

## NEUTRALIZACIÓN DEL POTENCIAL DE HIDRÓGENO DEL AGUA MIEL DE UN BENEFICIO HÚMEDO TECNIFICADO DE CAFÉ UTILIZANDO HIDRÓXIDO DE CALCIO Y BICARBONATO DE SODIO

*Ing. Claudia Cerrato Espinal<sup>1</sup>*

**RESUMEN:** Las aguas residuales producto del beneficiado de café, conocidas como agua miel, poseen un pH medio de 4.68 unidades, al ser descargadas en cuerpos receptores de agua modifican drásticamente la acidez natural, incrementan la turbiedad y ocasionan el agotamiento del oxígeno disuelto. Previo a realizar un tratamiento por vía biológica del agua miel, se hace necesario realizar la adición de alcalinidad que puede ser por medio de dos grupos de alcalinizantes: los que reaccionan con el gas carbónico para formar alcalinidad bicarbónica como el hidróxido de calcio y los que ofrecen alcalinidad bicarbónica directamente como es el bicarbonato de sodio. En ensayos de laboratorio, utilizando quince muestras diferentes de agua miel de un beneficio húmedo tecnificado, se adicionó diferentes concentraciones de bicarbonato de sodio e hidróxido de calcio. Para cada uno de los alcalinizantes y en cada concentración, se midió su pH al finalizar el ensayo y nuevamente 24 horas después. Con todos los valores de pH y mediante un análisis de estadística descriptiva, se concluyó que una concentración de 2.50 gramos de bicarbonato de sodio por litro de agua miel, neutraliza el pH en un valor medio de 6.23 unidades, además adiciona capacidad buffer, ya que 24 horas después, el valor medio de pH para esta concentración, fue de 6.27 unidades. Por el contrario, utilizando hidróxido de calcio en una concentración de 2.50 gramos por litro de agua miel; como tradicionalmente se hace en los beneficios húmedos tecnificados de café, el pH del agua miel se incrementa de forma brusca a 10.20 unidades y desciende a 8.75 unidades 24 horas después.

**PALABRAS CLAVE:** Agua residual del café, Carbonatos, Carbonato de Sodio, Capacidad buffer, hidróxidos, Potencial de Hidrógeno

**ABSTRACT.** Coffee waste water, have an average pH of 4.68 units, when this water is discharged into bodies of water change drastically the natural acidity and causing increased turbidity and reduced the dissolved oxygen. Prior to conducting treatment by biological way, it is necessary to perform the addition of alkalinity which can be through two alkalizing groups: those that react with carbon dioxide to form bicarbónica alkalinity as calcium hydroxide and that offer directly bicarbónica alkalinity as sodium bicarbonate. In laboratory, using fifteen different samples of coffee waste water was added different concentration of sodium bicarbonate and calcium hydroxide. For each and every concentration of alkalizing, its pH was measured in each laboratory test and after 24 hours. With all pH values and by descriptive statistical analysis it was concluded that a concentration of 2.50 grams of sodium bicarbonate per liter of coffee waste water, neutralizes the pH in a mean value of 6.23 units, and additional buffer capacity as 24 hours later, the medium pH value for this concentration was 6.27 units. By contrast, using calcium hydroxide at a concentration of 2.50 grams per liter of coffee waste water as is traditionally done, pH increases abruptly up to 10.20 units and 8.75 units 24 hours later.

**KEYWORDS:** Coffee waste water, Carbonates, Sodium Carbonate, buffer capacity, hydroxides, Potential or hydrogen.

### INTRODUCCIÓN

En este artículo, se muestran los resultados obtenidos en laboratorio al realizar la neutralización del potencial de hidrógeno del agua miel de un beneficiado húmedo tecnificado de café; por medio de la adición de hidróxido de calcio, bicarbonato de sodio y una mezcla de ambos alcalinizantes, no solo con el fin de neutralizar el pH, sino también, conocer la capacidad buffer aportada.

Para realizar los ensayos de laboratorio, se llenaron 18 vasos de precipitar con 200 centímetros cúbicos de agua miel. A seis de ellos se les adicionó hidróxido de calcio, iniciando en el primer vaso con una concentración de 0,50 g/l hasta el sexto con 3,00 g/l (incremento de 0,50 g/l). Las siguientes seis muestras se trataron con bicarbonato de sodio en las mismas concentraciones que el hidróxido de calcio. A todos los vasos restantes (6 vasos), se les adicionó hidróxido de calcio en una concentración de 1,50 g/l y cantidades variables de bicarbonato de sodio iniciando en una concentración de 0,50 g/l hasta 3,00 g/l

en el último vaso. Las muestras se colocaron por diez minutos en el agitador magnético y se procedió a medir el pH. Después de 24 horas se tomó nuevamente la lectura de pH de cada muestra. Este mismo procedimiento se realizó con las quince muestras de agua miel que se recolectaron durante la cosecha 2012 – 2013 (Octubre – marzo)

A partir de un análisis de estadística descriptiva, se concluyó que el mejor alcalinizante es el bicarbonato de sodio en una concentración de 2,50 g/l logrando un pH de 6,26 unidades y adicionando capacidad buffer ya que 24 horas después el pH se mantuvo en 6,27 unidades.

Para la mezcla de hidróxido de calcio más bicarbonato de sodio la mejor concentración es de 1,50 g/l de hidróxido de calcio más 1,00 g/l de bicarbonato de sodio. Se recomienda esta concentración si se requiere disminuir costos frente a la adición de alcalinidad únicamente con bicarbonato de sodio.

En el caso de la adición de alcalinidad utilizando hidróxido de calcio, se pudo observar que el incremento de pH es brusco y que 24 horas después, el pH del agua miel descende en un porcentaje medio de 13,96 %. De utilizar hidróxido de calcio, se recomienda una concentración de

genera Civil; MSc. Ingeniería  
nitaria ERIS/USAC. Honduras

1,50 g/l la que sube el pH a un rango entre 6 y 8 unidades. En este caso el pH no será estable en el transcurso

del tiempo.

## MARCO TEÓRICO

El agua utilizada en el proceso del beneficiado, se convierte en un agua residual conocida como agua miel. Al descargarla sobre cuerpos receptores de agua, se corre el riesgo de deteriorar estas fuentes, ya que los elementos aportados pueden afectar el agua de la siguiente forma:

- Modificar drásticamente la acidez natural del agua a pH menores de 6.00 unidades a causa del aporte de los ácidos orgánicos que se producen durante la degradación de la materia orgánica.
- Agotar el oxígeno disuelto (OD) en el agua, a causa de la necesidad de abastecimiento por parte de los microorganismos encargados de la degradación de la alta cantidad de materia orgánica.
- Incremento de la turbiedad del agua como consecuencia de la gran cantidad de sólidos suspendidos.

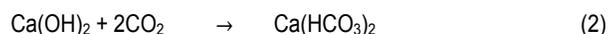
Tradicionalmente, se ha realizado un tratamiento químico que consiste en adicionar alcalinidad a través de la aplicación de hidróxido de calcio en una concentración de 2.50 g/l, haciendo que el pH alcance valores que oscilan entre 8.00 y 10.00 unidades y que el pH no se mantenga constante en el tiempo.

Existen varios productos que pueden emplearse para proporcionar alcalinidad, los cuales pueden ser diferenciados en dos grupos:

### 1. Los que reaccionan con el gas carbónico para formar alcalinidad bicarbonática, ejemplo:

- $\text{Ca(OH)}_2$  (hidróxido de calcio),
- $\text{NaOH}$  (hidróxido de sodio),

La adición de iones hidróxidos ( $\text{OH}^-$ ) como los del hidróxido de calcio y el hidróxido de sodio no puede incrementar la alcalinidad bicarbonática sin reaccionar con el  $\text{CO}_2$  soluble como lo muestran las siguientes reacciones:



Los compuestos hidróxidos, como se muestra en las reacciones, requieren dos moles de dióxido de carbono indicando que la adición de hidróxido de sodio e hidróxido de calcio pueden ocasionar una disminución de la

concentración de  $\text{CO}_2$  lo que en reactores anaerobios puede ocasionar vacíos y el colapso en sus estructuras<sup>3</sup>.

En el caso del Hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ ), no forma sales insolubles, pero por tratarse de una base fuerte, la sobre dosificación del producto ocasiona un incremento súbito del pH. Adicionalmente da una falsa idea de la capacidad buffer del sistema, ya que una vez que ingresan al sistema ácidos producto de las reacciones microbiales, el pH descenderá rápidamente.

El uso de hidróxido de calcio requiere de cuidado en la manipulación debido a la insolubilidad de algunas sales que se forman generando precipitados de  $\text{CaCO}_3$  lo que puede generar costras duras en las estructuras. De igual manera, por ser una base fuerte puede incrementar de forma brusca el pH si se da una sobredosificación.

### 2. Los que ofrecen alcalinidad bicarbonática directamente, ejemplo:

- $\text{NaHCO}_3$  (bicarbonato de sodio)
- $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  (bicarbonato de amonio)

A partir de los compuestos carbonatos, solamente se requiere un mol de dióxido de carbono para producir dos moles de bicarbonato como se muestra en la siguiente reacción:



El bicarbonato de sodio ( $\text{NaHCO}_3$ ) es una sal formada por una base fuerte, hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ ), y un ácido débil, ácido carbónico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ), y como todas las demás sales así formadas, presentan características de sustancias buffer. El ion bicarbonato sirve de buffer en valores de pH cercanos entre 6 a 8 unidades. Es fácil de manipular, bastante soluble y no reacciona con el  $\text{CO}_2$ , evitando presiones negativas en el interior de estructuras anaerobias; además, ejerce una excelente acción amortiguadora. Este compuesto es considerado el principal suplemento de alcalinidad bicarbonática y es el único producto que cambia suavemente el equilibrio del medio para lograr un valor deseado, sin alterar el balance fisicoquímico de la delicada comunidad biológica. Su desventaja es su mayor costo frente a la cal hidratada y el hidróxido de sodio.

## METODOLOGÍA Y RESULTADOS OBTENIDOS

Se tomaron quince muestras diferentes de agua miel en el Beneficio Húmedo Tecnificado Nuevo Sendero, aldea de Chapas, Municipio de Nueva Santa Rosa, Departamento de Santa Rosa, Guatemala; a lo largo de todo el período de producción y beneficiado de café que se extendió desde octubre de 2012 a marzo de 2013. Se realizaron los siguientes ensayos:

- Muestras 1 a la 5: Utilizadas para determinar la concentración teórica de hidróxido de calcio, que es

<sup>3</sup> Perez, Torres (2008)

necesaria para alcanzar en el agua miel un pH de 7.00 unidades.

- **Muestras 4 a la 15:** Ensayos de adición de alcalinidad utilizando hidróxido de calcio y bicarbonato de sodio (sin mezclar ambos alcalinizantes) tomando lecturas de pH al terminar el ensayo y 24 horas después. Las muestras 4 y 5, como se mencionó anteriormente, también se utilizaron para determinar la concentración teórica de hidróxido de calcio que es necesaria para alcanzar un pH de 7.00 unidades.
- **Muestras 5 a la 15:** Ensayo de adición de alcalinidad utilizando una mezcla de hidróxido de calcio y bicarbonato de sodio, tomando lecturas de pH al finalizar el ensayo y 24 horas después.

En resumen, las muestras de agua miel y los ensayos realizados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2. Ensayos realizados con las diferentes muestras de agua miel que fueron recolectadas en la cosecha octubre 2012 a marzo 2013

| NÚMERO DE MUESTRA | DETERMINACIÓN DE CONCENTRACIÓN DE HIÓXIDO DE CALCIO NECESARIA PARA ALCANZAR PH 7.00 | ADICIÓN DE ALCALINIDAD UTILIZANDO HIÓXIDO DE CALCIO | ADICIÓN DE ALCALINIDAD UTILIZANDO BICARBONATO DE SODIO | ADICIÓN DE ALCALINIDAD UTILIZANDO UNA MEZCLA DE HIÓXIDO DE CALCIO Y BICARBONATO DE SODIO |
|-------------------|---|---|--|--|
| 1                 | X   |   |  |  |
| 2                 | X   |   |  |  |
| 3                 | X   |   |  |  |
| 4                 | X   | X   | X  |  |
| 5                 | X   | X   | X  | X  |
| 6                 |   | X   | X  | X  |
| 7                 |   | X   | X  | X  |
| 8                 |   | X   | X  | X  |
| 9                 |   | X   | X  | X  |
| 10                |   | X   | X  | X  |
| 11                |   | X   | X  | X  |
| 12                |   | X   | X  | X  |
| 13                |   | X   | X  | X  |
| 14                |   | X   | X  | X  |
| 15                |   | X   | X  | X  |

Para cada uno de los ensayos y para cada muestra, se midió 200 cm<sup>3</sup> de agua miel en seis vasos de precipitar de igual capacidad.

#### Adición de alcalinidad utilizando hidróxido de calcio

Para cada muestra, se adicionó hidróxido de calcio a cada uno de los seis vasos de precipitar iniciando con una concentración de 0.50 g/l en el primer vaso hasta 3.00 g/l en el vaso N° 6, (incremento de la concentración de 0.50 g/l por vaso). Las muestras se agitaron por diez minutos en el agitador magnético y se procedió a realizar la medición de pH de cada una de las muestras. 24 horas después, se realizó nuevamente la medición de pH. Los resultados que se obtuvieron así como los cálculos de media, mediana, cuartiles Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub> y Q<sub>3</sub> se muestran en las tablas 2 y 3.

Tabla 2. Datos de pH del agua miel al adicionar hidróxido de calcio.

Cálculo de media, mediana, desviación estándar y cuartiles 1, 2 y 3

| VASO N°             | DATOS DE pH AL ADICIONAR HIÓXIDO DE CALCIO |      |      |       |       |       |       |
|---------------------|--|------|------|-------|-------|-------|-------|
|                     | Sin tratar                                 | 1.00 | 2.00 | 3.00  | 4.00  | 5.00  | 6.00  |
| CONCENTRACION g/l   | -  | 0.50 | 1.00 | 1.50  | 2.00  | 2.50  | 3.00  |
| MUESTRA 4           | 4.30                                       | 5.63 | 7.06 | 8.49  | 9.22  | 12.02 | 12.30 |
| MUESTRA 5           | 4.57                                       | 6.06 | 7.11 | 8.24  | 9.28  | 10.68 | 12.10 |
| MUESTRA 6           | 4.34                                       | 5.52 | 6.29 | 7.83  | 9.29  | 11.15 | 11.32 |
| MUESTRA 7           | 4.48                                       | 4.96 | 5.61 | 6.70  | 8.22  | 8.97  | 10.60 |
| MUESTRA 8           | 4.43                                       | 7.49 | 9.73 | 10.82 | 11.98 | 12.20 | 12.41 |
| MUESTRA 9           | 4.21                                       | 4.58 | 5.09 | 6.21  | 6.49  | 7.16  | 8.71  |
| MUESTRA 10          | 4.33                                       | 4.74 | 5.06 | 5.42  | 6.17  | 6.68  | 7.41  |
| MUESTRA 11          | 4.77                                       | 6.18 | 6.46 | 7.04  | 7.46  | 7.82  | 9.12  |
| MUESTRA 12          | 4.78                                       | 6.82 | 8.52 | 10.53 | 12.12 | 12.30 | 12.37 |
| MUESTRA 13          | 4.84                                       | 5.63 | 6.85 | 8.75  | 9.90  | 11.92 | 12.40 |
| MUESTRA 14          | 4.65                                       | 6.35 | 6.82 | 8.22  | 8.15  | 10.00 | 12.31 |
| MUESTRA 15          | 4.62                                       | 6.51 | 8.02 | 8.24  | 12.17 | 12.32 | 12.50 |
| CUARTIL 1           | 4.34                                       | 5.38 | 6.12 | 6.96  | 7.98  | 8.68  | 10.23 |
| CUARTIL 2           | 4.53                                       | 5.84 | 6.84 | 8.23  | 9.25  | 10.92 | 12.20 |
| CUARTIL 3           | 4.68                                       | 6.39 | 7.34 | 8.56  | 10.42 | 12.07 | 12.38 |
| MEDIA               | 4.53                                       | 5.87 | 6.89 | 8.04  | 9.20  | 10.27 | 11.13 |
| MEDIANA             | 5.84                                       | 5.84 | 6.84 | 8.23  | 9.25  | 10.92 | 12.20 |
| DESVIACION ESTANDAR | 0.21                                       | 0.87 | 1.38 | 1.59  | 2.07  | 2.11  | 1.77  |

Tabla 3. Datos de pH del agua miel 24 horas después de adicionar hidróxido de calcio. Cálculo de media, mediana, desviación estándar y cuartiles 1, 2 y 3

| VASO N°             | DATOS DE pH 24 HORAS DESPUES DE ADICIONAR HIÓXIDO DE CALCIO |      |      |      |       |       |       |
|---------------------|---|------|------|------|-------|-------|-------|
|                     | Sin tratar  | 1.00 | 2.00 | 3.00 | 4.00  | 5.00  | 6.00  |
| CONCENTRACION g/l   | -   | 0.50 | 1.00 | 1.50 | 2.00  | 2.50  | 3.00  |
| MUESTRA 4           | 4.28  | 4.12 | 4.10 | 4.28 | 4.89  | 4.80  | 6.90  |
| MUESTRA 5           | 4.51  | 5.10 | 5.91 | 6.98 | 7.50  | 9.49  | 11.68 |
| MUESTRA 6           | 4.30  | 4.90 | 5.80 | 6.57 | 7.09  | 10.28 | 10.53 |
| MUESTRA 7           | 4.45  | 4.72 | 5.19 | 5.93 | 6.56  | 7.02  | 8.15  |
| MUESTRA 8           | 4.46  | 5.37 | 7.08 | 8.38 | 12.15 | 12.49 | 12.58 |
| MUESTRA 9           | 4.17  | 4.54 | 4.96 | 5.96 | 7.36  | 7.74  | 7.05  |
| MUESTRA 10          | 4.32  | 4.67 | 4.98 | 5.28 | 5.89  | 6.42  | 7.27  |
| MUESTRA 11          | 4.84  | 6.46 | 7.10 | 7.59 | 7.71  | 7.74  | 7.55  |
| MUESTRA 12          | 4.84  | 5.41 | 5.47 | 7.00 | 9.70  | 12.06 | 12.33 |
| MUESTRA 13          | 7.33  | 7.59 | 7.36 | 7.22 | 7.00  | 7.43  | 12.26 |
| MUESTRA 14          | 5.25  | 5.96 | 5.48 | 6.45 | 6.62  | 7.62  | 11.57 |
| MUESTRA 15          | 4.55  | 5.27 | 6.90 | 5.52 | 10.21 | 12.80 | 12.81 |
| CUARTIL 1           | 4.32  | 4.71 | 5.14 | 5.83 | 6.61  | 7.33  | 7.48  |
| CUARTIL 2           | 4.49  | 5.18 | 5.64 | 6.51 | 7.23  | 7.74  | 11.05 |
| CUARTIL 3           | 4.84  | 5.55 | 6.95 | 7.06 | 8.21  | 10.73 | 12.28 |
| MEDIA               | 4.78  | 5.34 | 5.86 | 6.43 | 7.72  | 8.82  | 10.06 |
| MEDIANA             | 4.49  | 5.18 | 5.64 | 6.51 | 7.23  | 7.74  | 11.05 |
| DESVIACION ESTANDAR | 0.86  | 0.95 | 1.04 | 1.11 | 2.02  | 2.58  | 2.45  |

Adición de alcalinidad utilizando bicarbonato de sodio  
Procedimiento similar a la adición de alcalinidad utilizando hidróxido de calcio. Los valores de pH al terminar el ensayo y 24 horas después, así como, los valores de los cuartiles 1, 2, 3, media y desviación estándar se muestran en las tablas 4 y 5.

Tabla 4. Datos de pH del agua miel al adicionar bicarbonato de sodio. Cálculo de media, mediana, desviación estándar y cuartiles 1,

2 y 3

| VASO N°             | DATOS DE pH AL ADICIONAR BICARBONATO DE SODIO |      |      |      |      |      |      |
|---------------------|---|------|------|------|------|------|------|
|                     | Sin tratar                                    | 1.00 | 2.00 | 3.00 | 4.00 | 5.00 | 6.00 |
| CONCENTRACION g/l   | -   | 0.50 | 1.00 | 1.50 | 2.00 | 2.50 | 3.00 |
| MUESTRA 4           | 4.30  | 5.03 | 5.63 | 6.10 | 6.51 | 6.29 | 6.68 |
| MUESTRA 5           | 4.57  | 5.13 | 5.60 | 6.03 | 6.35 | 6.46 | 6.54 |
| MUESTRA 6           | 4.34  | 4.85 | 5.13 | 5.48 | 5.85 | 6.16 | 6.45 |
| MUESTRA 7           | 4.48  | 4.82 | 5.09 | 5.36 | 5.70 | 5.92 | 6.28 |
| MUESTRA 8           | 4.43  | 4.64 | 4.76 | 4.87 | 5.12 | 5.21 | 5.28 |
| MUESTRA 9           | 4.21  | 4.58 | 5.09 | 6.21 | 6.49 | 7.16 | 8.71 |
| MUESTRA 10          | 4.33  | 4.53 | 4.67 | 4.87 | 5.02 | 5.33 | 5.54 |
| MUESTRA 11          | 4.77  | 5.67 | 6.06 | 6.23 | 6.44 | 6.59 | 7.01 |
| MUESTRA 12          | 4.78  | 6.12 | 6.62 | 6.91 | 7.06 | 6.79 | 7.32 |
| MUESTRA 13          | 4.84  | 5.04 | 5.37 | 5.74 | 6.04 | 6.24 | 6.52 |
| MUESTRA 14          | 4.65  | 5.04 | 5.26 | 5.63 | 5.99 | 6.19 | 6.43 |
| MUESTRA 15          | 4.62  | 4.94 | 5.30 | 5.72 | 5.98 | 6.40 | 6.60 |
| CUARTIL 1           | 4.34  | 4.78 | 5.09 | 5.13 | 5.81 | 6.10 | 6.39 |
| CUARTIL 2           | 4.53  | 4.99 | 5.28 | 5.94 | 6.02 | 6.27 | 6.53 |
| CUARTIL 3           | 4.68  | 5.06 | 5.61 | 6.54 | 6.45 | 6.49 | 6.76 |
| MEDIA               | 4.53  | 5.03 | 5.38 | 5.76 | 6.05 | 6.23 | 6.61 |
| MEDIANA             | 4.53  | 4.99 | 5.28 | 5.73 | 6.02 | 6.27 | 6.53 |
| DESVIACION ESTANDAR | 0.21  | 0.46 | 0.54 | 0.59 | 0.58 | 0.55 | 0.86 |

Tabla 5. Datos de pH del agua miel 24 horas después de adicionar bicarbonato de sodio. Cálculo de media, mediana, desviación estándar y cuartiles 1, 2 y 3

| VASO N°             | DATOS DE pH 24 HORAS DESPUES DE ADICIONAR BICARBONATO DE SODIO |      |      |      |      |      |      |
|---------------------|--|------|------|------|------|------|------|
|                     | Sin tratar   | 1.00 | 2.00 | 3.00 | 4.00 | 5.00 | 6.00 |
| CONCENTRACION g/l   | -  | 0.50 | 1.00 | 1.50 | 2.00 | 2.50 | 3.00 |
| MUESTRA 4           | 4.28   | 6.45 | 7.11 | 6.91 | 6.93 | 6.55 | 8.71 |
| MUESTRA 5           | 4.51   | 4.89 | 5.32 | 5.54 | 6.25 | 6.63 | 7.03 |
| MUESTRA 6           | 4.30   | 4.93 | 5.33 | 5.67 | 6.23 | 6.87 | 7.39 |
| MUESTRA 7           | 4.45   | 4.63 | 4.87 | 5.08 | 5.41 | 5.52 | 5.83 |
| MUESTRA 8           | 4.46   | 4.62 | 4.69 | 4.78 | 5.06 | 5.12 | 5.15 |
| MUESTRA 9           | 4.17   | 4.54 | 4.96 | 5.96 | 7.36 | 7.74 | 7.05 |
| MUESTRA 10          | 4.32   | 4.54 | 4.62 | 4.83 | 4.96 | 5.22 | 5.39 |
| MUESTRA 11          | 4.84   | 5.59 | 6.40 | 6.93 | 7.21 | 7.39 | 7.82 |
| MUESTRA 12          | 4.84   | 4.87 | 5.16 | 5.60 | 6.54 | 5.40 | 7.58 |
| MUESTRA 13          | 7.33   | 6.44 | 7.46 | 6.94 | 7.18 | 7.14 | 7.20 |
| MUESTRA 14          | 5.25   | 5.43 | 6.22 | 5.85 | 6.09 | 6.21 | 5.25 |
| MUESTRA 15          | 4.55   | 4.77 | 5.00 | 5.13 | 5.31 | 5.43 | 5.95 |
| CUARTIL 1           | 4.32   | 4.63 | 4.94 | 5.12 | 5.39 | 5.42 | 5.72 |
| CUARTIL 2           | 4.49   | 4.88 | 5.24 | 5.64 | 6.24 | 6.38 | 7.04 |
| CUARTIL 3           | 4.84   | 5.47 | 6.27 | 6.20 | 6.99 | 6.94 | 7.44 |
| MEDIA               | 4.78   | 5.14 | 5.60 | 5.77 | 6.21 | 6.27 | 6.70 |
| MEDIANA             | 4.49   | 4.88 | 5.24 | 5.64 | 6.24 | 6.38 | 7.04 |
| DESVIACION ESTANDAR | 0.86   | 0.69 | 0.96 | 0.79 | 0.87 | 0.91 | 1.15 |

Adición de alcalinidad utilizando una cantidad fija de hidróxido de calcio y cantidades variables de bicarbonato de sodio

Después de analizar el comportamiento del pH en las primeras cinco muestras en las que se adicionó hidróxido de calcio, se calculó por medio de las rectas de mejor ajuste, la concentración media capaz de obtener un pH de 7.00 unidades. Esta concentración teórica se determinó en 1.28 g/l. Se estableció una concentración de 1.50 g/l por ser una cantidad manejable.

A partir de lo anterior, iniciando en la muestra 5 y terminando en la 15, se adicionó 1.50 g/l de hidróxido de calcio y concentraciones diferentes de bicarbonato de sodio, empezando en el primer vaso con 0.50 g/l hasta 3.00 g/l en el vaso 6.

Los valores de pH que se obtuvieron en laboratorio, así como, los cálculos estadísticos se muestran en las tablas 6 y 7

Tabla 6. Datos de pH del agua miel al adicionar 1.50 g/l de hidróxido de calcio y cantidades variables de bicarbonato de sodio. Cálculo de media, mediana, desviación estándar y cuartiles 1, 2 y 3

| VASO N°             | DATOS DE Ph AL ADICIONAR HIDRÓXIDO DE CALCIO Y BICARBONATO DE SODIO |       |      |      |      |      |      |
|---------------------|---|-------|------|------|------|------|------|
|                     | Sin tratar  | 1.00  | 2.00 | 3.00 | 4.00 | 5.00 | 6.00 |
| CONCENTRACION g/l   | -   | 0.50  | 1.00 | 1.50 | 2.00 | 2.50 | 3.00 |
| MUESTRA 5           | 4.57  | 6.82  | 8.15 | 8.35 | 8.15 | 8.22 | 8.18 |
| MUESTRA 6           | 4.34  | 5.87  | 6.83 | 7.35 | 7.00 | 7.40 | 7.43 |
| MUESTRA 7           | 4.48  | 6.03  | 6.97 | 7.30 | 7.29 | 7.45 | 7.29 |
| MUESTRA 8           | 4.43  | 6.89  | 6.86 | 7.81 | 7.74 | 7.12 | 7.13 |
| MUESTRA 9           | 4.21  | 5.89  | 6.53 | 6.45 | 6.31 | 6.63 | 6.69 |
| MUESTRA 10          | 4.33  | 5.95  | 6.15 | 6.35 | 6.48 | 6.64 | 6.74 |
| MUESTRA 11          | 4.77  | 7.48  | 7.46 | 8.09 | 8.08 | 8.07 | 8.07 |
| MUESTRA 12          | 4.78  | 10.20 | 9.28 | 9.00 | 8.67 | 8.85 | 9.10 |
| MUESTRA 13          | 4.84  | 8.91  | 8.69 | 8.78 | 8.54 | 8.55 | 8.39 |
| MUESTRA 14          | 4.65  | 8.80  | 9.20 | 9.18 | 8.17 | 8.18 | 8.29 |
| MUESTRA 15          | 4.62  | 9.10  | 9.17 | 8.39 | 8.23 | 8.14 | 7.88 |
| CUARTIL 1           | 4.39  | 5.99  | 6.85 | 7.33 | 7.15 | 7.26 | 7.21 |
| CUARTIL 2           | 4.57  | 6.89  | 7.46 | 8.09 | 8.08 | 8.07 | 7.88 |
| CUARTIL 3           | 4.71  | 8.86  | 8.93 | 8.59 | 8.20 | 8.20 | 8.24 |
| MEDIA               | 4.55  | 7.45  | 7.75 | 7.91 | 7.70 | 7.75 | 7.74 |
| MEDIANA             | 4.57  | 6.89  | 7.46 | 8.09 | 8.08 | 8.07 | 7.88 |
| DESVIACION ESTANDAR | 0.21  | 1.55  | 1.18 | 0.96 | 0.81 | 0.75 | 0.75 |

Tabla 7. Datos de pH del agua miel 24 horas después de adicionar 1.50 g/l de hidróxido de calcio y cantidades variables de bicarbonato de sodio. Cálculo de media, mediana, desviación estándar y cuartiles 1, 2 y 3

| VASO N°             | DATOS DE pH 24 HORAS DESPUES DE ADICIONAR HIDRÓXIDO DE CALCIO MAS BICARBONATO DE SODIO |      |      |      |      |      |      |
|---------------------|--|------|------|------|------|------|------|
|                     | Sin tratar   | 1.00 | 2.00 | 3.00 | 4.00 | 5.00 | 6.00 |
| CONCENTRACION g/l   | -  | 0.50 | 1.00 | 1.50 | 2.00 | 2.50 | 3.00 |
| MUESTRA 5           | 4.50   | 6.30 | 7.40 | 7.35 | 7.43 | 7.55 | 7.68 |
| MUESTRA 6           | 4.32   | 4.67 | 4.90 | 4.87 | 4.97 | 5.02 | 5.06 |
| MUESTRA 7           | 4.51   | 5.65 | 6.33 | 6.61 | 6.53 | 6.68 | 6.68 |
| MUESTRA 8           | 4.46   | 6.54 | 6.59 | 6.53 | 6.67 | 6.95 | 6.99 |
| MUESTRA 9           | 4.17   | 5.56 | 6.54 | 7.32 | 6.61 | 7.36 | 7.55 |
| MUESTRA 10          | 4.32   | 5.72 | 6.03 | 6.69 | 7.19 | 7.38 | 7.75 |
| MUESTRA 11          | 4.84   | 7.63 | 7.76 | 7.89 | 7.83 | 7.85 | 7.93 |
| MUESTRA 12          | 4.84   | 6.72 | 6.74 | 6.95 | 7.41 | 7.87 | 7.96 |
| MUESTRA 13          | 7.33   | 6.79 | 6.70 | 7.16 | 6.79 | 6.76 | 6.81 |
| MUESTRA 14          | 5.25   | 5.80 | 6.01 | 5.85 | 6.50 | 6.32 | 6.80 |
| MUESTRA 15          | 4.55   | 5.78 | 7.19 | 7.98 | 7.49 | 7.47 | 7.76 |
| CUARTIL 1           | 4.39   | 5.69 | 6.18 | 6.57 | 6.57 | 6.72 | 6.81 |
| CUARTIL 2           | 4.51   | 5.80 | 6.59 | 6.95 | 6.79 | 7.36 | 7.55 |
| CUARTIL 3           | 4.84   | 6.63 | 6.97 | 7.34 | 7.42 | 7.51 | 7.76 |
| MEDIA               | 4.83   | 6.11 | 6.56 | 6.84 | 6.86 | 7.02 | 7.18 |
| MEDIANA             | 4.51   | 5.80 | 6.59 | 6.95 | 6.79 | 7.36 | 7.55 |
| DESVIACION ESTANDAR | 0.88   | 0.79 | 0.77 | 0.90 | 0.77 | 0.83 | 0.85 |

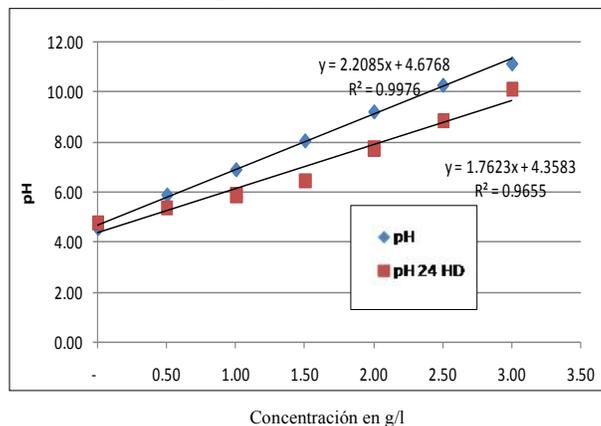
### ANALISIS DE RESULTADOS

Los resultados de los valores medios de pH en el ensayo de adición de alcalinidad utilizando hidróxido de calcio, se muestran en el grafica 1. Se observa que el pH tiende a disminuir en el transcurso de las 24 horas (en un porcentaje medio de 13.96%). El hidróxido de calcio no adiciona capacidad buffer para mantener el pH después de iniciar el tratamiento.

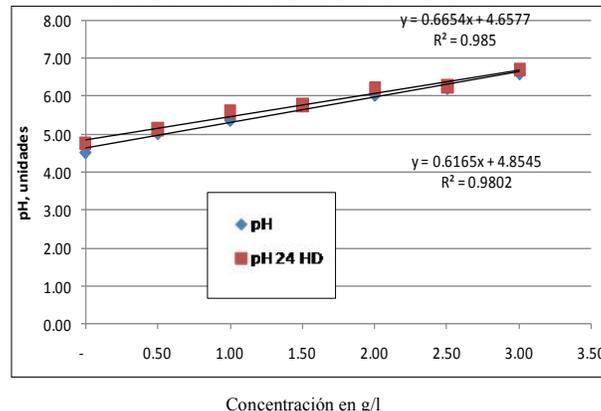
En el ensayo de adición de alcalinidad utilizando bicarbonato de sodio, (grafica 2) el pH del agua miel tiende a aumentar en el transcurso del tiempo. La variación del pH en el tiempo es un porcentaje medio de 2.25% valor mucho menor comparado con un 13.96% que corresponde al del hidróxido de calcio y 11.49% para hidróxido de calcio mas bicarbonato de sodio como se verá a continuación.

La gráfica 3 corresponde a los valores de pH obtenidos al adicionar ambos alcalinizantes. El bicarbonato de sodio evita el aumento brusco de pH el cual tiende a disminuir en el transcurso del tiempo en un porcentaje medio de 11.49% valor mucho mayor comparado con el bicarbonato de sodio, pero menor que el del hidróxido de calcio.

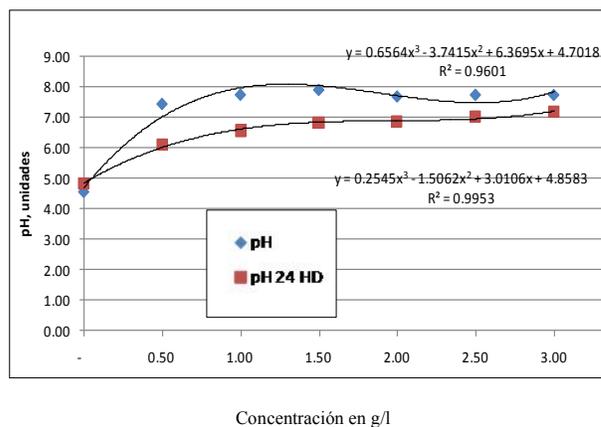
Grafica 1. Valores medios del pH del agua miel adicionando hidróxido de calcio.



Grafica 2. Valores medios del pH del agua miel adicionando bicarbonato de sodio



Grafica 3. Valores medios del pH del agua miel adicionando 1.5 g/l de hidróxido de calcio mas concentración variable de bicarbonato de sodio



Haciendo una comparación de los valores medios de pH obtenidos al aplicar hidróxido de calcio, bicarbonato de sodio y una mezcla de ambos, al momento de realizar el

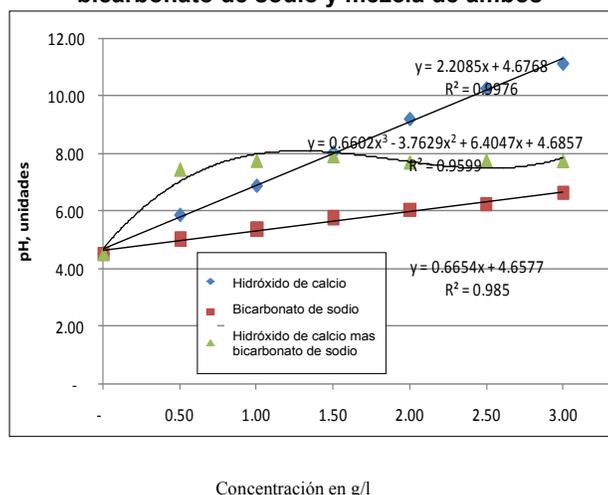
ensayo, como se muestra en el gráfica 4, puede observarse que:

- El pH del agua miel aplicando hidróxido de calcio crece de forma brusca y alcanza valores altos con cambios pequeños en la concentración.
- El pH del agua miel aplicando bicarbonato de sodio crece de forma lenta; aunque se incremente la concentración de bicarbonato de sodio, el pH no sobrepasa las 8.00 unidades
- Al aplicar una mezcla de hidróxido de calcio mas bicarbonato de sodio, el pH del agua miel es más estable y no se incrementa al aplicar mayor concentración de bicarbonato de sodio. El pH se mantienen dentro de un intervalo de 6.00 a 8.00 unidades.

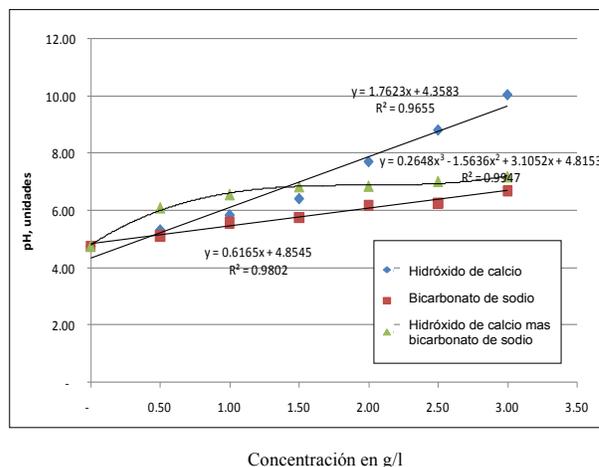
Comparando los valores medios del pH 24 horas después de aplicar los diferentes alcalinizantes, en el grafica 5 se observa que:

- Aplicando hidróxido de calcio, el pH disminuye para todas las concentraciones.
- Aplicando bicarbonato de sodio, el comportamiento del pH 24 horas después es similar a, cuando se realizó el ensayo. El pH no cambia considerablemente.
- Aplicando 1.50 g/l de hidróxido de calcio mas cantidades variables de bicarbonato de sodio, el pH del agua miel disminuye pero se mantiene en un intervalo de 6.00 a 8.00 unidades.

**Grafica 4. Valores medios del pH del agua miel al finalizar el ensayo; utilizando hidróxido de calcio, bicarbonato de sodio y mezcla de ambos**



**Grafica 5. Valores medios del pH del agua miel 24 horas después de adicionar hidróxido de calcio, bicarbonato de sodio y una mezcla de ambos**



## CONCLUSIONES

- El bicarbonato de sodio ( $\text{NaHCO}_3$ ) solo y en combinación con hidróxido de calcio, adiciona alcalinidad y capacidad buffer al agua miel.
- La mejor concentración de bicarbonato de sodio es de 2.50 g/l, neutralizando el pH del agua miel y adicionando capacidad buffer.
- Con una concentración de 1.50 g/l de hidróxido de calcio y 1.00 g/l de bicarbonato de sodio, se logra neutralizar el pH del agua miel y adicionar capacidad buffer. Las variaciones de pH en el tiempo son mayores que las que se presentan utilizando únicamente bicarbonato de sodio
- El uso de hidróxido de calcio para la neutralización del pH del agua miel incrementa de forma brusca el pH y el mismo desciende considerablemente en el transcurso del tiempo, lo que no favorece a un posterior tratamiento biológico. Una concentración de 1.50 g/l hace que el pH no se incremente a valores por encima de 8.00 unidades. El pH no se mantendrá estable en el transcurso del tiempo.

## BIBLIOGRAFÍA

- APHA (American Public Health Association), AWWA (American Water Works Association) & WEF (Water And Environment Federation). (2005). Standard methods for the examination of water and wastewater, Clescerl, L. S., Greenberg, A. E., & Eaton, A. D. (editors).
- El Cafetal, La Revista del Caficultor. ANACAFE, Octubre de 2006
- Metcalf & Eddy, INC. Ingeniería de Aguas Residuales, Tratamiento, Vertido y Reutilización. McGRAW-HILL. Tercera Edición. 1996

- Romero Rojas, Jairo Alberto. Calidad del Agua 3° Edición. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. 2009
- Saravia, Pedro. Contamination del Agua. Universidad de San Carlos de Guatemala
- Sawyer, Clair; Perry L. McCarty. Chemistry for Sanitary Engineers. 2° Edition
- Sawyer, Clair; Perry L. McCarty; Oarkin, Gene. Química para Ingeniería Ambiental. McGrawHill. Cuarta edición. 2000
- Tchobanoglous, George; Crites, Ron. Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones. 2000
- Torres Lozada, Patricia; Pérez Vidal, Andrea; 2008. Índices de Alcalinidad para el Control del Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales Fácilmente Acidificables. Ingeniería y Competitividad. Volumen 10 Número 2: 41-52