



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos
Hidráulicos (ERIS)

**NEUTRALIZACIÓN DEL POTENCIAL DE HIDRÓGENO DEL AGUA
MIEL DE UN BENEFICIO HÚMEDO TECNIFICADO DE CAFÉ**

Ingeniera Claudia Cerrato Espinal

Asesorado por el Dr. Ing. Adán Pocasangre Collazos

Guatemala, agosto de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**NEUTRALIZACIÓN DEL POTENCIAL DE HIDRÓGENO DEL AGUA
MIEL DE UN BENEFICIO HÚMEDO TECNIFICADO DE CAFÉ**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

INGENIERA CLAUDIA CERRATO ESPINAL

ASESORADO POR EL DR. ING. ADÁN POCASANGRE COLLAZOS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRÍA (MAGISTER SCIENTIFICAE) EN INGENIERÍA SANITARIA

GUATEMALA, AGOSTO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**DIRECTOR DE LA ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y
RECURSOS HIDRÁULICOS**

M.Sc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

EXAMINADOR	M.Sc. Ing. Félix Douglas Aguilar Carrera
EXAMINADOR	M.Sc. Ing. Zenón Much Santos
EXAMINADOR	Dr. Ing. Adán Pocasangre Collazos

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

NEUTRALIZACIÓN DEL POTENCIAL DE HIDRÓGENO DEL AGUA MIEL DE UN BENEFICIO HÚMEDO TECNIFICADO DE CAFÉ

Tema que me fuera asignado por la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS), en el mes de septiembre de 2012.



Inga. Claudia Cerato Espinal

claudia_cerratoe@yahoo.es

UNIVERSIDAD SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

Guatemala, 9 de agosto de 2013

Señores Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos

Respetuosamente les comunico que he revisado y aprobado, en mi calidad de Asesor y Coordinador de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria, el documento de Estudio Especial titulado:

**NEUTRALIZACIÓN DEL POTENCIAL DE HIDRÓGENO DEL AGUA MIEL DE
UN BENEFICIO HÚMEDO TECNIFICADO DE CAFÉ**

Presentado por la estudiante:

INGENIERA CLAUDIA CERRATO ESPINAL

Les manifiesto que la estudiante cumplió en forma satisfactoria con todos los requisitos establecidos por la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos – ERIS – y por la Universidad de San Carlos de Guatemala en la realización de su estudio.

Agradeciéndoles de antemano la atención a la presente, se suscribe de ustedes,

Atentamente,

"DID Y ENSEÑAD A TODOS"

Dr. Ing. Adán E. Pocasangre Collazos
Coordinador Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria

UNIVERSIDAD SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

Guatemala, 12 de agosto de 2013

El director de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos – ERIS – después de conocer el dictamen del tribunal examinador integrado por los profesores siguientes: Dr. Ing. Adán Pocasangre Collazos, M.Sc. Ing. Zenón Much Santos, M.Sc. Félix Aguilar Carrera, así como el visto bueno del Coordinador de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria; Dr. Ing. Adán Pocasangre Collazos y la revisión lingüística realizada por la Licenciada Rosa Amelia González Domínguez, Colegiada N° 5284, al trabajo de la estudiante Ingeniera Claudia Cerrato Espinal, titulado **NEUTRALIZACIÓN DEL POTENCIAL DE HIDRÓGENO DEL AGUA MIEL DE UN BENEFICIO HUMEDO TECNIFICADO DE CAFÉ**. En representación de la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado, procede a la autorización del mismo, en Guatemala a los 11 días del mes de agosto de 2013.

IMPRIMASE

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

M.Sc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis
DIRECTOR

ACTO QUE DEDICO A:

- Mi Padre Celestial** Por escuchar mis oraciones y por las infinitas bendiciones que he recibido.
- Mis padres** A mi madre Pricila Espinal, por ser un ejemplo a seguir. Gracias a Dios por sus oraciones, consejos, dedicación y ejemplo. A mi padre, Rodimiro Cerrato; mi primer amor, mi héroe (como dice mi hermana Gabriela) por hacer suyos mis sueños, “no hay en el mundo un ser como tú...” Los amo con todo mi corazón.
- Mi esposo** Guido Maurizio Martínez, por su amor, paciencia, dedicación, por acompañarme en mis ocurrencias y sueños. Cada día a su lado, estoy más convencida que es la persona que Dios tenía guardada para mí. Te amo.
- Mis hijos** Ana María y Samuel Andrés, son mi sueño más grande hecho realidad.
- Mi suegra** Reina Solórzano, quien me aconsejó continuar con mi preparación académica. Gracias por su amor y por adoptarme como su hija.

Mis hermanos

Rodimiro y Gabriela Cerrato Espinal, por su cariño y estar pendiente de mis padres en mi ausencia.

Mis cuñados

Johnny y Vanessa Martínez, por estar pendiente de nosotros y atender nuestros asuntos en Honduras.

Mayra Castillo

Por acompañarme, querer a mis hijos y cuidarnos todos los días.

AGRADECIMIENTOS A:

Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD)	Por haberme brindado la oportunidad de cursar mis estudios de maestría.
Poder Judicial de Honduras	Por apoyar el desarrollo académico y profesional de su personal.
Catedráticos de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, ERIS	Por transmitir sus conocimientos sin ninguna reserva. Serán de gran utilidad en mi vida profesional.
Mi asesor Dr. Ing. Adán Pocasangre	Por su orientación, tiempo y por compartir su experiencia y conocimientos.
Zenón Much Santos	Por compartir sus conocimientos, su orientación, dedicación y ayuda incondicional en esta investigación.
Moisés Adolfo Dubón	Por su interés, paciencia y orientación en el laboratorio.
Asociación Nacional del Café, Anacafé	Por abrirnos sus puertas y todo el apoyo brindado en el desarrollo de esta investigación.

Dr. Stewart Oakley

Su asesoramiento continuo, sus ideas y conocimientos han sido indispensables para el desarrollo de esta investigación.

Inga. Doris Vega e Ing. Roberto Soto

Por todo su apoyo, ayuda y amistad.

Compañeros y amigos de la ERIS

Por su apoyo, cariño y hospitalidad.

Bianca Alas y Marco Moreno

Por compartir su amistad, mantenerme despierta en las noches de desvelo, sus palabras de aliento y de motivación.

Claudia Cerrato Espinal

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
ASPECTOS GENERALES	XIX
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
JUSTIFICACIÓN Y BENEFICIARIOS.....	XXIII
VIABILIDAD	XXV
ALCANCE	XXVII
LIMITACIONES.....	XXIX
1. ANTECEDENTES	1
2. ÁREA GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO	5
3. ACTUAL TRATAMIENTO DEL AGUA MIEL EN EL BENEFICIO NUEVO SENDERO.....	7
4. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE BENEFICIADO HÚMEDO DEL CAFÉ.....	13
4.1. Recolección del fruto	13
4.2. Recibo y clasificación del fruto	14
4.3. Despulpado y extracción de la pulpa	14
4.4. Clasificación del café despulpado	15

4.5.	Remoción del mucílago del café despulpado por fermentación natural	16
4.6.	Lavado del café fermentado.....	17
4.7.	Secamiento del café lavado	18
4.8.	Almacenamiento del café seco	19
5.	MARCO TEÓRICO	21
5.1.	El potencial de hidrógeno.....	21
5.1.1.	Definición de potencial de hidrógeno	21
5.1.2.	Medición del pH.....	22
5.1.3.	Cambios de pH durante la aireación	22
5.2.	Acidez	22
5.2.1.	Tipos de acidez	23
5.2.2.	Importancia de la acidez.....	24
5.2.3.	Medición de la acidez.....	24
5.3.	Alcalinidad.....	25
5.3.1.	Causas de la alcalinidad.....	26
5.3.2.	Importancia de la alcalinidad.....	27
5.3.3.	Medición de la alcalinidad	27
5.3.4.	Relación entre pH, alcalinidad y acidez.....	27
5.4.	Amortiguadores o <i>buffers</i>	29
5.5.	Adición de alcalinidad para neutralización del pH	30
5.6.	Características del hidróxido de calcio y del bicarbonato de sodio.....	32
5.6.1.	Características del hidróxido de calcio	33
5.6.2.	Características del bicarbonato de sodio	34

6.	DISEÑO DEL ESTUDIO DE NEUTRALIZACIÓN DEL PH DEL AGUA MIEL DEL BENEFICIO HÚMEDO TECNIFICADO DE CAFÉ NUEVO SENDERO.....	37
6.1.	Beneficio húmedo tecnificado seleccionado para el desarrollo del estudio	37
6.2.	Toma de muestras.....	38
6.3.	Lugar de toma de muestra.....	38
6.4.	Tipo de muestras	40
6.5.	Número de muestras	40
6.6.	Tamaño de las muestras	40
6.7.	Procedimiento realizado	41
6.7.1.	Trabajo de campo.....	41
6.7.2.	Trabajo en el laboratorio.....	41
6.8.	Equipo utilizado	45
6.9.	Período de muestreo	46
7.	RESULTADOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO.....	47
7.1.	Resultados de la caracterización del afluente al beneficio (agua limpia).....	47
7.2.	Caracterización de agua miel	48
7.3.	Determinación de la cantidad de hidróxido de calcio a adicionar al agua miel para su neutralización.	50
7.4.	Datos de pH obtenidos en el laboratorio al adicionar hidróxido de calcio al agua miel.	53
7.5.	Datos de pH obtenidos en el laboratorio al adicionar bicarbonato de sodio.	54
7.6.	Datos de pH obtenidos en laboratorio al adicionar una cantidad fija de hidróxido de calcio y cantidades variables de bicarbonato de sodio	55

7.7.	Análisis de correlación entre variables.....	56
8.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	61
8.1.	Agua del afluente usada para el beneficiado de café.....	61
8.2.	Caracterización del agua miel.....	62
8.3.	Uso de hidróxido de calcio para neutralización de pH del agua miel.....	63
8.3.1.	Variación del pH en el tiempo.....	63
8.3.2.	Análisis de los cuartiles Q1, Q2, Q3 y media de las muestras.....	65
8.3.3.	Análisis de frecuencias.....	66
8.4.	Uso de bicarbonato de sodio para neutralización de pH del agua miel.....	67
8.4.1.	Variación del pH en el tiempo.....	67
8.4.2.	Análisis de los cuartiles Q1, Q2, Q3, y media de las muestras.....	69
8.4.3.	Análisis de frecuencias.....	70
8.5.	Uso de 1,50 g/L de hidróxido de calcio más bicarbonato de sodio para neutralización de pH del agua miel.....	71
8.5.1.	Variación del pH en el tiempo.....	71
8.5.2.	Análisis de los cuartiles Q ₁ , Q ₂ , Q ₃ , y media de las muestras.....	73
8.5.3.	Análisis de frecuencias.....	74
8.6.	Relación entre variables.....	74
8.7.	Comparación de las desviaciones estándar de los resultados	75
8.8.	Comparación del comportamiento del pH del agua miel aplicando hidróxido de calcio, bicarbonato de sodio y una mezcla de ambos alcalinizantes.....	76

8.9.	Comparación de costos entre uso de hidróxido de calcio, bicarbonato de sodio o mezcla de ambos alcalinizantes para neutralizar el pH del agua miel.....	78
9.	CONCLUSIONES.....	81
10.	RECOMENDACIONES	83
11.	BIBLIOGRAFÍA	85
12.	ANEXOS	857

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Apariencia del agua miel en el beneficio Nuevo Sendero, municipio de Santa Rosa.....	XVIII
2.	Ubicación del beneficio Nuevo Sendero, aldea de Chapas, municipio de Nueva Santa Rosa, departamento de Santa Rosa, Guatemala	6
3.	Tanque homogenizador.....	7
4.	Canal de rejillas para tamizado de agua miel	8
5.	Aplicación de lechada al agua miel	9
6.	Pilas de sedimentación.....	10
7.	Laguna de disposición final de agua miel.....	11
8.	Laguna de secado de lodos	12
9.	Diagrama del proceso de tratamiento de las aguas mieles	12
10.	Despulpador del beneficio Nuevo Sendero	15
11.	Criba giratoria para clasificación de café en el beneficio Nuevo Sendero.....	16
12.	Café en pilas de fermentación listo para su lavado	17
13.	Lavado manual (correteo) del café en el beneficio Nuevo Sendero	18
14.	Patio de secado en el beneficio Nuevo Sendero	19
15.	Proceso de beneficiado húmedo del café y subproductos generados	20
16.	Escala de pH.....	22
17.	Tipos de acidez en el agua y los límites de pH en los que actúan	25
18.	Tipos de alcalinidad y acidez.....	28
19.	Planta de tratamiento Nuevo Sendero.....	39

20.	Comportamiento del pH del agua miel a diferentes concentraciones de hidróxido de calcio. Muestras 1 a la 5	52
21.	Valores medios del pH del agua miel para diferentes concentraciones de hidróxido de calcio	64
22.	Valores medios del pH del agua miel para diferentes concentraciones de bicarbonato de sodio	68
23.	Variación de los valores medios del pH del agua miel para una concentración de 1,50 g/L de cal y diferentes concentraciones de bicarbonato de sodio.....	72
24.	Gráfico comparativo del comportamiento de los valores medios de pH utilizando cal, bicarbonato de sodio y mezcla de cal mas bicarbonato de sodio	77
25.	Gráfico comparativo del comportamiento de los valores medios de pH 24 horas después de aplicar cal, bicarbonato de sodio y mezcla de cal mas bicarbonato de sodio	78

TABLAS

I.	Tipos de beneficios húmedos	1
II.	Características de la cal.....	34
III.	Características del bicarbonato de sodio	35
IV.	Cálculo del volumen de solución madre de hidróxido de calcio para aplicar a cada muestra de agua miel	43
V.	Cálculo del volumen de solución madre de bicarbonato de sodio para aplicar a cada muestra de agua miel	44
VI.	Características del afluente al beneficio de café.....	48
VII.	Características del agua miel que ingresa a la planta de tratamiento	49

VIII.	Datos de pH adicionando hidróxido de calcio en las primeras 5 muestras	51
IX.	Concentración de hidróxido de calcio para neutralizar el pH del agua miel.....	53
X.	Valores de pH adicionando cal en diferentes concentraciones al agua miel.....	54
XI.	Valores de pH al adicionar bicarbonato de sodio	55
XII.	Valores de pH al adicionar 1,50 g/L de hidróxido de calcio mas cantidades variables de bicarbonato de sodio	56
XIII.	Valor de cada variable para análisis de correlación entre variables.	58
XIV.	Matriz de correlación de variables.....	59
XV.	Cálculo del porcentaje de variación del pH en 24 horas del agua miel adicionando hidróxido de calcio para su neutralización.	64
XVI.	Porcentajes de muestras tratadas con cal que mantienen pH menor de 6, pH entre 6 y 8 y pH mayor de 8 al terminar el ensayo y 24 horas después.....	67
XVII.	Cálculo del porcentaje de variación del pH en 24 horas del agua miel adicionando bicarbonato de sodio para su neutralización.....	69
XVIII.	Porcentaje de muestras tratadas con bicarbonato de sodio que mantienen pH menor de 6, pH entre 6 y 8 y pH mayor de 8 al terminar el ensayo y 24 horas después.....	71
XIX.	Porcentaje de variación del pH en 24 horas del agua miel adicionando 1.50 g/L de cal mas cantidades variables de bicarbonato de sodio para su neutralización.	72
XX.	Porcentaje de las muestras tratadas con hidróxido de calcio y bicarbonato de sodio que mantienen pH menor de 6, pH entre 6 y 8 y pH mayor de 8 al terminar el ensayo y 24 horas después.....	74
XXI.	Cuadro comparativo de costos para el uso de diferentes acondicionadores químicos y mezcla de ambos	80

GLOSARIO

Agua miel	Aguas residuales del proceso de despulpado y lavado del café.
Ácido	Compuesto que genera un ion hidrógeno (H^+) al adicionar agua, es decir; que tienden a incrementar la concentración de hidrogeniones en solución. Sustancia capaz de ceder protones.
Ácidos y bases débiles	Se ionizan en escasa proporción y, en consecuencia, no es práctico expresar el grado de ionización como un porcentaje
Ácidos y bases fuertes	Se considera que su ionización se aproxima al 100 % cuando están en soluciones diluidas, o sea que se ionizan y disocian completamente.
Alcalinidad caustica	Es la cantidad de ácido requerida para reducir el pH de una solución alcalina hasta el valor de 10,8. Unas solución que presenta alcalinidad caustica debe contener cantidades significativas de una base fuerte que el ion carbonato.
Base	Compuesto que en agua cede un ion hidróxido (OH), es decir; aumentan la concentración de hidróxidos. Sustancia capaz de aceptar protones.

**Beneficiado de
café**

Proceso que consiste en la serie de pasos o etapas de procesamiento a las que se somete el café para quitar o eliminar todas sus capas o cubiertas de la forma más eficiente sin afectar su calidad y su rendimiento. Es una transformación primaria del grano.

**Beneficiado
húmedo**

Proceso de beneficiado en el que los granos maduros se lavan y se reducen a pulpa para quitar la capa exterior y parte del mucílago que se encuentra debajo de ésta. Posteriormente se fermentan los granos en tanques en los que se descompone las otras capas de mucílago. Luego de un lavado final se seca al sol o artificialmente. Posteriormente se descascara produciendo el café en grano limpio que se comercializa internacionalmente.

**Beneficiado
seco**

Proceso de beneficiado en el que los granos se secan al sol y luego se muelen para eliminar la capa exterior, el mucílago seco, la vitela y la cáscara plateada. El proceso de molienda se realiza en las instalaciones grandes.

Café oro

El término café verde u oro es el nombre que recibe el grano de café posterior a que se le haya separado las distintas envolturas a través del proceso de descascarillado. Este es el tipo de café que se encuentra listo para ser tostado y posteriormente molido.

Café pergamino seco	Una vez seco el café, a este grano se le conoce como café pergamino; el grano se encuentra cubierto por una cáscara protectora conocida como cascarilla.
Disociación	Es un proceso general en el cual complejos, moléculas y/o sales se separan en moléculas más pequeñas, iones o radicales, usualmente de manera reversible. Es lo opuesto de la asociación, síntesis química o a la recombinación.
Mol	La mol es una unidad de medida de gran valor en química ya que se trabaja con magnitudes extraordinariamente grandes o pequeñas. Un mol son 6×10^{23} unidades. En este caso generalmente las unidades son átomos, moléculas o iones. La masa molar de una sustancia es la masa no de una partícula aislada, sino de una mol de partículas. Es por eso que se expresa en gramos/mol.
Polifenol	Los polifenoles son un grupo de sustancias químicas encontradas en plantas caracterizadas por la presencia de más de un grupo fenol por molécula. Son generalmente subdivididos en taninos hidrolizables, que son ésteres de ácido gálico de glucosa y otros azúcares; y fenilpropanoides, como la lignina, flavonoides y taninos condensados.

Titulación

Procedimiento mediante el cual se añade una cantidad determinada de un agente químico o reactivo a una solución con el fin de producir un cambio esperado o medible.

RESUMEN

El presente trabajo, tiene como objetivo, realizar la neutralización del potencial de hidrógeno del agua miel de un beneficio húmedo tecnificado; a través de la adición de hidróxido de calcio, bicarbonato de sodio o una mezcla de ambos alcalinizantes, que permita subir el pH y mantenerlo dentro de un rango de 6,00 a 8,00 unidades.

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 lectura de pH de cada muestra. Este mismo procedimiento se realizó con las quince muestras de agua miel que se recolectaron durante la cosecha que se extendió desde octubre de 2012 hasta marzo de 2013.

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 desciende en un porcentaje medio de 13,96%. De utilizar hidróxido de calcio, se recomienda una concentración de 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.

INTRODUCCIÓN

El agua utilizada para despulpar y lavar el café se convierte en agua residual conocida como agua miel, la cual presenta valores de pH bastante bajos. Realizar la neutralización del pH es de suma importancia para dar tratamiento biológico al agua, un reuso o una disposición segura en un cuerpo receptor.

El artículo 13 del Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 establece que la meta de cumplimiento al finalizar las etapas del modelo de reducción progresiva de cargas, es de tres mil kilogramos por día de DBO_5 , con un parámetro de calidad asociado igual o menor que doscientos miligramos por litro de DBO_5 para el 2024. En este caso, los beneficios húmedos tecnificados de café presentan valores superiores a los 18 000 miligramos/litro de DBO_5 ¹, debiendo realizar las reducciones de acuerdo a dicho acuerdo gubernativo, evitando la aplicación de sanciones al sector cafetalero.

¹Anacafé.

Figura 1. Apariencia del agua miel en el beneficio Nuevo Sendero, municipio de Nueva Santa Rosa, departamento de Santa Rosa



Fuente: beneficio húmedo de café Nuevo Sendero, aldea de Chapas, municipio de Nueva Santa Rosa, departamento de Santa Rosa, Guatemala. Año 2012.

ASPECTOS GENERALES

Planteamiento del problema

Al descargar agua miel sobre cuerpos receptores de agua se corre el riesgo de deteriorar estas fuentes, ya que los elementos aportados pueden afectar el pH a valores menores de 6,00 unidades, agotando el oxígeno disuelto (OD) en el agua e incrementando la turbiedad.

Para realizar cualquier tipo de tratamiento a estas aguas residuales es necesario realizar previamente la neutralización de su pH. Debido a que el agua miel presenta valores de pH bastante bajos, (4,00 a 5,40² unidades) es de suponer que la alcalinidad proporcionada por los hidróxidos, carbonatos y posiblemente también la de los bicarbonatos ya se halla agotado, es decir; ya no existe ningún tipo de alcalinidad.

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/L³ de agua miel haciendo que el pH alcance valores mayores que oscilan entre 7,00 y 10,00 unidades y que el pH no se mantenga constante en el tiempo; por lo que se espera que adicionando alcalinidad a través del bicarbonato de sodio, el pH pueda mantenerse en un rango de 6,00 a 8,00 unidades y permanezca estable en el tiempo.

²Anacafé, Revista el Cafetal. Octubre de 2006

³ SOTO, Roberto.

OBJETIVOS

General

Proponer un alcalinizante capaz de neutralizar y mantener estable el potencial de hidrógeno del agua miel de un beneficio húmedo tecnificado de café, utilizando bicarbonato de sodio, NaHCO_3 ; o una mezcla óptima de hidróxido de calcio y bicarbonato de sodio, previo a realizar tratamientos posteriores y su disposición final.

Específicos

1. Determinar una cantidad óptima de bicarbonato de sodio; NaHCO_3 ; que actúe como neutralizador de pH del agua miel de un beneficio húmedo tecnificado de café.
2. Determinar una dosis óptima de hidróxido de calcio, Ca(OH)_2 ; para neutralizar el pH del agua miel de un beneficio húmedo tecnificado de café.
3. Determinar una mezcla óptima de ambos químicos, hidróxido de calcio y bicarbonato de sodio, para neutralizar el pH del agua miel de un beneficio húmedo tecnificado de café.

HIPÓTESIS

El bicarbonato de sodio, NaHCO_3 como agente alcalinizante, solo o en combinación con hidróxido de calcio; Ca(OH)_2 adiciona alcalinidad y capacidad buffer al agua miel, neutralizando el potencial de hidrógeno y haciendo posible realizar un tratamiento posterior, disposición final o reuso de la misma.

JUSTIFICACIÓN Y BENEFICIARIOS

La actividad cafetalera en Guatemala es una de las actividades económicas más importantes, generando gran cantidad de empleos directos e indirectos en la zona urbana como rural. La producción de café implica el uso de grandes cantidades de agua y como consecuencia, la contaminación de los cuerpos receptores si no se da un tratamiento adecuado al agua miel.

Los beneficiarios del desarrollo de esta investigación son:

- La cooperativa y su Beneficio Húmedo Tecnificado Nuevo Sendero, lugar en donde se realizó la toma de muestras
- La Asociación Nacional del Café, que podrá replicar los resultados de esta investigación en el resto de beneficio húmedos de Guatemala
- En general, todos los productores de café que utilizan en sus proceso, el beneficiado húmedo del grano

VIABILIDAD

La información que se derive de esta investigación, proporcionará datos importantes que serán utilizados por el sector cafetalero, al mismo tiempo brindará antecedentes para continuar con una línea de investigación importante para este sector agro industrial.

Para el desarrollo de las actividades de esta investigación se cuenta con:

- Recurso financiero proporcionado por Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD).
- Apoyo del laboratorio de Química y Microbiología Sanitarias de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria (ERIS).
- Apoyo del laboratorio Analab de Anacafé.
- Información bibliográfica proporcionada por la biblioteca de la ERIS.
- Asesoramiento académico por parte de los catedráticos de la ERIS.

ALCANCE

El alcance de este estudio, es determinar a través de prácticas realizadas en el laboratorio, de la revisión de la teoría y de un análisis estadístico, la concentración de hidróxido de calcio, bicarbonato de sodio o una mezcla de ambos acondicionadores químicos, que sea capaz de neutralizar el potencial de hidrógeno y de adicionar capacidad buffer al agua miel de un beneficio húmedo tecnificado.

LIMITACIONES

- No se encontró antecedentes relacionados con el uso del bicarbonato de sodio en la neutralización del potencial de hidrógeno del agua miel.
- El tiempo disponible para la toma de muestras se limitó al período de beneficiado de café que inició en octubre de 2012 y terminó en marzo de 2013, viéndose éste acortado por los efectos de la roya.

1. ANTECEDENTES

Actualmente, Guatemala cuenta con 2 936 beneficios húmedos: 669 tecnificados, 765 semi tecnificados y 1 502 tradicionales⁴. Esta clasificación está realizada de acuerdo a la cantidad de agua utilizada en el proceso de beneficiado, siendo esta clasificación de la siguiente manera:

Tabla I. **Tipos de beneficios húmedos**

TIPO DE BENEFICIO HÚMEDO	CANTIDAD DE BENEFICIOS	CANTIDAD DE BENEFICIOS EN PORCENTAJE	CONSUMO DE AGUA EN LITROS POR QUINTAL DE CAFÉ PERGAMINO SECO
Beneficio húmedo tecnificado	669	22,78%	150 a 300
Beneficio húmedo semi tecnificado	765	26,05%	1000 a 1500
Beneficio húmedo tradicional	1 502	51,15%	2000 a 3000
TOTAL	2 936	100,00%	

Fuente: Anacafé.

El agua utilizada para despulpar y lavar el café se convierte en un agua residual conocida como agua miel. Su naturaleza química está relacionada con la composición físico-química de la pulpa y el mucílago, ya que estos dos elementos proporcionan partículas y componentes durante el contacto con el agua limpia.

⁴Anacafé, 22 Congreso Nacional del Café.

El uso de hidróxido de calcio es generalizado por el sector cafetalero para neutralizar el pH del agua miel; el inconveniente es que utilizando la concentración recomendada por Anacafé, 2,50 g/L; el pH es variable y no se mantiene estable en el tiempo.

En cuanto al uso de bicarbonato de sodio para la neutralización del pH del agua miel, no se ha encontrado antecedentes en Guatemala; ya que, como lo expresa personal de Anacafé, no se ha tenido ninguna experiencia con el uso del mismo.

Revisando información en internet, se han encontrado dos artículos científicos de la revista “Ingeniería y Competitividad” en los que se expone el uso de bicarbonato de sodio para neutralizar el pH de las aguas residuales del proceso de extracción de almidón agrio de yuca en América del Sur; dichos artículos son los siguientes:

- Selección de Acondicionadores Químicos para el Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales del Proceso de Extracción de Almidón de Yuca; Torres Lozada Patricia, et. al. Disponible en: <http://eidenar.univalle.edu.co/revista/ejemplares/7/i.htm>
- Arranque de un Filtro Anaerobio para el Tratamiento de Aguas Residuales del Proceso de Extracción de Almidón de Yuca: Influencia del Inoculo; Pérez Andrea, et al. Disponible en: http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/1600/1/inycop_e_v8_n1_a6.pdf

No se encontraron antecedentes que evalúen la eficacia de utilizar una mezcla de hidróxido de calcio más bicarbonato de sodio para la neutralización del pH del agua miel.

2. ÁREAGEOGRÁFICADEL ESTUDIO

La toma de muestras se realizó en el Beneficio Húmedo Tecnificado Nuevo Sendero, ubicado en la aldea las Chapas, municipio de Nueva Santa Rosa, departamento de Santa Rosa, Guatemala, a 68 kilómetros de la ciudad de Guatemala y 27 kilómetros de Barberena, carretera a El Salvador.

Cuenta con un estimado de 700 manzanas cultivadas, su volumen de producción promedio al año es de 10 000 quintales pergamino seco. Cuenta con certificaciones de: UTZ certified, Starbucks, FLO, Nespresso AAA, Fairtrade y Rainforest Alliance. El café producido por la cooperativa Nuevo Sendero, ganó el segundo lugar, a nivel nacional, del concurso Tully'sCoffee Cup Contest 2009 otorgado por catadores de tres distribuidoras: Tully'sCoffee y Mitsui, de Japón y la suiza Casa Walter Matter.

Figura 2. **Ubicación del Beneficio Nuevo Sendero, aldea de Chapas, municipio de Nueva Santa Rosa, departamento de Santa Rosa, Guatemala**



Fuente: Google Maps, 2013.

3. ACTUAL TRATAMIENTO DEL AGUA MIEL EN EL BENEFICIO NUEVO SENDERO

De manera general, el tratamiento que se da actualmente al agua miel en el Beneficio Húmedo Tecnificado de Café Nuevo Sendero, es como se describe a continuación:

- A. Recolección del agua miel en un tanque homogenizador: las aguas residuales que fueron utilizadas en el proceso de despulpado y lavado de un día, se depositan en un tanque logrando la homogenización de la misma.

Figura 3. **Tanque homogenizador**



Fuente: planta de tratamiento del beneficio húmedo tecnificado de café Nuevo Sendero, aldea de Chapas, municipio de Nueva Santa Rosa, departamento de Santa Rosa, Guatemala.

- B. Tamizado del agua miel: las aguas depositadas en el tanque homogenizador, se bombean hacia un canal de tamizado de 6,00 metros de largo y 0,40 metros de ancho con 3 mallas de $\frac{1}{4}$ de pulgada.

Figura 4. **Canal de rejas para tamizado de agua miel**



Fuente: planta de tratamiento del beneficio húmedo tecnificado de café Nuevo Sendero, aldea de Chapas, municipio de Nueva Santa Rosa, departamento de Santa Rosa, Guatemala

- C. Neutralización del pH: se realiza la neutralización del pH del agua miel con una concentración de 2,50 g/L de hidróxido de calcio.

Figura 5. **Aplicación de lechada al agua miel**



Fuente: planta de tratamiento del beneficio húmedo tecnificado de café Nuevo Sendero, aldea de Chapas, municipio de Nueva Santa Rosa, departamento de Santa Rosa, Guatemala.

- D. **Sedimentación:** inmediatamente después de aplicar la lechada de hidróxido de calcio al agua miel, ésta se deposita en pilas para realizar un proceso de sedimentación.

Figura 6. **Pilas de sedimentación**



Fuente: planta de tratamiento del beneficio húmedo tecnificado de café Nuevo Sendero, aldea de Chapas, municipio de Nueva Santa Rosa, departamento de Santa Rosa, Guatemala.

- E. Laguna de disposición final: el agua clarificada obtenida en el proceso de sedimentación, se dispone en una fosa de oxidación, que consiste en una excavación en el suelo en donde una fracción del agua miel es evaporada y otra infiltrada en el suelo.

Figura 7. **Laguna de disposición final de agua miel**



Fuente: beneficio húmedo tecnificado de café Nuevo Sendero, aldea de Chapas, municipio de Nueva Santa Rosa, departamento de Santa Rosa, Guatemala.

- F. Laguna de lodos: los lodos o fracción sedimentable obtenida en el proceso anterior, se depositan en una laguna para su secado

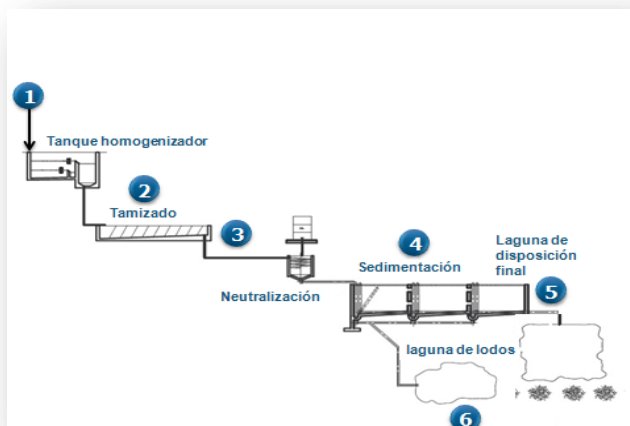
Figura 8. **Laguna de secado de lodos**



Fuente: beneficio húmedo tecnificado de café Nuevo Sendero, aldea de Chapas, municipio de Nueva Santa Rosa, departamento de Santa Rosa, Guatemala.

En la ilustración siguiente se muestra el proceso de tratamiento del agua miel en el beneficio húmedo tecnificado Nuevo Sendero:

Figura 9. **Diagrama del proceso de tratamiento de las aguas mieles**



Fuente: Anacafé.

4. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE BENEFICIADO HÚMEDO DEL CAFÉ

El proceso de beneficiado húmedo del café se define como la transformación del fruto de café maduro a café pergamino seco de punto comercial, a través de las siguientes etapas:

- A. Recolección del fruto
- B. Recibo y clasificación del fruto
- C. Despulpado y extracción de la pulpa
- D. Clasificación del café despulpado
- E. Remoción del mucílago del café despulpado
- F. Lavado del café fermentado
- G. Clasificación del café lavado
- H. Secamiento del café lavado
- I. Almacenamiento del café seco y
- J. Manejo de los subproductos

4.1. Recolección del fruto

En esta primera etapa del proceso, se recolecta únicamente los frutos que estén completamente maduros.

4.2. Recibo y clasificación del fruto

Se recibe sólo fruto maduro, no deben mezclarse frutos de diferentes días de corte. El recibo de café en el beneficio Nuevo Sendero se efectúa por peso a través de básculas ubicadas al ingreso del beneficio.

La clasificación del fruto es un proceso de selección de café de acuerdo a su calidad. Dado que las plantaciones de café son afectadas por plagas y enfermedades, los frutos de menor densidad por medio de un sistema de cribado para flotes. También separan piedras y basuras que pueden provocar deterioro a la maquinaria de despulpado.

4.3. Despulpado y extracción de la pulpa

El despulpado es una fase mecánica del proceso en la que el fruto es sometido a la eliminación de la pulpa. Se realiza el mismo día del corte, después de 4 horas de despulpado el grano debe echarse en otra pila de fermentación para evitar fermentaciones disperejas, limpiar diariamente el despulpador para evitar granos y pulpas rezagadas que podrían dañar la partida del día siguiente.

Figura 10. **Despulpador del beneficio Nuevo Sendero**



Fuente: beneficio húmedo tecnificado de café Nuevo Sendero, aldea de Chapas, municipio de Nueva Santa Rosa, departamento de Santa Rosa, Guatemala.

En los beneficios tradicionales, la pulpa es conducida utilizando grandes cantidades de agua, generando el desprendimiento y concentración de materia orgánica en el agua de arrastre.

4.4. Clasificación del café despulpado

Una de las características que distinguen al café procesado por la vía húmeda, son las diversas fases de clasificación y selección desde la recolección hasta el lavado. El grano despulpado se clasifica por tamaño, por densidad o ambos, esto con el objeto de separar cafés enfermos o deformes, pulpas y uniformizar el tamaño de dicho grano.

Figura 11. **Criba giratoria para clasificación de café en el beneficio
Nuevo Senderos**



Fuente: beneficio húmedo tecnificado de café Nuevo Sendero, aldea de Chapas, municipio de Nueva Santa Rosa, departamento de Santa Rosa, Guatemala.

4.5. Remoción del mucílago del café despulpado por fermentación natural

El mucílago o miel representa entre el 15,5 y el 22 % en peso del fruto maduro, por tratarse de un material gelatinoso insoluble en el agua (hidrogel) es necesario solubilizarlo para convertirlo en un material de fácil remoción en el lavado. Para esto es necesario forzarlo a su degradación mediante la fermentación natural (bioquímica), en tanques o pilas de madera, concreto, ladrillo, plástico, fibra de vidrio, etc., en períodos de tiempo que van de 6 a 48 horas dependiendo de la temperatura ambiente, capacidad de drenaje de los tanques, altura de la masa de café, calidad del agua utilizada en el despulpado, estado de madurez del fruto, microorganismos presentes, etc.

Figura 12. **Café en pilas de fermentación listo para su lavado**



Fuente: beneficio húmedo tecnificado de café Nuevo Sendero, aldea de Chapas, municipio de Nueva Santa Rosa, departamento de Santa Rosa, Guatemala.

4.6. Lavado del café fermentado

Para realizar el lavado del café se sigue la técnica del lavado manual. Se quita la miel que queda adherida al pergamino, por medio de la inmersión y paso de una corriente de agua en un canal de correteo o clasificación utilizando paletas de madera.

Figura 13. **Lavado manual (correteo) del café en el beneficio Nuevo Sendero**



Fuente: beneficio húmedo tecnificado de café Nuevo Sendero, aldea de Chapas, municipio de Nueva Santa Rosa, departamento de Santa Rosa, Guatemala.

4.7. Secamiento del café lavado

El proceso de beneficiado húmedo termina cuando se logra bajar la humedad del café hasta punto comercial (10-12% del grano oro). La técnica empleada es la del secado natural. El secamiento al sol es la práctica más común, en lugares donde puede aprovecharse la energía solar y la energía propia del aire, además los costos de inversión en equipos y los costos de operación son razonablemente más bajos.

Figura 14. **Patio de secado en el beneficio Nuevo Sendero**

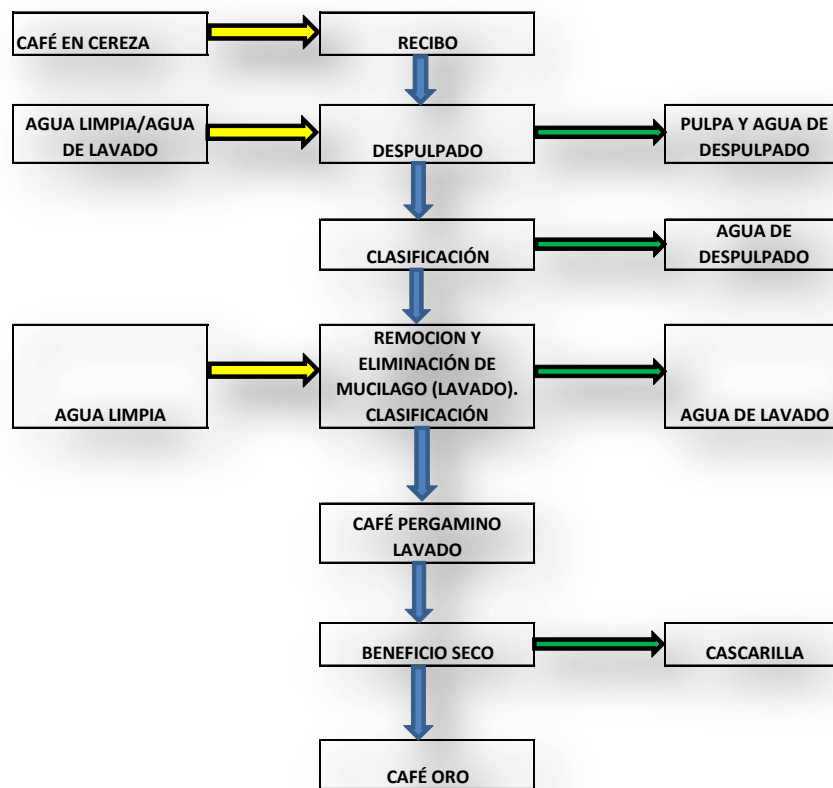


Fuente: beneficio húmedo tecnificado de café Nuevo Sendero, aldea de Chapas, municipio de Nueva Santa Rosa, departamento de Santa Rosa, Guatemala.

4.8. Almacenamiento del café seco

El almacenamiento de granos constituye una de las labores primordiales para la conservación de los mismos, juegan papeles estrechamente relacionados la temperatura, la humedad relativa del ambiente, y el sitio del almacenamiento. Si el café no se almacena en ambientes controlados puede deteriorarse y provocar el defecto “sabor a viejo”. Los hongos que atacan el café almacenado, pueden formar micotoxinas que no se destruyen con el tostado y pueden constituir limitantes para su consumo en los países importadores por considerarse cancerígenos.

Figura 15. **Proceso de beneficiado húmedo del café y subproductos generados**



Fuente: elaboración propia.

5. MARCO TEÓRICO

5.1. El potencial de hidrógeno

En general indica la intensidad de la condición ácida o alcalina de una solución.

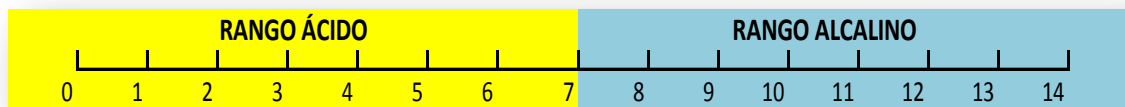
5.1.1. Definición de potencial de hidrógeno

El pH es el término de uso general para expresar la magnitud de acidez o alcalinidad. Es una forma de expresar la concentración de los iones de hidrógeno o, más exactamente la actividad del ión hidrógeno. En el área del abastecimiento de agua, es un factor que se debe tener en consideración en la coagulación química, la desinfección, el ablandamiento de aguas y el control de la corrosión. En el tratamiento de aguas residuales mediante procesos biológicos, el pH se debe mantener en un margen favorable para los organismos específicos que intervienen en el proceso de degradación de la materia orgánica.

En general, se usa para expresar la intensidad de la condición ácida o alcalina de una solución, sin que quiera decir que mide la acidez total o la alcalinidad total.

Un pH igual a 7 indica neutralidad, un pH menor de 7 denota una solución ácida y un pH mayor de 7 una solución básica.

Figura 16. **Escala de pH**



Fuente: Clair N. Sawyer.

5.1.2. **Medición del pH**

La medición de pH en el laboratorio como en el campo se realizó a través de un medidor con electrodo de vidrio. Los medidores de pH que emplean el electrodo de vidrio varían desde unidades portátiles accionadas con baterías hasta instrumentos de alta precisión.

5.1.3. **Cambios de pH durante la aireación**

La aireación del agua para eliminar el dióxido de carbono es un procedimiento común. Como este gas es ácido, su eliminación tiende a disminuir el $[H^+]$ y en consecuencia aumentar el pH del agua, según la ecuación siguiente:



5.2. **Acidez**

La acidez de un agua puede definirse como su capacidad para neutralizar bases, como su capacidad para reaccionar con iones hidróxido, como su capacidad para ceder protones o como la medida de su contenido total de sustancias ácidas

5.2.1. Tipos de acidez

- La acidez por dióxido de carbono: el dióxido de carbono es un componente normal en las aguas naturales, penetra por absorción a la atmósfera cuando la concentración en el agua es menor que la concentración en equilibrio con el dióxido de carbono de la atmósfera. También se puede producir en el agua por oxidación biológica de la materia orgánica, especialmente en aguas contaminadas. Las aguas subterráneas y las del hipolimnion de los lagos estratificados y estanques contienen considerables cantidades de dióxido de carbono, la que resulta de la oxidación bacteriana de la materia orgánica con la que el agua ha estado en contacto y, en estas condiciones, el dióxido de carbono no puede salir a la atmósfera.

La cantidad de CO_2 en el agua en equilibrio con la atmósfera es de aproximadamente 0,5 mg/l, sin embargo, su alta solubilidad en el agua hace que se observen concentraciones altas en el agua de mar de hasta cincuenta veces mayor que en la atmósfera. En aguas subterráneas la concentración es de hasta 100 mg/l y en aguas subterráneas muy profundas valores de cientos de mg/l. Las aguas superficiales contienen generalmente menos de 20 mg/l de CO_2 .

Teóricamente mediante aireación, sería factible remover el CO_2 hasta alcanzar la concentración de equilibrio con la atmósfera, es decir, una concentración de 0,5 mg/l, sin embargo, los procesos de aireación solo remueven parcialmente el CO_2 .

- Acidez mineral: está presente en muchos residuos industriales, especialmente en los de la industria de la metalurgia y algunos de la producción de materiales orgánicos sintéticos.

5.2.2. Importancia de la acidez

La acidez tiene poca importancia desde el punto de vista de la salud pública. El dióxido de carbono está presente en la malta y las bebidas carbonatadas a concentraciones mucho mayores que las que se encuentran en las aguas naturales; no se han descubierto efectos deletéreos por la presencia del dióxido de carbono.

Las aguas que contienen acidez mineral tienen mal sabor, por lo que al ser rechazadas, no ocasionan problemas relacionados con el consumo humano.

Las aguas ácidas tienen importancia por sus características corrosivas y los gastos producidos por la remoción y control de las sustancias que las producen. El factor corrosivo en la mayoría de las aguas es el dióxido de carbono, pero en muchos residuos industriales es la acidez mineral

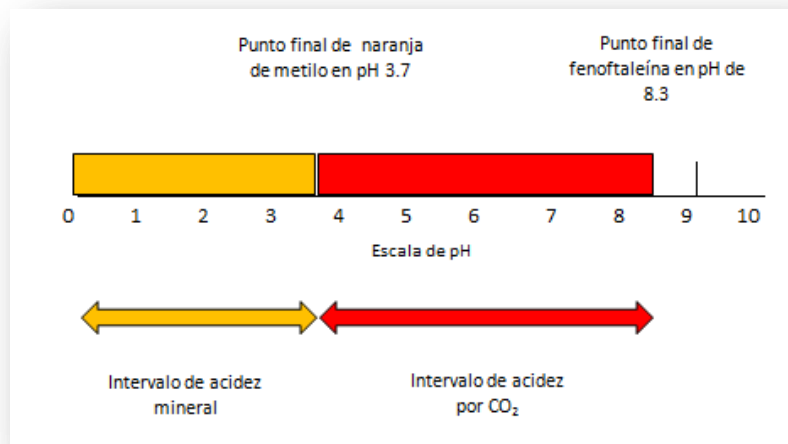
Cuando se utilizan procesos biológicos de tratamiento, el pH se debe mantener por lo general entre 6 y 8 unidades.

5.2.3. Medición de la acidez

Tanto el dióxido de carbono como la acidez mineral se pueden medir por medio de soluciones estándar de reactivos alcalinos. Los ácidos minerales se pueden medir por titulación hasta un pH aproximado de 3,7, el punto final del

naranja de metilo. La titulación de una muestra hasta el punto final de fenolftaleína a un pH de 8,3 mide la acidez mineral mas la acides producida por los ácidos débiles. Esta acidez total también se llama acidez a la fenolftaleína.

Figura 17. **Tipos de acidez en el agua y los límites de pH en los que actúan**



Fuente: Clair N. Sawyer.

5.3. Alcalinidad

La alcalinidad del agua puede definirse como su capacidad para neutralizar ácidos, como su capacidad para reaccionar con iones hidrógeno, como su capacidad para aceptar protones o como la medida de su contenido total de sustancias alcalinas (OH⁻).

La determinación de la alcalinidad total y de las distintas formas de alcalinidad es importante en los procesos de coagulación química, ablandamiento, control de corrosión y evaluación de la capacidad tampón de un agua.

En ciertas condiciones las aguas naturales pueden ser alcalinas debido a cantidades apreciables de hidróxido y carbonatos. Esto sucede particularmente en aguas superficiales con algas en crecimiento; las algas toman el dióxido de carbono que se encuentra en forma libre y combinada de tal forma que la alcalinidad alcanza un pH entre 9,00 y 10,00 unidades

5.3.1. Causas de la alcalinidad

La alcalinidad del agua se debe principalmente a sales de ácidos débiles y a bases fuertes; esas sustancias actúan como amortiguadores para resistir la caída del pH resultante de la adición de un ácido. La alcalinidad es una medida de la capacidad de amortiguación y en este sentido, se utiliza en la práctica del tratamiento de aguas residuales.

Aunque muchos compuestos pueden contribuir a la alcalinidad del agua natural, la mayor parte es causada por tres grandes grupos de compuestos:

- Bicarbonatos
- Carbonatos
- Hidróxidos

En algunas aguas es posible encontrar otras clases de compuestos como ser boratos, silicatos, fosfatos, etc. que contribuyen a su alcalinidad pero su contribución es insignificante por lo que puede ignorarse.

5.3.2. Importancia de la alcalinidad

La alcalinidad tiene poca importancia en la salud pública. Las aguas muy alcalinas usualmente tienen sabor desagradable y el consumidor tiende a rechazarla. Las aguas químicamente tratadas algunas veces tienen un pH alto, el cual ha sido objetado por parte de los consumidores.

5.3.3. Medición de la alcalinidad

La alcalinidad del agua se determina por titulación con por titulación con ácido sulfúrico 0,02 N y se expresa en mg/l de carbonatos de calcio, equivalentes a la alcalinidad determinada. La titulación se efectúa en dos etapas sucesivas definida por los puntos de equivalencia para los bicarbonatos y el ácido carbónico. El método clásico para el cálculo de la alcalinidad total y de las distintas formas de alcalinidad (hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos), consiste en la observación de las curvas de titulación para estos compuestos, observándose que:

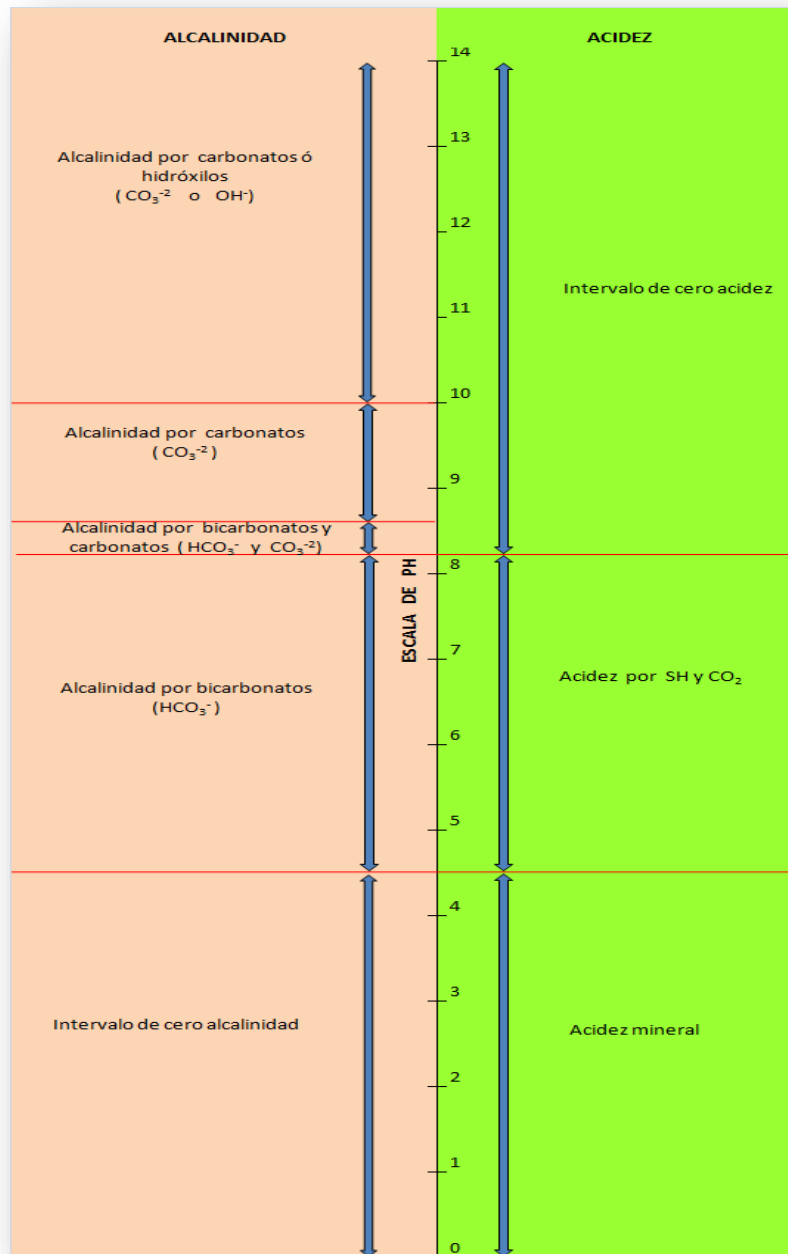
- La concentración de iones OH^- libres se neutraliza cuando ocurre el cambio brusco en pH a un valor mayor de 8,3.
- La mitad de los carbonatos se neutraliza a pH 8.3 y la totalidad a pH 4,5.
- Los bicarbonatos son neutralizados a pH 4,5.

5.3.4. Relación entre pH, alcalinidad y acidez

Existen ábacos y gráficos que, conociendo el pH, la alcalinidad total, la temperatura y el contenido de sólidos disueltos o residuo filtrable, determinar el contenido de CO_2 , bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos. En general se ha

demostrado que para que exista acidez mineral el pH debe ser menor de 4,50 y, además para que exista alcalinidad caustica el pH debe ser mayor de 10,00.

Figura 18. Tipos de alcalinidad y acidez



Fuente: ROMERO ROJAS, Jairo Alberto.

5.4. Amortiguadores o *buffers*

Los amortiguadores o *buffers* se pueden definir como sustancias en solución que ofrecen resistencia a los cambios de pH, cuando se añaden a la solución ácidos o bases o se forman en ella. Tienen el poder de mantener el pH de una solución prácticamente invariable, dentro de ciertos límites. Las soluciones *buffer* usualmente contienen mezclas de ácidos débiles y sus sales (bases conjugadas) o bases débiles y sus sales (ácidos conjugados).

La capacidad *buffer* es una característica importante de los residuos que se someten a tratamiento biológico. La oxidación de compuestos neutros, azúcar por ejemplo; lleva a la producción de ácidos orgánicos con intermediarios. Si la capacidad *buffer* no es suficiente, el pH puede caer a niveles que inhiben la acción de las bacterias.

El comienzo de la digestión anaerobia para producir metano a partir de lodos, puede ser bloqueado por limitaciones de la capacidad *buffer*. Este proceso lleva con frecuencia a la formación de cantidades considerables de ácidos orgánicos y usualmente se adiciona hidróxido de calcio, Ca(OH)_2 ; a los digestores para obtener condiciones favorables de pH. En efecto, el hidróxido de calcio se combina con dióxido de carbono y agua para formar bicarbonato de calcio, una sal del ácido carbónico.

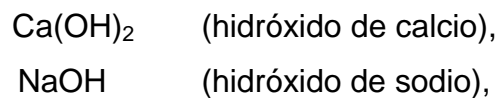
En la oxidación con el amoníaco se forman ácido nítrico y nitroso los que deben neutralizarse para mantener un ambiente favorable para las bacterias nitrificantes. El aporte de lluvia ácida a las aguas naturales debe ser neutralizado, para prevenir efectos ambientales adversos (ejemplo muerte de la fauna acuática). El uso de cloro para la desinfección del agua potable puede originar una reacción con el amoníaco que lleva a la producción de ácido que

requieren ser neutralizados. Los bicarbonatos en las aguas naturales junto con otras sales de ácidos débiles se utilizan con este fin. Si no están presentes en cantidades suficientes, se deben adicionar materiales alcalinos tales como hidróxido de calcio, Ca(OH)_2 ; o hidróxido de sodio NaOH , para mantener un pH favorable.

5.5. Adición de alcalinidad para neutralización del pH

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

- A. Los que reaccionan con el gas carbónico para formar alcalinidad bicarbonática, ejemplo:



La adición de iones hidroxilos (OH^-) como los del hidróxido de calcio y el hidróxido de sodio no puede incrementar la alcalinidad bicarbonática sin reaccionar con el CO_2 soluble como lo muestran las siguientes ecuaciones:



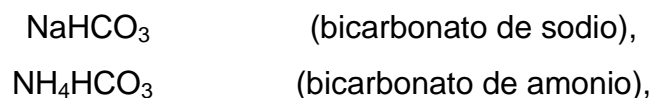
Los compuestos hidróxidos, como se muestra en las reacciones, requieren dos moles de dióxido de carbono indicando que la adición de hidróxido de sodio e hidróxido de calcio pueden ocasionar una

disminución de la concentración de CO_2 lo que en estructuras como ser los reactores anaerobios puede ocasionar vacíos y el colapso de la misma.

En el caso del hidróxido de sodio (NaOH), no forma sales insolubles, siendo ésta una ventaja sobre la cal, y por lo tanto, una solución más satisfactoria para el problema de la neutralización; su inconveniente; como se dijo anteriormente; disminuye la presión de CO_2 en el reactores anaerobios, lo cual puede ocasionar una mezcla explosiva de metano y oxígeno que conllevaría al colapso estructural de la estructura. Por tratarse de una base fuerte, la sobre dosificación del producto ocasionaría un incremento súbito del pH. Adicionalmente; el hidróxido de sodio 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 CaCO_3 lo que puede generar costras duras en reactores anaerobios. De igual manera, por ser una base fuerte puede incrementar de forma brusca el pH si se da una sobredosificación.

- B. Los compuestos carbonatos que ofrecen alcalinidad bicarbónica directamente, ejemplo:



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



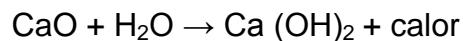
El bicarbonato de sodio (NaHCO_3) es una sal formada por una base fuerte, hidróxido de sodio (NaOH), y un ácido débil, ácido carbónico (H_2CO_3), y, como todas las demás sales así formadas, presentan características de sustancias *buffer*. El ion bicarbonato sirve de *buffer* en valores del pH cercanos a 6,00 y 8,00 unidades. Es fácil de manipular, bastante soluble y no reacciona con el 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.

5.6. Características del hidróxido de calcio y del bicarbonato de sodio

El hidróxido de calcio y el bicarbonato de sodio, son productos químicos que aportan alcalinidad. Tradicionalmente, el hidróxido de calcio ha sido el alcalinizante utilizado para neutralizar el pH del agua miel en los beneficios húmedos tecnificados de café.

5.6.1. Características del hidróxido de calcio

La cal viva (CaO) es un producto resultante de la calcinación de la piedra caliza, compuesto principalmente por óxidos de calcio y de magnesio. La cal hidratada Ca(OH)_2 surge a partir de la transformación del óxido de calcio al reaccionar con agua; este fenómeno se conoce como hidratación o apagado de la cal viva. En el apagado se libera una gran cantidad de calor según la siguiente reacción:



El apagado de la cal viva puede hacerse de tres formas:

- Apagado con poco agua: se llama hidratación seca y se hace con la cantidad estequiométrica de agua. El producto obtenido es un polvo seco.
- Apagado con una cantidad media de agua: se hace con una inmersión o inundación de la cal con el agua. El producto resultante es una pasta de cal.
- Apagado con abundante agua: se obtiene la suspensión o lechada de cal.

Por lo general, el hidróxido de calcio es un polvo seco obtenido mediante el tratamiento de la cal viva con suficiente agua para satisfacer su afinidad química por el agua, en las condiciones de su hidratación. Comúnmente la cal hidratada tiene de un 75% a un 95% de material que pasa el tamiz N° 200 y en algunos usos especiales, se usa cal fina con un 99,5% del material que pasa el tamiz N° 235.

Tabla II. **Características de la cal**

Apariencia física de la cal	
Fórmula molecular	CaO ₂ H ₂
Nombre sistemático (IUPAC)	Calciumhydroxide
Masa molecular	74,093 g/mol
Densidad	2.21g/cm ³
Punto de fusión	580 °C
Soluble en	agua

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/%C3%93xido_de_cal. Consulta: 11 de abril de 2013.

5.6.2. **Características del bicarbonato de sodio**

El bicarbonato de sodio se obtiene mediante el proceso de Solvay. Aunque es utilizado para obtener Na₂CO₃, es posible obtener en una de las reacciones intermedias bicarbonato sódico.

El bicarbonato de sodio es un compuesto sólido cristalino de color blanco muy soluble en agua con un ligero sabor alcalino parecido al del carbonato de sodio. Se puede encontrar como mineral en la naturaleza o se puede producir artificialmente.

Debido a la capacidad del bicarbonato de sodio de liberar dióxido de carbono se usa junto con compuestos ácidos como activo leudante en panadería y en la producción de gaseosas. Algunas levaduras utilizadas en

panadería contienen bicarbonato de sodio. Antiguamente se usaba como fuente de dióxido de carbono para las gaseosas. Es el componente fundamental de los polvos extinguidores de incendios o polvo BC.

Tabla III. **Características del bicarbonato de sodio**

Apariencia física bicarbonato de sodio	
Fórmula molecular	NaHCO_3
Nombre sistemático (IUPAC)	Bicarbonato de sodio
Masa molecular	84.007 g/mol
Densidad	2.20g/cm ³
Punto de fusión	50 °C
Soluble en	agua

Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Bicarbonato_de_sodio. Consulta: 11 de abril de 2013.

6. DISEÑO DEL ESTUDIO DE NEUTRALIZACIÓN DEL PH DEL AGUA MIEL DEL BENEFICIO HÚMEDO TECNIFICADO DE CAFÉ NUEVO SENDERO

Para proporcionar alcalinidad y capacidad buffer al agua miel, se han puesto a prueba dos diferentes acondicionadores químicos de la siguiente manera:

- Hidróxido de calcio: producto de fácil adquisición, precio accesible y de uso común en el tratamiento de agua miel. Conocido comúnmente como cal hidratada
- Bicarbonato de sodio: producto de fácil adquisición, con la desventaja de que su costo es mayor que el del hidróxido de calcio y sus propiedades no se han puesto a prueba en la neutralización de pH de agua miel.
- Una mezcla de ambos alcalinizantes: hidróxido de calcio en una concentración fija y bicarbonato de sodio en concentraciones variables.

6.1. Beneficio húmedo tecnificado seleccionado para el desarrollo del estudio

El beneficio seleccionado para realizar este estudio es el beneficio húmedo tecnificado de café Nuevo Sendero debido a que:

- Cuenta con una planta de tratamiento, en la que el pH del agua miel es neutralizado con hidróxido de calcio.

- Su ubicación es cerca a la ciudad de Guatemala, facilitando la toma y traslado de muestras hacia el laboratorio
- Etapa de producción y beneficiado del café en un tiempo conveniente para el desarrollo del estudio.

6.2. Toma de muestras

La toma de muestras se realizó dos veces por semana, los días martes y jueves; esto para poder realizar los ensayos y análisis de la muestra evitando el almacenamiento de agua miel y poner en riesgo el cambio de sus propiedades. En total, se realizó la toma de 15 muestras en el período comprendido entre el 15 de noviembre de 2012 al 26 de febrero de 2013.

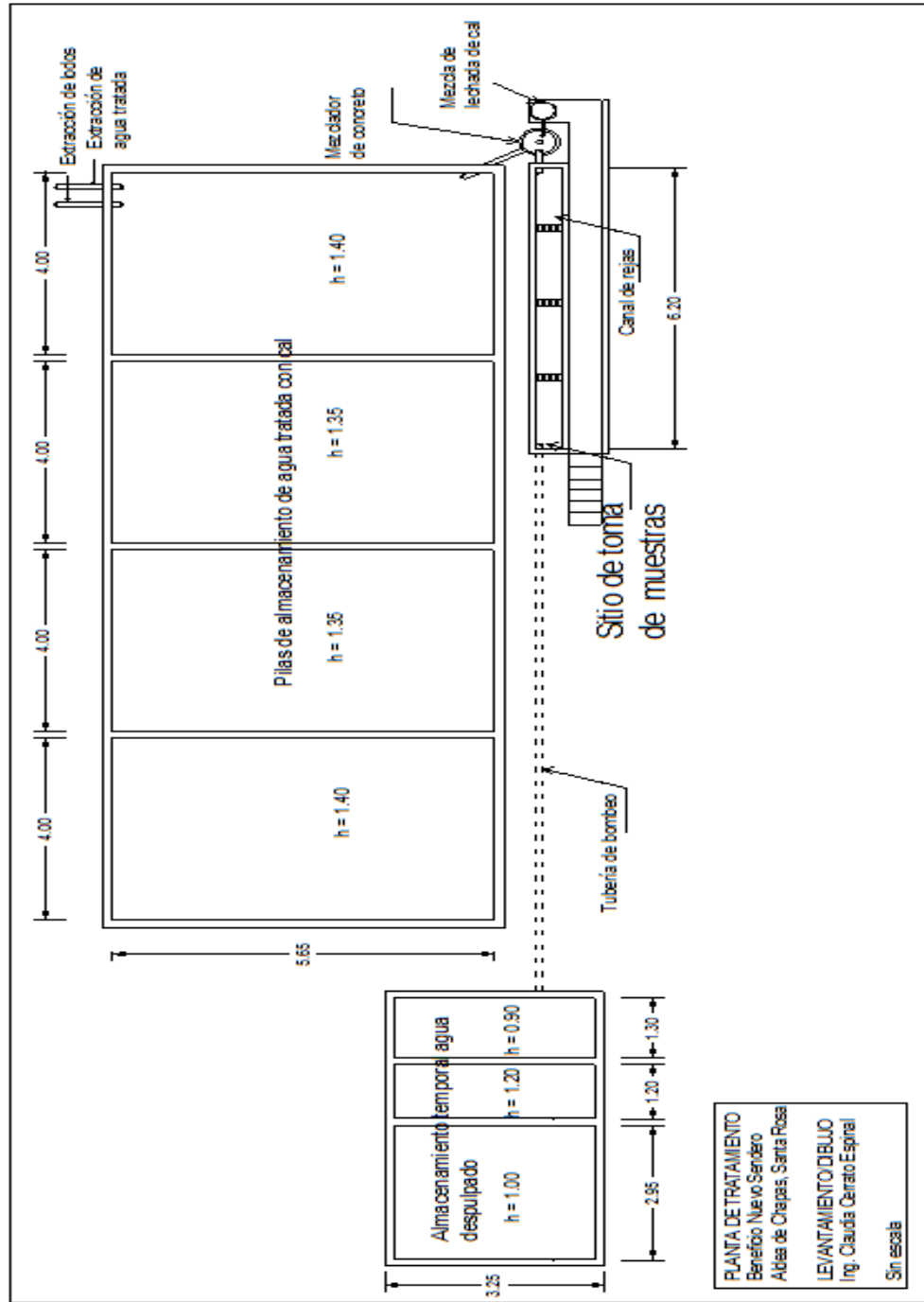
Con las muestras se realizaron los siguientes ensayos:

- Muestras 1 a la 5: se determinó la concentración de hidróxido de calcio necesaria para alcanzar un pH de 7,00 unidades en el agua miel.
- 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.
- 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.

6.3. Lugar de toma de muestra

La toma de muestras se realizó en la entrada del agua miel en el canal de rejas, previo a la aplicación de la lechada de hidróxido de calcio para la neutralización de su pH. Tal como se muestra en el plano:

Figura 19. **Planta de tratamiento Nuevo Sendero**



Fuente: elaboración propia.

6.4. Tipo de muestras

Las muestras que se recolectaron son muestras compuesta de un día. El agua descargada y que ingresa a la planta de tratamiento procede del proceso de lavado del día anterior que es utilizada posteriormente para el despulpado.

6.5. Número de muestras

Para determinar el número de muestras a tomar, se utilizó el Método 1060B indicado en Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales. Para una desviación estándar, s , de 0,020 y un nivel de confianza, U , de 0,015, se determinó que el número mínimo de muestras es de 10

6.6. Tamaño de las muestras

El tamaño de la muestra fue el necesario para realizar diferentes dosificaciones en vasos de precipitar de 200 centímetros cúbicos, realizando tres ensayos diferentes:

- Agua miel más hidróxido de calcio: 1,200 cm³
- Agua miel más bicarbonato de sodio: 1,200 cm³
- Agua miel más cantidad fija de hidróxido de calcio y cantidad variable de bicarbonato: 1,200 cm³

Por lo que para realizar estos ensayos, se tomaron muestras de 4 litros de agua miel.

6.7. Procedimiento realizado

El desarrollo de la investigación se llevó a cabo realizando trabajo de campo y de laboratorio como se describe a continuación:

6.7.1. Trabajo de campo

- Se realizó mediciones del pH del agua miel en un recipiente (sin volumen específico) que permitió introducir la sonda.
- Se realizó la recolección de muestra de agua miel para los ensayos de laboratorio. Se utilizaron recipientes de medio galón de capacidad. Para su transporte se depositaron en un recipiente térmico y se transportaron directamente al Laboratorio Alba Tabarini de Empagua y Eris.

6.7.2. Trabajo en el laboratorio

- Caracterización del afluyente y de agua miel:
Se realizó una caracterización físico químico del afluyente (agua limpia) el cual proviene de un pozo y se bombea hacia un tanque elevado. Además se realizó una caracterización del agua miel que ingresa a la planta de tratamiento.
- Ensayo de neutralización de agua miel con hidróxido de calcio:
Para los ensayos de neutralización con hidróxido de calcio, se aplicaron diferentes concentraciones de acuerdo al siguiente procedimiento:
 - Se preparó una solución madre adicionando 40 gramos de hidróxido de calcio a 200 centímetros cúbicos de agua, lo que equivale a una concentración de 200 gramos por litro.

- Se llenaron seis vasos de precipitar con 200 centímetros cúbicos de agua miel cada uno. Se identificaron para su correspondiente control.
- Se adicionó a cada una de las seis muestras, diferentes concentraciones de hidróxido de calcio, iniciando con 0,50 g/L hasta 3 g/L (incremento de concentración de 0,50 g/L).

Para hacer la dosificación se utilizó la relación:

$$V_1C_1 = V_2C_2$$

Donde:

V_1 = cantidad de solución madre de cal a adicionar a cada vaso de precipitar, en cm^3

C_1 = concentración de la solución madre, en este caso de 200 gramos por litro

V_2 = 200 cm^3 que es la capacidad de cada vaso de precipitar

C_2 = la concentración deseada en cada vaso de precipitar, en este caso 0,50, 1,00, 1,50, 2,00, 2,50 y 3,00 gramos de hidróxido de calcio por litro de agua miel

Despejando para V_1 se tiene que la concentración aplicada a cada muestra es como se muestra a continuación:

Tabla IV. **Cálculo del volumen de solución madre de hidróxido de calcio para aplicar a cada muestra de agua miel**

MUESTRA N°	V1 (cm3)	C1 (g/L)	V2 (L)	C2 (g/L)
1	0.5	200.0	0.2	0.5
2	1.0	200.0	0.2	1.0
3	1.5	200.0	0.2	1.5
4	2.0	200.0	0.2	2.0
5	2.5	200.0	0.2	2.5
6	3.0	200.0	0.2	3.0

Fuente: elaboración propia.

- Se agitaron las muestras en el agitador magnético durante 10 minutos.
- Se realizó la medición de pH de cada una de las muestras y se anotó los datos para su posterior análisis.
- Cada una de las muestras se colocó en un vaso plástico transparente de 12 onzas y se identificó con su respectivo número de muestra, concentración de alcalinizante y fecha.
- 24 horas después, se realizó una segunda medición a cada una de las muestras para conocer la variación del pH en el tiempo.
- **Ensayo de neutralización de agua miel con bicarbonato de sodio:**
Para el ensayo de neutralización del pH del agua miel con bicarbonato de sodio se siguió el mismo procedimiento utilizado en la neutralización del agua miel con hidróxido de calcio:

- Se preparó una solución madre mezclando 10 gramos de bicarbonato de sodio en 100 centímetros cúbicos de agua; lo que equivale a 100 gramos de bicarbonato de sodio en un litro de agua miel.
- Se llenaron seis vasos de precipitar con 200 centímetros cúbicos de agua miel. Se les agregó diferentes concentraciones de bicarbonato de sodio, iniciando en 0,50 g/L hasta 3,00 g/L de bicarbonato de sodio en agua miel. (Incremento de 0,50 g/L)
- Se realizó la dosificación tal como se muestra en la tabla:

Tabla V. **Cálculo del volumen de solución madre de bicarbonato de sodio para aplicar a cada muestra de agua miel**

MUESTRA N°	V1 (cm ³)	C1 (g/L)	V2 (L)	C2 (g/L)
1	1.0	100.0	0.2	0.5
2	2.0	100.0	0.2	1.0
3	3.0	100.0	0.2	1.5
4	4.0	100.0	0.2	2.0
5	5.0	100.0	0.2	2.5
6	6.0	100.0	0.2	3.0

Fuente: elaboración propia.

- Después de mezclar las muestras durante 10 minutos, se tomó lectura de pH de cada una de ellas. Se colocaron en vasos plásticos transparentes con su respectiva identificación, 24 horas después se tomó una segunda lectura de pH para conocer las variaciones en el tiempo.

- Ensayo de neutralización utilizando una concentración fija de hidróxido de calcio y concentraciones variables de bicarbonato de sodio
A partir de realizar ensayos de adición de alcalinidad con hidróxido de calcio en las primeras cinco muestras, se determinó la concentración necesaria para alcanzar un pH de 7,00 unidades (1,50 g/L como se muestra más adelante). Esta concentración se aplicó a todas las muestras y se varió la concentración de bicarbonato de sodio.

El procedimiento que se siguió es el mismo para la neutralización con hidróxido de calcio y con bicarbonato de sodio

6.8. Equipo utilizado

El equipo utilizado para realizar esta investigación fue el siguiente:

- Recipientes plásticos de medio galón de capacidad
- Sonda de campo para mediciones de pH
- Agitador magnético
- Vasos de precipitar de 200 cm³ de capacidad
- Vasos desechables transparentes de 12 onzas de capacidad
- Hidróxido de calcio
- Bicarbonato de sodio
- Jeringas graduadas de 5 cm³ y 10 cm³
- Bandeja plástica
- Probetas
- Hielera

6.9. Período de muestreo

El período de toma de muestras inició el 15 de noviembre de 2012 y finalizó el 26 de febrero de 2013. Se tomó un total de 15 muestras.

7. RESULTADOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO

7.1. Resultados de la caracterización del afluente al beneficio (agua limpia)

La caracterización del afluente (agua limpia) que ingresa para el proceso de beneficiado, se realizó a partir del análisis de tres muestras recolectadas en días diferentes.

Se realizó con el fin de conocer características importantes para este estudio, como ser: color, turbiedad, acidez, alcalinidad y potencial de hidrógeno; que pudieran incidir en las características del agua miel. El resto de parámetros permite conocer los posibles usos que se le puede dar a este afluente.

Los resultados de laboratorio así como los valores de media, mediana y desviación estándar se muestran a continuación:

Tabla VI. **Características del afluente al beneficio de café**

PARÁMETROS	UNIDADES	MUESTRAS			MEDIA	MEDIANA	DESVIACIÓN ESTANDAR
		01/02/2013	05/02/2013	12/02/2013			
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS							
COLOR	u	****	12.00	4.00	8.00	8.00	5.66
TURBIEDAD	UNT	2.00	7.73	2.10	3.94	2.10	3.28
CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS							
CLORURO	mg/L	****	9.00	5.00	7.00	7.00	2.83
CONDUCTIVIDAD	µs/cm	111.80	222.00	214.00	182.60	214.00	61.44
POTENCIAL DE HIDRÓGENO	Unidades	7.60	7.30	7.00	7.30	7.30	0.30
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/L	59.00	117.00	114.00	96.67	114.00	32.65
SULFATO (SO ₄ ⁻⁻)	mg/L SO ₄ -2	****	5.00	****	5.00	5.00	
TEMPERATURA	°C	22.40	26.70	24.70	24.60	24.70	2.15
OXÍGENO DISUELTO	mg/L	5.53	7.81	5.77	6.37	5.77	1.25
SALINIDAD	%	0.00	0.00	0.00	-	-	-
NITRATO	mg/L NO ₃ ⁻	11.00	88.000	15.400	38.13	15.40	43.24
NITRITO	mg/L NO ₂ ⁻	0.06	0.007	0.020	0.03	0.02	0.03
AMONIACO	mg/L NH ₄ ⁺	****	****	0.049	0.05	0.05	
FOSFATOS	mg/L PO ₄ -3	0.35	0.65	0.800	0.60	0.65	0.23
HIERRO	mg/L Fe	0.22	0.87	0.440	0.51	0.44	0.33
MANGANESO	mg/L KMnO ₄	2.16	1.08	0.220	1.15	1.08	0.97
ALCALINIDAD	mg/l CaCO ₃	52.00	108	114.000	91.33	108.00	34.20
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	38.00	84	78.000	66.67	78.00	25.01
DUREZA DE CALCIO	mg/l CaCO ₃	24.00	18	50.000	30.67	24.00	17.01
DUREZA DE MAGNESIO	mg/l CaCO ₃	14.00	66	28.000	36.00	28.00	26.91
BACTERIOLÓGICO							
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 ml	1600	43	70	571.00	70.00	891.24
COLIFORMES FECALES	NMP/100 ml	240	31	49	106.67	49.00	115.82

**** ENSAYO NO REALIZADO

Fuente: Ing. Bianca Alas, Claudia Cerrato Espinal, Marco Moreno.

7.2. Caracterización de agua miel

Para conocer características importantes del agua miel tales como pH, acidez, alcalinidad y otras de importancia para tratamientos posteriores; se realizó el análisis de 10 muestras compuestas de un día. Los resultados obtenidos en el laboratorio así como los valores de media, mediana y desviación estándar se muestran a continuación:

Tabla VII. Características del agua miel que ingresa a la planta de tratamiento

PARÁMETROS	UNIDADES	MUESTRAS										MEDIA	MEDIANA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
DOO	mg/L	15.547.00	26.180.00	24.820.00	34.980.00	30.720.00	33.480.00	16.550.00	37.450.00	40.050.00	40.750.00	29.830.70	32.100.00	8.382.52
DBO	mg/L	9.788.00	15.800.00	17.700.00	22.920.00	19.020.00	***	***	24.400.00	31.000.00	***	20.062.57	19.020.00	5.910.97
DEBODO	UNIDADES	0.63	0.60	0.78	0.68	0.62	***	***	0.65	0.77	***	0.67	0.65	0.07
SEDIMENTA BLES	cm ³ /h	***	58.75	***	100.00	***	100.00	***	***	***	***	86.25	100.00	17.89
SUSPENSID OS	mg/L	1.450.00	1.516.67	***	4.280.00	6.772.73	5.981.90	***	7.450.00	11.100.00	***	5.422.96	5.981.90	2.988.82
TOTALES	mg/L	***	***	***	***	***	9.645.00	***	13.560.00	17.866.00	***	13.620.33	13.560.00	2.908.24
FIBROS	mg/L	***	***	***	***	***	2.449.00	***	2.382.00	***	***	2.415.50	2.415.50	27.35
VO.ÁTILES	mg/L	***	***	***	***	***	7.196.00	***	11.178.00	***	***	9.187.00	9.187.00	1.625.64
ALCALINIDAD	mg/L CaCO ₃	22.000.00	30.00	180.00	840.00	240.00	600.00	1.000.00	750.00	750.00	500.00	2.684.00	675.00	6.168.55
ACIDEZ	mg/L CaCO ₃	***	***	***	***	***	1.680.00	1.900.00	2.000.00	9.500.00	***	3.620.00	1.840.00	3.190.02
	mg/L CaCO ₃	***	***	***	***	***	288.00	***	***	680.00	5.000.00	1.889.33	680.00	1.999.36
DUREZA DE CALCIO	mg/L CaCO ₃	***	***	***	***	***	120.10	***	***	500.40	2.001.60	874.03	500.40	723.08
DUREZA DE MAGNESIO	mg/L CaCO ₃	***	***	***	***	***	167.90	***	***	179.60	2.998.40	1.115.90	179.60	1.226.74
CALCIO	mg/L	***	***	***	***	***	48.10	***	***	200.40	901.60	550.03	200.40	289.56
MAGNESIO	mg/L	***	***	***	***	***	40.79	***	***	43.68	728.48	270.97	43.68	298.04
NITRATO	mg/L	11.000.00	5.808.00	3.188.00	1.584.00	5.280.00	8.448.00	3.080.00	3.080.00	1.540.00	2.860.00	4.584.30	3.124.00	2.825.33
NITRITO	mg/L	19.80	48.58	51.43	79.20	31.68	15.84	6.80	6.80	14.65	***	29.96	19.80	21.89
NUTRIENTES	mg/L	118.95	175.68	254.24	219.60	366.00	58.56	67.10	97.60	219.60	445.30	200.56	197.64	114.81
PO ₄ FOSFATOS	mg/L	580.00	482.00	204.00	120.00	288.00	276.00	130.00	170.00	135.00	120.00	251.50	187.00	148.73
PH	Unidades	4.11	4.4	4.4	4.3	4.92	4.3	4.57	4.94	4.48	4.47	4.37	4.37	0.11

*** ENSAYO NO REALIZADO
 (****) LA TEORÍA INDICA QUE LOS VALORES DE ALCALINIDAD A PH MENOR DE 4.5 UNIDADES ES CERO. ESTA ALCALINIDAD SE DEBE POSIBLEMENTE A LA PRESENCIA DE AZÚCARES Y PECTINAS QUE REACCIONAN CON EL ÁCIDO SULFÚRICO DURANTE LA TITULACIÓN

Valores normalizados por ANACAFE

Fuente: Ing. Bianca Alas, Ing. Claudia Cerrato, Ing. Marco Moreno.

7.3. Determinación de la cantidad de hidróxido de calcio a adicionar al agua miel para su neutralización

Para iniciar los ensayos de neutralización de la mezcla de hidróxido de calcio en cantidad fija y adicionar bicarbonato en cantidades variables, se estimó un número de muestras a partir de lo indicado por el Método 1060B del Standard methods for the examination of water and wastewater. El número de muestras N , se calculó de acuerdo a:

s = desviación estándar global: 0,20 g/L

U = nivel de confianza aceptable: 0,20 g/L

$s/U = 1$

Utilizando la curva de un 90% de confianza, el número de muestras $N = 5$

En la siguiente tabla, se muestran los datos para cada una de las primero cinco muestras y los valores de pH alcanzados a diferentes concentraciones de hidróxido de calcio en g/L.

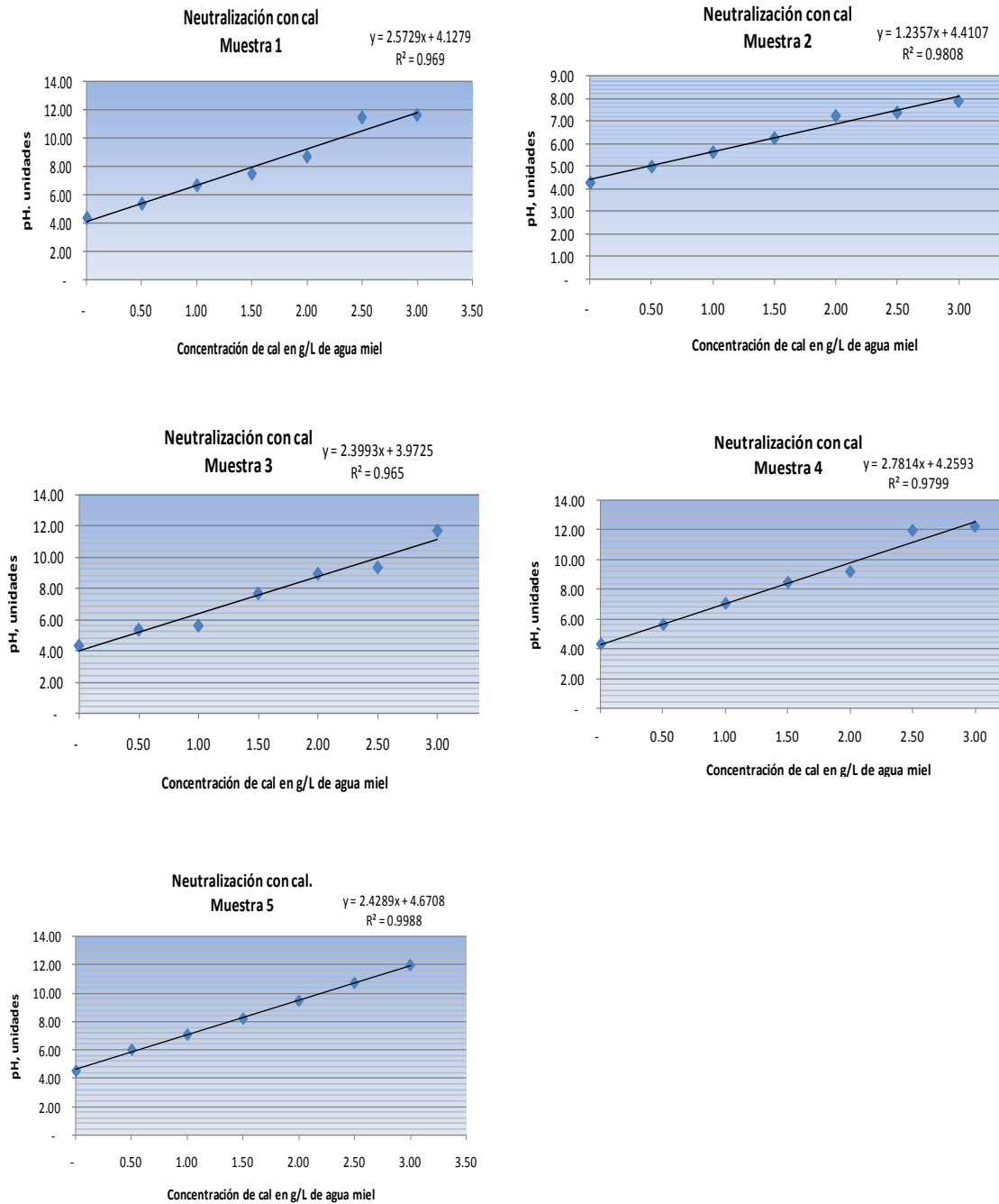
Tabla VIII. **Datos de pH adicionando hidróxido de calcio. Primeras 5 muestras**

VASO N°	CONCENTRACION DE CAL GRAMOS POR LITRO	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	MUESTRA 4	MUESTRA 5
		15/11/12	20/11/12	22/11/12	27/11/12	29/11/12
		pH	pH	pH	pH	pH
Sin tratar	-	4.40	4.30	4.32	4.30	4.57
1.00	0.50	5.40	5.01	5.35	5.63	6.06
2.00	1.00	6.70	5.65	5.61	7.06	7.11
3.00	1.50	7.52	6.28	7.68	8.49	8.24
4.00	2.00	8.73	7.27	8.95	9.22	9.49
5.00	2.50	11.49	7.42	9.36	12.02	10.74
6.00	3.00	11.67	7.92	11.73	12.30	11.99
ECUACIÓN DE LA RECTA DE MEJOR AJUSTE		$Y = 2.5729X + 4.1279$	$Y = 1.2357X + 4.4107$	$Y = 2.3993X + 3.9725$	$Y = 2.7814X + 4.2593$	$Y = 2.4289X + 4.6708$
COEFICIENTE DE DETERMINACION		0.9620	0.9808	0.9650	0.9799	0.9988

Fuente: elaboración propia.

El comportamiento del pH para cada una de las muestras es el siguiente:

Figura 20. Comportamiento del pH del agua miel a diferentes concentraciones de hidróxido de calcio. Muestras 1 a la 5



Fuente: elaboración propia.

Calculando la cantidad de hidróxido de calcio en g/L para alcanzar el pH = 7,00 unidades, se obtiene un valor promedio, tal como se muestra:

Tabla IX. **Concentración de hidróxido de calcio para neutralizar el pH del agua miel**

MUESTRA	CONCENTRACION DE CAL EN g/L DE AGUA MIEL PARA TENER pH DE 7.00 UNIDADES
1	1.12
2	2.10
3	1.26
4	0.99
5	0.96
VALOR PROMEDIO	1.28

Fuente: elaboración propia.

Por ser una cantidad más manejable, se seleccionó una concentración de 1,50 gramos de hidróxido de calcio por litro de agua miel para realizar los ensayos de neutralización con hidróxido de calcio más bicarbonato de sodio.

7.4. **Datos de pH obtenidos en el laboratorio al adicionar hidróxido de calcio al agua miel**

A partir de la muestra número 4 hasta la número 15(12 ensayos) se adicionó hidróxido de calcio en diferentes concentraciones, realizándose mediciones de pH inmediatamente después de realizar el ensayo y 24 horas después. Los valores de pH así como los cuartiles Q_1 , Q_2 , Q_3 , media y desviación estándar se muestran en la siguiente tabla:

Tabla X. Valores de pH adicionando hidróxido de calcio en diferentes concentraciones al agua miel

DATOS DE pH AL ADICIONAR HIDRÓXIDO DE CALCIO								DATOS DE pH 24 HORAS DESPUES DE ADICIONAR HISRÓXIDO DE CALCIO							
VASO N°	Sin tratar	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	Sin tratar	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	
CONCENTRACION DE CAL GRAMOS POR LITRO	-	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	-	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	
MUESTRA 4 27/11/12	4.30	5.63	7.06	8.49	9.22	12.02	12.30	4.28	4.12	4.10	4.28	4.89	4.80	6.90	
MUESTRA 5 29/11/12	4.57	6.06	7.11	8.24	9.28	10.68	12.10	4.51	5.10	5.91	6.98	7.50	9.49	11.68	
MUESTRA 6 4/12/12	4.34	5.52	6.29	7.83	9.29	11.15	11.32	4.30	4.90	5.80	6.57	7.09	10.28	10.53	
MUESTRA 7 6/12/12	4.48	4.96	5.61	6.70	8.22	8.97	10.60	4.45	4.72	5.19	5.93	6.56	7.02	8.15	
MUESTRA 8 22/01/12	4.43	7.49	9.73	10.82	11.98	12.20	12.41	4.46	5.37	7.08	8.38	12.15	12.49	12.58	
MUESTRA 9 29/01/13	4.21	4.58	5.09	6.21	6.49	7.16	8.71	4.17	4.54	4.96	5.96	7.36	7.74	7.05	
MUESTRA 10 31/01/13	4.33	4.74	5.06	5.42	6.17	6.68	7.41	4.32	4.67	4.98	5.28	5.89	6.42	7.27	
MUESTRA 11 12/02/13	4.77	6.18	6.46	7.04	7.46	7.82	9.12	4.84	6.46	7.10	7.59	7.71	7.74	7.55	
MUESTRA 12 14/02/13	4.78	6.82	8.52	10.53	12.12	12.30	12.37	4.84	5.41	5.47	7.00	9.70	12.06	12.33	
MUESTRA 13 19/02/13	4.84	5.63	6.85	8.75	9.90	11.92	12.40	7.33	7.59	7.36	7.22	7.00	7.43	12.26	
MUESTRA 14 21/02/13	4.65	6.35	6.82	8.22	8.15	10.00	12.31	5.25	5.96	5.48	6.45	6.62	7.62	11.57	
MUESTRA 15 26/02/13	4.62	6.51	8.02	8.24	12.17	12.32	12.50	4.55	5.27	6.90	5.52	10.21	12.80	12.81	
CUARTIL 1	4.34	5.38	6.12	6.96	7.98	8.68	10.23	4.32	4.71	5.14	5.83	6.61	7.33	7.48	
CUARTIL 2	4.53	5.84	6.84	8.23	9.25	10.92	12.20	4.49	5.18	5.64	6.51	7.23	7.74	11.05	
CUARTIL 3	4.68	6.39	7.34	8.56	10.42	12.07	12.38	4.84	5.55	6.95	7.06	8.21	10.73	12.28	
MEDIA	4.53	5.87	6.89	8.04	9.20	10.27	11.13	4.78	5.34	5.86	6.43	7.72	8.82	10.06	
MEDIANA	5.84	5.84	6.84	8.23	9.25	10.92	12.20	4.49	5.18	5.64	6.51	7.23	7.74	11.05	
DESVIACION ESTANDAR	0.21	0.87	1.38	1.59	2.07	2.11	1.77	0.86	0.95	1.04	1.11	2.02	2.58	2.45	

Fuente: elaboración propia.

7.5. Datos de pH obtenidos en el laboratorio al adicionar bicarbonato de sodio

Se adicionó cantidades variables de bicarbonato de sodio a 12 muestras iniciando en la muestra número 4 y terminando con la número 15. De igual manera, se realizó medición de pH al terminar el ensayo y 24 horas después. Los resultados de pH, cuartiles Q_1 , Q_2 , Q_3 , media y desviación estándar son los siguientes:

Tabla XI. **Valores de pH al adicionar bicarbonato de sodio**

DATOS DE pH AL ADICIONAR BICARBONATO DE SODIO								DATOS DE pH 24 HORAS DESPUES DE ADICIONAR BICARBONATO DE SODIO						
VASO N°	Sin tratar	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	Sin tratar	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00
CONCENTRACION DE BICARBONATO DE SODIO EN GRAMOS POR LITRO	-	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	-	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00
MUESTRA 4 27/11/12	4.30	5.03	5.63	6.10	6.51	6.29	6.68	4.28	6.45	7.11	6.91	6.93	6.55	8.71
MUESTRA 5 29/11/12	4.57	5.13	5.60	6.03	6.35	6.46	6.54	4.51	4.89	5.32	5.54	6.25	6.63	7.03
MUESTRA 6 4/12/12	4.34	4.85	5.13	5.48	5.85	6.16	6.45	4.30	4.93	5.33	5.67	6.23	6.87	7.39
MUESTRA 7 6/12/12	4.48	4.82	5.09	5.36	5.70	5.92	6.28	4.45	4.63	4.87	5.08	5.41	5.52	5.83
MUESTRA 8 22/01/12	4.43	4.64	4.76	4.87	5.12	5.21	5.28	4.46	4.62	4.69	4.78	5.06	5.12	5.15
MUESTRA 9 29/01/13	4.21	4.58	5.09	6.21	6.49	7.16	8.71	4.17	4.54	4.96	5.96	7.36	7.74	7.05
MUESTRA 10 31/01/13	4.33	4.53	4.67	4.87	5.02	5.33	5.54	4.32	4.54	4.62	4.83	4.96	5.22	5.39
MUESTRA 11 12/02/13	4.77	5.67	6.06	6.23	6.44	6.59	7.01	4.84	5.59	6.40	6.93	7.21	7.39	7.82
MUESTRA 12 14/02/13	4.78	6.12	6.62	6.91	7.06	6.79	7.32	4.84	4.87	5.16	5.60	6.54	5.40	7.58
MUESTRA 13 19/02/13	4.84	5.04	5.37	5.74	6.04	6.24	6.52	7.33	6.44	7.46	6.94	7.18	7.14	7.20
MUESTRA 14 21/02/13	4.65	5.04	5.26	5.63	5.99	6.19	6.43	5.25	5.43	6.22	5.85	6.09	6.21	5.25
MUESTRA 15 26/02/13	4.62	4.94	5.30	5.72	5.98	6.40	6.60	4.55	4.77	5.00	5.13	5.31	5.43	5.95
CUARTIL 1	4.34	4.78	5.09	5.13	5.81	6.10	6.39	4.32	4.63	4.94	5.12	5.39	5.42	5.72
CUARTIL 2	4.53	4.99	5.28	5.94	6.02	6.27	6.53	4.49	4.88	5.24	5.64	6.24	6.38	7.04
CUARTIL 3	4.68	5.06	5.61	6.54	6.45	6.49	6.76	4.84	5.47	6.27	6.20	6.99	6.94	7.44
MEDIA	4.53	5.03	5.38	5.76	6.05	6.23	6.61	4.78	5.14	5.60	5.77	6.21	6.27	6.70
MEDIANA	4.53	4.99	5.28	5.73	6.02	6.27	6.53	4.49	4.88	5.24	5.64	6.24	6.38	7.04
DESVIACION ESTANDAR	0.21	0.46	0.54	0.59	0.58	0.55	0.86	0.86	0.69	0.96	0.79	0.87	0.91	1.15

Fuente: Ing. Claudia Cerrato Espinal

7.6. Datos de pH obtenidos en laboratorio al adicionar una cantidad fija de hidróxido de calcio y cantidades variables de bicarbonato de sodio

Una vez determinada la cantidad fija de hidróxido de calcio(1.50 gramos por litro) para neutralizar el pH del agua miel, se inició a aplicar bicarbonato de sodio en cantidades variables iniciando en la muestra número 5 y terminando en la muestra número 15, para hacer un total de 11 ensayos. La medición de pH se hizo inmediatamente después de realizar el ensayo y 24 horas después. Los valores de pH así como los cuartiles Q_1 , Q_2 , Q_3 , media y desviación estándar son los siguientes:

Tabla XII. **Valores de pH al adicionar 1,50 g/L de hidróxido de calcio mas cantidades variables de bicarbonato de sodio**

DATOS DE pH AL ADICIONAL BICARBONATO DE SODIO								DATOS DE pH 24 HORAS DESPUES DE ADICIONAR BICARBONATO DE SODIO						
VASO N°	Sin tratar	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	Sin tratar	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00
CONCENTRACION DE BICARBONATO DE SODIO EN GRAMOS POR LITRO	-	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	-	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00
MUESTRA 5 29/11/12	4.57	6.82	8.15	8.35	8.15	8.22	8.18	4.50	6.30	7.40	7.35	7.43	7.55	7.68
MUESTRA 6 4/12/12	4.34	5.87	6.83	7.35	7.00	7.40	7.43	4.32	4.67	4.90	4.87	4.97	5.02	5.06
MUESTRA 7 6/12/12	4.48	6.03	6.97	7.30	7.29	7.45	7.29	4.51	5.65	6.33	6.61	6.53	6.68	6.68
MUESTRA 8 22/01/12	4.43	6.89	6.86	7.81	7.74	7.12	7.13	4.46	6.54	6.59	6.53	6.67	6.95	6.99
MUESTRA 9 29/01/13	4.21	5.89	6.53	6.45	6.31	6.63	6.69	4.17	5.56	6.54	7.32	6.61	7.36	7.55
MUESTRA 10 31/01/13	4.33	5.95	6.15	6.35	6.48	6.64	6.74	4.32	5.72	6.03	6.69	7.19	7.38	7.75
MUESTRA 11 12/02/13	4.77	7.48	7.46	8.09	8.08	8.07	8.07	4.84	7.63	7.76	7.89	7.83	7.85	7.93
MUESTRA 12 14/02/13	4.78	10.20	9.28	9.00	8.67	8.85	9.10	4.84	6.72	6.74	6.95	7.41	7.87	7.96
MUESTRA 13 19/02/13	4.84	8.91	8.69	8.78	8.54	8.55	8.39	7.33	6.79	6.70	7.16	6.79	6.76	6.81
MUESTRA 14 21/02/13	4.65	8.80	9.20	9.18	8.17	8.18	8.29	5.25	5.80	6.01	5.85	6.50	6.32	6.80
MUESTRA 15 26/02/13	4.62	9.10	9.17	8.39	8.23	8.14	7.88	4.55	5.78	7.19	7.98	7.49	7.47	7.76
CUARTIL 1	4.39	5.99	6.85	7.33	7.15	7.26	7.21	4.39	5.69	6.18	6.57	6.57	6.72	6.81
CUARTIL 2	4.57	6.89	7.46	8.09	8.08	8.07	7.88	4.51	5.80	6.59	6.95	6.79	7.36	7.55
CUARTIL 3	4.71	8.86	8.93	8.59	8.20	8.20	8.24	4.84	6.63	6.97	7.34	7.42	7.51	7.76
MEDIA	4.55	7.45	7.75	7.91	7.70	7.75	7.74	4.83	6.11	6.56	6.84	6.86	7.02	7.18
MEDIANA	4.57	6.89	7.46	8.09	8.08	8.07	7.88	4.51	5.80	6.59	6.95	6.79	7.36	7.55
DESVIACION ESTANDAR	0.21	1.55	1.18	0.96	0.81	0.75	0.75	0.88	0.79	0.77	0.90	0.77	0.83	0.85

Fuente: elaboración propia.

7.7. Análisis de correlación entre variables

Se realizó un análisis de correlación entre las variables:

- Cantidad de café despulpado: corresponde a la cantidad en quintales, de cereza que ingresó al beneficio un día antes de la toma de muestra del agua miel. Variable identificada como "P".
- Potencial de hidrógeno de la muestra: corresponde al valor del pH de la muestra, valor tomado en campo (agua sin ningún tratamiento). Variable identificada como "pH".

- Potencial de hidrógeno 24 horas después: corresponde al valor del pH del agua cruda 24 horas después de recoger la muestra. Variable identificada como “pH 24 HD”.
- Concentración de hidróxido de calcio necesario para alcanzar un pH de 7,00 unidades en el agua miel: corresponde a la cantidad de hidróxido de calcio en g/L que se debe agregar al agua miel para lograr un pH de 7,00 unidades. Este valor ha sido calculado utilizando la recta de mejor ajuste para cada muestra. Variable identificada como “CC”.
- Concentración de bicarbonato de sodio para alcanzar un pH de 7,00 unidades en el agua miel: corresponde a la cantidad de bicarbonato de sodio en g/L que se debe agregar al agua miel para lograr un pH de 7,00 unidades. Este valor ha sido calculado utilizando la recta de mejor ajuste para cada muestra. Variable identificada como “CB”.
- Concentración de 1,50 g/L de hidróxido de calcio mas bicarbonato de sodio para alcanzar un pH de 7,00 unidades en el agua miel: Corresponde a la cantidad de 1,50 g/L de hidróxido de calcio mas bicarbonato de sodio que se debe agregar al agua miel para lograr un pH de 7,00 unidades. Este valor ha sido calculado utilizando la recta de mejor ajuste para cada muestra. Variable identificada como “C C+B”.
- Alcalinidad: corresponde al valor de alcalinidad del agua miel cruda expresado en mg/L de CaCO_3 . Variable identificada como “A”.

Los valores de cada variable se muestran en la siguiente tabla:

Tabla XIII. **Valor de cada variable para análisis de correlación entre variables**

MUESTRA N°	FECHA DE TOMA DE LA MUESTRA	FECHA DE INGRESO DE LA CEREZA	PRODUCCIÓN. CANTIDAD DE CEREZA DESPULPADA. QUINTALES (P)	PH DEL AGUA CRUDA (PH)	PH AGUA CRUDA 24 HD (PH 24 HD)	CONCENTRACION DE CAL G/L PARA PH 7 (CC)	CONCENTRACION DE BICARBONATO G/L PARA PH 7 (CB)	1.5 G/L DE CAL MAS CONCENTRACION DE BICARBONATO G/L PARA PH 7 (C C+B)	ALCALINIDAD mg/L CaCO3 (A)
5	29-nov-12	28-nov-12	303.48	4.57	4.50	0.97	3.28	0.53	1000.00
6	04-dic-12	03-dic-12	400.06	4.34	4.32	1.12	3.73	1.18	750.00
7	06-dic-12	05-dic-12	572.59	4.48	4.51	1.44	4.26	1.19	750.00
8	22-ene-12	21-ene-12	478.49	4.43	4.46	0.43	8.75	0.73	5.00
9	29-ene-13	28-ene-13	256.02	4.21	4.17	2.29	2.15	2.70	1226.25
10	31-ene-13	30-ene-13	327.91	4.33	4.32	2.66	6.77	0.69	800.00
11	12-feb-13	11-feb-13	315.65	4.77	4.84	1.48	2.89	0.52	3175.00
12	14-feb-13	13-feb-13	357.14	4.78	4.84	0.50	1.65	0.19	445.00
13	19-feb-13	18-feb-13	404.05	4.84	7.33	1.02	3.77	0.27	2897.00
14	21-feb-13	20-feb-13	129.14	4.65	5.25	1.12	3.84	0.26	608.00
15	26-feb-13	25-feb-13	120.53	4.62	4.55	0.81	3.47	0.25	297.50

Valores proporcionados por laboratorio de ANACAFE

Fuente: elaboración propia.

La matriz de correlación de variables se muestra a continuación:

Tabla XIV. **Matriz de correlación de variables**

	(P)	(PH)	(PH 24 HD)	(CC)	(CB)	(C C+B)	(A)
(P)	1.000	-0.124	0.042	-0.086	0.355	0.153	0.054
(PH)	-0.124	1.000	0.687	-0.553	-0.340	-0.779	0.460
(PH 24 HD)	0.042	0.687	1.000	-0.249	-0.121	-0.436	0.590
(CC)	-0.086	-0.553	-0.249	1.000	0.013	0.559	0.226
(CB)	0.355	-0.340	-0.121	0.013	1.000	-0.115	-0.330
(C C+B)	0.153	-0.779	-0.436	0.559	-0.115	1.000	-0.044
(A)	0.054	0.460	0.590	0.226	-0.330	-0.044	1.000

 Correlación perfecta

- P Producción en quintales, cantidad de cereza despulpada
- PH pH del agua cruda
- PH 24 HD pH del agua cruda 24 horas despues
- CC Concentración de cal para lograr un pH de 7
- CB Concentración de bicarbonato de sodio para lograr un pH de 7
- C C+B 1.5 g/L de cal mas concentracion de bicarbonato de sodio para lograr un pH de 7
- A Alcalinidad

Fuente: elaboración propia.

8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

8.1. Agua del afluente usada para el beneficiado de café

El agua del afluente (agua limpia) utilizada para el beneficiado de café presenta valores de color, turbiedad, cloruros, conductividad, sólidos totales disueltos, sulfatos, oxígeno disuelto, nitrito y dureza, que son favorables para el consumo humano; no así los valores obtenidos para los nitratos, hierro y manganeso los cuales están por encima del límite máximo permisible establecido en la Norma Coguanor NGO 29 001. El análisis bacteriológico muestra un valor que la clasifica como Agua Clase II,⁵ indicando que para hacerla apta para el consumo humano, debe aplicársele un método habitual de tratamiento que incluya coagulación, filtración y desinfección. Considerando que el café, posterior al proceso de lavado tendrá un proceso de secado y tostado; la presencia de bacterias será eliminada completamente.

El agua del afluente utilizada en el beneficiado de café no requiere de ningún tipo de tratamiento para ser utilizada en el cultivo de arbustos, cereales, forraje y crianza de animales.⁶

En cuanto al beneficiado del café, el valor correspondiente al hierro (mayor que 0,10 mg/L) podría hacer que, con el transcurso del tiempo, manche de un color oscuro las estructuras en el beneficio.

⁵Normas de Control de la Calidad de las Aguas. OPS/CEPIS 1996.

⁶ Contaminación del agua. Pedro Saravia.

El valor del pH del agua del afluente (7,30 unidades), confirma que la acidez del agua miel es provocada por el beneficiado del café y que no es adicionada por el agua del afluente. Posee alcalinidad, la cual no es suficiente para neutralizar los ácidos.

8.2. Caracterización del agua miel

Se observa que todos los parámetros analizados en laboratorio, son mucho mayores que los que presenta un agua residual doméstica. La DBO_5 y DQO, son aproximadamente 98 y 74 veces mayores, respectivamente.

La relación DBO_5/DQO mayor de 0,60, indica que el agua miel es biológicamente tratable.

De acuerdo a la teoría, la alcalinidad proveniente de hidróxidos y la mitad de los carbonatos se neutraliza a un valor de pH de 8,30 unidades y la totalidad de los carbonatos y los bicarbonatos son neutralizados a pH 4,50 unidades. A un pH de 4,37, ya no se espera presencia de alcalinidad. Debido a que el mucílago del café está conformado por proteínas, lípidos, carbohidratos, sales minerales, ácidos y alcoholes; es posible que estas sustancias que no se degradaron durante la fermentación consuman el ácido sulfúrico que se utiliza para titular, por lo que a un pH de 4,50 unidades en lugar de titular los bicarbonatos, se están llevando a cabo reacciones de hidrólisis, deshidratación de azúcares y la posible reacción de la pectina con el ácido sulfúrico.

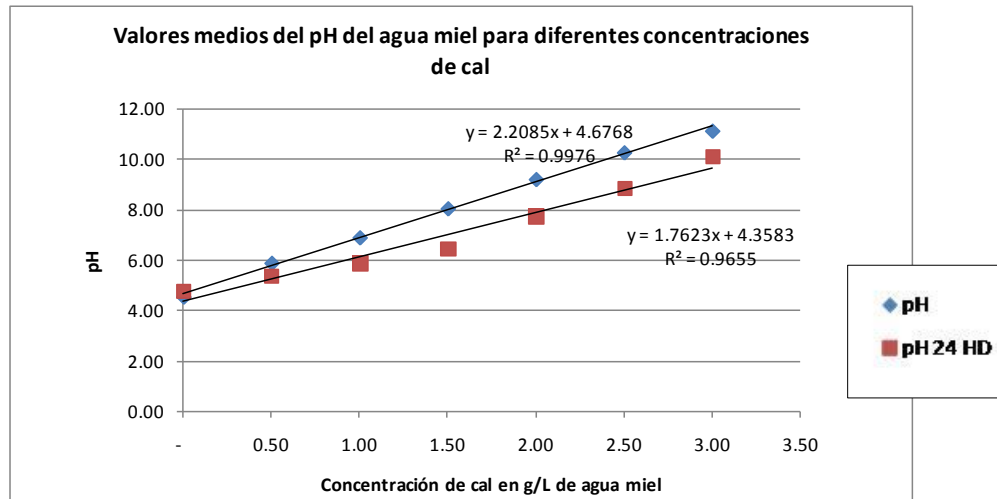
8.3. Uso de hidróxido de calcio para neutralización de pH del agua miel

A continuación se muestra un análisis de los valores del pH y su variación 24 horas después de aplicar hidróxido de calcio, así como un análisis de cuartiles y análisis de frecuencias.

8.3.1. Variación del pH en el tiempo

Como puede observarse en la figura y tabla siguientes en las que se muestra los valores medios de pH a diferentes concentraciones de hidróxido de calcio y el porcentaje de variación en el tiempo; el pH del agua miel tratada con hidróxido de calcio tiende a disminuir en un porcentaje medio de 13,96% en el transcurso de las 24 horas después de su aplicación. El hidróxido de calcio no adiciona capacidad buffer para mantener el pH después de iniciar el tratamiento.

Figura 21. **Valores medios del pH del agua miel para diferentes concentraciones de hidróxido de calcio**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Cálculo del porcentaje de variación del pH del agua miel en 24 horas, adicionando hidróxido de calcio para su neutralización**

Muestra	Concentración de hidróxido de calcio	Variación del valor del pH en porcentaje	Observación
Sin tratar	-	5.49	pH aumenta
1	0.50	9.03	pH disminuye
2	1.00	14.88	pH disminuye
3	1.50	20.03	pH disminuye
4	2.00	16.09	pH disminuye
5	2.50	14.06	pH disminuye
6	3.00	9.64	pH disminuye
Media		13.96	
Mediana		14.47	
Desviación estandar		4.13	

Fuente: elaboración propia.

8.3.2. Análisis de los cuartiles Q₁, Q₂, Q₃ y media de las muestras

Observado la tabla X, los cuartiles Q₁, Q₂ y Q₃ para una concentración de 0,50 g/L se observa que solamente el 25% de las muestras tienen un pH mayor de 6,39 unidades. 24 horas después este mismo porcentaje de muestras ha descendido su pH a 5,55 unidades (Q₂) y el 50% restante está por debajo de ese valor. Los valores de las medias son 5,87 unidades y desciende a 5,34 unidades 24 horas después.

Observado los cuartiles Q₁, Q₂ y Q₃ para una concentración de 1,00 g/L, se tienen que sus valores 6,12, 6,84 y 7,34 unidades. Para esta misma concentración estos valores descienden a 5,14, 5,64 y 6,95 unidades, quedando por fuera del rango ideal (6,00 a 8,00 unidades) los cuartiles Q₁ y Q₂. Solamente el 25% de las muestras mantienen su pH por encima de 6,95 unidades. El valor medio del pH para una concentración de 1,00 g/L es de 6,89 y 5,86 unidades 24 horas después.

En el caso de la concentración de 1,50 g/L los valores de los Q₁, Q₂ y Q₃ son 6,96, 8,23 y 8,56 unidades respectivamente, es decir; el 75% de las muestras tienen un pH por debajo de 8,56 unidades. 24 horas después el 75% de las muestras tienen un pH inferior a 7,06. Los valores de las medias son 8,04 unidades y 6,43 después de 24 horas.

Para una concentración de 2,00 g/L, el Q₁ es de 7,98 pero los cuartiles Q₂ y Q₃ son mayores que 8,00 unidades (9,25 y 10,42 unidades respectivamente). 24 horas después, el Q₁ y Q₂ son 6,61 y 7,23 respectivamente, Q₃ se mantiene mayor que 8,00 unidades. El valor medio para esta concentración es de 9,20 unidades y 7,72 después de 24 horas.

Analizando el comportamiento del pH a una concentración de 2,50 g/L que es la concentración actualmente utilizada en los beneficios húmedos tecnificados; el valor medio de pH obtenido es de 10,27 unidades y 24 horas después de 8,82 unidades, siendo valores de pH muy altos para facilitar un tratamiento biológico al agua miel. Los cuartiles Q_1 , Q_2 y Q_3 son 8,68, 10,92 y 12,07 y 24 horas después de 7,33, 7,74 y 10,73 respectivamente.

Para una concentración de 3,00 g/L, los cuartiles y las medias se encuentran por encima de 8,00 unidades y 24 horas después solamente el 25% de las muestras están por debajo de 7,4 unidades

8.3.3. Análisis de frecuencias

En la siguiente tabla (tabla XVI), puede observarse que los porcentajes más altos de las muestras que se encuentran en un rango de pH de 6,00 a 8,00 unidades, son los que corresponden a las concentraciones de 0,50 g/L y 1,00 g/L ambos con un valor de 50% de las muestras. 24 horas después han cambiado a 16,67 % y 33,33% respectivamente. Para una concentración de 1,50 g/L el porcentaje de muestras que tiene pH entre 6,00 y 8,00 unidades es de 33,33%, 24 horas después ese porcentaje aumenta debido a que las muestras que estaban con pH mayor que 8,00 unidades descendieron su pH a valores menores de 8,00

Tabla XVI. **Porcentajes de muestras tratadas con hidróxido de calcio que mantienen pH menor de 6, pH entre 6 y 8 y pH mayor de 8 al terminar el ensayo y 24 horas después**

CONCENTRACIÓN DE CAL. G/L	% DE MUESTRAS CON PH MENOR DE 6		% DE MUESTRAS CON PH ENTRE 6 Y 8		% DE MUESTRAS CON PH MAYOR QUE 8	
	AL TERMINAR EL ENSAYO	24 HD	AL TERMINAR EL ENSAYO	24 HD	AL TERMINAR EL ENSAYO	24 HD
0.00	100.00	91.67	0.00	8.33	0.00	0.00
0.50	50.00	83.33	50.00	16.67	0.00	16.67
1.00	25.00	66.67	50.00	33.33	25.00	0.00
1.50	8.33	41.67	33.33	50.00	58.33	8.33
2.00	0.00	16.67	25.00	58.33	75.00	25.00
2.50	0.00	8.33	25.00	50.00	75.00	41.67
3.00	0.00	0.00	8.33	33.33	91.67	66.67

Fuente: elaboración propia.

8.4. **Uso de bicarbonato de sodio para neutralización de pH del agua miel**

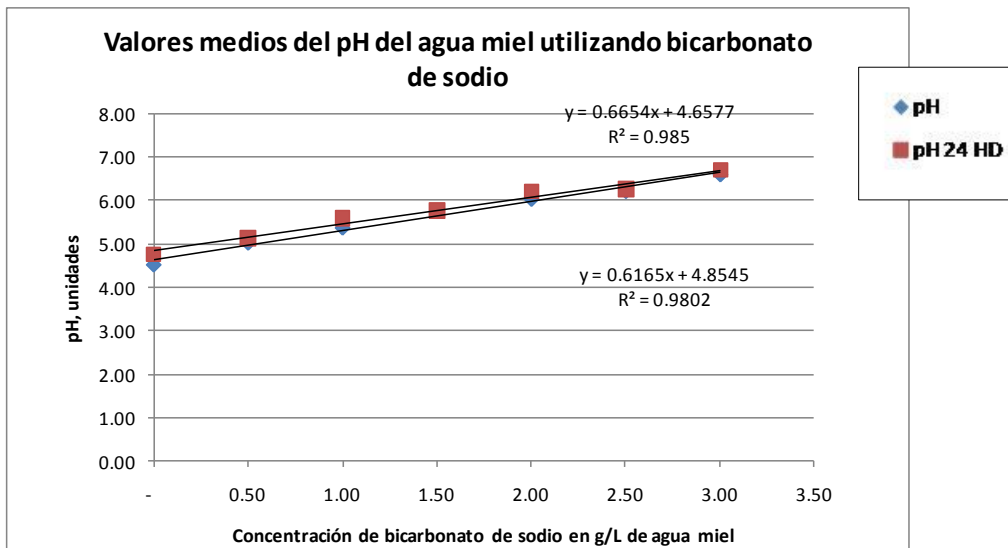
A continuación se muestra un análisis de los valores del pH y su variación 24 horas después de aplicar hidróxido de calcio, así como un análisis de cuartiles y análisis de frecuencias.

8.4.1. **Variación del pH en el tiempo**

Como puede observarse en la figura y tabla siguientes mostrando los valores medios de pH al terminar el ensayo y 24 horas después y las variaciones expresadas en porcentaje; el pH del agua miel tratada con bicarbonato de sodio 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 más adelante.

Figura 22. **Valores medios del pH del agua miel para diferentes concentraciones de bicarbonato de sodio**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Cálculo del porcentaje de variación del pH del agua miel en 24 horas adicionando bicarbonato de sodio para su neutralización**

Muestra	Concentracion de bicarbonato de sodio	% de variación	Observación
Sin tratar		5.20	pH aumenta
1	0.50	2.12	pH aumenta
2	1.00	3.81	pH aumenta
3	1.50	0.10	pH aumenta
4	2.00	2.66	pH aumenta
5	2.50	0.64	pH aumenta
6	3.00	1.23	pH aumenta
Media		2.25	
Mediana		2.12	
Desviación estandar		1.81	

Fuente: elaboración propia.

8.4.2. **Análisis de los cuartiles Q₁, Q₂, Q₃, y media de las muestras**

Observado los cuartiles Q₁, Q₂ y Q₃ (tabla XI) para las concentraciones de 0,50 y 1,00 g/L; se tiene que todos los valores están por debajo de 6,00 unidades. 24 horas después, solamente el 25% de las muestras con una concentración de 1,00 g/L tienen un valor de pH por encima de 6,27 unidades (Q₃).

Para la concentración de 1,50 g/L los valores de los Q₁, Q₂ y Q₃ son de 5,13, 5,94 y 6,54; 24 horas después sus valores son de 5,12, 5,64 y 6,20. Los valores de las medias son 5,76 y 5,77 después de 24 horas. Se puede ver que un 50% de las muestras tiene un pH menor de 5,94 unidades, valor que no cambia considerablemente después de 24 horas.

Para 2,00 g/L, el 50% de las muestras se encuentra por debajo de 6,02 unidades y después de 24 horas es por debajo de 6,24 unidades. Los valores de las medias son de 6,05 y 6,21 después de 24 horas.

Para 2,50 g/L los Q_1 , Q_2 y Q_3 son 6,10, 6,27 y 6,49 unidades respectivamente y 24 horas después, el Q_1 es el único valor menor de 6,00 unidades. Los valores de las medias son 6,23 unidades y 6,27 unidades 24 horas después.

Para 3,00 g/L el comportamiento de los cuartiles es similar que para la concentración de 2,50 g/L. Los valores de las medias son 6,61 y 6,70 unidades 24 horas después.

8.4.3. Análisis de frecuencias

En la tabla XVIII, se observa que el porcentaje más alto de muestras que se encuentra en el intervalo de 6,00 a 8,00 unidades es de 75% que corresponde a una concentración de 2,50 g/L. 24 horas después este valor cambia a 58,33%. A pesar de incrementar la concentración a 3,00 g/L, el porcentaje de muestras que se encuentran en el intervalo de 6,00 a 8,00 es el mismo y disminuye a un 50,00% 24 horas después.

Tabla XVIII. **Porcentaje de muestras tratadas con bicarbonato de sodio que mantienen pH menor de 6, pH entre 6 y 8 y pH mayor de 8 al terminar el ensayo y 24 horas después**

CONCENTRACIÓN DE BICARBONATO DE SODIO. G/L	% DE MUESTRAS CON PH MENOR DE 6		% DE MUESTRAS CON PH ENTRE 6 Y 8		% DE MUESTRAS CON PH MAYOR QUE 8	
	AL TERMINAR EL ENSAYO	24 HD	AL TERMINAR EL ENSAYO	24 HD	AL TERMINAR EL ENSAYO	24 HD
	0.00	100.00	91.67	0.00	8.33	0.00
0.50	91.67	83.33	8.33	16.67	0.00	16.67
1.00	83.33	66.67	16.67	33.33	16.67	33.33
1.50	58.33	75.00	41.67	25.00	0.00	0.00
2.00	50.00	33.33	50.00	66.67	0.00	0.00
2.50	25.00	41.67	75.00	58.33	0.00	0.00
3.00	16.67	41.67	75.00	50.00	8.33	8.33

Fuente: elaboración propia.

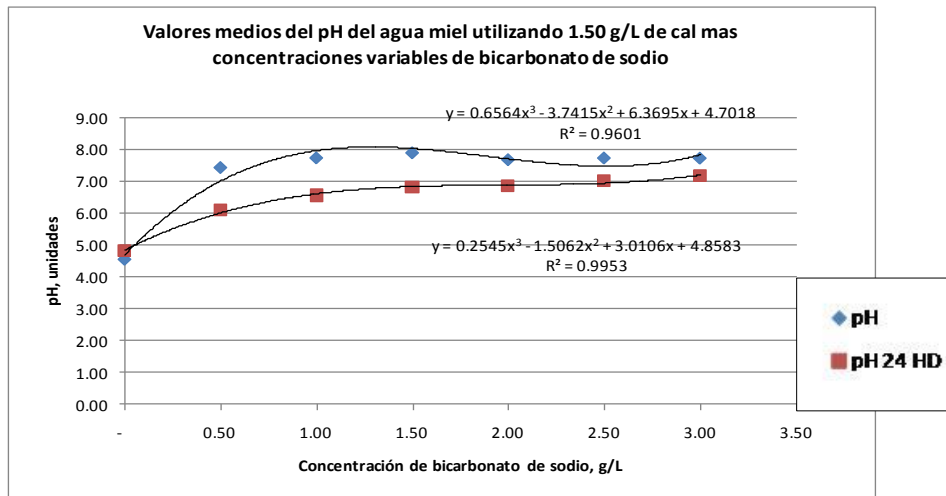
8.5. Uso de 1,50 g/L de hidróxido de calcio más bicarbonato de sodio para neutralización de pH del agua miel

A continuación se muestra un análisis de los valores del pH y su variación 24 horas después de aplicar hidróxido de calcio y bicarbonato de sodio, así como un análisis de cuartiles y análisis de frecuencias.

8.5.1. Variación del pH en el tiempo

Como puede observarse en la figura y tabla siguientes mostrando los valores medios de pH a diferentes concentraciones de bicarbonato de sodio en 1,50 g/L de hidróxido de calcio; el pH del agua miel tratada con 1,50 g/L de hidróxido de calcio mas bicarbonato de sodio tiende a disminuir en el transcurso del tiempo. La variación del pH en el tiempo es un porcentaje medio de 11,49% valor mucho mayor que el del bicarbonato de sodio, pero menor que el del hidróxido de calcio.

Figura 23. Variación de los valores medios del pH del agua miel para una concentración de 1,50 g/L de hidróxido de calcio y diferentes concentraciones de bicarbonato de sodio



Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. Porcentaje de variación del pH en 24 horas del agua miel adicionando 1,50 g/L de hidróxido de calcio mas cantidades variables de bicarbonato de sodio para su neutralización

Muestra	1.50 gramos de cal mas concentración variable de bicarbonato de sodio	% de variación	Observación
Sin tratar		5.78	pH aumenta
1	0.50	18.04	pH disminuye
2	1.00	15.36	pH disminuye
3	1.50	13.61	pH disminuye
4	2.00	10.91	pH disminuye
5	2.50	9.43	pH disminuye
6	3.00	7.30	pH disminuye
Media		11.49	
Mediana		10.91	
Desviación estandar		4.42	

Fuente: elaboración propia.

8.5.2. Análisis de los cuartiles Q_1 , Q_2 , Q_3 , y media de las muestras

En la tabla XII, se observa que para una concentración de 0,50 g/L de bicarbonato de sodio y 1,50 g/L de hidróxido de calcio, el Q_1 muestra que el 75% de las muestras tienen un pH por encima de 5,99 unidades pero 24 horas después, solamente el 25% (Q_3) de las muestras tienen un pH mayor de 6,63 unidades. Los valores de las medias son 7,45 unidades y 6,11 después de 24 horas.

Para una concentración de 1,00 g/L el 75% de las muestras tienen un pH superior a 6,85 unidades y 24 horas después ese mismo porcentaje de muestras tiene un pH mayor de 6,18. Los valores de las medias son 7,75 unidades y 6,56 después de 24 horas.

Con una concentración de 1,50 g/L de bicarbonato de sodio con 1,50 g/L de hidróxido de calcio, el 75% de las muestras tiene un pH inferior a 8,59 unidades y solamente el 25 % está por debajo de 7,33. Después de 24 horas solamente el 25% de las muestras tiene pH menor de 6,57 unidades y el 25% de las muestras tiene pH mayor que 7,32. Los valores de las medias son 7,91 y 6,84 después de 24 horas.

Para las concentraciones de 2,00 g/L, 2,5 g/L y 3,00 g/L en 1,5 g/L de hidróxido de calcio, el comportamiento de los cuartiles Q_1 , Q_2 , Q_3 y de las medias es similar entre ellos. Es decir, que el adicionar mayor cantidad de bicarbonato de sodio, no provoca cambios significativos en el comportamiento del pH del agua miel.

8.5.3. Análisis de frecuencias

En la tabla XX, se observa que el porcentaje más alto de muestras que se encuentra en el intervalo de 6,00 a 8,00 es de un 54,55% que corresponde a las concentraciones de 1,00 g/L y 3,00 g/L de bicarbonato de sodio en 1,50 g/L de hidróxido de calcio. Después de 24 horas, el porcentaje para ambas concentraciones ha aumentado a 90,91%. Este aumento de porcentaje de muestras dentro del intervalo de 6,00 a 8,00 se debe a que las muestras que estaban por encima de 8,00 unidades, presentaron una disminución de su pH después de las 24 horas.

Tabla XX. **Porcentaje de las muestras tratadas con hidróxido de calcio y bicarbonato de sodio que mantienen pH menor de 6, pH entre 6 y 8 y pH mayor de 8 al terminar el ensayo y 24 horas después**

1.50 G/L DE CAL MAS CONCENTRACIÓN DE BICARBONATO DE SODIO G/L	% DE MUESTRAS CON PH MENOR DE 6		% DE MUESTRAS CON PH ENTRE 6 Y 8		% DE MUESTRAS CON PH MAYOR QUE 8	
	AL TERMINAR EL ENSAYO	24 HD	AL TERMINAR EL ENSAYO	24 HD	AL TERMINAR EL ENSAYO	24 HD
0.00	100.00	91.67	0.00	8.33	0.00	0.00
0.50	27.27	54.55	36.36	45.45	36.36	0.00
1.00	0.00	9.09	54.55	90.91	45.45	0.00
1.50	0.00	18.18	45.45	81.82	54.55	0.00
2.00	0.00	9.09	45.45	90.91	54.55	0.00
2.50	0.00	9.09	45.45	90.91	54.55	0.00
3.00	0.00	9.09	54.55	90.91	45.45	0.00

Fuente: Ing. Claudia Cerrato Espinal.

8.6. Relación entre variables

En el análisis de relación de variables se puede ver que:

- El coeficiente de correlación entre la variable producción y el pH del agua miel sin tratar es de -0,124. Este valor indica que no existe relación entre ambas variables.
- El coeficiente de correlación entre el pH del agua miel sin tratar y su pH 24 horas después, es de 0,687, indicando una correlación entre ambas variables. A mayor pH del agua miel, mayor es el pH de la misma 24 horas después.
- El coeficiente de correlación entre las variable pH y concentración de hidróxido de calcio necesaria para alcanzar su neutralización es de $r = -0,553$. Dichas variables tienen relación débil e inversa.
- Entre las variables pH y concentración de bicarbonato de sodio, el coeficiente de correlación es de -0,34. No existe relación entre ambas variables.

8.7. Comparación de las desviaciones estándar de los resultados

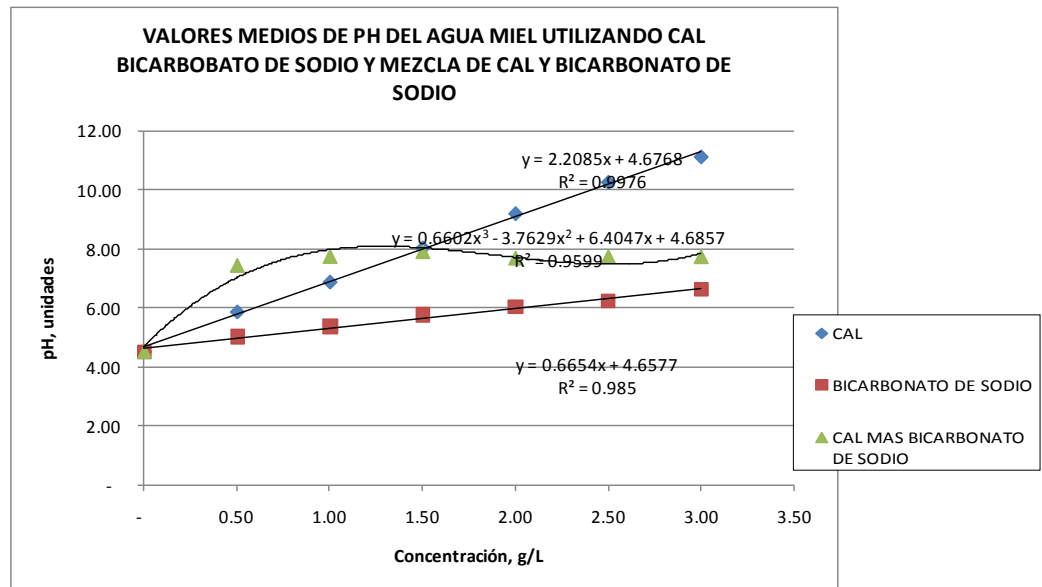
Comparando las desviaciones estándar para cada uno de los tres grupos de datos de pH en las tablas X, XI y XII, (hidróxido de calcio, bicarbonato de sodio y 1,50 g/L de hidróxido de calcio mas bicarbonato de sodio) se observa que los valores menores de desviación estándar corresponden a los datos de pH adicionando bicarbonato de sodio, indicando que los valores obtenidos son los menos dispersos y que están más cercanos a su media. Los valores de desviación estándar más altos son los que corresponden a la adición de hidróxido de calcio; es decir, los datos son mas dispersos y alejados a su media.

8.8. Comparación del comportamiento del pH del agua miel aplicando hidróxido de calcio, bicarbonato de sodio y una mezcla de ambos alcalinizantes

Analizando la siguiente figura (figura 24) y haciendo una comparación de los valores medios de pH obtenidos al aplicar hidróxido de calcio, bicarbonato de sodio y una mezcla de ambos alcalinizantes al momento de realizar el ensayo, puede observarse que:

- El pH del agua miel aplicando hidróxido de calcio crece de forma rápida y alcanza valores altos con cambios pequeños en la concentración de hidróxido de calcio.
- 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.
- Con una mezcla de hidróxido de calcio más bicarbonato de sodio, el pH del agua miel no se incrementa de forma considerable al aplicar una concentración de bicarbonato de sodio por encima de 1,00 g/L. El pH se mantienen dentro de un intervalo de 6,00 a 8,00 unidades.

Figura 24. **Gráfico comparativo del comportamiento de los valores medios de pH utilizando hidróxido de calcio, bicarbonato de sodio y mezcla de ambos alcalinizantes**



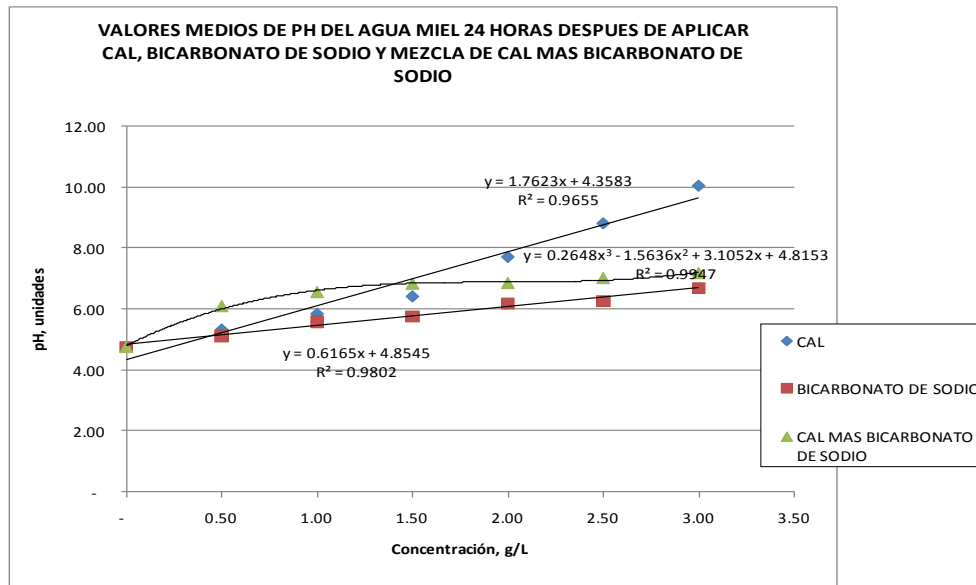
Fuente: elaboración propia.

Observando la figura 25, el comportamiento del pH del agua miel 24 horas después es de la siguiente forma:

- Aplicando hidróxido de calcio, el pH disminuye para todas las concentraciones. En una concentración de 2,00 g/L, ya el pH está cerca de las 8,00 unidades.
- 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 para cada concentración pero se mantiene en un intervalo de 6,00 a 8,00 unidades

Figura 25. **Gráfico comparativo del comportamiento de los valores medios de pH 24 horas después de aplicar hidróxido de calcio, bicarbonato de sodio y mezcla de ambos alcalinizantes**



Fuente: elaboración propia.

8.9. Comparación de costos entre uso de hidróxido de calcio, bicarbonato de sodio o mezcla de ambos alcalinizantes para neutralizar el pH del agua miel

Después de discutir los resultados obtenidos, puede verse que la aplicación de hidróxido de calcio para neutralización de agua miel no es la mejor opción, la ventaja que ofrece es su bajo costo y fácil adquisición.

Después de realizar los ensayos y de realizar un análisis de los resultados, la concentración recomendada es de 1,50 g/L. El costo del hidróxido de calcio es de Q 31,00⁷ el saco de 44 libras, equivale a Q 0,70 la libra. (Q 0,00015 por gramo)⁸.

El uso de bicarbonato de sodio para neutralizar el pH del agua miel es más efectivo ya que proporciona una capacidad buffer al agua miel. El precio del bicarbonato de sodio es de Q 142,50 el saco de 55 libras, equivale a Q 2,60 la libra. (Q 0,00057 el gramo)⁹.

La mezcla de ambos acondicionadores químicos recomendada es de 1,50 g/L de hidróxido de calcio más 1,00 g/L de bicarbonato de sodio.

Para hacer un análisis comparativo de costos para el uso de cada uno de los alcalinizantes y la mezcla de ambos, se considera que se realiza la neutralización de toda el agua miel de la cosecha que inició en octubre de 2012 y terminó en marzo de 2013.

La cantidad de fruto beneficiado en este período fue de 40 536,47 quintales, lo que equivale a una producción de 8 533,99 quintales de pergamino seco. Estimando un consumo de agua de 300 litros por quintal, se tiene que la cantidad total de agua miel de la cosecha es de 2 560 198,11 litros. Los costos son como se muestran a continuación:

⁷ USD 1,00 equivale a Q 7,85 Cambio correspondiente a junio de 2013.

⁸Precio de Ferretería Ferrum, Guatemala.

⁹Precio de Quimiprova, Guatemala.

Tabla XXI. Cuadro comparativo de costos para el uso de diferentes acondicionadores químicos y mezcla de ambos

INGRESO DE CAFÉ AL BENEFICIO COSECHA 2012-2013 40,536.47 QUINTALES DE CEREZA
 PRODUCCIÓN DE CAFÉ EN PERAMINO SECO COSECHA 2012-2013: 8,533.99 QUINTALES PERGAMIN SECO
 CONSUMO DE AGUA ESTIMADO POR QUINTAL DE CAFÉ 300.00 LITROS
 CONSUMO TOTAL DE AGUA COSECHA 2012-1013 2560,198.11 LITROS

VOLUMEN TOTAL TRATAR (LITROS)	PRECIO UNITARIO DE LA CAL (Q/ GRAMO)	PRECIO UNITARIO DEL BICARBONATO DE SODIO (Q/ GRAMO)	1.5 G/L DE CAL		2.5 G/L BICARBONATO DE SODIO		1.5 G/L DE CAL + 1.00 G/L BICARBONATO DE SODIO		
			CANTIDAD DE CAL REQUERIDA (GRAMOS)	PRECIO TOTAL. (Q)	CANTIDAD DE BICARBONATO DE SODIO REQUERIDO (GRAMOS)	PRECIO TOTAL. (Q)	CANTIDAD DE CAL REQUERIDA (GRAMOS)	CANTIDAD DE BICARBONATO DE SODIO REQUERIDO (GRAMOS)	PRECIO TOTAL. (Q)
2560,198.11	0.00015	0.00057	3840,297.16	576.04	6400,495.26	3,648.28	3840,297.16	2560,198.11	2,035.36

Fuente: elaboración propia.

Como se puede ver, el uso del hidróxido de calcio es el de menor costo. Comparando con este costo, usando solo bicarbonato de sodio, los costos se incrementan en un 633,33% y una combinación de ambos alcalinizantes el incremento es de un 353,33%.

9. CONCLUSIONES

1. La hipótesis planteada es verdadera, ya que el bicarbonato de sodio (NaHCO_3) aumentó el pH del agua miel y adicionó capacidad buffer. A pesar de incrementar la concentración, los valores de pH no excedieron las 7,00 unidades y el porcentaje de variación en el transcurso de 24 horas fue de un 2,25%. El bicarbonato de sodio en combinación con el hidróxido de calcio también adiciona alcalinidad y capacidad buffer al agua miel; los valores medios de pH no exceden las 8,00 unidades y el porcentaje de variación en el transcurso de 24 horas fue de 11,49%
2. La mejor concentración de bicarbonato de sodio es de 2,50 g/L, neutralizando el pH del agua miel en un valor medio de 6,23 unidades y adicionando capacidad buffer, ya que 24 horas después, el valor medio de pH para esta concentración fue de 6,27 unidades.
3. 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 obteniendo un valor de 7,75 unidades. Adicionar capacidad buffer ya que 24 horas después el pH fue de 6,56 unidades. Las variaciones de pH en el tiempo son mayores que las que se presentan utilizando únicamente bicarbonato de sodio
4. 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 en un porcentaje medio de 13,96%, 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.

5. El pH del agua miel no está relacionado con la cantidad de café que se haya utilizado en su proceso de beneficiado.
6. La concentración de agente alcalinizante a utilizar en la neutralización del pH del agua miel, no puede establecerse a partir de los datos de pH del agua a tratar.

10. RECOMENDACIONES

1. Para tener mejores resultados en el proceso de neutralización del agua miel, se recomienda utilizar el bicarbonato de sodio en una concentración de 2,50 g/L de agua miel, ya que además de neutralizar el pH, hace que este se mantenga dentro de un intervalo de 6,00 a 8,00 unidades después de 24 horas.
2. Si se necesita reducir costos en el proceso de neutralización del agua miel, se recomienda utilizar una mezcla compuesta por 1,50 g/L de hidróxido de calcio más 1,00 g/L de bicarbonato de sodio, haciendo que los valores de pH no se incrementen de forma exagerada.
3. Si por razones económicas se decide seguir utilizando hidróxido de calcio como agente alcalinizante, la dosis recomendada es de 1,50 g/L de agua miel, haciendo que el pH no se incremente a valores por encima de 8,00 unidades y evitando adicionar mayor cantidad de sólidos al agua. El pH no se mantendrá estable en el transcurso del tiempo.
4. Para realizar gráficos de balance iónico, en futuras investigaciones relacionadas con la neutralización del pH del agua miel, se recomienda realizar ensayos de acidez y alcalinidad tanto en campo como en laboratorio; a diferentes valores de pH logrados con los alcalinizantes en estudio.

5. El agua utilizada para el beneficiado de café no debe de usarse para consumo humano ya que presenta valores altos de nitratos, hierro, manganeso y presencia de coliformes fecales. La calidad de esta agua es apropiada para el cultivo de arbustos, cereales, forraje y crianza de animales.

11. BIBLIOGRAFÍA

1. 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).
2. El Cafetal, La Revista del Caficultor. Anacafé, octubre de 2006.
3. Metcalf& Eddy, INC. Ingeniería de Aguas Residuales, Tratamiento, Vertido y Reutilización. McGraw-HILL. Tercera Edición. 1996.
4. Romero Rojas, Jairo Alberto. Calidad del Agua. Tercera Edición. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. 2009.
5. Saravia, Pedro. Contaminación del Agua. Universidad de San Carlos de Guatemala.
6. Sawyer, Clair; Perry L. McCarty. Chemistry for Sanitary Engineers. 2° Edition.
7. Sawyer, Clair; Perry L. McCarty; Oarkin, Gene. Química para Ingeniería Ambiental. McGrawHill. Cuarta edición. 2000.
8. Soto, Roberto (Editor), 2007. Efecto del Tratamiento Químico y Biológico en la Remoción de Carga Contaminante de las Aguas Residuales Generadas en los Beneficios Húmedos de Café. Guatemala.

9. Tchobanoglous, George; Crites, Ron. Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones. 2000.

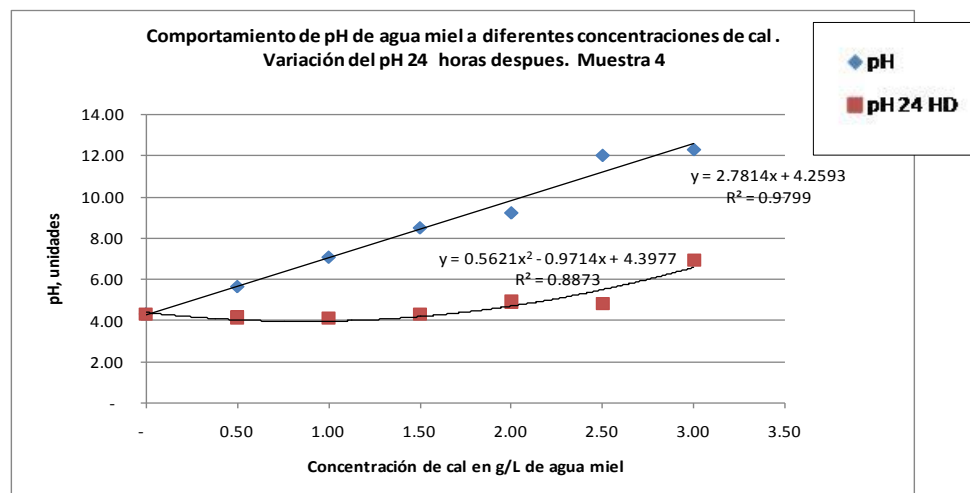
10. Torres Lozada, Patricia; Pérez Vidal, Andrea; 2008. Índices de Alcalinidad para el Control del Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales Fácilmente Acidificables. Ingeniería y Competitividad. Volumen 10, Número 2: 41-52.

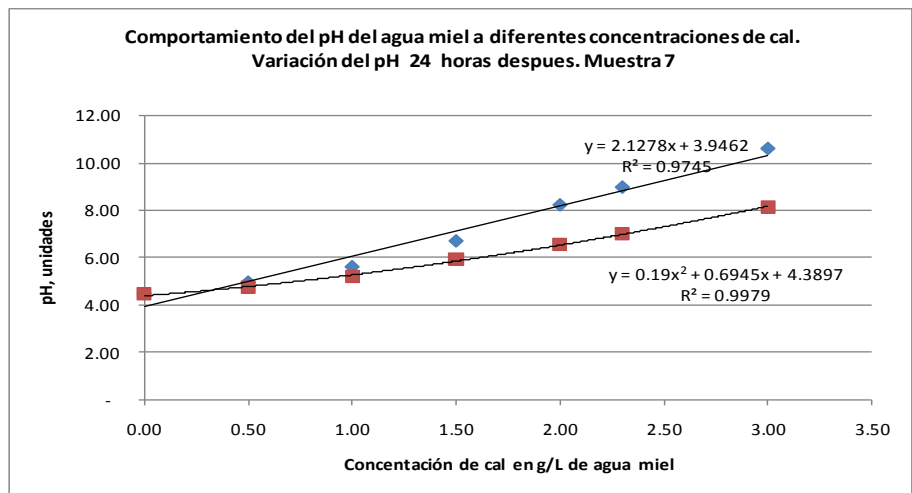
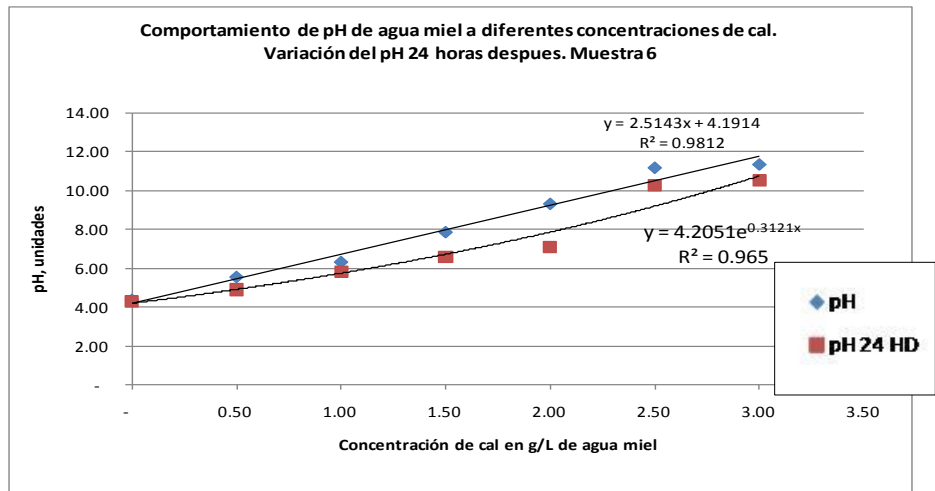
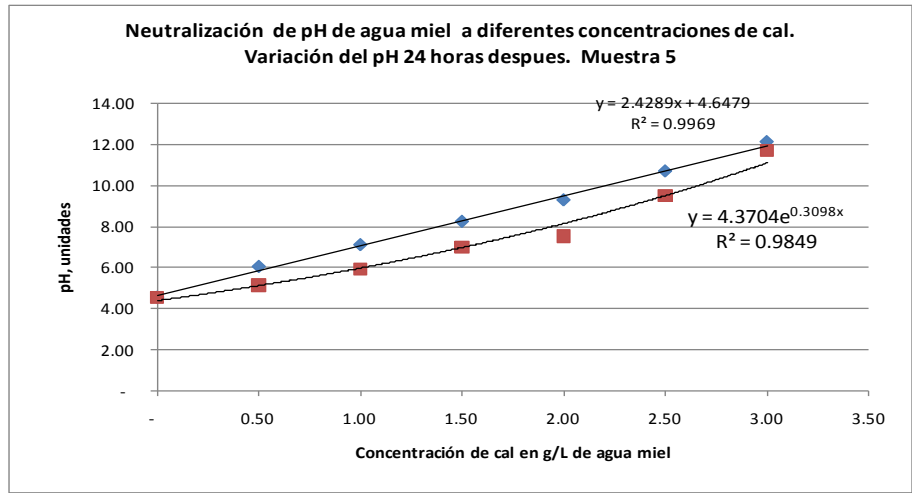
12. ANEXOS

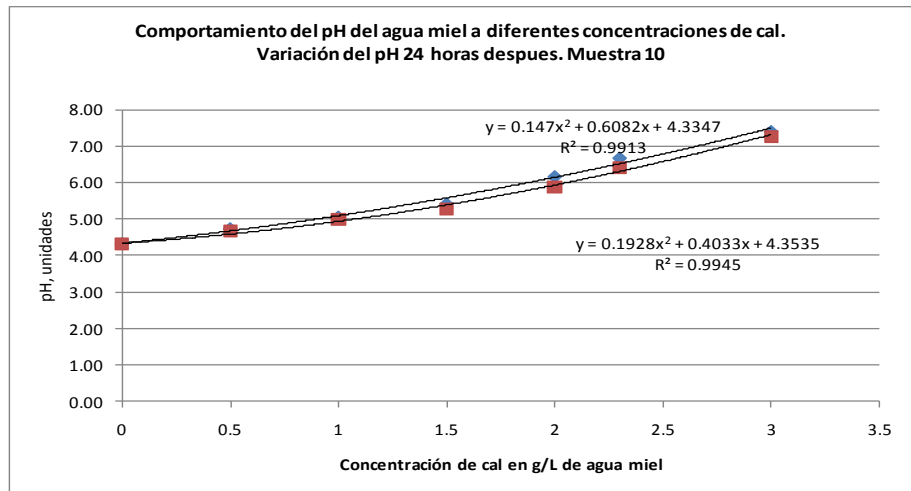
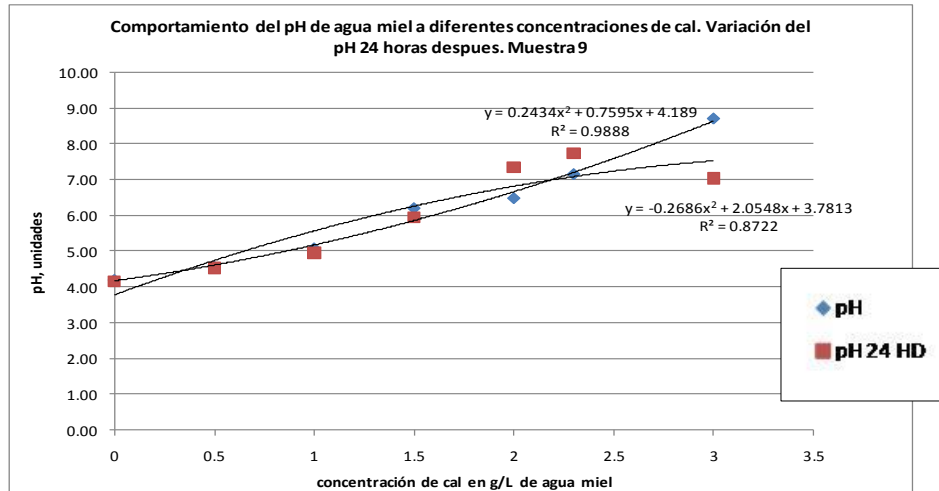
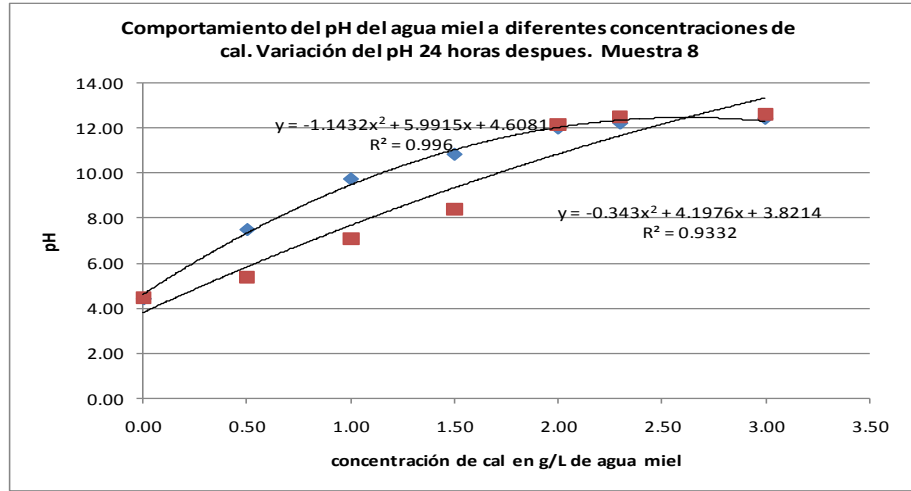
Rectas de mejor ajuste y coeficiente de determinación para los datos de pH utilizando hidróxido de calcio

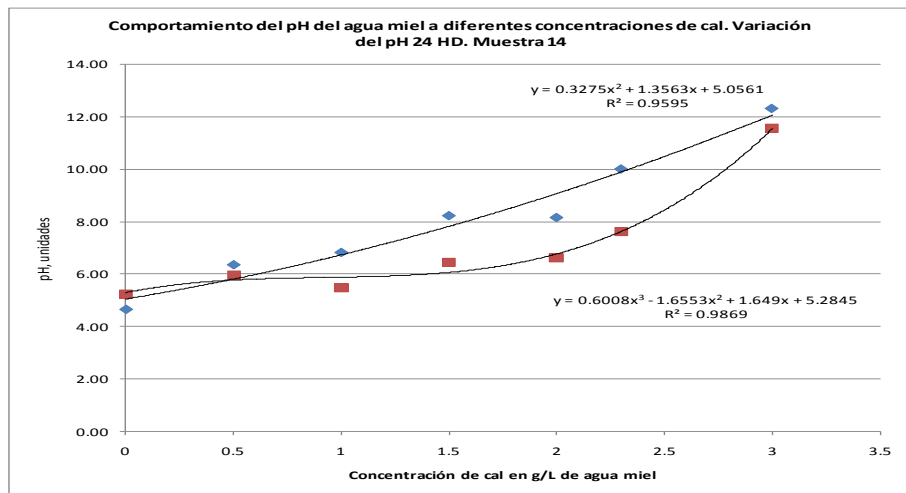
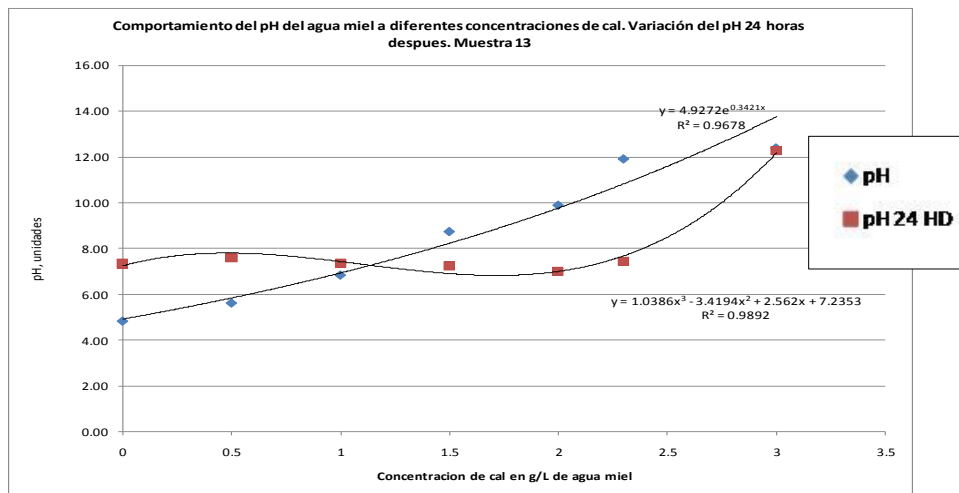
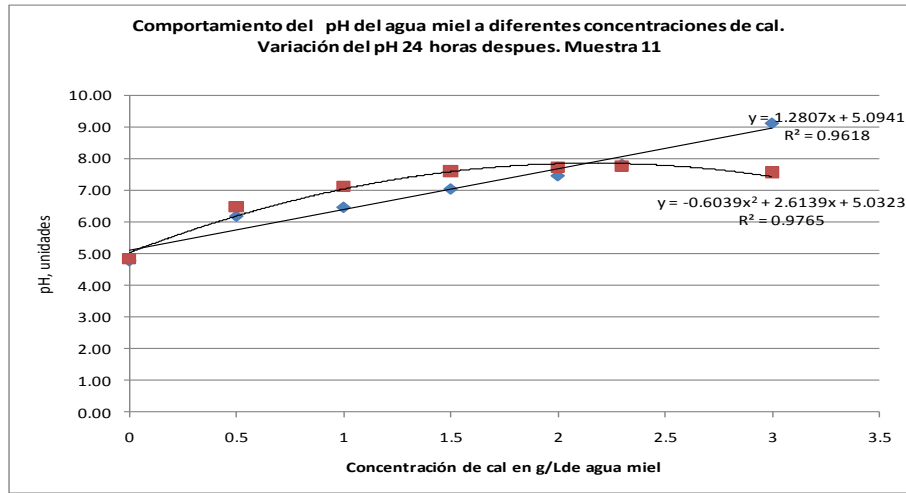
En los gráficos siguientes, se muestra el comportamiento del pH del agua miel al adicionársele diferentes concentraciones de hidróxido de calcio en cada una de las muestras. Se puede observar que la tendencia del pH del es a bajar en el transcurso del tiempo.

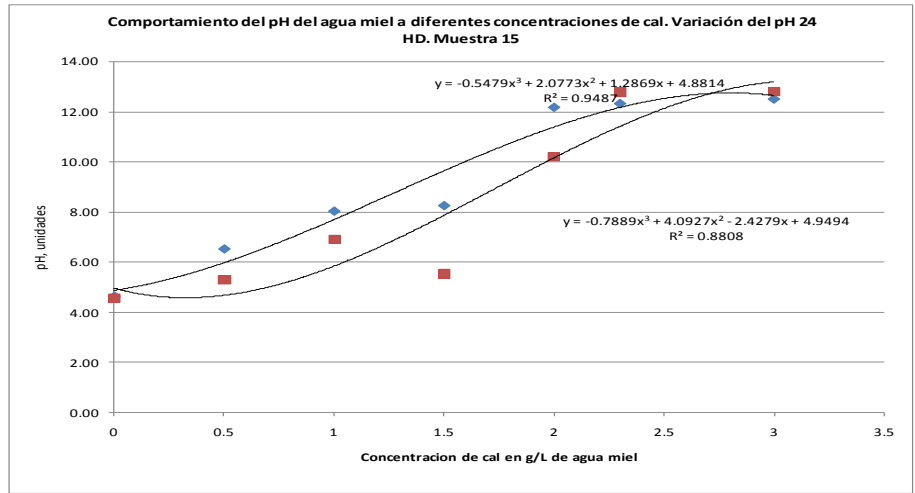
Comportamiento del pH del agua miel a diferentes concentraciones de hidróxido de calcio. Variación del pH 24 horas después











Cálculo de frecuencias para muestras neutralizadas con hidróxido de calcio

En las tablas siguientes, se muestra el cálculo de frecuencias y porcentajes de las muestras que mantienen su pH entre 6,00 y 8,00 unidades; tanto para el momento del ensayo como para 24 horas después.

Cálculo de frecuencia y porcentaje de las muestras tratadas con hidróxido de calcio que mantienen su pH entre 6,00 y 8,00 unidades

AGUA MIEL SIN TRATAR						
RANGO DE PH			FRECUENCIA	%	FRECUENCIA PH	
DE	A				24 HD	%
0	1	1	0	0.00	0	0
1	2	2	0	0.00	0	0
2	3	3	0	0.00	0	0
3	4	4	0	0.00	0	0
4	5	5	12	100.00	10	83.33
5	6	6	0	0.00	1	8.33
6	7	7	0	0.00	0	0.00
7	8	8	0	0.00	1	8.33
8	9	9	0	0.00	0	0.00
9	10	10	0	0.00	0	0.00
10	11	11	0	0.00	0	0.00
11	12	12	0	0.00	0	0.00
12	13	13	0	0.00	0	0.00
13	14	14	0	0.00	0	0.00
TOTAL			12	100	12	100
% DE PH MENOR QUE 6				100.00		91.67
% EN PH DE 6 A 8				0.00		8.33
% DE PH MAYOR QUE 8				0.00		0.00

CONCENTRACION DE 0.5 GRAMOS DE CAL POR LITRO DE AGUA MIEL						
RANGO DE PH			FRECUENCIA	%	FRECUENCIA PH	
DE	A				24 HD	%
0	1	1	0	0.00	0	0.00
1	2	2	0	0.00	0	0.00
2	3	3	0	0.00	0	0.00
3	4	4	0	0.00	0	0.00
4	5	5	3	25.00	5	41.67
5	6	6	3	25.00	5	41.67
6	7	7	5	41.67	1	8.33
7	8	8	1	8.33	1	8.33
8	9	9	0	0.00	0	0.00
9	10	10	0	0.00	0	0.00
10	11	11	0	0.00	0	0.00
11	12	12	0	0.00	0	0.00
12	13	13	0	0.00	0	0.00
13	14	14	0	0.00	0	0.00
TOTAL			12	100	12	100
% DE PH MENOR QUE 6				50.00		83.33
% EN PH DE 6 A 8				50.00		16.67
% EN PH MAYOR QUE 8				0.00		0.00

CONCENTRACION DE 1.00 GRAMOS DE CAL POR LITRO DE AGUA MIEL						
RANGO DE PH		FRECUENCIA	%	FRECUENCIA PH		
DE	A			24 HD	%	
0	1	0	0.00	0	0	
1	2	0	0.00	0	0	
2	3	0	0.00	0	0	
3	4	0	0.00	0	0	
4	5	0	0.00	3	25.00	
5	6	3	25.00	5	41.67	
6	7	4	33.33	1	8.33	
7	8	2	16.67	3	25.00	
8	9	2	16.67	0	0.00	
9	10	1	8.33	0	0.00	
10	11	0	0.00	0	0.00	
11	12	0	0.00	0	0.00	
12	13	0	0.00	0	0.00	
13	14	0	0.00	0	0.00	
TOTAL		12	100	12	100	
% DE PH MENOR QUE 6			25.00		66.67	
% EN PH DE 6 A 8			50.00		33.33	
% DE PH MAYOR QUE 8			25.00		0.00	

CONCENTRACION DE 1.50 GRAMOS DE CAL POR LITRO DE AGUA MIEL						
RANGO DE PH		FRECUENCIA	%	FRECUENCIA PH		
DE	A			24 HD	%	
0	1	0	0.00	0	0	
1	2	0	0.00	0	0	
2	3	0	0.00	0	0	
3	4	0	0.00	0	0	
4	5	0	0.00	1	8.33	
5	6	1	8.33	4	33.33	
6	7	2	16.67	3	25.00	
7	8	2	16.67	3	25.00	
8	9	5	41.67	1	8.33	
9	10	0	0.00	0	0.00	
10	11	2	16.67	0	0.00	
11	12	0	0.00	0	0.00	
12	13	0	0.00	0	0.00	
13	14	0	0.00	0	0.00	
TOTAL		12	100	12	100	
% DE PH MENOR QUE 6			8.33		41.67	
% EN PH DE 6 A 8			33.33		50.00	
% DE PH MAYOR QUE 8			58.33		8.33	

CONCENTRACION DE 2.00 GRAMOS DE CAL POR LITRO DE AGUA MIEL						
RANGO DE PH		FRECUENCIA	%	FRECUENCIA PH		
DE	A			24 HD	%	
0	1	0	0.00	0	0.00	
1	2	0	0.00	0	0.00	
2	3	0	0.00	0	0.00	
3	4	0	0.00	0	0.00	
4	5	0	0.00	1	8.33	
5	6	0	0.00	1	8.33	
6	7	2	16.67	2	16.67	
7	8	1	8.33	5	41.67	
8	9	2	16.67	0	0.00	
9	10	4	33.33	1	8.33	
10	11	0	0.00	1	8.33	
11	12	1	8.33	0	0.00	
12	13	2	16.67	1	8.33	
13	14	0	0.00	0	0.00	
TOTAL		12	100	12	100	
% DE PH MENOR QUE 6			0.00		16.67	
% EN PH DE 6 A 8			25.00		58.33	
% DE PH MAYOR QUE 8			75.00		25.00	

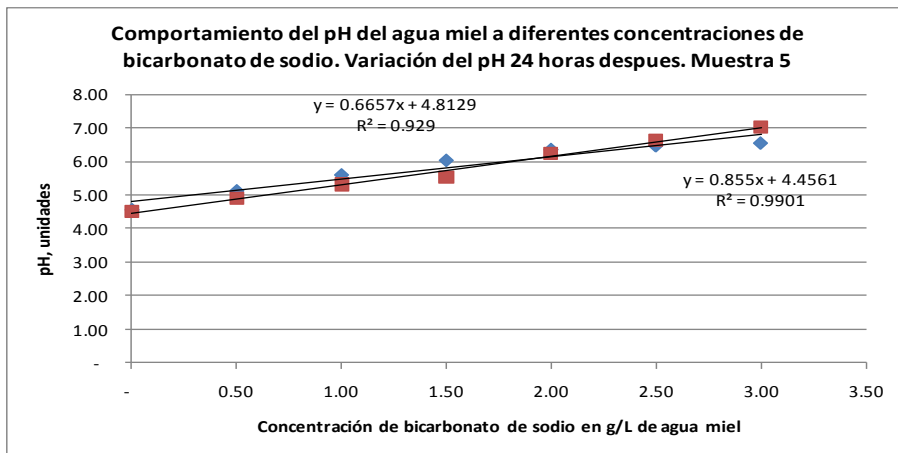
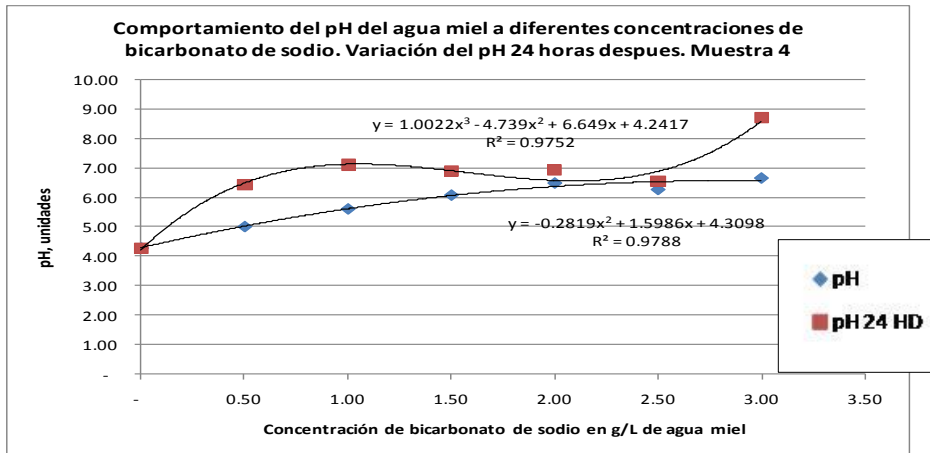
CONCENTRACION DE 2.50 GRAMOS DE CAL POR LITRO DE AGUA MIEL					
RANGO DE PH		FRECUENCIA	%	FRECUENCIA PH	
DE	A			24 HD	%
0	1	0	0.00	0	0
1	2	0	0.00	0	0
2	3	0	0.00	0	0
3	4	0	0.00	0	0
4	5	0	0.00	1	8.33
5	6	0	0.00	0	0.00
6	7	1	8.33	1	8.33
7	8	2	16.67	5	41.67
8	9	1	8.33	0	0.00
9	10	0	0.00	1	8.33
10	11	2	16.67	1	8.33
11	12	2	16.67	0	0.00
12	13	4	33.33	3	25.00
13	14	0	0.00	0	0.00
TOTAL		12	100	12	100
% DE PH MENOR QUE 6			0.00		8.33
% EN PH DE 6 A 8			25.00		50.00
% DE PH MAYOR QUE 8			75.00		41.67

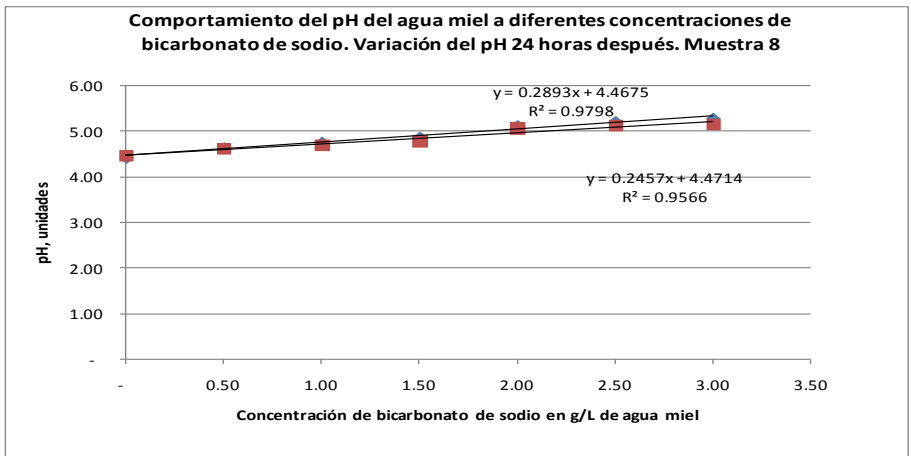
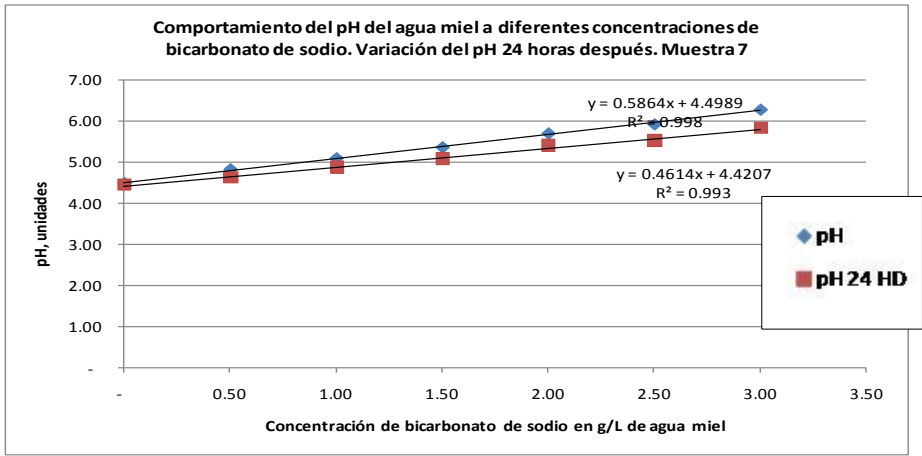
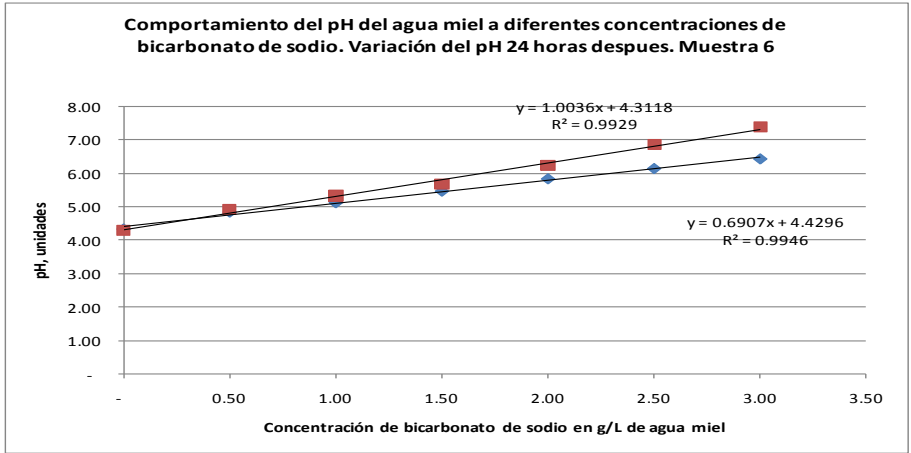
CONCENTRACION DE 3.00 GRAMOS DE CAL POR LITRO DE AGUA MIEL					
RANGO DE PH		FRECUENCIA	%	FRECUENCIA PH	
DE	A			24 HD	%
0	1	0	0.00	0	0.00
1	2	0	0.00	0	0.00
2	3	0	0.00	0	0.00
3	4	0	0.00	0	0.00
4	5	0	0.00	0	0.00
5	6	0	0.00	0	0.00
6	7	0	0.00	1	8.33
7	8	1	8.33	3	25.00
8	9	1	8.33	1	8.33
9	10	1	8.33	0	0.00
10	11	1	8.33	1	8.33
11	12	1	8.33	2	16.67
12	13	7	58.33	4	33.33
13	14	0	0.00	0	0.00
TOTAL		12	100	12	100
% DE PH MENOR QUE 6			0.00		0.00
% EN PH DE 6 A 8			8.33		33.33
% DE PH MAYOR QUE 8			91.67		66.67

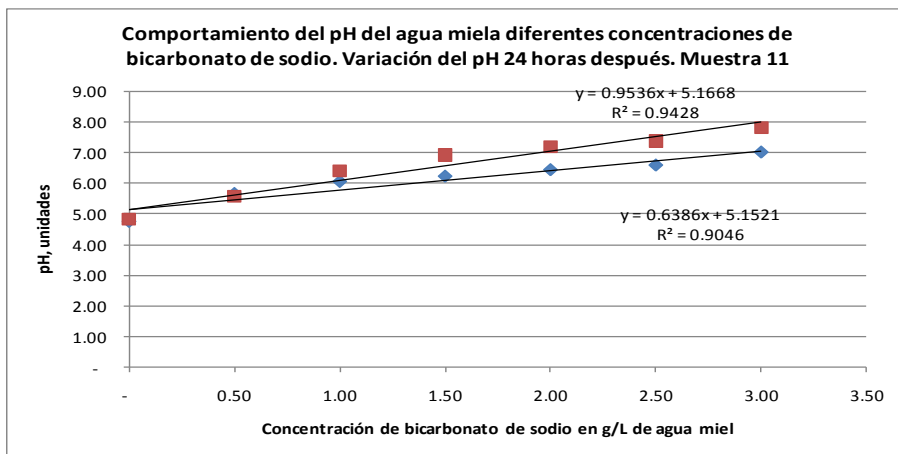
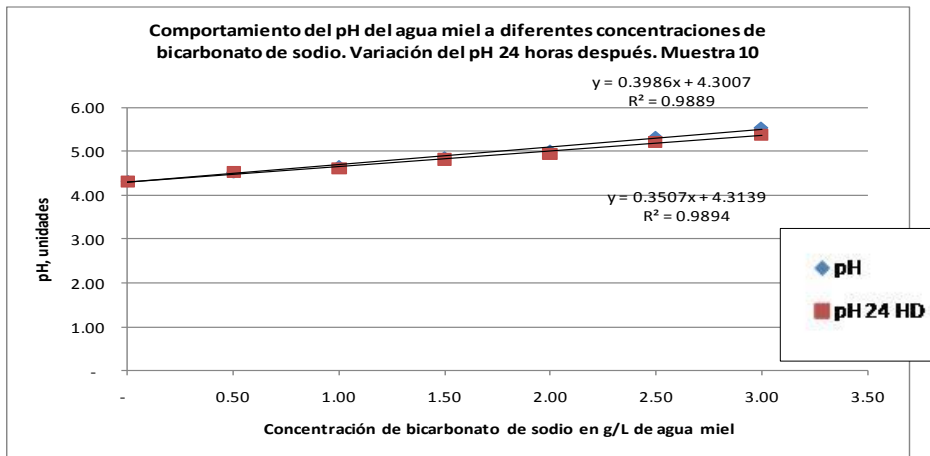
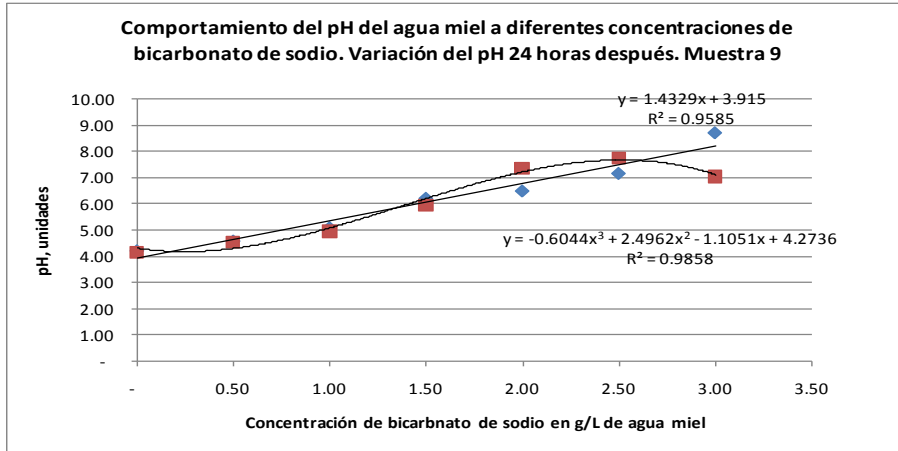
Rectas de mejor ajuste y coeficiente de determinación para los datos de pH utilizando bicarbonato de sodio

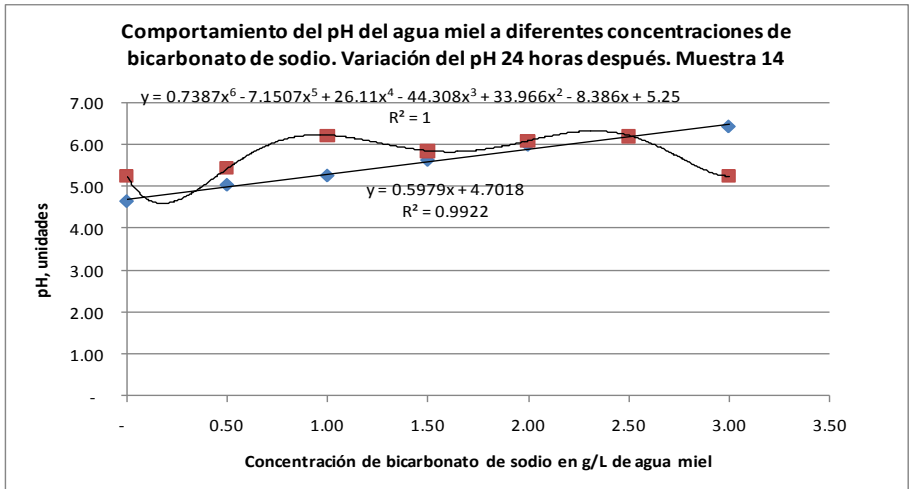
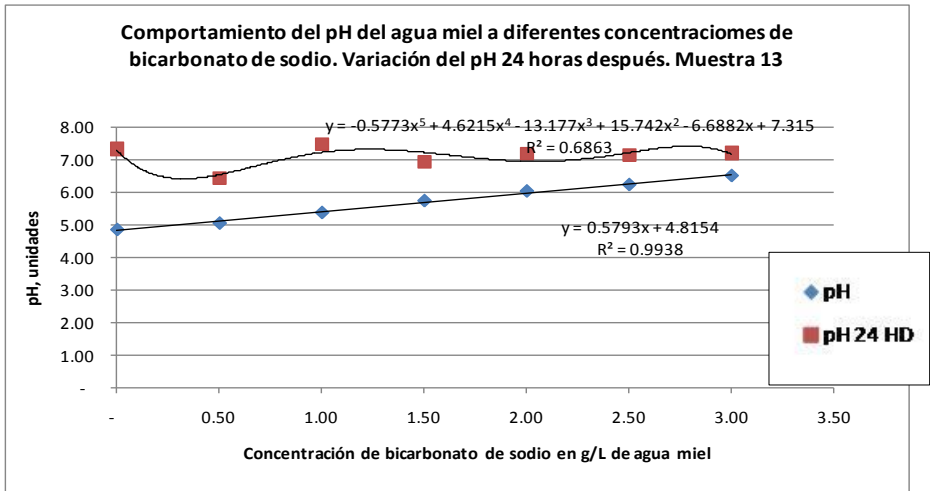
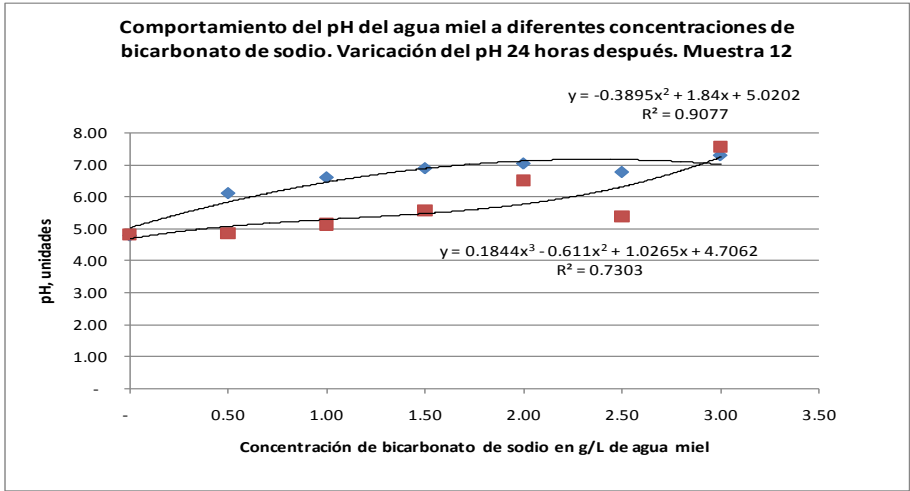
En los siguientes gráficos se muestra el comportamiento del pH del agua miel al adicionar alcalinidad utilizando bicarbonato de sodio. La tendencia de las muestras es la de alcanzar un pH cercano a las 8,00 unidades, subir en el transcurso del tiempo y mantenerse en un intervalo de 6,00 a 8,00.

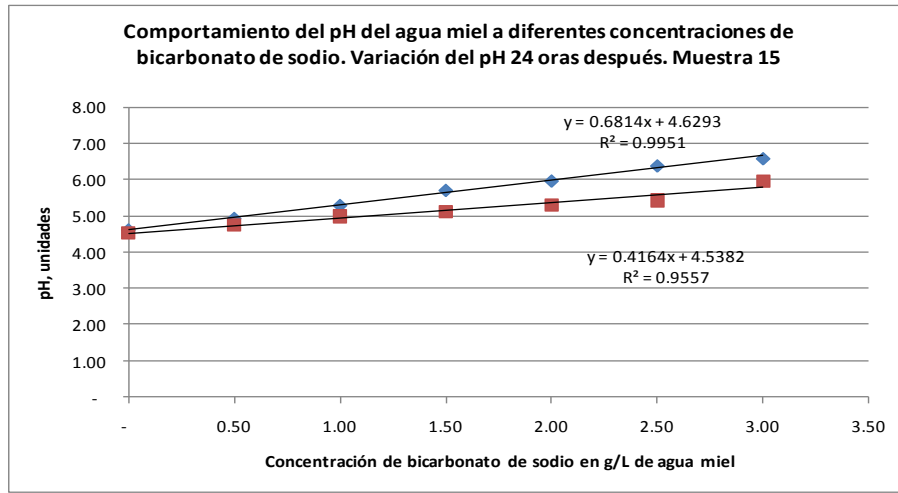
Grafico 1. Comportamiento del pH del agua miel a diferentes concentraciones de bicarbonato de sodio. Variación del pH 24 horas después











Fuente: Ing. Claudia Cerrato Espinal

Cálculo de frecuencia de muestras neutralizadas con bicarbonato de sodio

A continuación se muestra un análisis de frecuencia y porcentajes de las muestras que mantienen su pH entre 6 y 8 unidades; tanto para el momento del ensayo como para 24 horas después. Los datos de frecuencia son tomados para cada una de las muestras con su correspondiente concentración bicarbonato de sodio. Los datos son los que se muestran a continuación:

Análisis de frecuencia. Porcentaje de las muestras que mantienen su pH entre 6 y 8 para las diferentes concentraciones de bicarbonato de sodio en el agua miel

CONCENTRACION DE 0.5 GRAMOS DE BICARBONATO POR LITRO DE AGUA MIEL						
RANGO DE PH		FRECUENCIA	%	FRECUENCIA PH 24 HD		%
DE	A					
0	1	0	0.00	0	0.0	
1	2	0	0.00	0	0.0	
2	3	0	0.00	0	0.0	
3	4	0	0.00	0	0.0	
4	5	6	50.00	8	66.7	
5	6	5	41.67	2	16.7	
6	7	1	8.33	2	16.7	
7	8	0	0.00	0	0.0	
8	9	0	0.00	0	0.0	
9	10	0	0.00	0	0.0	
10	11	0	0.00	0	0.0	
11	12	0	0.00	0	0.0	
12	13	0	0.00	0	0.0	
13	14	0	0.00	0	0.0	
TOTAL		12	100.00	12	100.0	
% EN PH MENOR DE DE 6			91.67		83.33	
% EN PH DE 6 A 8			8.33		16.67	
% DE PH MAYOR QUE 8			0.00		0.00	

CONCENTRACION DE 1.00 GRAMO DE BICARBONATO POR LITRO DE AGUA MIEL						
RANGO DE PH		FRECUENCIA	%	FRECUENCIA PH 24 HD		%
DE	A					
0	1	0	0.00	0	0.0	
1	2	0	0.00	0	0.0	
2	3	0	0.00	0	0.0	
3	4	0	0.00	0	0.0	
4	5	2	16.67	4	33.3	
5	6	8	66.67	4	33.3	
6	7	2	16.67	2	16.7	
7	8	0	0.00	2	16.7	
8	9	0	0.00	0	0.0	
9	10	0	0.00	0	0.0	
10	11	0	0.00	0	0.0	
11	12	0	0.00	0	0.0	
12	13	0	0.00	0	0.0	
13	14	0	0.00	0	0.0	
TOTAL		12	100.00	12	100.0	
% EN PH MENOR DE DE 6			83.33		66.67	
% EN PH DE 6 A 8			16.67		33.33	
% DE PH MAYOR QUE 8			0.00		0.00	

CONCENTRACION DE 1.50 GRAMOS DE BICARBONATO POR LITRO DE AGUA MIEL					
RANGO DE PH		FRECUENCIA	%	FRECUENCIA PH 24 HD	%
DE	A				
0	1	0	0.00	0	0.0
1	2	0	0.00	0	0.0
2	3	0	0.00	0	0.0
3	4	0	0.00	0	0.0
4	5	2	16.67	2	16.7
5	6	5	41.67	7	58.3
6	7	5	41.67	3	25.0
7	8	0	0.00	0	0.0
8	9	0	0.00	0	0.0
9	10	0	0.00	0	0.0
10	11	0	0.00	0	0.0
11	12	0	0.00	0	0.0
12	13	0	0.00	0	0.0
13	14	0	0.00	0	0.0
TOTAL		12	100.00	12	100.0
% EN PH MENOR DE DE 6			58.33		75.00
% EN PH DE 6 A 8			41.67		25.00
% DE PH MAYOR QUE 8			0.00		0.00

CONCENTRACION DE 2.00 GRAMOS DE BICARBONATO POR LITRO DE AGUA MIEL					
RANGO DE PH		FRECUENCIA	%	FRECUENCIA PH 24 HD	%
DE	A				
0	1	0	0.00	0	0.0
1	2	0	0.00	0	0.0
2	3	0	0.00	0	0.0
3	4	0	0.00	0	0.0
4	5	0	0.00	1	8.3
5	6	6	50.00	3	25.0
6	7	5	41.67	5	41.7
7	8	1	8.33	3	25.0
8	9	0	0.00		0.0
9	10	0	0.00		0.0
10	11	0	0.00		0.0
11	12	0	0.00		0.0
12	13	0	0.00		0.0
13	14	0	0.00		0.0
TOTAL		12	100.00	12	100.0
% EN PH MENOR DE DE 6			50.00		33.33
% EN PH DE 6 A 8			50.00		66.67
% DE PH MAYOR QUE 8			0.00		0.00

CONCENTRACION DE 2.50 GRAMOS DE BICARBONATO POR LITRO DE AGUA MIEL					
RANGO DE PH		FRECUENCIA	%	FRECUENCIA PH 24 HD	%
DE	A				
0	1	0	0.00	0	0.0
1	2	0	0.00	0	0.0
2	3	0	0.00	0	0.0
3	4	0	0.00	0	0.0
4	5	0	0.00	0	0.0
5	6	3	25.00	5	41.7
6	7	8	66.67	4	33.3
7	8	1	8.33	3	25.0
8	9	0	0.00	0	0.0
9	10	0	0.00	0	0.0
10	11	0	0.00	0	0.0
11	12	0	0.00	0	0.0
12	13	0	0.00	0	0.0
13	14	0	0.00	0	0.0
TOTAL		12	100.00	12	100.0
% EN PH MENOR DE DE 6			25.00		41.67
% EN PH DE 6 A 8			75.00		58.33
% DE PH MAYOR QUE 8			0.00		0.00

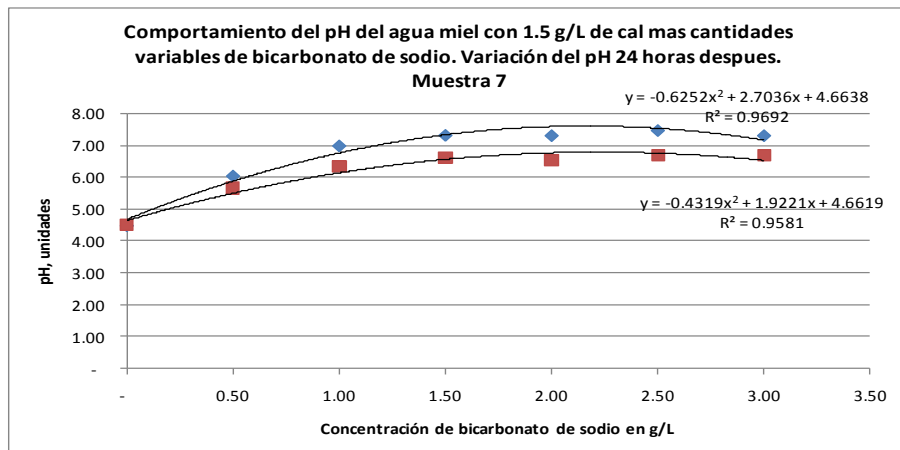
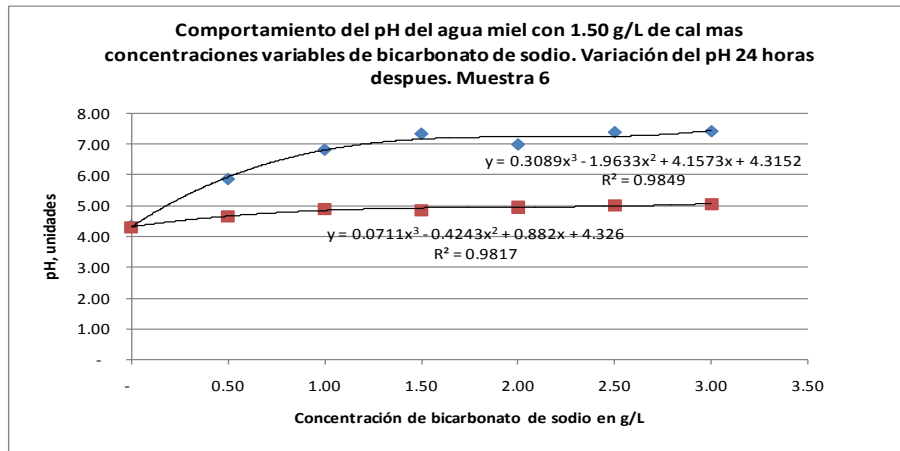
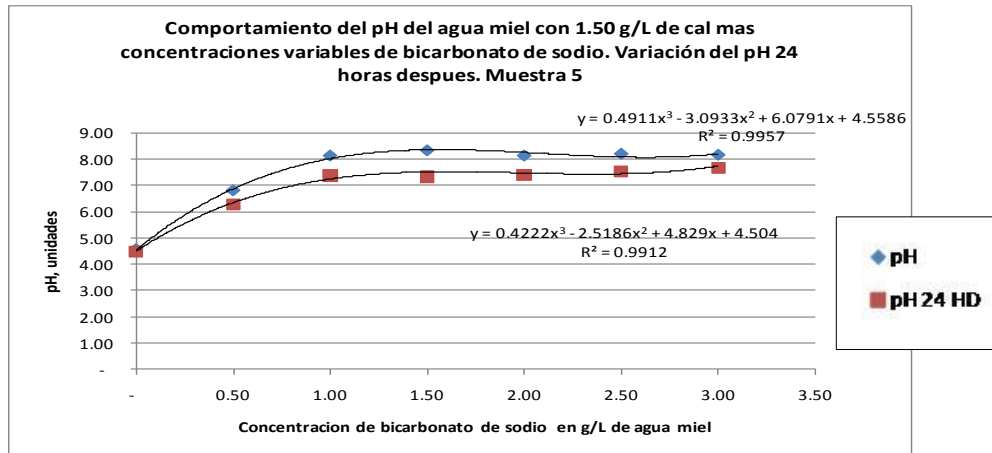
CONCENTRACION DE 3.00 GRAMOS DE BICARBONATO POR LITRO DE AGUA MIEL					
RANGO DE PH		FRECUENCIA	%	FRECUENCIA PH 24 HD	%
DE	A				
0	1	0	0.00	0	0.0
1	2	0	0.00	0	0.0
2	3	0	0.00	0	0.0
3	4	0	0.00	0	0.0
4	5	0	0.00	0	0.0
5	6	2	16.67	5	41.7
6	7	7	58.33	0	0.0
7	8	2	16.67	6	50.0
8	9	1	8.33	1	8.3
9	10	0	0.00	0	0.0
10	11	0	0.00	0	0.0
11	12	0	0.00	0	0.0
12	13	0	0.00	0	0.0
13	14	0	0.00	0	0.0
TOTAL		12	100.00	12	100.0
% EN PH MENOR DE DE 6			16.67		41.67
% EN PH DE 6 A 8			75.00		50.00
% DE PH MAYOR QUE 8			8.33		8.33

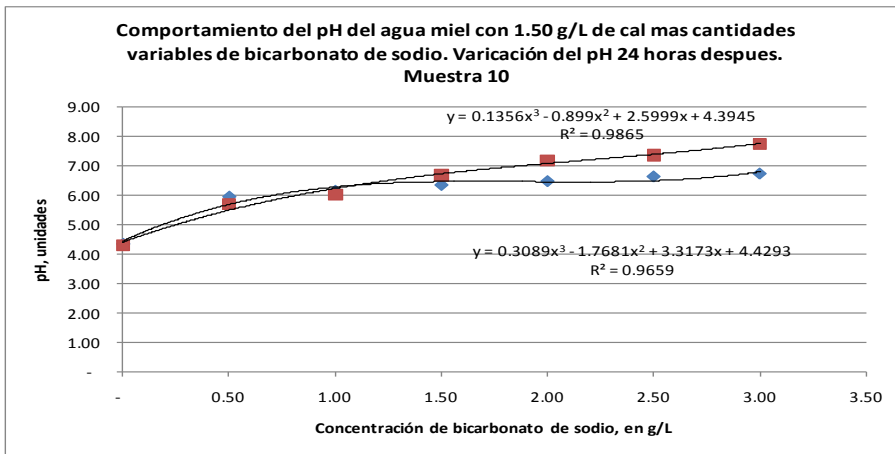
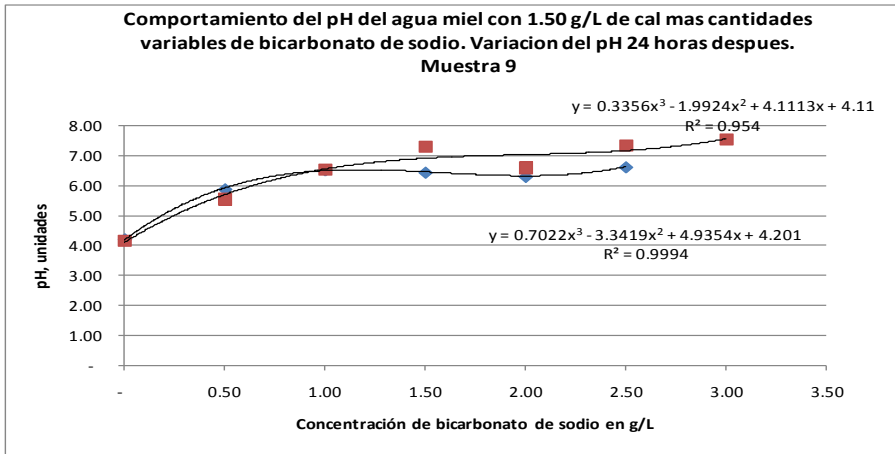
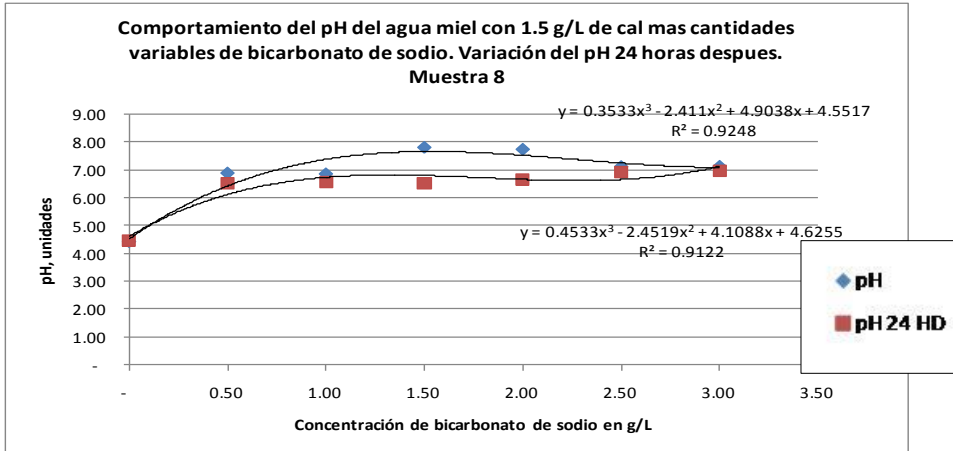
Fuente: Ing. Claudia Cerrato Espinal

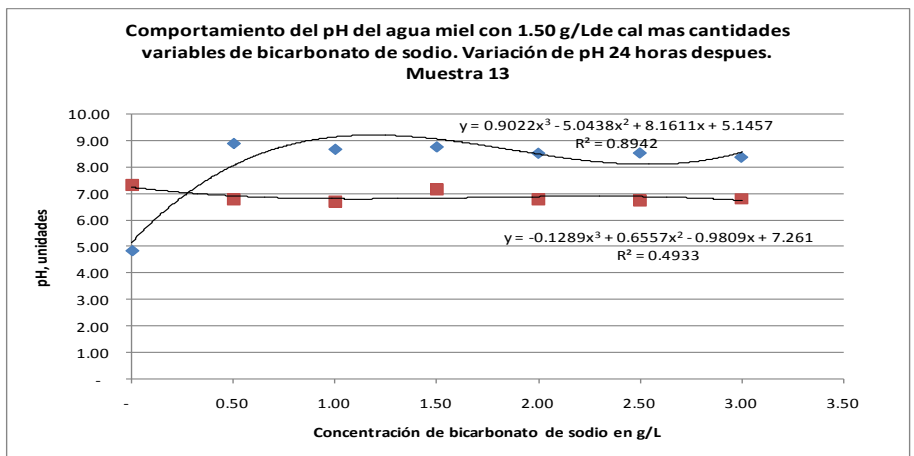
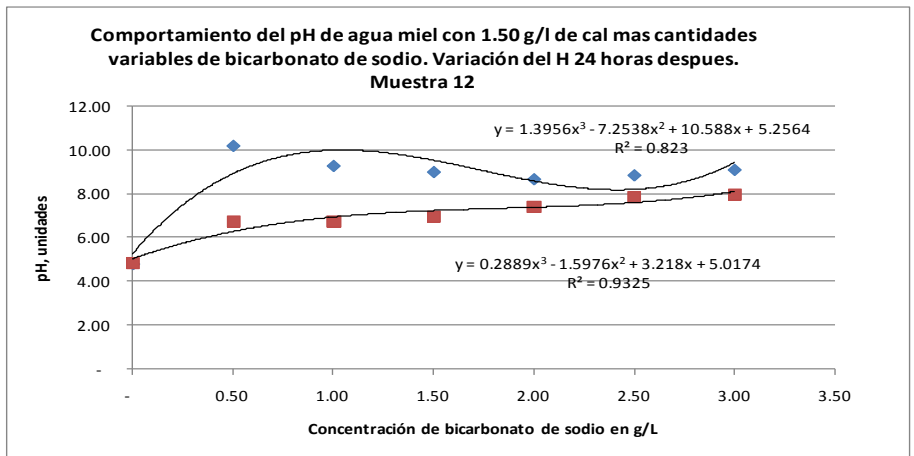
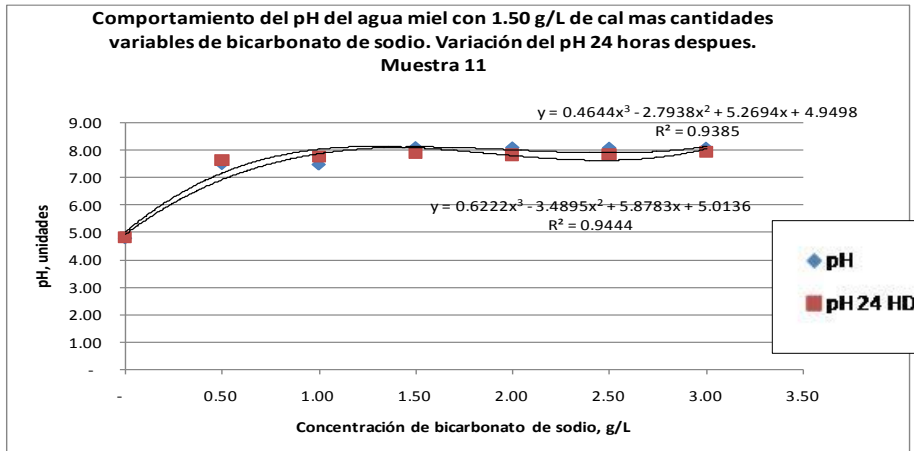
Rectas de mejor ajuste y coeficiente de determinación para los datos de pH utilizando hidróxido de calcio y bicarbonato de sodio

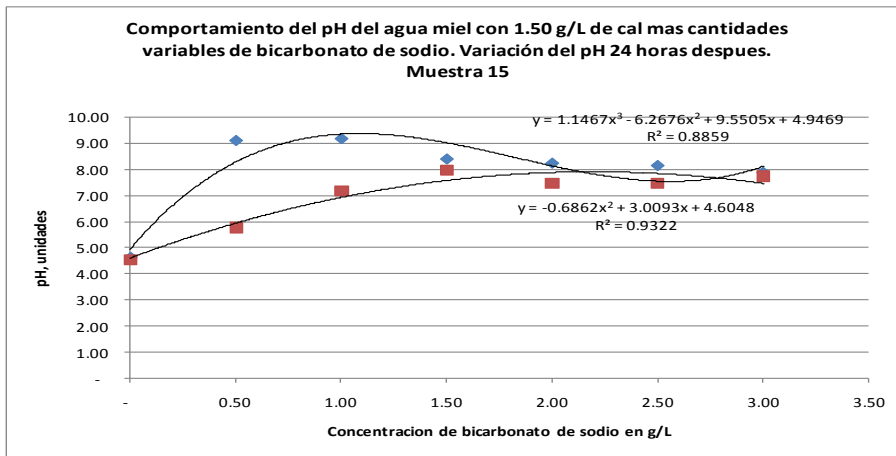
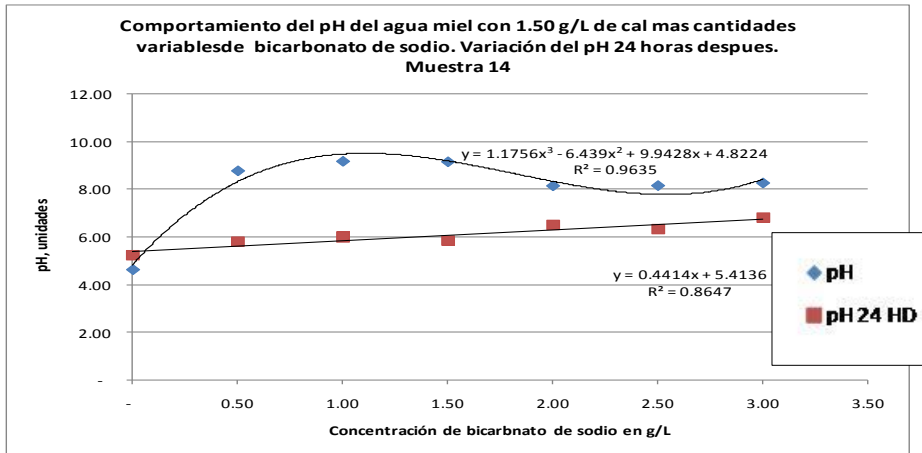
En los siguientes gráficos se muestra el comportamiento del pH del agua miel al adicionar alcalinidad utilizando 1,50 g/L de hidróxido de calcio y bicarbonato de sodio en concentraciones diferentes, la tendencia es la de alcanzar un pH entre las 6,00 y 8,00 unidades y a bajar en el transcurso del tiempo.

Grafico 2. Comportamiento del pH del agua miel utilizando 1,50 g/L de hidróxido de calcio y diferentes concentraciones de bicarbonato de sodio. Variación del pH 24 horas después









Fuente: Ing. Claudia Cerrato Espinal

Cálculo de frecuencia para muestras neutralizadas con hidróxido de calcio mas bicarbonato de sodio

A continuación se muestra un análisis de frecuencia y porcentajes de las muestras que mantienen su pH entre 6 y 8 unidades al adicionar alcalinidad con hidróxido de calcio mas bicarbonato de sodio. Los datos son los que se muestran a continuación:

Análisis de frecuencia. Porcentaje de las muestras que mantienen su pH entre 6 y 8 para las diferentes concentraciones. 1,50 g/L de cal mas cantidades variables de bicarbonato de sodio

CON CENTRACION DE 1.5 GRAMOS DE CAL MAS 0.50 GRAMOS DE BICARBONATO DE SODIO POR LITRO DE AGUA MIEL						
RANGO DE PH		FRECUENCIA PH	%	FRECUENCIA PH 24 HD		
DE	A				%	
0	1	0.0	0.0	0.0	0.0	
1	2	0.0	0.0	0.0	0.0	
2	3	0.0	0.0	0.0	0.0	
3	4	0.0	0.0	0.0	0.0	
4	5	0.0	0.0	1.0	9.1	
5	6	3.0	27.3	5.0	45.5	
6	7	3.0	27.3	4.0	36.4	
7	8	1.0	9.1	1.0	9.1	
8	9	2.0	18.2	0.0	0.0	
9	10	1.0	9.1	0.0	0.0	
10	11	1.0	9.1	0.0	0.0	
11	12	0.0	0.0	0.0	0.0	
12	13	0.0	0.0	0.0	0.0	
13	14	0.0	0.0	0.0	0.0	
TOTAL		11.0	100.0	11.0	100.0	
% EN PH MENOR DE DE 6			27.3		54.5	
% EN PH DE 6 A 8			36.4		45.5	
% DE PH MAYOR QUE 8			36.4		0.0	

CONCENTRACION DE 1.5 GRAMOS DE CAL MAS 1.00 GRAMOS DE BICARBONATO DE SODIO POR LITRO DE AGUA MIEL						
RANGO DE PH		FRECUENCIA PH	%	FRECUENCIA PH 24 HD		
DE	A				%	
0	1	0	0.00	0	0.0	
1	2	0.00	0.00	0.00	0.00	
2	3	0.00	0.00	0.00	0.00	
3	4	0.00	0.00	0.00	0.00	
4	5	0.00	0.00	1.00	9.09	
5	6	0.00	0.00	0.00	0.00	
6	7	5.00	45.45	7.00	63.64	
7	8	1.00	9.09	3.00	27.27	
8	9	2.00	18.18	0.00	0.00	
9	10	3.00	27.27	0.00	0.00	
10	11	0.00	0.00	0.00	0.00	
11	12	0.00	0.00	0.00	0.00	
12	13	0.00	0.00	0.00	0.00	
13	14	0.00	0.00	0.00	0.00	
TOTAL		11	100.00	11	100.0	
% EN PH MENOR DE DE 6			0.00		9.09	
% EN PH DE 6 A 8			54.55		90.91	
% DE PH MAYOR QUE 8			45.45		0.00	

CONCENTRACION DE 1.5 GRAMOS DE CAL MAS 1.50 GRAMOS DE BICARBONATO DE SODIO POR LITRO DE AGUA MIEL						
RANGO DE PH		FRECUENCIA PH	%	FRECUENCIA PH 24 HD		
DE	A				%	
0	1	0	0.00	0	0.0	
1	2	0	0.00	0	0.0	
2	3	0	0.00	0	0.0	
3	4	0	0.00	0	0.0	
4	5	0	0.00	1	9.1	
5	6	0	0.00	1	9.1	
6	7	2	18.18	4	36.4	
7	8	3	27.27	5	45.5	
8	9	4	36.36	0	0.0	
9	10	2	18.18	0	0.0	
10	11	0	0.00	0	0.0	
11	12	0	0.00	0	0.0	
12	13	0	0.00	0	0.0	
13	14	0	0.00	0	0.0	
TOTAL		11	100.00	11	100.0	
% EN PH MENOR DE DE 6			0.00		18.18	
% EN PH DE 6 A 8			45.45		81.82	
% DE PH MAYOR QUE 8			54.55		0.00	

CONCENTRACION DE 1.5 GRAMOS DE CAL MAS 2.00 GRAMOS DE BICARBONATO DE SODIO POR LITRO DE AGUA MIEL						
RANGO DE PH		FRECUENCIA PH	%	FRECUENCIA PH 24 HD		
DE	A				%	
0	1	0	0.00	0	0.0	
1	2	0	0.00	0	0.0	
2	3	0	0.00	0	0.0	
3	4	0	0.00	0	0.0	
4	5	0	0.00	1	9.1	
5	6	0	0.00	0	0.0	
6	7	2	18.18	5	45.5	
7	8	3	27.27	5	45.5	
8	9	6	54.55	0	0.0	
9	10	0	0.00	0	0.0	
10	11	0	0.00	0	0.0	
11	12	0	0.00	0	0.0	
12	13	0	0.00	0	0.0	
13	14	0	0.00	0	0.0	
TOTAL		11	100.00	11	100.0	
% EN PH MENOR DE DE 6			0.00		9.09	
% EN PH DE 6 A 8			45.45		90.91	
% DE PH MAYOR QUE 8			54.55		0.00	

CONCENTRACION DE 1.5 GRAMOS DE CAL MAS 2.50 GRAMOS DE BICARBONATO DE SODIO POR LITRO DE AGUA MIEL						
RANGO DE PH		FRECUENCIA PH	%	FRECUENCIA PH 24 HD		
DE	A				%	
0	1	0	0.00	0	0.0	
1	2	0	0.00	0	0.0	
2	3	0	0.00	0	0.0	
3	4	0	0.00	0	0.0	
4	5	0	0.00	0	0.0	
5	6	0	0.00	1	9.1	
6	7	2	18.18	4	36.4	
7	8	3	27.27	6	54.5	
8	9	6	54.55	0	0.0	
9	10	0	0.00	0	0.0	
10	11	0	0.00	0	0.0	
11	12	0	0.00	0	0.0	
12	13	0	0.00	0	0.0	
13	14	0	0.00	0	0.0	
TOTAL		11	100.00	11	100.0	
% EN PH MENOR DE DE 6			0.00		9.09	
% EN PH DE 6 A 8			45.45		90.91	
% DE PH MAYOR QUE 8			54.55		0.00	

CONCENTRACION DE 1.5 GRAMOS DE CAL MAS 3.00 GRAMOS DE BICARBONATO DE SODIO POR LITRO DE AGUA MIEL						
RANGO DE PH		FRECUENCIA PH	%	FRECUENCIA PH 24 HD		
DE	A				%	
0	1	0	0.00	0	0.0	
1	2	0	0.00	0	0.0	
2	3	0	0.00	0	0.0	
3	4	0	0.00	0	0.0	
4	5	0	0.00	0	0.0	
5	6	0	0.00	1	9.1	
6	7	2	18.18	4	36.4	
7	8	4	36.36	6	54.5	
8	9	4	36.36	0	0.0	
9	10	1	9.09	0	0.0	
10	11	0	0.00	0	0.0	
11	12	0	0.00	0	0.0	
12	13	0	0.00	0	0.0	
13	14	0	0.00	0	0.0	
TOTAL		11	100.00	11	100.0	
% EN PH MENOR DE DE 6			0.00		9.09	
% EN PH DE 6 A 8			54.55		90.91	
% DE PH MAYOR QUE 8			45.45		0.00	

Fuente: Ing. Claudia Cerrato Espinal