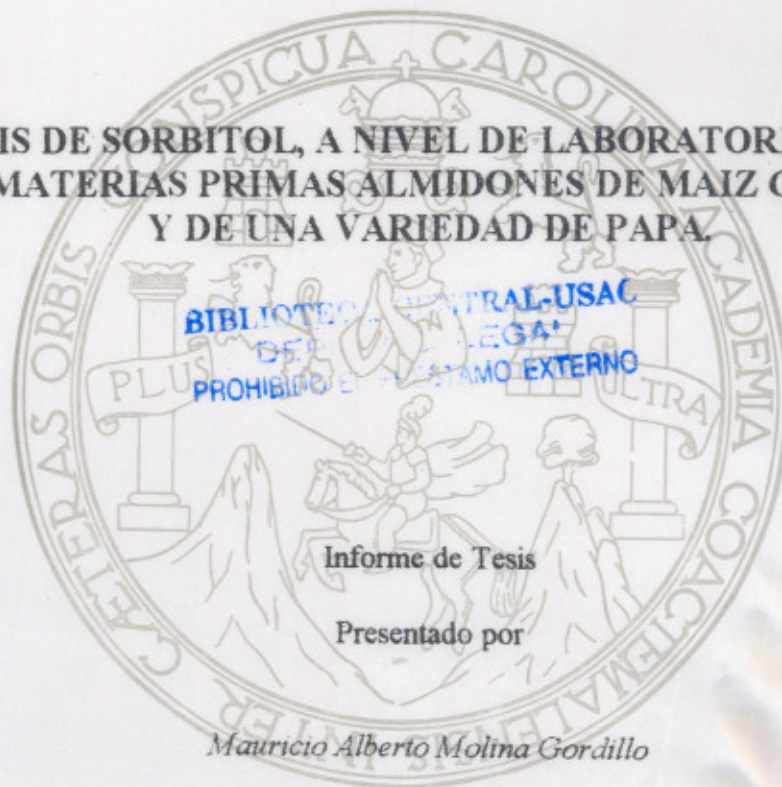


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS Y FARMACIA

**SINTESIS DE SORBITOL, A NIVEL DE LABORATORIO, USANDO
COMO MATERIAS PRIMAS ALMIDONES DE MAIZ COMERCIAL
Y DE UNA VARIEDAD DE PAPA.**



Informe de Tesis

Presentado por

Mauricio Alberto Molina Gordillo

Para optar al título de

QUIMICO

Guatemala Noviembre de 1994.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

DL
06
†(1201)

**JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE
CIENCIAS QUIMICAS Y FARMACIA**

DECANO:	LIC. JORGE RODOLFO PEREZ FOLGAR
SECRETARIA:	LICDA. ELEONORA GAITAN IZAGUIRRE
VOCAL I:	LIC. MIGUEL ANGEL HERRERA GALVEZ
VOCAL II:	LIC. GERARDO LEONEL ARROYO CATALAN
VOCAL III:	LIC. MIGUEL ORLANDO GARZA SAGASTUME
VOCAL IV:	BR. JORGE LUIS GALINDO AREVALO
VOCAL V:	BR. EDGAR ANTONIO GARCIA DEL POZO

TESIS QUE DEDICO:

A: MIS PADRES:

Pedro Antonio Molina.

María Concepción Gordillo de Molina.

A: MI ESPOSA:

María Isabel Herrera de Molina.

AGRADECIMIENTO

A todas las personas que en una u otra forma colaboraron en la realizacion de este trabajo, en especial al Lic. Carlos Humberto Ksee Mendoza, Asesor de esta Tesis, y a la Licda. Diana Elizabeth Pinagel Cifuentes sin cuyo constante estímulo no se hubiese presentado este informe.

INDICE

	TEMA	Página
I.	Resumen:.....	3
II.	Introducción:.....	4
III.	Antecedentes:.....	6
IV.	Justificaciones:.....	9
V.	Objetivos:	10
VI.	Hipótesis:.....	11
VII.	Materiales y Métodos:	12
VIII.	Resultados:	18
IX.	Discusión:.....	19
X.	Conclusiones:.....	24
XI.	Recomendaciones:.....	25
XII.	Referencias:	26
XIII.	ANEXOS	28
	ANEXO No. I	29
	ANEXO No. II	30
	ANEXO No. III	31
	ANEXO No. IV	32
	ANEXO No. V	33

I. Resumen:

El objetivo de este trabajo es mostrar que es posible obtener un compuesto de amplia utilización en las industrias alimenticia, farmacéutica, de polímeros, refrigeración automotriz, etc. como lo es el sorbitol utilizando como punto de partida uno de los dos vegetales siguientes: el maíz (*Zea mays*) o la papa (*Solanum tuberosum L.*), dependiendo la elección del vegetal, de los intereses o la comodidad del fabricante. El proceso de elaboración del sorbitol se lleva a cabo a través de procesos químicos sencillos y permite obtener en forma barata un compuesto que de otra forma deberá ser importado a precios a veces prohibitivos.

Básicamente el proceso químico consistió de dos pasos:

- a) Conversión del almidón a glucosa
- b) Síntesis del sorbitol a partir de la glucosa.

Se realizó un diseño experimental factorial completamente al azar de 4 factores con dos niveles cada uno que hizo variar el tipo de almidón utilizado, la presión, la concentración inicial de glucosa y el tiempo de reacción obteniéndose los mejores resultados a la mayor presión, mayor concentración y mayor tiempo de reacción al utilizar el almidón obtenido de la papa.

II. Introducción:

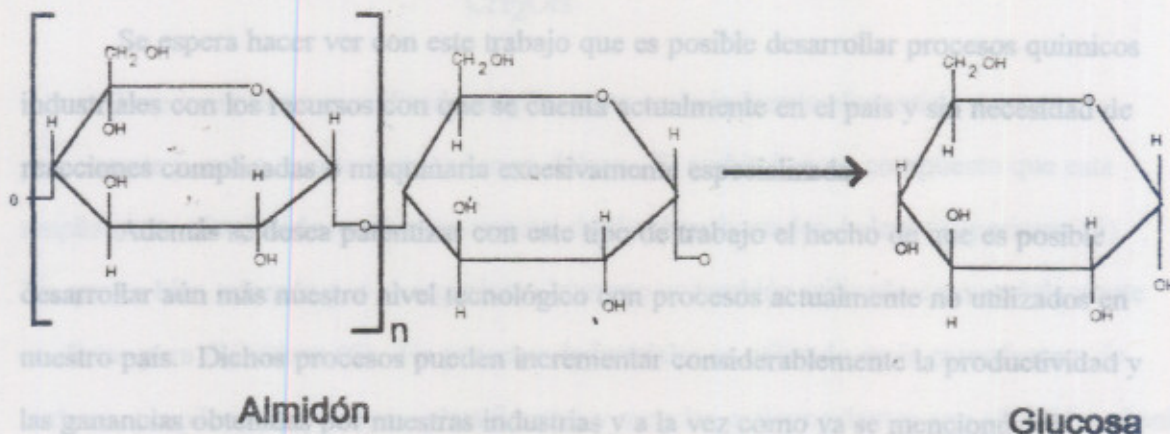
b) Conversión de la glucosa en sorbitol:

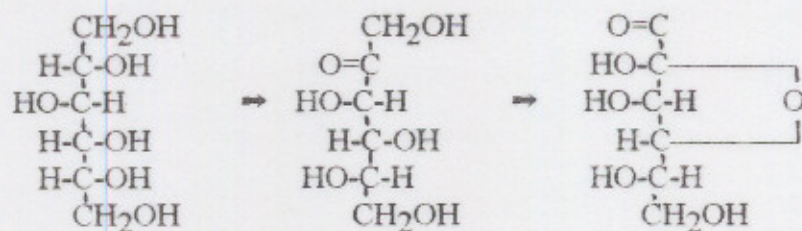
La utilización de las materias primas con que cuenta una región para la fabricación de productos más complejos permite el desarrollo de una tecnología industrial saludable y autosuficiente. Sin embargo, ésto no es posible sin una cooperación más estrecha entre la industria y la academia.

Como se dijo en el resumen el objetivo básico de este trabajo es mostrar que es posible obtener un compuesto vital para ciertas industrial de una forma fácil y utilizando materia prima local y que es producida abundantemente en nuestro medio.

La síntesis orgánica realizada puede esquematizarse de la manera siguiente:

a) Conversión del almidón a glucosa:





d-sorbitol

l-sorbosa

l-ácido ascórbico.

El sorbitol ha sido obtenido sintéticamente de d-glucosa por reducción con amalgama de sodio (11, 12). Ha sido obtenido también por reducción electrolítica de glucosa, por la reducción Cannizzaro de la glucosa en la presencia de un catalítico de hidrogenación y por la hidrogenación a presión de las lactonas glucónicas.

Es posible también obtener este compuesto a través de la acción de bacterias de las cuales la más importante es la *Acetobacter suboxydans* encontrada originalmente en la cerveza (11).

De los varios procesos, la hidrogenación a presión y la reducción electrolítica son las operaciones industrialmente preferidas. Como un resultado de esos dos procesos y del advenimiento de la glucosa cristalina barata de alta pureza, el sorbitol no es ya más una curiosidad química sino un artículo barato bien establecido en el comercio generalmente vendido en solución acuosa al 70 % como lo establece la USP (13).

La glucosa es un azúcar que puede ser obtenido por hidrólisis del almidón seguida de cristalización a partir de una solución acuosa (14).

Algunos estudios realizados en el método de obtener sorbitol a nivel industrial únicamente varían la materia prima o las condiciones en que el experimento es realizado (15). Es interesante señalar el trabajo de Mieczylaw y Topowa que prepararon el sorbitol a través de una catálisis en un campo ultrasónico (16) aunque esta síntesis tiene poca aplicación industrial.

Teniendo en cuenta esta información en este trabajo se propone como materia prima del proceso, el almidón. Además, con fines de comparación, se propone utilizar el almidón comercial de maíz producido en Guatemala cuyo nombre comercial registrado es "Maizena Niágara Maizeflora", Reg. D.G.S.S. No. A - 970 y el almidón extraído en el laboratorio de la variedad de papa LOMAN.

El uso del almidón obtenido de estos dos vegetales pretende mostrar que la materia prima para la obtención del sorbitol es inagotable pues el almidón puede extraerse prácticamente de cualquier vegetal lo cual le da un mayor interés a la industrialización de éste compuesto.

Se escogió el maíz y la papa por ser relativamente abundantes en nuestro medio y además ser cultivos tradicionales en nuestra cultura.

Como una muestra de las cantidades disponibles de maíz en el mercado guatemalteco en el Anexo No. III se presenta la producción y exportación de este producto en los años 1981 a 1986 según los datos aportados por el Banco de Guatemala (17). Respecto a la papa no nos es posible presentar ninguna información análoga por no estar disponible hasta el momento.

IV. Justificaciones:

- A. En Guatemala hay actualmente muchas industrias que desconocen la forma de utilizar las materias primas disponibles en el país para la fabricación de productos químicos más complejos.
- B. El sorbitol es un compuesto importante debido a la amplia variedad de usos que pueden dársele como edulcorante y como vehículo en productos farmacéuticos. El establecimiento de un proceso químico de síntesis utilizando materias primas baratas adquiridas localmente puede tener un gran impacto económico.
- En el Anexo No. 1 podemos observar a cuanto ascienden los gastos de importación de azúcares no provenientes de la glucosa, en 1988 (18).
- Sin embargo, debido a la devaluación sufrida por el quetzal con respecto al dólar estadounidense, a la escasez de divisas y al consecuente encarecimiento de los productos venidos del extranjero existe actualmente una mayor necesidad de fabricar productos industriales en el país con el fin de llenar las necesidades de la industria y el mercado local.
- Esta dependencia se pone dramáticamente de manifiesto cuando observamos lo que el país gastó en importación de alimentos y de productos químicos en el año de 1987 (19) según el Banco de Guatemala (Anexo No. II).
- Este trabajo persigue mostrar que es posible sintetizar productos químicos en Guatemala utilizando materias propias del país. Para esto se escogió el sorbitol como el compuesto a sintetizar.
- C. El sorbitol puede servir como base para el desarrollo de otras industrias tan importante como son las dedicadas a la fabricación y/o utilización de la d-sorbosa y el ácido ascórbico.

V. Objetivos:

Objetivo General:

- A. Efectuar la síntesis química del sorbitol a nivel de laboratorio utilizando la hidrólisis del almidón y la hidrogenación de la glucosa.

Objetivos Específicos:

- B. Obtener el compuesto en el grado de calidad requerida por la Industria Farmacéutica (70 % en solución acuosa) a partir del almidón comercial de maíz "Maizena Niágara Maizeflora".
- C. Obtener el compuesto en el grado de calidad requerida por la Industria Farmacéutica (70 % en solución acuosa) a partir del almidón extraído de papas de la variedad LOMAN.
- D. Comparar cuantitativamente los dos procesos realizados.

VI. Hipótesis:

- A. Es factible obtener sorbitol de una calidad estándar farmacéutica por síntesis utilizando almidón de maiz o almidón de papa como materia prima del proceso.
- B. El sorbitol obtenido por cualquiera de las dos materias primas es de igual calidad y únicamente varía en la cantidad del producto obtenido.

VII. Materiales y Métodos:

A. Universo de Trabajo:

1. Almidón comercial de maíz "Maizena Niágara Maizeflora".
2. Papas frescas de la variedad LOMAN.

B. Recursos:

1 HUMANOS:

- Br. Mauricio Alberto Molina Gordillo.
- Lic. Carlos Klee, Asesor.
- Personal docente y administrativo de la Escuela de Química.

2 FISICOS:

- Instalación del laboratorio del Departamento de Fisicoquímica de la Facultad de C.C.Q.Q. y Farmacia de la USAC.
- Instalación del laboratorio No. 4 del Departamento de Química Orgánica de la Facultad de C.C.Q.Q. y Farmacia de la USAC.
- Instalación y material de la Biblioteca de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la USAC.
- Instalación y material de la Biblioteca de la Universidad del Valle de Guatemala.
- Instalación y material de la Biblioteca del INCAP.

3 MATERIALES:

a) REACTIVOS:

- Ácido Clorhídrico concentrado, HCl, p.a.
- Sulfato de cobre CuSO_4 , p.a.
- Tartrato de Sodio y Potasio, p.a.
- Glucosa, p.a.
- Hidróxido de Sodio, NaOH, p.a.

- Azul de Metileno, indicador.
- Hidrógeno
- Niquel Raney
- Alcohol etílico. C_2H_5OH , p.a.

b) EQUIPO Y CRISTALERIA:

- * Espectrofotómetro IR Perkin Elmer Modelo 283. utilizado para analizar la pureza de los compuestos orgánicos obtenidos (glucosa y sorbitol)
- * Hidrogenador Parr Modelo 3911 en el que se lleva a cabo la síntesis del sorbitol.
- * Potenciómetro Fisher Accumet Modelo 325 para controlar la acidez del medio al efectuar la destrucción de las cadenas del almidón y para certificar el pH de la solución al 70 % de sorbitol obtenida.
- * Horno para secar los diferentes compuestos orgánicos y eliminar toda la humedad presente.
- * Balanza analítica.
- * Buretas de 25 ml.
- * Desecadora.
- * Equipo de vidrio para Síntesis Orgánica con uniones esmeriladas 24/40.
- * Cristalería de uso común en un laboratorio de Química Orgánica.

4 METODOS:

Los métodos de síntesis y análisis siguen las normas para control de calidad establecidas por The United States Pharmacopeia, U.S.P. y pueden ser esquematizados de la siguiente manera:

- a) Extracción del almidón de la variedad de papa LOMAN:
- Se desmenuzan las papas en un rallador de cocina y la pulpa así obtenida se envuelve en una doble capa de tela porosa. Se sumerge la pulpa

envuelta en la tela en un recipiente lleno de agua y se exprime. Se repite el proceso hasta que ya no se observe extracción de almidón.

- Se deja reposar el almidón en el recipiente hasta que se deposite en el fondo del mismo. Se descarta todo el agua sobrenadante. Se repite el proceso hasta que se logre eliminar la mayor cantidad posible de agua del recipiente.
- Se coloca el recipiente en un horno a una temperatura menor de 100°C y se deja estar hasta que el almidón este seco.

b) Síntesis de la Glucosa:

- Se disuelve almidón en agua de tal forma que se obtenga una solución clara y poco espesa.
- Se hidroliza la solución de almidón con ácido clorhídrico diluido (1 N a 5 N) hasta que se experimente pérdida de viscosidad en la solución acuosa.
- Se filtra y clarifica la solución con carbón activado.

c) Síntesis química del sorbitol:

- 250 a 500 ml de una solución acuosa de glucosa se colocan en el hidrogenador, se coloca el catalítico (Ni Raney o Paladio). Se satura el medio de hidrógeno y se pone la mezcla a reaccionar con agitación constante durante un tiempo determinado.
- El níquel Raney es preparado de la siguiente forma: 65 g de Hidróxido de sodio y 250 ml de agua son colocado en un erlenmeyer de 1 litro con un termómetro y un agitador. El frasco es sumergido en un baño de agua fría. Cuando la temperatura de la solución haya caído a 50°C , 50 g de una aleación de níquel Raney-aluminio (50%) es agregado en pequeñas porciones (2 a 5 g) a tal velocidad que la temperatura permanezca a $50 \pm 2^{\circ}\text{C}$, mientras la mezcla es siendo agitada rápidamente. La cantidad total de la aleación deberá haber sido agregada al final de media hora. El baño

enfriador es entonces removido y la mezcla mantenida a 50°C. usando un baño de agua caliente. por 50 minutos. con agitación suave. La agitación es detenida y la mezcla enfriada y cuando el níquel haya precipitado se decanta el líquido sobrenadante. Se lava el residuo con agua destilada evitando el contacto del níquel con el aire. Esto se logra dándole un suave movimiento circulatorio a la solución. Se decanta el líquido sobrenadante y se repite el lavado hasta que la solución este libre de álcali (neutral al papel litmus). El residuo es ahora lavado en forma similar. 2 o 3 veces. con etanol (100 ml a la vez). Finalmente el volumen total (catalítico y etanol) se lleva a 125 ml y se guarda en un frasco oscuro. La mezcla resultante deberá contener aproximadamente 25 g de níquel en 125 ml de suspensión etanólica.

d) Análisis cualitativo y cuantitativo según los criterios establecidos por la U.S.P.

- Los análisis cualitativos se realizaron por medio de Espectroscopia Infrarroja. despues de evaporar el agua.
- El análisis cuantitativo del sorbitol se realizó utilizando la determinación de azúcares reductores por el método Felhing que se describe a continuación:

Método Felhing:

Este método requiere de una solución "A" (solución de sulfato de cobre), una solución "B" (solución de hidróxido de sodio y sal de Rochelle), una solución etanólica de azul de metileno. una solución de glucosa anhidra al 0.2 % y una solución mezcla de oxalato y fosfato.

i) Determinación del factor de Felhing:

- Se miden 5 ml de solución A, 5 ml de solución B y 25 ml de agua. los que se transfieren a un erlenmeyer.
- En una bureta se coloca la solución al 0.2 % de glucosa.

- Se pone a calentar el erlenmeyer que contiene la solución A y la solución B. Se adicionan 20 ml de la solución de glucosa contenida en la bureta.
- Se continúa calentando el erlenmeyer. al empezar a hervir la solución contenida en el mismo, se esperan 3 minutos y se agregan 4 gotas de solución de azul de metileno.
- Se continúa la adición de la glucosa contenida en la bureta, hasta que la solución del erlenmeyer tome un color ladrillo. Se anotan los mililitros gastado de la solución de glucosa.

El factor de Felhing se calcula así:

$$(\text{ml gastados de glucosa} \times 0.2)/100$$

ii) Análisis de las soluciones que contienen glucosa:

- Se retira la solución del hidrogenador.
- Se filtra esta solución y el filtrado se transfiere a una bureta.
- Por aparte se prepara en un erlenmeyer una mezcla de 5 ml de solución A, 5 ml de solución B y 25 ml de agua. Se pone a calentar esta mezcla y se adicionan unos 10 a 15 ml de solución contenida en la bureta.
- Se continúa calentando el erlenmeyer y al empezar a hervir la solución, se deja reposar por 3 minutos y se agregan 4 gotas de azul de metileno.
- Se sigue adicionando la solución contenida en la bureta hasta que la solución del erlenmeyer tome un color ladrillo. Se anotan los mililitros gastados.

La concentración esta dada por:

$$\% \text{ azúcares reductores} = \frac{(\text{ml gastados/volumen de aforo}) \times (\text{factor felhing/masa de muestra}) \times 100}{\text{masa de muestra}}$$

e) Diseño Experimental utilizado en el estudio:

Se realizó un diseño experimental factorial completamente al azar de 4 factores con dos niveles cada uno de acuerdo a la tabla siguiente:

Tipo Almidón	Tiempo (minutos)	Concentración glucosa (%)	Presión (psig)
Maíz	15	25	20
Papa	30	50	50

Este tipo de diseño da como resultado un total de $4^2=16$ combinaciones posibles. Además se realizaron 3 replicaciones para cada combinación. La variable respuesta medida fue la concentración en % de sorbitol obtenido.

VIII. Resultados:

La determinación de la glucosa se hizo por medio de la titulación con sulfato de cobre y Sal de Rochelle y se utilizó este mismo método para conocer la cantidad de sorbitol producido. Esto es posible ya que el único producto posible de la hidrogenación de la glucosa es el sorbitol, por lo tanto, conociendo la cantidad de glucosa que no reaccionó podemos saber por diferencia la cantidad de sorbitol sintetizado.

Los resultados obtenidos en % de sorbitol para cada una de las 16 combinaciones posibles fueron:

No. de observ.					Factor	1réplica (%sorbitol)	2réplica (%sorbitol)	3réplica (%sorbitol)	PROM
1	-	-	-	-	prom	30	29	32	29.5
2	+	-	-	-	a	30	32	31	31.0
3	-	+	-	-	b	40	38	39	39.0
4	+	+	-	-	ab	42	43	43	42.5
5	-	-	+	-	c	35	40	38	37.5
6	+	-	+	-	ac	41	38	40	39.5
7	-	+	+	-	bc	45	50	48	47.5
8	+	+	+	-	abc	45	48	47	46.5
9	-	-	-	+	d	55	57	56	56.0
10	+	-	-	+	ad	60	59	61	59.5
11	-	+	-	+	bd	60	63	63	61.5
12	+	+	-	+	abd	64	62	63	63.0
13	-	-	+	+	cd	45	50	49	47.5
14	+	-	+	+	acd	53	55	54	54.0
15	-	+	+	+	bcd	64	61	63	62.5
16	+	+	+	+	abcd	65	63	64	64.0

Donde el significado de las letras y los signos es el siguiente:

Letra	Significado	-	+
a	Tipo de almidón	maíz	papa
b	Tiempo (min)	15	30
c	Concentración (%)	25	50
d	Presión (psig)	20	50

IX. Discusión:

El tratamiento estadístico del diseño experimental nos da los siguientes resultados:

Tabla de Anova para Análisis de Varianza de 4 factores en Y_1 : % de Rendimiento.

Fuente	grados libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Promedio	Prueba F	Valor P
TIPO ALMIDON(A)	1	58.521	58.521	23.805	0.0001
TIEMPO (B)	1	945.188	945.188	384.483	0.0001
AB	1	11.021	11.021	4.483	0.0421
CONCENTRACION (C)	1	50.021	50.021	20.347	0.0001
AC	1	0.188	0.188	0.076	0.7842
BC	1	28.521	28.521	11.602	0.0018
ABC	1	11.021	11.021	4.483	0.0421
PRESION (D)	1	4504.688	4504.688	1832.415	0.0001
AD	1	9.188	9.188	3.737	0.0621
BD	1	2.521	2.521	1.025	0.3188
ABD	1	11.021	11.021	4.483	0.0421
CD	1	315.188	315.188	128.212	0.0001
ACD	1	6.021	6.021	2.449	0.1274
BCD	1	67.688	67.688	27.534	0.0001
ABCD	1	3.521	3.521	1.432	0.2402
Error	32	78.667	2.458		

Entonces con un nivel de significancia de 0.05 tenemos que los parámetros significativos son todos aquellos que presenten un valor P menor de 0.05:

No.	Fuente	Valor P
1	TIPO ALMIDON(A)	0.0001
2	TIEMPO (B)	0.0001
3	AB	0.0421
4	CONCENTRACION (C)	0.0001
5	BC	0.0018
6	ABC	0.0421
7	PRESION (D)	0.0001
8	ABD	0.0421
9	CD	0.0001
10	BCD	0.0001

En otras palabras el estudio muestra que hay influencia o interacción significativa entre los siguientes parámetros:

No.	Fuente
1	TIPO ALMIDON(A)
2	TIEMPO (B)
3	TIPO DE ALMIDON Y TIEMPO (AB)
4	CONCENTRACION (C)
5	TIEMPO Y CONCENTRACION (BC)
6	TIPO DE ALMIDÓN, TIEMPO Y CONCENTRACION (ABC)
7	PRESION (D)
8	TIPO DE ALMIDON, TIEMPO Y PRESION (ABD)
9	CONCENTRACION Y PRESION (CD)
10	TIEMPO, CONCENTRACION Y PRESION (BCD)

Pero que no hay ninguna relación significativa entre los siguientes parámetros:

No.	Fuente
1	TIPO DE ALMIDON Y CONCENTRACION (AC)
2	TIPO DE ALMIDÓN Y PRESION (AD)
3	TIEMPO Y PRESION (BD)
4	TIPO DE ALMIDON, CONCENTRACION Y PRESION (ACD)
5	TIPO DE ALMIDÓN, TIEMPO, CONCENTRACION Y PRESION (ABCD)

En el anexo IV se presentan todas las tablas parciales obtenidas en el tratamiento estadístico y en el anexo V se muestran las gráficas para cada una de esas tablas parciales. En estas gráficas pueden observarse fácilmente los factores o interacciones de factores que tienen alguna relación significativa.

Especialmente debe notarse que consistentemente se obtuvo un mayor rendimiento de sorbitol con el almidón obtenido de la papa en todas las combinaciones efectuadas y que los mejores resultados en cuanto a rendimiento se obtuvieron a la mayor presión, con la concentración mayor de glucosa obtenida de papa y con el mayor tiempo de reacción (ver tabla de incidencia ABCD).

Es interesante, sin embargo, notar la gráfica de la incidencia CD en la que nos muestra la interacción entre la presión y el % de glucosa. Observamos que a mayor % de glucosa se obtiene un menor rendimiento de sorbitol.

Según lo anteriormente dicho sería muy fácil concluir que la glucosa obtenida de papa es *mejor* que la glucosa obtenida del maíz para sintetizar sorbitol. Sin embargo, no es aquí donde debe buscarse la diferencia observada sino en los almidones obtenidos de dos fuentes distintas. Al hacer esto se observa inmediatamente que no se hizo ningún esfuerzo durante el presente trabajo en analizar la pureza del almidón obtenido de la papa o del almidón de maíz comercial. Únicamente se pretendió obtener una hidrólisis completa del almidón obtenido para poder preparar las soluciones de glucosa requerida.

Es posible, por tanto que el mayor rendimiento de sorbitol sea debido a que la pureza del almidón comercial no sea del 100 % y/o que los almidones obtenidos de plantas tuberosas son más reactivos que los almidones obtenidos de cereales como indican Van Beynum y Roels (18).

En general este proceso fue llevado a cabo en el laboratorio únicamente con el fin de demostrar la factibilidad de modificar las condiciones a las que se lleva a cabo la reacción de tal forma que se puede hacer industrialmente atractivo. Aunque no se obtuvo una concentración del 70 % de sorbitol en agua directamente en la reacción de hidrogenación si se obtuvo siempre un rendimiento aproximado del 60% de sorbitol a una presión de 50 psig. Sin embargo, para cumplir las especificaciones comerciales que requieren una solución acuosa que contenga 69-71 g de sólidos totales/100 g y donde el contenido de d-sorbitol no debe ser menor de 64 g fue necesario precipitar el sorbitol y la glucosa, solubilizar el sorbitol en alcohol isopropílico, separar la solución acuosa, volver a precipitar el sorbitol y preparar una solución al 70 % en agua. Esta última solución acuosa de sorbitol cumple con los requerimientos pedidos por la industria y con el grado USP requerido por The United States Pharmacopeia que son: ser un líquido siruposo claro de

sabor dulce y sin olor característico, con una densidad de 1.2879 a 20°C, un punto de ebullición de 105°C a 760 atms y un pH entre 6 y 7.

En el presente trabajo se utilizó un hidrogenador catalítico de baja presión, tipo agitador Parr 3911 con botella de hidrogenación de vidrio pyrex Parr 66CA. Este tipo de equipo no nos permitió controlar un factor que por lo tanto no fue incluido en el diseño experimental: la temperatura.

Sin embargo, se podría hacer un estudio tomando en cuenta esta variable si se utiliza el mismo modelo de hidrogenador pero con los siguientes accesorios no disponibles actualmente en Guatemala:

- a) Un calentador de la botella de vidrio modelo A450EEB
- b) Una termocupla Ay, 500 ml modelo A159CA2PA
- c) Un controlador de calentamiento, 120 VAC modelo 4832EB
- d) Una chaqueta de agua de 500 ml modelo A103CA

Así mismo si se utilizan las técnicas industriales adecuadas se podría obtener rendimientos del orden del 80-90%. Es factible aumentar considerablemente el rendimiento utilizando técnicas industriales que permitan la menor variación posible en el proceso. Esto es particularmente cierto en la preparación del catalizador ya que cualquier desviación puede modificar la actividad y selectividad del catalizador lo que llevará a un mayor o menor rendimiento y aún a la síntesis de productos distintos al deseado. Industrialmente se han desarrollado técnicas tales como la de impregnación o de intercambio iónico que usualmente implican temperaturas de 500 a 600°C y presiones hasta de 700 atms. Así mismo en el proceso de evaporación del agua tanto en el almidón como en el producto final se podría pensar en diferentes alternativas industriales tales como utilizar un evaporador de película agitada o un evaporador tubular que presenta la ventaja de la economía o aún un tandem de evaporadores de múltiple efecto tales como los utilizados en los ingenios azucareros.

Tampoco se intentó obtener el sorbitol en forma sólida debido a que la cristalización de los carbohidratos se ve complicada por:

1. La calidad de la materia prima utilizada que contienen impurezas propias que afectan el proceso de cristalización..
2. Reacciones propias de los taútomeros (propiedades características de los carbohidratos). Como ejemplo tenemos que la d-glucosa cristaliza a bajas temperaturas en la forma alfa-hidratada aunque en una solución equilibrada cerca del 65 % está en la forma beta. El sistema tiene un punto de transición a 50° C abajo del cual la d-glucosa cristaliza como el monohidrato y arriba del cual cristaliza como la forma anhidra. A temperaturas próximas al punto de ebullición de la solución acuosa la forma beta llega a ser menos soluble y es por tanto la forma que cristaliza.
3. El método de extracción del almidón puede que no sea el método que da el mayor rendimiento. En ningún momento fue el objetivo de este trabajo el estudiar el método de extracción del almidón.

X. Conclusiones:

1. Si es posible obtener sorbitol de una calidad estándar farmacéutica utilizando almidón de maíz o almidón de papa como materia prima.
2. El almidón de papa representa una mejor materia prima para la síntesis de sorbitol que el almidón de maíz debido al mayor rendimiento de producto que da. Sin embargo la calidad del producto obtenido es la misma en los dos procesos usados.
3. Las mejores condiciones de reacción para obtener un mayor rendimiento de sorbitol de acuerdo a los parámetros establecidos por el presente trabajo son: una presión de 50 psig, una concentración inicial de glucosa obtenida de la papa de 50 % en medio acuoso y un tiempo de reacción de 30 minutos.

XI. Recomendaciones:

1. Estudiar el efecto en la síntesis del sorbitol de la temperatura de reacción.
2. Analizar y cuantificar la pureza de los almidones comerciales actualmente disponibles en el mercado.
3. Estudiar las propiedades y la reactividad de almidones obtenidos de diferentes fuentes.
4. Realizar un estudio para obtener el mejor método de cristalización del sorbitol obtenido a través de este tipo de síntesis.
5. Podría mejorarse considerablemente el rendimiento final si se realiza un trabajo sobre el mejor método de extraer el almidón de las materias primas utilizadas.

XII. Referencias:

1. Salvat Editores S.A, eds. ENCICLOPEDIA SALVAT DICCIONARIO. España: Imprenta Hispano-Americana S.A. 1972. (pp. 1608-1610).
2. Codex Medicamentarius Gallicus. eds. FARMACOPEA FRANCESA. Edicion en lengua Española. Francia: Rennes, Talleres de imprenta Oberthur, 1939. (pp. 476-478).
3. Van Beynum GMA., Roels, JA. STARCH CONVERSION TECHNOLOGY. New York: Marcel Dekker, Inc., 1985. (pp. 80).
4. Pigman WW. and Goepf RM. CARBOHIDRATE CHEMISTRY. New York: Academic Press, 1948. (pp. 18, 97, 236-238, 316-317, 560-561).
5. Buckingham, J., ed. DICTIONARY OF ORGANIC COMPOUNDS. Volume 3. 5th Edition. New York: Chapman and Hall, 1982. (pp. 2,755-2,756).
6. CONCISE ENCYCLOPEDIA OF BIOCHEMISTRY. Berlín: Walter de Gruyter. 1983.(pp. 433).
7. REMINGTON FARMACIA. Tomo 2. 17a. Edición. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana, 1987. (pp. 1750, 1785-1786).
8. Windholz, M., ed. THE MERCK INDEX. Tenth Edition. 3th. Printing. USA, Rahway, N.J.: Merck & Co., Inc., 1986. (pp. 1248, 1258).
9. Prescott, SC. and Dunn, CG. INDUSTRIAL MICROBIOLOGY. 3th. Edition. Tokio: Mac-Graw-Hill Book Company, 1959. (pp. 455-459).
10. Reichstein, T. and Grussner, A. Helv. Chim. Acta 17, 311 (1934).
11. Fulmer, EI.; Dunning, JW. and Underkofler, LA. J. Am. Soc. 58, 1012 (1936).
12. Hendrickson, JB.; Cram DJ. and Hammond GS. ORGANIC CHEMISTRY. 3th. Edition. Tokio: McGraw Hill Book Company, 1970. (pp. 1082).
13. The United States Pharmacopeial Convention. THE UNITED STATES PHARMACOPEIA. The National Formulary. USP XXI. USA, Easton, PA: Mack Printing Company, 1984. (pp. 979, 984, 1428, 1608-10).
14. Pine, SH.; Hendrickson, JB.; Cram DJ. and Hammond GS. QUÍMICA ORGANICA. 4ta Edición. España: McGraw-Hill de México, S.A, 1982. (pp. 769).

15. Balandin, AA., Vasyuniva NA., Chepigo SV. and Barysheva GS. HIDROLYTIC HYDROGENATION OF CELLULOSE. Doklady Akad. Nauk S.S.S.R. 128, 941-4 (1959).
16. Mieczylaw, T. and Topowa K. CATALITIC PREPARATION OF SORBITOL IN AN ULTRASONIC FIELD. Przemysl Chem. 37, 703-5 (1958).
17. Banco de Guatemala. INFORMACION DE PRODUCCION, EXPORTACION, IMPORTACION, PRECIOS Y CARACTERISTICAS DE LOS PRINCIPALES PRODUCTOS AGROPECUARIOS. 1972/73-1986/87. Guatemala: Banco de Guatemala, Mayo 1986. Cuadro 1.
18. Banco de Guatemala. REPORTE ESTADISTICO DE PRODUCTOS DE IMPORTACION. EN-DIC. 1988. Guatemala: Banco de Guatemala, 1989. Partida 17.02 subpartida 01 inciso 01.
19. Banco de Guatemala. BOLETIN ESTADISTICO ENERO-MARZO 1987. GUATEMALA, C.A. Guatemala: Banco de Guatemala, 1988. (pp. 49).

XIII. ANEXOS

ANEXO No. I

GASTOS DE IMPORTACION DE AZUCARES NO PROVENIENTES DE LA
GLUCOSA EN 1988.

Partida	Pais	Valor	Peso en Kilos	Derechos Pagados	
				Especiales	Al Valor
17.020101	U.S.A.	180,603	392,386	69,027,085	46,951
	México	462,047	1,959,686	93,539,800	104,612
	Alemania Fed.	7,681	7,241	7,070,376	1,744
	Austria	4,289	18,472	2,030,835	974
	Bélgica- Luxemb.	12,712	31,416	4,164,909	2,888
	Francia	39,415	101,900	5,031,868	8,956
	TOTAL	706,747	2,511,101	180,864,874	166,125

ANEXO No. II

GASTOS EN IMPORTACION DE ALIMENTOS Y PRODUCTOS
QUIMICOS EN 1987.

AÑO 1987	IMPORTACION	
	Alimentos (miles Q)	Quimicos (miles Q)
Enero	6,998.0	21,684.5
Febrero	558.7	18,869.7
Marzo	5,805.8	19,016.3
Abril	3,834.3	16,862.2
Mayo	9,316.2	21,173.9
Junio	5,386.5	24,466.8
Julio	3,012.8	24,528.1
Agosto	15,784.6	27,124.2
Septiembre	8,832.3	23,614.5
Octubre	3,433.4	29,499.3
Noviembre	7,226.5	28,634.7
Diciembre	6,669.5	14,364.9
TOTAL	76,858.6	269,839.1

ANEXO No. III

**PRODUCCION Y EXPORTACION DE MAIZ EN
LOS AÑOS DE 1981 A 1986.**

AÑO	MAIZ Producción (miles Quetzales)	Exportación (miles Quetzales)
1981	21,684	352.5
1982	23,910	2.6
1983	21,483	434.0
1984	26,043	58.5
1985	23,661	0.3
1986	26,000	217.6

Tabla No. 40: Maíz (Producción y Exportación)

PERÍODO	1981-82	1983-84	Total
Producción	47,917	51,126	99,043
Exportación	352.5	694.1	1,046.6
Total	48,269.5	51,820.1	100,089.6

ANEXO No. IV

Tabla No. 41: Maíz (Producción y Exportación)

PERÍODO	1981-82	1983-84	Total
Producción	47,917	51,126	99,043
Exportación	352.5	694.1	1,046.6
Total	48,269.5	51,820.1	100,089.6

The BC incidence table on Y₁ : % de rendimiento

The AD incidence table on Y₁ : % de rendimiento

CONCENTRACI...		%25	%50	Totals:
TIEMPO	Min 15	12 44.333	12 44.833	24 44.583
	Min 30	12 51.667	12 55.25	24 53.458
Totals:		24 48	24 50.042	48 49.021
Totals:		39.333	58.708	49.021

The ABC incidence table on Y₁ : % de rendimiento

The BD incidence table on Y₁ : % de rendimiento

TIEMPO:		Min 15		Min 30		Totals:
CONCENTRACI...		%25	%50	%25	%50	
TIPO	MAIZ	6 43.167	6 42.833	6 50.5	6 55.167	24 47.917
	PAPA	6 45.5	6 46.833	6 52.833	6 55.333	24 50.125
Totals:		12 44.333	12 44.833	12 51.667	12 55.25	48 49.021
Totals:		39.333	58.708	49.021		

The ABD Incidence table on Y₁: % de rendimiento

TIEMPO: PRESION:		Min 15		Min 30		Totals:
		P20	P50	P20	P50	
TIPO	MAIZ	6 34	6 52	6 43.333	6 62.333	24 47.917
	PAPA	6 35.333	6 57	6 44.667	6 63.5	24 50.125
Totals:		12 34.667	12 54.5	12 44	12 62.917	48 49.021

The CD Incidence table on Y₁: % de rendimiento

PRESION:		P20	P50	Totals:
CONCENT...	%25	12 35.75	12 60.25	24 48
	%50	12 42.917	12 57.167	24 50.042
Totals:		24 39.333	24 58.708	48 49.021

The ACD Incidence table on Y_1 : % de rendimiento

CONCENTRACI...		%25		%50		Totals :
PRESION:		P20	P50	P20	P50	
TIPO	MAIZ	6 34.667	6 59	6 42.667	6 55.333	24 47.917
	PAPA	6 36.833	6 61.5	6 43.167	6 59	24 50.125
Totals:		12 35.75	12 60.25	12 42.917	12 57.167	48 49.021

The BCD Incidence table on Y_1 : % de rendimiento

CONCENTRACI...		%25		%50		Totals :
PRESION:		P20	P50	P20	P50	
TIEMPO	Min 15	6 30.667	6 58	6 38.667	6 51	24 44.583
	Min 30	6 40.833	6 62.5	6 47.167	6 63.333	24 53.458
Totals:		12 35.75	12 60.25	12 42.917	12 57.167	48 49.021

Page 1 of the ABCD Incidence table on Y₁: % de rendimiento

		Min 15				Min 30	
		%25		%50		%25	
		P20	P50	P20	P50	P20	P50
TIPO	MAIZ	3 30.333	3 56	3 37.667	3 48	3 39	3 62
	PAPA	3 31	3 60	3 39.667	3 54	3 42.667	3 63
Totals:		6 30.667	6 58	6 38.667	6 51	6 40.833	6 62.5

Page 2 of the ABCD Incidence table on Y₁: % de rendimiento

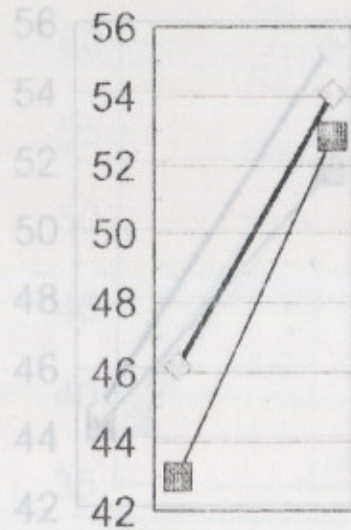
		Min 30		Totals:
		%50		
		P20	P50	
TIPO	MAIZ	3 47.667	3 62.667	24 47.917
	PAPA	3 46.667	3 64	24 50.125
Totals:		6 47.167	6 63.333	48 49.021

ANEXO No. V

Incidencias AB y AC

Tabla de Incidencia AB

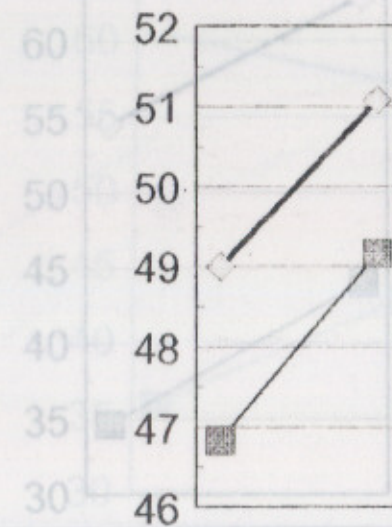
(% de Rendimiento)
% Rendimiento



Tiempo (minutos)	15	30
Maiz	43,000	52,833
Papa	46,167	54,083

Tabla de Incidencia AC

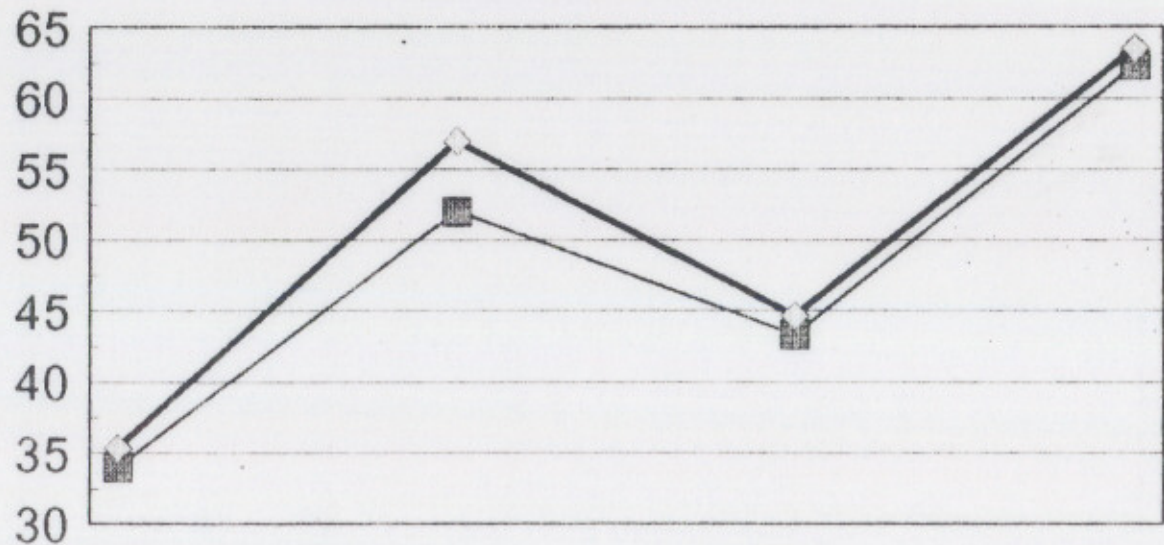
(% de Rendimiento)
Rendimiento



Tiempo (minutos)	15	30
Maiz	46,833	49,167
Papa	49,000	51,083

Incidencia ABD

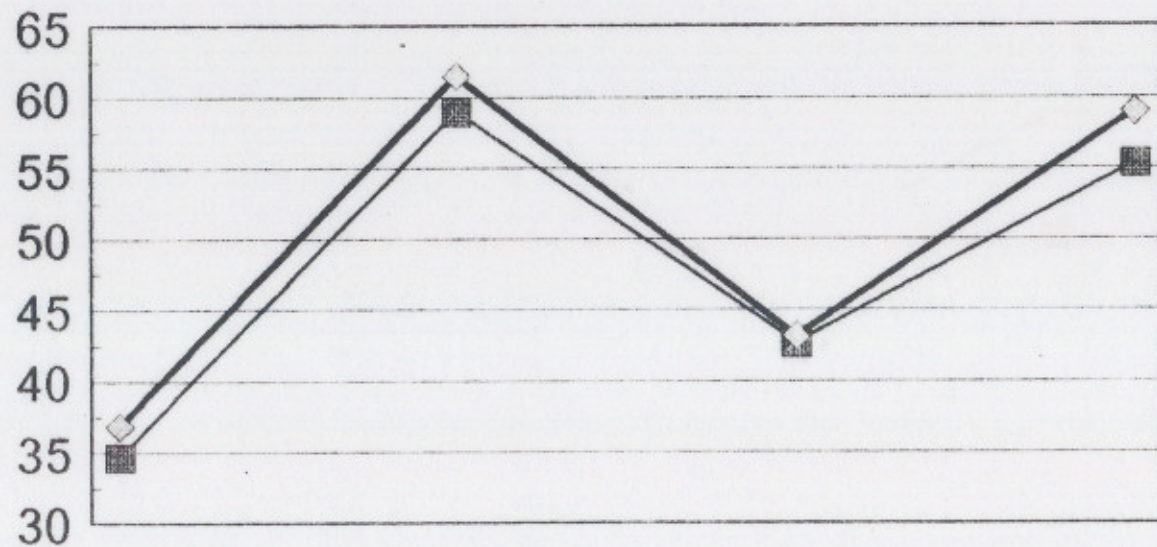
Tabla de Incidencia ABD
(% de Rendimiento)



	P20-Min 15	P50-Min 15	P20-Min 30	P50-Min 30
Maiz ■	34,000	52,000	43,333	62,333
Papa ◆	35,333	57,000	44,667	63,500

Incidencia ACD

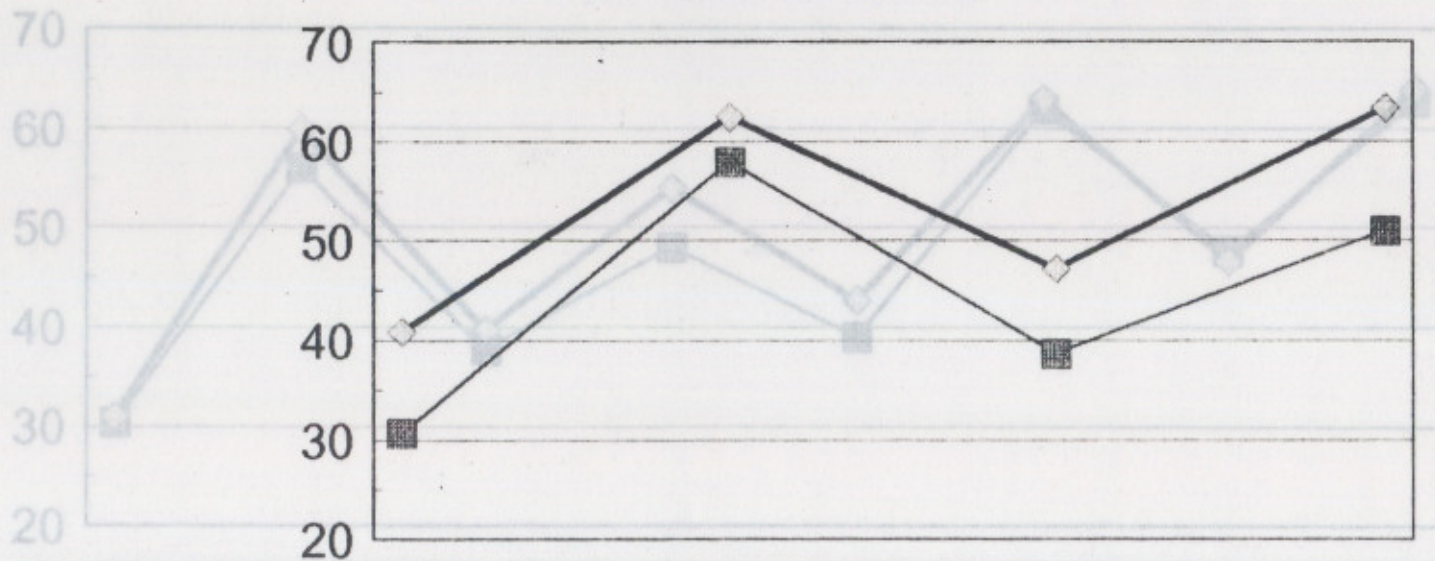
Tabla de Incidencia ACD
(% de Rendimiento)



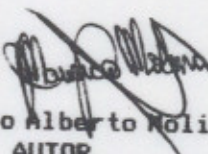
	P20-25 %	P50-25 %	P20-50 %	P50-50 %
Maiz ■	34,667	59,000	42,667	55,333
Papa ◆	36,833	61,500	43,167	59,000

Incidencia BCD

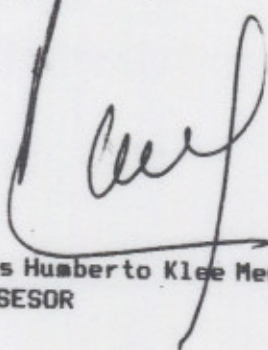
Tabla de Incidencia BCD
(% de rendimiento)



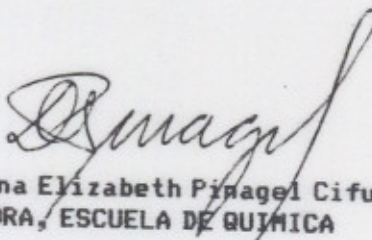
	P20-25 %	P50-25 %	P20-50 %	P50-50 %
Min 15 ■	30,667	58,000	38,667	51,000
Min 30 ◇	40,833	62,500	47,167	63,333



Mauricio Alberto Molina Gordillo
AUTOR



Lic. Carlos Humberto Klee Mendoza
ASESOR



Licda. Diana Elizabeth Pinagel Cifuentes
DIRECTORA, ESCUELA DE QUIMICA



Lic. Jorge Rodolfo Pérez Folgar
DECANO