícula de 600 μm . En la tabla A5., la prueba de Post Hoc del efecto de la concentración, se interpreta que la mayor remoción de dureza total fue con concentración de 2 g/L. Los tratamientos juntos, tienen una remoción de 24.83 % (Ver tabla 12), siendo el mejor tratamiento. Eso quiere decir que, a menor concentración y mayor tamaño de partícula, disminuye las ppm de dureza total.

En la tabla 14. Se compara los resultados con los Estándares de Calidad Ambiental donde el máximo valor permitido es 250 ppm Cl^- . En este caso, todos los tratamientos cumplen.

La dureza total tuvo un efecto de mejora, sin embargo, hay una contradicción con el parámetro de conductividad eléctrica. Se esperó a que la dureza del agua de lluvia aumente porque está relacionada con el aumento de la conductividad

eléctrica, pero no fue así. Esto se justifica debido a que hay elementos químicos que solo aumentan la conductividad eléctrica y no la dureza (Cloruro de Potasio, Nitrato de Potasio, Cloruro de Sodio, Nitrato de Sodio). Éstas sales es lo que posiblemente contenga la corona de *Zea mays* que ha hecho que aumente la C.E. y el pH.

En Otuzco se ha incrementado el comercio y el transporte, generando mayor cantidad de gases como el dióxido de carbono (Plan de Contingencia de Lluvias de Otuzco). Cuando el agua de lluvia cae disuelve dióxido de carbono (CO_2) del aire y forma ácido carbónico (H_2CO_3), por lo que se acidifica ligeramente. (Burbano y Figueroa, 2015). Algunas moléculas de ácido carbónico también ionizan, expulsando un ion hidrógeno para convertirse en bicarbonato. Las casas de Otuzco son de material de adobe que por los vientos puede generar polvos en el aire y al momento del escurrimiento del agua de lluvia, se juntan formando carbonato de calcio (CaCO_3) y carbonato de magnesio (MgCO_3). (Bustamante y Bárcenas, 2014).

pH

En el análisis inicial del agua de lluvia se obtuvo un promedio de 6.14 (Ver tabla 10) y los resultados obtenidos después de los tratamientos a diferentes concentraciones y tamaños de partículas de carbón activado de *Zea mays* fue de aumento como se puede apreciar en la tabla 11. El efecto fue significativo (Ver tabla 13) ya que el nivel de significancia es menor a 0.05. En el Anexo D se encuentra la tabla A4. De Pruebas de Post Hoc del efecto del tamaño de partículas donde se interpreta que el tratamiento que obtuvo un máximo incremento del pH fue el de tamaño de partícula de 150 μm . En la tabla A5., en la prueba de Post Hoc del efecto de la concentración, se interpreta que el mayor incremento de la conductividad eléctrica fue con concentración de 6 g/L. Los tratamientos juntos, tienen un incremento máximo de 14.33% (Ver tabla 12). Eso quiere decir que, a mayor concentración y menor tamaño de partícula, tiene un mayor incremento este parámetro.

Otuzco tiene como principal actividad la agricultura, donde se utilizan fertilizantes comerciales que emiten oxidos nitrosos; además de la quema de combustibles

fósiles que con la combinación del agua de lluvia genera ácido nítrico. (Plan de Contingencia de Otuzco)

El pH normal del agua de lluvia es mínimo 5,6. A este pH, el equilibrio entre el agua de lluvia y el CO₂ del aire permite la formación de una solución diluida de ácido carbónico que se acidifica debido a la presencia de ácidos más fuertes que el CO₂, generando la formación de lluvia ácida.

El pH inicial sí está dentro del rango normal de agua de lluvia; sin embargo, para fines de consumo humano, es ligeramente ácida y no cumple con los ECA de agua categoría 1. Al usar el carbón activado de coronta de maíz adsorbió ácidos e iones que acidican el agua, por lo tanto, el pH se fue alcalinizando. Esto trajo mejoras y se cumplió con lo establecido en el ECA para agua categoría 1. El tratamiento de concentración de 6 g/L y tamaño de partícula 150 µm fue el que tuvo como resultado 7.04 de pH que es considerado neutro y óptimo para agua de consumo humano.

Sulfatos

En el análisis inicial del agua de lluvia se obtuvo un promedio de 12.24 ppm SO₄²⁻ (Ver tabla 10) y los resultados obtenidos después de los tratamientos a diferentes concentraciones y tamaños de partículas de carbón activado de *Zea mays* fue de disminución como se puede apreciar en la tabla 11. El efecto no fue significativo (Ver tabla 13) ya que el nivel de significancia es mayor a 0.05. En el Anexo E se encuentra la tabla A4. Sin embargo, sin realizar la estadística, se tiene una remoción de 15.58 % (Ver tabla 12), siendo el mejor tratamiento. Eso quiere decir que, a menor concentración y mayor tamaño de partícula, disminuye las ppm de sulfatos.

VI. CONCLUSIONES

- Se elaboró un carbón activado de *Zea mays* a través de un proceso térmico, y se tamizó en tres diferentes tamaños de diámetro de 150, 210 y 600 μm .
- El efecto de la concentración de carbón activado de coronta de *Zea mays* respecto a los parámetros de CE y pH fue de incremento a 6 g/L, mientras que para dureza y cloruros fue de disminución con una menor concentración de 2 g/L. En el caso de sulfatos, no se encontró diferencia significativa.
- El efecto del tamaño de partícula del carbón activado de coronta de *Zea mays* respecto a los parámetros de CE y pH tuvo un mayor incremento a 150 μm , mientras que en dureza y cloruros obtuvo una mayor disminución a tamaño de 600 μm . En el caso de sulfatos, no se encontró diferencia significativa.
- Si no se considerara el factor interviniente, las propiedades fisicoquímicas en general han tenido un efecto de mejora.
- El agua de lluvia en Otuzco cumple naturalmente con lo establecido en el ECA para consumo humano en categoría 1 a excepción del pH. Sin embargo, con los tratamientos establecidos, sí cumplieron.
- El agua de lluvia de Otuzco es un potencial de alternativa de abastecimiento para consumo humano, que no necesita de un tratamiento costoso.

VII. RECOMENDACIONES

- Realizar una caracterización del carbón activado.
- Realizar mayores estudios en la preparación de carbón activado de coronta de *Zea mays*, además de ello evaluar su eficiencia para remover metales pesados.
- Hacer estudios o diseños de captación de agua de lluvia en beneficio a las demandas de agua potable de las poblaciones rurales.
- Realizar un mayor de estudio del agua de lluvia de Otuzco y otras zonas del país, donde se evalúen otras variables que puedan intervenir en su calidad.
- Se recomienda utilizar el agua de lluvia de Otuzco para que sea utilizado en épocas de sequía.
- Buscar otras alternativas económicas y eficientes para el tratamiento de agua de lluvia.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA, AWWA, WPCF. Métodos Normalizados para Análisis de Aguas Potables y Residuales. 17 a. Ed. Madrid: Díaz de Santos, 1992. 1714 p.
- ARBOLEDA MONTAÑO, Nixon. Estudio de alternativas tecnológicas para el tratamiento básico del agua lluvia de uso doméstico en el consejo comunitario de la comunidad negra de los lagos, Buenaventura. Tesis (Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente). Manizales: Universidad de Manizales, Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas. 2014. 158 p.
- BUSTAMANTE FALCÓN, Adrián; BÁRCENAS ARZATE, Carlos. Aprovechamiento del Agua de Lluvia como agua potable. 2014
- BURBANO GARCÉS, Martha Lucía; FIGUEROA CASAS, Apolinar. Variabilidad espacio-temporal de aniones (SO_4^{2-} y Cl^-) en el agua lluvia de Popayán, Colombia. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*. [en línea]. Vol 14 (26): 13-28. Medellín, 2015. [fecha de consulta: 12 de abril 2016]. Disponible en: <http://revistas.udem.edu.co/index.php/ingenierias/article/viewFile/1166/1126>. ISSN 1692-3324.
- DIARIO Peruano. Modifican los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua y establecen disposiciones complementarias para su aplicación Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM.
- ENSUNCHO, Adolfo E.; *et al.* Remoción del Colorante Rojo Allura en Solución Acuosa utilizando Carbones Activados obtenidos de Desechos Agrícolas. *Información tecnológica*. [en línea]. Vol. 26 (2): 69-79. Córdoba, 2015. [fecha de consulta: 12 de abril 2016]. Disponible en <http://www.scielo.cl/pdf/infotec/v26n2/art09.pdf>. doi: 10.4067/S0718-07642015000200009
- FONSECA, Rafael; *et al.* Adsorción de Cr(III) desde solución acuosa sobre carbones activados obtenidos de residuos de Zea mays. *AFINIDAD*. [en línea]. n°

569. Enero - Marzo 2015. [fecha de consulta: 12 de abril 2016]. Disponible en: <http://www.raco.cat/index.php/afinidad/article/viewFile/291704/380202>
- FOMBUENA, M.; VALENTIN, A. Manual de carbón activado. *Aguapedia: Universidad de Sevilla*. [en línea]. s.n. España: 2010. [fecha de consulta: 12 de abril 2016]. Disponible en: <http://www.elaguapotable.com/Manual%20del%20carb%C3%B3n%20activo.pdf>
 - GARCÍA DE PEDRAZA, Lorenzo; RUÍZ BELTRÁN, Luís. La sequía y el clima. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. [en línea]. Vol 1 (89). Madrid, 1989. [fecha de consulta: 12 de abril 2016]. Disponible en: <http://www.divulgameteo.es/uploads/Sequ%C3%ADa-clima.pdf>. ISBN 84-341-0626-4
 - MARTÍNEZ FIERRO, Maria Cristina. Preparación y Caracterización de Carbón Activo a Partir de Lignina para su Aplicación en Procesos de Descontaminación de Aguas. Madrid, 2012. Doctor en Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de Madrid.
 - OJEDA Cuadros, Manuel Onofre. Caracterización Físicoquímica y parámetros de calidad del agua de la planta de tratamiento de agua potable de Barrancabermeja. Tesis (Grado para el título de Ingeniero Químico). Bucaramanga: Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Escuela Ingeniería Química, Universidad Industrial de Santander. 2012. 52 p
 - OSPINA ZÚÑIGA, Óscar; RAMÍREZ ARCILA, Hildebrando. Evaluación de la calidad del agua de lluvia para su aprovechamiento y uso doméstico en Ibagué, Tolima, Colombia.
 - ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS). Centro de prensa: Nota descriptiva N° 391. [fecha de consulta: 12 de abril 2016]. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs391/es/>.

- PRIMERA PEDROZO, Oliva; *et al.* Carbones activados a partir de bagazo de caña de azúcar y zuro de maíz para la adsorción de cadmio y plomo. *Revista Académica Colombia*. [en línea]. Vol. 35 (136): 387-396. Bogotá: Julio-Septiembre 2011. [fecha de consulta: 14 de abril 2016]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/racefn/v35n136/v35n136a12.pdf>. ISSN 0370-3908.
- PRIAS BARRAGÁN *et al.* Identificación de las variables óptimas para la obtención de Carbón Activado a partir del precursor GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH. *Rev. Acad. Colomb Cienc.* Vol. 35 (135): 157-166, 2011. ISSN 0370-3908.
- RED de Salud Otuzco. Plan de Contingencia Frente a Temporada de Lluvias 2015-2016. Gerencia Regional de Salud La Libertad. LEY 29664 Sistema Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres.
- ROJAS VALENCIA, María Neftalí; *et al.* Implementación y caracterización de un sistema de captación y aprovechamiento de agua de lluvia. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*. [en línea]. Vol. 15 (1): 16-23. México: Febrero-Junio 2012. [fecha de consulta: 11 de abril 2016]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43228285002>. ISSN: 1405-888X
- ROLANDO PADRÓN, Clara Rodríguez. El Carbón Activado, un Material Adsorbente. CD de Monografías 2013 (c) 2013, Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”. Cuba.
- TORRES TAPIA, Nicole; GAIBOR VELASCO, Karla. Estudio de la aplicación del olote o tusa de maíz para la reducción del color en aguas residuales de la hilandería Guijarro Cantón Guano. Tesis (Título para Ingeniero Ambiental) Riobamba: Universidad Nacional de Chimborazo, Facultad de Ingeniería. 2015. 385 p.
- VELOSO, Nircele da Silva; *et al.* A pós-graduação e a sustentabilidade do abastecimento de comunidades ribeirinhas na Amazônia por meio de água de chuva: da concepção à ação. *RBPG: Experiencias*. [en línea]. Vol. 10 (21). Octubre 2013. [fecha de consulta: 13 de abril 2016]. Disponible en: <http://ojs.rbpg.capes.gov.br/index.php/rbpg/article/viewFile/421/351>

ANEXOS

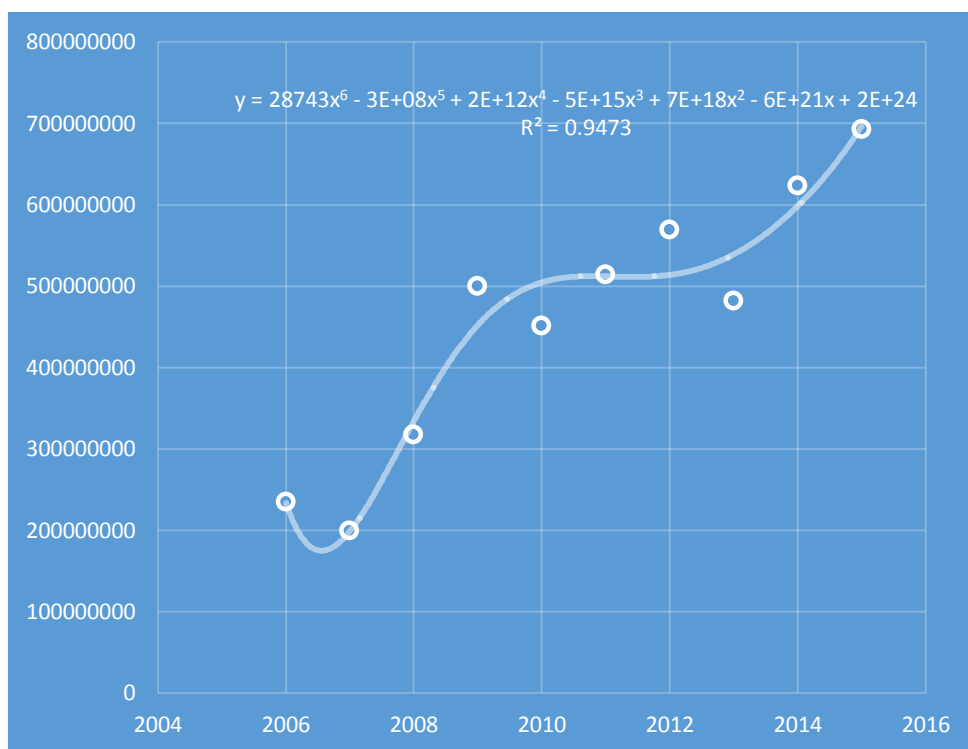
Anexo A. Precipitaciones en la ciudad de Otuzco

Tabla A1: Total de precipitaciones (mm) en Otuzco- La Libertad

AÑOS	Total (mm)	Total (m3)
1994	417	185189700
1995	274.41	121865481
1996	418.96	186060136
1997	448.88	199347608
1998	781.91	347246231
1999	712.5	316421250
2000	686	304652600
2001	658.5	292439850
2002	440	195404000
2003	383	170090300
2004	369	163872900
2005	265	117686500
2006	528	234484800
2007	449	199400900
2008	715	317531500
2009	1126	500056600
2010	1016	451205600
2011	1157	513823700
2012	1282	569336200
2013	1084	481404400
2014	1404	623516400
2015	1559	692351900

Fuente: Estación meteorológica Virgen de la Puerta

Gráfico A1: Tendencia de precipitaciones en Otuzco



Fuente: Propia

Figura A1: Ubicación de los puntos de muestreo en la ciudad de Otuzco



Fuente: Municipalidad Provincia de Otuzco

Anexo B. Preparación del Carbón activado de coronta de *Zea mays*

Se determinó cuánto será la cantidad de carbón usado, obteniendo que para todos los análisis respectivos será de 60 gramos. Entonces, por cada granulometría se preparó 20 gramos de carbón activado de coronta de *Zea mays*.

- **Recolección y secado de la coronta de *Zea mays* inicial**

Se recolectó la coronta de maíz del mercado “La Hermelinda” y “El mayorista”. Este sub producto del maíz no tiene algún costo.

Posteriormente la coronta se trituró a pequeños trozos y se llevó al horno estufa a temperatura 105 °C por 24 horas.

- **Carbonización**

Se cogieron 400 gramos de coronta de maíz y se colocaron en cuatro crisoles (100 gramos en cada crisol). Se utilizó un Horno de Incineración de Atmósfera Controlada Thermolyne marca Thermo Scientific donde se puso el material desde 25 °C hasta 300 °C en atmósfera de argón con flujo de 200 ml/min.

Se mantuvieron a estas condiciones por 1 hora.

- **Preparación de las granulometrías**

El carbón obtenido se molió y se tamizó a tres diferentes granulometrías (420 μm , 210 μm y 150 μm).

- **Activación física del carbón activado**

Se activó el carbón activado a temperaturas elevadas con el gas argón libre de oxígeno. Se llevó al horno de atmósfera controlada desde 25°C hasta 300 °C en atmósfera de argón con flujo de 200 ml/min por cuatro horas.

Anexo C. Fotografías e Imágenes

Imagen 01: Filtrado de la muestra tratada con carbón activado



Imagen 02: Tamizado del carbón de coronta de Zea mays



Imagen 03: Preparación del material triturado antes de meterlo al horno estufa



Imagen 04: Pesado del material seco antes de meterlo al horno inerte



Imagen 05: Carbón de coronta de *Zea mays*



Imagen 06: Horno inerte de atmósfera controlada



Imagen 07: Recolección del agua de lluvia



Imagen 08: Recolección del agua de lluvia



Imagen 09: Prueba de sulfatos



Imagen 10: Espectrofotómetro



Imagen 11: Filtrado de muestra

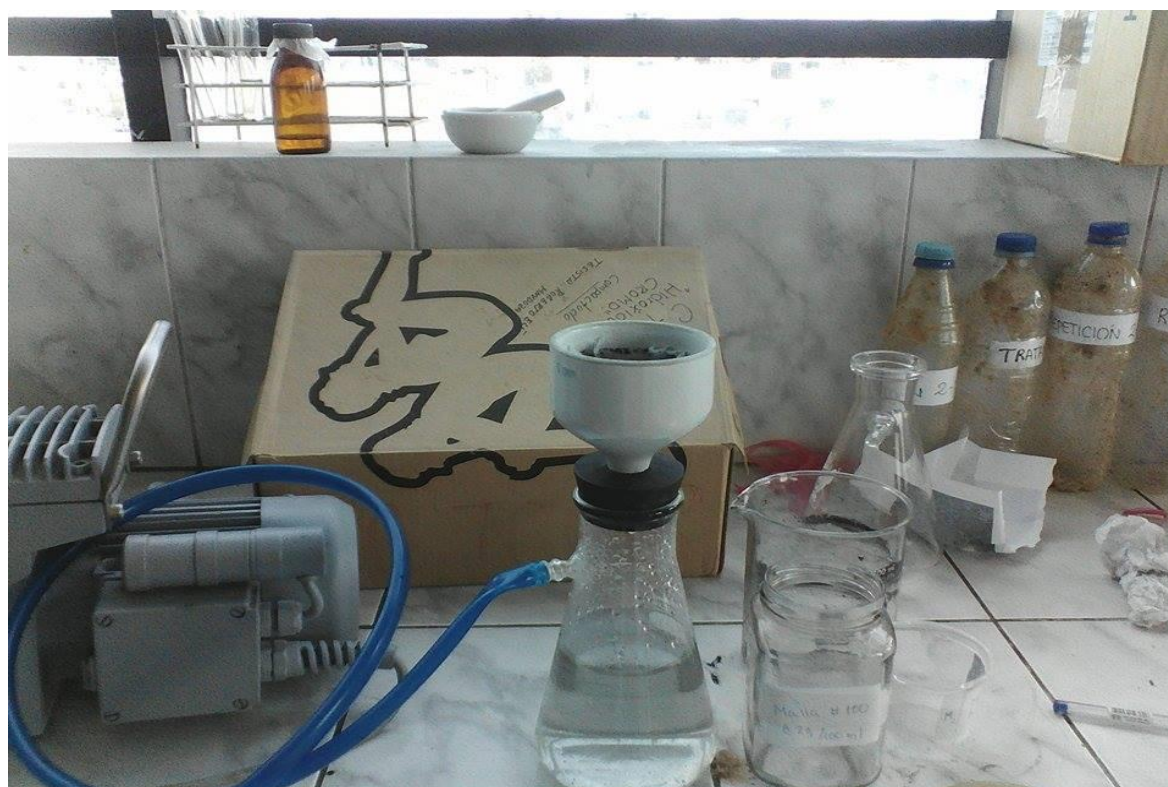


Imagen 12: Etiqueta de envases

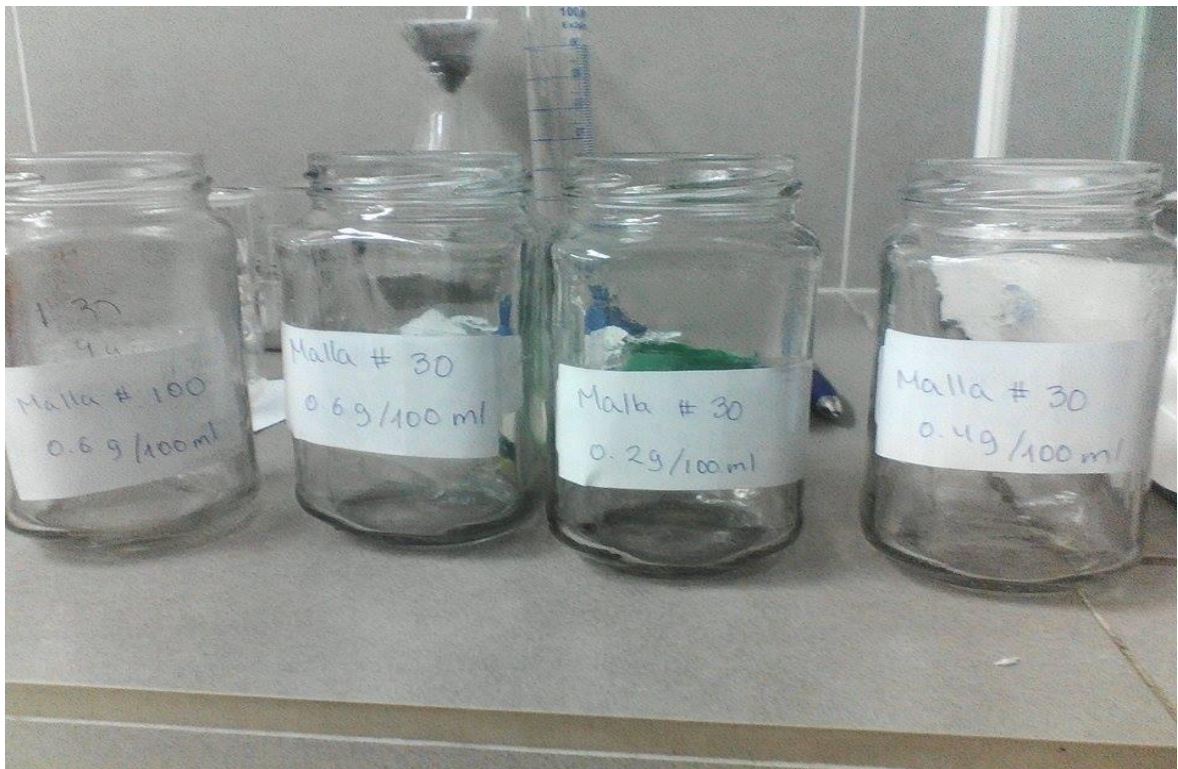


Imagen 13: Determinación de pH



ANEXO D: ESTADÍSTICA

En la tabla A.1. de prueba de normalidad para Tamaño de partícula de carbón activado, se utiliza la prueba de Shapiro – Wilk como requisito para aplicar el método MANOVA, porque el número de muestras es menor a 50. La significancia es mayor a 0.05, por lo tanto, se acepta que tienen una distribución normal.

Tabla A.1: Prueba de normalidad Tamaño de partícula

Pruebas de normalidad							
	Tamaño de partícula de carbón activado	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Cloruros	150	.154	9	,200*	.940	9	.579
	210	.118	9	,200*	.982	9	.975
	600	.161	9	,200*	.935	9	.531
Conductividad Eléctrica	150	.131	9	,200*	.964	9	.840
	210	.152	9	,200*	.937	9	.553
	600	.163	9	,200*	.933	9	.512
Dureza Total	150	.175	9	,200*	.943	9	.611
	210	.120	9	,200*	.986	9	.989
	600	.140	9	,200*	.986	9	.987
pH	150	.145	9	,200*	.928	9	.464
	210	.167	9	,200*	.945	9	.636
	600	.164	9	,200*	.932	9	.499
Sulfatos	150	.232	9	.178	.855	9	.084
	210	.247	9	.122	.834	9	.050
	600	.226	9	,200*	.897	9	.237

Fuente: SPSS versión 23

En la tabla A.2. de Prueba de normalidad para Concentración de carbón activado, se utiliza la prueba de Shapiro – Wilk como requisito para aplicar el método MANOVA, porque el número de muestras es menor a 50. La significancia es mayor a 0.05, por lo tanto, se acepta que tienen una distribución normal.

Tabla A.2: Prueba de normalidad Concentración

Pruebas de normalidad							
	Concentración de carbón activado	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Cloruros	2	.165	9	,200*	.871	9	.127
	4	.166	9	,200*	.879	9	.152
	6	.211	9	,200*	.850	9	.074
Conductividad Eléctrica	2	.205	9	,200*	.889	9	.193
	4	.126	9	,200*	.947	9	.652
	6	.139	9	,200*	.946	9	.649
Dureza Total	2	.225	9	,200*	.928	9	.464
	4	.148	9	,200*	.977	9	.944
	6	.117	9	,200*	.985	9	.986
pH	2	.194	9	,200*	.909	9	.312
	4	.176	9	,200*	.963	9	.831
	6	.164	9	,200*	.960	9	.797
Sulfatos	2	.309	9	.013	.797	9	.019
	4	.229	9	.189	.824	9	.038
	6	.318	9	.009	.783	9	.013

Fuente: SPSS versión 23

En la tabla A.3. Se realizó la prueba de Levene para determinar Si las varianzas de las variables dependientes son iguales. El nivel de significancia es mayor a 0.05, entonces se acepta la hipótesis nula que la varianza de error de la variable dependiente es igual entre grupos.

Tabla A.3: Prueba de Levene

Parámetros	F	df1	df2	Sig.
Cloruros	1.194	8	18	.356
Conductividad Eléctrica	.890	8	18	.544
Dureza total	.231	8	18	.980
pH	.469	8	18	.862
Sulfatos	.093	8	18	.999

Fuente: SPSS versión 23.

En la prueba Pos Hoc para el tamaño de partícula de la Tabla A.4, se indica que según los autores Tukey y Sheffe, que CE y pH, tienen mayor incremento en tamaño de partícula de 150 μm . mientras que las propiedades de dureza total y cloruros tienen mayor reducción con 600 μm . Sulfatos no tiene diferencia significativa.

Tabla A.4: Comparaciones múltiples para tamaño de partícula

Comparaciones múltiples								
Variable dependiente		tamaño de partícula de carbón activado	tamaño de partícula de carbón activado	Diferencia de medias	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
							Límite inferior	Límite superior
Cloruros	HSD Tukey	150	210	1.5444	.66855	.080	-.1618	3.2507
			600	2,1767*	.66855	.012	.4704	3.8829
		210	150	-1.5444	.66855	.080	-3.2507	.1618
			600	.6322	.66855	.619	-1.0740	2.3385
		600	150	-2,1767*	.66855	.012	-3.8829	-.4704
			210	-.6322	.66855	.619	-2.3385	1.0740
	Scheffe	150	210	1.5444	.66855	.097	-.2381	3.3270
			600	2,1767*	.66855	.015	.3941	3.9592
		210	150	-1.5444	.66855	.097	-3.3270	.2381
			600	.6322	.66855	.646	-1.1503	2.4148
		600	150	-2,1767*	.66855	.015	-3.9592	-.3941
			210	-.6322	.66855	.646	-2.4148	1.1503
Conductividad Eléctrica	HSD Tukey	150	210	35,0000*	4.60988	.000	23.2348	46.7652
			600	60,8889*	4.60988	.000	49.1237	72.6541
		210	150	-35,0000*	4.60988	.000	-46.7652	-23.2348
			600	25,8889*	4.60988	.000	14.1237	37.6541
		600	150	-60,8889*	4.60988	.000	-72.6541	-49.1237
			210	-25,8889*	4.60988	.000	-37.6541	-14.1237
	Scheffe	150	210	35,0000*	4.60988	.000	22.7087	47.2913
			600	60,8889*	4.60988	.000	48.5976	73.1802
		210	150	-35,0000*	4.60988	.000	-47.2913	-22.7087
			600	25,8889*	4.60988	.000	13.5976	38.1802
		600	150	-60,8889*	4.60988	.000	-73.1802	-48.5976
			210	-25,8889*	4.60988	.000	-38.1802	-13.5976
Dureza Total	HSD Tukey	150	210	1.5733	.83558	.172	-.5592	3.7059
			600	2,8189*	.83558	.009	.6864	4.9514
		210	150	-1.5733	.83558	.172	-3.7059	.5592

		600	600	1.2456	.83558	.319	-.8870	3.3781	
			150	-2,8189*	.83558	.009	-4.9514	-.6864	
			210	-1.2456	.83558	.319	-3.3781	.8870	
	Scheffe	150	210	1.5733	.83558	.198	-.6546	3.8012	
			600	2,8189*	.83558	.012	.5910	5.0468	
		210	150	-1.5733	.83558	.198	-3.8012	.6546	
			600	1.2456	.83558	.351	-.9823	3.4734	
		600	150	-2,8189*	.83558	.012	-5.0468	-.5910	
			210	-1.2456	.83558	.351	-3.4734	.9823	
	pH	HSD Tukey	150	210	.1244	.07894	.281	-.0770	.3259
				600	,2400*	.07894	.018	.0385	.4415
			210	150	-.1244	.07894	.281	-.3259	.0770
600				.1156	.07894	.331	-.0859	.3170	
600			150	-,2400*	.07894	.018	-.4415	-.0385	
			210	-.1156	.07894	.331	-.3170	.0859	
Scheffe		150	210	.1244	.07894	.312	-.0860	.3349	
			600	,2400*	.07894	.024	.0295	.4505	
		210	150	-.1244	.07894	.312	-.3349	.0860	
			600	.1156	.07894	.363	-.0949	.3260	
		600	150	-,2400*	.07894	.024	-.4505	-.0295	
			210	-.1156	.07894	.363	-.3260	.0949	
Sulfatos	HSD Tukey	150	210	-.0167	1.16289	1.000	-2.9845	2.9512	
			600	.0633	1.16289	.998	-2.9045	3.0312	
		210	150	.0167	1.16289	1.000	-2.9512	2.9845	
			600	.0800	1.16289	.997	-2.8879	3.0479	
		600	150	-.0633	1.16289	.998	-3.0312	2.9045	
			210	-.0800	1.16289	.997	-3.0479	2.8879	
	Scheffe	150	210	-.0167	1.16289	1.000	-3.1173	3.0839	
			600	.0633	1.16289	.999	-3.0373	3.1639	
		210	150	.0167	1.16289	1.000	-3.0839	3.1173	
			600	.0800	1.16289	.998	-3.0206	3.1806	
		600	150	-.0633	1.16289	.999	-3.1639	3.0373	
			210	-.0800	1.16289	.998	-3.1806	3.0206	

Fuente: SPSS versión 23.

En la Tabla A.5 se visualiza que al realizar las comparaciones múltiples se interpreta que ambos autores coinciden que los parámetros de CE y pH, tienen un mayor efecto de incremento a concentración 6 gr/L, mientras que los parámetros de dureza total y cloruros tiene un mayor efecto en disminución con el tratamiento 2 gr/L. Sulfatos no tiene diferencia significativa.

Tabla A.5: Comparaciones múltiples para concentración de carbón activado

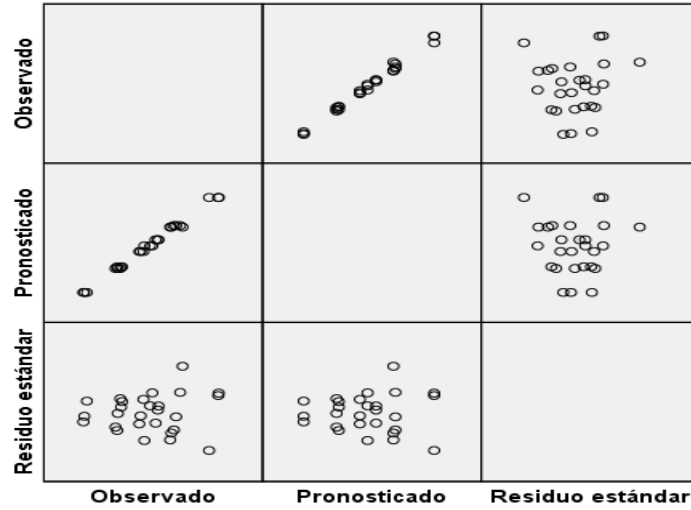
Comparaciones múltiples							
Variable dependiente		Concentrac ión de carbón activado	Concentrac ión de carbón activado	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
Cloruros	HSD Tukey	2	4	-.5189	.66855	.722	-2.2251
			6	-.9367	.66855	.361	-2.6429
		4	2	.5189	.66855	.722	-1.1874
			6	-.4178	.66855	.809	-2.1240
		6	2	.9367	.66855	.361	-.7696
			4	.4178	.66855	.809	-1.2885
	Scheffe	2	4	-.5189	.66855	.744	-2.3014
			6	-.9367	.66855	.394	-2.7192
		4	2	.5189	.66855	.744	-1.2637
			6	-.4178	.66855	.824	-2.2003
		6	2	.9367	.66855	.394	-.8459
			4	.4178	.66855	.824	-1.3648
Conductivid ad Eléctrica	HSD Tukey	2	4	-27,7778*	4.60988	.000	-39.5430
			6	-58,6667*	4.60988	.000	-70.4318
		4	2	27,7778*	4.60988	.000	16.0126
			6	-30,8889*	4.60988	.000	-42.6541
		6	2	58,6667*	4.60988	.000	46.9015
			4	30,8889*	4.60988	.000	19.1237
	Scheffe	2	4	-27,7778*	4.60988	.000	-40.0691
			6	-58,6667*	4.60988	.000	-70.9580
		4	2	27,7778*	4.60988	.000	15.4865
			6	-30,8889*	4.60988	.000	-43.1802
		6	2	58,6667*	4.60988	.000	46.3754
			4	30,8889*	4.60988	.000	18.5976
Dureza Total	HSD Tukey	2	4	-2.1089	.83558	.053	-4.2414
			6	-3,9056*	.83558	.001	-6.0381
		4	2	2.1089	.83558	.053	-.0236
			6	-1.7967	.83558	.108	-3.9292
		6	2	3,9056*	.83558	.001	1.7730
			4	1.7967	.83558	.108	-.3359
	Scheffe	2	4	-2.1089	.83558	.065	-4.3368
			6	-3,9056*	.83558	.001	-6.1334
		4	2	2.1089	.83558	.065	-.1190
			6	-1.7967	.83558	.128	-4.0246

		6	2	3,9056*	.83558	.001	1.6777
			4	1.7967	.83558	.128	-.4312
pH	HSD Tukey	2	4	-.1600	.07894	.134	-.3615
			6	-,3422*	.07894	.001	-.5437
		4	2	.1600	.07894	.134	-.0415
			6	-.1822	.07894	.080	-.3837
		6	2	,3422*	.07894	.001	.1408
			4	.1822	.07894	.080	-.0192
	Scheffe	2	4	-.1600	.07894	.157	-.3705
			6	-,3422*	.07894	.002	-.5527
		4	2	.1600	.07894	.157	-.0505
			6	-.1822	.07894	.097	-.3927
		6	2	,3422*	.07894	.002	.1317
			4	.1822	.07894	.097	-.0283
Sulfatos	HSD Tukey	2	4	-.3467	1.16289	.952	-3.3145
			6	-.9867	1.16289	.679	-3.9545
		4	2	.3467	1.16289	.952	-2.6212
			6	-.6400	1.16289	.848	-3.6079
		6	2	.9867	1.16289	.679	-1.9812
			4	.6400	1.16289	.848	-2.3279
	Scheffe	2	4	-.3467	1.16289	.957	-3.4473
			6	-.9867	1.16289	.703	-4.0873
		4	2	.3467	1.16289	.957	-2.7539
			6	-.6400	1.16289	.861	-3.7406
		6	2	.9867	1.16289	.703	-2.1139
			4	.6400	1.16289	.861	-2.4606

Fuente: SPSS versión 23.

Gráficos de residuos estándar observados * pronosticados

Variable dependiente: Porcentaje de incremento de cloruros

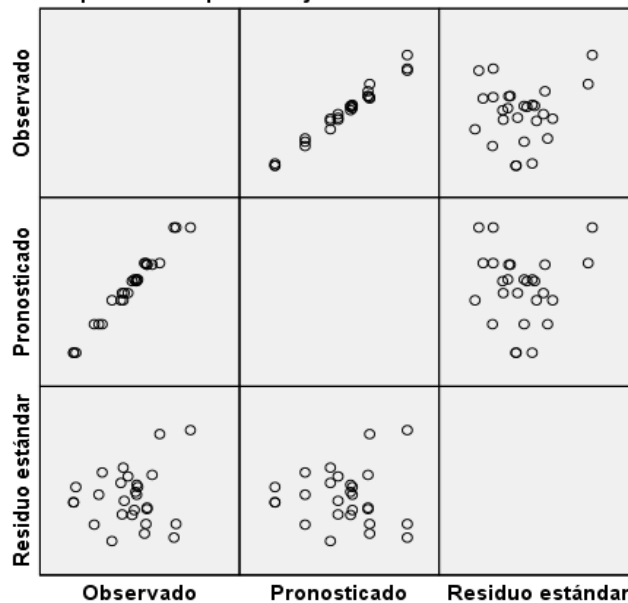


Modelo: Intersección + Tamaño de partícula + concentración + Tamaño de partícula * concentración

Figura A.1: Gráfico de residuos para cloruros

Se observa una tendencia lineal para porcentaje de incremento de cloruros y en cuanto a las variables independientes en el cuadrante de residuo estándar se observa que están dispersas.

Variable dependiente: porcentaje de incremento de conductividad

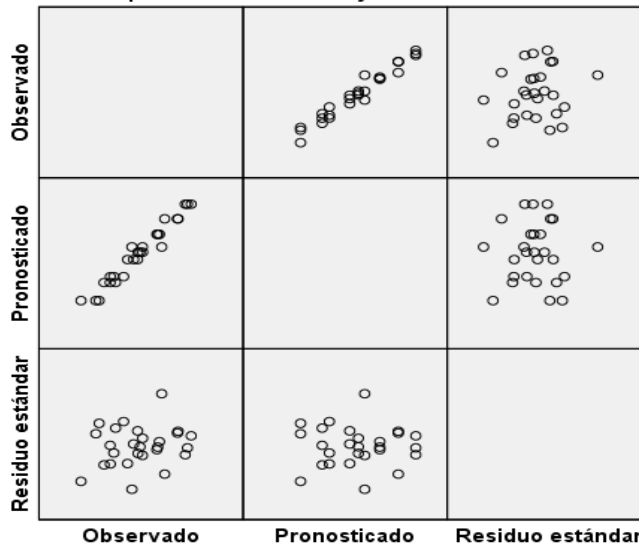


Modelo: Intersección + Tamaño de partícula + concentración + Tamaño de partícula * concentración

Figura A.2: Gráfico de residuos para conductividad

Se observa una tendencia lineal para porcentaje de incremento de conductividad y en cuanto a variables independientes en el cuadrante de residuo estándar se muestran dispersas.

Variable dependiente: Porcentaje de reduccion de dureza

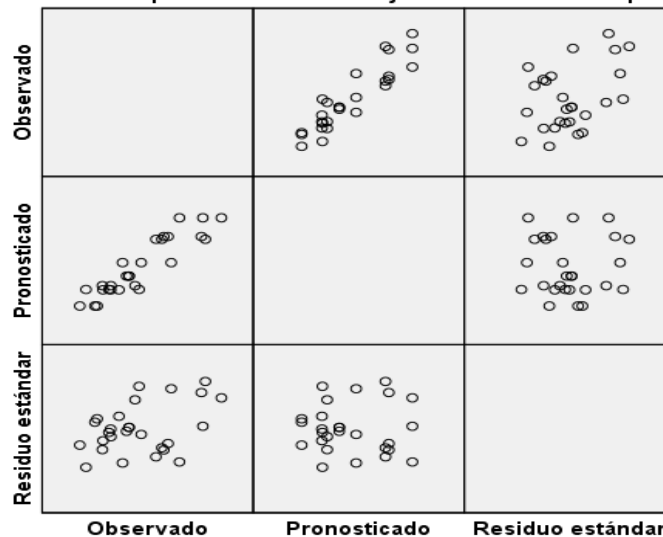


Modelo: Intersección + Tamaño de partícula + concentración + Tamaño de partícula * concentración

Figura A.3: Gráfico de residuos para dureza

Se observa una tendencia lineal para porcentaje de reducción para dureza y en cuanto a variables independientes en el cuadrante de residuo estándar se muestran dispersas.

Variable dependiente: Porcentaje de incremento de pH

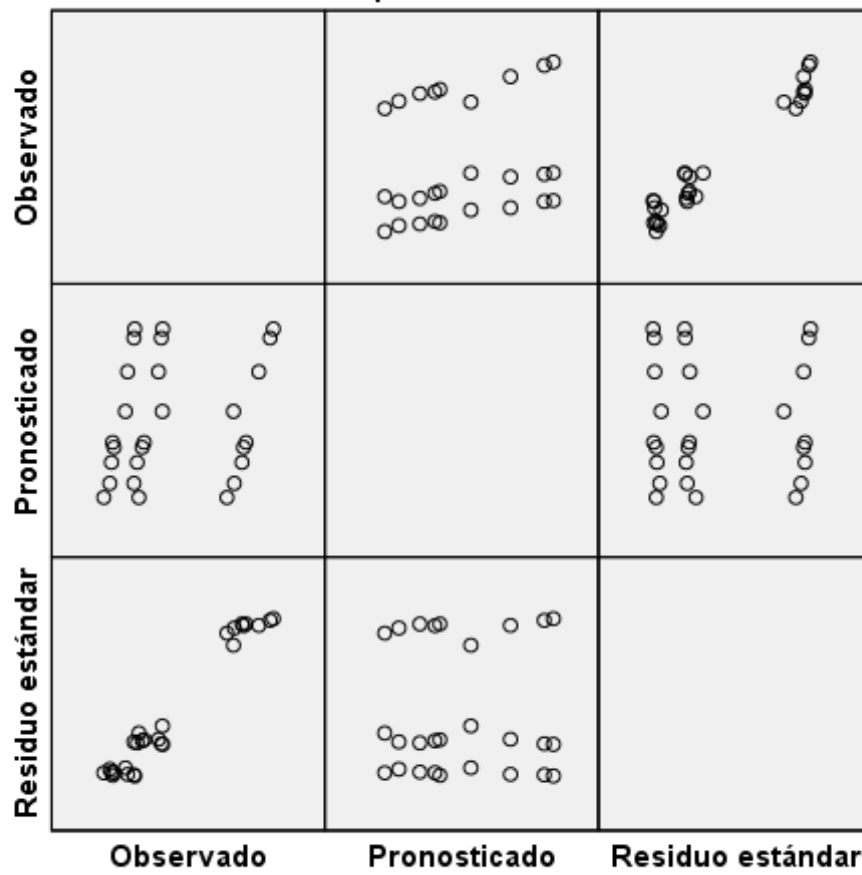


Modelo: Intersección + Tamaño de partícula + concentración + Tamaño de partícula * concentración

Figura A.4: Gráfico de residuos para pH

Se observa una tendencia lineal para porcentaje de incremento en pH y en cuanto a variables independientes en el cuadrante de residuo estándar se muestran dispersas.

Variable dependiente: Sulfatos



Modelo: Interceptación + Tamaño de partícula + concentración + Tamaño de partícula * concentración

Figura A.4: Gráfico de residuos para sulfatos

Se observa que para el parámetro de sulfatos no se tuvo una tendencia lineal.