



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**MODELO DE GESTIÓN DE CAJAS DE UN SUPERMERCADO UTILIZANDO
DATOS TRANSACCIONALES**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL INDUSTRIAL

MARÍA CONSUELO MEDEIROS RUIZ

**PROFESOR GUÍA:
LUIS ABURTO LAFOURCADE**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
CRISTIÁN MATURANA ELGUETA
MARCELO OLIVARES ACUÑA**

**SANTIAGO DE CHILE
ABRIL 2012**

MODELO DE GESTIÓN DE CAJAS DE UN SUPERMERCADO UTILIZANDO DATOS TRANSACCIONALES

La calidad de servicio en la industria del retail juega un rol fundamental en la experiencia de compra del cliente. Este proceso debe ser cómodo y eficiente para que el cliente quede satisfecho y repita su compra. En el caso de los supermercados, esta tarea se lleva a cabo en las cajas del local, donde el desafío es ofrecer un buen servicio equilibrando la oferta de cajas disponibles con la demanda. Es por ello que la gestión de las cajas del supermercado debe estar enfocada en hacer de éste un proceso eficiente y cómodo para el cliente. Este trabajo de título tiene como objetivo apoyar decisiones de gestión de cajas de un supermercado, especialmente en momentos de subdotación y sobredotación del sistema.

La metodología consiste en estudiar la situación actual del supermercado con el objetivo de caracterizar los momentos de subdotación y sobredotación que éste ha presentado en el tiempo, para luego proponer la cantidad de cajas en funcionamiento que cumpla con un nivel de servicio establecido para cada horario. La dotación de las cajas se obtiene mediante un modelo que recoge los datos transaccionales del punto de venta y estima el largo de la cola promedio en cada horario. En base a un nivel de servicio expresado en cantidad máxima de personas esperando, el modelo entrega la oferta de cajas necesarias para cubrir la demanda. Para calibrar el modelo mencionado, se combinaron datos del punto de venta y de mediciones del largo de la cola realizadas en la sala. Gracias a la metodología propuesta y al modelo desarrollado, es posible diseñar un prototipo de alarma en el punto de venta del supermercado que, en base a los datos en línea, estima el largo de la cola y el número de cajas necesarias para cumplir con un servicio establecido.

El modelo propuesto se aplicó para dos locales en los cuales se detectaron problemas de dotación. Para uno de ellos se detectó un problema de subdotación en un 58% de las horas estudiadas, en el cual se obtienen beneficios económicos anuales de \$38.212.930. En el otro local se detectó un problema de sobredotación en un 87% de los casos, el cual está en parte relacionado con la mala visibilidad y distribución de las cajas. Para este último, se obtiene un beneficio económico de \$3.608.097 anuales. Esta estimación de beneficios considera que, con la aplicación del modelo, disminuye la fuga de clientes generada por subdotación y las horas ociosas generadas por sobredotación.

El modelo propuesto es una herramienta que apoya las decisiones asociadas a la gestión de las cajas en todo momento. Si la variabilidad de la demanda es predecible, se entregan reglas y recomendaciones de dotación, pero si se tienen alzas y bajas inesperadas en la demanda, el sistema de alarma en línea permite controlar y evaluar cambios con respecto a la oferta de cajas y detectar a tiempo problemas de dotación.

Agradecimientos

En el fin de esta etapa tan importante que marca 6 años de esfuerzo y estudio, sólo puedo pensar en las personas que vivieron conmigo este proceso y a las cuales quiero agradecer su apoyo y compañía.

Agradezco a mi familia por el cariño, apoyo y protección que siempre me han dado en los momentos difíciles y durante toda mi vida. A mis hermanos, Leonardo, Magdalena y Diego, por sus ejemplos y sus consejos. A mi mamá Gabriela, por su cariño, fuerza y amistad incondicional. A mi papá Leonardo (Q.E.P.D), por siempre tratarme como a su hija menor y regalóarme.

Quiero agradecer también a Bastian, por su compañía, paciencia, amistad y amor que me ha dado durante todos estos años. Gracias por tu apoyo incondicional en los tiempos más difíciles y gracias por los lindos momentos que hemos compartido en esta etapa.

Agradezco a todos mis amigos de la universidad por el apoyo y por lo bien que lo hemos pasado juntos en este proceso. Además, agradezco a mis amigas del colegio, por la amistad, la confianza y el humor que nos caracteriza.

Finalmente, quiero agradecer a mi profesor guía Luis, quien me dio todo su apoyo en los momentos difíciles durante este proceso me ayudó y guió a terminar esta etapa de la mejor manera.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

I. INTRODUCCIÓN	1
II. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO Y JUSTIFICACIÓN	4
III. OBJETIVOS	8
3.1 GENERAL	8
3.2 ESPECÍFICOS	8
IV. ALCANCES	9
V. METODOLOGÍA	9
5.1 ELECCIÓN DE SUCURSALES A ESTUDIAR	9
5.2 ESTUDIO DE DATOS TRANSACCIONALES DEL POS Y DE LA SITUACIÓN ACTUAL	9
5.2.1 Análisis de datos	10
5.2.2 Análisis de la situación actual	10
5.3 CARACTERIZACIÓN DE SUBDOTACIÓN Y SOBREDOTACIÓN	10
5.4 MEDICIÓN EN SALA	11
5.4.1 Medición del largo de cola	11
5.4.2 Medición de tiempos de llegada y de atención	11
5.5 MODELACIÓN	11
5.5.1 Modelo de estimación del largo de cola	11
5.5.2 Modelo de simulación del sistema de cajas	12
5.6 GENERACIÓN DE RECOMENDACIONES Y REGLAS DE DOTACIÓN	12
VI. RESULTADOS ESPERADOS	12
VII. MARCO CONCEPTUAL	13
VIII. REQUERIMIENTOS DE INFORMACIÓN	21
IX. DESARROLLO METODOLÓGICO Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	22
9.1 ELECCIÓN DE SUCURSALES	22
9.2 ANÁLISIS DE DATOS	24
9.2.1 Agregación Anual	24
9.2.2 Agregación Diaria	26
9.2.3 Agregación por Hora	27
9.3 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL	31
9.3.1 Indicador de Ocupación por Caja	32
9.3.2 Reglas de Dotación	36
9.3.3 Resultados Hipótesis de Acciones de Dotación	38
9.4 CARACTERIZACIÓN DE SUBDOTACIÓN Y SOBREDOTACIÓN	42

9.5 MEDICIÓN EN SALA	45
9.5.1 Medición Largo de Cola.....	45
9.5.2 Medición Tiempos de Llegada y Atención	49
9.6 MODELACIÓN	51
9.6.1 Modelo de Estimación del Largo de Cola	51
9.6.2 Modelo de Simulación del Sistema de Cajas	54
9.6.3 Resultados Aplicación del Modelo.....	58
9.6.4 Comparación Modelos de Regresión y Simulación	62
X. RECOMENDACIONES	64
10.1 RECOMENDACIONES DE DOTACIÓN	64
10.2 OTRAS RECOMENDACIONES PARA EL SUPERMERCADO VITACURA	66
XI. SISTEMA DE ALARMA EN EL POS.....	67
XII. ESTIMACIÓN DE BENEFICIOS ECONÓMICOS DEL TRABAJO.....	69
12.1 BENEFICIOS DEL TRABAJO	69
12.2 ESTIMACIÓN DE BENEFICIOS ECONÓMICOS.....	69
XIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES A TRABAJOS FUTUROS.....	71
13.1 CONCLUSIONES.....	71
13.3 RECOMENDACIONES A TRABAJOS FUTUROS.....	73
XIV. BIBLIOGRAFÍA.....	75
XV. ANEXOS	77
ANEXO A: AGREGACIÓN ANUAL ÑUÑO A	77
ANEXO B: DÍAS ESPECIALES DE DEMANDA.....	77
ANEXO C: AGREGACIÓN POR HORA VITACURA.....	80
ANEXO D: CANTIDAD DE TRANSACCIONES PROMEDIO POR HORA.....	81
ANEXO E: VARIACIÓN DE CAJAS EN FUNCIONAMIENTO A LO LARGO DEL DÍA	82
ANEXO F: MEDICIÓN TIEMPOS INDICADOR DE OCUPACIÓN E HISTOGRAMA	83
ANEXO G: INDICADOR DE OCUPACIÓN ÑUÑO A	85
ANEXO H: RESULTADOS SPSS ÁRBOLES DE CARACTERIZACIÓN	86
ANEXO I: DETALLE MEDICIÓN EN SALA.....	88
ANEXO J: RESULTADOS Y ALARMAS PARA PERÍODO DE ANÁLISIS MARZO 2011	91

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Participación industria supermercados a nivel nacional, Diciembre 2010.....	1
Gráfico 2: Satisfacción total años 2009 y 2011	2
Gráfico 3: Resultados generales por dimensión en encuesta de satisfacción.....	3
Gráfico 4: Variación de boletas diarias sucursal Ñuñoa	5
Gráfico 5: Variación de ventas por hora, día martes sucursal Ñuñoa	6
Gráfico 6: Mapa insatisfacción en servicio de cajas de las sucursales de Santiago	23
Gráfico 7: Variación de boletas sucursal Vitacura	25
Gráfico 8: Variación de boletas diarias sucursal Vitacura.....	26
Gráfico 9: Variación de boletas diarias sucursal Ñuñoa	27
Gráfico 10: Cantidad de boletas promedio por hora sucursal Ñuñoa	28
Gráfico 11: Distribución de la venta a lo largo del día sucursal Ñuñoa.....	29
Gráfico 12: Variación de cajas en funcionamiento a lo largo del día sucursal Ñuñoa ...	30
Gráfico 13: Cantidad de boletas por caja Ñuñoa.....	30
Gráfico 14: Cantidad de boletas por caja Vitacura	31
Gráfico 15: Valores IO según rango horario Vitacura.....	34
Gráfico 16: Valores IO según rango horario Ñuñoa	34
Gráfico 17: Histograma indicador de ocupación Vitacura.....	35
Gráfico 18: Resultados generales hipótesis de acciones Vitacura	40
Gráfico 19: Resultados generales hipótesis de acciones Ñuñoa.....	40
Gráfico 20: Resultados hipótesis de acciones por día Vitacura.....	41
Gráfico 21: Resultados hipótesis de acciones por día Ñuñoa	41
Gráfico 22: Relación largo de cola v/s indicador de ocupación	46
Gráfico 23: Relación largo de cola v/s utilización por caja.....	47
Gráfico 24: Promedio largo de cola observado por día de la semana	47
Gráfico 25: Promedio largo de cola observado por rango horario	48
Gráfico 26: Histograma largo de cola observado	49
Gráfico 27: Histograma medición tiempo entre llegadas y su distribución ajustada	50
Gráfico 28: Histograma medición tiempo de atención y su distribución ajustada	51
Gráfico 29: Error largo de cola en función del largo real y error MAPE	54
Gráfico 30: Resultado simulación: Histograma largo de cola por caja	56
Gráfico 31: Resultado simulación: Histograma tiempo de espera por caja	56
Gráfico 32: Resultados por caja realizando cambios en la cantidad de cajas abiertas ..	57
Gráfico 33: Resultados generales aplicación modelo Vitacura.....	59
Gráfico 34: Resultados generales aplicación modelo Ñuñoa	59
Gráfico 35: Resultados por día aplicación modelo Vitacura	60
Gráfico 36: Resultados por día aplicación modelo Ñuñoa.....	60
Gráfico 37: Resultados por rango horario aplicación modelo Vitacura.....	61
Gráfico 38: Resultados por rango horario aplicación modelo Ñuñoa	62
Gráfico 39: Sensibilidad de ambos modelos a un cambio en la oferta de cajas.....	63

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

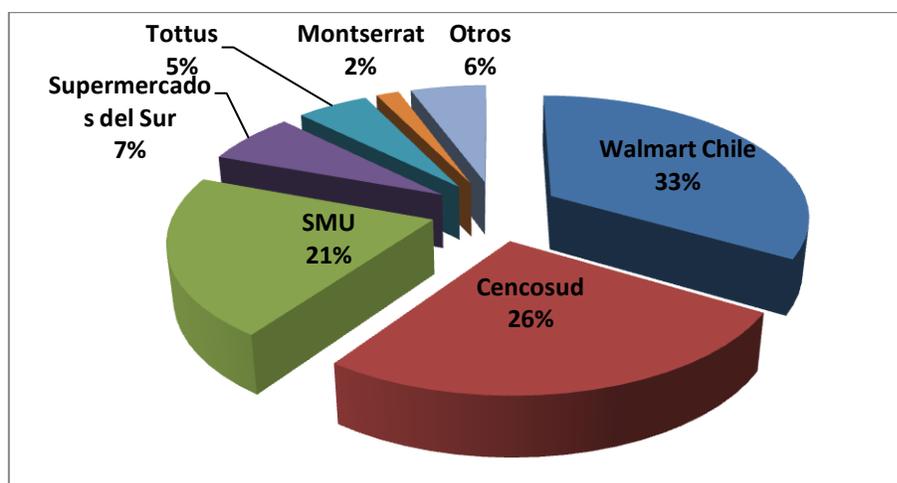
Tabla 1: Feriados irrenunciables	22
Tabla 2: Características generales sucursales escogidas.....	23
Tabla 3: Resumen agregación anual.....	24
Tabla 4: Ejemplo agregación de datos día sábado 12 de Junio de 2012	32
Tabla 5: Resultados medición tiempos de atención	33
Tabla 6: Resultados indicadores de ocupación por sucursal.....	36
Tabla 7: Intervalos de cajas.....	36
Tabla 8: Lógica de reglas y acciones de dotación.....	37
Tabla 9: Resultados generales hipótesis de acciones Vitacura.....	38
Tabla 10: Resultados generales hipótesis de acciones Ñuñoa	39
Tabla 11: Resumen caracterización subdotación y sobredotación Vitacura.....	43
Tabla 12: Resumen caracterización subdotación y sobredotación Ñuñoa	44
Tabla 13: Parámetros obtenidos distribución Weibull.....	50
Tabla 14: Cantidad de datos de calibración y validación del modelo	52
Tabla 15: Resultados regresión lineal múltiple (variable dependiente: Largo de Cola), 95% de confianza.....	52
Tabla 16: Resultados simulación situación actual por caja	56
Tabla 17: Recomendaciones de dotación Vitacura	64
Tabla 18: Recomendaciones de dotación Ñuñoa.....	65
Tabla 19: Estimación de Beneficios Económicos mejora Nivel de Servicio.....	70
Tabla 20: Estimación de beneficios económicos disminución horas ociosas	71
Tabla 21: Estimación final beneficio económico anual	71
Figura 1: Decisiones de gestión de cajas propuestas según tipo de demanda	8
Figura 2: Estructura de teoría de colas.....	17
Figura 3: Forma de la distribución Weibull según valores de β	20
Figura 4: Base de datos transaccionales utilizada	21
Figura 5: Modelo de simulación Arena	55
Figura 6: Relación del largo de la cola con el número de cajas	59
Figura 7: Método comparación: Regresión v/s Simulación.....	63
Figura 8: Ejemplo diseño prototipo sistema de alarma POS, semana del 21 de Junio al 4 de Julio 2012, Ñuñoa	68

I. INTRODUCCIÓN

El retail es el sector económico que reúne a las empresas especializadas en la comercialización masiva de productos o servicios a grandes cantidades de clientes, para su uso personal o familiar. La clasificación de los retailers según los productos que ofrecen es retail comestible (supermercados, almacenes), retail no comestible (tiendas por departamento y tiendas de especialidad) y retail financiero (bancos e instituciones financieras).

Hoy en día, los supermercados ofrecen dentro de sus productos y servicios los tres tipos de retail. Se estima que éstos concentran cerca del 60% del consumo en alimentos y productos básicos para el hogar a nivel nacional, porcentaje que disminuye a menos de la mitad al incluir el gasto en no comestibles como vestuario y equipamiento para el hogar [16]. Además, desde el año 2000, los supermercados, y los retailers en general, han ido incorporando dentro de sus servicios diferentes sistemas de crédito y acceso a clubes de fidelización, lo que les permite tener una relación más estrecha con el cliente.

Gráfico 1: Participación industria supermercados a nivel nacional, Diciembre 2010



Fuente: Informe SMU, ICR Clasificadora de Riesgo

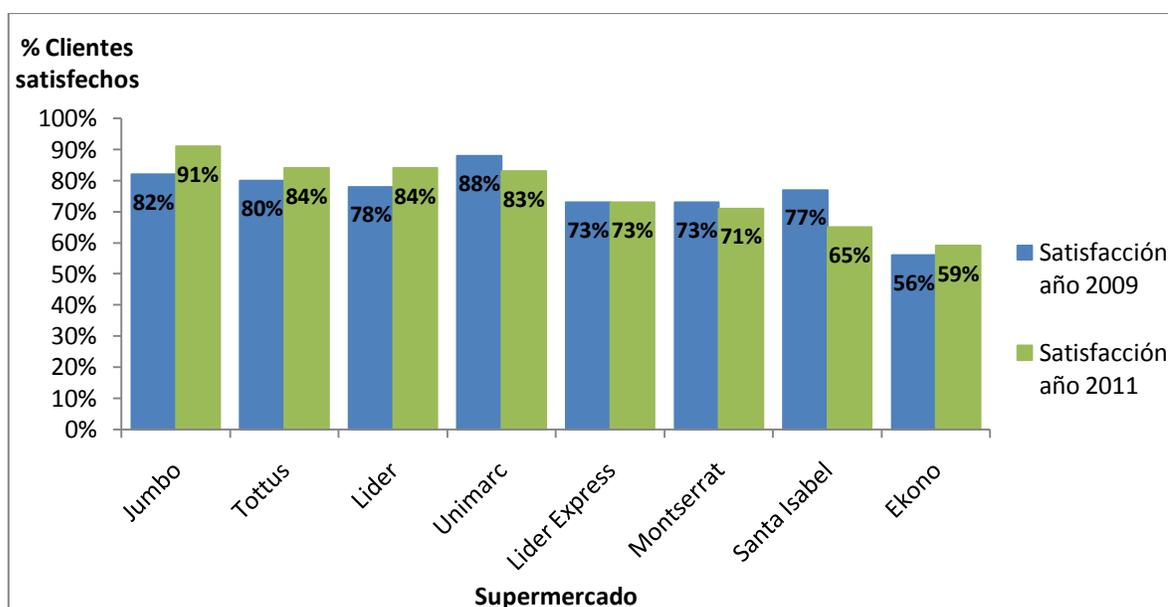
En el Gráfico 1 se observan las participaciones de mercado de los retailers que tienen las cadenas más importantes de supermercado [17]. Como se aprecia, la industria de supermercados en Chile ha alcanzado un nivel altamente competitivo, la globalización y la alta competencia han obligado a los participantes a estar en constante desarrollo de nuevas estrategias para defender sus posiciones en el mercado y lograr obtener ventajas competitivas por sobre su competencia.

La manera que han encontrado los retailers de obtener ventajas competitivas es enfocarse en el cliente y sus necesidades, entendiendo que su experiencia de compra en la tienda es lo que definirá si el cliente repetirá la compra en la tienda y mejor aún, si la recomendará [22]. Para el caso de los supermercados, esta experiencia de compra viene dada por el apoyo que se le da al cliente durante el proceso de adquisición de

productos y por la eficiencia al final de este proceso en el que se concreta la compra, es decir, en la caja del supermercado. Por ello, es fundamental que el proceso de finalización de la compra sea lo más expedito posible para el cliente. En este contexto, es muy importante para las empresas buscar soluciones que permitan mejorar la eficiencia de la atención de clientes en la caja, de manera de mantener una buena calidad del servicio, tener clientes satisfechos y aumentar las utilidades.

El Centro de Estudios del Retail (CERET) ha realizado diferentes estudios que analizan la satisfacción del cliente en la industria del retail en Chile, específicamente en los supermercados [9, 10]. A continuación, se muestran los resultados de dos estudios realizados, uno en Diciembre del año 2009 y el otro en Diciembre del año 2011. En la figura a continuación, se muestran los resultados de satisfacción por supermercado de ambos estudios. De ella se observa que en el año 2011, el supermercado con mayor satisfacción de sus clientes es Jumbo, con un 91% de clientes satisfechos, cifra que aumentó en un 9% desde el año 2009 (82% de clientes satisfechos). Por el contrario, el supermercado con menor satisfacción es Ekono (59% de clientes satisfechos en 2011), cifra que aumentó desde el año 2009 con 56% de satisfacción.

Gráfico 2: Satisfacción total años 2009 y 2011



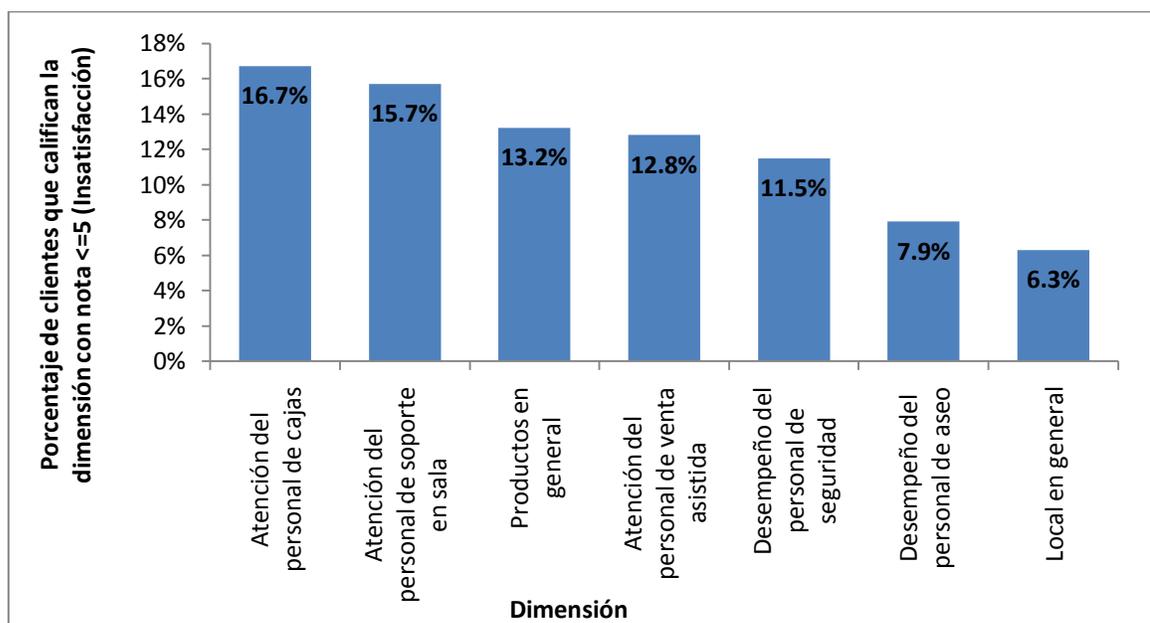
Fuente: Estudio calidad de servicio en la Industria del Retail, Caso Supermercados, CERET, Diciembre 2009 y Estudio calidad de servicio en la Industria del Retail, Caso Supermercados, CERET, Diciembre 2011.

Por otro lado, del gráfico anterior también se puede observar que en el año 2009 el supermercado con mayor porcentaje de clientes satisfechos fue Unimarc, con un 88%, cifra que disminuyó a un 83%, dejando esta cadena de supermercados en el cuarto lugar en el ranking general de satisfacción de clientes.

La caída de la satisfacción de los clientes en la calidad de servicio entregada por la cadena de supermercados mencionada, también fue revelada en una encuesta

realizada en Abril del año 2011 por el propio supermercado, la cual muestra que en general, los clientes del supermercado califican como insuficiente el servicio que éste ofrece. Esta encuesta tenía como objetivo medir la percepción del cliente en la calidad de servicio entregada en distintas dimensiones dentro de las sucursales del supermercado. El cliente debía poner nota de 1 a 10 en las distintas áreas evaluadas, donde una nota menor o igual a 5 es interpretada como “insatisfacción”. En el gráfico a continuación, se muestra un promedio de la calificación general de los clientes para cada ítem evaluado, donde se indica el porcentaje de clientes que calificó con nota menor o igual a 5 dicha dimensión. Como se aprecia, la dimensión “Atención de personal de cajas” es la peor evaluada, teniendo un 16,7% de desaprobación por parte del cliente.

Gráfico 3: Resultados generales por dimensión en encuesta de satisfacción



Fuente: Encuesta realizada por la cadena de supermercados, año 2011.

En la presente memoria, se pretende mejorar la experiencia de compra del cliente de una cadena de supermercados apoyándolo a gestionar su sistema de cajas. Para ello, se definirá la adecuada oferta de cajas del supermercado en un período de tiempo determinado y en momentos de subdotación y sobredotación, basado en los datos transaccionales (provenientes de las boletas) de la empresa y observaciones en terreno. Con esto se pretende disminuir la fuga de clientes insatisfechos y los costos asociados a las horas ociosas del personal. Para ello, se analizarán los momentos de dotación en cajas que ha tenido el supermercado y se recomendarán acciones de dotación para mejorar dichos problemas.

II. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO Y JUSTIFICACIÓN

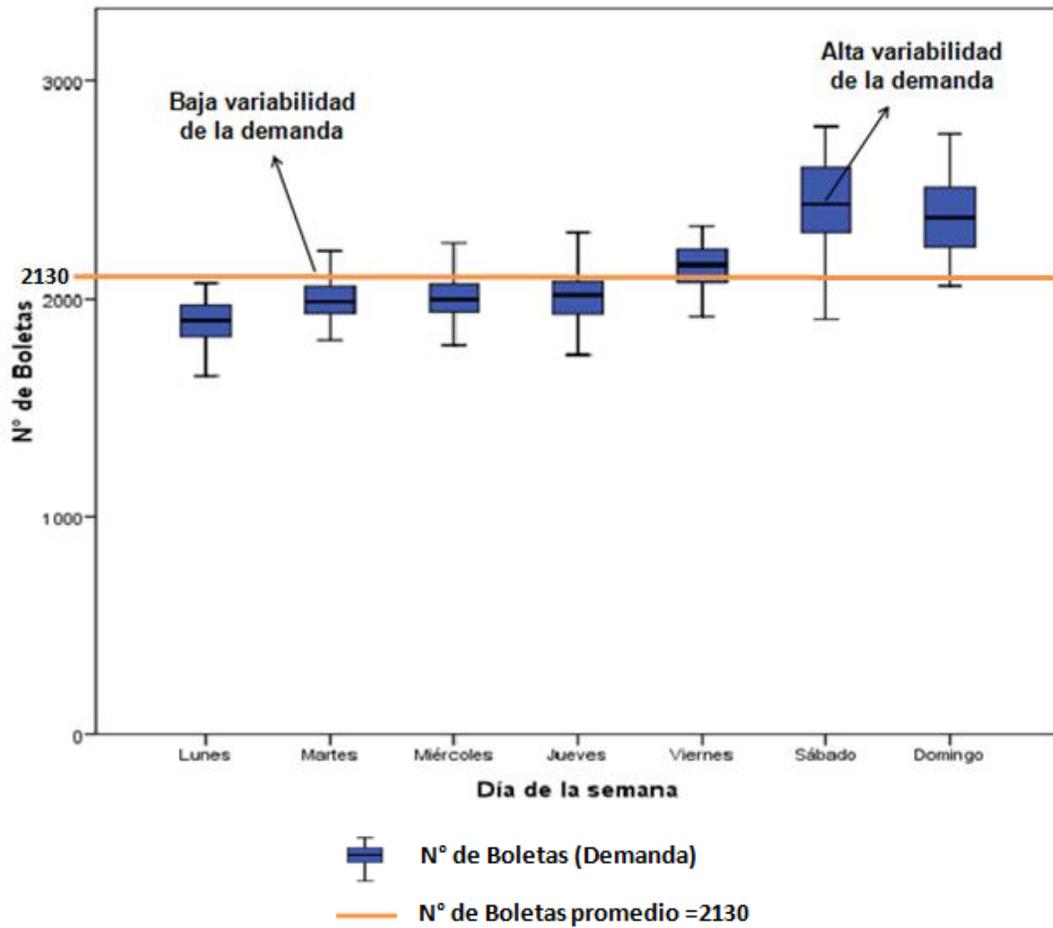
Uno de los grandes problemas que tienen hoy en día los supermercados son las filas o colas en las cajas, las que pueden ser definidas como desbalances transitorios entre la oferta de las cajas y la demanda del local. Una cantidad de cajas mayor que la oferta trae consigo costos innecesarios por personal ocioso, y por el contrario, una demanda mayor que la oferta de cajas, trae consigo los costos de los clientes insatisfechos, la fuga de éstos y el no retorno de dichos clientes al supermercado. Es por ello que la experiencia en la caja del supermercado debe ser lo más cómoda y eficiente posible a ojos del cliente, ésta es clave para que el cliente quede satisfecho con el servicio recibido y repita su visita.

Luego de esto surge la inquietud: ¿Cómo se puede realizar una gestión eficiente de la oferta de cajas disponibles, balanceándose con la demanda a un correcto nivel de servicio?

Generar el balance entre la oferta y la demanda no es fácil, pues la demanda de los supermercados es bastante variable, tanto a lo largo del día como en los meses del año, y puede tener alzas y bajas inesperadas, las que podrían prevenirse realizando un estudio previo. Si no se realiza este estudio previo de la demanda del supermercado y la asignación de cajas disponibles se realiza en base a la experiencia y contingencias del momento, el supermercado podría caer en problemas de subdotación y sobredotación, no logrando el balance deseado entre la oferta de las cajas y la demanda del local.

De modo de justificar lo mencionado anteriormente, a continuación se presentan los datos provenientes del punto de venta (POS) de la sucursal Ñuñoa del supermercado a estudiar, correspondientes a la variación de las ventas diarias de dicho local. En él se observa que la variabilidad de la demanda aumenta hacia el fin de semana, siendo mayor al promedio semanal de boletas. Más adelante se mostrará que este supermercado será elegido para realizar el estudio.

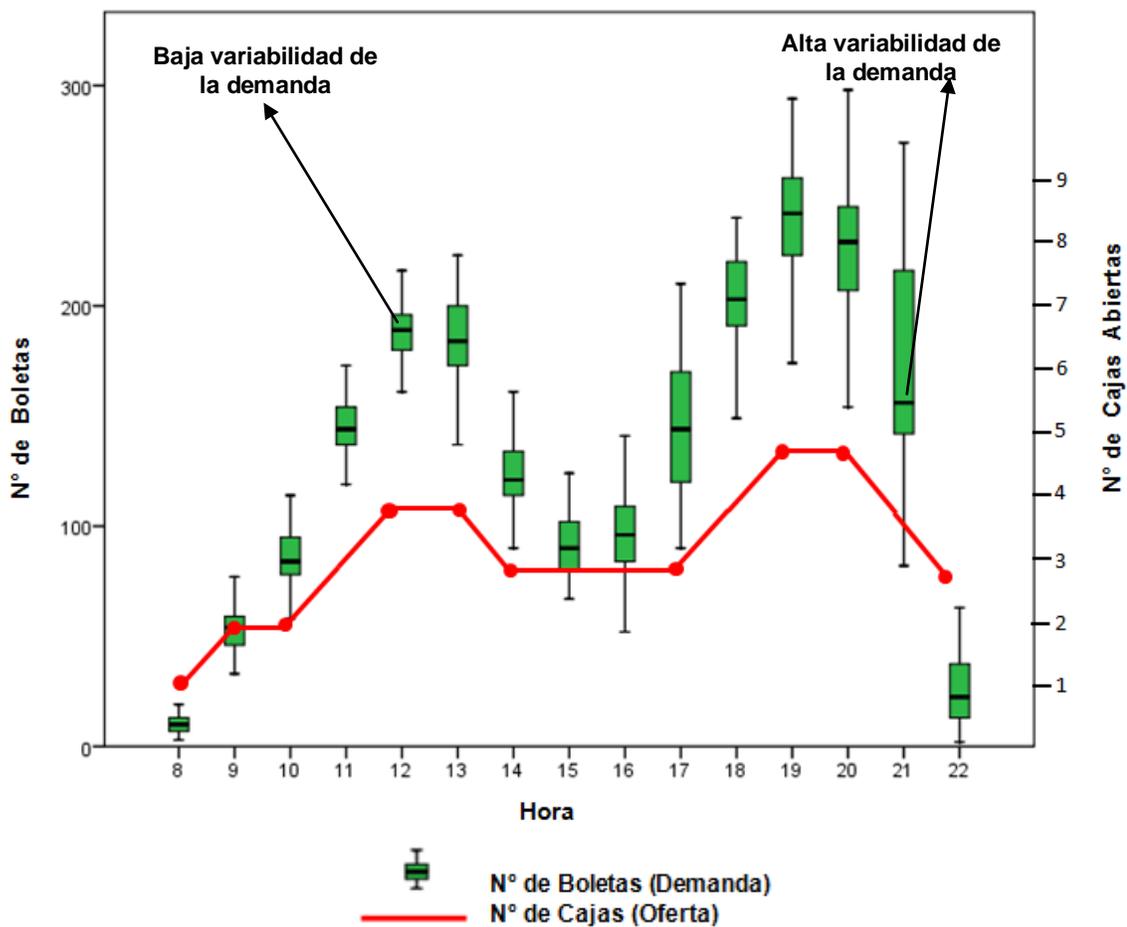
Gráfico 4: Variación de boletas diarias sucursal Ñuñoa



Fuente: Elaboración propia

En el siguiente gráfico, se observa que las ventas también varían durante el día y que la oferta de cajas disponibles es casi constante durante las horas de mayor variabilidad de demanda (entre 3 y 5 cajas), cuando el máximo de cajas de la sucursal es 9. Éstas podrían ser distribuidas de mejor manera durante el día, incluso se podrían abrir más cajas en los peak de demanda (a las 13 y 19 horas), pues en estos horarios podría existir subdotación y se podría estar entregando un mal servicio al cliente.

Gráfico 5: Variación de ventas por hora, día martes sucursal Ñuñoa



Fuente: Elaboración propia

Aun cuando las curvas de la oferta y la demanda del gráfico anterior poseen la misma forma, el supermercado en la actualidad no tiene manera incorporar la variabilidad de la demanda observada con una oferta casi constante de cajas. Sólo es consciente de ello cuando se han formado las colas en las cajas y cuando se ha tenido que reaccionar en el momento. Por ello, en base al gráfico anterior, a las 19 horas puede que las 5 cajas que están abiertas no den abasto con la demanda del horario, por lo que se tendrán que hacer modificaciones de dotación de cajas en ese horario para mejorar el servicio.

Con esta memoria se pretende, a partir de datos específicos recogidos del POS de dos sucursales de la cadena de supermercado en estudio, generar un modelo de gestión del sistema de cajas, eventualmente replicable para cualquier supermercado.

Particularmente, las conclusiones de este trabajo pretenden apoyar a la cadena de supermercado en estudio a gestionar la oferta en cajas para satisfacer la demanda, identificando momentos de posible bajo nivel de servicio (subdotación) y otros de

tiempo ocioso (sobredotación), con el fin de disminuir los costos asociados y generar recomendaciones de dotación con respecto a ambas situaciones. Con ello, se espera definir la cantidad de cajas necesarias en cada momento del día dependiendo de la demanda, mediante el diseño de un sistema de alarma en línea que esté conectado con los datos transaccionales del POS, de manera de monitorear el desempeño del sistema de cajas en todo momento, evaluar distintos cambios de oferta que se hayan producido y detectar posibles momentos de subdotación y sobredotación, para adelantarse en la solución de eventuales problemas.

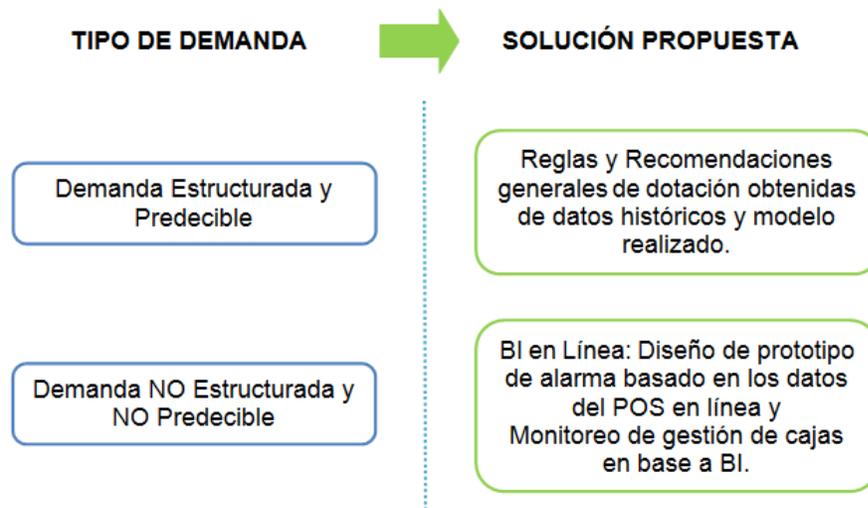
En años anteriores, han sido publicadas diversas memorias del Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad de Chile, que definen una óptima dotación de personal para tiendas de especialidad y tiendas por departamento. A continuación, se mencionan algunos de los trabajos realizados:

- Bravo, Humberto (2010), “Metodología para optimizar dotación de personal en tiendas de especialidad” [7].
- Reyes, María José (2009), “Modelo de optimización de personal para una Tienda por departamento” [24].
- Amar, Zacarías (2007), “Optimización y planificación de turnos de la fuerza de venta en Empresas La Polar S.A” [2].

En los trabajos mencionados se han obtenido importantes resultados mediante modelos de optimización utilizando los datos transaccionales. Sin embargo, no se han elaborado estudios realizando la intersección de dos fuentes de datos, como son los datos transaccionales del POS y las mediciones en sala. En la presente memoria se realizará el cruce de ambos datos, generando un modelo simple y rápido de implementar, que a partir sólo de datos transaccionales pueda ser utilizado en línea para mejorar la gestión de las cajas en el supermercado.

Además, el modelo a proponer en la presente memoria podrá apoyar las decisiones de gestión de cajas de la cadena de supermercado en estudio, independiente de la variabilidad de la demanda y de la capacidad de predicción de ésta. Si ésta es predecible y sigue un comportamiento esperado y estructurado, se definirán reglas y se generarán recomendaciones de dotación en las alzas y bajas de demanda estimadas y conocidas. Por ejemplo, en vísperas de fines de semana largo y de feriados irrenunciables se ha estudiado que la demanda aumenta, y durante los fines de semana largo, la demanda es menor que un fin de semana normal. Por el contrario, si la variabilidad de la demanda es impredecible durante las horas del día (va cambiando hora a hora de forma inesperada), se diseñará un prototipo de sistema de alarma en línea que permita controlar y evaluar cambios con respecto a la oferta de cajas y detectar a tiempo problemas de dotación. Lo explicado anteriormente se expresa en la siguiente figura:

Figura 1: Decisiones de gestión de cajas propuestas según tipo de demanda



Fuente: Elaboración propia

La memoria se realizó en la empresa Penta Analytics S.A., donde se cuenta con la información transaccional de la cadena de supermercados a estudiar, para analizar la demanda de clientes y la oferta de cajas, y donde se cuenta con el apoyo profesional para realizar el presente trabajo.

III. OBJETIVOS

3.1 GENERAL

Definir la dotación de las cajas de un supermercado utilizando datos transaccionales y observaciones en sala, para su correcta gestión en momentos de subdotación y sobredotación del sistema.

3.2 ESPECÍFICOS

- Caracterizar eventos de subdotación y sobredotación del sistema de cajas del supermercado.
- Estimar el largo promedio del número de personas en la cola, para cada rango horario del sistema de cajas del supermercado.
- Entregar la cantidad de cajas que cumpla con un nivel de servicio establecido y que reduzca el tiempo ocioso del personal.
- Evaluar cambios dentro del sistema de cajas mediante un análisis de sensibilidad de un modelo de simulación.

- Diseñar un prototipo de alarma basado en los datos transaccionales del POS.

IV. ALCANCES

Los alcances de esta memoria son los siguientes:

- Se resolverá un problema de dotación de cajas del supermercado, entregando el número de cajas necesarias para enfrentar la demanda del local, según rango horario y día, no se resolverá un problema de scheduling de personal.
- La metodología del proyecto está orientada a realizar mejoras en la dotación actual del sistema de cajas, en momentos donde existe sobredotación o subdotación. En este sentido, se propondrá aumentar o disminuir el número de cajas funcionando en dichos momentos y se propondrán recomendaciones generales para el futuro.
- Se abarcarán solo los supermercados de la cadena a estudiar de la Región Metropolitana elegidos en una primera instancia para analizar sus datos transaccionales, en los cuales exista subdotación y sobredotación. Las sucursales de escogidas son Vitacura y Ñuñoa.
- El modelo propuesto, sus resultados, las reglas y recomendaciones entregadas no se implementarán ni se propondrá su implementación al supermercado.

V. METODOLOGÍA

La metodología que se utilizará en el presente proyecto es explicada a continuación:

5.1 ELECCIÓN DE SUCURSALES A ESTUDIAR

En primer lugar, se escogerán las sucursales de la cadena de supermercado a estudiar con las cuales se trabajará en el proyecto. Para ello, se elegirán sucursales donde:

- a) El nivel de servicio en cajas es evaluado como bajo, lo que se verificará mediante encuestas de satisfacción realizadas.
- b) Su participación es significativa dentro de la cadena, lo que se verificará con las ventas de cada local.

5.2 ESTUDIO DE DATOS TRANSACCIONALES DEL POS Y DE LA SITUACIÓN ACTUAL

En esta etapa se analizará la situación actual de las sucursales escogidas, estudiando su oferta y demanda mediante los datos históricos del POS, obteniendo

cuáles fueron los momentos de subdotación y sobredotación de los supermercados durante el período de estudio.

5.2.1 Análisis de datos

En esta etapa, se realizarán las siguientes actividades:

- Se cargarán los datos transaccionales de los supermercados escogidos.
- La información será estandarizada para obtener una estructura de datos acorde a las variables que interesan para este proyecto, las cuales son: número total de boletas, número total de productos, número de productos por boleta y número de cajas en funcionamiento.
- Se agregarán las transacciones a nivel de rango horario para establecer la cantidad de transacciones y cajas en funcionamiento en cada momento del día.
- Se analizará la trayectoria de la demanda para identificar potenciales momentos en que el sistema muestra subdotación o sobredotación.
- Se realizará un análisis acabado de la oferta de cajas abiertas y de la demanda de éstas en cada rango horario, para detectar factores que condicionan momentos de subdotación y sobredotación del sistema cajas.

5.2.2 Análisis de la situación actual

Luego de realizar el análisis de la oferta y la demanda mediante los datos transaccionales, se generarán hipótesis de acciones de apertura y cierre de cajas en los momentos de subdotación y sobredotación encontrados, para luego validarlas con el modelo.

- Se definirá un indicador de ocupación por caja que revele momentos en que el supermercado tuvo una alta o baja demanda en relación a la oferta de cajas en funcionamiento.
- Se definirán las primeras reglas de dotación, expresadas en acciones de apertura, mantención y cierre de cajas. Estas reglas serán complementadas con el indicador para obtener los primeros resultados de la situación actual de los supermercados escogidos, es decir, se obtendrán hipótesis de cuándo y a qué hora se debió abrir o cerrar una o más cajas.

En esta etapa se definirá la subdotación y la sobredotación a partir del indicador de ocupación por caja y sin incorporar un nivel de servicio establecido. Se realizará de esta forma pues previo a la medición en sala los únicos datos con los que se cuenta para realizar un diagnóstico de la situación actual son los provenientes del POS. Posteriormente, se incorporará un nivel de servicio a cumplir que condicionará la subdotación y la sobredotación.

5.3 CARACTERIZACIÓN DE SUBDOTACIÓN Y SOBREDOTACIÓN

Una vez realizado el estudio de la situación actual, se realizará la caracterización de los momentos de subdotación y sobredotación para las sucursales elegidas. Para

ello, se identificarán los días y rangos horarios donde se repitieron los problemas de subdotación o sobredotación, es decir, cuándo se debió aumentar o disminuir frecuentemente el número de cajas en funcionamiento.

Para esta etapa, se realizarán Árboles de Decisión [12, 23] que muestren las variables relevantes y determinantes en la subdotación y sobredotación del sistema.

5.4 MEDICIÓN EN SALA

En base a la caracterización realizada, se realizará la medición en sala, la cual comprende lo siguiente:

5.4.1 Medición del largo de cola

Se medirá el largo de la cola de cada caja abierta en intervalos de tiempo dentro de cada rango horario. De esta forma, se obtendrá un promedio del largo de cola por caja en cada intervalo. El largo de cola resultante será el input para el modelo de regresión [15].

Además, a partir de la observación en sala y de los datos obtenidos, se definirá un largo de cola que corresponda a un correcto nivel de servicio, el que también será validado con juicio experto.

5.4.2 Medición de tiempos de llegada y de atención

Se medirán los tiempos de llegada y los tiempos de atención de los clientes en sólo una caja del supermercado, para encontrar las distribuciones de los tiempos entre llegadas y de los tiempos de atención. Con lo anterior, se realizará la simulación del sistema de cajas en el instante de medición [8].

5.5 MODELACIÓN

En esta etapa se realizarán dos modelos, cuyos objetivos son estimar el largo de la cola y validar las recomendaciones de dotación. A partir de ellos, se podrán validar y cuantificar las hipótesis realizadas con anterioridad, pues se incorporará el cumplimiento de un nivel de servicio establecido.

5.5.1 Modelo de estimación del largo de cola

Con los datos obtenidos de la medición del largo de la cola, se realizará un modelo de regresión lineal que estime el largo de la cola para cada día y rango horario [15].

Las variables que se utilizarán en este modelo son:

- Variable dependiente: Máximo largo de cola promedio observado en el rango horario.
- Variables independientes: Indicador de ocupación, número de boletas, número de transacciones, número de cajas, día y hora.

Se escogieron las variables mencionadas pues se relacionan con elementos utilizados en la teoría de colas, por ejemplo, el tiempo de atención de cada servidor está relacionado con la cantidad de transacciones y con el número de cajas en ese instante, lo que a su vez varía dependiendo del día y del horario.

Con el modelo obtenido, se estimará el largo de la cola del período analizado y luego se irá variando el número de cajas para obtener el largo que cumpla con el nivel de servicio establecido anteriormente.

5.5.2 Modelo de simulación del sistema de cajas

A partir de las distribuciones del tiempo entre llegadas y del tiempo de atención, se construirá un modelo de simulación del sistema de cajas en donde se podrá analizar el comportamiento del sistema frente a variaciones de la cantidad de cajas en funcionamiento. De esta manera, será posible comparar el aumento o disminución de cajas realizado, así como también resultados generales de ambos modelos [8].

5.6 GENERACIÓN DE RECOMENDACIONES Y REGLAS DE DOTACIÓN

Finalmente, utilizando la caracterización de eventos de subdotación y sobredotación y los resultados de la modelación, se generarán:

- a) Recomendaciones de dotación para los locales, las que tomarán en cuenta los momentos críticos actuales, donde se repiten constantemente los problemas de subdotación y sobredotación. Para estos momentos, se sugerirá un aumento o disminución de las cajas.
- b) Un sistema de alarma utilizando la información del POS, donde mediante indicadores se puedan identificar posibles momentos de subdotación y sobredotación en el sistema y se puedan realizar mejoras rápidamente.

VI. RESULTADOS ESPERADOS

Los resultados esperados al finalizar la memoria son:

1. Un modelo de regresión que entregue el largo de la cola estimado y una medida de la calidad de la predicción.
2. Un análisis de sensibilidad para cambios dentro del sistema cuando se aumentan o disminuyen cajas abiertas, obtenido mediante un modelo de simulación.
3. El número de cajas en funcionamiento de las sucursales elegidas que cumpla con el nivel de servicio establecido.
4. Recomendaciones de dotación según patrones encontrados de subdotación y sobredotación por local.

5. Reglas de decisión sobre datos transaccionales del POS que permitan agregar o sacar personal de caja en momentos de subdotación y sobredotación.

VII. MARCO CONCEPTUAL

Para colaborar en la comprensión del problema planteado en el siguiente trabajo, se presenta a continuación un marco conceptual, en el cual se explican los temas y términos más importantes correspondientes a dotación y scheduling de personal, teoría de colas y técnicas de marketing para llevar a cabo el trabajo.

El problema de planificación del personal o “staff scheduling” tiene diversos enfoques y aplicaciones [6, 11]. Hay aplicaciones en los sistemas de transporte, como aerolíneas, trenes y buses, donde la literatura los ha llamado “crew scheduling”, aplicaciones en sistemas de salud, los cuales se han llamado “nurse scheduling” [1, 21] y aplicaciones en diversas áreas como servicios de emergencia, call centers, hoteles y tiendas de retail. La aplicación de scheduling en las tiendas de retail se ha basado en los estudios realizados en call centers, ya que los consumidores pueden ser modelados como las llamadas telefónicas y los vendedores pueden ser modelados como telefonistas [26].

En esta memoria, utilizando datos transaccionales y variables observadas en sala, se modelará el sistema de cajas de un supermercado para definir su dotación de cajas en cada momento, utilizando Regresiones Lineales Múltiples, Teoría de Colas y Simulación. Además se utilizará Árboles de decisión para caracterizar momentos de sobredotación y subdotación. Los conceptos anteriores se explican a continuación.

Regresión Lineal Múltiple

El análisis o modelo de Regresión Lineal Múltiple es una técnica estadística que se utiliza para analizar la relación entre una única variable dependiente (Y) y varias variables independientes o explicativas (X). El objetivo de este modelo es usar las variables independientes, cuyos valores son conocidos, para predecir el comportamiento de la variable dependiente.

La forma del modelo es el siguiente:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot X_2 + \dots + \beta_k \cdot X_k + \varepsilon$$

Donde los parámetros $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ indican la magnitud del efecto de cada una de las variables explicativas X_1, X_2, \dots, X_k tienen sobre la variable dependiente Y.

El parámetro β_0 es el término constante o independiente del modelo.

El término ε es el término de error del modelo o perturbación aleatoria.

Para utilizar el modelo de regresión lineal múltiple, es necesario hacer varios supuestos sobre las relaciones entre las variables que afectan al procedimiento

estadístico (mínimos cuadrados) utilizado para la regresión. Los supuestos son los siguientes:

1. El número de observaciones de las variables independientes debe ser mayor o igual al número de parámetros a estimar.
2. Linealidad: Las variables X son determinísticas y linealmente independientes.
3. El término del error es una variable aleatoria con esperanza nula y varianza constante e igual para todas las observaciones de la muestra. Además, se supone ausencia de autocorrelación en las observaciones de la muestra.

$$E(\varepsilon_i) = 0$$

$$\text{VAR}(\varepsilon_i) = \sigma^2 \text{ (Homocedasticidad)}$$

$$\text{COV}(\varepsilon_i, \varepsilon_j) = 0 \quad \forall i \neq j \text{ (Ausencia de autocorrelación)}$$

4. La variable Y es aleatoria, ya que depende del término de error.
5. La distribución del término de error es Normal.

Una vez planteadas las hipótesis básicas y obtenidos los datos de las observaciones para cada una de las variables dependientes e independientes:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_k X_{ki} + \varepsilon_i \quad i = 1, \dots, n$$

Se estiman los valores de los parámetros beta mediante el método de MCO (Mínimos Cuadrados Ordinarios), asegurando así que los parámetros estimados serán lineales, insesgados, óptimos y consistentes. La interpretación de dichos parámetros es directa, ya que indican cuál es el comportamiento de la variable dependiente ante una variación en una unidad de la variable independiente correspondiente.

De esta forma, se pueden realizar predicciones de los valores de la variable dependiente Y a partir de los datos que se tengan de las variables X. El modelo estimado que se utilizará para llevar a cabo la predicción es el siguiente:

$$\hat{Y}_i = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_{1i} + \hat{\beta}_2 X_{2i} + \dots + \hat{\beta}_k X_{ki} + \hat{\varepsilon}_i \quad i = 1, \dots, n$$

Los residuos serán, por definición, las diferencias entre los valores verdaderos de la variable Y y sus valores estimados, es decir:

$$\hat{\varepsilon}_i = Y_i - \hat{Y}_i$$

Coeficiente de determinación R^2 : Este coeficiente indica el porcentaje de la variación total de la variable dependiente explicado por el modelo de regresión. Por ello, mientras más cercano a 1 sea este coeficiente, el modelo de regresión explica mejor la varianza de la variable Y. Este coeficiente se calcula de la siguiente manera:

$$R^2 = \frac{VE}{VT} = \frac{VT - VNE}{VT} = 1 - \frac{VNE}{VT}$$

Donde VE es la varianza explicada por el modelo, VNE es la varianza no explicada y VT es la varianza total [15].

Teoría de Colas y Simulación

Una Cola o Línea de Espera se forma cuando un conjunto de entidades (personas, productos, etc.) demandan un cierto servicio en un momento dado, excediendo la capacidad para prestarlo en ese instante, es decir, se genera un sistema de espera debido a la imposibilidad de atender a un número de entidades mayor a la capacidad de atención del sistema.

Los objetivos de la Teoría de Colas son principalmente: Identificar el nivel óptimo de capacidad del sistema que minimice el costo global del mismo; evaluar el impacto que las posibles alternativas de modificación de la capacidad del sistema tendrían en el costo total de éste; establecer un balance equilibrado ("óptimo") entre las consideraciones cuantitativas de costos y las cualitativas de servicio, prestando así atención al tiempo de permanencia en la cola, por ejemplo, la paciencia de un cliente depende del tipo de servicio en particular considerado y eso puede hacer que un cliente abandone el sistema.

Los elementos básicos que caracterizan un sistema de espera son:

1. Proceso de llegada: El proceso de llegada de las entidades al sistema representa la forma en que las llegadas a la cola ocurren. Generalmente, se caracteriza por el tiempo entre llegadas sucesivas, el cual puede ser determinístico (constante) o estocástico. En este último caso, se representa mediante una distribución de probabilidades.
2. Proceso de atención: El proceso de atención representa la forma en que el servicio es entregado. Generalmente, es caracterizado como el tiempo necesario para completar el servicio, es decir, el tiempo de atención de cada entidad. Este tiempo puede ser determinístico (constante, cada entidad demora lo mismo para cada entidad) o estocástico. En este último caso, se representará mediante una distribución de probabilidades.
3. Número de servidores: En un sistema puede haber uno o más servidores en paralelo. Si hay más de un servidor, cada servidor puede tener su cola individual e independiente de las otras o todos los servidores pueden tener una cola en común. Si una entidad llega y encuentra más de un servidor desocupado, escogerá de forma aleatoria uno para su atención.
4. Capacidad del sistema: Un sistema de atención tendrá capacidad infinita si la cola puede crecer indefinidamente y tendrá capacidad finita si la cola sólo acepta un número acotado de entidades. Si un sistema tiene una capacidad finita y en

un momento dado se alcanza, entonces las entidades que sigan llegando no podrán ingresar al sistema y lo abandonarán.

5. Disciplina de atención: Indica la forma en que se seleccionan las entidades de la cola para ser atendidas. Generalmente se usa un enfoque FIFO (“First In, First Out”), es decir, el primero que llega a la cola es el primero en ser atendido. También existe el enfoque LIFO (“Last In, First Out”), es decir, el último que llega a la cola es el primero en ser atendido. En el enfoque Random se eligen entidades al azar para ser atendidas. Por último, el enfoque también puede ser por prioridad de entidades.

Para formular matemáticamente una cola, se requiere conocer los cinco puntos anteriores con exactitud. Dicha formulación matemática permite conocer, por ejemplo, el número de entidades en la cola en un instante cualquiera, el valor esperado que una entidad permanece en el sistema, el valor esperado de atención de entidades y el tiempo en que el servidor permanece desocupado, entre otros.

La notación de la Teoría de Espera se basa en el siguiente esquema: $A/B/C/D/E$, donde:

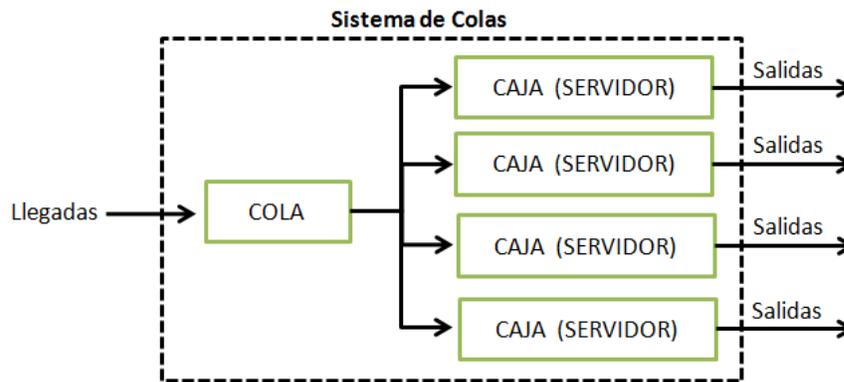
- A: Distribución del tiempo entre llegadas sucesivas. Corresponde a una distribución de probabilidad.
- B: Distribución del tiempo de atención. Corresponde a una distribución de probabilidad.
- C: Número de servidores en paralelo. Se representa numéricamente.
- D: Capacidad máxima del sistema. Se representa numéricamente.
- E: Indica el tamaño de la población que da origen a las llegadas. Si el tamaño de la población es finito, la distribución del tiempo de llegadas se verá afectada por el número de entidades que haya en el sistema (mientras más entidades en el sistema, hay menos llegadas potenciales a éste).

Para las distribuciones de probabilidad, los símbolos usados son:

- M: Para la distribución exponencial.
- E_k : Para la distribución Erlang-k.
- D: En el caso determinístico.
- G: Para una distribución general o arbitrario.

Así, una caja del supermercado podría modelarse como un sistema $M/M/1$, con un proceso de llegada Poisson (tiempo exponencial entre llegadas), tiempo de atención exponencial y sólo un servidor. A continuación se muestra una estructura típica de colas, la cual consta de una llegada común al sistema, cola única y múltiples servidores. Una estructura de este tipo se podría ajustar al sistema de cajas de un supermercado.

Figura 2: Estructura de teoría de colas



Fuente: Elaboración Propia

Estructuras como la anterior pueden ser modeladas y simuladas en el software Arena, con lo cual se pueden alcanzar los siguientes objetivos:

- Identificar el nivel óptimo de capacidad del sistema que minimice el costo global y cumpla con un nivel de servicio óptimo.
- Evaluar alternativas de modificación de capacidad del sistema (modificando la cantidad de servidores).
- Establecer un balance equilibrado ("óptimo") entre las consideraciones cuantitativas de costos y las cualitativas de servicio.

Existen algunas relaciones en la teoría de colas que se satisfacen bajo condiciones bastantes generales, las cuales se basan en principios de conservación del estado estacionario. Una de las más importantes es:

$$L = \lambda \cdot W$$

Donde λ es la tasa promedio de llegada de entidades al sistema, L es el número promedio de entidades en el sistema y W es el tiempo promedio de permanencia de una entidad en el sistema en estado estacionario. En forma equivalente, denotando el número promedio de entidades en la cola y el tiempo promedio de permanencia de una entidad en la cola en estado estacionario, L_q y W_q respectivamente, se tiene:

$$L_q = \lambda \cdot W_q$$

Esta relación se denomina "Fórmula de Little". Una forma de justificar esta fórmula es observando que para un sistema cualquiera en estado estacionario, la tasa de entrada de las entidades al sistema debe ser igual a la tasa de salida. De no ser así, el sistema se estaría llenando o vaciando. En cualquiera de estos dos casos, no existiría estado estacionario que es condición necesaria para la fórmula de Little.

Finalmente, la importancia de la fórmula radica en que se cumple para cualquier sistema que alcanza el estado estacionario, independiente del número de servidores que tenga, capacidad del sistema, del tiempo de atención, etc. [8].

Árboles de Decisión

Un modelo de Árbol de Decisión consiste en un conjunto de reglas para dividir una gran población heterogénea en grupos más pequeños y homogéneos con respecto a una variable objetivo particular. Esta variable objetivo generalmente es categórica.

El árbol de decisión se utiliza para calcular la probabilidad de que un determinado objeto pertenezca a cada una de las categorías, o para clasificar un objeto mediante la asignación a la clase más probable.

Los árboles de decisión tienen tres componentes:

1. NODO: Punto de unión donde se toma la decisión de asignación del objeto a cierta categoría. Existen nodos "Padre" y nodos "Hijo"
2. RAMA: Arco de conexión entre los nodos.
3. HOJA: Es un nodo terminal, donde ha finalizado la asignación de objetos.

Este método se puede aplicar tanto a variables de respuestas categóricas como continuas y permiten a cada nodo padre generar dos o más nodos hijos.

Dentro del grupo de algoritmos que realizan árboles de clasificación y regresión destaca el algoritmo CHAID (Chi-square Automatic Interaction Detection). Esta metodología estudia distintos números de ramificaciones y selecciona el número de ramificaciones óptimo para obtener menor variabilidad dentro de los nodos con respecto a la variable respuesta. El número de ramificaciones posibles varía entre el rango comprendido entre dos ramificaciones y el número de categorías de la variable explicativa seleccionada para discriminar. Las variables explicativas van a ser tratadas como variables categóricas por lo que se deben categorizar determinadas variables continuas empleando algún criterio adecuado.

Este algoritmo CHAID, utiliza el test Chi Cuadrado para evaluar si las subdivisiones del árbol están aportando al resultado final. De este modo, se tiene también un parámetro de corte en el crecimiento del árbol.

El coeficiente del test Chi Cuadrado trata de medir la asociación entre dos variables nominales u ordinales y se define como:

$$\chi^2 = \sum \sum \frac{(\eta_{ij} - \eta'_{ij})^2}{\eta'_{ij}}$$

Donde:

η_{ij} =frecuencia observada de la celda (i, j)

η'_{ij} =frecuencia esperada de la celda (i, j)

Si el coeficiente toma valores cercanos a cero, entonces no hay asociación entre las variables analizadas. A mayor valor del coeficiente, mayor es la asociación entre las variables [12, 23].

Distribución de Probabilidad WEIBULL (α , β)

La Distribución de Weibull es un modelo continuo asociado a variables del tipo tiempo de vida, tiempo hasta que un mecanismo falla, etc. La función de densidad de este modelo viene dada por:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{\beta}{\alpha} \cdot \left(\frac{x}{\alpha}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^\beta} & \text{si } x \geq 0 \\ 0 & \text{si } x < 0 \end{cases}$$

Como se observa, depende de dos parámetros: $\alpha > 0$ y $\beta > 0$, donde α es un parámetro de escala y β es un parámetro de forma (lo que proporciona una gran flexibilidad a este modelo) [25].

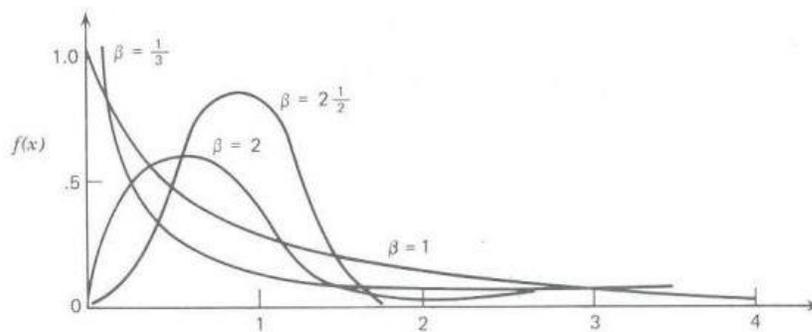
La función de distribución se obtiene por la integración de la función de densidad y vale:

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^\beta}$$

Las propiedades de esta distribución son las siguientes:

1. Si $\beta=1$, entonces se tiene una distribución exponencial.
2. Si $\beta>1$, entonces el modelo tiene forma acampanada. A continuación se muestra cómo varía la forma de la distribución Weibull según sus valores de β .

Figura 3: Forma de la distribución Weibull según valores de β



Fuente: Descripción distribución Weibull [25].

3. Su esperanza y varianza valen:

$$E(x) = \alpha \cdot \Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right)$$

$$V(x) = \alpha^2 \cdot \left\{ \Gamma\left(\frac{2}{\beta} + 1\right) - \left[\Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right) \right]^2 \right\}$$

Donde $\Gamma(x)$ representa la función Gamma de Euler:

$$\Gamma(p) = \int_0^{\infty} x^{p-1} \cdot e^{-x} dx$$

Otro estudio realizado relacionado a la teoría de colas y a la estimación del largo de ésta a partir de datos transaccionales, es el mencionado a continuación:

The Queue Inference Engine

Un estudio que se ha realizado con respecto a la teoría de espera es la llamada “**Queue Inference Engine**” [5, 20], estudio que propone una metodología para deducir el comportamiento de la cola sin tener que realizar observaciones de ella, sino sólo realizando inferencias a partir de los datos transaccionales y el supuesto de llegadas Poisson al sistema.

Para cada período de congestión en el que se forma cola, en frente de uno o varios servidores, es posible obtener las medidas clave de:

- Tiempo promedio de espera en cola.
- Número promedio de personas esperando en cola (dependiente del tiempo).
- Distribución de probabilidad del número de personas esperando en cola en base a una llegada aleatoria de clientes a ella.

La metodología para llevar a cabo el estudio, se construye en base a argumentos estadísticos y en base a una función recursiva que va calculando las medidas anteriores en cada instante del tiempo. Los resultados son correctos para un proceso de llegadas Poisson homogéneo (con un parámetro desconocido) y aproximadamente correctos para el proceso de Poisson heterogéneo (tasa de llegada depende del tiempo).

VIII. REQUERIMIENTOS DE INFORMACIÓN

La información requerida para este proyecto son los datos transaccionales de las sucursales escogidas, para poder analizar su oferta y demanda. Con estos datos se calcularán indicadores de desempeño para poder caracterizar eventos de subdotación y sobredotación.

Los datos transaccionales son los correspondientes a una “boleta” de una sucursal, donde cada uno de los cuales posee:

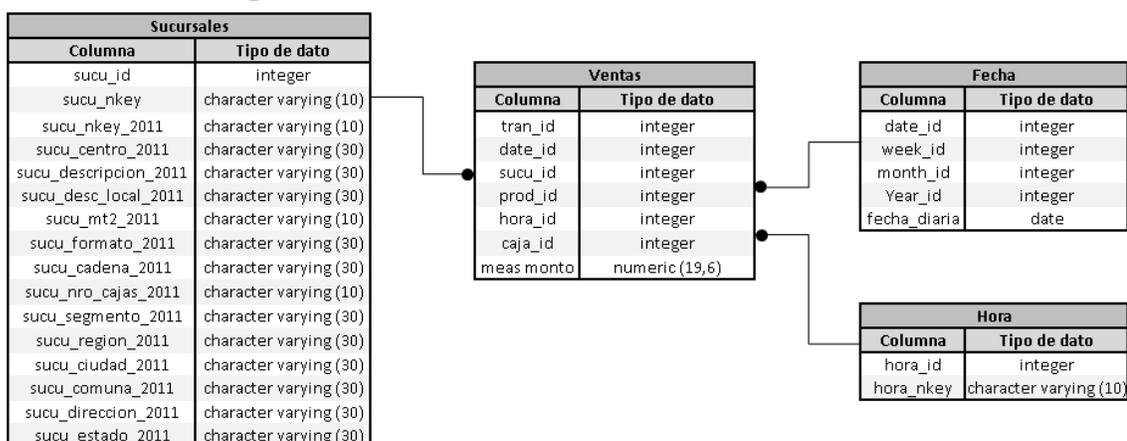
- 1) Fecha.
- 2) Hora.
- 3) Código de boleta.
- 4) Transacciones por boleta.
- 5) Número de caja en la que se realizó la transacción.
- 6) Monto.

Para entender la estructura de la boleta, es necesario distinguir lo siguiente:

- A. Transacción: Cada vez que en caja se verifica un código de barras de un producto o un conjunto de productos iguales, los que se identifican con el código prod_id.
- B. Boleta: Conjunto de transacciones con un mismo código de transacción o tran_id.

La base de datos transaccionales utilizada posee la siguiente estructura:

Figura 4: Base de datos transaccionales utilizada



Fuente: Elaboración Propia

Para realizar el trabajo, se utilizaron los datos transaccionales obtenidos entre el 1 de Junio de 2010 hasta el 31 de Mayo del 2011. Se consideró este período para que los datos no estuvieran influenciados por el terremoto del 27 de Febrero de 2010.

Previo a la utilización de los datos, se eliminaron del registro los feriados irrenunciables, en los cuales los supermercados permanecen cerrados y los datos aparecen sin transacciones. A continuación se muestran los feriados mencionados correspondientes al período analizado:

Tabla 1: Feriados irrenunciables

Motivo Feriado	Día	Fecha
Fiestas Patrias, Independencia Nacional	Sábado	18 de septiembre de 2010
Fiestas Patrias, Día de las Glorias del Ejército	Domingo	19 de septiembre de 2010
Fiestas Patrias	Lunes	20 de septiembre de 2010
Navidad	Sábado	25 de diciembre de 2010
Año Nuevo	Sábado	1 de enero de 2011
Día Nacional del Trabajo	Domingo	1 de mayo de 2011

Fuente: Elaboración Propia

IX. DESARROLLO METODOLÓGICO Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

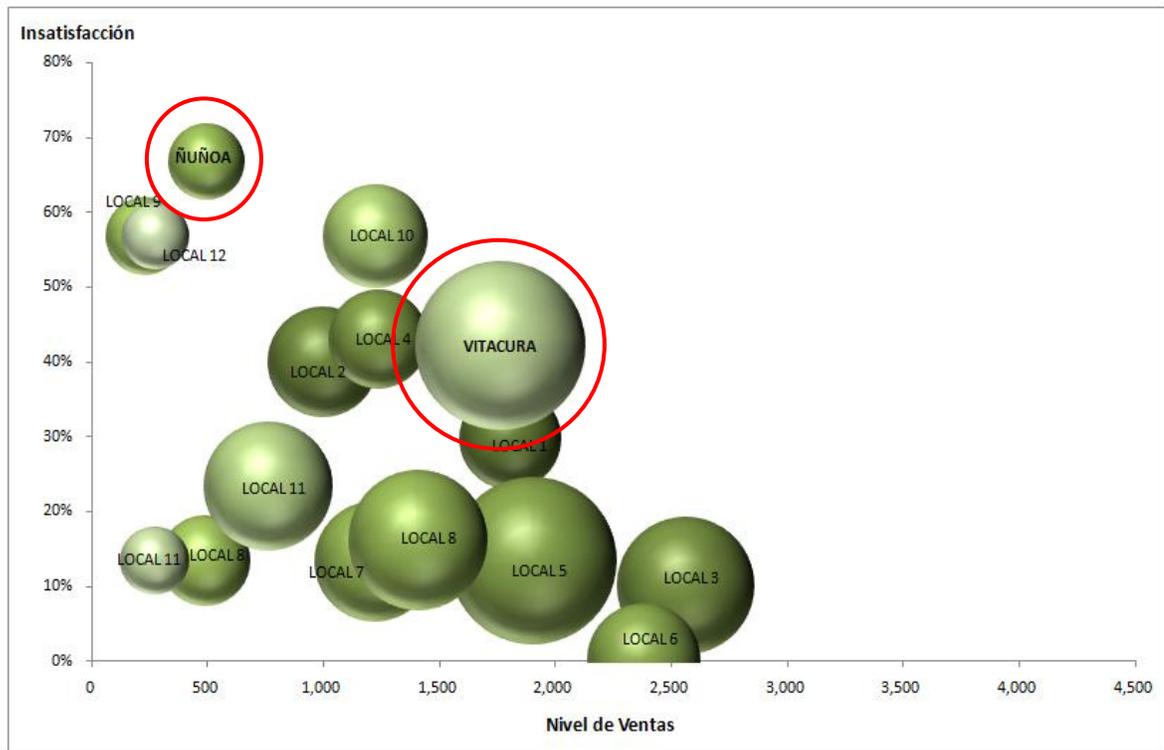
9.1 ELECCIÓN DE SUCURSALES

Para la elección de las sucursales de la cadena de supermercados con las que se trabajará durante este proyecto, se analizó lo siguiente:

- a) El resultado de una encuesta de satisfacción de servicio realizada por la cadena de supermercados a estudiar en el año 2011. De ésta, consideró la dimensión “*Cantidad de cajas funcionando para la cantidad de público esperando*”, estudio que demostró que para ese entonces, la insatisfacción en este ámbito por parte de los clientes es un indicador que el sistema cajas podría ser mejorado.
- b) Las ventas del segundo trimestre del año 2011, para analizar y trabajar sobre sucursales que posean una participación considerable en las ventas de la cadena completa.

En el gráfico a continuación, se muestran las sucursales de la cadena a estudiar de Santiago que no estuvieron cerradas ni en remodelación entre el 1 de Junio del 2010 y el 31 de Mayo del 2011, con su respectivo porcentaje de insatisfacción en el sistema cajas y sus niveles de venta. El tamaño de la burbuja representa los m² de cada sucursal.

Gráfico 6: Mapa insatisfacción en servicio de cajas de las sucursales de Santiago



Fuente: Elaboración propia

Como se observa en el gráfico anterior, la sucursal que presenta un mayor porcentaje de insatisfacción es **Ñuñoa**, con un 67%. A pesar de tener un tamaño pequeño y bajas ventas, se considera que es importante incluirla dentro del proyecto para mejorar su sistema de cajas.

Por otro lado, se aprecia que, de las 15 sucursales candidatas, **Vitacura** posee un porcentaje de insatisfacción de un 42%, lo que supera el promedio que es un 31%. Además, con respecto a sus ventas, Vitacura tiene el 9,3% de participación, y es escogido debido a que las sucursales que la superan tienen una mejor calificación en la calidad de servicio en cajas.

Por lo tanto, las sucursales escogidas son Ñuñoa y Vitacura. En la tabla a continuación, se presentan las características generales de ellas:

Tabla 2: Características generales sucursales escogidas

Característica	Vitacura	Ñuñoa
Tamaño	3.120 m ²	620 m ²
Horario de atención de Lunes a Sábado	8:00 a 22:00	8:00 a 22:00

Horario de atención Domingo	9:00 a 22:00	9:00 a 22:00
Promedio aproximado diario de boletas	3.140	2.100
Promedio aproximado diario de transacciones	18.700	8.100
N° total de cajas	22	9
Monto Promedio por Boleta aproximado	\$ 6.950	\$ 3.070

Fuente: Elaboración Propia

9.2 ANÁLISIS DE DATOS

En esta etapa se realizó el estudio de la oferta y la demanda de las sucursales Vitacura y Ñuñoa para el período de tiempo anteriormente mencionado. Con este estudio, se pudo tener una primera aproximación del comportamiento de la demanda, en términos de su variabilidad en distintos niveles de agregación.

Para el análisis, los datos se agregaron en los siguientes niveles:

- Agregación anual de cantidad de boletas y cantidad de transacciones.
- Agregación diaria de cantidad de boletas y cantidad de transacciones.
- Agregación por hora de cantidad de boletas, cantidad de transacciones y cajas en funcionamiento.

9.2.1 Agregación Anual

Se realizó la agregación anual de las boletas para poder obtener una aproximación de la demanda global de ambas sucursales. Además, a partir del análisis de agregación anual se pudo observar dónde se encuentran los peaks y valles de demanda y outliers del análisis.

A partir de este estudio, se obtuvo la siguiente información general:

Tabla 3: Resumen agregación anual

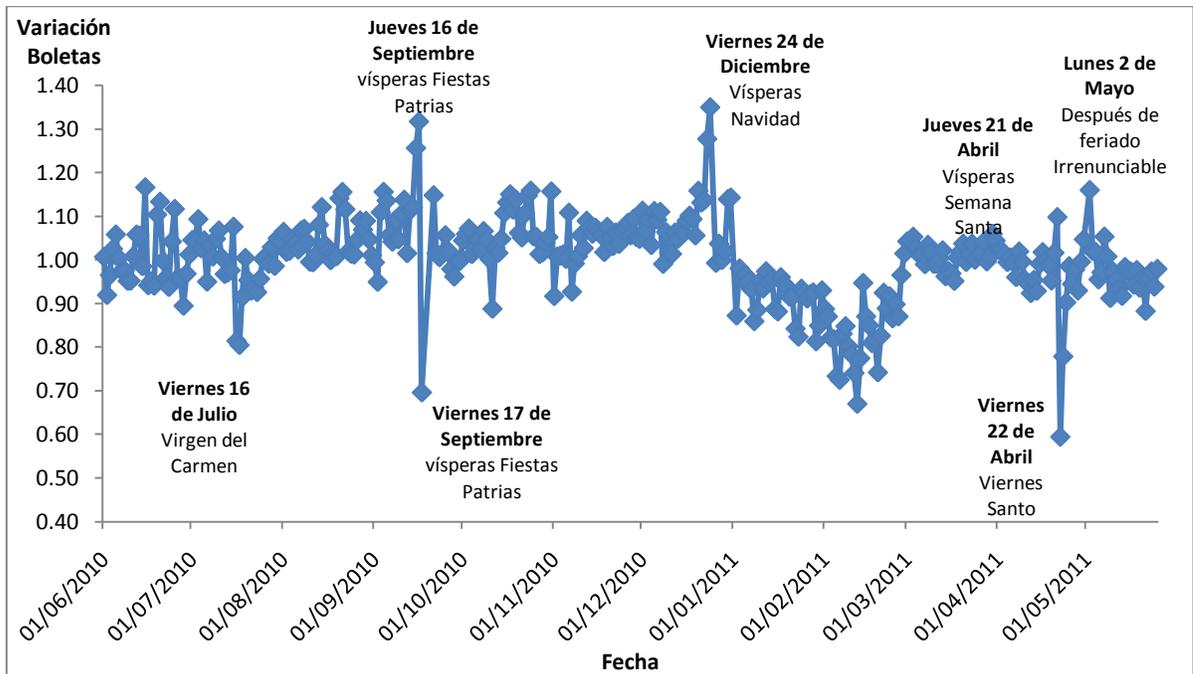
	Vitacura	Ñuñoa
Total días analizados	359	359
Rango horario analizado	8:00 a 22:00	8:00 a 22:00
Total aproximado de boletas	1.125.000	752.000
Total aproximado de transacciones	6.700.000	2.900.000

Fuente: Elaboración Propia

Para encontrar los peaks y valles más relevantes dentro del período analizado, se generaron gráficos normalizados de agregación donde se muestran las variaciones en boletas durante todo el año, de manera de encontrar los peaks y valles más relevantes.

A continuación se muestra el gráfico de la sucursal Vitacura, con la variación normalizada de las boletas con respecto al promedio de éstas. Además, se incluyó una explicación de sus respectivos peaks y valles¹.

Gráfico 7: Variación de boletas sucursal Vitacura



Fuente: Elaboración Propia

A partir del gráfico anterior, se observa una disminución de las ventas en los meses de Enero y Febrero, lo cual es esperable ya que es época de vacaciones. Además, en general, los mayores peaks y valles corresponden a feriados o vísperas de ellos, lo cual indica que dichos días son especiales, en los que podría existir subdotación o sobredotación.

Además de estos peaks y valles más pronunciados, hay otros días especiales que también escapan de la “normalidad” de la demanda (como las vísperas de feriados irrenunciables y fines de semana largo), los que también se intentaron explicar o dejar constancia de ellos, ya que es en estos días donde se puede encontrar deficiencias en el sistema de cajas, generándose subdotación o sobredotación en algunos momentos del día si no se contemplan².

¹ Anexo A: Agregación anual Ñuñoa.

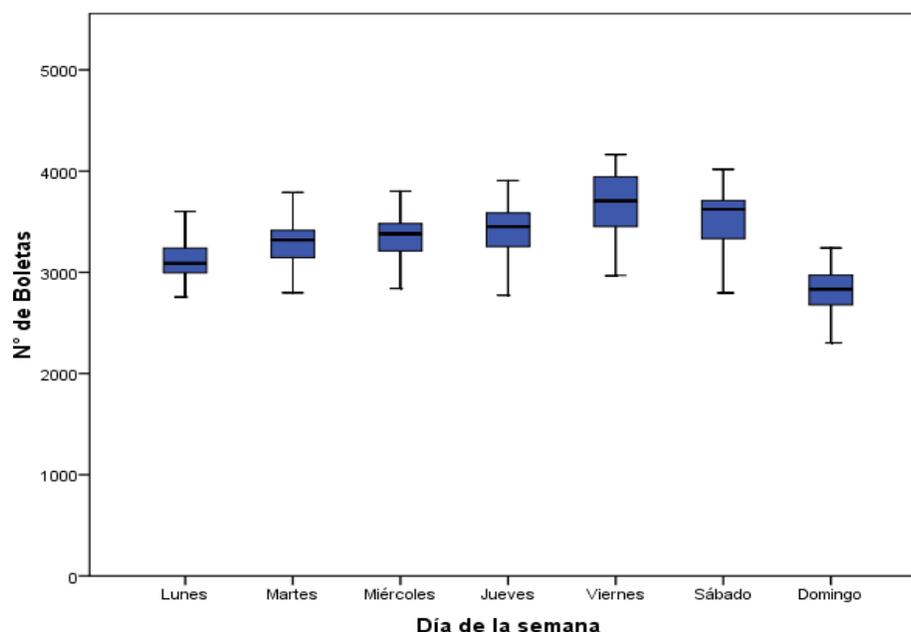
² Anexo B: Días especiales de demanda.

9.2.2 Agregación Diaria

Se estudió la demanda agregada a nivel diario para averiguar si existe relación en la distribución de las ventas entre los días de la semana y para conocer la variabilidad en las boletas que presenta cada día, es decir, si para un determinado día, las ventas son similares todo el año. Este estudio es relevante porque se pueden identificar los días donde la variabilidad de la demanda es mayor, y por lo tanto, donde puede existir un problema de subdotación y/o sobredotación.

En el gráfico a continuación, se puede observar cómo se comporta la venta de la sucursal Vitacura durante la semana y su variabilidad durante cada día, observándose un aumento en las ventas los días viernes y sábado acompañado de una mayor variabilidad que el resto de los días. Además, se observa una disminución de las ventas el día domingo con respecto a los días de semana.

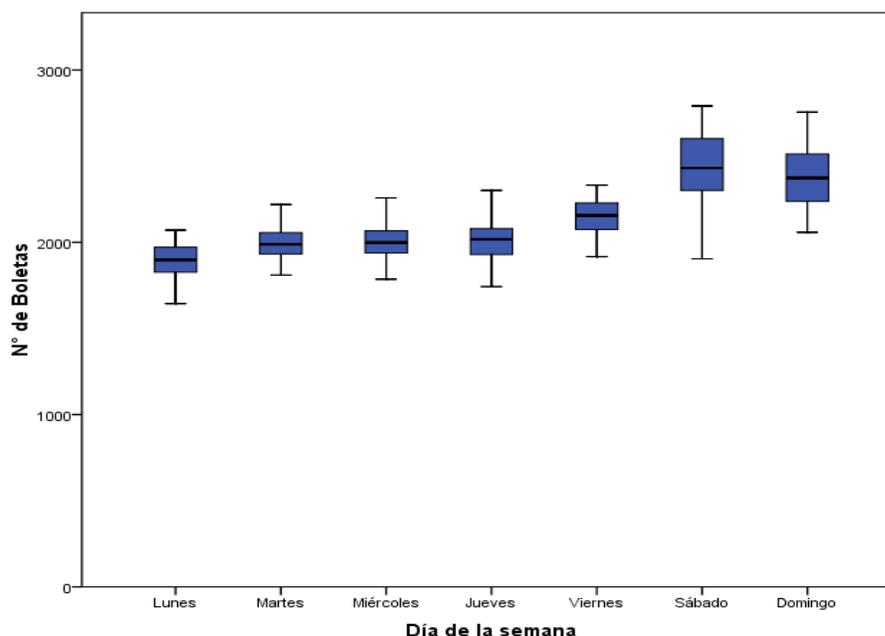
Gráfico 8: Variación de boletas diarias sucursal Vitacura



Fuente: Elaboración Propia

Del mismo modo, en el Gráfico 9 se puede notar que en la sucursal Ñuñoa las ventas durante la semana son bastante homogéneas y constantes, sin embargo, los días sábado y domingo el aumento de ventas viene acompañado de una gran variabilidad de boletas, lo que se traduce en que la venta de un fin de semana puede comportarse totalmente distinta a la del fin de semana anterior. Esto puede traer problemas de una mala gestión en cajas al no prever esta variabilidad.

Gráfico 9: Variación de boletas diarias sucursal Ñuñoa



Fuente: Elaboración Propia

9.2.3 Agregación por Hora

Se realizó el análisis de la agregación de la demanda por hora en ambas sucursales para encontrar cuáles son las horas del día donde existen peaks y valles de demanda y tener una primera aproximación de los horarios donde podría existir problemas de subdotación y sobredotación. Esta agregación se realizó en las siguientes dimensiones³:

1) Cantidad de boletas y transacciones por hora

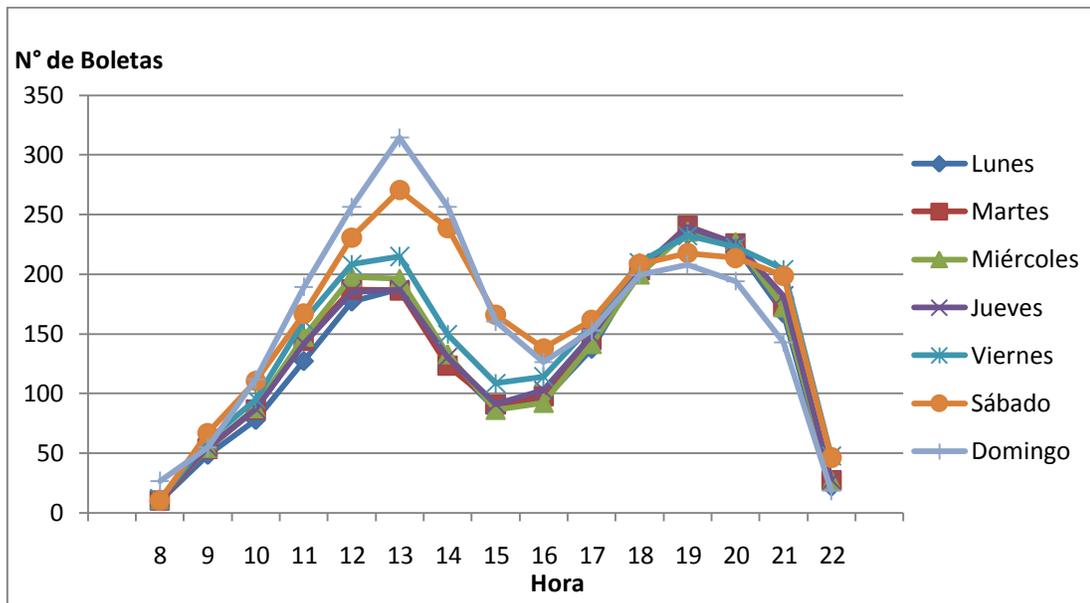
Se calculó la cantidad de boletas y transacciones por hora para conocer la carga de trabajo promedio en cada hora del día. Este análisis es relevante ya que se pueden identificar los horarios donde la demanda es mayor, generándose una posible subdotación. Del mismo modo, este nivel de agregación da luces de problemas de sobredotación en los horarios en que la demanda es menor.

El Gráfico a continuación ilustra la venta en cantidad de boletas de la sucursal Ñuñoa por hora⁴. En él se puede apreciar que los horarios peak fluctúan entre las 12:00 y 14:00 horas y entre las 18:00 y 21:00 horas. Asimismo, se puede ver una baja de demanda alrededor de las 15:00 horas.

³ Ver el análisis para Vitacura en **Anexo C: Agregación por hora Vitacura**.

⁴ Ver carga a nivel de transacciones en **Anexo D: Cantidad de transacciones promedio por hora**.

Gráfico 10: Cantidad de boletas promedio por hora sucursal Ñuñoa



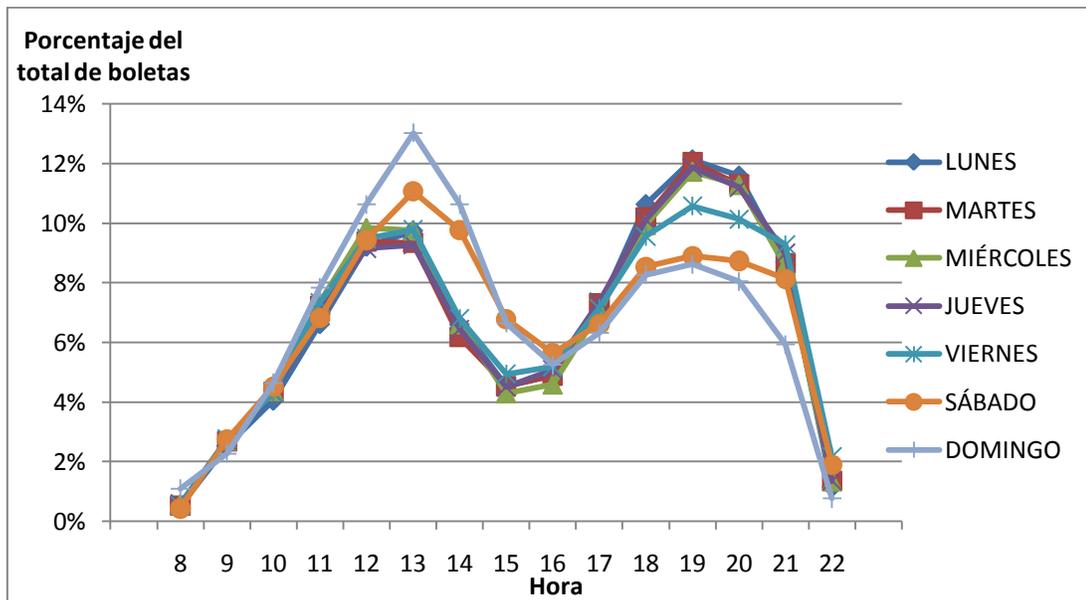
Fuente: Elaboración Propia

2) Distribución de boletas durante el día

El objetivo de obtener la distribución de la venta expresada en cantidad de boletas durante el día es poder analizar cuáles son los horarios donde se concentra la mayor parte de la venta y por lo tanto, en qué horarios enfocar las recomendaciones de dotación futuras.

El Gráfico 11 de la sucursal Ñuñoa a continuación muestra que de lunes a jueves las boletas se concentran después de las 16:00 horas, mientras que viernes, sábado y domingo, éstas se concentran antes de las 15:00 horas. Este análisis da señales de las horas preferenciales de consumo de la clientela del supermercado dependiendo del día de la semana, horas en las que preferentemente se debería tener un buen nivel de servicio en caja.

Gráfico 11: Distribución de la venta a lo largo del día sucursal Ñuñoa.



Fuente: Elaboración propia

3) Cantidad de cajas en funcionamiento a lo largo del día

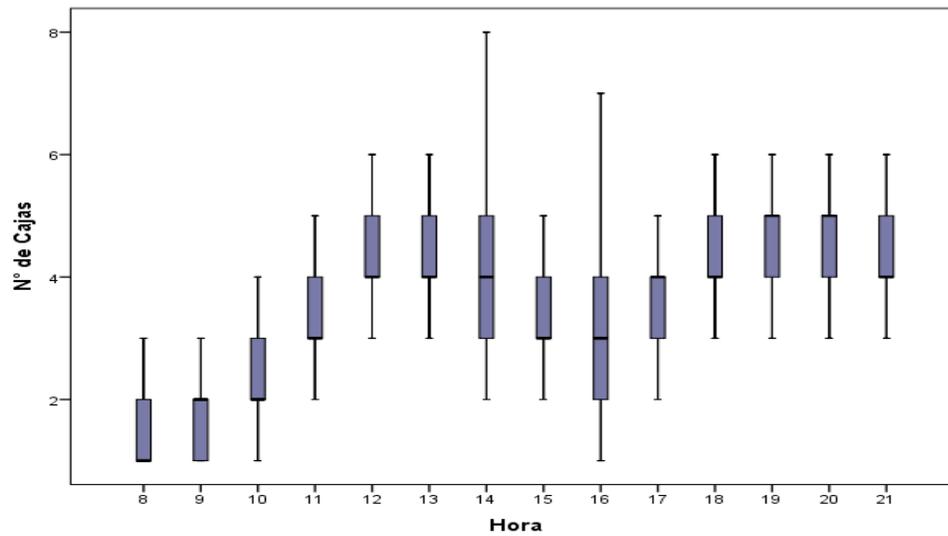
Finalmente, se estudió la oferta de cajas en funcionamiento durante el día para entender si en la asignación actual de cajas se consideran los peaks diarios vistos anteriormente.

A continuación, se muestra la variación de la asignación de cajas disponibles durante el día en la sucursal Ñuñoa⁵ (sucursal que en total cuenta con 9 cajas). En el gráfico se observa que en los horarios donde existe un aumento de demanda, esto es a las 12:00, 13:00, 18:00, 19:00, 20:00 y 21:00, el número de cajas abiertas fluctúa entre 3 y 6, siendo 6 cajas abiertas el máximo encontrado durante todo el año en los horarios mencionados.

Se observa además una gran variabilidad de la disponibilidad de cajas en el caso de las 16:00, donde ésta varía entre 1 y 7 cajas abiertas, aún cuando se observa una baja de demanda en ese horario.

⁵ Ver Variación de cajas funcionando a lo largo del día sucursal Vitacura en **Anexo E**.

Gráfico 12: Variación de cajas en funcionamiento a lo largo del día sucursal Ñuñoa

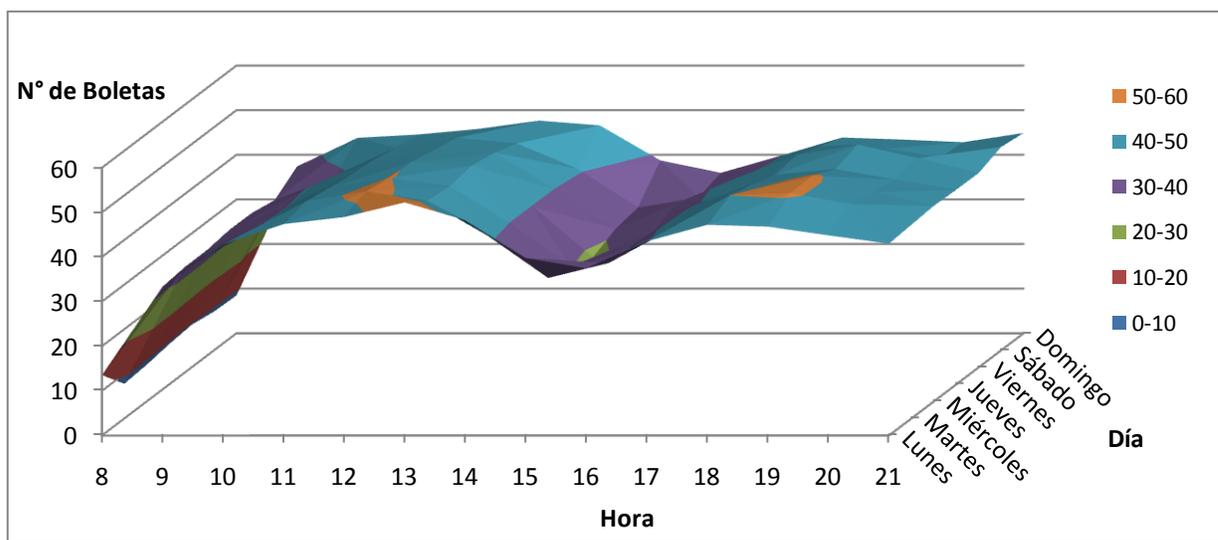


Fuente: Elaboración propia

Las inconsecuencias mencionadas anteriormente llevan a pensar que actualmente en Ñuñoa no existe un sistema o método de asignación de cajas para cada día y hora, sino que se mantiene una cantidad de cajas más bien constante durante el día.

A continuación, se presenta un gráfico con la cantidad de boletas por caja, por día y hora. En él se aprecia que la cantidad de boletas por caja mantiene una forma similar a la demanda, con dos peak diarios y un valle a las 16:00. Esto se debe a que el supermercado de Ñuñoa mantiene una oferta de cajas casi constante, tanto en la semana como durante el día, oferta que no logra cubrir la demanda.

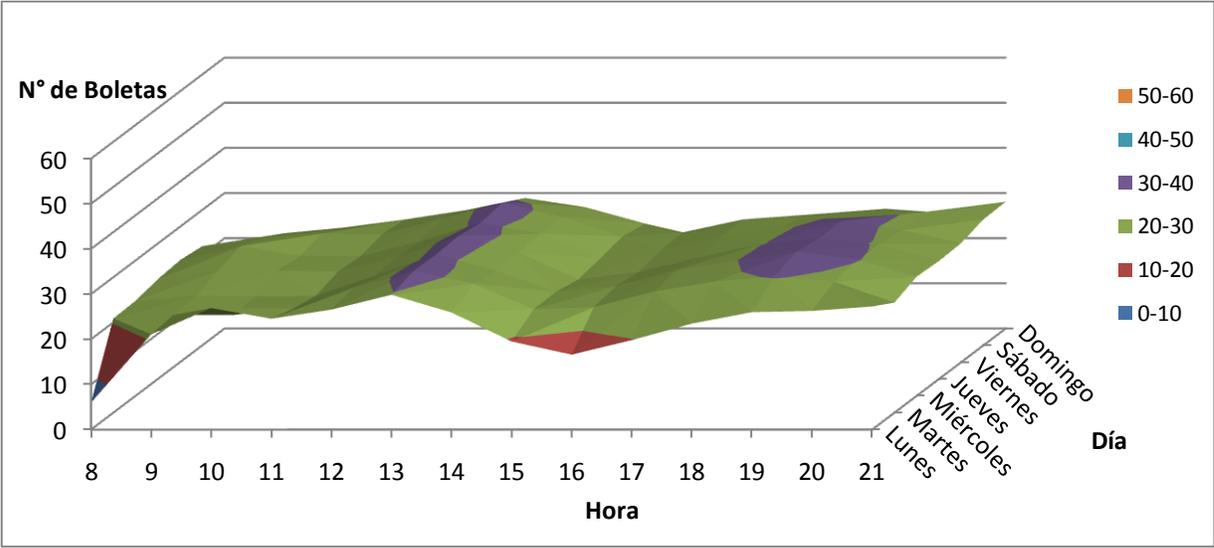
Gráfico 13: Cantidad de boletas por caja Ñuñoa



Fuente: Elaboración propia

Al realizar el mismo análisis anterior para Vitacura, se concluye que este supermercado tiene una mayor variabilidad en la cantidad de cajas en funcionamiento para cada momento del día y un mayor ajuste de cajas abiertas en relación con la carga de boletas. Por ello se puede anticipar que esta sucursal tiene un mayor conocimiento de su demanda, por lo que intenta tener una oferta más dinámica de sus cajas para poder adaptarse a la variabilidad de la demanda. A continuación, se presenta un gráfico con la cantidad de boletas por caja, por día y hora. Se observa, que a diferencia de Ñuñoa, en Vitacura esta cantidad se mantiene constante, lo que reafirma los esfuerzos del local por cubrir la demanda del día.

Gráfico 14: Cantidad de boletas por caja Vitacura



Fuente: Elaboración propia

A partir del análisis preliminar de los datos, se puede concluir que la demanda horaria del supermercado depende principalmente del día de la semana y de la hora del día, observándose diferentes peaks y valles según estas variables. Además, los días especiales analizados, como feriados o fines de semana largos, también determinan la demanda del o los días involucrados.

Estas conclusiones preliminares derivadas del análisis de los datos, serán más tarde validadas con los resultados obtenidos a partir de los modelos y los problemas encontrados.

9.3 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

En esta etapa del proyecto se realizó un análisis de la gestión actual del sistema de cajas de los supermercados estudiados para todo el período analizado, esto es, se tuvo la primera aproximación de qué días y horas posiblemente hubo que aumentar, mantener o disminuir el número de cajas en funcionamiento. Lo anterior fue posible gracias al cruce entre un indicador de ocupación por caja y la oferta de cajas en ese

momento, lo que mediante reglas de dotación permitió obtener los resultados mencionados. En esta etapa no se incluye el cumplimiento del nivel de servicio.

A partir de este análisis de los problemas de dotación, fue posible obtener una caracterización general de aquellos problemas que se repiten frecuentemente para un cierto día y hora en cada sucursal. Luego, sobre esta caracterización se realizaron recomendaciones de dotación para cada local una vez que se obtengan resultados mediante la modelación.

Para esta etapa, los datos transaccionales utilizados fueron el n° de boletas, n° de transacciones y n° de cajas en funcionamiento, agregados por día y rango horario.

A continuación se muestra un ejemplo de esta agregación:

Tabla 4: Ejemplo agregación de datos día sábado 12 de Junio de 2012

Día	Rango Horario	N° de Boletas	N° de Transacciones	N° de Cajas Abiertas
Sábado 12 de Junio del 2010	8 a 9	24	123	3
	9 a 10	97	489	4
	10 a 11	123	875	7
	11 a 12	197	1.534	8
	12 a 13	365	2.618	11
	13 a 14	455	3.472	14
	14 a 15	363	2.633	12
	15 a 16	195	1.209	8
	16 a 17	207	1.282	10
	17 a 18	257	1.652	10
	18 a 19	293	2.193	10
	19 a 20	320	2.221	11
20 a 21	277	1.996	9	
21 a 22	289	1.627	8	

Fuente: Elaboración propia

El total de días durante el año analizado es de 358 y el total de horas es aproximadamente 5.010.

9.3.1 Indicador de Ocupación por Caja

El indicador de ocupación señala por cuánto tiempo estuvo ocupada la caja en una hora del día o en un rango horario. Este indicador está definido de la siguiente manera para cada rango horario:

$$IO = \frac{TB \cdot N^{\circ} \text{ Total Boletas}_{\text{Rango Horario}} + TT \cdot N^{\circ} \text{ Total Trx}_{\text{Rango Horario}}}{N^{\circ} \text{ Cajas Abiertas}_{\text{Rango Horario}}}$$

Donde TB es el tiempo que la cajera se demora en saludar al cliente, pedir su RUT y realizar el pago; y TT es el tiempo que la cajera se demora en realizar la pasada de un producto o realizar una transacción.

El indicador fue definido incorporando el número total de boletas y el número total de transacciones en el numerador, porque se consideró que:

- Al incorporar sólo el número de boletas, no se distinguiría el tamaño de la boleta, y en consecuencia, el tiempo que se utiliza en atender compras con una mayor o menor cantidad de productos, tiempo que igualmente debe ser esperado por la gente en la cola.
- Al incorporar sólo el número de transacciones, se deja de considerar el hecho que el saludo y el pago también es un tiempo que las personas en la cola deben esperar.

Además, los tiempos de atención expresados en el numerador del indicador, fueron normalizados por la oferta de cajas para obtener una medida de qué tan ocupada o desocupada está la cajera en un cierto horario.

Es por lo anterior que la unidad de medida de este indicador corresponde a [minutos/caja]. Este indicador podría transformarse en una medida de “utilización” de la caja en el rango horario (1 hora = 60 minutos), obteniendo el porcentaje ocupado por la cajera en 1 hora correspondiente al rango horario. La utilización se expresa de la siguiente forma:

$$\% \text{ UTILIZACIÓN por caja} = \frac{\text{Indicador de Ocupación}}{\text{Rango Horario}} = \frac{\text{Minutos Ocupados por Cajera}}{1 \text{ hora}}$$

Los tiempos mencionados en el indicador, fueron obtenidos mediante la medición de los tiempos de atención en la sucursal Vitacura en un momento de alta ocupación de las cajas, donde constantemente se observó cola en el sistema.

En la siguiente tabla se muestran los resultados de la medición⁶:

Tabla 5: Resultados medición tiempos de atención

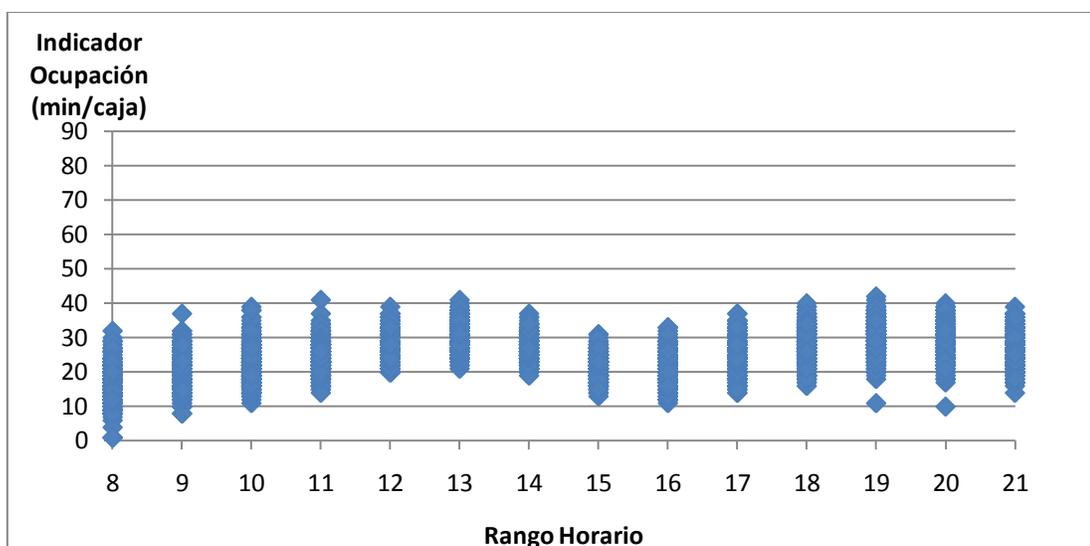
Tiempo (s)	Promedio, 100% de los datos	1° Percentil, 25% de los datos
TB	40s = 0,67min	62s = 1,03min
TT	3,4s = 0,057min	3,4s = 0,057min

Fuente: Elaboración propia

⁶ Ver Anexo F: Medición Tiempos Indicador de Ocupación e Histograma.

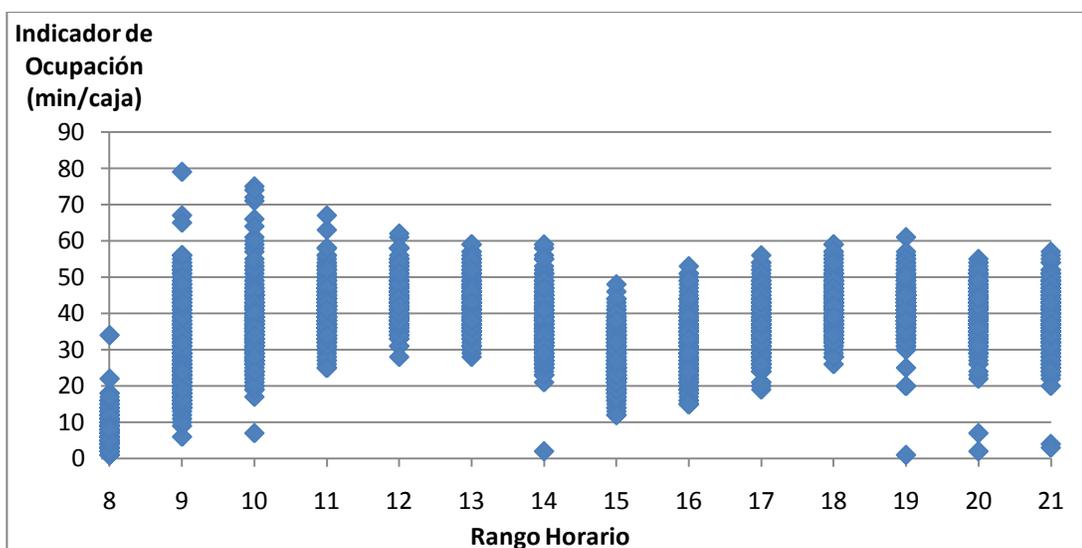
Para calcular el indicador de ocupación se tomará el primer percentil con el 25% de los datos del tiempo por boleta, esto con el objetivo de hacer el indicador más exigente al aplicarlo a todo el período analizado y más tarde al modelo. Cabe destacar que la distribución de los tiempos de atención es bastante concentrada, por ello el percentil utilizado es similar al promedio del total de datos. El indicador se calculó para ambas sucursales, para todos los días y para todos los rangos horarios del día. En los gráficos a continuación, se presentan los valores del indicador para ambos locales según el rango horario.

Gráfico 15: Valores IO según rango horario Vitacura



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 16: Valores IO según rango horario Ñuñoa



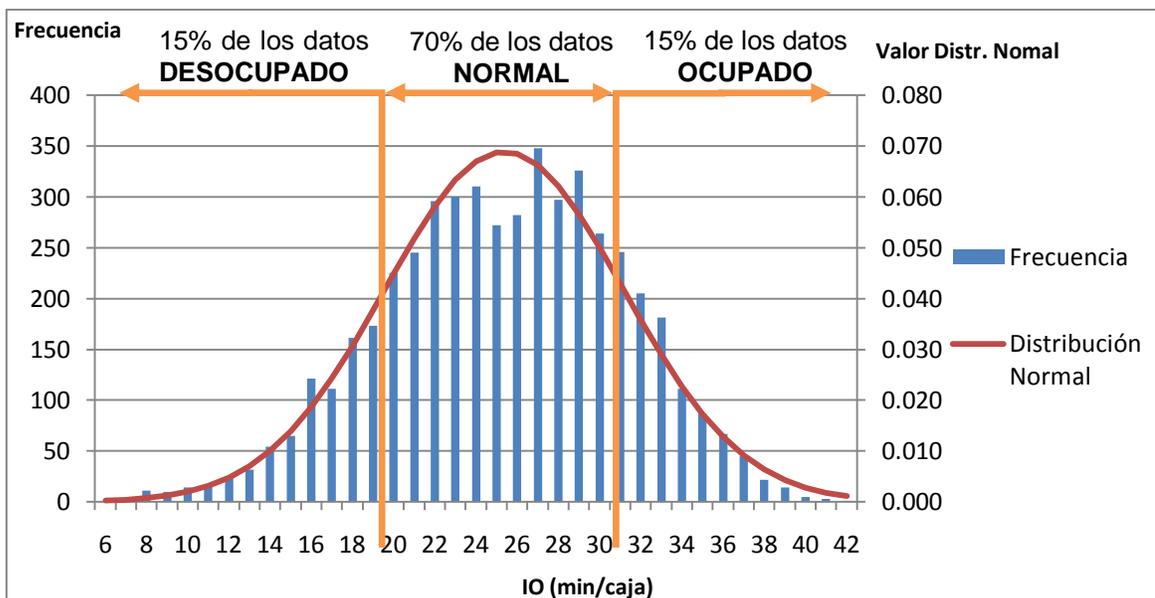
Fuente: Elaboración propia

En los gráficos anteriores se observa que los valores del indicador en Vitacura son menores y más constantes que en Ñuñoa. Como se mencionó en la etapa de análisis de datos, Vitacura realiza una mejor gestión de las cajas, logrando mantener constante la carga de trabajo de las cajeras y con ello, un mejor balance entre la oferta y la demanda.

Por el contrario, Ñuñoa al mantener una oferta más bien constante de las cajas, un aumento en la demanda del local aumenta la carga de trabajo de las cajeras o la ocupación de éstas. Lo anterior, sumado a que en el 0,3% de los casos la ocupación de la cajera es mayor a una hora (duración de un rango horario), dan luces de la existencia de subdotación en algunos horarios del día, que coinciden con el aumento de la demanda.

Como se mencionó, el indicador se calculó para todos los días y para todos los rangos horarios del día, datos que, según su frecuencia, definieron tres rangos del indicador: OCUPADO, NORMAL Y DESOCUPADO. Estos rangos para el indicador de ocupación se calcularon a partir del histograma de éste, tomando el 15% de los datos de los extremos, como lo muestra el siguiente gráfico en el caso de Vitacura. Además, a la frecuencia de los datos se le ajustó una distribución normal de media 25,37 minutos y una desviación estándar de 5,79 minutos. Para el caso de Ñuñoa, la distribución normal ajustada a la frecuencia de los datos tiene media 35,51 minutos y desviación estándar 11,14 minutos⁷.

Gráfico 17: Histograma indicador de ocupación Vitacura



Fuente: Elaboración propia

⁷ Ver Anexo G: Indicador de Ocupación Ñuñoa.

En la siguiente tabla se muestran los resultados del indicador para ambas sucursales, donde se toma el supuesto que ambas poseen un tiempo de atención similar al de la medición:

Tabla 6: Resultados indicadores de ocupación por sucursal

Sucursal	Sistema DESOCUPADO	Sistema NORMAL	Sistema OCUPADO
Vitacura	0 a 19 min/caja	19 a 31 min/caja	Mayor a 31 min/caja
Ñuñoa	0 a 24 min/caja	24 a 45 min/caja	Mayor a 45 min/caja

Fuente: Elaboración propia

9.3.2 Reglas de Dotación

Las reglas de dotación permiten, a partir del indicador de ocupación y de la oferta de cajas, decidir si se AUMENTAN, DISMINUYEN O MANTIENEN las cajas abiertas. A partir del rango del indicador de ocupación (Desocupado, Normal, Ocupado), se asigna el rango de cajas abiertas.

El rango de cajas se definió de la misma manera que el indicador, con un histograma de la oferta histórica de cajas, donde se tomó el valor del 15% de los extremos para definir 3 intervalos, correspondientes a los intervalos del indicador. Estos intervalos se muestran en la tabla a continuación:

Tabla 7: Intervalos de cajas

Sucursal	Rangos de Cajas abiertas		
	Rango 15% Inferior	Rango Intermedio	Rango 15% Superior
Vitacura	(1 a 5]	(5 a 11]	(11 a 22]
Ñuñoa	(1 a 2]	(2 a 5]	(5 a 9]

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla se muestra la lógica de la regla de dotación al relacionar el indicador de ocupación con la oferta de cajas disponibles en diferentes cuadrantes, mostrando cuándo se deben AUMENTAR, MANTENER o DISMINUIR cajas:

Tabla 8: Lógica de reglas y acciones de dotación

ACCIONES DE DOTACIÓN			
INDICADOR DE OCUPACIÓN POR CAJA	RANGOS DE CAJAS		
	RANGO INFERIOR	RANGO INTERMEDIO	RANGO SUPERIOR
DESOCUPADO	CERCANO AL ÓPTIMO ✓	DISMINUIR ↓	DISMINUIR ↓
NORMAL	AUMENTAR ↑	CERCANO AL ÓPTIMO ✓	DISMINUIR ↓
OCUPADO	AUMENTAR ↑	AUMENTAR ↑	CERCANO AL ÓPTIMO ✓

Fuente: Elaboración propia

Con respecto a la tabla anterior, se definió que el estado cercano al óptimo del sistema de cajas cuando el indicador está “DESOCUPADO”, es tener el rango 15% inferior de las cajas abiertas, cuando está en “NORMAL” se refiere al rango intermedio y cuando el indicador está en “OCUPADO”, lo cercano al óptimo corresponde al rango 15% superior de las cajas abiertas, rangos que dependen de cada sucursal como ya se mencionó.

Cabe destacar que los cortes del 15% en los histogramas, definidos para construir las reglas de dotación tanto para la frecuencia del indicador de ocupación como para la frecuencia de las cajas abiertas, podrían ser modificados y adaptados a cada local. En este caso, se realiza el supuesto que todas las cajas disponibles en ambos locales son utilizadas y que éstas son proporcionales al indicador de ocupación. Por ejemplo, en este caso se supuso que al tener un indicador de ocupación con un valor correspondiente al 15% mayor, se debería tener una cantidad de cajas abiertas también correspondiente al 15% mayor del total de las cajas.

Las reglas de dotación definidas anteriormente, en la realidad podrían tener una limitación si la relación entre el indicador y las cajas no es proporcional como se estableció, pues no incorporan un nivel de servicio. Por ejemplo, si el indicador de ocupación se encuentra en el rango 15% superior de éste (OCUPADO) y si la cantidad de cajas disponibles se encuentra en su rango intermedio, la regla de dotación indicará aumentar el número de cajas habilitadas. Sin embargo, como el indicador de ocupación no incorpora el cumplimiento de un nivel de servicio, puede que en dichas condiciones se esté entregando un buen nivel de servicio y no sea necesario abrir más cajas, invalidando la regla.

Es por la limitación mencionada anteriormente que las reglas de dotación serán utilizadas para realizar un diagnóstico inicial de la gestión de las cajas de ambos supermercados, el que será complementado más adelante con un modelo que indique

el número de cajas disponibles en cada momento, incorporando el cumplimiento de un nivel de servicio expresado en el largo de la cola.

Finalmente, será útil recurrir a la caracterización realizada a partir de los resultados de las reglas de dotación, para diagnosticar los momentos de subdotación y sobredotación de la sucursal elegida para la medición en sala. Lo mencionado limitará la medición del largo de cola a los momentos con problemas de dotación encontrados en la caracterización.

9.3.3 Resultados Hipótesis de Acciones de Dotación

Las reglas de dotación fueron realizadas previo a la medición en sala en base a los datos transaccionales, y aplicadas a ambas sucursales, generando una tabla para cada día y rango horario, con su respectivo índice de ocupación por caja, cantidad de cajas en funcionamiento (para asegurarse que al aumentar las cajas, se tuviera la capacidad adecuada) e hipótesis de acciones de dotación.

En las tablas a continuación, se muestran los resultados de las hipótesis de acciones de dotación para las sucursales Vitacura y Ñuñoa, donde se indica el porcentaje y cantidad de horas totales que se obtuvo para cada acción.

Tabla 9: Resultados generales hipótesis de acciones Vitacura

HIPÓTESIS DE ACCIONES DE DOTACIÓN VITACURA			
INDICADOR DE OCUPACIÓN POR CAJA	RANGOS DE CAJAS		
	RANGO 15% INFERIOR	RANGO INTERMEDIO	RANGO 15% SUPERIOR
DESOCUPADO	5,8% = 291 horas	9,2% = 463 horas	0,8% = 40 horas
NORMAL	7,0% = 352 horas	45,4% = 2276 horas	10,7% = 537 horas
OCUPADO	0,6% = 32 horas	15,7% = 788 horas	3,3% = 167 horas

Fuente: Elaboración propia

Con respecto a los resultados de Vitacura y a sus extremos, cabe destacar que en el 0,6% de las horas existió un problema de subdotación debido a un alza inesperada de la demanda en horarios caracterizados por tener baja demanda (9:00, 10:00 y 16:00). Por ejemplo, el martes 1 de Marzo de 2011, hubo un alza inesperada de demanda, pues las cajas disponibles estaban dentro del rango promedio de cajas asignadas en ese horario (5 cajas habilitadas).

Además, en el 0,8% de las horas en la sucursal Vitacura existió una sobredotación debida a que los días sábado a las 11:00 la demanda es mayor, por lo tanto la asignación de cajas es mayor que los días de semana. Sin embargo, existieron días sábados en que ocurrió esta sobredotación en este horario, debido al aumento de cajas mencionado y a la mantención de la demanda. Además, este problema se presenta a

las 16:00, principalmente porque la demanda disminuye en ese horario y la oferta de cajas se mantiene constante.

Tabla 10: Resultados generales hipótesis de acciones Ñuñoa

HIPÓTESIS DE ACCIONES DE DOTACIÓN ÑUÑO A			
INDICADOR DE OCUPACIÓN POR CAJA	RANGOS DE CAJAS		
	RANGO 15% INFERIOR	RANGO INTERMEDIO	RANGO 15% SUPERIOR
DESOCUPADO	8,5% = 427 horas	5,7% = 286 horas	0,2% = 10 horas
NORMAL	8,9% = 448 horas	51,4% = 2578 horas	5,6% = 279 horas
OCUPADO	3,1% = 155 horas	13,9% = 696 horas	1,1% = 57 horas

Fuente: Elaboración propia

Con respecto a los resultados de Ñuñoa y sus extremos, se observa que en las horas en que existió una alta sobredotación (0,2% de las horas) se debió a que a las 15:00 y 16:00 horas generalmente disminuye la demanda y la oferta de cajas permanece constante. En este caso, las cajas habilitadas en estos horarios fue mayor al promedio (3 cajas más), generándose una sobredotación mayor a la generada normalmente en este horario.

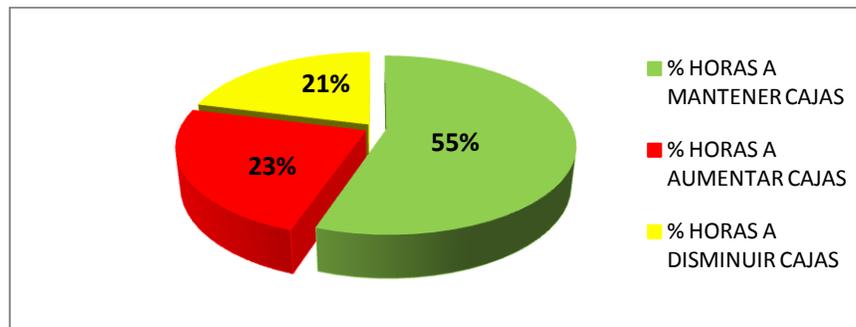
Por otro lado, la subdotación mayor detectada en el 3,1% de los casos se debe a que durante el fin de semana, a las 9:00 y 10:00, la demanda es mayor que la observada los días de semana. Además, se debe a que la cantidad de cajas habilitadas en ese horario es, en promedio, de 2 cajas al igual que durante la semana.

En términos generales, de los resultados anteriores se puede observar que en ambas sucursales predomina el “Mantener” las cajas abiertas en la mayoría de las horas (54% de las horas en Vitacura y 61% de las horas en Ñuñoa). Además, con respecto a generar acciones de dotación, en Vitacura es similar la cantidad de horas que hay que “Aumentar” y “Disminuir” cajas, mientras que en Ñuñoa, predomina el “Aumentar”.

Con respecto a los resultados extremos de ambas sucursales, en general se deben a alzas y bajas inesperadas de la demanda, y a que la oferta de cajas es constante en un horario específico todos los días. Por ello se podría concluir que en las sucursales estudiadas no se tiene un sistema que detecte las alzas y bajas inesperadas de demanda, sino que sólo se toman en cuenta las variaciones de demanda conocidas. Es en estos casos donde sólo una recomendación de dotación no basta para balancear la demanda con la oferta de cajas, pero un sistema de alarma en línea sí podría detectar estas alzas y bajas impredecibles para lograr controlarlas a tiempo.

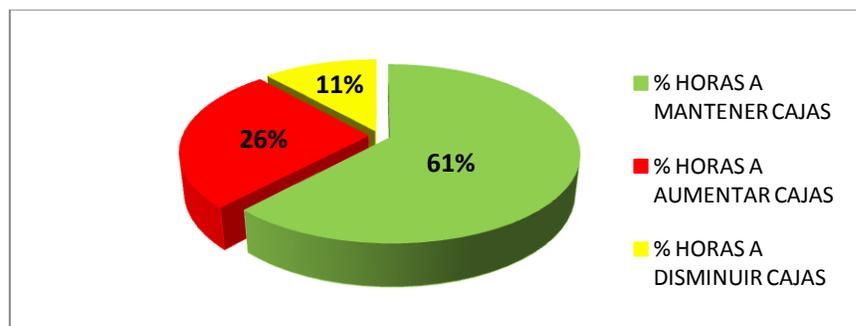
En los Gráficos a continuación se pueden observar los resultados mencionados anteriormente.

Gráfico 18: Resultados generales hipótesis de acciones Vitacura



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 19: Resultados generales hipótesis de acciones Ñuñoa

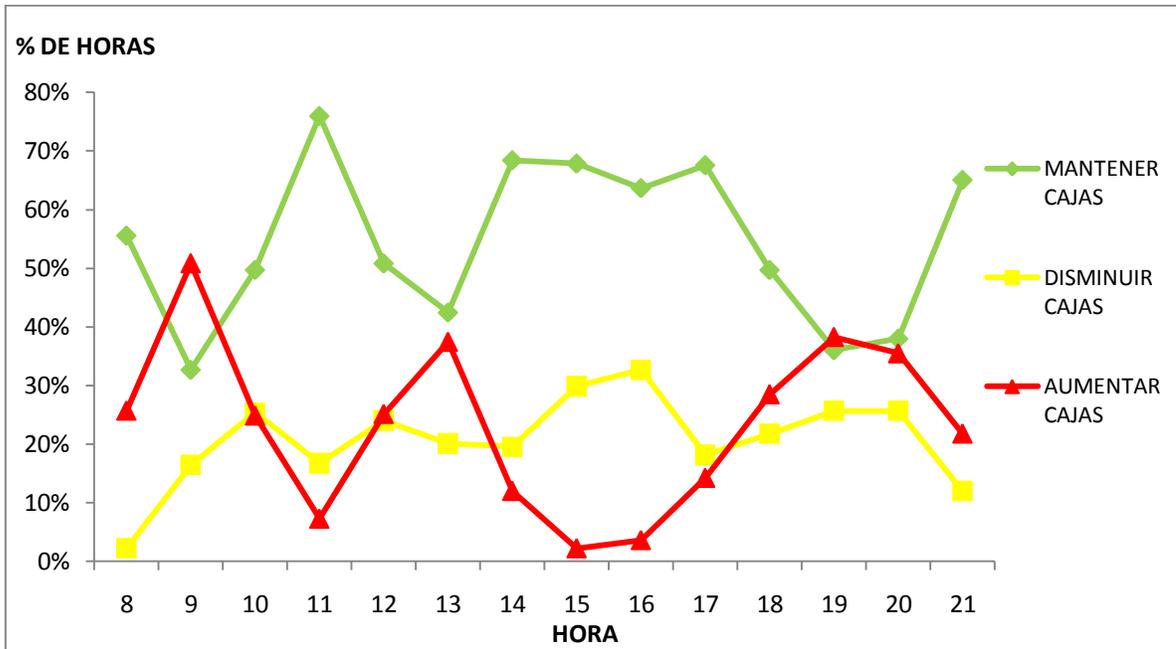


Fuente: Elaboración propia

Una vez que se obtienen los resultados generales de las hipótesis de acciones de apertura o cierre de cajas, es necesario corroborar su comportamiento a través de las horas del día, para encontrar patrones que permitan caracterizar días y horas de subdotación y sobredotación, es decir, momentos donde estos problemas se sucedieron con frecuencia.

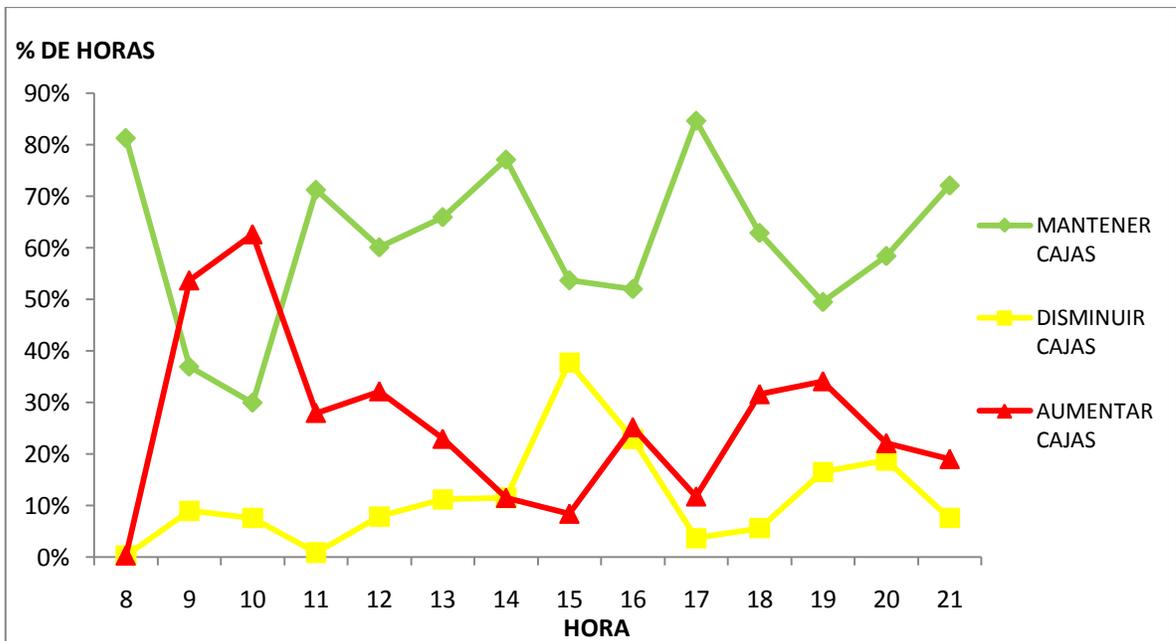
En los Gráficos a continuación, se muestran los resultados de hipótesis de acciones por hora para ambas sucursales, a partir de los cuales derivará la caracterización observacional de subdotación y sobredotación que se revisará en la siguiente sección "Caracterización Subdotación y Sobredotación".

Gráfico 20: Resultados hipótesis de acciones por día Vitacura



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 21: Resultados hipótesis de acciones por día Ñuñoa



Fuente: Elaboración propia

9.4 CARACTERIZACIÓN DE SUBDOTACIÓN Y SOBREDOTACIÓN

A partir de los resultados de las hipótesis de acciones de dotación, se puede generar la primera caracterización general de las horas de subdotación y sobredotación para ambos supermercados. La caracterización observacional para ambas sucursales se deriva de los gráficos anteriores:

Vitacura:

Si bien en la mayoría de las horas las hipótesis de acciones de dotación son “Mantener” las cajas que estuvieron abiertas, se realizará un análisis de las horas del día en las que hubo que “Aumentar” o “Disminuir” las cajas, acciones que en Vitacura alcanzan un porcentaje de horas similar.

- A las 9 horas predomina aumentar la cantidad de cajas abiertas, esto por sobre el mantenerlas. Esto puede deberse a que el supermercado subestima la demanda, y aunque efectivamente la cantidad de boletas es menor que en otros horarios del día, la cantidad de cajas abiertas (en promedio 5) no es cercana al óptimo para el nivel de ventas a la que se enfrenta.
- A las 13, 19 y 20 horas, la cantidad de horas en las que hay que aumentar las cajas abiertas es similar a la cantidad de horas que se deben mantener las cajas (40% aprox.). Este horario coincide con el peak de ventas del supermercado y como se vio anteriormente, las ventas se concentran en estos bloques. De esto se puede concluir que el supermercado no ha realizado un estudio de demanda en estos horarios, ya que también existe un porcentaje menor (20%) de las horas en que hay que disminuir la cantidad de cajas abiertas. Aún cuando se trata de mantener una flexibilidad en la oferta de cajas para adaptarse a la demanda, ésta fluctúa entre aproximadamente las 6 y 18 cajas abiertas, variabilidad de cajas que se traduce en error de gestión de cajas.
- Finalmente, a las 15 horas es el momento donde el porcentaje de horas en que se deben disminuir las cajas es mayor (30%).

Ñuñoa:

Al igual que en el caso de la primera sucursal, en Ñuñoa predomina “Mantener” las cajas abiertas (61% del total de horas). Sin embargo, hay horarios en que el “Aumentar” o “Disminuir” cajas alcanzan su máximo, casos que son presentados a continuación:

- A las 9 y 10 horas, predomina con un 60% de los casos el aumentar las cajas (peak de la acción “Aumentar”), lo cual no es raro ya que en ese horario el promedio de cajas abiertas en el supermercado es de 2 cajas, por lo que un aumento en la demanda difícilmente puede ser atendido por 2 cajeras sin generarse mayor ocupación del sistema y cola.
- El peak de la acción “Disminuir” se encuentra a las 15 horas, lo que coincide con la menor concentración de las boletas durante el día. Además, como se mostró en la sección de “Análisis de Datos”, la cantidad de cajas abiertas en Ñuñoa fluctúa entre las 3 y 5 cajas generalmente, permaneciendo casi constante.

- Finalmente, a las 18 y 19 horas se encuentra el segundo peak de la acción “Aumentar”, el cual también coincide con el peak de ventas durante el día, y al ser la oferta de cajas casi constante durante el día, un cambio en la demanda se reflejará en una subdotación del sistema de cajas de Ñuñoa.

Luego de esta etapa de caracterización observacional, se concluye que la sucursal Vitacura posee un mejor conocimiento de la demanda, pues tiene una variabilidad de oferta de cajas durante el día mayor que Ñuñoa, que tiene una oferta más bien constante. Sin embargo, esta oferta variable de cajas no es suficiente si no hay un estudio más profundo de la demanda, pues el supermercado no es capaz de satisfacer la demanda en una gran mayoría de los casos. Sin embargo, la flexibilidad de Vitacura es un punto a favor para mejorar el sistema, no así la rigidez de Ñuñoa.

El paso a seguir es analizar si los problemas descritos anteriormente se deben a días de la semana en particular o si ocurren siempre, independientes del día. Para reafirmar la caracterización observacional realizada y para completarla, se aplicó un modelo de Árbol de Decisión CHAID, donde se encontraron las variables determinantes en la acción de dotación. La variable a explicar fue la Acción de Dotación (Aumentar, Mantener o Disminuir) y las variables explicativas utilizadas fueron:

- Día
- Rango Horario
- Si es feriado normal
- Si es víspera de feriado irrenunciable
- Si es fin de semana largo

De las variables anteriores, sólo Día y Rango Horario fueron seleccionadas por el modelo para explicar la Acción de Dotación en ambas sucursales, siendo Rango Horario la variable que primero determina la acción de dotación, seguida por el Día⁸.

En la tabla a continuación se muestra el resumen de la caracterización realizada para Vitacura, siendo SU un problema de subdotación (frecuentemente hubo que “Aumentar” las cajas) y SO un problema de sobredotación (frecuentemente hubo que “Disminuir” las cajas):

Tabla 11: Resumen caracterización subdotación y sobredotación Vitacura

Día / Hora	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Lunes		SU				SU						SU	SU	
Martes		SU				SU						SU	SU	
Miércoles		SU				SU						SU	SU	
Jueves		SU				SU						SU	SU	
Viernes		SU				SU						SU	SU	
Sábado		SU												
Domingo			SU		SO		SO		SO	SO				

Fuente: Elaboración propia

⁸ Ver Anexo H: Resultados SPSS Árboles de Decisión.

A partir de la caracterización observacional y de los resultados del árbol, se concluye para Vitacura:

- Las acciones de “Aumentar” las cajas a las 9 horas, son consecuencia de una subdotación de lunes a sábado.
- Las acciones de “Aumentar” las cajas a las 13, 19 y 20 horas, se deben a una subdotación los días de semana (de lunes a viernes).
- El día domingo es un día especial, ya que presenta subdotación a las 10 de la mañana, la que puede deberse a que el supermercado abre una hora más tarde que el resto de los días. Además, presenta sobredotación durante 4 horas al día, lo cual indica que la clientela del sector del supermercado utiliza menos el día domingo que el resto de la semana para realizar sus compras.
- Finalmente, la sobredotación de las 15 horas, si bien no es obtenida en el árbol de caracterización, si se considera relevante considerarla para futuras recomendaciones.

En la tabla a continuación se muestra el resumen de la caracterización realizada para Ñuñoa, siendo SU un problema de subdotación (frecuentemente hubo que “Aumentar” las cajas) y SO un problema de sobredotación (frecuentemente hubo que “Disminuir” las cajas):

Tabla 12: Resumen caracterización subdotación y sobredotación Ñuñoa

Día / Hora	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Lunes		SU	SU					SO				SU		
Martes		SU	SU					SO				SU		
Miércoles		SU	SU					SO						
Jueves		SU	SU					SO						
Viernes		SU	SU					SO						
Sábado		SU	SU											
Domingo		SU			SU									

Fuente: Elaboración propia

A partir de la caracterización observacional y de los resultados del árbol, se concluye para Ñuñoa:

- Las acciones de “Aumentar” las cajas a las 9 y 10 horas, son consecuencia de una subdotación todos los días en esos horarios, salvo el domingo que presenta una subdotación a las 12 horas en vez de a las 10 horas.
- Las acciones de “Disminuir” las cajas a las 15 horas, son consecuencia de una sobredotación los días de semana en ese horario (de lunes a viernes).
- Finalmente, el segundo peak de las acciones de “Aumentar” las cajas a las 19 horas revelado por la caracterización observacional, se debe exclusivamente a una subdotación los días lunes y martes en ese horario. De esto puede inferirse casi la totalidad de ambos días presentan subdotación en ese rango horario durante del período observado.

9.5 MEDICIÓN EN SALA

En base a la caracterización en gabinete realizada anteriormente, se realizó la medición en la sucursal Vitacura, durante las primeras dos semanas de Enero del 2012 (del 2 al 16 de Enero). La medición se realizó principalmente en los horarios en que el supermercado presentó problemas de subdotación y sobredotación, según la caracterización, y también se midió en otros horarios para tener una mayor cantidad de datos para la posterior modelación. Este ejercicio no se realizó en la sucursal Ñuñoa por alcances de tiempo para la realización del trabajo, pero los resultados finales sí le fueron aplicados.

9.5.1 Medición Largo de Cola

La medición del largo de cola se realizó desde el lunes 2 al domingo 15 de Enero del 2012, durante principalmente las horas con problemas de subdotación y sobredotación obtenidas de la caracterización para el supermercado de Vitacura.

Metodología de Medición:

La metodología de medición consistió en medir el largo de la cola de cada caja en funcionamiento cada 10 minutos. La medición contempló sólo a las personas que están en espera para ser atendidas. La medida final del largo de cola para cada rango horario se obtuvo de la siguiente manera:

- Primero, se contó cada 10 minutos el número de personas esperando en la cola de cada caja en funcionamiento. Con esto se obtienen 6 mediciones para todas las cajas abiertas para cada rango horario.
- Para cada medición de 10 minutos se obtuvo el promedio del largo de la cola de las cajas medidas. Con esto se obtienen 6 promedios distintos del largo de la cola para cada rango horario.
- Con lo anterior se calcularon 2 medidas distintas:
 - El promedio de los 6 promedios distintos del largo de cola, obteniendo el “Promedio de largo de cola” para el rango horario.
 - El máximo observado entre esos 6 promedios distintos del largo de la cola, obteniendo el “Máximo largo de cola observado” para el rango horario.

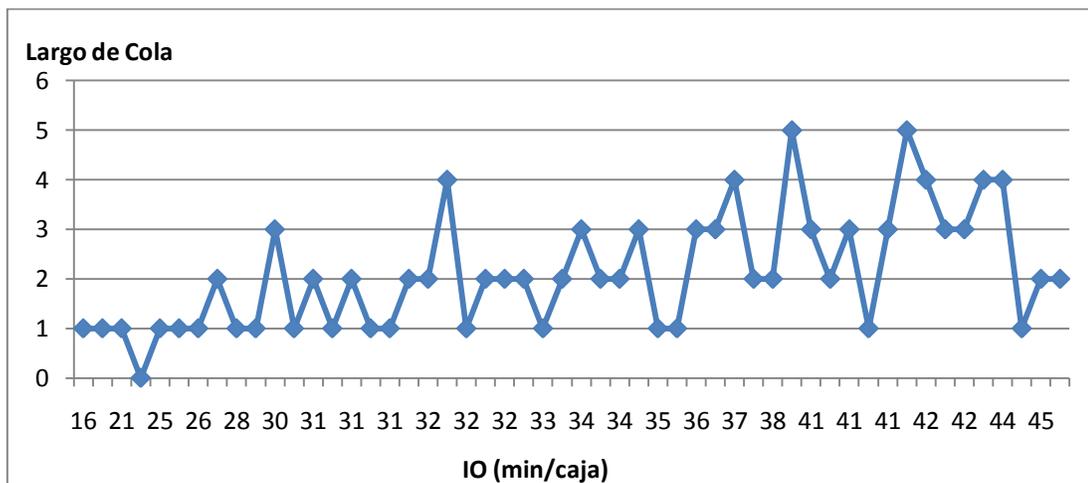
De las dos medidas anteriores, se utilizó el “Máximo largo de cola observado”, ya que en el caso de la sucursal Vitacura, la subdotación no ocurre de forma uniforme durante todo el rango horario, sino que existen momentos de subdotación o sobredotación dentro de éste. Es por ello que en el “Máximo largo de cola observado”, se incorporan estos momentos de subdotación o sobredotación que pudieron existir dentro de las mediciones⁹. De ahora en adelante, la medida “Máximo largo de cola observado” se llamará simplemente “largo de cola”.

⁹ Ver **Anexo I: Detalle Medición en Sala.**

Luego de realizar la medición y de calcular la medida final de ésta que es el máximo largo de cola observado, se utilizaron los datos transaccionales del período de medición para calcular el indicador de ocupación, y así poder relacionar la medición con los datos transaccionales del POS.

A continuación se muestra un gráfico que relaciona el indicador de ocupación, proveniente de los datos transaccionales del período de medición, con la medición del largo de cola. En él se puede observar que el valor mínimo de la medición (cero personas en cola) es alcanzado en un bajo valor del indicador (23 minutos) durante las dos semanas de la medición, mientras que el máximo valor de la medición (5 personas en cola) es alcanzado en un valor alto del indicador (42 minutos). Además se observa que el largo de la cola tiende a aumentar conforme aumenta el indicador de ocupación en la mayoría de los casos, por lo que se concluye que sí puede existir una relación creciente entre el indicador de ocupación y el largo de la cola, conclusión que será validada más tarde con la modelación.

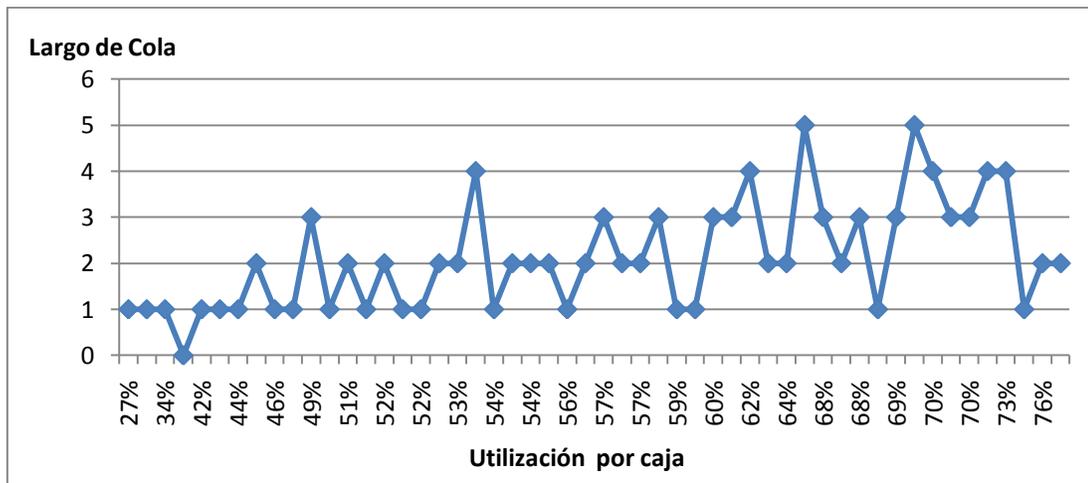
Gráfico 22: Relación largo de cola v/s indicador de ocupación



Fuente: Elaboración propia

El indicador de ocupación del gráfico anterior puede ser expresado como la utilización de cada cajera. En el gráfico a continuación se observa la utilización del período de medición, la que varió entre el 27% y el 77% en todas las horas observadas. A partir de ello se concluye que en los momentos de baja utilización existió sobredotación y que en los momentos de alta utilización, en la mayoría de los casos existió subdotación.

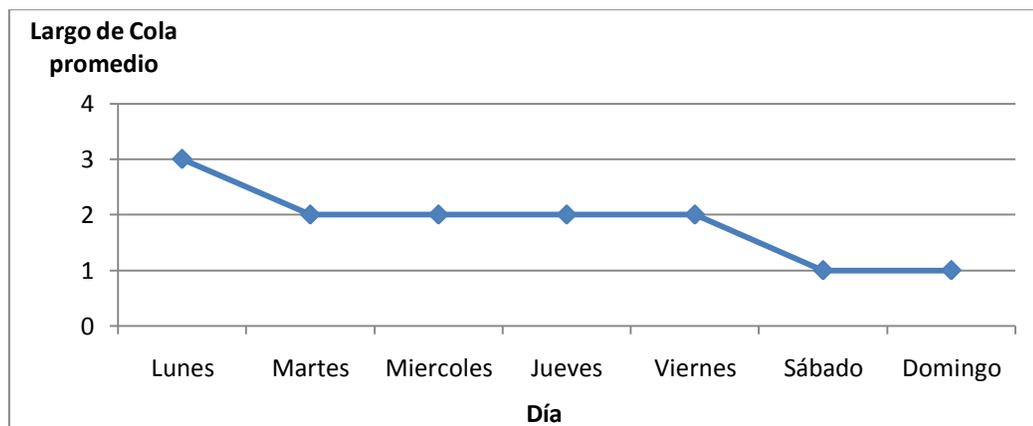
Gráfico 23: Relación largo de cola v/s utilización por caja



Fuente: Elaboración propia

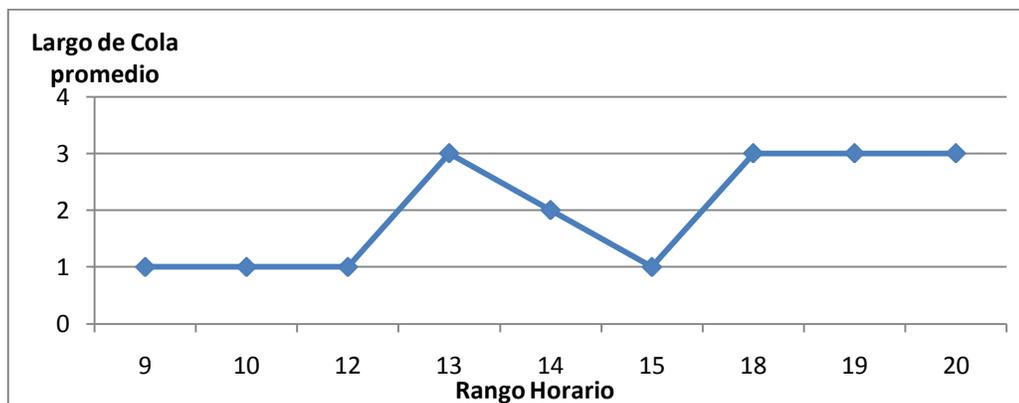
En relación a los Gráficos 24 y 25 se observa el comportamiento del largo de la cola observado con el día de la semana y la hora del día respectivamente. Del primero se puede apreciar que el día de la semana que tuvo en promedio un mayor largo de cola fue el lunes y los días que se tuvo un menor largo de cola fueron el sábado y domingo. Esto último coincide con la caracterización de subdotación y sobredotación de Vitacura, ya que el domingo era el único día con subdotación, lo que coincide con ser el día que tiene en promedio un menor largo de cola.

Gráfico 24: Promedio largo de cola observado por día de la semana



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 25: Promedio largo de cola observado por rango horario



Fuente: Elaboración propia

Del gráfico anterior se observa que los horarios donde hubo mayor largo de cola en promedio (3 personas en promedio) son las 13, 18, 19 y 20 horas, lo que coincide con lo obtenido en la caracterización de subdotación y sobredotación de Vitacura.

En resumen, a partir de la medición en el supermercado Vitacura se pudo validar en una primera instancia la caracterización de subdotación y sobredotación realizada anteriormente, pues se reafirmó que el domingo posee horarios de sobredotación con un bajo largo de cola, y que los horarios con momentos de subdotación son los que tienen peak de ventas, es decir, las 13, 19 y 20 horas. Sin embargo, no se pudo validar la subdotación existente a las 9 de la mañana obtenida de la caracterización mediante la observación y medición en sala.

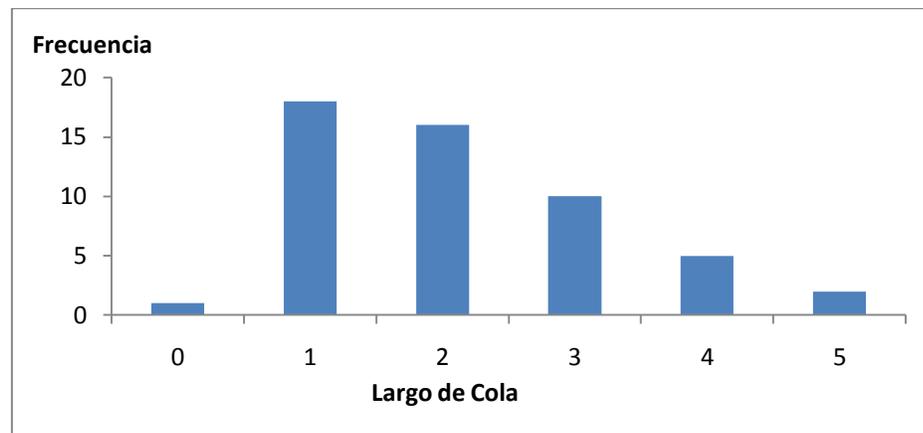
Definición Nivel de Servicio Adecuado:

A partir de la observación en sala, de la medición del largo de la cola y de la opinión del administrador del supermercado Vitacura, se definió un nivel de servicio a cumplir, expresado en un largo de cola ideal. Este nivel de servicio corresponde a 2 personas esperando para ser atendidas en cola, valor que depende del local en estudio, pero en este caso se asumirá el mismo valor para Vitacura y Ñuñoa. Esta decisión además fue tomada en base a la relación existente entre el largo de cola observado y el indicador de ocupación, vista anteriormente en el Gráfico 22, ya que las observaciones de largo de cola mayores que 2 empiezan a aparecer más frecuentemente aproximadamente en el valor de 32 minutos del indicador, cercano al valor del indicador definido como "OCUPADO".

A continuación se muestra el histograma del largo de cola observado, en el que aproximadamente el 70% de las observaciones se encuentra entre 1 y 2 personas en cola, y en el que casi el 30% de ellas, el largo de la cola es mayor a 2. Esto refleja el esfuerzo que actualmente se realiza en Vitacura para mantener un largo de cola menor o igual a 2 personas, generando la mayoría de las veces una sobredotación para lograrlo. Además, como no se realiza un estudio de demanda previo, un pequeño

aumento en el flujo del supermercado genera una subdotación que conlleva a tener 3 o más personas esperando en cola.

Gráfico 26: Histograma largo de cola observado



Fuente: Elaboración propia

Lo que se pretende con esta memoria es apuntar a que el largo de la cola sea de 2 personas en todo momento, disminuyendo las horas de subdotación y sobredotación que existen actualmente.

9.5.2 Medición Tiempos de Llegada y Atención

Además de la medición del largo de la cola, se realizó una segunda medición en sala de los tiempos de llegada y de atención, esta vez fue más completa y su objetivo fue encontrar una distribución de los tiempos mencionados y poder realizar un modelo de simulación del sistema de cajas del supermercado, que represente un momento de alta ocupación del sistema. La medición se realizó el día lunes 16 de Enero del 2012 a partir de las 18:53 horas en la caja n°15.

En el supermercado se realizó la medición solo en una caja (por alcances de tiempo) y considerando solo los clientes que realizaron el proceso completo en ella (llegada, espera, atención y salida). Se midió:

- Tiempo de Llegada del cliente a la cola.
- Tiempo en que el cliente comienza a ser atendido.
- Tiempo en que el cliente deja de ser atendido.

Con dichas mediciones se pudo calcular el tiempo entre llegadas de los clientes y el tiempo de atención de cada cliente, con el fin de obtener las distribuciones de probabilidad de ambos tiempos¹⁰.

Se utilizó el programa Stat Fit para ajustar los datos de los tiempos entre llegadas y tiempos de atención a una distribución de probabilidad. En este caso, ambos tiempos

¹⁰ Ver **Anexo I: Detalle Medición en Sala.**

fueron ajustados a una distribución Weibull (α , β) con distintos parámetros. En la tabla a continuación se detallan ambos parámetros:

Tabla 13: Parámetros obtenidos distribución Weibull

WEIBULL	α	β
Tiempo entre Llegadas	116	1,4
Tiempo de Atención	92,7	1,37

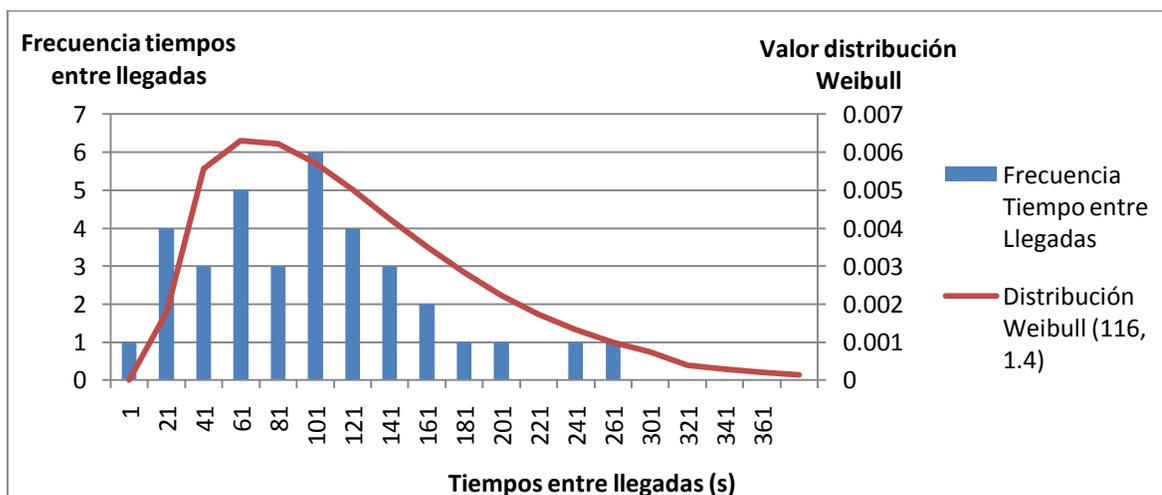
Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la tabla anterior, el factor de escala α del tiempo entre llegadas (116) es mayor al de atención (92,7), obteniendo en promedio un tiempo entre llegadas menor al tiempo de atención por caja. Este factor de escala se encuentra en el denominador de la función de distribución Weibull, por lo que a mayor valor de éste se obtiene un menor valor de la función. La relación entre los valores de α de los tiempos mencionados, permite modelar lo observado en terreno y lograr la acumulación de personas esperando para ser atendidas.

Por otro lado, el ajuste de una distribución a los datos observados en terreno entregan una distribución Weibull de factor de forma β en ambos casos mayores a 1. Este ajuste concuerda con las observaciones ya que el factor obtenido permite replicar estos valores posteriormente en un proceso de simulación. Si el ajuste hubiese sido el de una distribución exponencial ($\beta=1$), éste no representaría los valores observados, ya que esta distribución aumenta la frecuencia de observaciones de tiempos entre llegadas y atención con valores cercanos a cero.

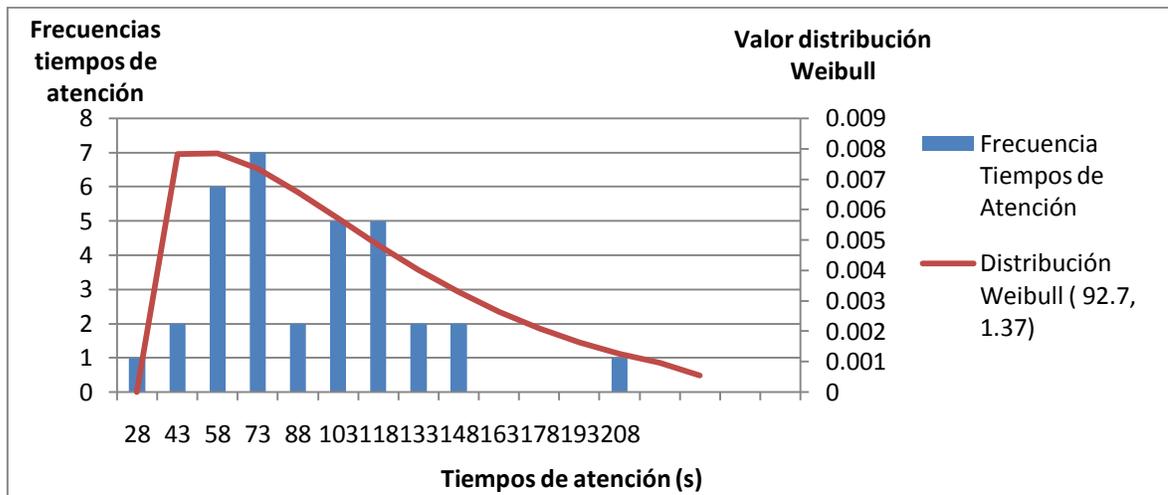
En los gráficos a continuación, se muestra el histograma de los tiempos mencionados con sus respectivas distribuciones ajustadas Weibull:

Gráfico 27: Histograma medición tiempo entre llegadas y su distribución ajustada



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 28: Histograma medición tiempo de atención y su distribución ajustada



Fuente: Elaboración propia

9.6 MODELACIÓN

Luego de realizar la observación y medición en sala, se obtuvieron todos los datos necesarios para poder realizar los modelos de Regresión Lineal Múltiple [15] y de Simulación del Sistema [8]. El primero se realizará para estimar el largo de la cola y el segundo, para evaluar cambios dentro del sistema con respecto a la oferta de cajas. En este capítulo se detallará cómo se construyeron ambos modelos y se presentarán los resultados obtenidos.

9.6.1 Modelo de Estimación del Largo de Cola

Mediante un modelo de regresión lineal realizado en SPSS, se intentó estimar el largo de la cola a través de las siguientes variables independientes: Indicador de Ocupación, Rango Horario y Día de la semana. Estas últimas dos variables se expresaron a través de variables dummy, obteniendo 7 variables para el Día de la semana (1: si corresponde al día de semana; 0: si no) y 9 variables dummy para los rango horario en los cuales se realizó observación (1: si corresponde al rango horario; 0: si no).

Para realizar el modelo, se utilizaron los datos de la medición del largo de la cola detallada en el Capítulo 9.5 (Medición en sala – Medición Largo de Cola) y los datos transaccionales obtenidos del POS. La muestra con los datos observados y transaccionales correspondientes a las dos primeras semanas de Enero se dividió en dos: una para calibrar el modelo (80% del total) y otra para validarlo (20% del total). En la tabla a continuación se presenta la cantidad de datos de ambas muestras:

Tabla 14: Cantidad de datos de calibración y validación del modelo

Muestra	Porcentaje	Cantidad de datos u observaciones
Datos Calibración	80%	36
Datos Validación	20%	16
Total	100%	52

Fuente: Elaboración propia

Luego de realizar varias regresiones con las distintas variables en los datos de calibración, a partir de lo observado en sala y de las mediciones realizadas, se decidió utilizar la regresión cuyos resultados se muestran en la siguiente tabla, ya que presenta un R^2 superior y concuerda con la observación:

Tabla 15: Resultados regresión lineal múltiple (variable dependiente: Largo de Cola), 95% de confianza

Variables	Coeficientes No Estandarizados		Coeficientes Estandarizados	t	Sig.
	Beta	Error Estándar	Beta		
Indicador De Ocupación	0,068	0,005	1,109	2,677	0,000
Dummy Día Lunes	1,068	0,399	0,170	-2,439	0,012
Dummy Rango Horario 9:00 a 10:00	-1,041	0,427	-0,148	-2,718	0,021
Dummy Rango Horario 10:00 a 11:00	-1,356	0,499	-0,167	-3,438	0,011
Dummy Rango Horario 12:00 a 13:00	-1,249	0,363	-0,218	13,223	0,002
$R^2 = 0,902$					
R^2 Ajustado = 0,886					

Fuente: Resultados SPSS y Elaboración propia

Como se observa en los resultados anteriores, las variables significativas al momento de predecir el largo de la cola son el indicador de ocupación, el día lunes y el rango horario de 9, 10 y 12 horas. La constante resultó no ser significativa, por lo que no será incluida en el modelo.

A continuación se discuten los resultados del modelo con respecto a los Gráficos 22, 23 y 24 del Capítulo 9.5 (Medición en sala):

- Mediante la regresión se confirma que existe una relación positiva entre el indicador de ocupación definido y el largo de cola, lo que fue observado en el Gráfico 22. En conclusión, a medida que aumenta el indicador de ocupación, también lo hace el largo de cola.

- El aumento del largo de cola del día lunes observado en el Gráfico 24, resultó ser significativo en el modelo de regresión.
- La disminución del largo de cola observada en los horarios 9, 10 y 12 en el Gráfico 23, también resultó ser significativa en el modelo de regresión, no así la disminución del largo de cola de las 15 horas, lo cual se cree se debe a que la cantidad de observaciones realizadas en ese horario fue muy baja con respecto al resto de los horarios.
- El aumento del largo de cola de los rangos 13, 18, 19 y 20 observados en el Gráfico 24, resultó no ser significativo en el modelo de regresión.

A partir de estos dos últimos resultados y de la observación realizada en la sala, se puede inferir que la sobredotación es más significativa que la subdotación en la sucursal Vitacura, lo que puede verse reflejado en los esfuerzos del jefe del local por no sobrepasar las 2 personas esperando en cola. Como se mencionó anteriormente, para lograr esta meta, se cae en la sobredotación y cajas ociosas, lo cual se pretende mejorar con el modelo.

El modelo de regresión lineal que estima el largo de la cola mostrado anteriormente se expresa de la siguiente manera:

$$\text{Largo de Cola} = 0,068 \cdot \text{Indicador de Ocupación} + 1,068 \cdot \text{Dummy LUNES} \\ - 1,041 \cdot \text{Dummy 9} - 1,356 \cdot \text{Dummy 10} - 1,249 \cdot \text{Dummy 12}$$

Validación Modelo:

Para validar el modelo, éste se aplicó a los datos correspondientes a la muestra de validación y se calculó el error MAPE porcentual de la siguiente forma:

$$\text{MAPE (\%)} = \frac{100}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{|R_i - E_i|}{R_i}$$

Donde:

$i = 1 \dots n$ datos u observaciones,

R_i = Largo de Cola Real en observación i ,

E_i = Largo de Cola Estimado por el modelo para observación i .

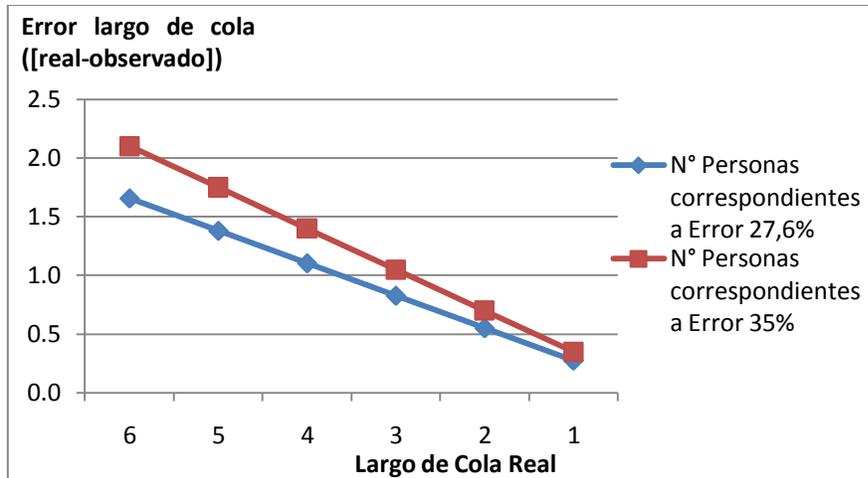
El error obtenido en los datos de validación fue de un 27,6%. Adicionalmente, el mismo error fue calculado para los datos de calibración, resultando un valor de 35%.

Además del error MAPE, se calculó el error en términos de personas de diferencia en cola (en valor absoluto) entre el largo de cola real y el pronosticado, error llamado "Error largo de cola".

Del total de observaciones para ambas muestras, el 50% de los datos de validación y el 58% de los datos de calibración, tuvieron un error máximo de 1 persona de diferencia en cola, independientemente del largo real de ésta. En el resto de los casos, dicho error resultó ser cero. En base a esto, se puede concluir que el error es bajo, ya que la estimación en ningún caso se aleja en gran magnitud del valor real.

En el gráfico a continuación se muestra para distintos niveles de error MAPE, el error del largo de cola en función del largo de cola real.

Gráfico 29: Error largo de cola en función del largo real y error MAPE



Fuente: Elaboración propia

Del gráfico anterior, para un largo de cola real igual a 4 personas, con un 27,6% de error MAPE se tiene un error largo de cola de 1,104 personas. Para el caso del error MAPE del 35%, se obtiene un error de largo de cola igual a 1,4 personas.

9.6.2 Modelo de Simulación del Sistema de Cajas

En esta etapa se construyó un modelo de simulación del sistema de cajas, en donde se pudo analizar el comportamiento del sistema frente a variaciones de la cantidad de cajas en funcionamiento. Cabe destacar que este modelo de simulación corresponde a un escenario específico del sistema de cajas del supermercado, el cual está determinado por el rango horario de las 19 horas y por una cantidad de 8 cajas en funcionamiento. Primero se realizó la simulación del sistema con 8 cajas (sistema real o situación actual) y luego, a este mismo sistema, se le realizaron variaciones en la cantidad de cajas, para estudiar su comportamiento.

Para realizar el modelo, se utilizaron las distribuciones del tiempo entre llegadas y del tiempo de atención obtenidas en el Capítulo 9.5 “Medición en sala, Medición Tiempos de Llegada y Atención”. Éstas se ajustaron a distribuciones Weibull (α , β) con distintos parámetros cada tiempo observado [25]. Para el caso del tiempo entre llegadas, la distribución ajustada es una Weibull (116, 1.4) y para el tiempo de atención, la distribución que se ajustó fue una Weibull (92.7, 1.37).

El sistema de cajas se simuló en el software Arena, realizando lo siguiente:

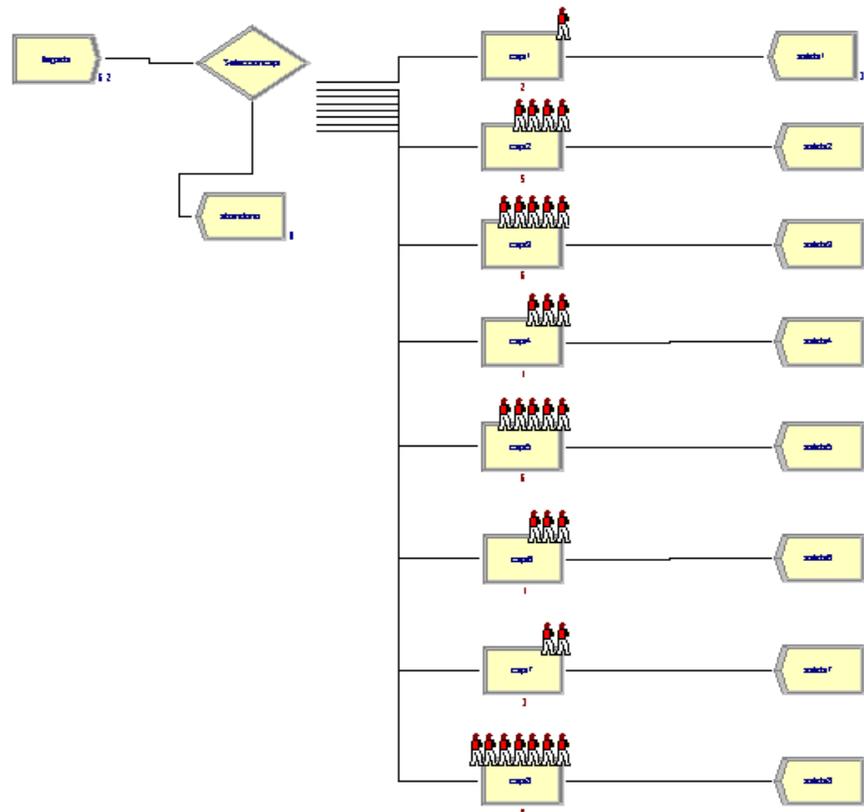
Simulación Situación Actual:

Se modeló la situación inicial observada en Vitacura el día 16 de Enero del 2012 entre las 18:53 y las 20:06 horas. Esto es un sistema de 8 cajas con las distribuciones de tiempo entre llegadas y tiempo de atención mencionadas anteriormente.

Para la modelación, se consideraron las llegadas de acuerdo a la distribución encontrada, así como los tiempos de atención. Además, como se muestra en la siguiente figura, el sistema cuenta con 8 cajas con sus respectivas colas, llegadas y salidas. Para las llegadas, se consideró que los clientes se distribuyen en cada caja de acuerdo a la misma probabilidad (12,5%). Se realizó de esta forma para incorporar la irracionalidad del cliente o la poca información que éste tiene al escoger una caja, es decir, de todas las cajas abiertas el cliente no escoge la con menor cola entre todas ellas, sino que escoge dentro de las más cercanas. Además, se incorporó un “abandono”, el cual se dejó con probabilidad cero ya que finalmente se quiere obtener el número de cajas necesarias para que esto no ocurra, y para eso, se debe tener la demanda máxima sin abandonos del sistema.

En la figura a continuación, se muestra el esquema del modelo de simulación realizado en el software Arena:

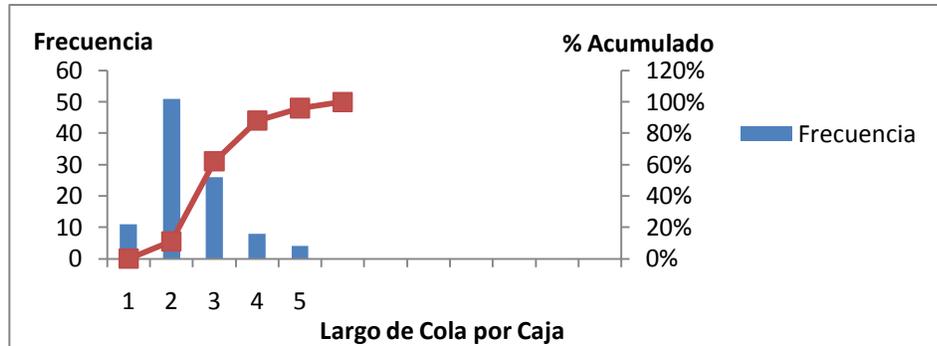
Figura 5: Modelo de simulación Arena



Fuente: Software Arena, elaboración propia

Para simular el sistema, se realizaron 100 replicaciones de 1 hora cada una, cuyos resultados de largo de cola por caja y tiempo de espera por caja se presentan en los histogramas a continuación:

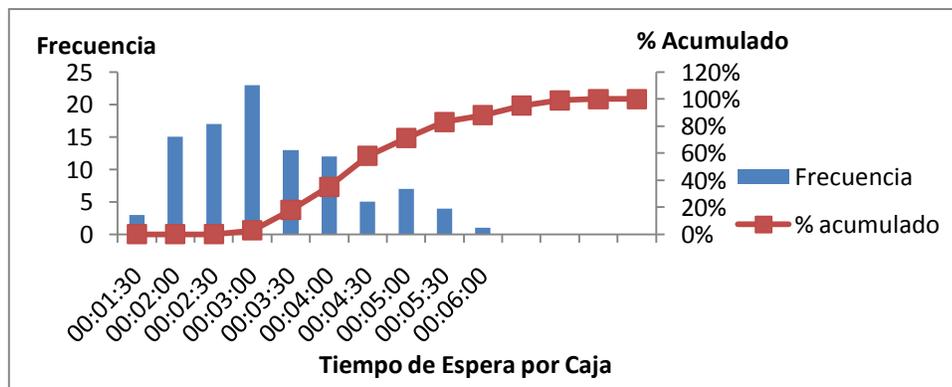
Gráfico 30: Resultado simulación: Histograma largo de cola por caja



Fuente: Elaboración propia

A partir del gráfico anterior, cabe destacar que el 62% de las replicaciones entregan un largo de cola menor o igual a 2. Esto refleja el hecho que durante el rango horario hay momentos tanto de subdotación, como de sobredotación.

Gráfico 31: Resultado simulación: Histograma tiempo de espera por caja



Fuente: Elaboración propia

Luego de realizar las 100 replicaciones, se calculó el promedio de ellas, para el largo de cola y para el tiempo de atención, obteniéndose los siguientes resultados por caja

Tabla 16: Resultados simulación situación actual por caja

Modelo Situación Actual	Promedio Largo de Cola (n° de personas)	Promedio Tiempo de Espera	Tiempo de Espera por Persona en Cola
	1,91 ≈ 2	00:02:59	00:01:34

Fuente: Elaboración propia

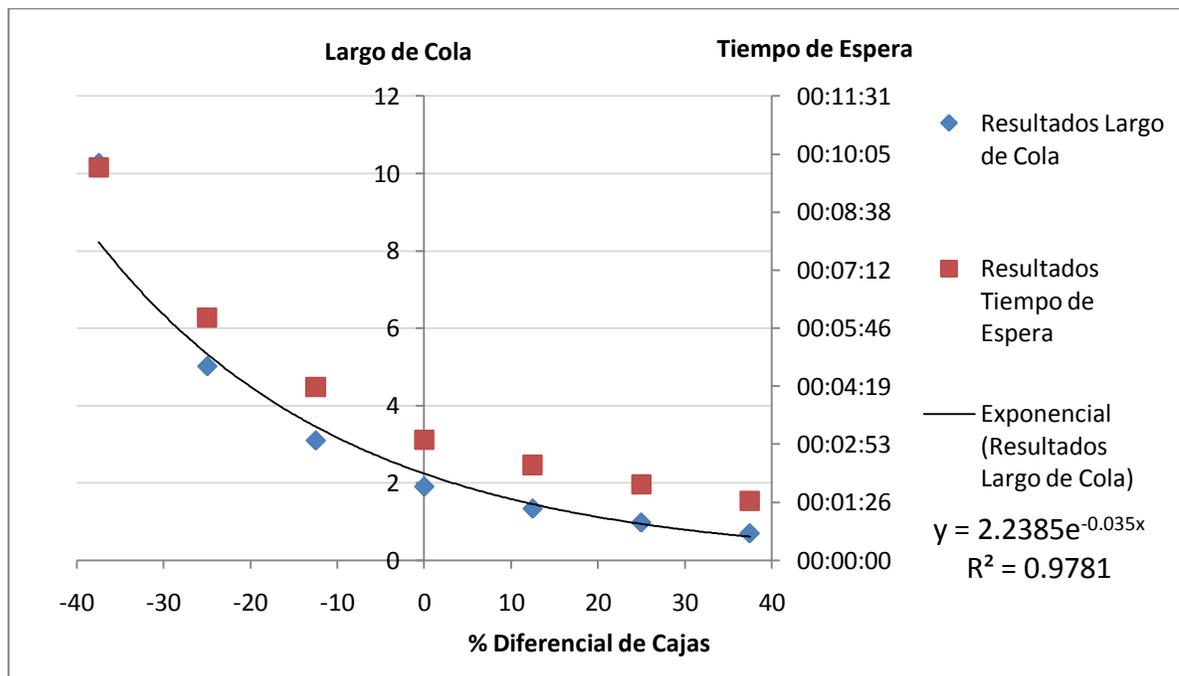
A partir de los resultados anteriores, se puede comentar que reflejan bastante bien el escenario del lunes 16 de Enero del 2012 en el rango horario de las 19 horas, pues como se comentó anteriormente, dentro del rango horario se tienen momentos de congestión (4 personas en cola) y momentos normales (2 personas en cola). En este caso en particular, como es temporada de verano la demanda es menor que durante el año, por lo que se tuvo un promedio de 2 personas en cola.

El lunes que se realizó la medición de los tiempos de atención no se realizó medición del largo de cola, por lo tanto los resultados de la simulación pueden compararse con la medición del largo de cola del lunes anterior. El largo de cola en esa oportunidad fue, en promedio, de 1,5 personas, muy cercano al valor arrojado por la simulación.

Simulación Cambios en el Sistema:

Una vez realizado el modelo de simulación de la situación actual (8 cajas), éste se ejecutó modificando la cantidad de cajas en funcionamiento, de manera de evaluar los cambios en el tiempo de atención y de los largos de cola. El modelo se corrió también realizando 100 replicaciones de 1 hora cada una pero esta vez con 5, 6, 7, 9, 10 y 11 cajas. En el siguiente gráfico, se presentan los resultados de las simulaciones con los cambios en el sistema, del largo de cola por caja y del tiempo de espera por caja.

Gráfico 32: Resultados por caja realizando cambios en la cantidad de cajas abiertas



Fuente: Elaboración propia

A partir del gráfico anterior, se puede ver la variación del largo de cola y del tiempo de espera por caja, o bien la sensibilidad del sistema a un aumento o disminución de la cantidad de cajas en funcionamiento. La variación del largo de la cola posee un

comportamiento exponencial, ajustado por la curva $2,238e^{-0,035x}$, la que más tarde será utilizada para validar los resultados de la regresión lineal.

9.6.3 Resultados Aplicación del Modelo

En base al modelo de regresión del largo de cola obtenido (Ecuación 2), se procedió a aplicarlo para todo el período analizado para ambas sucursales, con el objetivo de encontrar los momentos donde efectivamente existió subdotación y sobredotación en función del largo de cola. Además, se encontrará el número de cajas que debió haber estado en funcionamiento en el caso de los momentos de subdotación y sobredotación. Sin embargo, para aplicar el modelo obtenido, éste se redujo sólo al primer término, es decir se aplicó lo siguiente:

$$\text{Largo de Cola} = 0.068 \cdot \text{Indicador de Ocupación}$$

Como se observa en la ecuación anterior, se eliminó la variable dummy LUNES porque el día lunes, en promedio, tiene una cantidad de boletas por caja similar al resto de los días. Sin embargo, en el mes de Enero del 2012 que fue el período de medición y que es temporada de verano, se piensa que aumentó esta cantidad de boletas por caja el día lunes, debido a que los clientes se van el fin de semana de vacaciones y vuelven el lunes a comprar lo que no compraron el fin de semana. Como este comportamiento no se repite durante el resto del año, no se consideró en el modelo.

Además, se eliminaron del modelo las variables dummy 9, dummy 10 y dummy 12, porque también en promedio tienen una cantidad de boletas por caja similar al resto de las horas. Además, según el análisis de la situación actual y la caracterización de momentos de subdotación y sobredotación realizadas, estos horarios no son críticos durante el año, salvo el horario de las 9 que presenta subdotación, pero ésta es debido a que en este horario el supermercado subestima la demanda del local y abre menos cajas que las necesarias.

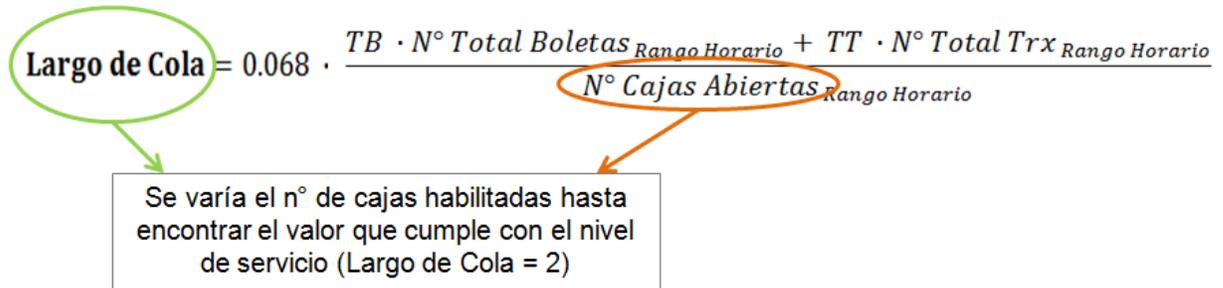
Finalmente, a las razones explicadas anteriormente se suma la idea que estos 4 términos eliminados fueron utilizados por la regresión para limpiar la data observada durante el mes de Enero y poder calibrar adecuadamente el modelo.

Para la aplicación del modelo, se fijó una cantidad mínima del número de cajas en funcionamiento, el cual es de 3 cajas para Vitacura y de 2 cajas para Ñuñoa. Esto se realizó para facilitar en un futuro la implementación del modelo y la gestión de “cajeras”, de manera de disminuir la variabilidad de cajas abiertas durante los distintos bloques horarios. Además esto se definió así para que en los horarios de baja demanda que es cuando se utilizaría esta condición de borde, se pueda reaccionar ante una inesperada alza en el flujo de clientes.

Para obtener los resultados requeridos del número de cajas en funcionamiento para cada día y rango horario, se buscó el número de cajas que cumplía en cada caso con el largo de cola establecido anteriormente, pues el modelo final incorpora el indicador de ocupación, y éste a su vez incorpora el número de cajas. En la figura a

continuación se explica la relación que permite encontrar el número de cajas disponibles, adecuado al nivel de servicio establecido:

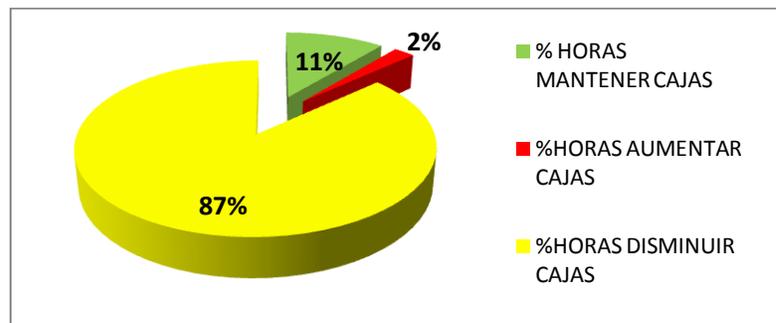
Figura 6: Relación del largo de la cola con el número de cajas



Fuente: Elaboración propia

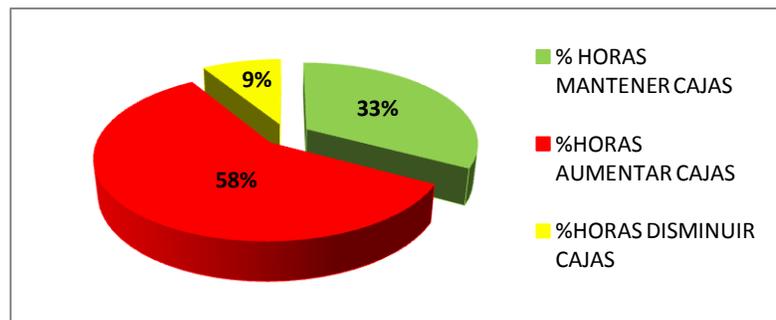
A continuación se muestran los resultados generales de la aplicación del modelo para ambas sucursales:

Gráfico 33: Resultados generales aplicación modelo Vitacura



Fuente: Elaboración propia

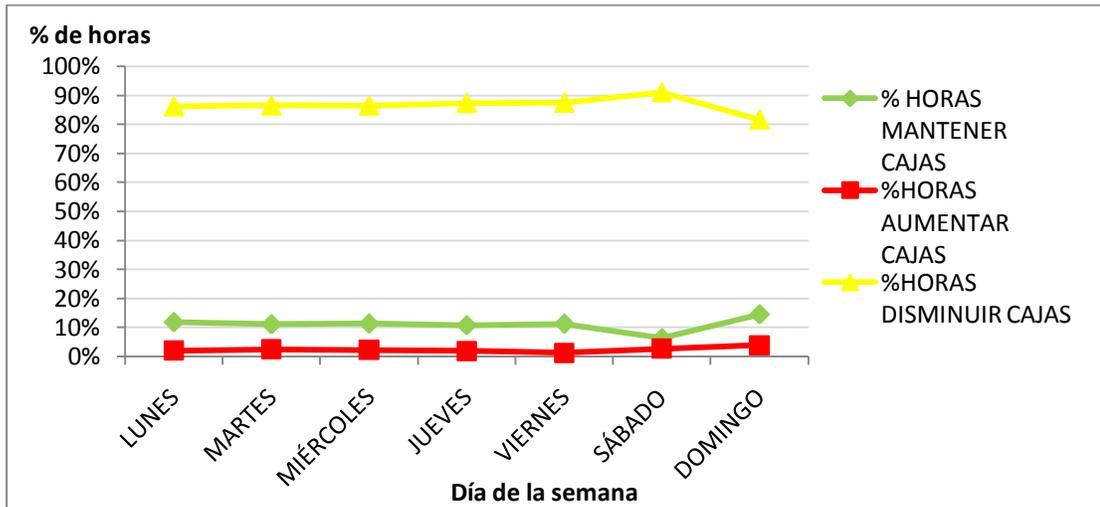
Gráfico 34: Resultados generales aplicación modelo Ñuñoa



Fuente: Elaboración propia

De los gráficos anteriores, se observa que los problemas de dotación que presentan ambos supermercados son contrarios, en Vitacura se presenta un problema de sobredotación en un 87% de las horas y en Ñuñoa se presenta un problema de subdotación el 58% de las horas. En los gráficos a continuación se presentan los resultados por día de la semana:

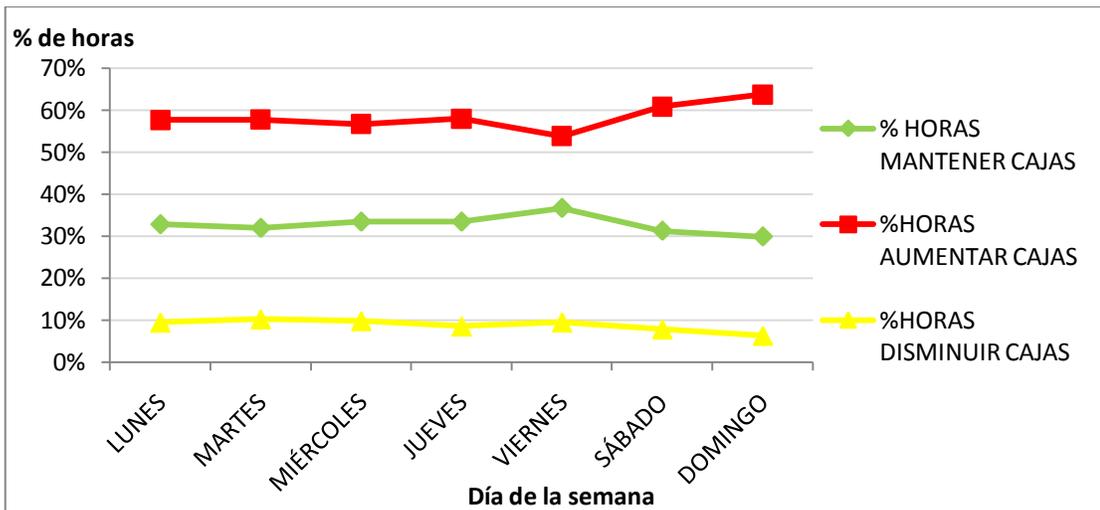
Gráfico 35: Resultados por día aplicación modelo Vitacura



Fuente: Elaboración propia

Para Vitacura, el porcentaje de horas que hay que aumentar el número de cajas permanece constante durante toda la semana, al igual que el mantener y disminuir. El día sábado es el único día que presenta una variación mayor, aumentando el número de horas a disminuir cajas.

Gráfico 36: Resultados por día aplicación modelo Ñuñoa

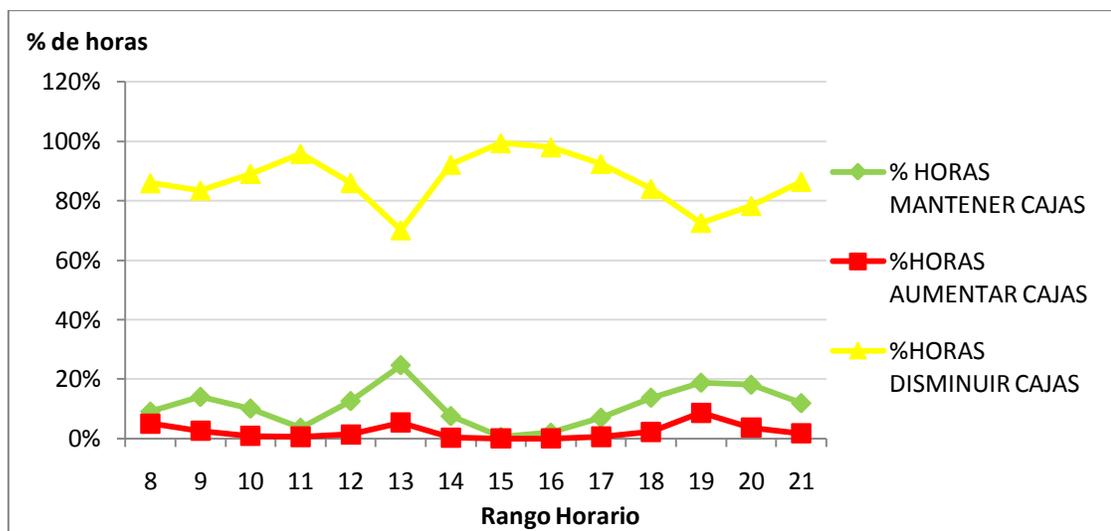


Fuente: Elaboración propia

Para Ñuñoa, el viernes disminuye la cantidad de horas en que se deben aumentar las cajas y el fin de semana este número presenta un aumento con respecto al resto de la semana. Esto sucede debido a que el fin de semana aumenta la demanda y la cantidad de cajas permanece constante.

Finalmente, a continuación se presentan los resultados a nivel de rango horario, con lo que se observará las horas críticas durante el día:

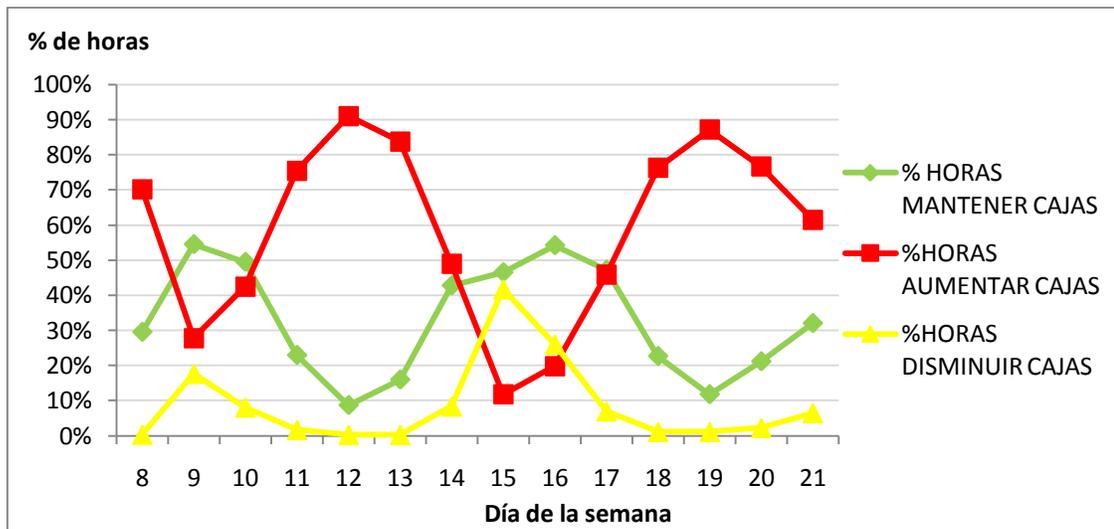
Gráfico 37: Resultados por rango horario aplicación modelo Vitacura



Fuente: Elaboración propia

A partir del gráfico anterior, se observa que a pesar de predominar la sobredotación en todos los horarios, principalmente a las 11, 15, 16 y 21 horas, la subdotación, cuando se presenta, lo hace a las 13 y 19 horas, horarios donde también aumenta la cantidad de horas a mantener las cajas. Esto significa que a las 13 y 19 horas el supermercado sabe que aumenta la demanda, por lo que aumenta la cantidad de cajas en funcionamiento, sólo que, en general, aumenta más de las necesarias generando la sobredotación observada. Esto reafirma la hipótesis que el supermercado hace el esfuerzo por ajustarse a la demanda, pero al no realizar estudios analíticos, cae en la sobredotación.

Gráfico 38: Resultados por rango horario aplicación modelo Ñuñoa



Fuente: Elaboración propia

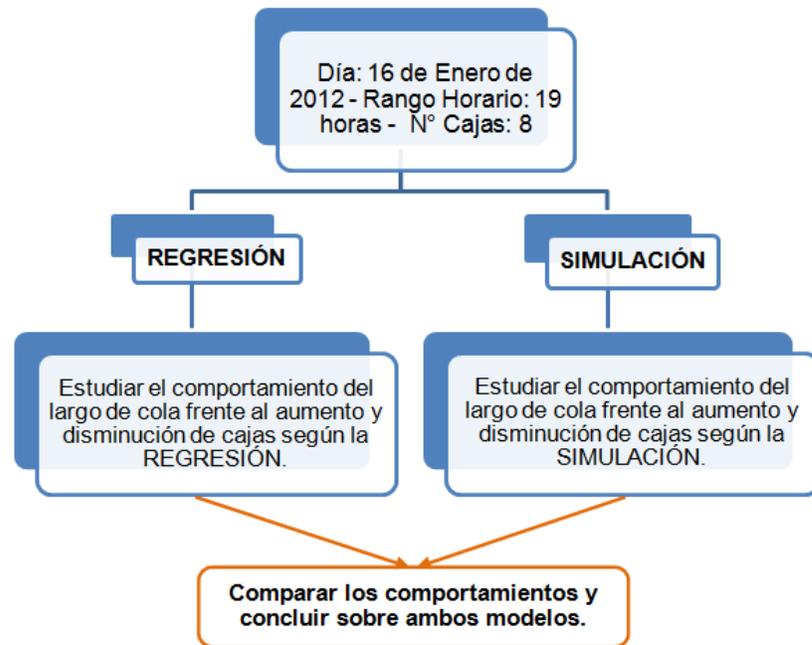
En el caso de Ñuñoa, representado por el gráfico anterior, se observa que las acciones de dotación se ajustan a la demanda, es decir, se deben aumentar cajas en los horarios de peak de demanda (12, 13 horas y 19 horas) y hay que disminuir las cajas en los horarios donde la demanda es baja (9 y 15 horas). Esto reafirma que la oferta de cajas es prácticamente constante durante todo el día y no se realizan esfuerzos por ajustarse a la demanda.

9.6.4 Comparación Modelos de Regresión y Simulación

En esta etapa se realizó la comparación del modelo de regresión con el modelo de simulación. Específicamente, se comparó el comportamiento del largo de cola de ambos modelos con respecto al aumento o disminución de cajas. Cabe destacar que la simulación se realizó en un escenario específico del sistema de cajas del supermercado, el cual se dio el día 16 de Enero del 2012 en el rango horario de las 19 horas y con una cantidad de 8 cajas en funcionamiento. Por lo tanto, la comparación se realizará para este escenario.

La metodología de comparación se muestra a continuación:

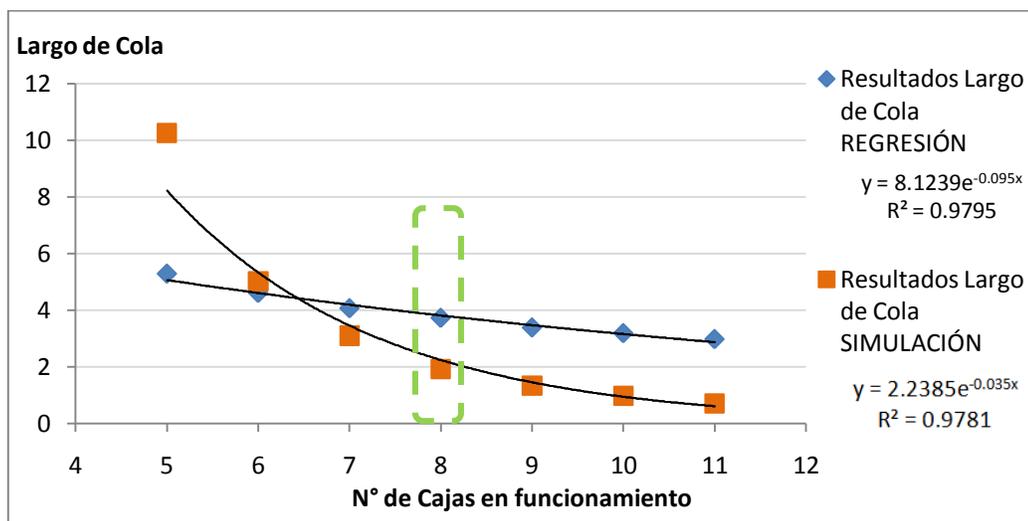
Figura 7: Método comparación: Regresión v/s Simulación



Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra un gráfico con la sensibilidad de ambos modelos a un aumento o disminución del número de cajas, partiendo de la base que se tienen 8 cajas en funcionamiento, y sus respectivas curvas exponenciales ajustadas:

Gráfico 39: Sensibilidad de ambos modelos a un cambio en la oferta de cajas



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico anterior se observa que a ambos resultados se les ajusta una curva exponencial, la que es distinta en ambos casos. Cabe destacar que al largo de cola

obtenido mediante el modelo de regresión lineal, se le ajusta una curva exponencial pues la variable independiente en este caso es la cantidad de cajas habilitadas y no el indicador de ocupación (variable independiente del modelo lineal de regresión).

Se observa una diferencia entre las curvas exponenciales pues la sensibilidad de los modelos a un aumento o disminución de cajas es distinta, siendo el modelo de simulación más sensible que el de regresión a esta variación. Esta diferencia se debe a que el modelo de simulación representa muy bien la situación real de ese momento en particular, sin embargo, si es aplicada a otro rango horario no será un fiel reflejo de la realidad. En cambio, el modelo de regresión es un modelo que se ajusta para todo horario y estima el largo de cola para cualquier condición de forma aceptable.

Es por lo mencionado que si se comparan ambos modelos en el rango horario de las 19 horas el día 16 de enero del 2012, la simulación tiene un resultado de largo de cola más exacto, pero si se comparan ambos modelos en cualquier rango horario, la regresión tendrá un mejor resultado. En otras palabras, si se realizara una simulación para cada día y rango horario, ésta se ajustaría mejor que el modelo de regresión realizado para aquellos momentos particulares, pero no se puede generalizar la simulación para todo el período como sí se pudo generalizar con la regresión.

X. RECOMENDACIONES

10.1 RECOMENDACIONES DE DOTACIÓN

En base a la caracterización de momentos de subdotación y sobredotación y de los resultados obtenidos a partir del modelo, se recomienda en términos generales, lo siguiente para cada sucursal:

Tabla 17: Recomendaciones de dotación Vitacura

DÍA	RANGO HORARIO	RECOMENDACIÓN
LUNES A VIERNES	9	DISMINUIR 1 CAJA
	13	MANTENER CAJAS
	19	MANTENER CAJAS
	20	MANTENER CAJAS
SÁBADO	9	DISMINUIR 2 CAJAS
DOMINGO	10	DISMINUIR 1 CAJA
	12	DISMINUIR 2 CAJAS
	14	DISMINUIR 2 CAJAS
	16	DISMINUIR 3 CAJAS
	17	DISMINUIR 3 CAJAS

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18: Recomendaciones de dotación Ñuñoa

DÍA	RANGO HORARIO	RECOMENDACIÓN
LUNES	9	MANTENER CAJAS
	10	MANTENER CAJAS
	15	DISMINUIR 1 CAJA
	19	AUMENTAR 2 CAJAS
MARTES A JUEVES	9	MANTENER CAJAS
	10	MANTENER CAJAS
	15	DISMINUIR 1 CAJA
	19	AUMENTAR 1 CAJA
VIERNES	9	MANTENER CAJAS
	10	MANTENER CAJAS
	15	MANTENER CAJAS
	19	AUMENTAR 1 CAJA
SÁBADO	9	MANTENER CAJAS
	10	AUMENTAR 1 CAJA
DOMINGO	9	MANTENER CAJAS
	12	AUMENTAR 2 CAJAS

Fuente: Elaboración propia

Comparación Reglas de Dotación v/s Modelo Regresión

Para realizar la caracterización inicial de los momentos de subdotación y sobredotación de los locales estudiados, se utilizó el indicador de ocupación y posteriormente, se definieron reglas de dotación que indican si aumentar o no la cantidad de cajas habilitadas. Como se comentó en el Capítulo 9.4: “Caracterización de subdotación y sobredotación”, las reglas definidas no incorporan el nivel de servicio establecido, así como tampoco recomiendan el número de cajas a aumentar o disminuir. Además, suponen que existe una relación directa y proporcional entre la ocupación por caja y la oferta de cajas históricas, asumiendo que niveles altos del indicador corresponden a habilitar la mayoría de las cajas, suponiendo además que todas las cajas disponibles en ambos locales son utilizadas.

Por otro lado, mediante el modelo de regresión lineal realizado se pudo obtener el largo de cola en función de la ocupación por caja, lo que permite obtener la oferta de cajas necesarias (en cantidad de cajas) para cumplir con un nivel de servicio establecido, expresado en el largo de cola máximo permitido por caja. Por lo que el modelo de regresión si incorpora el nivel de servicio para determinar una subdotación o sobredotación.

En base a lo explicado y a los resultados obtenidos mediante las reglas de dotación y el modelo de regresión, se concluye que las reglas de dotación se ajustaron correctamente al local de Nuñoa, pues el resultado de la caracterización de subdotación y sobredotación se asemeja a los resultados finales de recomendaciones de dotación recién presentados. En los momentos donde que se caracterizó una subdotación, el modelo propuso aumentar las cajas, salvo en los rango de 9 y 10 durante la semana, donde se recomendó mantener la oferta. En los momentos donde se caracterizó una sobredotación, el modelo propuso disminuir la oferta, generalmente a las 15 horas durante la semana. En el caso de este supermercado, existe una relación directa entre el indicador de ocupación y la oferta de cajas, pues en algunos momentos sí es necesario atender la demanda a capacidad completa de cajas.

Por el contrario, en el local de Vitacura los resultados obtenidos mediante las reglas de dotación no coincidieron con las recomendaciones basadas en el modelo de regresión lineal. La caracterización realizada en base a las reglas de dotación entregó una subdotación en la mayoría de los casos, mientras que el modelo arrojó sobredotación en los mismos momentos. Esto se debe a que en este supermercado no existe una relación directa entre la ocupación por caja y la oferta de éstas, lo que se concluye de esta forma porque el local nunca atendió la demanda con el total de las cajas habilitadas y sin embargo, el indicador permaneció casi constante durante todo el período estudiado. En otras palabras, Vitacura posee muchas cajas para su demanda y en los momentos de alta demanda puede entregar un buen nivel de servicio sin necesidad de trabajar a capacidad completa.

En base al análisis realizado, el modelo de regresión entrega un resultado más acertado de la situación de subdotación y sobredotación del local, pues en el caso de Nuñoa, éste coincidió con las reglas de dotación y la caracterización realizada en un comienzo. En el caso de Vitacura, se puede decir que los resultados del modelo son más acertados que los de las reglas pues se asemejan más a lo observado en sala durante la medición.

10.2 OTRAS RECOMENDACIONES PARA EL SUPERMERCADO VITACURA

Luego de realizar la observación en sala, se detectaron diferentes problemas que escapan del alcance del modelo, pero que sí pueden ser mejorados con diferentes acciones por parte del supermercado Vitacura, con el fin de entregarle un mejor servicio en cajas al cliente. Éstos son:

1. En general se observó que el cliente del supermercado se comporta de forma bastante ilógica al momento de escoger la caja en la que se va a pagar, es decir, no escoge la caja con menor cola de todo el supermercado, sino que escoge la más vacía dentro de las cajas cercanas a él, aun cuando más lejos exista una caja vacía.

Para ayudar al cliente a escoger mejor la caja en que se atenderá, las cajas abiertas deberían estar todas juntas, por ejemplo todas las cajas del medio, así el cliente puede tener más cerca todas las cajas abiertas y realizar de forma más informada su elección. Esto ayuda al supermercado a tener un control mayor

sobre la gestión de las cajas al tener todas las cajas un largo de cola más uniforme.

2. La dificultad del cliente para escoger una caja puede deberse también a que para él es poco visible cuáles cajas están abiertas y cuáles no, esto debido a que en varias cajas existen elementos que tapan a la cajera, como globos o muebles. Es por ello que no ve las cajas vacías por muy cerca que estén.

Lo mencionado puede ser mejorado si se reubicaran los elementos que tapan a las cajeras o si la distinción de caja “abierta” o “cerrada” fuera más llamativa. Por ejemplo, el número de la caja debería ser más grande y claro y debería tener una luz que se prenda cuando la caja está abierta. Actualmente, el número de la caja es pequeño y tiene fondo negro, por lo que la luz encendida no es notoria.

3. Existen diversos factores que afectan la perspectiva del cliente y su experiencia en la cola. Uno de ellos es llamado “injusticia social” que viola la disciplina “First in First Out” de la cola del supermercado [19]. Esto ocurre cuando al lado de una caja con una gran cola se abre una caja vacía, y las personas que están al final de la cola se mueven a esta nueva caja, siendo atendidas primero que los clientes que llevaban más tiempo esperando en la caja llena. Las personas que se quedan en la caja llena viven el fenómeno conocido como “injusticia social en colas”.

Esta injusticia fue observada en el supermercado Vitacura cuando fueron abiertas más cajas en un momento de subdotación. Esto puede ser mejorado si el supermercado puede prever que se acerca un momento peak y puede abrir más cajas antes que se genere una subdotación. Si la subdotación ya se ha generado, la caja recién abierta puede hacer pasar primero a los clientes que llevan esperando más tiempo.

XI. SISTEMA DE ALARMA EN EL POS

Se diseñó un sistema de alarma basado en los datos transaccionales del POS donde mediante la metodología utilizada se pueden detectar los momentos de subdotación y sobredotación en línea. De esta forma, el supermercado puede tomar acciones con respecto a la oferta de cajas antes que se produzcan los problemas de subdotación y sobredotación¹¹.

A continuación, se muestra un ejemplo con el diseño del prototipo del sistema de alarma, cuya implementación queda propuesta para trabajos futuros:

¹¹ Ver en **Anexo J: Resultados y Alarmas para período de análisis Marzo del 2011**, a modo de ejemplo de los resultados obtenidos.

Figura 8: Ejemplo diseño prototipo sistema de alarma POS, semana del 21 de Junio al 4 de Julio 2012, Ñuñoa

DÍA	FECHA	RESULTADOS	8		9		11		12		13	
			CAJAS	L.COLA								
Lunes	21 de junio de 2010	Actual	2	1	4	2	3	2	5	2	4	3
		Modelo	2	1	3	2	3	2	5	2	5	2
Martes	22 de junio de 2010	Actual	2	0	3	1	4	2	4	3	4	3
		Modelo	2	0	2	2	4	2	5	2	5	2
Miercoles	23 de junio de 2010	Actual	2	0	2	2	4	3	4	3	4	3
		Modelo	2	0	2	2	5	2	6	2	6	2
Jueves	24 de junio de 2010	Actual	1	1	2	1	3	3	4	3	5	3
		Modelo	2	0	2	1	4	2	5	2	6	2
Viernes	25 de junio de 2010	Actual	1	1	3	1	5	3	6	3	7	4
		Modelo	2	0	2	2	7	2	8	2	9	3
Sábado	26 de junio de 2010	Actual	1	0	3	1	3	3	5	3	6	3
		Modelo	2	0	2	1	4	2	7	2	8	2
Domingo	27 de junio de 2010	Actual			2	1	4	3	6	3	7	4
		Modelo			1	2	5	2	8	2	9	3
Lunes	28 de junio de 2010	Actual	1	0	2	1	5	3	6	4	8	4
		Modelo	2	0	1	2	7	2	9	3	9	3
Martes	29 de junio de 2010	Actual	1	0	2	1	3	2	4	3	4	3
		Modelo	2	0	1	2	3	2	5	2	5	2
Miercoles	30 de junio de 2010	Actual	1	1	2	2	3	3	4	3	4	3
		Modelo	2	0	2	2	4	2	5	2	6	2
Jueves	1 de julio de 2010	Actual	1	1	1	3	3	3	3	4	3	4
		Modelo	2	0	2	2	4	2	5	2	5	2
Viernes	2 de julio de 2010	Actual	1	1	1	3	3	3	4	3	5	3
		Modelo	2	0	2	1	4	2	6	2	6	2
Sábado	3 de julio de 2010	Actual	1	1	2	2	5	2	6	3	7	3
		Modelo	2	0	2	2	4	2	7	2	9	2
Domingo	4 de julio de 2010	Actual			3	1	4	3	5	4	6	4
		Modelo			2	1	5	2	8	2	9	3

Fuente: Elaboración propia

De esta forma, el sistema de alarma mostrará lo siguiente:

- Si el largo de cola actual es igual a 2, la alarma se pondrá de color verde y el modelo mantendrá el número inicial de cajas.
- Si el largo de cola actual es menor que 2, la alarma se pondrá de color amarillo y el modelo disminuirá el número de cajas hasta obtener un largo de cola igual a 2. Esto se realizará sin sobrepasar el límite inferior del número de cajas impuesto como condición de borde (2 cajas para Ñuñoa y 3 cajas para Vitacura).
- Si el largo de cola actual es mayor que 2, la alarma se pondrá de color rojo y el modelo aumentará el número de cajas hasta obtener un largo de cola igual a 2. Esto se realizará sin sobrepasar la capacidad máxima del sistema (9 cajas Ñuñoa y 22 cajas Vitacura).
- Si el largo de cola actual es menor que 2, pero el número de cajas no se puede disminuir debido a las condiciones de borde impuestas (2 cajas para Ñuñoa y 3 cajas para Vitacura), la alarma se pondrá de color verde y el modelo mantendrá el número de cajas inicial.

Además de poder tomar decisiones y generar cambios en la oferta de cajas en línea, el supermercado puede monitorear y controlar los cambios que ya ha realizado, validándolos mediante el sistema de alarma y su observación en la sala.

XII. ESTIMACIÓN DE BENEFICIOS ECONÓMICOS DEL TRABAJO

12.1 BENEFICIOS DEL TRABAJO

La aplicación del modelo le otorgará beneficios al supermercado, ya que al gestionar de mejor manera el sistema de cajas, el supermercado disminuirá la cantidad de cajeras ociosas que posee y le entregará un mayor nivel de servicio a sus clientes al disminuir el largo de cola de sus cajas. Los beneficios reales que involucra la utilización del modelo de gestión de cajas del supermercado pueden ser de dos tipos: económicos tangibles e intangibles.

Los beneficios económicos se miden calculando cuánto ahorra el supermercado ofreciendo un mejor nivel de servicio y disminuyendo las cajas ociosas. Este tipo de beneficio está relacionado con dos aspectos:

1. Nivel de Servicio: Se realiza el supuesto que aplicando el modelo, los clientes que no están dispuestos a esperar largas colas clientes no abandonarán el supermercado. En este aspecto, se estima cuánto ahorra el supermercado por los clientes que se irían de éste al encontrar la caja llena en los momentos de subdotación y que, gracias al modelo, no se irán.
2. Cajas Ociosas: Se realiza el supuesto que aplicando el modelo, el supermercado disminuirá el tiempo ocioso de las cajeras abriendo una menor cantidad de cajas en momentos de sobredotación. En este aspecto, se estima cuánto ahorra el supermercado por disminuir las cajeras ociosas en los momentos de sobredotación.

Los beneficios intangibles se miden a través de instrumentos cualitativos como las investigaciones de mercado. Con ellos, se cuantifica las percepciones de los clientes del supermercado con respecto al nuevo nivel de servicio que se ofrece en las cajas. Para lograrlo, se entrevista o encuesta a los distintos consumidores, preguntándoles si notan los cambios, si se demoran menos que antes en realizar el proceso en caja, si les parece adecuada la cantidad de cajas funcionando para la cantidad de público esperando, etc.

12.2 ESTIMACIÓN DE BENEFICIOS ECONÓMICOS

A continuación, se entregará una estimación de los beneficios económicos que podría tener la aplicación del modelo propuesto en este trabajo. Los beneficios intangibles no son posibles de estimar dados los datos que se tienen y dado que no se implementará el modelo en este trabajo. Los beneficios económicos son estimados del siguiente modo:

1. Nivel de Servicio: Se estima cuánto ahorra cada supermercado por evitar que los clientes abandonen gracias al modelo. Esta estimación se relaciona con:
 - Probabilidad de Fuga: Mientras se realizó la medición durante un cierto rango horario se considera que se fugó 1 cliente, pues fue observado realizando

esta acción. En dicho rango horario hubo un total de 263 boletas, por lo tanto la probabilidad de fuga se calcula como los clientes fugados sobre el total de clientes del rango horario. Esto da una probabilidad de fuga igual al 0,38%. Esta probabilidad se aplicará para ambos supermercados.

- Ticket Promedio: Se supone que por cada cliente que abandona el local, éste no gasta el ticket promedio que iba a comprar.
- Frecuencia al año: Se supone que un cliente que abandona una vez el supermercado por mal servicio, no volverá con la frecuencia que lo hacía.
- Cantidad de Horas de Mal Servicio: Este número lo arrojó el modelo y corresponde a la cantidad de horas durante el período analizado que el largo de cola es mayor o igual a 3 personas. Se supone que cada vez que sucede esto, actúa la probabilidad de fuga.
- Margen del Supermercado: Finalmente, al supermercado le importa el margen que deja de ganar por cliente fugado. Este número es aproximadamente de un 15% para ambos supermercados.

A continuación se muestra una tabla con todos los factores mencionados anteriormente y sus respectivos valores para ambas sucursales en el año analizado:

Tabla 19: Estimación de Beneficios Económicos mejora Nivel de Servicio

	Vitacura	Ñuñoa
Probabilidad de Fuga	0,38% de los clientes	
Total clientes Rango Horario	263	
Ticket Promedio	\$6.955	\$3.071
Frecuencia de Compra al año	16,1	30,9
Cantidad de Horas de Mal Servicio	90	2.669
VENTA POTENCIAL ANUAL PERDIDA POR MAL SERVICIO	\$10.081.759	\$252.882.496
Margen del Supermercado aprox.	15%	
VENTA POTENCIAL ANUAL	\$1.512.264	\$37.932.374

Fuente: Elaboración propia

2. Cajas Ociosas: Se estima cuánto ahorra el supermercado por disminuir las cajas ociosas en los momentos de sobredotación. Esta estimación se relaciona con:

- Cantidad de Horas de Subdotación: Este número lo arrojó el modelo y corresponde a la cantidad de horas durante el período analizado que el largo de cola es menor que 2 personas. Se supone que cada vez que sucede esto, debería disminuirse la cantidad de cajas funcionando.
- Sueldo Cajeras: Por caja hora que se disminuya una caja, es una hora de sueldo menos que se le paga a la cajera.

A continuación se muestra una tabla con los factores mencionados anteriormente y sus respectivos valores para ambas sucursales:

Tabla 20: Estimación de beneficios económicos disminución horas ociosas

	Vitacura	Ñuñoa
Sueldo Mensual Cajera	\$250.000	
Horas Mensuales	180	
Sueldo por Hora	\$1.389	
Cantidad de Horas Sobredotación	1.509	202
AHORRO FINAL ANUAL	\$2.095.833	\$280.556

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, la estimación final del beneficio económico para el período de un año analizado se muestra en la tabla a continuación:

Tabla 21: Estimación final beneficio económico anual

	Vitacura	Ñuñoa
BENEFICIO ECONÓMICO TOTAL ANUAL	\$3.608.097	\$38.212.930

Fuente: Elaboración propia

XIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES A TRABAJOS FUTUROS

13.1 CONCLUSIONES

Las decisiones tomadas en la gestión de las cajas de un supermercado son muy importantes a la hora de entregarle un buen servicio al cliente en el momento de su compra, ya que sólo el largo de la cola de una caja puede afectarlo de dos formas: vuelve o no vuelve a comprar en dicho supermercado. Es por ello que aplicar el modelo propuesto en este trabajo ayuda a la gestión de cajas para afectar la experiencia del cliente y llevarlo a que repita su compra.

Se logró cumplir con los objetivos propuestos en un inicio gracias al desarrollo de la metodología definida. Luego de realizar la caracterización, en base a mediciones y observaciones en la sala, se logró construir un modelo de regresión que estima el largo de la cola en función de los datos transaccionales del punto de venta y del número de cajas en funcionamiento. De esta forma se pudo encontrar la cantidad de cajas que satisface la demanda a un nivel de servicio aceptable y que además disminuye las cajas ociosas, para cualquier día y rango horario. Además, se logró representar la situación mediante un modelo de simulación, el que sólo representa el escenario de un día y rango horario en particular, pues se realizó en base a una medición realizada en

ese escenario. Se compararon ambos modelos y se concluye que la regresión se ajusta bien a la generalidad de los casos, independiente de las condiciones particulares de cada escenario, y que la simulación se ajusta mejor que la regresión en cada escenario en particular, pero no puede generalizarse a todos los casos. Es por ello que se utilizó la regresión para el desarrollo del trabajo durante todo el período analizado.

Los resultados arrojados por el modelo de regresión permitieron realizar recomendaciones de dotación para los locales estudiados. En el caso de Vitacura, en un 87% de las horas estudiadas existe sobredotación, la cual se presenta todos los días y en todos los horarios. Esta sobredotación se debe a que el local tiene una capacidad de cajas mayor a su demanda y a que el supermercado sí realiza esfuerzos para atender la demanda a un buen nivel de servicio. Por ello, el modelo recomendó a Vitacura, mantener o disminuir las cajas habilitadas en la mayoría de los casos.

Por el contrario, en el caso del local de Ñuñoa, en el 58% del total de las horas estudiadas existe subdotación, principalmente en los horarios del día donde el flujo de clientes aumenta. Esta subdotación se debe a que el supermercado no realiza esfuerzos para balancear la oferta y la demanda, manteniendo las cajas en funcionamiento constantes, por lo que un alza en la demanda se transforma en subdotación y una baja de demanda en sobredotación. Por ello, el modelo recomendó aumentar cajas en horarios con mayor demanda y disminuir cajas en horarios de menor demanda.

En base al modelo propuesto, el cual estima el largo de cola promedio utilizando los datos transaccionales del POS y entrega la cantidad de cajas en funcionamiento para cumplir con un correcto nivel de servicio, se consigue un importante ahorro económico. Este beneficio está relacionado con la disminución de la fuga de los clientes por un mal nivel de servicio y con la disminución de las horas ociosas de las cajeras, ahorro total anual que corresponde aproximadamente a \$3.600.000 en Vitacura y a \$38.000.000 en Ñuñoa.

Cabe destacar que el beneficio económico mencionado se obtiene porque actualmente ambos supermercados realizan la gestión de las cajas en base a la experiencia y a las contingencias del momento. No realizan estudios o análisis previos asociados a la demanda que tiene cada local o a la cantidad de cajas que necesitan para satisfacer dicha demanda. Sin embargo, en base a los resultados obtenidos y a los beneficios económicos generados, se concluye que Vitacura sí realiza un esfuerzo por satisfacer la demanda, teniendo una oferta flexible a lo largo del día que intenta ajustarse al nivel de venta diario, sin embargo, al realizar este esfuerzo el local cae en la sobredotación, incurriendo en costos innecesarios por personal ocioso. Por el contrario, se concluye que Ñuñoa no realiza esfuerzos por ajustarse a la demanda, pues la oferta de sus cajas es casi constante y el nivel de subdotación que posee permite que este local incurra en insatisfacción de clientes y en un alto costo de fuga de éstos.

Es importante recalcar que para poder implementar en un futuro el modelo y la alarma basada en los datos transaccionales del POS, se necesita de la flexibilidad del supermercado que lo implementará, pues éste debe ser capaz de ajustar la oferta de

sus cajas rápidamente cuando existan alzas de demandas inesperadas, las que gracias al sistema de alarma podrán ser detectadas en el momento. Con respecto a esto y a las sucursales estudiadas, para Vitacura será fácil implementarlo, ya que actualmente posee flexibilidad en la oferta de sus cajas, sin embargo, para Ñuñoa seguramente será más difícil debido a la baja capacidad de adaptación a cambios sorpresivos en el nivel de demanda del supermercado.

Finalmente, el problema de insatisfacción del cliente en Vitacura se debe principalmente a la mala visibilidad y distribución de las cajas, ya que esto lleva a que existan momentos de sobredotación seguidos de subdotación en un mismo rango horario, en vez de tener una continuidad en la ocupación de las cajas y en consecuencia, una relajación del sistema. Teniendo una buena visibilidad de cajas abiertas, Vitacura se puede mejorar la experiencia de compra del cliente. Sin embargo, aún se requeriría del modelo planteado para gestionar los momentos de sobredotación. Por el contrario, en Ñuñoa el factor determinante de la insatisfacción del cliente es la mala gestión de la apertura de cajas.

13.3 RECOMENDACIONES A TRABAJOS FUTUROS

En primer lugar, se propone adaptar el indicador de ocupación y las reglas de dotación para los supermercados donde se implemente el modelo propuesto. Esto es debido a que, como se concluyó durante este trabajo, no todos los locales poseen una relación directa y proporcional entre la ocupación de sus cajas y la oferta de éstas. Por ello, se aconseja adaptar los parámetros del indicador a la realidad de cada local. En esta misma línea, también se propone adaptar el nivel de servicio establecido a cada supermercado, dependiendo de las metas de cada uno, de su administración y de la capacidad total de cajas que posee.

Además, se propone la posibilidad de realizar la dotación propuesta y posterior scheduling de las cajeras del supermercado. De esta forma, se puede planificar el personal de las cajas, definiendo horarios y turnos de trabajo para cada cajera del local, con lo que se puede ayudar al supermercado a cumplir con las leyes laborales. En este mismo ámbito, se propone establecer distintos turnos de trabajo para las cajeras, full time, part time y peak time, de manera que las cajeras ociosas actuales no tengan que ser despedidas, sino reasignadas a otros horarios y para poder tener cajeras disponibles ante cualquier alza inesperada de la demanda detectada por el sistema de alarma del POS diseñado.

Otro trabajo interesante sería incorporar al modelo la eficiencia de cada cajera, así el tiempo de atención sería variable para cada caja dependiendo de la eficiencia y de la velocidad de su cajera. En este mismo ámbito, se puede proponer un modelo de incentivos para el personal de cajas, el cual conduzca a las cajeras más lentas a ser más eficientes.

Se propone también generalizar el modelo de simulación para todos los horarios, realizando mediciones más extensas que permitan calibrar dicho modelo y ajustarlo para todo el período analizado. De esta manera se tendrá un modelo que estime el largo de la cola más exacto que la regresión para cada rango horario. Además, se

propone comparar y validar con datos reales el modelo de simulación y regresión al abrir o cerrar cajas en un mismo rango horario. En este trabajo de título no se realizó la generalización del modelo de simulación debido a los alcances de tiempo para realizarla (Alcances descritos en Capítulo IV).

Finalmente, se propone estudiar más en profundidad la metodología llamada “The queue inference engine” y proponer una metodología que apoye la gestión de las cajas en base a ella, que sea capaz de generalizarse y adaptarse a cualquier supermercado.

XIV. BIBLIOGRAFÍA

- [1]. ABDENNADHER, Slim, SCHLENKER, Hans. 1999. Nurse scheduling using constraint logic programming. American Association for Artificial Intelligence, pp. 838 – 843.
- [2]. AMAR, Zacarías. 2007. Optimización y planificación de turnos de la fuerza de venta en Empresas La Polar S.A. Memoria Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Chile.
- [3]. ARMSTRONG, Scott, ANDRESS, James. 1970. Exploratory analysis of marketing data: Trees vs. Regression. Journal of Marketing Research, Vol. 7, No. 4, pp. 487 - 492.
- [4]. BARRERA, Rodrigo. 2011. Diseño de un modelo de optimización de turnos para cajeros. Memoria Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Chile.
- [5]. BERTSIMAS, Dimitri, SERVI, L.D. 1992. Deducing queueing from transactional data: The queue inference engine, revisited. Operations Research, Vol. 40, No. 2, pp. 217 - 228.
- [6]. BLOCHLIGER, Ivo. 2004. Modeling staff scheduling problems. A tutorial. European Journal of Operational Research, Vol. 158, pp. 533 – 542.
- [7]. BRAVO, Humberto. 2010. Metodología para optimizar dotación de personal en tiendas de especialidad. Memoria Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Chile.
- [8]. CALDENTEY, René, MONDSCHNEIN Susana.1999. Modelos de decisión en ambientes inciertos [Apunte de clases para el curso Investigación Operativa IN44A]. Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Chile, pp.93-119.
- [9]. Calidad de servicio en la industria del retail en Chile: Caso supermercados. 2009. Centro de Estudios del Retail CERET [Consulta en línea: Mayo 2011].
- [10]. Calidad de servicio en la industria del retail en Chile: Supermercados. 2011. Centro de Estudios del Retail CERET.
- [11]. ERNST A.T., JIANG H., KRISHNAMOORTY M., SIER D. 2004. Staff Scheduling and rostering: A review of applications, methods and models. European Journal Of Operational Research, Vol. 153, No. 1, pp. 3-27.
- [12]. FIGUEROA, Trinidad. 2009. Modelo predictivo de quiebres de stock en un supermercado. Memoria Departamento Ingeniería Industrial, Universidad de Chile.
- [13]. GLOVER, Fred, MCMILLAN, Claude. 1986. The general employee scheduling problem: An integration of MS and AI. Computers & Operations Research, Vol. 13, No. 5, pp. 563 – 573.

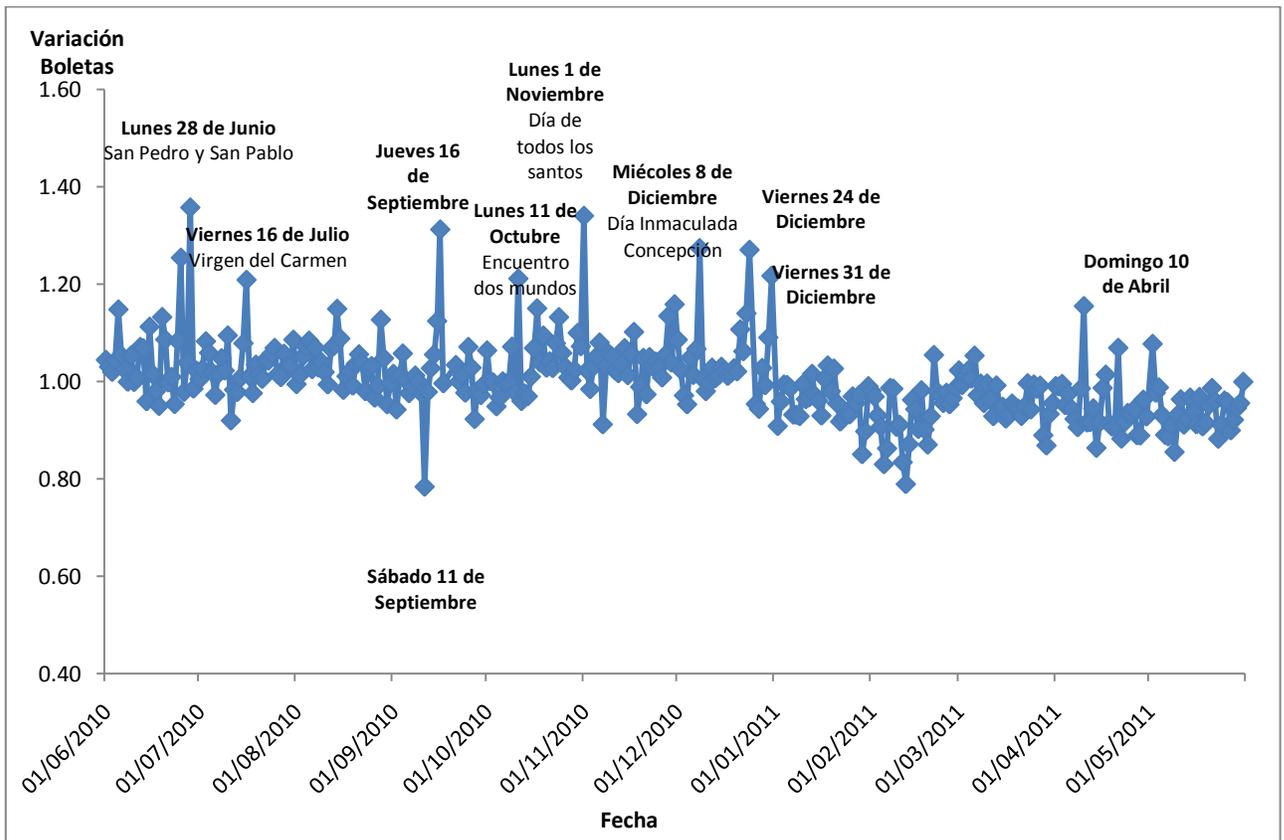
- [14]. GOMEZ, Fredy. 2008. Aplicación de teoría de colas en una entidad financiera: Herramienta para el mejoramiento de los procesos de atención al cliente. Revista Universidad EAFIT, Vol. 44, No. 150, pp. 51 – 63.
- [15]. HAIR, J., ANDERSON, R., TATHAM, R., BLAVK, W. 1999. Análisis Multivariante, 5° Edición, España, Prentice Hall International.
- [16]. Informe de Clasificación Cencosud S.A. 2012. Feller – Rate Clasificadora de riesgo [Consulta en línea: Mayo 2011].
- [17]. Informe de Primera Clasificación de Riesgo. 2011. ICR Clasificadora de Riesgo [Consulta en línea: Mayo 2011].
- [18]. KINNEAR, Thomas, TAYLOR, James. 1971. Multivariate methods in marketing research: A further attempt at classification. The Journal of Marketing, Vol. 35, No.4, pp. 56-59.
- [19]. LARSON, Richard. 1987. Perspectives on queues: Social justice and the psychology of queueing. Operations Research, Vol. 35, No. 6, pp. 895 – 905.
- [20]. LARSON, Richard. 1990. The queue inference engine: Deducing queue statistics from transactional data. Operations Research, Vol. 36, No.5, pp. 586 – 601.
- [21]. NAIDU, Kiranmai, SULLIVAN, Keith, WANG, Paul, YANG, Yi. 2000. Managing personnel through staff scheduling algorithms. Duke University/Association for Intelligent Machinery, Vol. 5, pp. 829 – 835.
- [22]. PIZARRO, Claudio. 2011. Apuntes IN547: Gestión de Retail [Clases]. FCFM. Departamento de Ingeniería Industrial. Universidad de Chile.
- [23]. PUERTA, Aitor. 2002. Imputación basada en árboles de clasificación. Instituto Vasco de Estadística EUSTAT [Consulta en línea: Febrero 2012].
- [24]. REYES, María José. 2009. Modelo de optimización de personal para una Tienda por departamento. Memoria Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Chile.
- [25]. Weibull, Descripción distribución. 2012. [Consulta en línea: Marzo 2012] <<http://www.ub.edu/stat/GrupsInnovacio/Statmedia/demo/Temas/Capitulo4/BOC4m1t9.htm>>.
- [26]. WHITT, Ward. 2006. Staffing a Call Center with Uncertain Arrival Rate and Absenteeism. Production and Operations Management, Vol. 15, No. 1, pp. 88 – 102.

XV. ANEXOS

ANEXO A: AGREGACIÓN ANUAL ÑUÑO A

A continuación se muestra la variación de las boletas de la sucursal Ñuñoa con la explicación de sus peaks y valles más importantes:

Gráfico 1: Variación de boletas sucursal Ñuñoa



Fuente: Elaboración Propia.

ANEXO B: DÍAS ESPECIALES DE DEMANDA

A continuación se muestran los días especiales que alteran la demanda de ambas sucursales, los cuales son primeros candidatos a ser analizados por subdotación y sobredotación.

Tabla 1: Días especiales de demanda

DÍA	EXPLICACIÓN
Domingo, 06 de junio de 2010	Domingo se atiende desde las 9:00
Domingo, 13 de junio de 2010	Domingo se atiende desde las 9:00

Domingo, 20 de junio de 2010	Domingo se atiende desde las 9:00
Sábado, 26 de junio de 2010	Fin de semana largo
Domingo, 27 de junio de 2010	Domingo se atiende desde las 9:00
Domingo, 27 de junio de 2010	Fin de semana largo
Lunes, 28 de junio de 2010	Feriado se atiende desde las 9:00
Domingo, 04 de julio de 2010	Domingo se atiende desde las 9:00
Domingo, 11 de julio de 2010	Domingo se atiende desde las 9:00
Viernes, 16 de julio de 2010	Feriado se atiende desde las 9:00
Sábado, 17 de julio de 2010	Fin de semana largo
Domingo, 18 de julio de 2010	Domingo se atiende desde las 9:00
Domingo, 18 de julio de 2010	Fin de semana largo
Domingo, 25 de julio de 2010	Domingo se atiende desde las 9:00
Domingo, 01 de agosto de 2010	Domingo se atiende desde las 9:00
Domingo, 08 de agosto de 2010	Domingo se atiende desde las 9:00
Domingo, 15 de agosto de 2010	Domingo se atiende desde las 9:00
Domingo, 15 de agosto de 2010	Feriado se atiende desde las 9:00
Domingo, 22 de agosto de 2010	Domingo se atiende desde las 9:00
Domingo, 29 de agosto de 2010	Domingo se atiende desde las 9:00
Domingo, 05 de septiembre de 2010	Domingo se atiende desde las 9:00
Domingo, 12 de septiembre de 2010	Domingo se atiende desde las 9:00
Viernes, 17 de septiembre de 2010	Víspera feriado irrenunciable se cierra más temprano
Domingo, 19 de septiembre de 2010	Domingo se atiende desde las 9:00
Domingo, 26 de septiembre de 2010	Domingo se atiende desde las 9:00
Domingo, 03 de octubre de 2010	Domingo se atiende desde las 9:00
Sábado, 09 de octubre de 2010	Fin de semana largo
Domingo, 10 de octubre de 2010	Domingo se atiende desde las 9:00
Domingo, 10 de octubre de 2010	Fin de semana largo
Lunes, 11 de octubre de 2010	Feriado se atiende desde las 9:00
Domingo, 17 de octubre de 2010	Domingo se atiende desde las 9:00
Domingo, 24 de octubre de 2010	Domingo se atiende desde las 9:00
Sábado, 30 de octubre de 2010	Fin de semana largo
Domingo, 31 de octubre de 2010	Domingo se atiende desde las 9:00

Domingo, 31 de octubre de 2010	Fin de semana largo
Domingo, 31 de octubre de 2010	Feriado se atiende desde las 9:00
Lunes, 01 de noviembre de 2010	Feriado se atiende desde las 9:00
Domingo, 07 de noviembre de 2010	Domingo se atiende desde las 9:00
Domingo, 14 de noviembre de 2010	Domingo se atiende desde las 9:00
Domingo, 21 de noviembre de 2010	Domingo se atiende desde las 9:00
Domingo, 28 de noviembre de 2010	Domingo se atiende desde las 9:00
Domingo, 05 de diciembre de 2010	Domingo se atiende desde las 9:00
Miércoles, 08 de diciembre de 2010	Feriado se atiende desde las 9:00
Domingo, 12 de diciembre de 2010	Domingo se atiende desde las 9:00
Domingo, 19 de diciembre de 2010	Domingo se atiende desde las 9:00
Viernes, 24 de diciembre de 2010	Víspera feriado irrenunciable se cierra más temprano
Domingo, 26 de diciembre de 2010	Domingo se atiende desde las 9:00
Viernes, 31 de diciembre de 2010	Víspera feriado irrenunciable se cierra más temprano
Domingo, 02 de enero de 2011	Domingo se atiende desde las 9:00
Domingo, 09 de enero de 2011	Domingo se atiende desde las 9:00
Domingo, 16 de enero de 2011	Domingo se atiende desde las 9:00
Domingo, 23 de enero de 2011	Domingo se atiende desde las 9:00
Domingo, 30 de enero de 2011	Domingo se atiende desde las 9:00
Domingo, 06 de febrero de 2011	Domingo se atiende desde las 9:00
Domingo, 13 de febrero de 2011	Domingo se atiende desde las 9:00
Domingo, 20 de febrero de 2011	Domingo se atiende desde las 9:00
Domingo, 27 de febrero de 2011	Domingo se atiende desde las 9:00
Domingo, 06 de marzo de 2011	Domingo se atiende desde las 9:00
Domingo, 13 de marzo de 2011	Domingo se atiende desde las 9:00
Domingo, 20 de marzo de 2011	Domingo se atiende desde las 9:00
Domingo, 27 de marzo de 2011	Domingo se atiende desde las 9:00
Domingo, 03 de abril de 2011	Domingo se atiende desde las 9:00
Domingo, 10 de abril de 2011	Domingo se atiende desde las 9:00
Domingo, 17 de abril de 2011	Domingo se atiende desde las 9:00
Viernes, 22 de abril de 2011	Feriado se atiende desde las 9:00
Sábado, 23 de abril de 2011	Feriado se atiende desde las 9:00

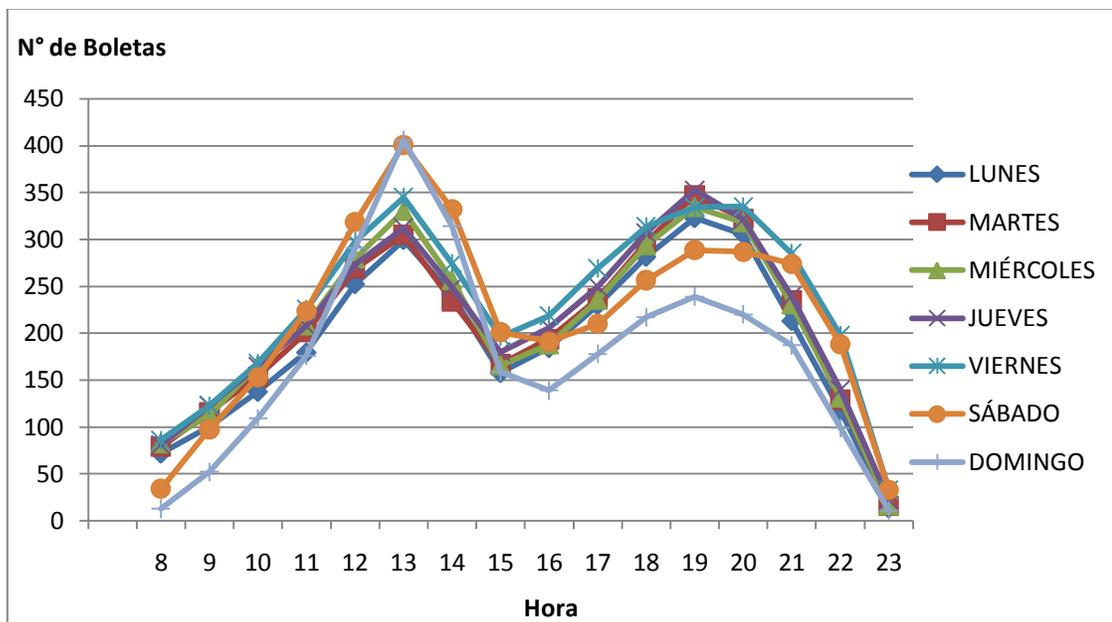
Domingo, 24 de abril de 2011	Domingo se atiende desde las 9:00
Domingo, 01 de mayo de 2011	Domingo se atiende desde las 9:00
Domingo, 01 de mayo de 2011	Feriado se atiende desde las 9:00
Domingo, 08 de mayo de 2011	Domingo se atiende desde las 9:00
Domingo, 15 de mayo de 2011	Domingo se atiende desde las 9:00
Sábado, 21 de mayo de 2011	Feriado se atiende desde las 9:00
Domingo, 22 de mayo de 2011	Domingo se atiende desde las 9:00
Domingo, 29 de mayo de 2011	Domingo se atiende desde las 9:00

Fuente: Elaboración Propia

ANEXO C: AGREGACIÓN POR HORA VITACURA

Cantidad de boletas y transacciones por hora:

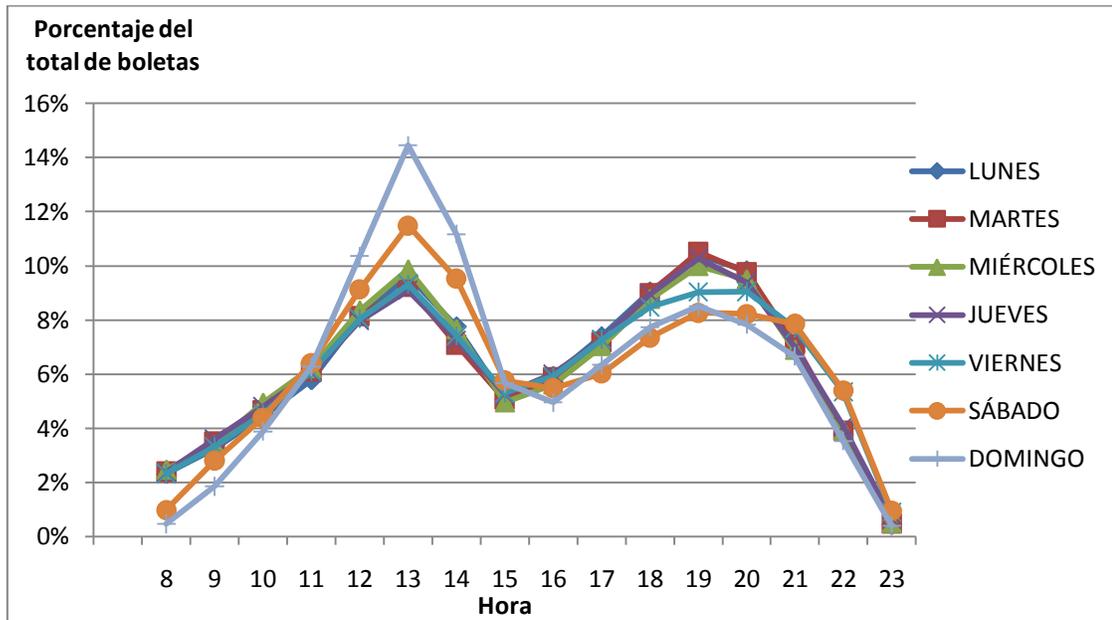
Gráfico 2: Cantidad promedio de boletas por hora sucursal Vitacura



Fuente: Elaboración propia

Distribución de boletas durante el día:

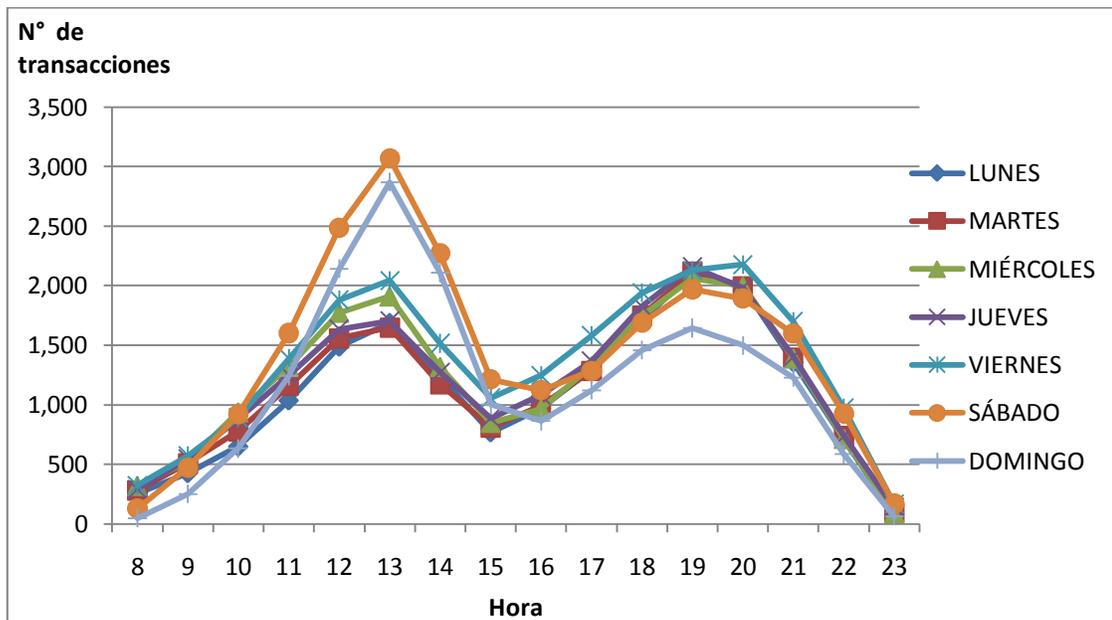
Gráfico 3: Distribución de la venta a lo largo del día sucursal Vitacura



Fuente: Elaboración propia

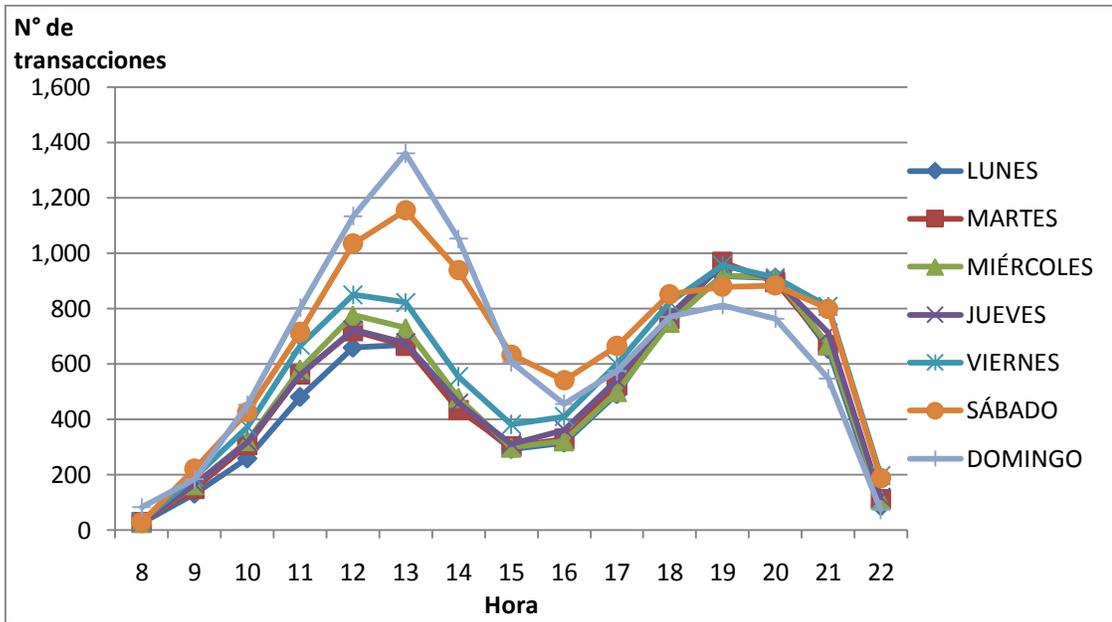
ANEXO D: CANTIDAD DE TRANSACCIONES PROMEDIO POR HORA

Gráfico 4: Cantidad promedio de transacciones por hora día sucursal Vitacura



Fuente: Elaboración propia

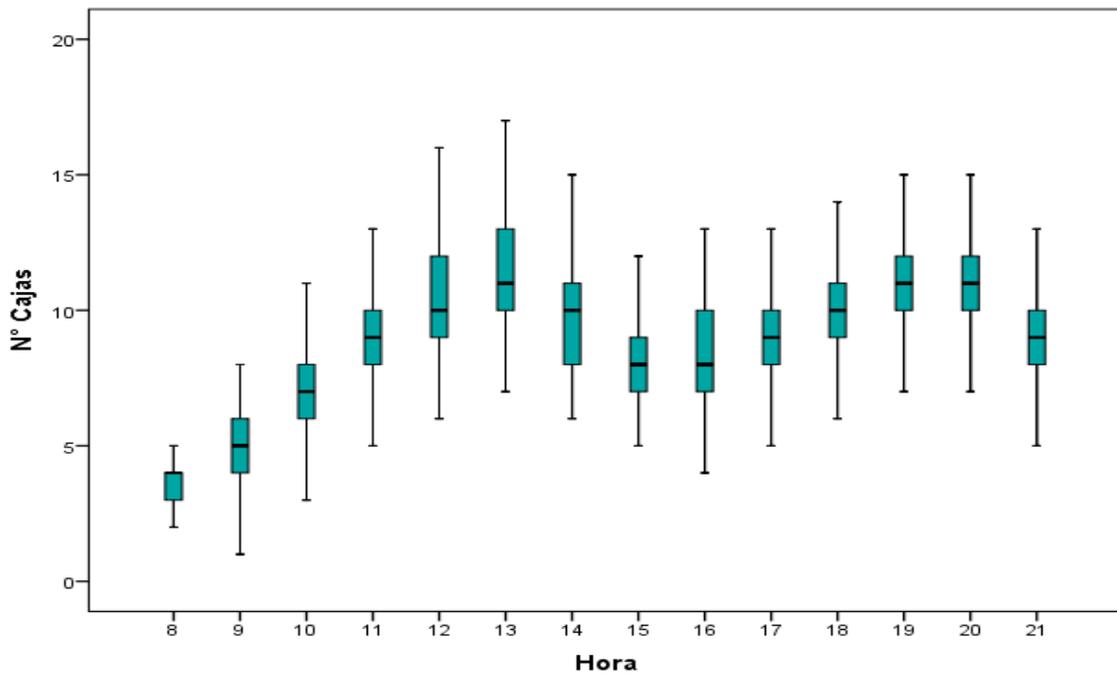
Gráfico 5: Cantidad promedio de transacciones por hora día sucursal Ñuñoa



Fuente: Elaboración propia

ANEXO E: VARIACIÓN DE CAJAS EN FUNCIONAMIENTO A LO LARGO DEL DÍA

Gráfico 6: Variación de cajas en funcionamiento a lo largo del día sucursal Vitacura



Fuente: Elaboración propia

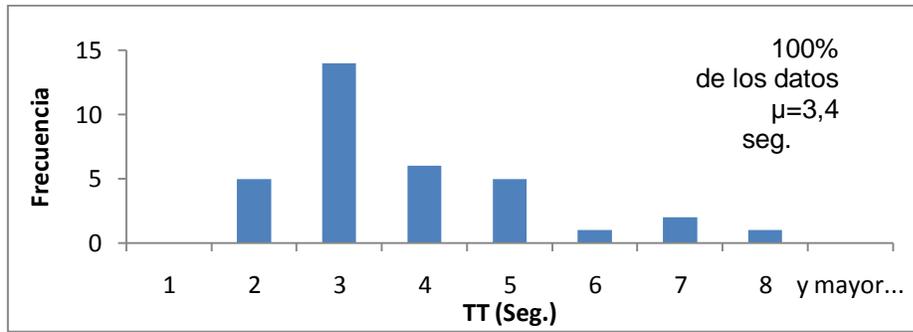
ANEXO F: MEDICIÓN TIEMPOS INDICADOR DE OCUPACIÓN E HISTOGRAMA

Tabla 2: Medición tiempos indicador de ocupación

Medición Tiempos IO (Seg.)					TT	TB
Obs.	N° Trx	Saludo + Rut	Total Trx	Pago		
1	11	12	17	56	1,55	68
2	11	6	32	78	2,91	84
3	7	6	11	57	1,57	63
4	7	13	31	38	4,43	51
5	3	5	24	45	8,00	50
6	7	19	12	57	1,71	76
7	11	8	24	104	2,18	112
8	18	7	48	48	2,67	55
9	9	12	17	35	1,89	47
10	6	5	18	110	3,00	115
11	2	10	4	46	2,00	56
12	5	9	18	24	3,60	33
13	15	7	95	74	6,33	81
14	4	11	11	44	2,75	55
15	4	8	9	35	2,25	43
16	18	10	84	45	4,67	55
17	10	10	35	58	3,50	68
18	9	10	20	57	2,22	67
19	6	9	29	47	4,83	56
21	3	6	9	29	3,00	35
22	4	6	28	78	7,00	84
23	12	12	33	106	2,75	118
24	8	9	26	50	3,25	59
25	11	12	31	78	2,82	90
26	7	19	19	57	2,71	76
27	8	10	31	74	3,88	84
29	1	11	4	19	4,00	30
30	7	5	38	23	5,43	28
31	4	12	10	30	2,50	42
32	4	9	10	20	2,50	29
33	39	10	168	52	4,31	62
34	8	7	17	32	2,13	39
35	3	5	11	13	3,67	18
36	31	7	131	69	4,23	76

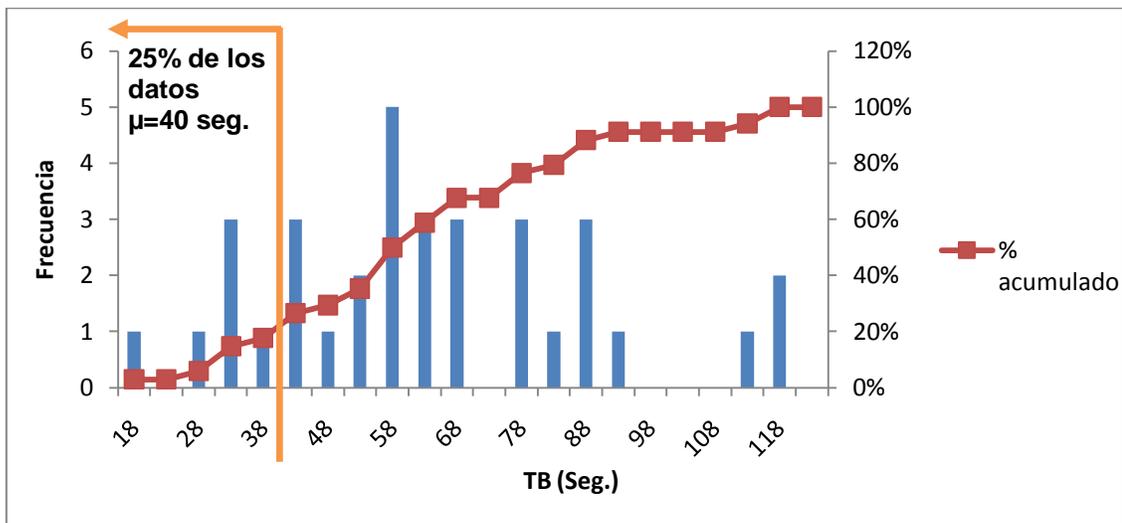
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 7: Histograma tiempo por transacción



Fuente: Elaboración propia

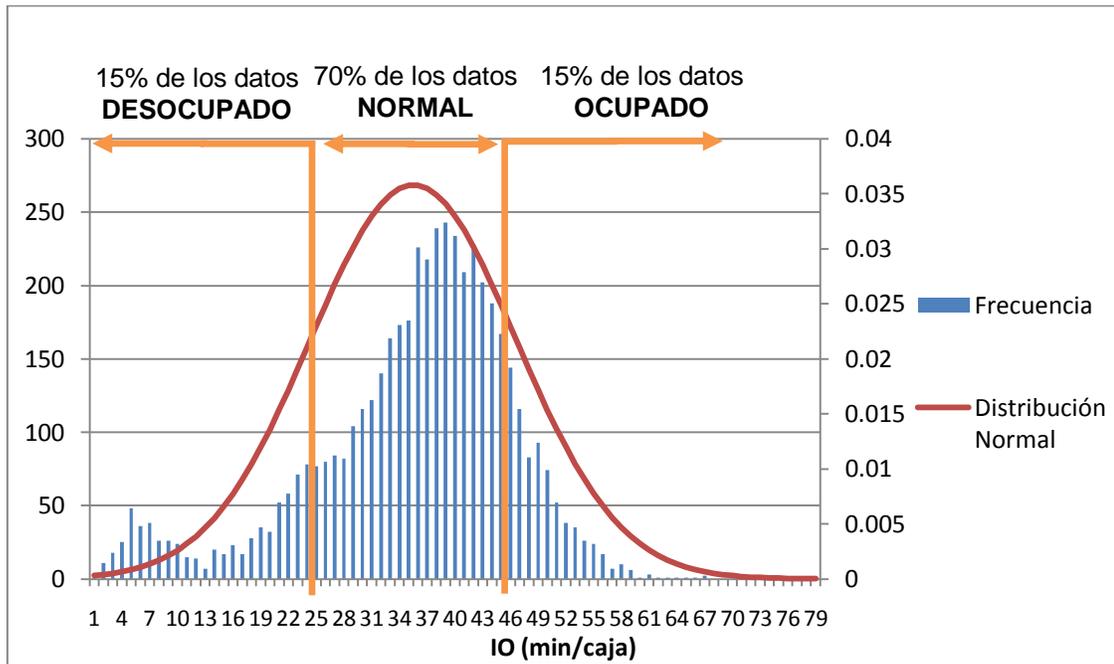
Gráfico 8: Histograma tiempo por boleta



Fuente: Elaboración propia

ANEXO G: INDICADOR DE OCUPACIÓN ÑUÑO A

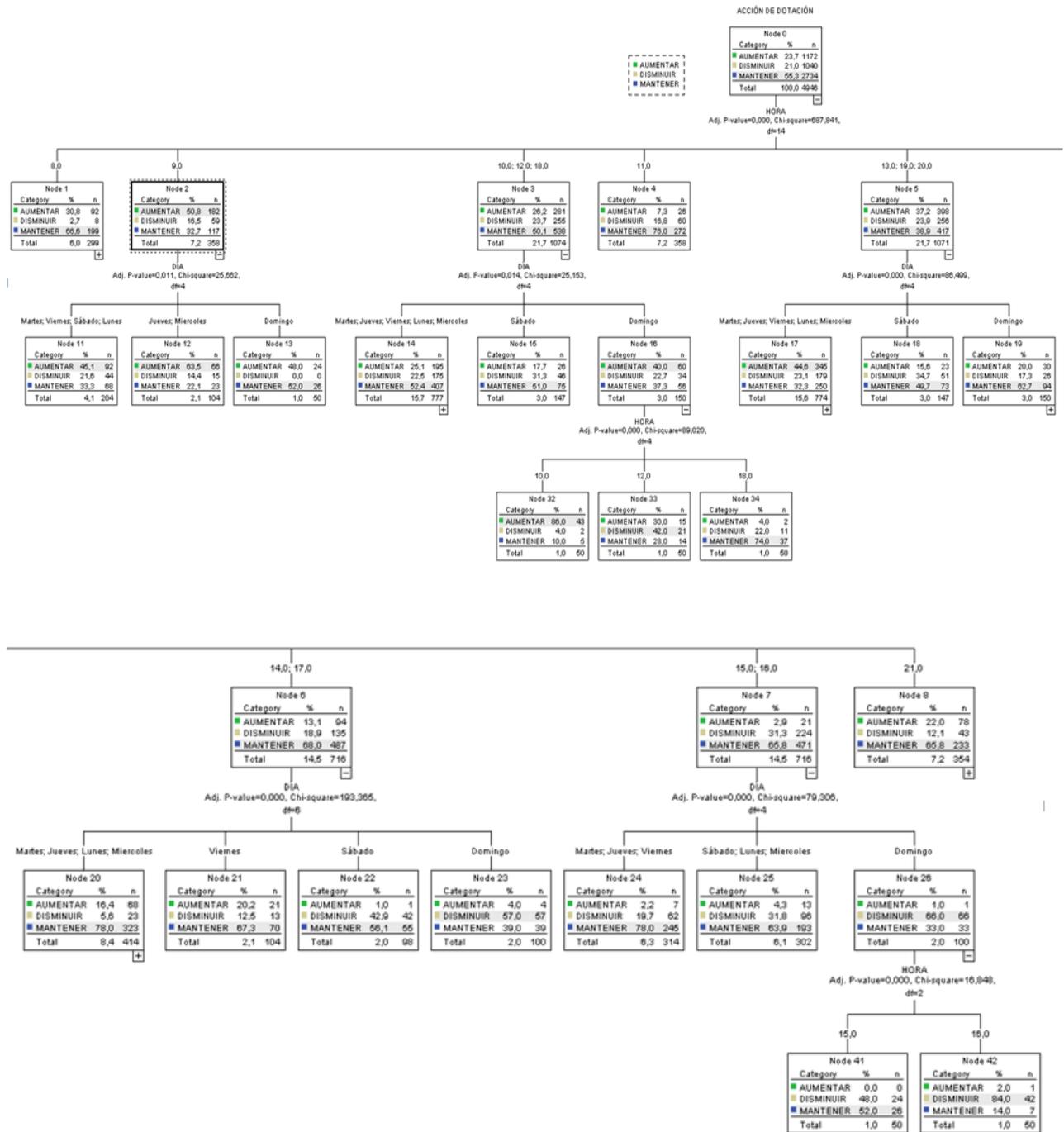
Gráfico 9: Histograma indicador de ocupación Ñuñoa



Fuente: Elaboración propia

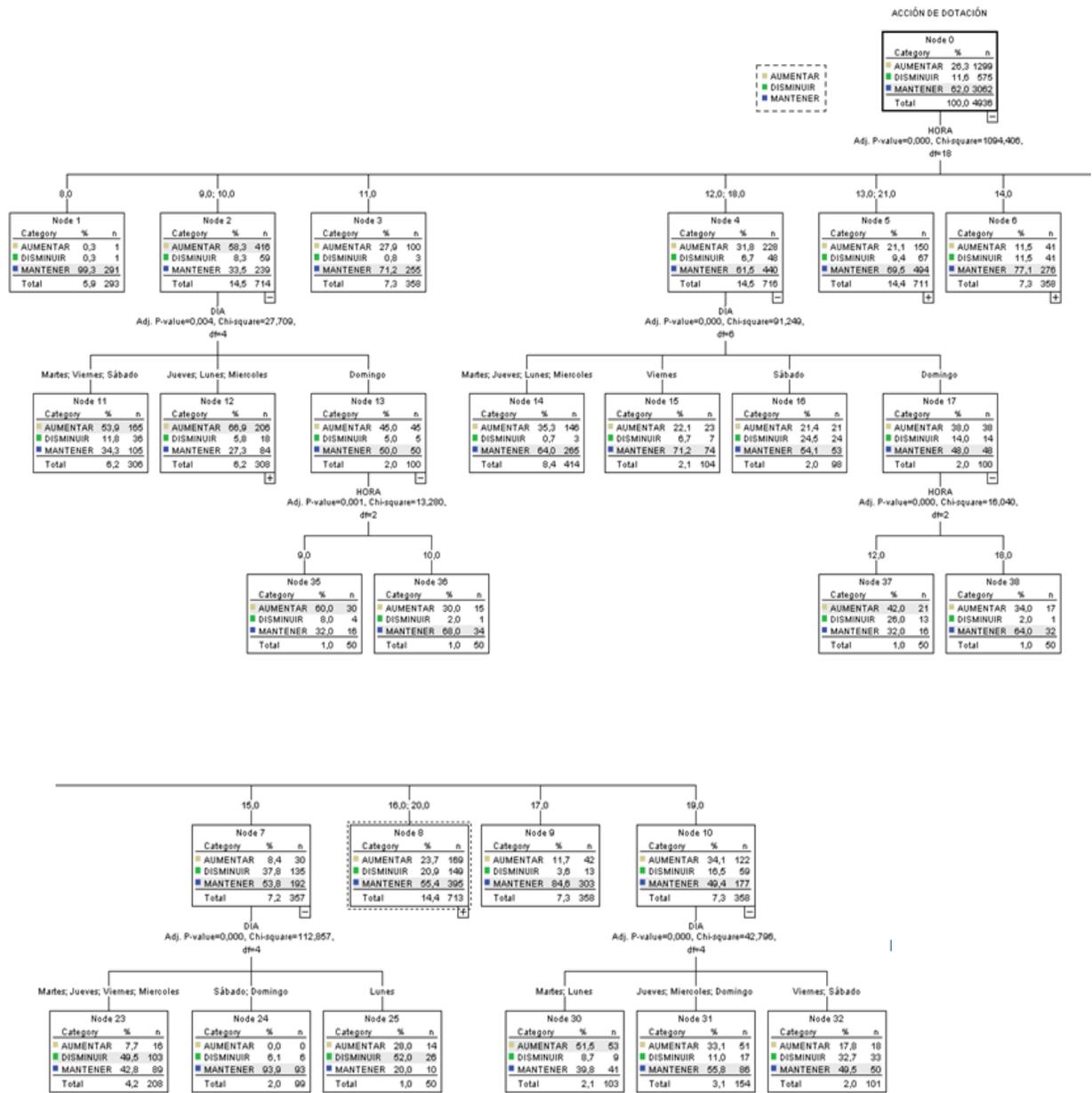
ANEXO H: RESULTADOS SPSS ÁRBOLES DE CARACTERIZACIÓN

Figura 1: Árbol de Caracterización Vitacura



Fuente: Resultados SPSS

Figura 2: Árbol de Caracterización Ñuñoa



Fuente: Resultados SPSS

ANEXO I: DETALLE MEDICIÓN EN SALA

Tabla 3: Detalle medición del largo de la cola (expresado en cantidad de personas en cola)

Fecha	Día	Rango Horario	Cajas Abiertas	Largo Cola por Caja (promedio)	Largo Cola por Caja (máximo observado)
02-01-2012	Lunes	18	7	3	4
		19	7	4	5
		20	8	4	5
03-01-2012	Martes	9	6	0	0
		19	8	3	4
		20	8	3	3
04-01-2012	Miércoles	13	10	1	1
		14	8	1	1
		15	7	0	1
		19	7	3	4
		20	7	2	3
05-01-2012	Jueves	9	5	0	1
		19	8	2	3
		20	8	2	3
06-01-2012	Viernes	9	5	0	1
		12	8	1	1
		13	8	1	3
		14	7	1	3
		19	8	2	2
		20	9	1	2
07-01-2012	Sábado	12	11	0	1
		13	12	1	2
		18	8	1	1
		19	9	0	1
08-01-2012	Domingo	10	2	1	1
		12	8	2	2
09-01-2012	Lunes	9	2	1	2
		12	5	2	2
		13	6	2	3
		14	7	2	3
		19	10	1	1
		20	9	1	2
10-01-2012	Martes	9	3	1	2
11-01-2012	Miércoles	9	3	1	1
		12	8	1	1
		13	7	2	4
		14	5	1	2

		19	13	0	1
		20	11	1	1
12-01-2012	Jueves	9	3	2	3
		10	4	1	1
		12	9	0	1
		13	8	1	3
		14	6	2	2
		19	10	1	2
		20	9	1	2
13-01-2012	Viernes	10	4	1	2
		13	7	2	4
		19	11	1	2
		20	11	1	2
14-01-2012	Sábado	13	11	1	2
15-01-2012	Domingo	12	6	1	1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4: Detalle medición tiempos de llegada y atención – lunes 16 de Enero 2012, caja 15, 18:53 horas

N° Cliente	Tiempo Llegada Cola	Tiempo Inicio Atención	Tiempo Término Atención	Tiempo entre Llegadas (segundos)	Tiempo de Atención (segundos)
1	0:00:56	0:03:42	0:04:48	142	72
2	0:03:18	0:04:54	0:06:38	52	108
3	0:04:10	0:06:42	0:08:18	101	101
4	0:05:51	0:08:23	0:08:48	64	28
5	0:06:55	0:08:51	0:09:37	107	49
6	0:08:42	0:09:40	0:10:33	10	58
7	0:08:52	0:10:38	0:12:22	121	109
8	0:10:53	0:12:27	0:14:19	60	118
9	0:11:53	0:14:25	0:18:15	269	234
10	0:16:22	0:18:19	0:19:24	29	86
11	0:16:51	0:19:45	0:20:41	170	73
12	0:19:41	0:20:58	0:24:18	133	216
13	0:21:54	0:24:34	0:26:23	415	269
14	0:28:49	0:29:03	0:30:06	11	68
15	0:29:00	0:30:11	0:31:13	86	69
16	0:30:26	0:31:20	0:31:56	69	49
17	0:31:35	0:32:09	0:35:47	161	228
18	0:34:16	0:35:57	0:37:45	128	120
19	0:36:24	0:37:57	0:42:36	235	287
20	0:40:19	0:42:44	0:43:30	98	58
21	0:41:57	0:43:42	0:45:27	26	111
22	0:42:23	0:45:33	0:46:07	136	41
23	0:44:39	0:46:14	0:47:45	273	93

24	0:49:12	0:47:47	0:50:57	33	197
25	0:49:45	0:51:04	0:52:10	92	83
26	0:51:17	0:52:27	0:55:50	243	210
27	0:55:20	0:55:57	0:57:20	106	118
28	0:57:06	0:57:55	0:59:52	10	125
29	0:57:16	1:00:00	1:00:56	267	135
30	1:01:43	1:02:15	1:03:47	77	100
31	1:03:00	1:03:55	1:04:48	49	60
32	1:03:49	1:04:55	1:07:10	45	148
33	1:04:34	1:07:23	1:08:30	92	71
34	1:06:06	1:08:34	1:09:19	113	52
35	1:07:59	1:09:26	1:10:59	42	99
36	1:08:41	1:11:05	1:11:56	19	54
37	1:09:00	1:11:59	1:13:37	199	101
38	1:12:19	1:13:40	1:14:41	97	67
39	1:13:56	1:14:47	1:15:19	1	34
40	1:13:57	1:15:21	1:16:46	142	72
Promedio				112	110
Desviación Estándar				91	66

Fuente: Elaboración propia

ANEXO J: RESULTADOS Y ALARMAS PARA PERÍODO DE ANÁLISIS MARZO 2011

A continuación se muestra a modo de ejemplo los resultados y alarmas realizados para Marzo del 2011. Esto se realizó para todo el período de análisis, es decir, desde Junio del 2010 a Mayo del 2011.

Tabla 5: Resultados y alarmas Marzo 2011 Vitacura

FECHA	RANG HOJA	8		9		10		11		12		13		14		15		16		17		18		19		20		21	
		CAJA	COL																										
1 de marzo de 2011	Actual	3	1	5	1	5	2	7	2	9	2	10	2	8	2	5	2	4	2	8	2	8	2	10	2	11	2	8	2
	Modelo	2	2	3	2	5	2	6	2	8	2	10	2	7	2	5	2	4	2	6	2	8	2	10	2	11	2	8	2
2 de marzo de 2011	Actual	3	1	4	2	5	2	7	2	9	2	10	2	7	2	5	2	7	2	8	2	10	2	11	2	12	2	11	2
	Modelo	2	2	3	2	5	2	6	2	8	2	10	2	7	2	4	2	6	2	7	2	9	2	10	2	11	2	10	2
3 de marzo de 2011	Actual	3	2	3	2	6	2	8	2	10	2	10	2	7	2	7	2	7	2	8	2	9	2	12	2	12	2	10	2
	Modelo	3	2	3	2	5	2	7	2	8	2	10	2	7	2	6	2	5	2	7	2	8	2	11	2	11	2	8	2
4 de marzo de 2011	Actual	4	1	5	2	6	2	8	2	9	2	11	2	9	2	6	2	7	2	9	2	9	2	11	2	11	2	9	2
	Modelo	3	2	4	2	5	2	7	2	8	2	10	2	7	2	5	2	6	2	8	2	9	2	10	2	11	2	9	2
5 de marzo de 2011	Actual	2	1	4	1	5	2	7	2	11	2	14	2	12	2	7	2	12	2	10	2	12	2	12	2	11	2	11	2
	Modelo	3	0	3	2	4	1	6	2	9	2	10	2	14	2	10	2	6	2	5	2	8	2	8	2	9	2	10	2
6 de marzo de 2011	Actual	2	1	4	1	5	2	7	2	9	2	11	2	12	2	7	2	11	2	8	2	11	2	11	2	11	2	8	2
	Modelo	3	2	3	2	4	1	5	2	8	2	11	2	12	2	5	2	4	2	5	2	6	2	8	2	10	2	6	2
7 de marzo de 2011	Actual	3	1	4	1	8	1	9	1	8	2	8	2	8	2	5	2	7	2	7	2	9	2	12	2	10	2	9	2
	Modelo	2	2	3	2	4	2	5	2	7	2	8	2	6	2	4	2	5	2	6	2	7	2	8	2	10	2	9	2
8 de marzo de 2011	Actual	5	1	5	1	7	1	8	2	10	2	9	2	8	2	6	2	8	2	9	1	9	2	10	2	12	2	9	2
	Modelo	3	2	3	2	5	2	6	2	8	2	8	2	6	2	4	2	6	2	6	2	6	2	9	2	11	2	9	2
9 de marzo de 2011	Actual	4	1	5	2	7	1	10	1	10	2	10	2	9	2	7	2	7	2	7	2	11	2	11	2	11	2	10	2
	Modelo	3	2	4	2	5	2	6	2	8	2	10	2	7	2	5	2	5	2	6	2	9	2	10	2	11	2	8	2
10 de marzo de 2011	Actual	3	1	5	1	7	1	9	2	9	2	9	2	9	2	8	1	8	1	9	2	8	2	11	2	11	2	9	2
	Modelo	2	2	3	2	4	2	7	2	8	2	8	2	7	2	5	2	7	2	7	2	9	2	10	2	10	2	7	2
11 de marzo de 2011	Actual	3	1	6	1	6	1	9	2	10	2	10	2	10	2	8	2	9	2	9	2	9	2	10	2	12	2	9	2
	Modelo	2	2	4	2	4	2	7	2	8	2	9	2	8	2	5	2	5	2	7	2	9	2	10	2	11	2	8	2
12 de marzo de 2011	Actual	3	1	4	1	4	3	6	3	10	2	11	2	13	2	8	2	9	1	9	1	9	2	13	2	13	2	13	2
	Modelo	1	2	3	2	5	2	7	2	9	2	11	2	12	2	5	2	5	2	6	2	7	2	9	2	9	2	10	2
13 de marzo de 2011	Actual	2	2	4	2	6	2	10	2	10	2	11	2	12	2	6	1	9	1	8	2	9	2	11	2	9	2	7	2
	Modelo	2	2	4	2	6	2	9	2	11	2	12	2	11	2	4	2	4	2	6	2	6	2	9	2	9	2	5	2
14 de marzo de 2011	Actual	3	1	5	1	9	1	9	1	11	1	9	2	7	2	7	1	7	2	7	2	8	2	8	2	10	2	7	2
	Modelo	2	2	3	2	4	2	5	2	7	2	8	2	5	2	4	2	6	2	6	2	6	2	8	2	9	2	6	2
15 de marzo de 2011	Actual	4	1	5	2	8	1	9	1	11	2	10	2	8	2	9	1	8	1	7	2	9	2	11	2	11	2	8	1
	Modelo	3	2	4	2	5	2	6	2	8	2	7	2	6	2	5	2	7	2	7	2	7	2	9	2	10	2	5	2
16 de marzo de 2011	Actual	4	1	6	1	8	1	9	2	10	2	10	2	8	2	7	2	4	2	5	2	6	2	8	2	9	2	10	2
	Modelo	2	2	4	2	5	2	6	2	9	2	8	2	7	2	4	2	5	2	6	2	6	2	8	2	9	2	6	2
17 de marzo de 2011	Actual	4	1	5	1	8	1	10	1	11	2	9	2	7	2	7	1	8	2	7	2	8	2	10	2	10	2	7	2
	Modelo	3	2	4	2	4	2	7	2	8	2	8	2	6	2	5	2	6	2	6	2	6	2	7	2	10	2	7	2
18 de marzo de 2011	Actual	4	1	5	1	7	2	8	2	10	2	9	2	8	2	9	1	8	2	9	2	9	2	12	2	11	2	11	2
	Modelo	3	2	3	2	6	2	6	2	9	2	9	2	8	2	6	2	6	2	8	2	8	2	11	2	10	2	9	2
19 de marzo de 2011	Actual	2	1	4	2	6	1	9	2	13	2	14	2	11	2	9	1	11	1	9	2	10	2	11	2	12	2	9	2
	Modelo	3	1	3	2	4	2	7	2	11	2	13	2	9	2	6	2	5	2	6	2	7	2	9	2	11	2	8	2
20 de marzo de 2011	Actual	2	2	3	3	6	2	8	2	8	2	14	2	12	2	8	1	9	1	8	1	10	2	11	2	7	2	6	2
	Modelo	2	2	4	2	6	2	6	2	8	2	13	2	10	2	4	2	5	2	5	2	7	2	8	2	9	2	6	2
21 de marzo de 2011	Actual	4	1	6	1	8	1	10	1	11	2	7	2	7	2	7	1	9	2	10	2	10	2	12	2	13	2	11	1
	Modelo	3	2	3	2	4	2	6	2	8	2	8	2	5	2	4	2	5	2	6	2	6	2	10	2	9	2	7	2
22 de marzo de 2011	Actual	5	1	6	1	9	1	11	1	12	2	10	2	8	2	7	2	7	2	8	2	9	2	10	2	10	2	9	2
	Modelo	3	2	4	2	5	2	5	2	8	2	9	2	6	2	5	2	6	2	7	2	7	2	10	2	10	2	7	2
23 de marzo de 2011	Actual	5	1	5	2	7	2	9	2	10	2	10	2	8	2	7	1	7	2	7	2	10	2	11	2	11	2	9	2
	Modelo	3	2	4	2	6	2	6	2	8	2	11	2	7	2	4	2	6	2	7	2	10	2	10	2	10	2	6	2
24 de marzo de 2011	Actual	5	1	6	1	8	1	10	1	10	2	10	2	7	2	7	2	7	2	8	2	9	2	10	2	9	2	8	2
	Modelo	3	2	4	2	4	2	6	2	8	2	9	2	6	2	5	2	6	2	7	2	9	2	10	2	10	2	7	2
25 de marzo de 2011	Actual	4	1	6	1	8	1	9	2	9	2	10	2	9	2	7	2	7	2	9	2	10	2	11	2	12	2	10	2
	Modelo	3	2	4	2	5	2	7	2	9	2	10	2	8	2	5	2	6	2	8	2	9	2	10	2	11	2	8	2
26 de marzo de 2011	Actual	3	1	3	2	6	2	8	2	13	2	14	2	13	2	9	2	12	1	11	2	10	2	13	1	13	2	9	2
	Modelo	1	2	3	2	5	2	6	2	12	2	12	2	10	2	7	2	6	2	8	2	8	2	8	2	10	2	8	2
27 de marzo de 2011	Actual	3	1	4	1	8	2	12	2	13	2	12	2	12	2	8	1	10	1	11	1	9	2	12	2	9	2	7	2
	Modelo	2	2	3	2	7	2	10	2	12	2	12	2	9	2	5	2	4	2	7	2	7	2	9	2	8	2	6	2
28 de marzo de 2011	Actual	2	2	4	2	7	1	8	1	10	2	9	2	6	2	6	2	7	2	8	2	9	2	11	2	11	2	10	2
	Modelo	2	2	3	2	4	2	5	2	7	2	8	2	6	2	5	2	6	2	6	2	6	2	8	2	10	2	7	2
29 de marzo de 2011	Actual	4	1	6	1	8	1	10	2	13	1	11	2	10	2	8	2	8	1	10	2	11	2	11	2	12	2	9	2
	Modelo	3	2	4	2	4	2	7	2	8	2	9	2	7	2	6	2	5	2	7	2	9	2	10	2	11	2	7	2
30 de marzo de 2011	Actual	6	1	7	1	8	1	9	2	11	2	10	2	9	2	7	1	8	1	9	2	9	2	12	2	12	2	9	2
	Modelo	3	2	4	2	5	2	8	2	9	2	9	2	8	2	4	2	5											

Tabla 6: Resultados y alarmas Marzo 2011 Ñuñoa

FECHA	RANG HORA	8		9		10		11		12		13		14		15		16		17		18		19		20		21		
		CAJA	COL																											
1 de marzo de 2011	Actual	1	0	1	3	2	3	3	4	3	4	3	3	3	2	3	3	3	3	3	4	3	5	3	6	3	5	2		
	Modelo	2	0	2	2	3	2	4	2	6	2	5	2	4	2	3	2	2	2	2	3	2	4	5	2	7	2	5	2	
2 de marzo de 2011	Actual	1	1	2	2	3	2	3	3	5	3	4	3	3	2	3	2	2	2	3	2	4	2	5	3	5	3	5	2	
	Modelo	2	0	2	2	3	2	4	2	6	2	5	2	4	2	3	2	2	2	2	3	2	4	2	6	2	6	2	6	2
3 de marzo de 2011	Actual	2	0	1	3	2	3	3	3	4	3	4	3	3	2	3	2	2	2	3	2	4	3	5	3	5	3	5	3	
	Modelo	2	0	2	2	3	2	4	2	5	2	6	2	4	2	3	2	2	2	2	3	2	4	2	6	2	7	2	6	2
4 de marzo de 2011	Actual	1	1	2	2	3	2	3	3	4	3	5	3	3	3	3	2	3	2	3	3	4	3	5	3	5	3	6	3	
	Modelo	2	0	2	2	3	2	4	2	5	2	6	2	4	2	3	2	2	2	3	2	4	2	5	2	7	2	7	2	
5 de marzo de 2011	Actual	2	0	3	1	3	2	4	3	5	2	6	3	5	3	4	2	4	2	4	2	5	2	5	3	5	3	6	2	
	Modelo	2	0	2	2	3	2	4	2	5	2	7	2	6	2	4	2	4	2	4	2	5	2	5	2	6	2	6	2	
6 de marzo de 2011	Actual			2	1	3	2	4	3	5	3	6	3	6	3	4	3	3	3	4	2	6	2	6	2	6	3	5	3	
	Modelo			2	1	3	2	5	2	7	2	8	2	7	2	5	2	4	2	4	2	5	2	6	2	7	2	6	2	
7 de marzo de 2011	Actual	2	0	2	1	2	2	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	4	2	4	3	4	4	5	4	4	3	
	Modelo	2	0	1	2	2	2	4	2	4	2	4	2	3	2	2	2	2	2	4	2	4	2	6	2	8	2	6	2	
8 de marzo de 2011	Actual	1	1	1	3	2	3	3	3	4	3	4	3	3	2	2	2	2	2	3	2	4	3	5	3	5	3	4	3	
	Modelo	2	0	2	1	3	2	4	2	5	2	5	2	3	2	2	2	2	2	3	2	5	2	7	2	7	2	5	2	
9 de marzo de 2011	Actual	1	1	1	3	2	3	3	3	4	3	4	3	3	2	2	2	2	2	3	2	4	2	5	3	5	3	4	3	
	Modelo	2	0	2	2	3	2	4	2	5	2	5	2	3	2	2	2	2	2	3	2	4	2	7	2	6	2	5	2	
10 de marzo de 2011	Actual	2	0	1	3	1	5	3	3	4	3	4	3	3	3	3	2	2	3	2	5	3	5	3	5	3	5	2		
	Modelo	2	0	2	1	2	2	4	2	5	2	5	2	4	2	3	2	2	2	3	2	5	2	5	3	5	3	5	2	
11 de marzo de 2011	Actual	1	1	2	2	2	2	3	3	4	3	4	3	4	2	3	2	2	2	3	2	4	2	5	2	7	2	8	2	
	Modelo	2	0	2	2	2	2	4	2	5	2	5	2	3	2	2	2	2	2	4	2	5	2	7	2	8	2	6	2	
12 de marzo de 2011	Actual			3	2	4	3	4	3	4	3	4	3	5	3	3	3	3	4	2	4	3	5	3	5	3	5	3		
	Modelo			3	2	5	2	6	2	6	2	6	2	6	2	4	2	4	2	3	2	5	2	6	2	7	2	6	2	
13 de marzo de 2011	Actual			1	3	3	2	5	2	6	3	6	3	5	3	4	2	3	2	3	2	4	3	5	3	6	3	3	3	
	Modelo			2	1	3	2	5	2	7	2	8	2	6	2	4	2	3	2	3	2	5	2	6	2	7	2	4	2	
14 de marzo de 2011	Actual	2	0	1	3	2	2	2	3	4	3	4	2	3	2	2	2	2	3	2	3	4	5	3	5	3	4	3		
	Modelo	2	0	2	1	2	2	3	2	5	2	4	2	3	2	2	2	2	3	2	3	2	5	2	7	2	7	2	5	2
15 de marzo de 2011	Actual	2	0	1	3	2	2	3	3	4	3	4	3	2	3	2	2	2	3	2	3	3	4	3	5	3	5	3	4	2
	Modelo	2	0	2	1	2	2	4	2	5	2	5	2	3	2	2	2	2	3	2	5	2	5	2	6	2	6	2	4	2
16 de marzo de 2011	Actual	1	1	1	3	2	3	3	2	4	3	3	3	3	2	3	2	2	2	3	3	4	3	5	3	5	3	5	2	
	Modelo	2	0	2	1	3	2	3	2	5	2	5	2	3	2	2	2	2	2	4	2	5	2	6	2	6	2	5	2	
17 de marzo de 2011	Actual	2	0	2	1	2	2	3	3	3	3	4	3	3	2	3	2	3	1	2	2	4	2	5	3	5	3	6	3	
	Modelo	2	0	2	1	2	2	4	2	4	2	5	2	3	2	2	2	2	2	3	2	5	2	6	2	7	2	5	2	
18 de marzo de 2011	Actual	1	0	2	1	2	3	3	3	4	3	4	3	3	2	3	2	3	2	3	2	4	2	5	2	7	2	6	2	
	Modelo	2	0	2	1	3	2	4	2	5	2	5	2	3	2	2	2	2	4	2	5	2	7	2	7	2	6	2		
19 de marzo de 2011	Actual	1	0	2	2	3	2	4	2	5	3	6	2	5	3	2	2	2	3	2	3	2	5	2	6	2	5	3	5	
	Modelo	2	0	2	2	3	2	4	2	6	2	6	2	6	2	4	2	3	2	3	2	5	2	6	2	6	2	6	2	
20 de marzo de 2011	Actual			1	3	2	3	3	3	5	3	6	3	5	3	4	3	3	2	4	2	4	3	4	3	5	3	4	2	
	Modelo			2	1	3	2	4	2	7	2	8	2	6	2	5	2	3	2	4	2	5	2	6	2	7	2	4	2	
21 de marzo de 2011	Actual	1	0	1	3	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	2	2	3	2	5	3	5	3	5	3	5	2	
	Modelo	2	0	2	1	2	2	4	2	4	2	4	2	3	2	2	2	2	2	3	2	6	2	6	2	6	2	5	2	
22 de marzo de 2011	Actual	1	0	2	2	2	2	3	3	4	3	3	3	3	2	3	2	2	2	3	2	5	2	6	3	6	3	4	2	
	Modelo	2	0	2	2	2	2	4	2	5	2	5	2	3	2	2	2	2	2	3	2	5	2	7	2	7	2	4	2	
23 de marzo de 2011	Actual	1	1	2	1	2	3	3	3	4	3	4	3	3	2	3	1	3	2	4	2	5	3	5	3	6	3	4	2	
	Modelo	2	0	2	1	3	2	4	2	5	2	5	2	3	2	2	2	3	2	4	2	6	2	7	2	8	2	4	2	
24 de marzo de 2011	Actual	1	0	1	3	2	2	3	3	3	4	4	3	3	2	2	2	2	3	2	4	2	5	2	6	3	6	3	4	3
	Modelo	2	0	2	1	2	2	4	2	5	2	5	2	3	2	2	2	2	3	2	5	2	6	2	7	2	5	2		
25 de marzo de 2011	Actual	1	1	1	4	2	3	3	3	3	4	4	3	3	3	3	2	3	2	4	2	5	2	6	3	6	3	6	2	
	Modelo	2	0	2	2	3	2	4	2	5	2	5	2	4	2	3	2	2	4	2	5	2	7	2	7	2	6	2		
26 de marzo de 2011	Actual	1	0	2	2	3	2	4	2	5	3	5	3	5	3	4	2	5	2	4	2	5	2	4	3	5	3	5	3	
	Modelo	2	0	2	2	3	2	4	2	6	2	6	2	6	2	4	2	4	2	5	2	5	2	5	2	7	2	6	2	
27 de marzo de 2011	Actual			1	1	3	2	4	3	6	3	6	3	6	2	4	2	4	2	4	2	3	5	4	3	5	3	3	2	
	Modelo			2	1	3	2	5	2	7	2	8	2	6	2	4	2	3	2	4	2	6	2	6	2	6	2	2	2	
28 de marzo de 2011	Actual	1	0	2	1	2	2	3	3	4	2	4	2	3	2	2	2	2	2	3	2	4	3	5	3	5	3	4	3	
	Modelo	2	0	1	2	2	2	3	2	4	2	4	2	3	2	2	2	2	3	2	5	2	6	2	7	2	5	2		
29 de marzo de 2011	Actual	1	1	1	3	2	2	3	3	4	2	5	2	3	2	3	2	3	2	3	2	4	3	4	3	4	3	3	2	
	Modelo	2	0	2	1	2	2	4	2	5	2	5	2	3	2	2	2	3	2	3	2	5	2	5	2	6	2	2	2	
30 de marzo de 2011	Actual	1	1	1	2	2	3	3	3	4	3	4	3	3	2	2	2	2	2	3	2	5	2	5	3	5	3	5	2	
	Modelo	2	0	1	2	3	2	4	2	5	2	5	2	3	2	2	2	2	2	3	2	5	2	7	2	6	2	5	2	
31 de marzo de 2011	Actual	1	1	1	3	2	2	3	3	4	3	3	3	3	2	2	1	2	3	4	2	4	3	4	3	5	3	5	2	
	Modelo	2	0	2	1	2	2	4	2	5	2	5	2	3	2	2	2	3	2	4	2	5	2	6	2	7				