

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**Afrontar Problemas de Capacidad en una Industria de Alimentos:
Simulación de Flujo y Rotación de Productos en las Bodegas de
Distribución de la Ciudad de Quito**

Ismael José Ramírez Herrera

Ingeniería Industrial

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
Ingeniero Industrial

Quito, 22 de diciembre de 2020

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA**

**Afrontar Problemas de Capacidad en una Industria de Alimentos:
Simulación de Flujo y Rotación de Productos en las Bodegas de
Distribución de la Ciudad de Quito**

Ismael José Ramírez Herrera

Nombre del profesor, Título académico

Danny Navarrete, M. Sc

Quito, 22 de diciembre de 2020

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Ismael José Ramirez Herrera

Código: 00132081

Cédula de identidad: 1718956582

Lugar y fecha: Quito, 22 de diciembre de 2020

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

RESUMEN

En constante crecimiento, la industria de alimentos ha tenido que adaptarse a las necesidades y creciente demanda a medida que pasa el tiempo. Estas implican una renovación constante en muchas de las operaciones que realizan para poder llegar de forma oportuna a sus clientes. Dentro de estas, se encuentran los procesos de almacenaje que pueden provocar grandes retrasos y trabajo en proceso previo al último proceso clave: el despacho de productos. Los retrasos causados pueden incurrir en costos adicionales para suplir a la demanda, pero en el flujo de los productos e inclusive en costos de oportunidad por no llegar a tiempo. Este es el caso de la empresa XYZ de alimentos panaderos que tiene problemas de capacidad en sus bodegas por su cambiante demanda, lo cual ocasiona trabajo en proceso en ciertas épocas y necesita más recursos para poder evitarlo. Tomando en cuenta como restricción que no se puede implementar un apalancamiento operativo y con el fin afrontar este problema, se utilizan herramientas de simulación y estadística para analizar los diferentes comportamientos de la bodega y presentar una solución viable respecto a la capacidad de los recursos necesarios. Con esto se propone una planificación de los recursos que pueden suplir la demanda.

Palabras clave: Simulación, Bodega, Capacidad, Eventos Discretos, Panadería.

ABSTRACT

Due to its constant growth, through time, the food industry has been pushed to adapt to the changing needs and demand of the market. This has led to a series of innovations in the operations performed to opportunely tend to customers. Within these, it is worth highlighting the role of storage management, which, if not optimized, can lead to considerable delays and accumulation of works in progress prior to the last key process: product dispatch. Moreover, delays imply an increase in costs to meet the demand, a halt to product flow, and opportunity costs for not arriving on time. Such is the case of XYZ, a baked goods company with problems in managing its warehouse capacity in response to changing demand. Because of this, an increased amount of works in progress is experienced at certain times, forcing the business to devote extra resources to counter it. In order to tackle this problem and bearing in mind the implementation of operational leverage is not possible, statistic and simulation tools were used to analyze storage behavior, and thus, construct a viable solution based on the capacity of the necessary resources. Finally, a planning of resources, able to meet the demand, is proposed.

Key words: Simulation, warehouse, capacity, discrete events, bakery.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	11
1.1 Descripción de la empresa estudiada y su problemática:	12
1.2 Objetivos.....	13
1.2.1 Objetivo principal.....	13
1.2.2 Objetivos específicos.....	13
1.3 Alcance de la simulación	13
1.3.1 Límites de sistemas definidos.....	14
1.3.2 Supuestos y condiciones de los límites.	14
1.3.3 Supuestos operativos de simulación aplicada.	14
Desarrollo.....	15
2.1 Revisión de literatura	15
2.2 Metodología:.....	16
2.3 Ejecución – Diagnóstico:	18
2.3.1 Revisión de las instalaciones.....	19
2.3.2 Definición de área y espacio usado dentro de secciones.....	20
2.3.3 Unidades de medida	20
2.3.4 Área total de la empresa definida por posiciones.....	21
2.3.5 Proceso de recepción y despacho	21
2.3.6 Medidas clave de desempeño:.....	22
2.3.7 Variables clave de decisión.	23
2.4 Ejecución – Validación cuantitativa del problema:.....	24
2.4.1 Análisis de ingreso de producción agregado de los diferentes meses del año	24
2.4.2 Familia de productos	27
2.4.3 Tamaño de muestra para diferentes variables escogidas.....	27
2.4.4 Distribución entre arribos, y cantidad que ingresa por caso y familia	28
2.4.5 Distribución de arribo de pedidos	30
2.4.6 Distribución de tiempo de preparación de pedidos.	30
2.4.7 Pedidos rechazados.	30
2.6 Ejecución – Implementación de mejoras:.....	31
2.6.1 Verificación y validación de simulación.....	31
2.7 Análisis de la simulación	31
2.7.1 Tamaño de muestra para ejecución del experimento	31
2.7.2 Variables que cambiar y número de escenarios.	32
2.7.3 Resultados de medidas clave de desempeño durante Experimenter	33
CONCLUSIONES.....	38
Conclusiones y recomendaciones:	¡Error! Marcador no definido.
Aplicación práctica para la empresa.....	38
Lecciones aprendidas y siguientes pasos:	39
Referencias bibliográficas	41
Anexo A: Gráficos de validación cuantitativa del problema	42
Anexo B: Gráficos de tamaño de muestra para diferentes variables.....	43
Anexo C: Gráficos de análisis de los productos de entrada.	44
Anexo D: Distribuciones estadísticas para todas las familias de productos entre arribos, cantidad, llegada de tiempo, pedidos.....	46
Anexo E: Gráficas relacionadas al rechazo de pedidos.....	85

Anexo F: Gráficas relacionadas a la simulación y su lógica	87
---	-----------

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Agrupación de datos para análisis mediante media por meses.....	27
Tabla 2.- Parámetros a estimar para usar en la simulación.....	28
Tabla 3.- Variables a cambiar dentro de la simulación.....	33
Tabla 4.- Número de combinaciones posibles	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Metodología usada en el caso de estudio	16
Figura 2.- Distribución de bodega - parte 1.	18
Figura 3.-Distribución de bodega – parte 2.	19
Figura 4 .-Diagrama de Layout bodegas, zona de producción y zona de recepción de camiones.....	19
Figura 5.- Flujo de proceso de Llegada de pedidos desde Producción	22
Figura 6.-Flujograma de Proceso de Despacho de pedidos y Notación BPMN Flujo de proceso de despacho e ingreso de producción.	22
Figura 7.- Análisis de media por meses de gavetas agregado que ingresan a bodega.....	25
Figura 8.- Gráfico de heterocedasticidad Anova 1	25
Figura 9.- Producción agregada: abril 2019 a agosto 2020.	26
Figura 10.- Contenido promedio de coches bodega total	33
Figura 11.-Contenido promedio bodega 2	35
Figura 12.-Contenido promedio de coches área de preparación de pedidos.....	36
Figura 13.--Contenido Máximo de Bodega Total.....	37
Figura 14.-Contenido Máximo Picking.	37

INTRODUCCIÓN

La industria alimenticia es una de las más grandes alrededor del mundo y de la que se espera tener más crecimiento en este siglo, dado que se estima que habrá que alimentar alrededor de 2300 mil millones de habitantes hasta el 2050. Es decir, se tendrá que aumentar un crecimiento de producción de alimentos en un 70% para esta fecha. (FAO , 2009) Trasladando este concepto a la realidad de Ecuador, se pronostica el crecimiento de este porcentaje en 1,5% al año, que da una estimación de 20 millones de habitantes que se tendrá que sustentar para el 2030 (ANFAB,2019).

Esto implica un crecimiento, a más de uno productivo, también uno logístico y de capacidad de abastecimiento. En donde, cada decisión dentro de bodega puede volverse complicada al ser interdependiente de un sistema. Se puede contar con un buen diseño de armado de pedidos, pero si la distribución de la bodega no es la adecuada, puede comprometer su rendimiento y también de los procesos relacionados dentro del mismo sistema interdependiente.(Silva et al., 2020)

En principio, es necesario tener presente que el proceso logístico de almacenaje es uno de los más importantes de toda la cadena de distribución. Las bodegas y los centros de distribución son los que mantienen el servicio al cliente alrededor del mundo de manera funcional y apoyan el desarrollo y desenvolvimiento de las cadenas de suministro modernas (Amorim-Lopes et al., 2020). Paralelo a esto, en la realidad contemporánea, este tipo de procesos operativos se encuentran en constante cambio a fin de encaminar los esfuerzos hacia su optimización (Hrušecká et al., 2018).

Las nuevas tendencias se enfrentan a un incremento en cuanto a automatización y digitalización, lo que trae como consecuencia la demanda de una mejora en el rendimiento de procesos logísticos. Además, con ciertas operaciones que parecen sencillas de realizar, pero

que no son triviales, se busca hacer frente a las variaciones de la demanda e incertidumbre y así evitar el desabastecimiento y/o mejorar el servicio que se da al cliente (Koster et al., 2006).

Adicionalmente, es necesario tener en cuenta que cada decisión dentro de una bodega puede ser una tarea complicada dado que se tiene un sistema interdependiente y un pequeño cambio puede afectar de gran manera al desempeño global. Por lo tanto, tal como menciona Amorim-Lopes et al., trabajar bajo un análisis de forma integrada permite establecer información relevante que es lo que ocurre cuando se crea una simulación (2020). Entendiendo este contexto, en los siguientes párrafos se explicará a detalle la empresa que será estudiada y el plan de investigación.

1.1 Descripción de la empresa estudiada y su problemática:

La empresa seleccionada para este estudio, a la cual se ha denominado como XYZ por motivos de confidencialidad, es una de las más grandes en el mercado ecuatoriano, con ingresos crecientes en los últimos años. XYZ tiene una gran trascendencia dentro del mercado y cuenta con varias plantas de producción y centros de distribución a nivel nacional. Esta empresa ecuatoriana de gran valor histórico se dedica principalmente al área de panadería y tiene más de un centenar productos.

Debido al crecimiento en la producción de la empresa XYZ, el espacio de almacenamiento dentro la bodega parece ser insuficiente debido a que en ciertas épocas del año se ha complicado la operación y ha causado ineficiencia en el despacho de pedidos. Asimismo, a pesar de que la empresa es de gran tamaño, actualmente no existe espacio para que esta se expanda.

Bajo este panorama, se estudiará de forma analítica si esta limitación de capacidad es algo temporal a corto plazo, estacional o si se debe tomar decisiones de expansión a largo plazo para no limitar la operación. En consecuencia, el objetivo general de la presente investigación es crear una simulación que permita entender cómo afectan estas variaciones de producción en

la capacidad de la bodega en el tiempo y proponer soluciones temporales para un incremento de espacio en la bodega de XYZ. En este caso el enfoque se realizará en el centro de distribución en Quito, específicamente en la bodega que se establece como una de las más grandes del país, ya que desde este punto se distribuye productos panaderos hacia varias regiones del Ecuador.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo principal.

Elaborar una simulación que permita el entendimiento de la capacidad de almacenamiento, los flujos ingreso y salida de productos en el tiempo y por ende su rotación, para poder tomar decisiones sobre aumento y capacidad actual de la bodega en Quito de la empresa XYZ.

1.2.2 Objetivos específicos.

1. Determinar la relación entre la variación de capacidad y el tiempo para entender en qué momento se da el sobrepaso de capacidad de la bodega.
2. Determinar indicadores de eficiencia sobre capacidad e inventario.
3. Encontrar períodos de tiempo donde existen picos de almacenamiento o sobrecapacidad a corto y largo plazo.
4. Encontrar oportunidades de aumento de capacidad.
5. Determinar si existe un área necesaria para suplir la necesidad de capacidad a futuro si fuese necesaria.

1.3 Alcance de la simulación

1.3.1 Límites de sistemas definidos.

- La puerta de ingreso es una sola por donde ingresan todos los productos desde producción.
- El destino de los camiones no es importante para la simulación.
- El proceso productivo de panes no es tomado en cuenta en la simulación.
- No se toma en cuenta variaciones de tamaño por cada SKU.
- La unidad de medida dentro de la simulación son carros de transporte (coches) y pallets que caben en cada espacio dentro de la bodega.

1.3.2 Supuestos y condiciones de los límites.

- Los transportadores, que son conocidos como coches y pallets, siempre están disponibles.
- Materiales de envoltura y empaquetado siempre están disponibles.

1.3.3 Supuestos operativos de simulación aplicada.

- No se simula el ingreso de cada diferente SKU. Se realiza un agregado de ingreso por familia de productos, definido previamente con la empresa.
- El proceso de producción excluye actividades de corto tiempo o de las que no se tenga datos.
- Los dibujos CAD contienen el número de coches que alcanza actualmente en la bodega.
- Se utilizarán las reglas de trabajo actuales que rigen los tiempos de descanso y los niveles de personal.

DESARROLLO

2.1 Revisión de literatura

Recientes investigaciones enfocadas en la mejora de bodegas abordan el análisis de las decisiones, generalmente de carácter operativo y táctico, que debe tomar un gerente de operaciones para afrontar los diferentes retos de abastecimiento de sus clientes (Sprock et al., 2017). Entre las investigaciones que más destacan se encuentran aquellas que se enfocan en la creación de una distribución de almacenamiento adecuada. Por ejemplo, definir en qué lugar se deben colocar los artículos y cómo determinar políticas de recolección de pedidos. En general, estos estudios dejan en evidencia que la recolección de pedidos o picking conlleva el 50% del tiempo de realización de las actividades de bodega (Chen et al., 2015). Por lo tanto, el proceso de recolección de pedidos es una de las partes importantes que debe tomar en cuenta el proceso y/o estructura operativa a fin de optimizar recursos y tener un buen desempeño.

Triguero de Sousa Junior et al., mencionan que la mayoría de las simulaciones son discretas y de variables independientes ya que se hacen con el objetivo de proponer escenarios donde se busca que exista mínima correlación entre ellas. El objetivo es proponer casos o cambios en puntos específicos sobre el sistema y atribuir un efecto causal de estas variables sobre lo que sucede en la simulación. Caso contrario, se debería incurrir en métodos no lineales (2019).

Retomando el manejo de bodega, este es un canal de paso entre la producción y la adquisición de los productos y para ello cuentan con cuatro principales actividades: recibir mercancía, guardarla, preparar pedidos y enviarlos (Amorim-Lopes et al., 2020). La mayoría de estudios se enfoca en cómo mejorar la preparación de pedidos. Paralelo a esto, existen nuevos estudios más enfocados en el desarrollo de algoritmos de control automáticos, para la producción y logística que aseguran el eficiente manejo, relación e interacción entre los

diferentes procesos y áreas de la empresa (Hrušecká et al., 2018). En decir, si bien es cierto que proceso de preparación de pedidos es de los más importantes, desarrollar nuevos algoritmos de control que trabajen en conjunto sobre todo el sistema, permite que exista una mejor interacción y toma decisiones dentro de las diferentes áreas de una empresa.

De igual forma, es necesario tener presente que las directrices del mercado establecen que las fluctuaciones de demanda hacen que las operaciones deban ser más adaptativas a la flexibilidad. Por esta razón, se recomienda el uso de sistemas automatizados pues estas tecnologías ayudan a mejorar los indicadores logísticos (Kovács & Kot, 2016). La capacidad de adaptación operativa de los procesos logísticos debe actualizarse a la denominada industria 4.0, que en la logística de bodegas incluye un nuevo enfoque que se conoce como sistema físico cibernético. Este sistema consiste en conectar todas las áreas de producción y logística como máquinas, bodegas, sistemas de decisiones, para que compartan información variada entre ellas y se puede obtener una mejor utilización del sistema y adaptación a las fluctuaciones de demanda (Hrušecká et al., 2018).

Asimismo, en una bodega o almacén, los cambios para mejorar eficiencia que se quieran realizar se basan decisiones tácticas y operativas. Estas son: diseño de distribución del almacén, políticas de preparación de pedidos, políticas de asignación en el almacenamiento y políticas de enrutamiento (Chan & Chan, 2011). En el caso actual de estudio, se hará énfasis en las políticas de asignación y aumento de capacidad de almacenamiento, sin variar políticas armado de pedidos y enrutamiento actuales.

2.2 Metodología:

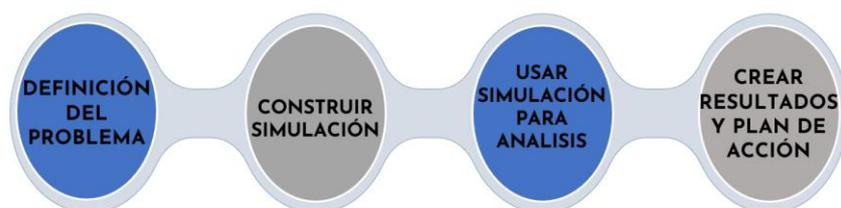


Figura 1.- Metodología usada en el caso de estudio

En la presente investigación, se tomará en cuenta el modelo de análisis de simulación que tiene sus raíces en el ciclo de Deming, que en general se utiliza para proyectos de simulación de procesos industriales y logístico netamente reales y aplicados, en donde los gastos de inversión pueden llegar a ser muy costosos (Lewis, 2004).

Sus fases son en sí, una aplicación del ciclo Planificar -Hacer-Verificar-Actuar, como se muestra en la *Figura 1*, las cuales se traducen en:

A) Definición del problema

Comienza definiendo el sistema y el problema, con ello se establecen los objetivos, límites, y supuestos. A continuación, se realiza la recolección de datos, en donde también se hace una diagramación del sistema. (Lewis, 2004).

B) Construir Simulación

Se crea el modelo de simulación donde se establecen los parámetros, unidades, lógica y como los datos serán usados para analizar la simulación, para después implementar la misma (Lewis, 2004).

C) Usar simulación para análisis

Se hace una validación de la simulación, experimentación frente a incertidumbre y se analizan los indicadores importantes para el análisis respectivo (Lewis, 2004).

D) Crear resultados y plan de acción.

Al final, se despliegan los resultados, conclusiones y planes de acción correspondientes (Lewis, 2004).

Para hacer una comparación, es necesario hablar de otras metodologías sobre simulación como las de Amorim-Lopes, que en su estudio promueve una unión entre la simulación y optimización. Esta metodología tiene tres bases: la primera que busca la mejor

política de asignación y almacenamiento para cada zona; la segunda considera la mejor ubicación en cuanto a rendimiento; y, la tercera somete al modelo a incertidumbre de demanda a través de un modelo de simulación probabilística. Esto logra capturar el tiempo de diferentes tamaños de pedido en el almacén y su configuración, ubicación y asignación del almacenamiento. (2020).

Las metodologías para simulación evaluadas, según Trigueiro de Sousa Junior et al, promueven una unión entre un concepto de simulación con otros métodos de optimización como diseño de experimentos, regresión y metaheurísticas, que siembran propuestas que han sido aplicadas en un entre un 30% y 84% en casos reales.(2019) Por lo tanto, se ha decidido usar la metodología usada por Lewis debido a que la decisión que se quiere tomar viene del aumento de capacidad, lo que implica un costo de inversión alto. De igual forma, además de ser más específica en los requerimientos que se necesitan en cada etapa, se desarrolla adecuadamente para casos reales y aplicados.

2.3 Ejecución – Diagnóstico:

Para el caso de estudio, la bodega a analizar de la empresa XYZ es la que se encuentra ubicada en la ciudad de Quito. Tiene aproximadamente 220 metros cuadrados y está subdividida en dos bodegas más pequeñas, cada una de éstas fraccionada en secciones, tal como se muestra en las *Figuras 1 y 2*.

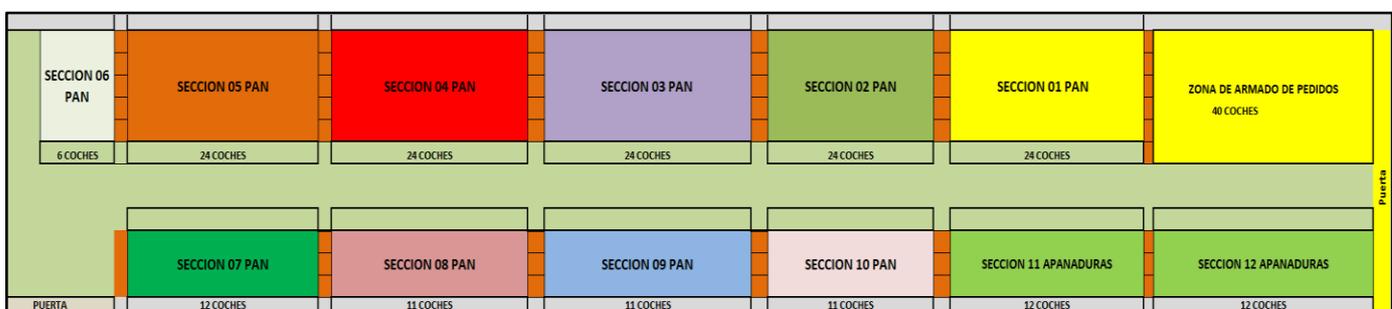


Figura 2.- Distribución de bodega - parte 1.

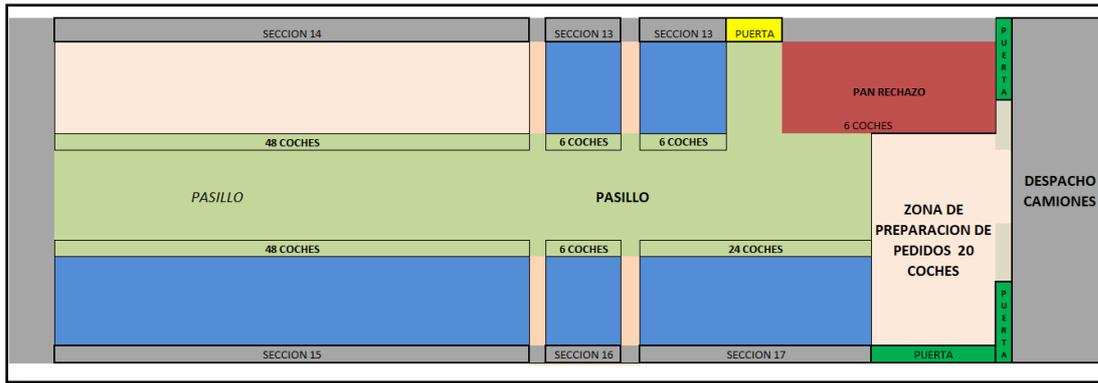


Figura 3.-Distribución de bodega – parte 2.

2.3.1 Revisión de las instalaciones.

La primera etapa de un diagnóstico implica la revisión de las instalaciones. Para ello, se realizaron recorridos de los 220 metros cuadrados de bodega mediante tours virtuales y videollamadas debido a la pandemia ocasionada por el Covid 19. Como resultado, se pudo observar que existen tres operarios (estibadores) y un bodeguero, encargados de la parte operativa. Es necesario el reconocimiento del diagrama del lugar que se presenta en la Figura 3, en el cual se observa las dos secciones a simular que son las bodegas 1 y 2. El área de producción queda descartada en este caso, porque no es de utilidad para el estudio.

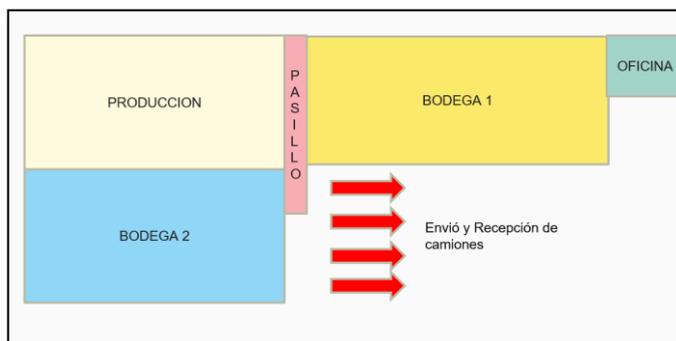


Figura 4.-Diagrama de Layout bodegas, zona de producción y zona de recepción de camiones.

2.3.2 Definición de área y espacio usado dentro de secciones.

Dentro de cada bodega 1 y bodega 2 existen espacios delimitados dentro de las secciones que se definen como posiciones que corresponden a los espacios que ocupa cada uno de los carros que transportan las gavetas o coches. Es decir, como se observa en las *Figuras 1 y 2*, el espacio de cada sección se mide en coches que alcanzan dentro de esta sección. Por ejemplo, para la sección 14 hay espacio para 48 coches o carritos de gavetas.

No todos los productos que salen de producción se apilan dentro de los coches. Existe una categoría de productos que se producen en navidad que se transportan mediante pallets. Cada pallet, para el caso de estudio, representa el mismo espacio que ocupa un coche en términos de posiciones. Es decir, si en una sección se tiene 24 posiciones libres, pueden alcanzar 24 carritos de gavetas o 24 pallets.

2.3.3 Unidades de medida.

Desde producción se crean diferentes unidades de cada producto que son colocadas en gavetas o cajas. Posteriormente son colocadas en coches o pallets para finalmente ser transportados a bodega. Se conoce cuántas unidades de los diferentes productos caben dentro de cada gaveta y caja. Por lo tanto, la unidad de medida inicial es gavetas y cajas. Aunque, luego al ingresar a bodega las gavetas y cajas se colocan dentro de coches y pallets, la unidad de medida escogida para medir el espacio dentro de bodega son coches o pallets. Esto se justifica dado que todos los productos que entran a la bodega se mantienen dentro de los coches o pallets y para la preparación de pedidos nunca se envían unidades pequeñas de un producto, sino se envía un coche lleno de una familia de productos.

2.3.4 Área total de la empresa definida por posiciones.

El área total de la empresa abarca 339 posiciones de coches o pallets, que caben en la bodega. Además, existen 60 posiciones más para las zonas de armado de pedidos lo que da un total de 399 posiciones de bodega.

2.3.5 Proceso de recepción y despacho.

El proceso de recepción y despacho en la bodega se subdivide en dos procesos como se observa en las *Figuras 4 y 5*, que ocurren en simultáneo. El proceso de recepción empieza con la llegada de producto, continúa con una verificación si el producto es correcto. Caso contrario se lo regresa a producción para que hagan la corrección. Si el producto llegó correcto, se confirma la recepción, se coloca en bodega y se rotula las gavetas para facilitar el proceso de despacho.

En el proceso de despacho, llega una orden de pedidos que es tomada por el estibador, quien verifica si existe stock para preparar el pedido. Caso contrario, los pedidos se redirigen hacia la zona de preparación de pedidos denominada como *picking* a esperar que exista stock. Este proceso de preparación de pedidos ocurre normalmente en los horarios de 19:00 pm a 4:00 am.

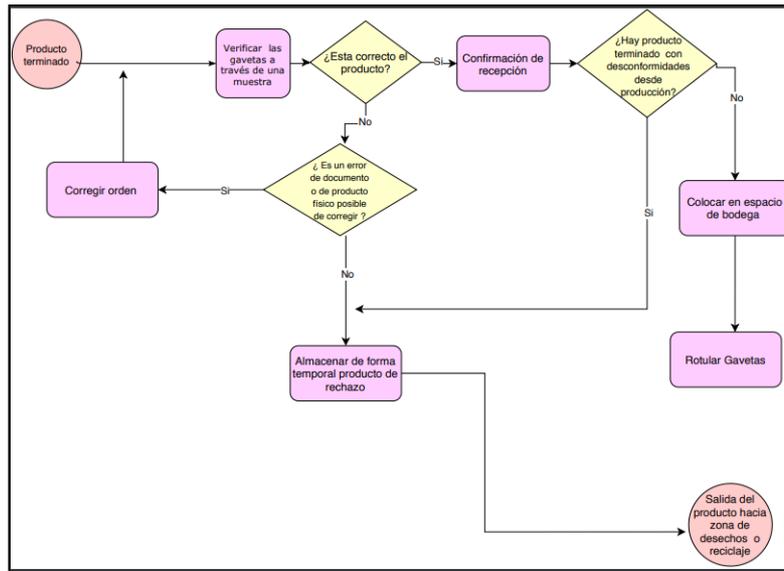


Figura 5.- Flujo de proceso de Llegada de pedidos desde Producción

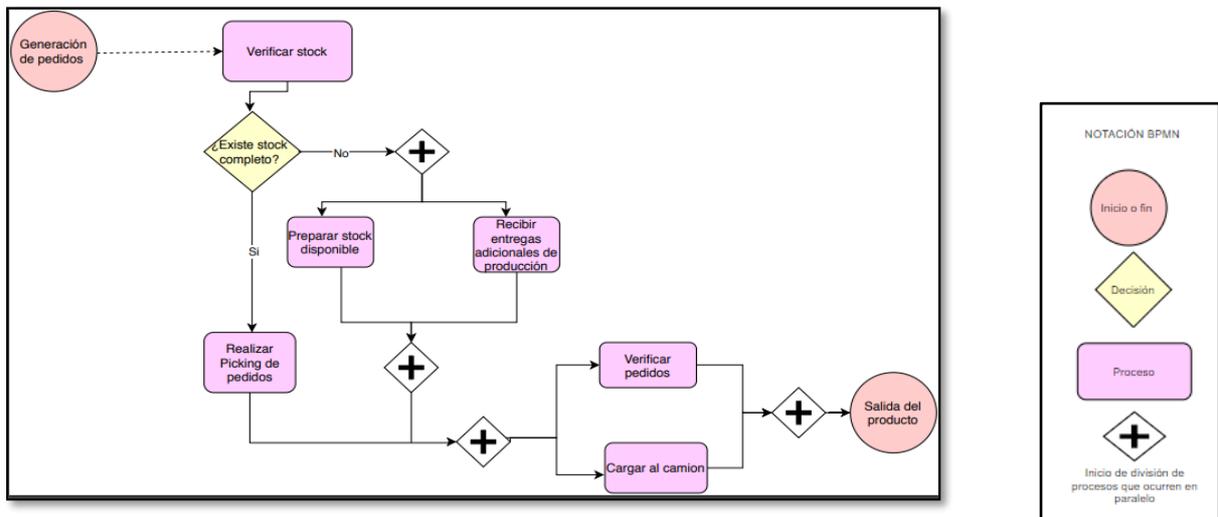


Figura 6.-Flujograma de Proceso de Despacho de pedidos y Notación BPMN Flujo de proceso de despacho e ingreso de producción.

2.3.6 Medidas clave de desempeño.

Las medidas clave de desempeño son importantes debido a que con base en estas se toman las decisiones sobre la simulación. Deben estar orientadas al objetivo y fueron escogidas en reuniones con la empresa XYZ.

A) Utilización de espacio.

La utilización de la bodega se mide por cuántos espacios están ocupados en el transcurso del mes. Esta medida ayuda a establecer la ocupación promedio de la bodega en el tiempo. Para esto, dentro de la simulación, se tomó en cuenta la medición como:

- Contenido promedio de toda la bodega,
- Contenido promedio de la bodega dos,
- Contenido promedio del área de preparación de pedidos.

B) Contenido máximo en el transcurso del tiempo.

Esta medida de rendimiento es importante debido a que permite establecer si son recurrentes los períodos cuando la bodega va a sobrepasar su capacidad de espacio y al mismo tiempo determina si el máximo ingreso de producto es menor a la capacidad total de la bodega. Para esto dentro de la simulación se midió:

- Contenido máximo total promedio de toda la bodega
- Contenido máximo total promedio de la bodega 2
- Contenido máximo total del área de preparación de pedidos.

2.3.7 Variables clave de decisión.

- **Aumento de espacio (posiciones) en la bodega**

El aumento de espacio dentro de la bodega es una decisión crítica ya que involucra una gran inversión. Se definió con la empresa un máximo de variación de capacidad de 44 posiciones adicionales que se podrían colocar dentro del área de picking.

- **Aumentar distribución de ingresos de producción (capacidad de producción) para analizar capacidad de bodega.**

Se conoce que el sistema encuentra bajo la incertidumbre de la demanda, por ende, se varió las distribuciones con las que se producía productos de acuerdo con

diferentes grupos de meses. Al aumentar o disminuir la producción, la bodega obtendría una utilización mayor o menor, respectivamente.

- **Tiempo de estancia de productos en el área de picking**

En este caso específico, dado que el tiempo de espera otorgado por la empresa engloba todo el proceso de preparación de pedidos y el tiempo de espera de camiones a que sean enviados, se decidió tomar como variable para evaluar que pasaría con el contenido de la bodega, si la preparación de pedidos demora o si un coche tarda mucho más en salir de la bodega por espera de un camión. Cabe recalcar que este tiempo al ser agregado, no se puede diferenciar si el efecto de este tiempo ocurre por un camión, o por el proceso de preparación de pedidos.

2.4 Ejecución – Validación cuantitativa del problema.

2.4.1 Análisis de ingreso de producción agregado de los diferentes meses del año

Inicialmente se realizó un análisis Anova, debido a que se quería comprender si el ingreso agregado de gavetas a la bodega tenía una media estadísticamente diferente entre los diferentes meses. El objetivo fue agrupar aquellos meses que tuvieran una media de gavetas similares y separarlos de aquellos que tuvieran una media diferente. Para esto se planteó la siguiente hipótesis sobre las gavetas que ingresaron en cada mes.

Ho: Todas las medias de gavetas ingresadas desde producción por mes son iguales

Ha: Por lo menos uno de los ingresos de gavetas es diferente

Se comprobó que existe al menos una media diferente estadísticamente significativa dentro del mes, ya que el valor-p es cercano a cero como se muestra en el Anexo A Esto significa que sin importar el nivel de confianza (90%, 95%, o 99%), existe al menos una media de ingreso de gavetas entre los meses que es distinta. Paralelo a esto, se realizó una prueba de Tukey donde se observó que las medias que son estadísticamente. Este análisis se puede

evidenciar en la *Figura 7* donde se observa la producción agregada medida en gavetas de los meses de enero del 2019 hasta agosto del 2020, y se determinó que en los meses de enero a marzo se tuvo una producción menor en comparación al resto de meses.

También, es evidente que existe una gran diferencia entre marzo del 2019 hasta abril del 2019, con un crecimiento de 5,04% entre esos meses. Con respecto al periodo de enero a marzo del 2019, se descarta del estudio por datos faltantes. Asimismo, se puede decir que el comportamiento de gavetas es estadísticamente diferente y menor en comparación con las gavetas que ingresaban en otros meses y que estos periodos ofrecen algo de heterocedasticidad a nuestro análisis como se observa en el *Figura 8*.

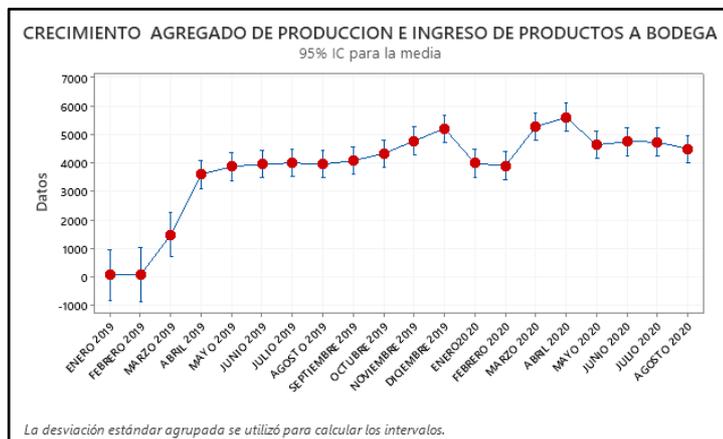


Figura 7.- Análisis de media por meses de gavetas agregado que ingresan a bodega

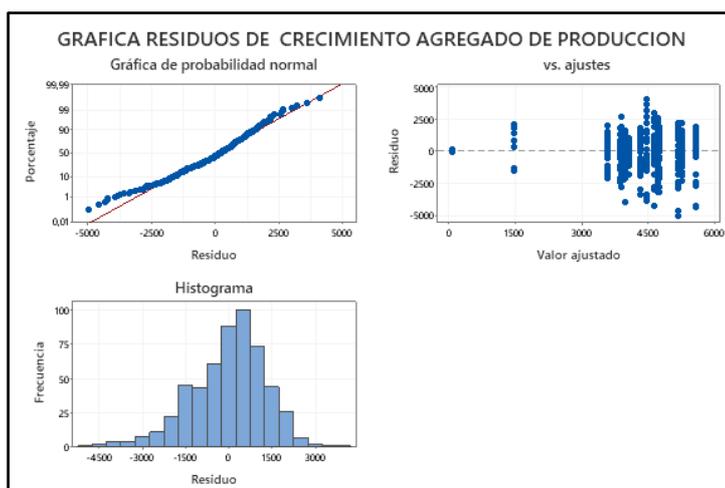


Figura 8.- Gráfico de heterocedasticidad Anova 1

Por otro lado, el análisis Anova es válido, ya que se cumplen los supuestos de normalidad. Asimismo, la heteroscedasticidad se reduce al momento de quitar los meses enero del 2019 a marzo del 2019, que no cuenta con todos los datos necesarios, y tienen una media de gavetas que estadísticamente diferente y menor. Además, dado el objetivo del estudio y la corroboración con personal y que el comportamiento de los mismos meses en el año 2020, son completamente distintos y mayores, justifica este descarte. Después de realizar esta operación, se repitió análisis de Anova sin estos meses y se obtuvo el resultado de la *Figura 9*. Los supuestos de este análisis se evalúan en el Anexo A donde claramente se observa que ya no existe esta heterocedasticidad y los datos cumplen los demás supuestos de normalidad. Finalmente se puede concluir con un 95% de confianza que existe al menos una media distinta de gavetas que difiere cada mes.

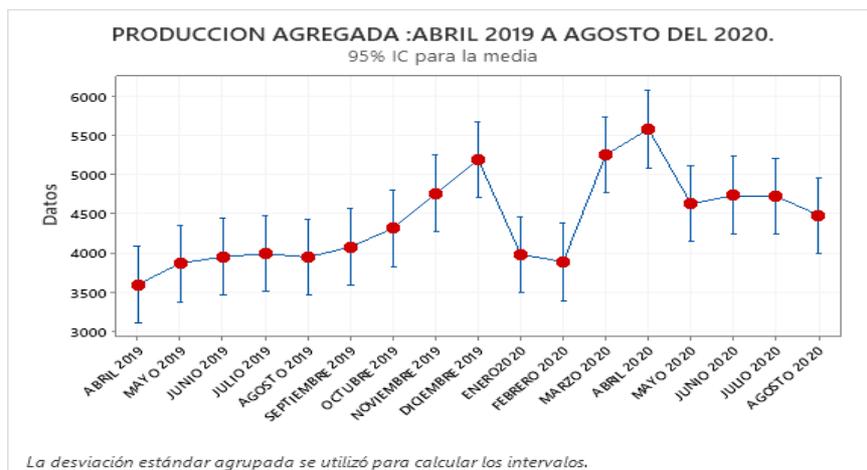


Figura 9.- Producción agregada: abril 2019 a agosto 2020.

En este caso de estudio, se realizó una agrupación más corta de meses para reducir el sobreajuste de datos que existen en el modelo. De tal modo que se agrupó los meses bajo dos parámetros de la siguiente manera:

- El análisis ANOVA y prueba de inferencia de Tukey de producción agregada.
- Reunión con la empresa para verificación de meses que comparten mismos comportamientos.

Se concluyó que existen dos grupos importantes: 1) Grupo caso base que son los meses de mayo, junio y julio que ofrecen un comportamiento medio alrededor de todos los años y 2) Grupo alto navidad que corresponde a los meses de octubre, noviembre y diciembre que son los meses donde existe un incremento de producción debido a que se fabrica un producto que solo se genera en esta época del año que incrementa la capacidad utilizada de la bodega. Esto se observa en la Tabla 1, donde se conforman los dos casos de meses que se trabajaron para realizar el análisis en este estudio.

Tabla 1.- Agrupación de datos para análisis mediante media por meses

Caso	Meses
Base	Mayo, Junio, Julio
Alto Navidad	Octubre, Noviembre, Diciembre

2.4.2 Familia de productos.

Dada la variedad de productos que existen en la empresa, se agruparon en 17 Familias de productos que se producen en temporada normal denominada como *Caso Base*. Estas familias fueron creadas en conjunto con la empresa, para poder reducir complejidad al modelo de simulación. Por otro lado, existe una Familia más, que se denomina Navidad, que solo ocurrirá en el periodo *Alto Navidad*, en donde pertenecen solo productos que se producen en los meses de octubre, noviembre y diciembre. Estos productos, que solo se producen en Navidad, son los únicos que tienen como restricción que solo pueden ingresar a la bodega 2 y así mismo, son los únicos que ingresan mediante pallets.

2.4.3 Tamaño de muestra para diferentes variables escogidas.

Para estimar los parámetros que servirán como entradas en la simulación, los cuales se muestran en la Tabla 2, se debe encontrar una distribución estadística para comprender el comportamiento ideal del sistema. Ahora bien, para que esta distribución sea representativa del sistema se debe tener una adecuada cantidad de datos ya que la simulación depende de la

fiabilidad del muestreo. Es así que, si esta cantidad representa una muestra significativa de la población a analizar, la confiabilidad del comportamiento de la simulación aumenta. Esto se obtiene calculando un tamaño de muestra adecuado para estimar los diferentes parámetros a través de distribuciones. En este caso se utilizó la herramienta Minitab, y se obtuvo un tamaño de muestra para población infinita, como se muestra en el *Anexo B*. Se encontraron los diferentes tamaños de muestra mediante el cálculo de la desviación estándar de una muestra otorgada por la empresa. Se pudo observar que para los tiempos de picking por producto la muestra obtenida era menor a la necesaria. Por esta razón también se analizó cómo varía el tiempo de estancia de picking bajo el esquema de máximo-mínimo y así observar lo que sucede en el sistema. Finalmente, tampoco se obtuvo muestra de tiempos entre arribo de pedidos por lo que se tuvo que acceder a herramientas del programa FlexSim que será explicado más adelante. Para el resto de muestras, se verificó que cumplen con la cantidad de necesaria para poder observar un comportamiento de la población.

2.4.4 Distribución entre arribos, y cantidad que ingresa por caso y familia.

Tabla 2.- Parámetros a estimar para usar en la simulación

DISTRIBUCIONES A ENCONTRAR EN SIMULACION
1.-TIEMPO ENTRE ARRIBO DE CADA FAMILIA DE PRODUCTOS PARA CASO BASE Y ALTO
2.-CANTIDAD QUE INGRESA POR CADA FAMILIA DE PRODUCTOS PARA CASO BASE Y ALTO
3.- TIEMPO DE RECEPCION PARA LOS DIFERENTES PRODUCTOS
4.-TIEMPO ENTRE ARRIBO DE PEDIDOS
5.- TIEMPO DE PICKING POR PRODUCTO

Se determinó que era necesario conocer cada cuánto entra una gaveta a la bodega porque esto ayuda a entender la frecuencia de producción de los diferentes productos que van entrando a lo largo del día. Para esto se calculó la distribución entre arribo para el ingreso de cada familia. Asimismo, en el análisis de datos, lo que sucede es que en cada arribo también varía la cantidad de gavetas que ingresan en el sistema, y se procedió a calcular también una distribución de la cantidad que gavetas que ingresan en cada arribo.

Dado que existen dos casos a analizar en este estudio, se determinó una distribución para cada familia; es decir, se obtuvieron 17 distribuciones entre arribo y 17 distribuciones de variaciones de cantidad para el caso *Base*, que da como un total 34 distribuciones para el ingreso de gavetas desde producción. Para el caso *Alto Navidad*, se obtuvieron las mismas 34 distribuciones, pero se aumentó la distribución de productos de navidad, lo que da un total en conjunto de 35 distribuciones entre arribos de pedidos y 35 distribuciones para la cantidad de gavetas y pallets que ingresan en este caso. Cabe recalcar que se colocó la distribución en periodos diarios, ya que de lo contrario implicaría duplicar el número de distribuciones, creando complejidad al modelo de manera innecesaria. Sin embargo, se hizo un análisis de la cantidad de gavetas que entran al sistema para comprobación horaria mediante un histograma, y en el promedio por sección, como se observa en el *Anexo C*. Se pudo observar que la mayoría de gavetas que ingresaron están en los periodos de 3:00 a 5:00 AM y de 3:00 a 6:30 PM, medidos en frecuencia de pedidos.

Por otro lado, se tuvo que verificar la independencia de las distribuciones encontradas. Para esto se realizaron gráficos de *Lag Correlation*, que miden la correlación de variables entre las muestras y se observó que dentro de las familias existía una correlación máxima de 0,45 y -0,25. Esto se debe a la agrupación hecha de los diferentes productos por familia y que algunos de ellos tengan una relación lineal en la producción dentro de los diferentes productos. Asimismo, se encontró, diferentes distribuciones, en su mayoría empíricas para las diferentes familias de productos como se mencionó anteriormente y que se resumen en el *Anexo C*. Para el resto de distribuciones, se realizó una gráfica de dispersión, donde se observó que efectivamente sí eran independientes.

2.4.5 Distribución de arribo de pedidos.

En el sistema de simulación es necesario saber la frecuencia y cantidad de gavetas que pasan al armado de pedidos ya que así se puede saber cada cuanto se arma un pedido y establecer la cantidad de coches que salen en ese pedido y pasan a la zona de armado de pedidos. Sin embargo, no se obtuvieron estos datos por parte de la empresa dado que estos no lograron ser muestreados. Afortunadamente se conoce que el período de armado de pedidos comienza a las 19:00 hasta las 4:00 A.M del siguiente día y se comporta de forma regular. Con esto se calculó el número de gavetas promedio que salían por hora y por día en los dos casos, y se colocó mediante FlexSim una distribución triangular, que ronde estos valores promedio que tendrían que salir por hora. El *Anexo D* muestra las diferentes distribuciones colocadas por hora del día en el *Caso Base* y en el *Caso Alto Navidad*.

2.4.6 Distribución de tiempo de preparación de pedidos.

Se tomaron dos muestras de la preparación de pedidos debido a que es un proceso primordial en la bodega y consume tiempo. Esta muestra se tomó en cuenta como una variable para observar el comportamiento de la bodega. Los valores fueron de 4500 y 8000 segundos, tiempo aproximado que se demora el proceso de picking. Este tiempo puede ser entendido, solo en este caso, como la demora de una gaveta en salir del sistema. Para verificar este parámetro se revisó la cantidad de unidades despachadas en estos dos tiempos y se incluyó en la evaluación estadística de la bodega como parte del análisis experimental.

2.4.7 Pedidos rechazados.

En toda bodega existen productos defectuosos, para este caso se calculó su porcentaje por familia de productos, el cual se puede observar en *Tabla 6* y *Anexo C*. Como se puede observar este valor no llega a superar el 1% de la cantidad de gavetas ingresadas. Este porcentaje fue considerado en la simulación para que sea excluido del total producido.

2.6 Ejecución – Implementación de mejoras

Para la implementación de mejora se realizó una simulación 3D en el software FlexSim como se observa en *Anexo F*, donde se procedió a la creación de la simulación del proceso que ocurre dentro de bodega que se muestra en la *Figura 5 y 6*, en donde se utilizó las distribuciones estadísticas y el software del programa para implementar la lógica que ocurría dentro del sistema. Después, se validó el modelo con la empresa y mediante la herramienta *Experimenter* se realizaron 50 corridas de un mes para comprender como afectaban al sistema las opciones propuestas. Después de correr el experimento que tomó 12 horas, se procedió a analizar los resultados.

2.6.1 Verificación y validación de simulación.

Al terminar de realizar la lógica del proceso de simulación dentro de FlexSim, mediante el diagrama ofrecido en el *Anexo C*, se verificó el modelo. Para esto se midió el promedio de gavetas que debían salir en un día y se comparó con los datos de los horarios en los que se esperaba la mayor cantidad de ingreso y salida de coches. Por otro lado, se hizo una reunión con la empresa para comprobar el modelo, que consistió en la revisión de cantidades de ingresos y salidas reales de coches en el sistema.

2.7 Análisis de la simulación

2.7.1 Tamaño de muestra para ejecución del experimento.

La validez de los resultados que se corrieron en el *Experimenter* depende de cada replica, por ello se debe tener un tamaño de muestra ideal con el que se conozca cuántas veces se debe correr una simulación. Para hacer esto Lewis, recomienda, correr un número aleatorio de réplicas en primera instancia. En este caso se realizó una corrida de tiempo de simulación de 3 meses con 100 réplicas para estimar la media y la desviación estándar de las diferentes medidas de medición. Después, se aplicó la fórmula de tamaño de muestra a las diferentes

medias y desviaciones estándar aproximadas y se escogió la de mayor tamaño de muestra que fue de 37 réplicas. Finalmente, se corrieron 50 réplicas de un mes de duración, por limitaciones computacionales

2.7.2 Variables que cambiar y número de escenarios.

Cuando se corre una simulación, dado que se basa en distribuciones estadísticas, estas simulan la variabilidad que existe en el sistema. Para poder tener fiabilidad de como este se comporta aleatoriamente, se deben realizar varias corridas del sistema e ir variando los números aleatorios en cada corrida, y así poder concluir sobre el comportamiento del sistema. Para esto FlexSim, tiene una herramienta conocida como Experimenter. Esta herramienta permite plantear experimentos bajo diferentes escenarios, según los parámetros ingresados y que varíen. Por ejemplo, en este caso se cambia la frecuencia y la cantidad de gavetas que ingresan en el sistema. Por lo tanto, se definieron dos casos uno para los meses: Caso Alto Navidad, que representa los meses de octubre, noviembre y diciembre; y, otro para Caso Base que representa los meses de mayo, junio, Julio, siendo este el primer factor de dos niveles del Experimenter, como se observa en la Tabla 3.

Los otros factores fue los operarios, que fue establecido por la empresa, para comprender si existirá alguna diferencia al utilizar más operarios, así como sus máximos a utilizar. Otro factor fue el área de preparación de pedidos, al cual la empresa colocó como límite de aceptación de posiciones un total de 44 espacios adicionales para coches. Para simular esto se aumenta la capacidad del área de armado de pedidos, que es la más cercana al área de salida de producto donde se ubicaría los productos listos para ser armados. La última variable escogida es el tiempo de estancia que se queda una gaveta en el área de preparación de pedidos, debido a la falta de datos que se obtuvo de esta variable y a las implicaciones que ocasionaría cualquiera de las dos opciones en el sistema. Las opciones fueron determinadas mediante un

supuesto del personal de la empresa de una muestra de dos réplicas, donde solo se encontraron esos valores. Al final se tiene 4 Factores, lo que da un total de 16 posibles escenarios como se muestra en la *Tabla 4*

Tabla 3.- Variables a cambiar dentro de la simulación

Experimenter 2 ^ 4 : Factores	NIVELES	
Distribuciones de arribo y cantidad por cada grupo de meses	BASE	NAVIDAD
Operarios	3 operarios	5 operarios
Espacio medido en posiciones	0 posiciones extras	44 posiciones extras
Tiempos de procesamiento de estancia en picking	4500 segundos	8000 segundos
Numero de combinaciones posibles en el Experimenter	16 escenarios posibles	

Tabla 4.- Número de combinaciones posibles

Posibles Escenarios	Combinaciones Posibles			
ESCENARIO 2	NAVIDAD	3	0	4500
ESCENARIO 10	NAVIDAD	3	0	8000
ESCENARIO 6	NAVIDAD	3	44	4500
ESCENARIO 12	NAVIDAD	3	44	8000
ESCENARIO 8	NAVIDAD	5	0	4500
ESCENARIO 14	NAVIDAD	5	0	8000
ESCENARIO 16	NAVIDAD	5	44	4500
ESCENARIO 4	NAVIDAD	5	44	8000
ESCENARAIO 1	BASE	3	0	4500
ESCENARIO 9	BASE	3	0	8000
ESCENARIO 5	BASE	3	44	4500
ESCENARIO 11	BASE	3	44	8000
ESCENARIO 7	BASE	5	0	4500
ESCENARIO 13	BASE	5	0	8000
ESCENARIO 15	BASE	5	44	4500
ESCENARIO 3	BASE	5	44	8000

2.7.3 Resultados de medidas clave de desempeño durante Experimenter

Contenido Promedio de coches Total

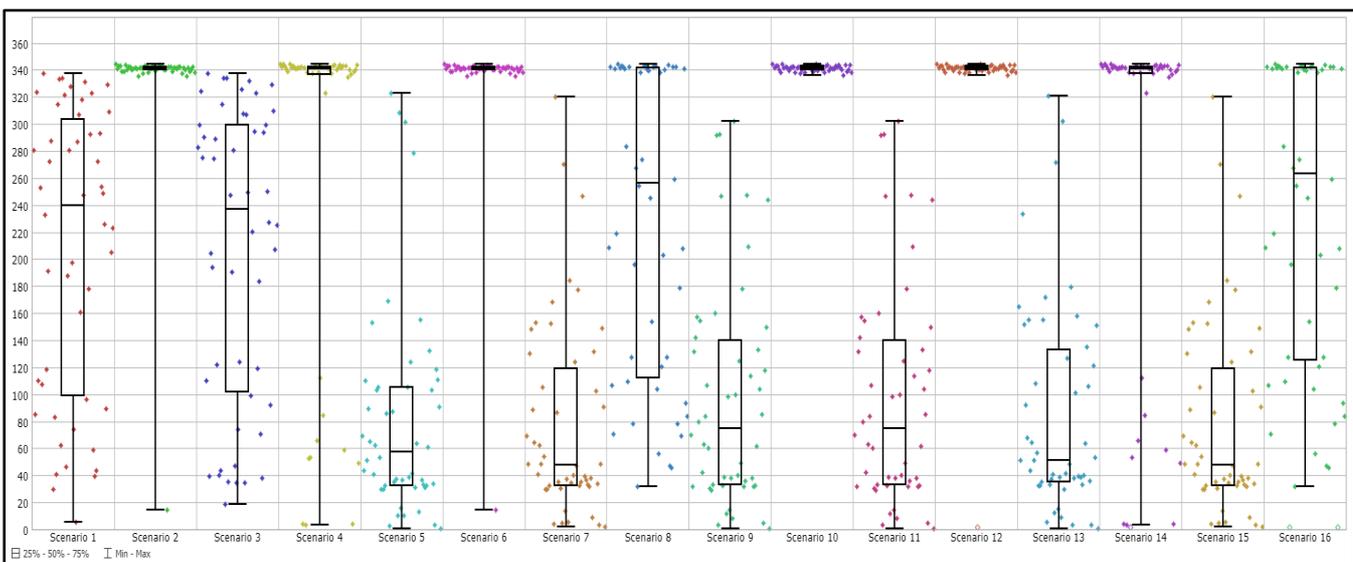


Figura 10.- Contenido promedio de coches bodega total

Caso Navidad- octubre, noviembre, diciembre

En este caso se puede determinar que el promedio de coches es máximo en la bodega total (bodega 1 y 2), es decir, esta se encuentra completamente llena en la mayoría de réplicas bajo este escenario. El espacio actual de la bodega para esta época es ineficiente. Para el Escenario 8 (Grupo Navidad, 5 operarios, 0 espacios extras, 4500 segundos de tiempo de espera de salida del coche) y el Escenario 16 (Navidad, 5 operadores, 44 posiciones extras, 4500 segundos de espera de salida del coche), se observa que existe una frecuencia de réplicas en donde la bodega total se mantiene a un 80% de su uso como promedio con alrededor de 280 dentro de la bodega. Para este caso se tiene en cuenta a 5 operarios que influyen en que el contenido disminuya y se puede observar que el aumento de espacio no tiene un efecto significativo sobre el contenido promedio de la bodega. Cabe recalcar que estos dos escenarios no son estadísticamente diferentes, pero en frecuencia de réplicas el promedio de coches dentro del sistema se encuentra más holgado.

Caso Base – mayo, junio, julio

Por otro lado, para el Caso Base, no existe diferencia estadística que valide el efecto del aumento de 44 posiciones (coches) y por ende no es necesario. Tampoco los operadores son significativos en variar el contenido promedio que existe dentro de la bodega. En su lugar, se puede concluir que la media para el Caso Base se encuentra en 240 posiciones (coches), ocupadas en toda la bodega, lo que resulta en una utilización de alrededor del 70% del sistema.

Contenido Promedio de coches Bodega Número 2

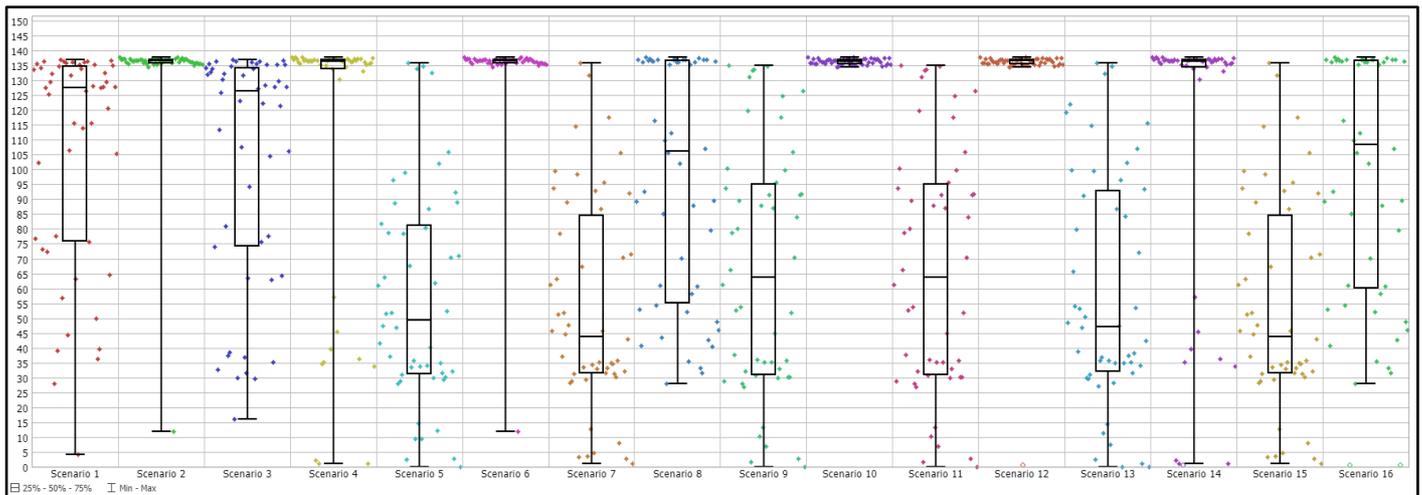


Figura 11.-Contenido promedio bodega 2

Resultado Contenido promedio de coches Bodega Número 2

En este caso se puede observar un mismo comportamiento que lo ocurrido en el contenido promedio de la bodega total, donde el Escenario 8 (Grupo Navidad, 5 operarios, 0 espacios extras, 4500 segundos de tiempo de espera de salida del coche) y el Escenario 16, (Navidad, 5 operadores, 44 posiciones extras, 4500 segundos de tiempo de espera del coche). Lo que significa que, bajo estos escenarios de octubre, noviembre diciembre, se puede observar que la combinación de 5 operarios reduce en algunas replicas, la frecuencia que esta bodega llegue al máximo de su capacidad. Y que, por otro lado, para la época de mayo, junio, julio, se recomienda no incrementar los operarios, ya como tal no se observan un efecto significativo atribuido a los operadores. Finalmente, que tampoco se aconseja en estos meses aumentar las 44 posiciones, ya que, como tal, no tienen un efecto significativo sobre lo que sucede en el sistema.

Contenido Promedio de coches Área de Preparación de Pedidos

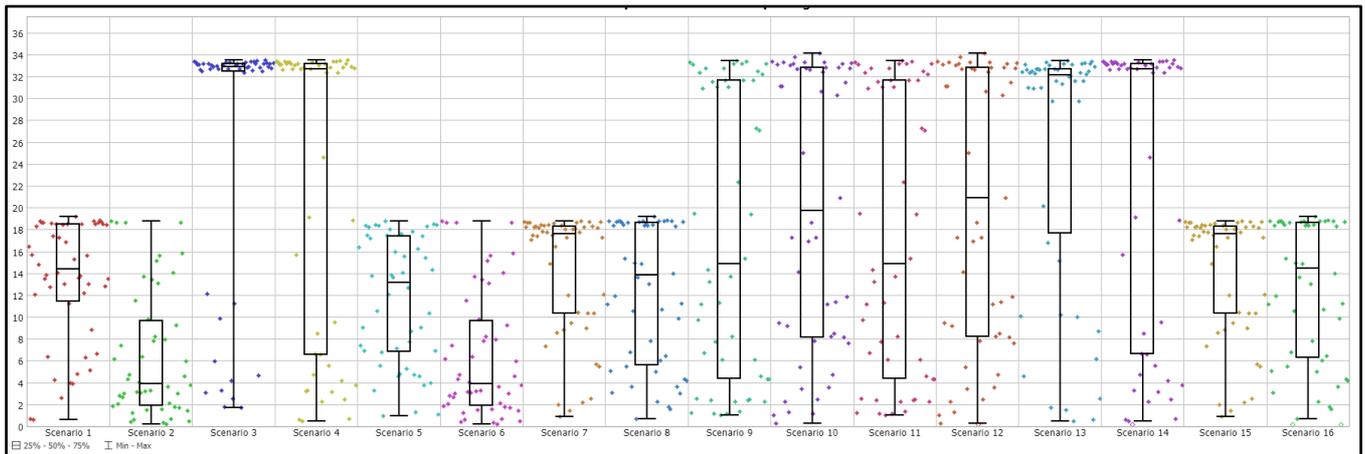


Figura 12.-Contenido promedio de coches área de preparación de pedidos

Resultado Contenido promedio de coches área de preparación de pedidos.

Caso Alto navidad

En la *Figura 12*, se encontró que para el caso Alto Navidad, para los escenarios 4 (Navidad, 5 operarios, 44 posiciones extras y 8000 segundos de tiempo de espera de gavetas), 10 (Navidad, 3 operarios, 0 posiciones extras, 8000 segundos), 12 (Navidad, 3 operadores, 44 posiciones extras 8000 segundos), y 14 (Navidad, 5 operadores, 0 aumento, 8000 segundos de descanso), el promedio de coches se incrementa, pero eso solo se debe en medida a la variación del tiempo que el coche se queda en el área de armado de pedidos, que en este caso va desde 4500 a 8000 segundos. Más allá de eso, se puede observar que estos casos, donde se aumenta el tiempo de espera, la bodega acumula un promedio elevado de coches sin importar que sea un Caso Base o Alto Navidad. Por ende, se pudo descubrir que el tiempo de preparación de pedido influye significativamente en la sobrecarga o no de producto, en este espacio de bodega. En promedio, se tiene 28 coches para un tiempo de 4500 segundos, y 32 coches para un tiempo de 8000 segundos, lo que sugiere que reducir el tiempo de picking involucraría una reducción en la utilización del sistema

Contenido Máximo Bodega Total

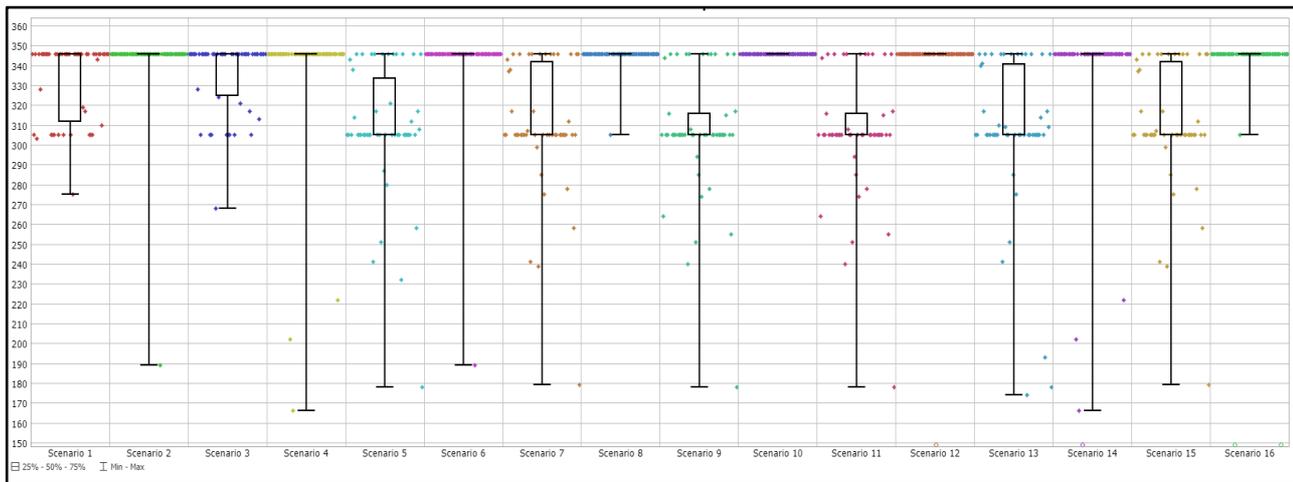


Figura 13.--Contenido Máximo de Bodega Total

Resultado Contenido Máximo Bodega Total

En la *Figura 13*, se concluye que el comportamiento de la medida de desempeño contenido máximo bodega total, en los diferentes escenarios, no es estadísticamente diferente. Se puede decir que, el sistema sigue alcanzando un número de gavetas máximo que es igual al total disponible dentro de bodega. Aunque hay réplicas que difieren de este comportamiento, en general, dentro de cada escenario, se logra observar que si se está llegando a la utilización 100% del sistema.

Contenido Máximo Picking

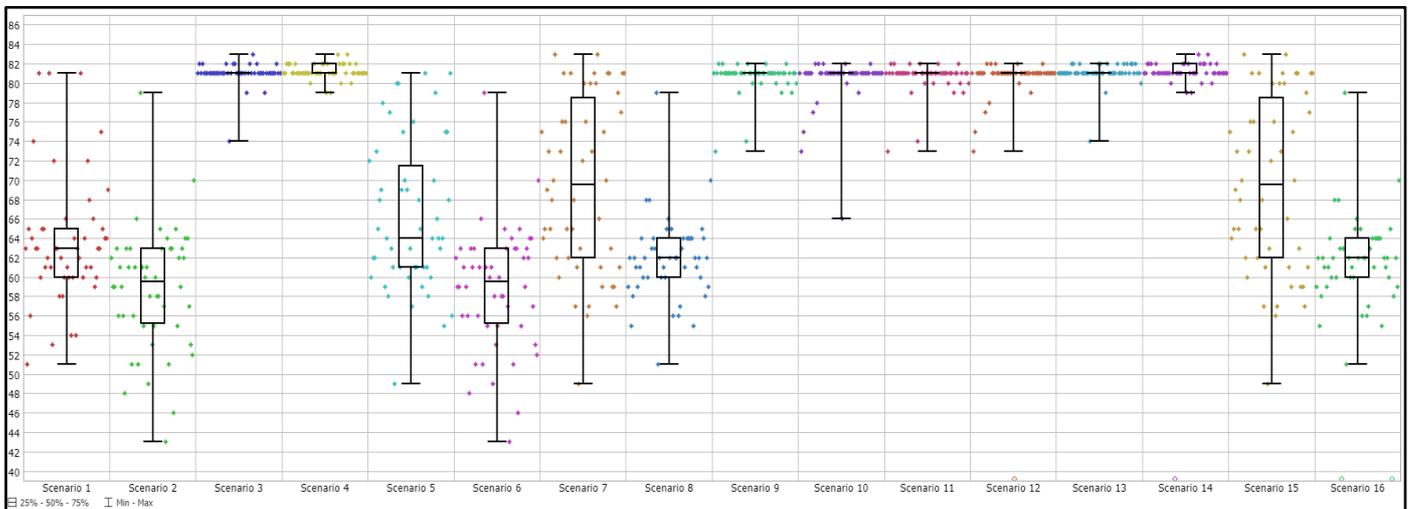


Figura 14.-Contenido Máximo Picking.

Resultado Contenido Máximo Picking o preparación de pedidos.

En el área de preparación de pedidos, la variable que afecta es el tiempo de estancia de los coches en el área de pedidos ya que si esta sube a 8000 segundos (2,22 horas) el área de picking, a pesar de que se haya realizado un aumento de espacios, estos no son suficientes dentro del sistema. Para un tiempo de 4500 segundos (1,20 min), el área de preparación con las 48 posiciones no llega a sobrellenarse.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1 Aplicación práctica para la empresa

Se recomienda a la empresa XYZ, incluir más espacio del planificado, ya que, en el modelo de simulación, 44 posiciones temporales extras en el área de picking no influyeron significativamente en reducir el contenido promedio de coches en el sistema. Asimismo, para los meses de mayo, junio, julio, no se necesita este aumento de posiciones ya que tienen una frecuencia menor de pedidos y el sistema se encuentra a un 70% de su uso. Por otro lado, en los meses de octubre, noviembre y diciembre se debería implementar estas soluciones temporales. Aunque no son suficientes, reducirían la frecuencia en la que se agotaría la capacidad de la bodega. También se recomienda estandarizar el tiempo de preparación de pedidos ya que se pudo comprobar que reduciendo el tiempo de picking a una hora con 25 min. Aunque el tiempo de picking, en este caso, está unido con el tiempo de espera de camiones, se observa hay un efecto significativo en la utilización de la bodega. Cabe recalcar que posiblemente si se aumentara la frecuencia de arribo de camiones, se podría lograr este efecto. La limitación, en este caso radica en la falta de datos para esto, por ende, se recomienda a la

empresa XYZ muestrear estos datos que serían imprescindibles para discernir el efecto que provoca la preparación de pedidos y el arribo camiones en el sistema.

Asimismo, se observó que la combinación entre 5 operarios (estibadores), es decir, 2 operadores en los meses de octubre, noviembre, diciembre, permiten reducir la frecuencia en la que se llega a la sobrepasar la capacidad de bodega. Se recomienda generar contratos temporales, y evaluar si existe una disminución significativa de estos eventos donde existe capacidad máxima. Aunque cabe recalcar, que se observó en la simulación que, a pesar de todos estos aumentos, dada la cantidad de producción actual aún no se llega al límite de utilización del sistema.

3.2 Resultados generales

Se pudo concluir que la mayoría de los pedidos que llegan al sistema ocurren en el horario de la mañana, en sí de madrugada, donde en este tiempo la bodega empieza a vaciarse. En un sentido general, se observa que los promedios de coches que ingresan en los meses de mayo, junio, julio, son de 240 coches. Por otro lado, para los meses de octubre noviembre, diciembre, el promedio esperado se encuentra en alrededor de 339 coches.

3.3. Lecciones aprendidas y siguientes pasos:

En este caso se aplicó la política de primer espacio disponible para encontrar colocar las gavetas en coches. Debería hacerse un análisis más profundo de la implicación de esta política, aunque posiblemente el resultado no difiera tanto, debido a la cantidad de gavetas que ingresan al sistema en poco tiempo.

Se debe dialogar con la empresa para intentar determinar más espacio posible que supere el máximo ofrecido. Se determinó que las 44 posiciones extras no son suficientes dado que el sistema estaría en gran utilización, superior al 80% gran parte del tiempo.

Se proyecta un crecimiento del 8% el siguiente año, pero dado los resultados actuales se comprende que este espacio de 44 posiciones no es suficiente, es decir, se necesitaría más espacio que debe ser determinado mediante más réplicas del experimento y una muestra significativas de dichos tiempos.

La simulación es una herramienta útil, pero desde cierta perspectiva representa un reto muy grande sobre la evaluación de sistemas y ha implicado una gran cantidad de recursos para su uso. Su dificultad radica en el tiempo y que probablemente el costo beneficio de usar una simulación, no pueda ser cubierto por varias empresas. Sin embargo, su poder otorgar gran oportunidad en la toma de decisiones.

Se debe aumentar las réplicas de la simulación ya que, por falta de recurso computacional, puede tardar más de 24 horas en correr 50 réplicas para 16 escenarios.

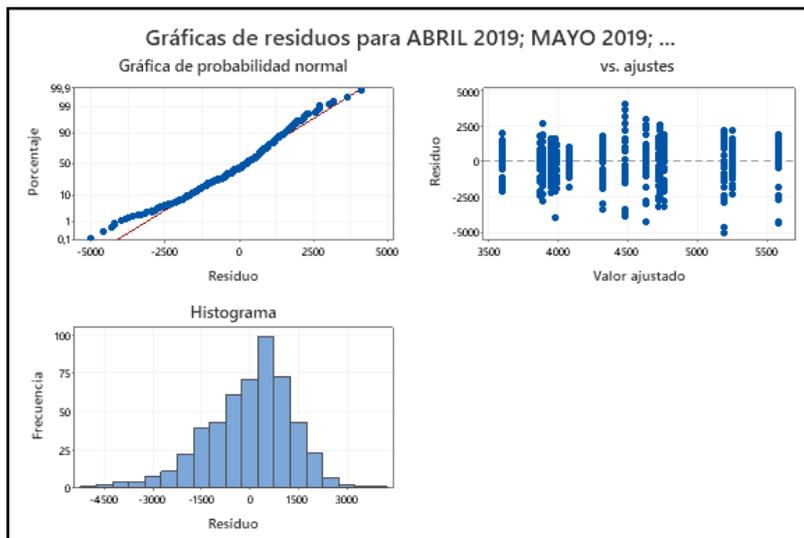
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asociación Nacional de Fabricantes de Alimentos y Bebidas (ANFAB). (2019). Motor del desarrollo económico y social de los ecuatorianos.” Ecuador Agroalimentario.
- Amorim-Lopes, M., Guimarães, L., Alves, J., & Almada-Lobo, B. (2020). Improving picking performance at a large retailer warehouse by combining probabilistic simulation, optimization, and discrete-event simulation. *International Transactions in Operational Research*, 00, 1–29. <https://doi.org/10.1111/itor.12852>
- Chan, F. T. S., & Chan, H. K. (2011). Improving the productivity of order picking of a manual-pick and multi-level rack distribution warehouse through the implementation of class-based storage. *Expert Systems with Applications*, 38(3), 2686–2700. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.08.058>
- Chen, T. L., Cheng, C. Y., Chen, Y. Y., & Chan, L. K. (2015). An efficient hybrid algorithm for integrated order batching, sequencing and routing problem. *International Journal of Production Economics*, 159, 158–167. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.09.029>
- FAO 2009. (2009). La agricultura mundial en la perspectiva del año 2050. *Fao*, 4. <http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/I>
- Hrušecká, D., Adla, R., Krayem, S., & Pivnička, M. (2018). Event-B model for increasing the efficiency of warehouse management. *Polish Journal of Management Studies*, 17(2), 63–74. <https://doi.org/10.17512/pjms.2018.17.2.06>
- Koster, R. de, Tho Le-Duc, & Kees Jan Roodbergen. (2006). Design and control of warehouse order picking : A literature review. In *European Journal of Operational Research* (Vol. 182, Issue 2).
- Kovács, G., & Kot, S. (2016). Nowe trendy logistyki i produkcji jako efekt zmian gospodarki światowej. *Polish Journal of Management Studies*, 14(2), 115–126. <https://doi.org/10.17512/pjms.2016.14.2.11>
- Silva, A., Coelho, L. C., Darvish, M., & Renaud, J. (2020). Integrating storage location and order picking problems in warehouse planning. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 140(October 2019). <https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.102003>
- Sprock, T., Murrenhoff, A., & McGinnis, L. F. (2017). A hierarchical approach to warehouse design. *International Journal of Production Research*, 55(21), 6331–6343. <https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1241447>

Trigueiro de Sousa Junior, W., Barra Montevechi, J. A., de Carvalho Miranda, R., & Teberga Campos, A. (2019). Discrete simulation-based optimization methods for industrial engineering problems: A systematic literature review. *Computers and Industrial Engineering*, 128(July 2017), 526–540. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.12.073>

ANEXO A: GRÁFICOS DE VALIDACIÓN CUANTITATIVA DEL PROBLEMA

Gráfica de Residuales para comprobación de *supuestos de ANOVA*.



Resultados del ANOVA

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	19	556113631	29269138	16,01	0,000
Error	524	957915775	1828084		
Total	543	1514029406			

Resultados de las Pruebas de Tukey

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Factor	N	Media	Agrupación
ABRIL 2020	29	5585	A
MARZO 2020	31	5256	A B
DICIEMBRE 2019	31	5196	A B
NOVIEMBRE 2019	30	4763	B C
JUNIO 2020	29	4736	B C
JULIO 2020	31	4728	B C
MAYO 2020	31	4630	B C
AGOSTO 2020	31	4483	B C
OCTUBRE 2019	30	4317	B C
SEPTIEMBRE 2019	30	4077	B C
JULIO 2019	31	3991	C
ENERO 2020	31	3982	C
JUNIO 2019	30	3952	C
AGOSTO 2019	31	3948	C
FEBRERO 2020	29	3888	C
MAYO 2019	30	3869	C
ABRIL 2019	30	3597	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

ANEXO B: GRÁFICOS DE TAMAÑO DE MUESTRA PARA DIFERENTES VARIABLES

Tamaño de muestra de gavetas obtenido en Minitab.

Método	
Parámetro	Media
Distribución	Normal
Desviación estándar	14,45 (estimación)
Nivel de confianza	95%
Intervalo de confianza	Bilateral
Resultados	
Margen de error	Tamaño de la muestra
5	35

Tamaño de muestra de media de tiempo entre arribos obtenido en Minitab.

Método	
Parámetro	Media
Distribución	Normal
Desviación estándar	3629 (estimación)
Nivel de confianza	95%
Intervalo de confianza	Bilateral
Resultados	
Margen de error	Tamaño de la muestra
5	2023628

Corrección para tamaño de muestra de tiempo entre arribos obtenido en Minitab.

CORRECCION TAMAÑO DE MUESTRA	
$\pm d =$	500
$s =$	3629.86735
$n / N =$	0.010041
$n / (1 + n/N) =$	99.4118032
MUESTRAS OBTENIDAS	93

Tamaño de muestra de tiempo de recepción obtenido en Minitab.

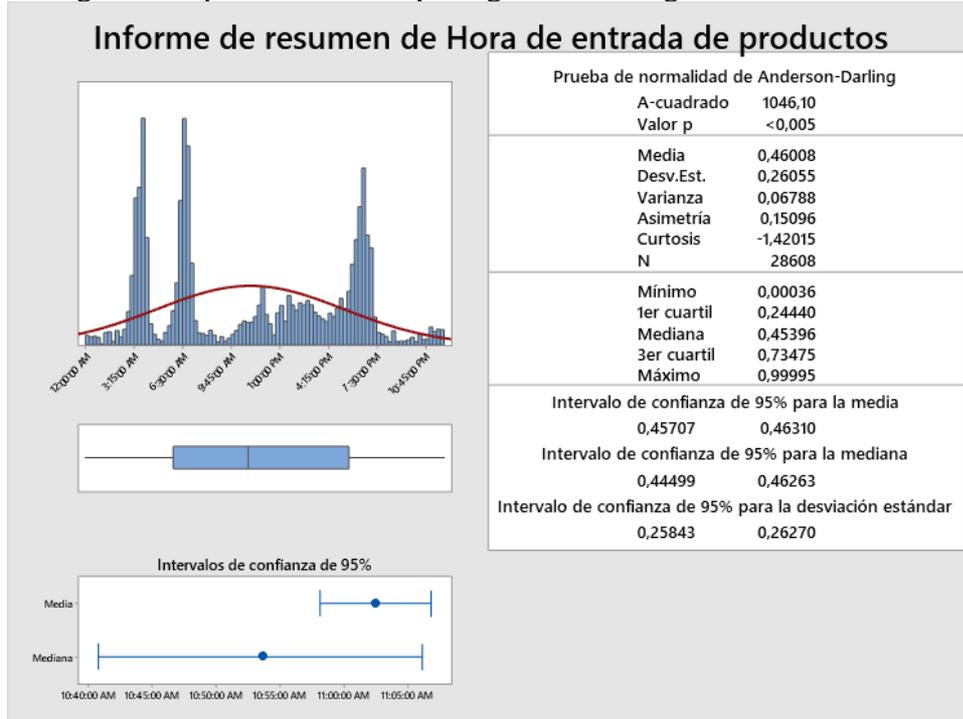
Método	
Parámetro	Media
Distribución	Normal
Desviación estándar	9,24 (estimación)
Nivel de confianza	95%
Intervalo de confianza	Bilateral
Resultados	
Margen de error	Tamaño de la muestra
5	16

Tamaño de muestra de media de tiempo de picking obtenido en Minitab.

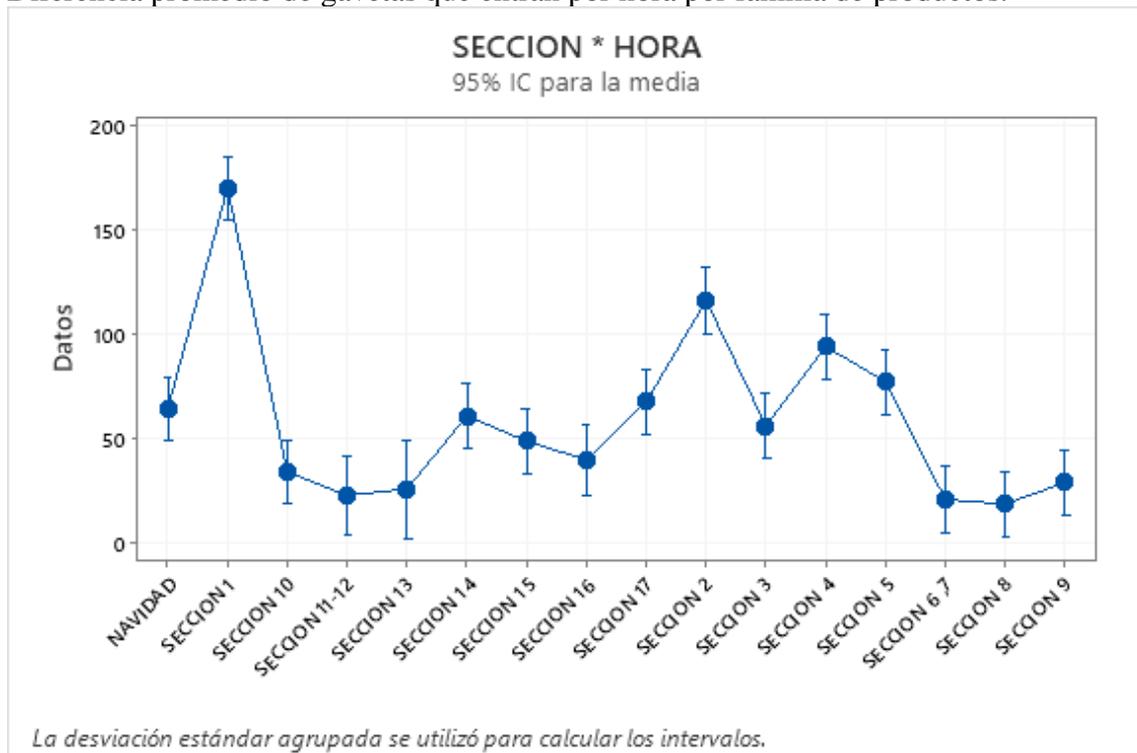
Método	
Parámetro	Media
Distribución	Normal
Desviación estándar	111,8 (estimación)
Nivel de confianza	95%
Intervalo de confianza	Bilateral
Resultados	
Margen de error	Tamaño de la muestra
20	123

ANEXO C: GRÁFICOS DE ANÁLISIS DE LOS PRODUCTOS DE ENTRADA.

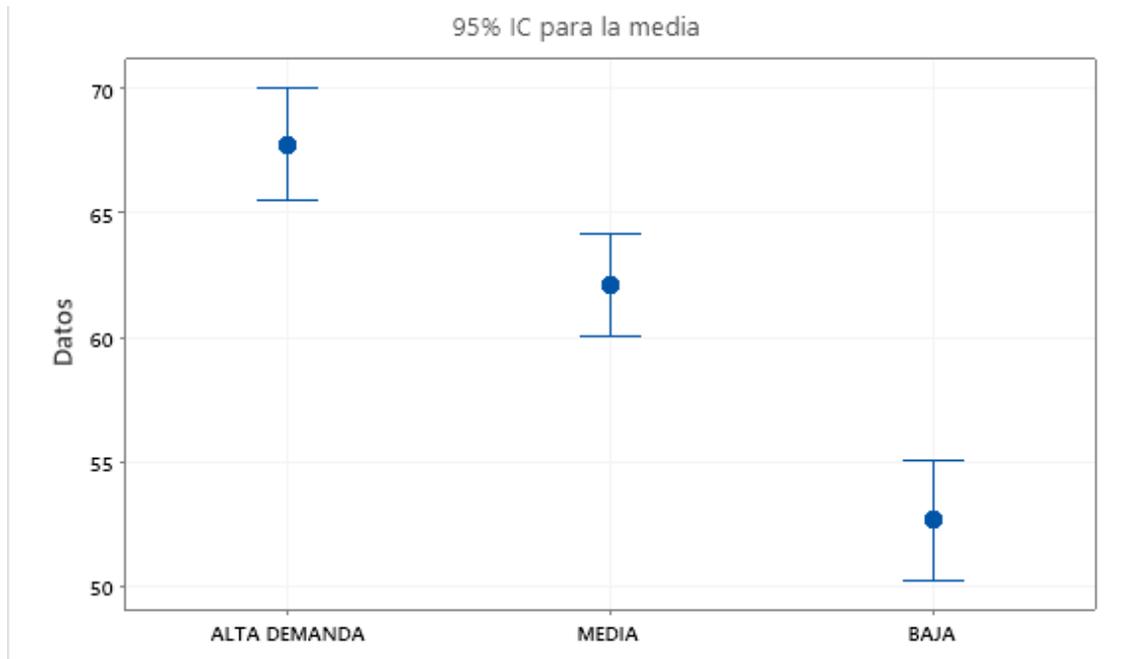
Histograma de pedidos diarios que ingresan a bodega



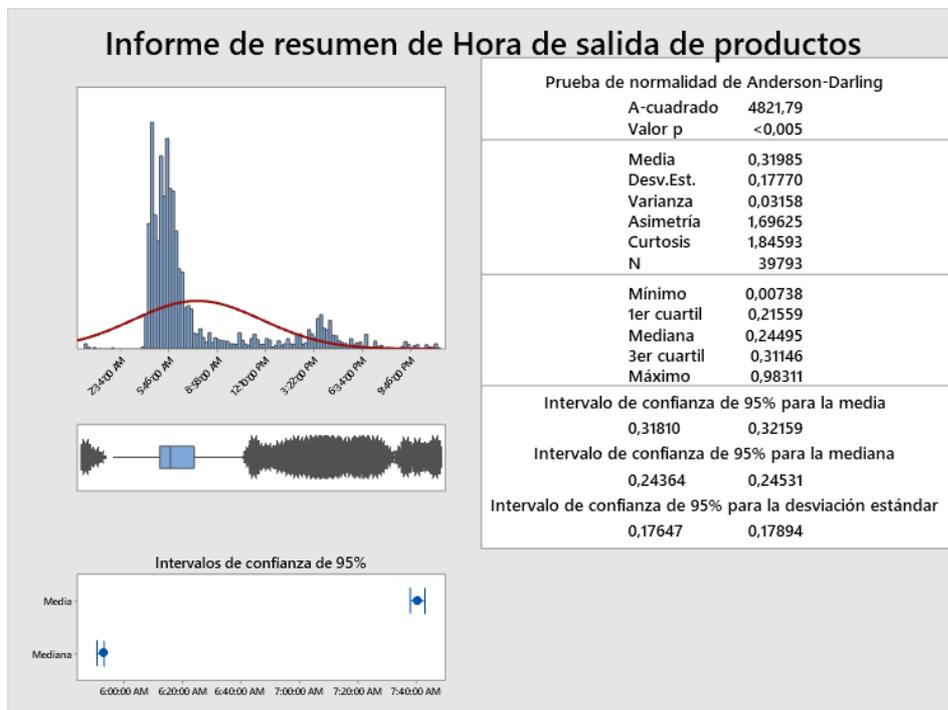
Diferencia promedio de gavetas que entran por hora por familia de productos.



Intervalos de gavetas promedio que ingresan por cada hora



Histograma de pedidos diarios que salen de la bodega



ANEXO D: DISTRIBUCIONES ESTADÍSTICAS PARA TODAS LAS FAMILIAS DE PRODUCTOS ENTRE ARRIBOS, CANTIDAD, LLEGADA DE TIEMPO, PEDIDOS

Gráfico de dispersión para comprobación de independencia Familia 1 (Sección 1) Caso Base.

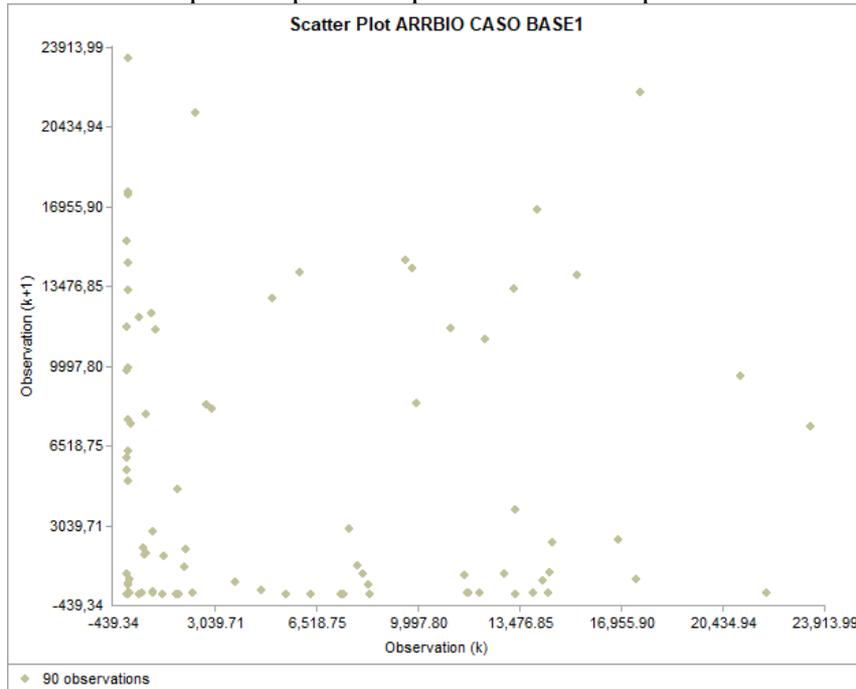


Gráfico de frecuencia de distribución escogida y datos Familia 1 (Sección 1) Caso Base.

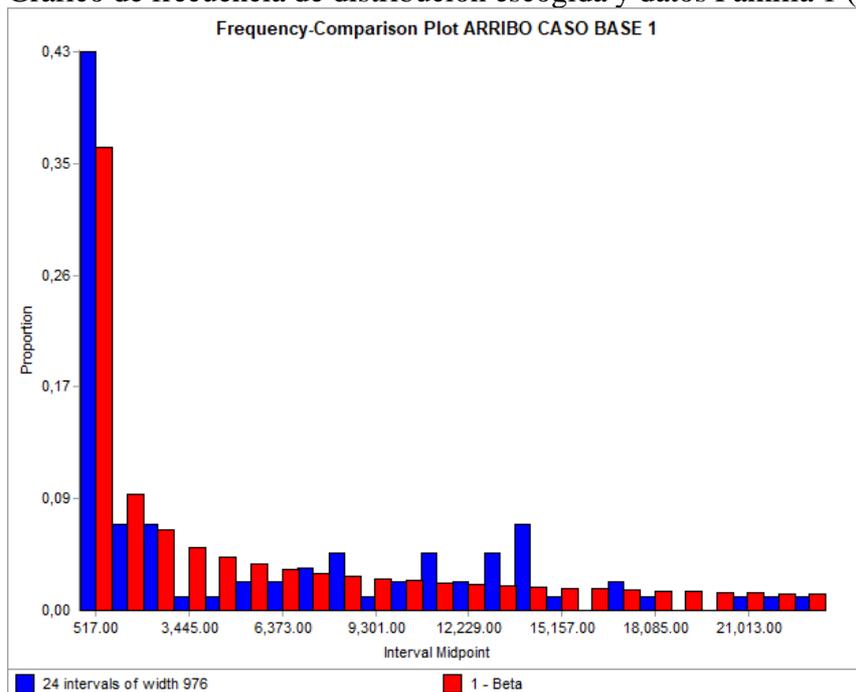


Gráfico de dispersión para comprobación de independencia Familia 2 (Sección 2) Caso Base.

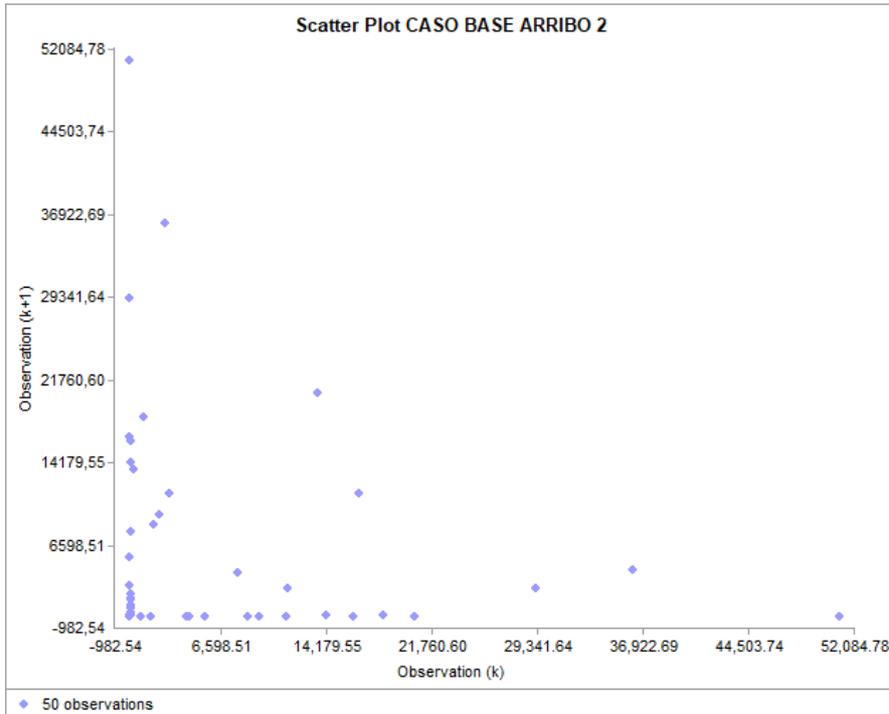


Gráfico de frecuencia de distribución escogida y datos Familia 2 (Sección 2) Caso Base.

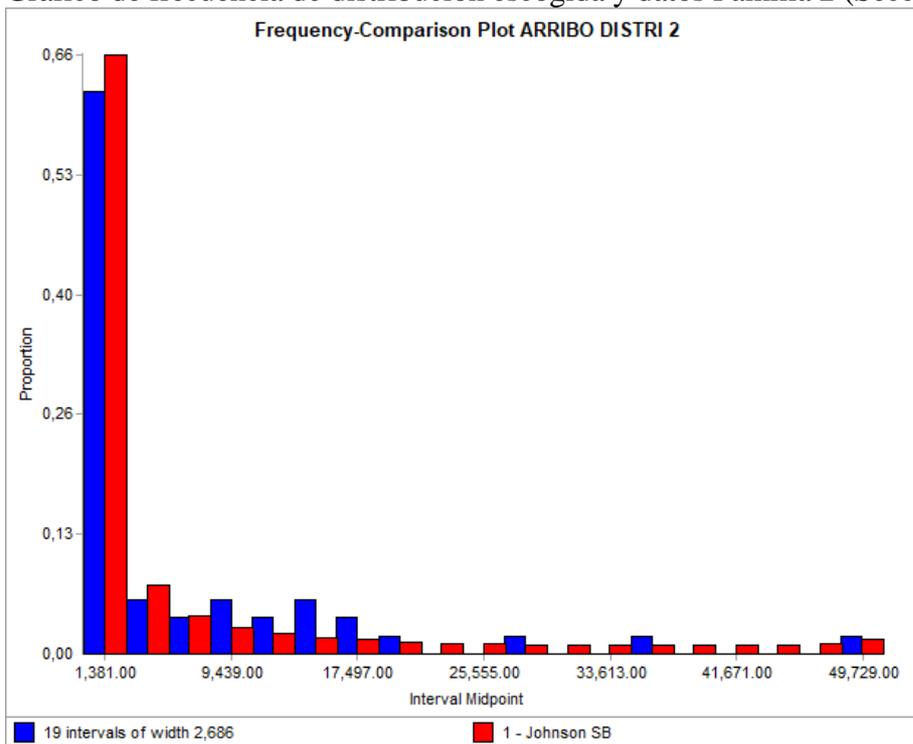


Gráfico de dispersión para comprobación de independecia Familia 3 (Sección 3) Caso Base.

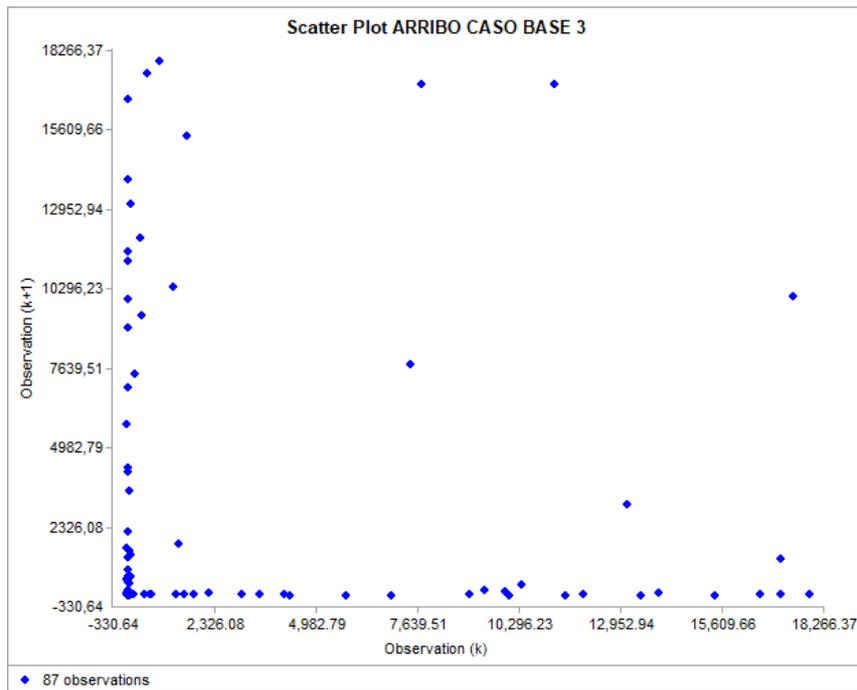


Gráfico de distribución empírica Familia 3 (Sección 3) Caso Base.

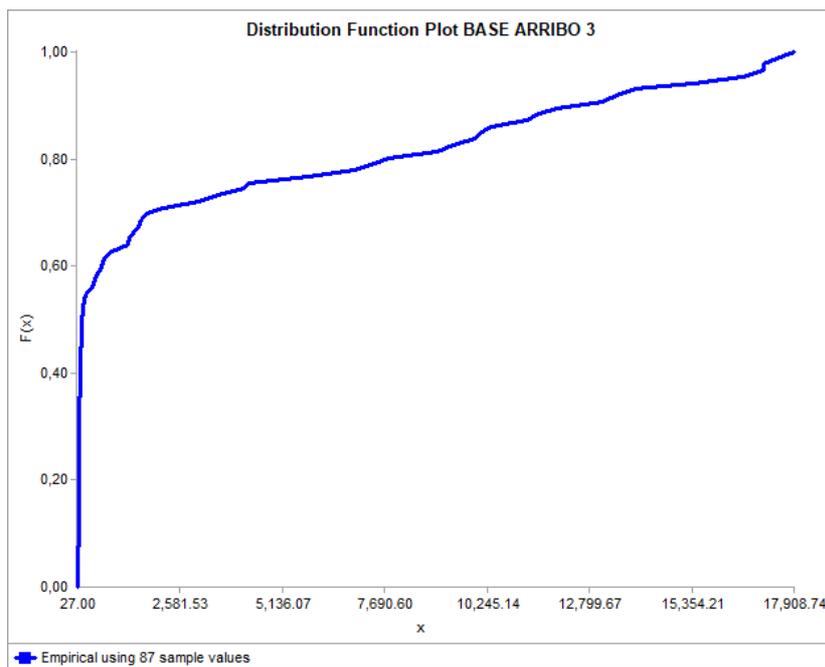


Gráfico de dispersión para comprobación de independencia Familia 4 (Sección 4) Caso Base.

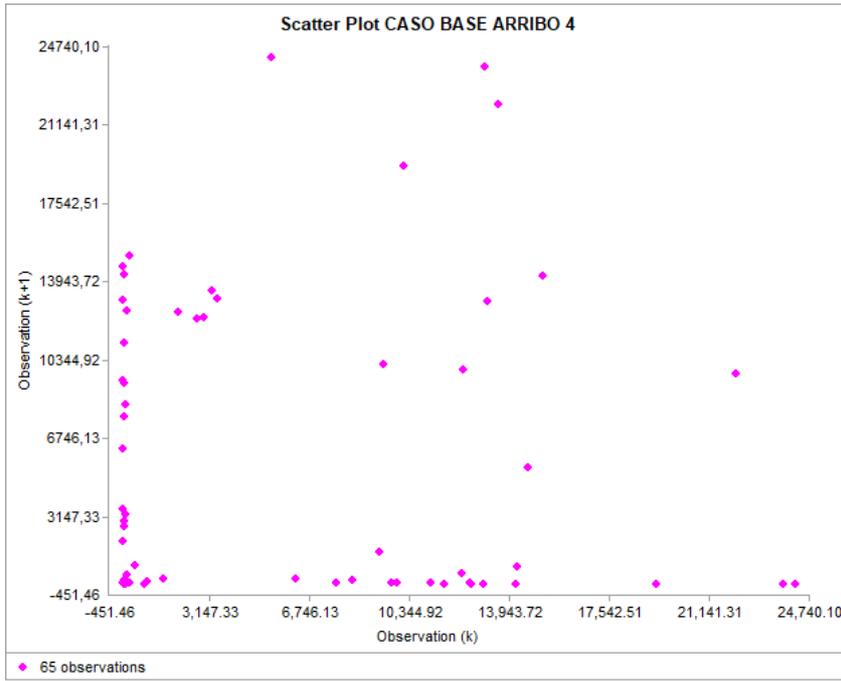


Gráfico de distribución empírica Familia 4 (Sección 4) Caso Base

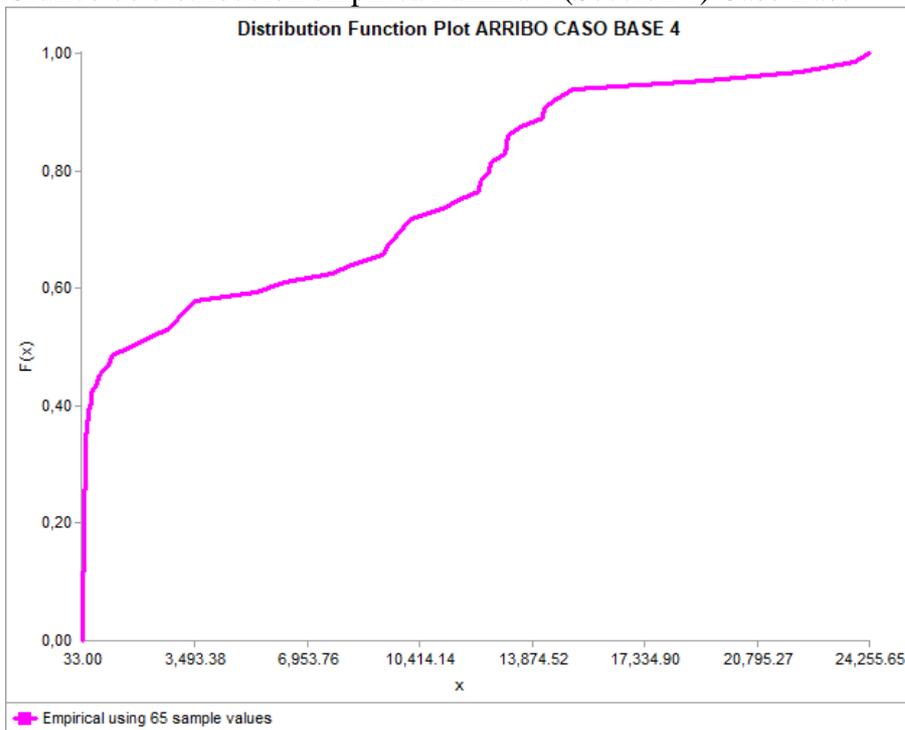


Gráfico de distribución empírica FAMILIA 5(SECCION5) CASO BASE

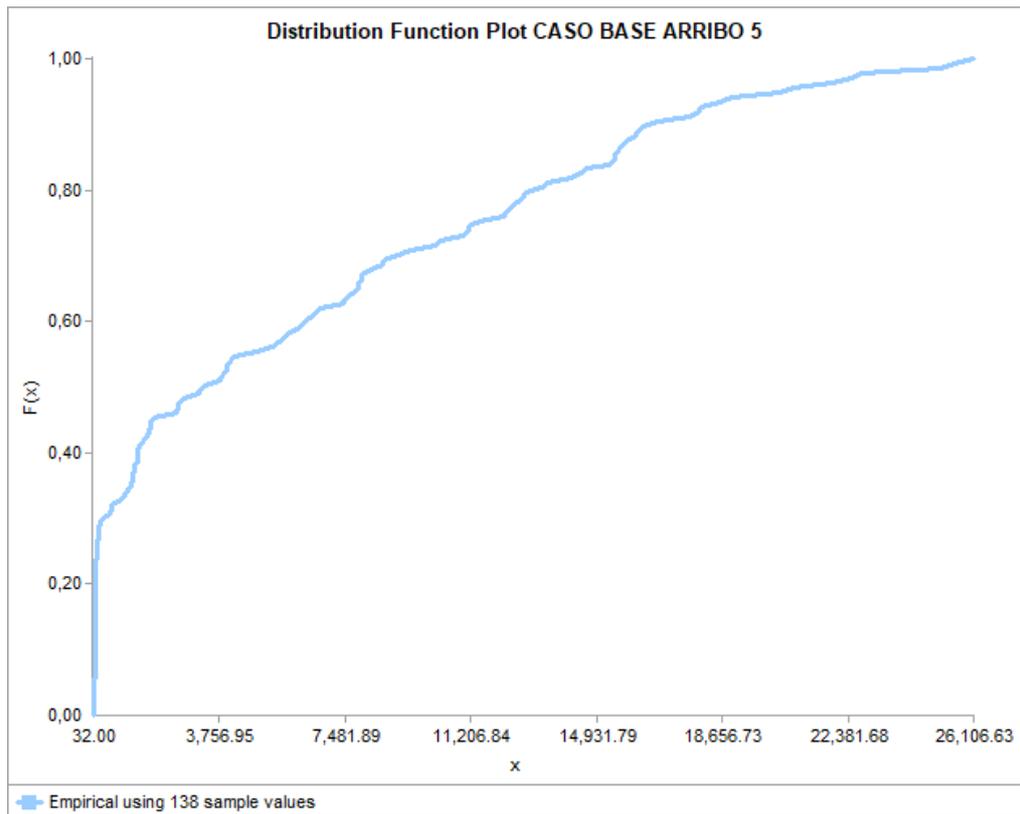


Gráfico de distribución empírica FAMILIA 6_7(SECCION6_7) CASO BASE

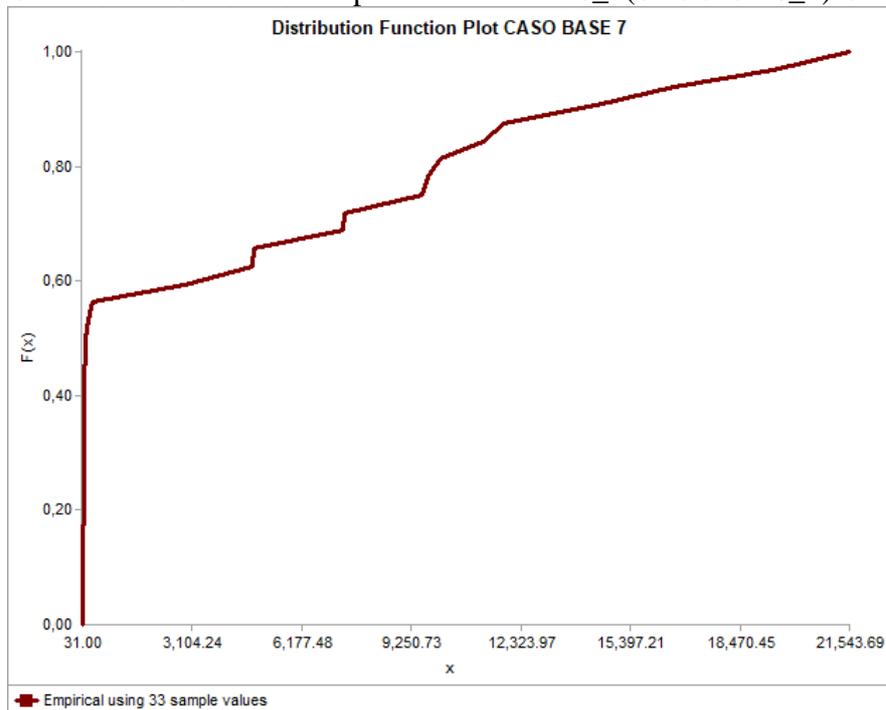


Gráfico de dispersión para comprobación de independecia FAMILIA 8(SECCION8) CASO BASE

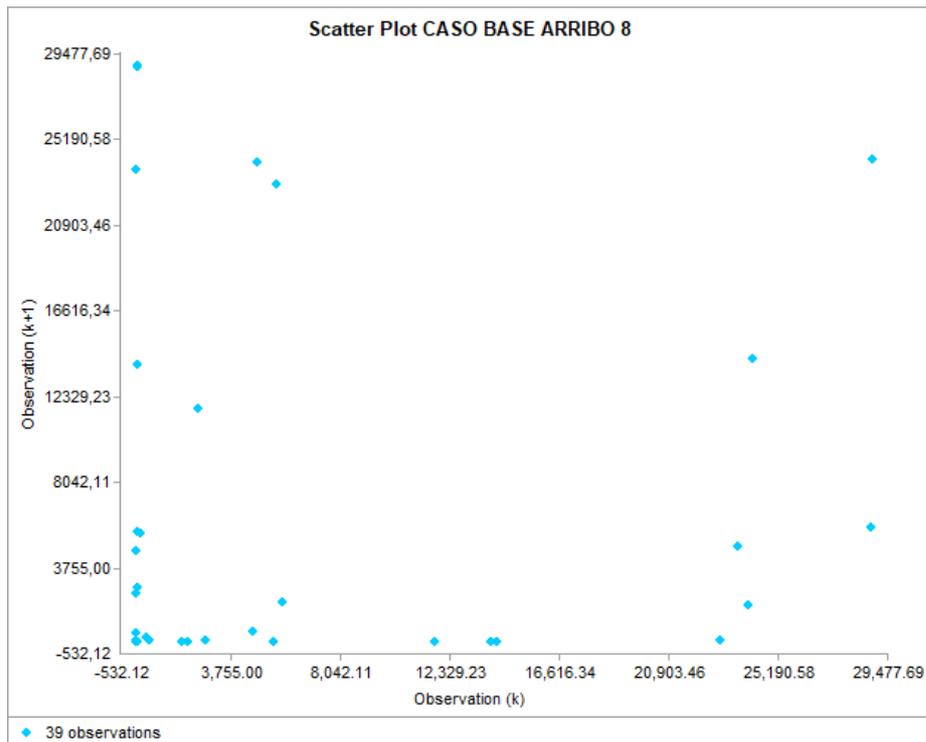


Gráfico de frecuencia de distribución escogida FAMILIA 8(SECCION8) CASO BASE

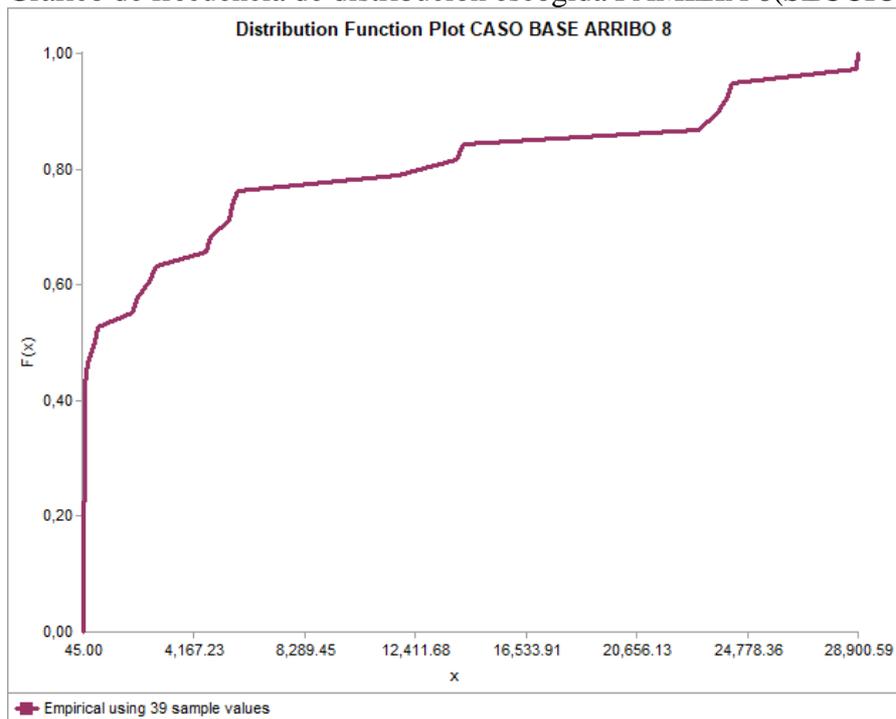


Gráfico de dispersión para comprobación de independecia FAMILIA 9(SECCION9) CASO BASE

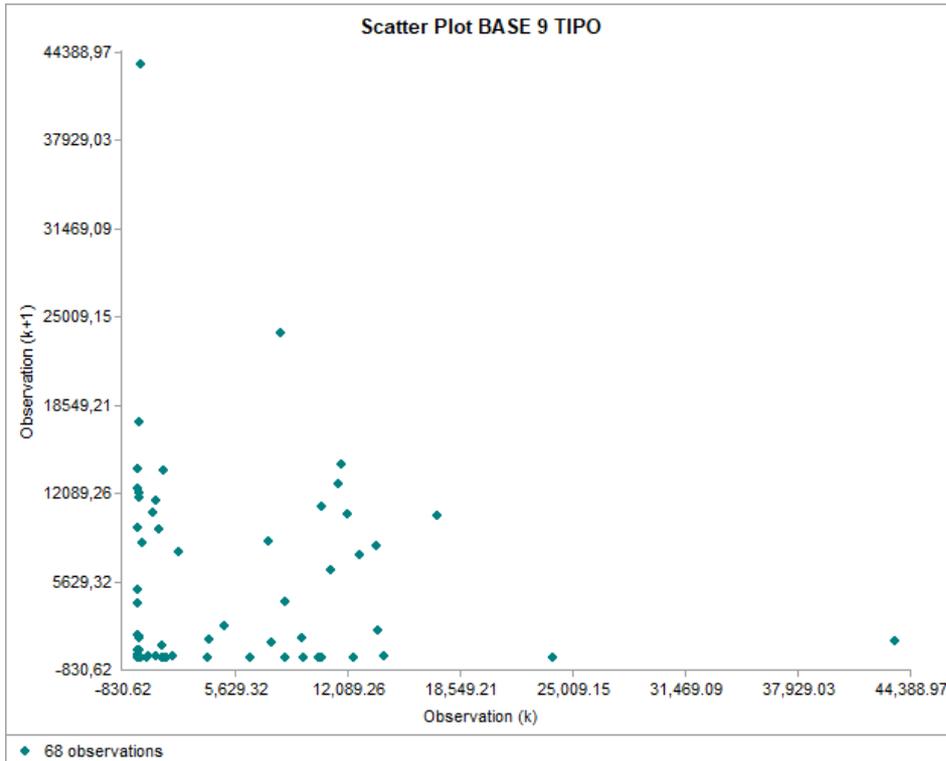


Gráfico de frecuencia de distribución escogida y datos FAMILIA 9(SECCION9) CASO BASE

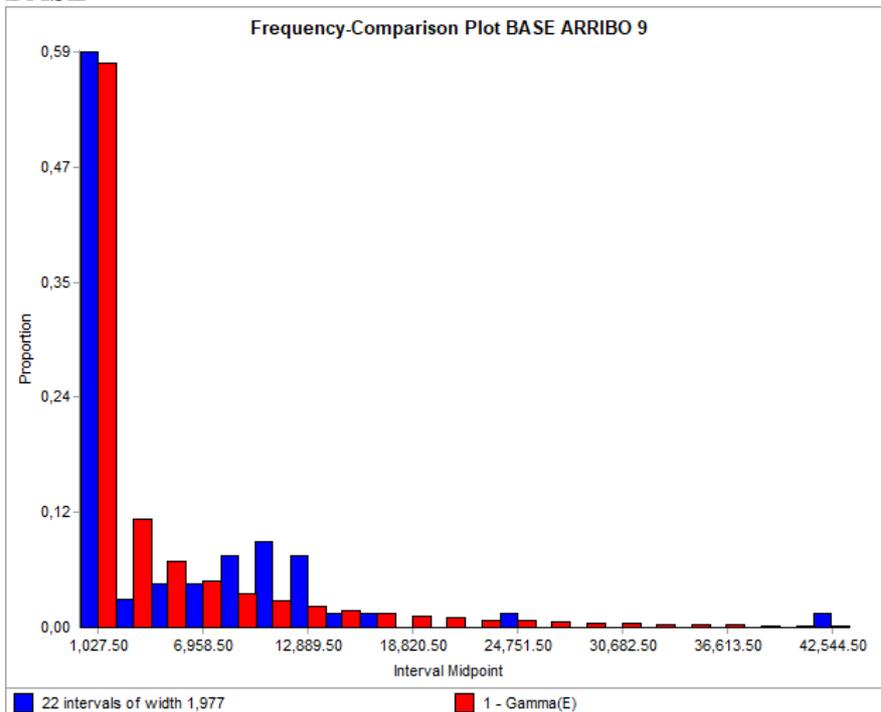


Gráfico de dispersión para comprobación de independencia FAMILIA 10(SECCION10) CASO BASE

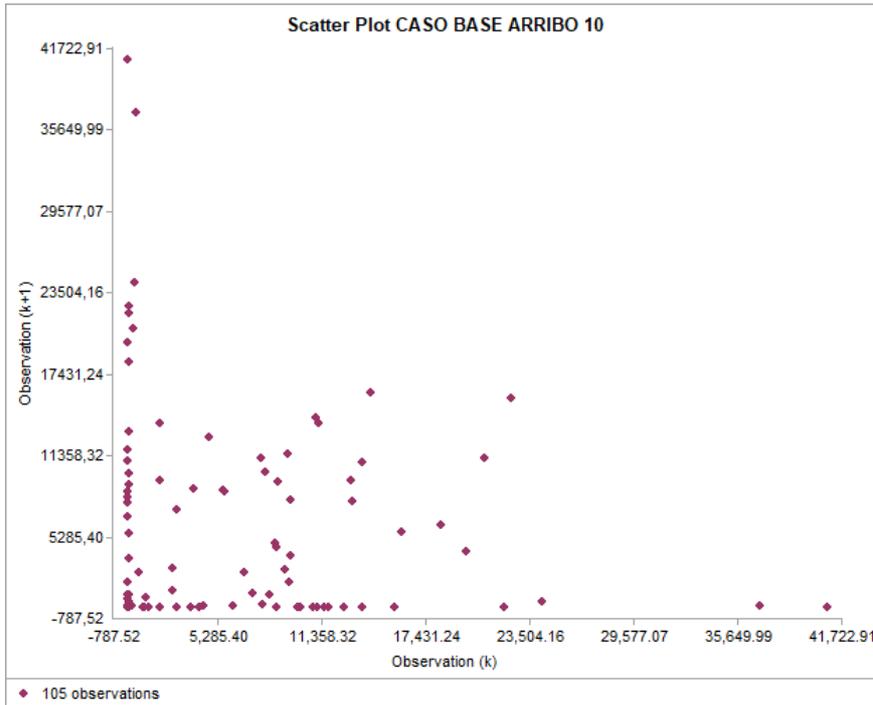


Gráfico de distribución empírica FAMILIA 10(SECCION10) CASO BASE

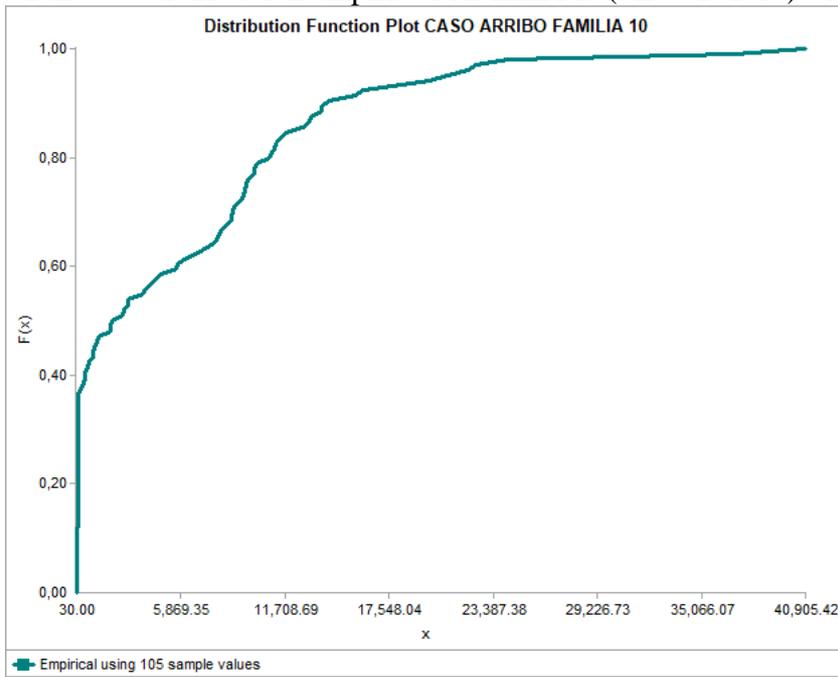


Gráfico de dispersión para comprobación de independencia FAMILIA 11_12(SECCION 11_12) CASO BASE

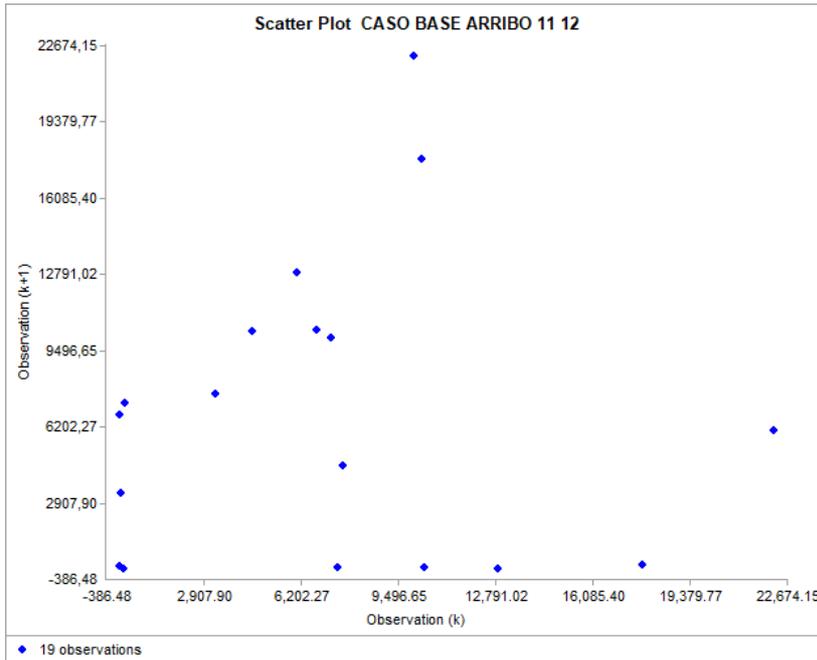


Gráfico de frecuencia de distribución escogida y datos FAMILIA 11_12(SECCION11_12) CASO BASE

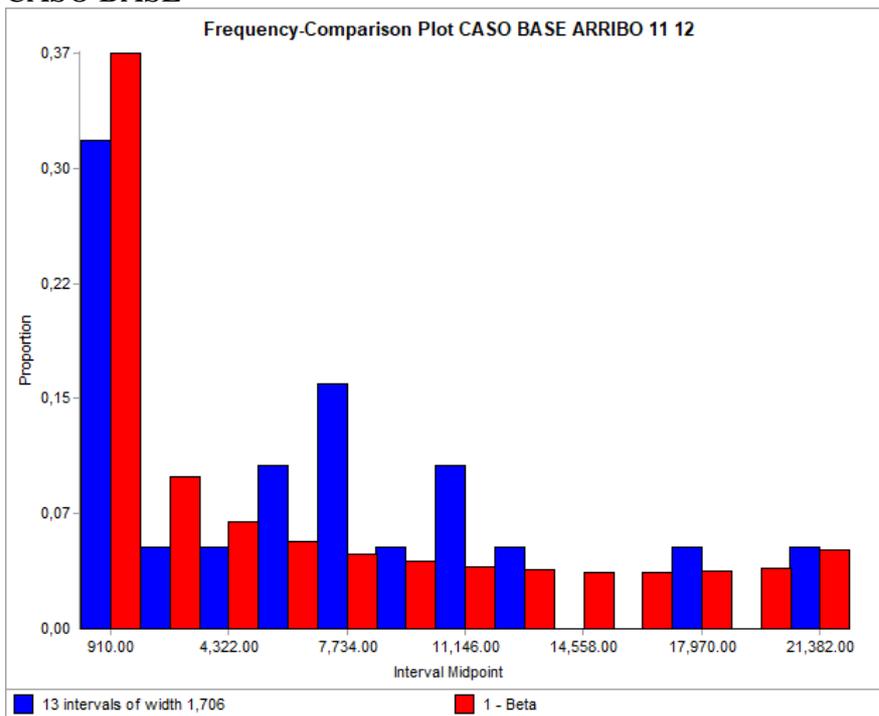


Gráfico de frecuencia de distribución escogida y datos FAMILIA 13 (SECCION13) CASO BASE

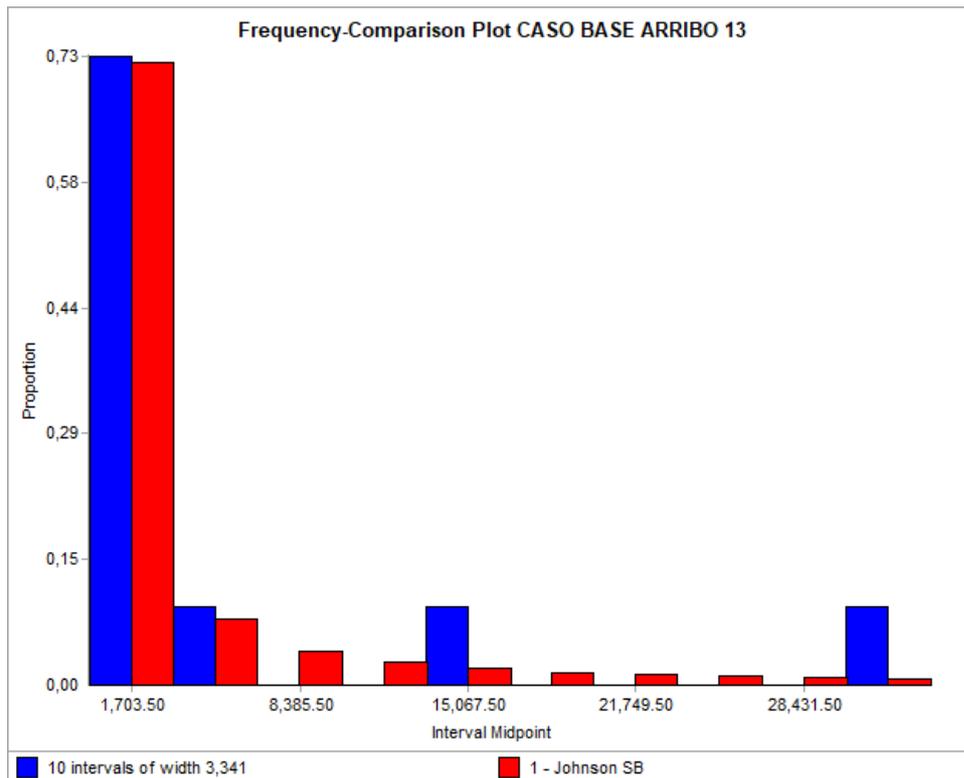


Gráfico de dispersión para comprobación de independencia FAMILIA 14(SECCION14) CASO BASE

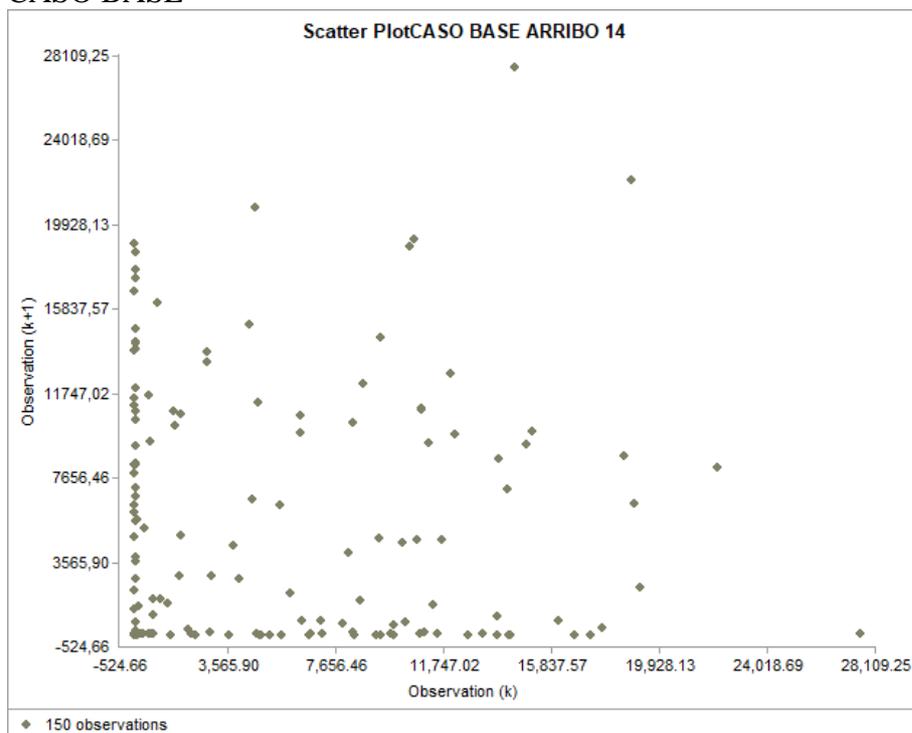


Gráfico de distribución empírica FAMILIA 14(SECCION14) CASO BASE

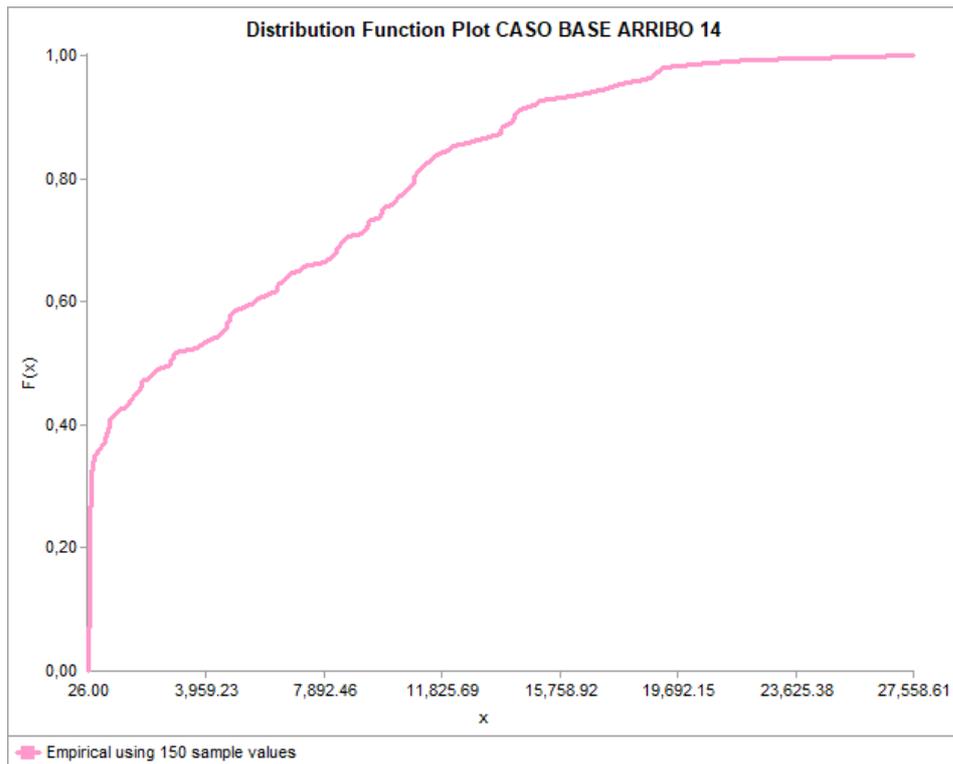


Gráfico de dispersión para comprobación de independecia FAMILIA 15(SECCION15) CASO BASE

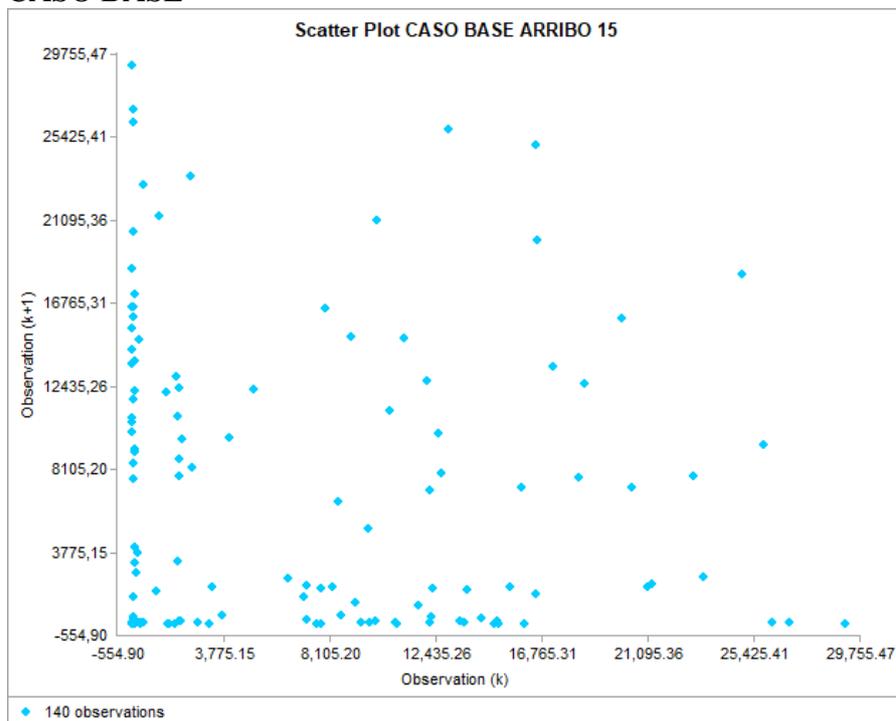


Gráfico de distribución empírica FAMILIA 15(SECCION15) CASO BASE

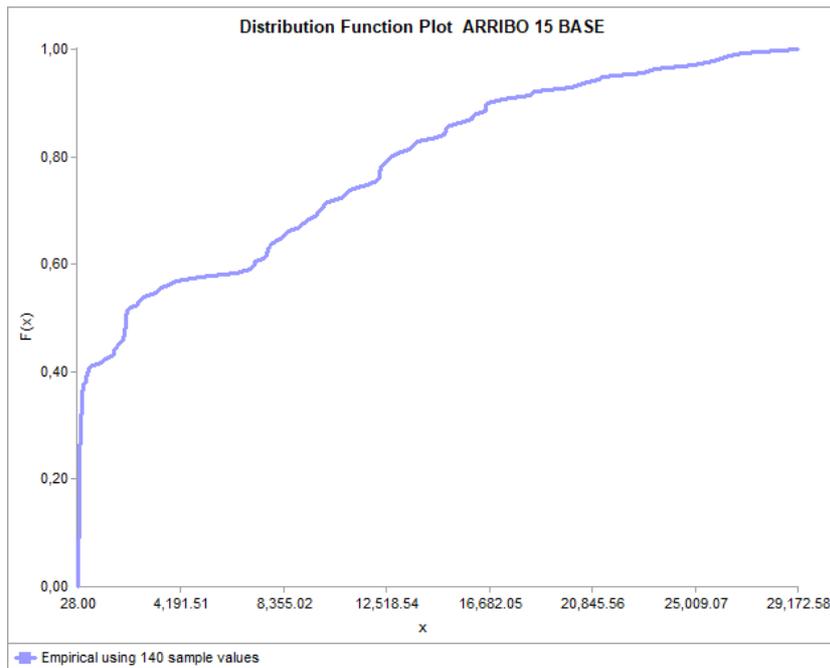


Gráfico de dispersión para comprobación de independencia FAMILIA 16(SECCION16) CASO BASE

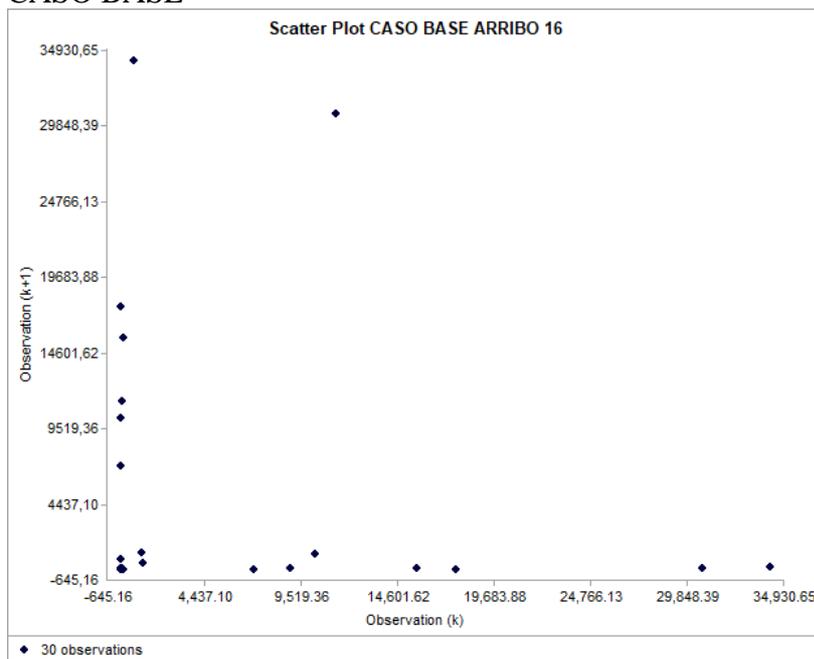


Gráfico de frecuencia de distribución escogida y datos FAMILIA 16(SECCION16) CASO BASE

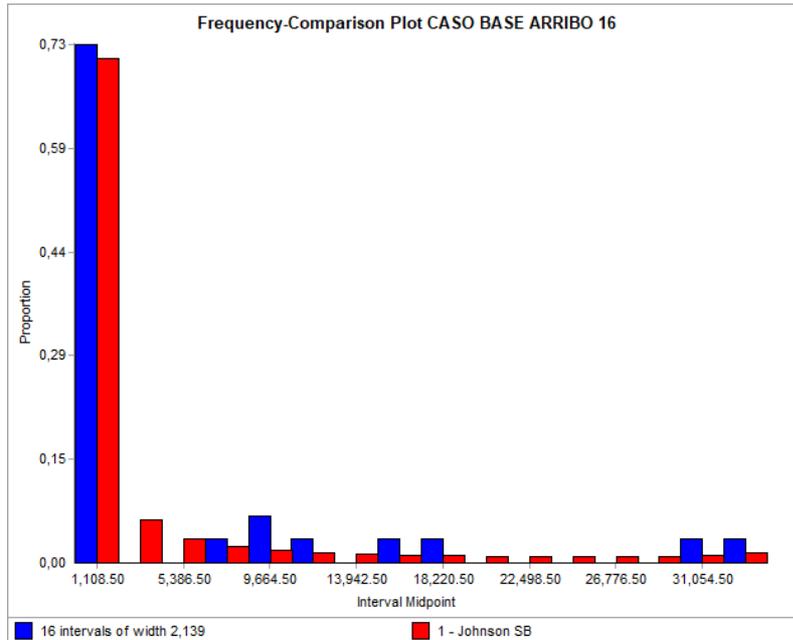


Gráfico de dispersión para comprobación de independencia FAMILIA 17(SECCION17) CASO BASE

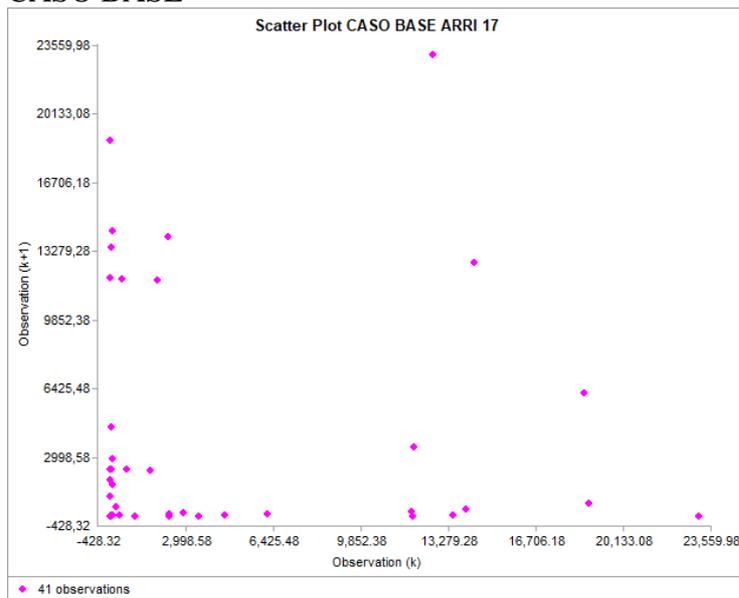
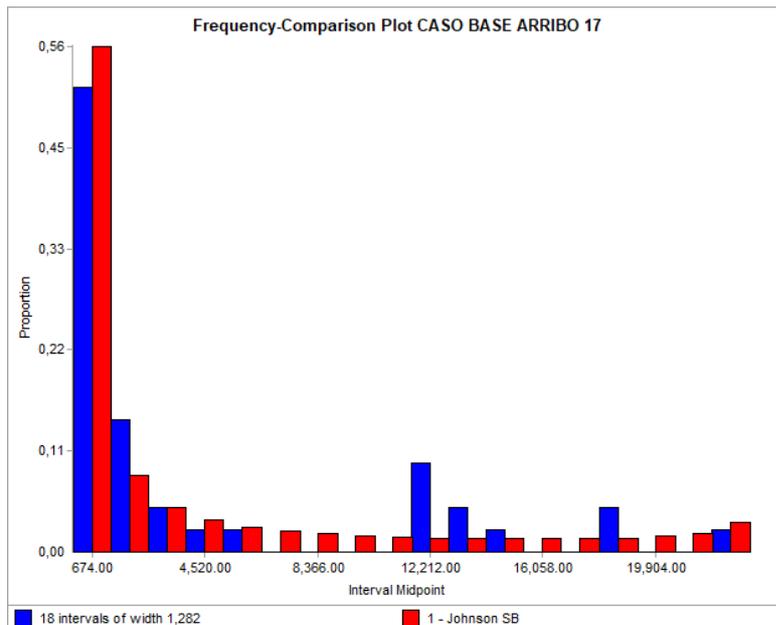


Gráfico de frecuencia de distribución escogida y datos FAMILIA 17(SECCION17) CASO BASE



DISTRIBUCIONES CANTIDAD INGRESO

Gráfico de falta de correlación, independencia de datos , FAMILIA Navidad (NAVIDAD)
CASO ALTO NAVIDAD

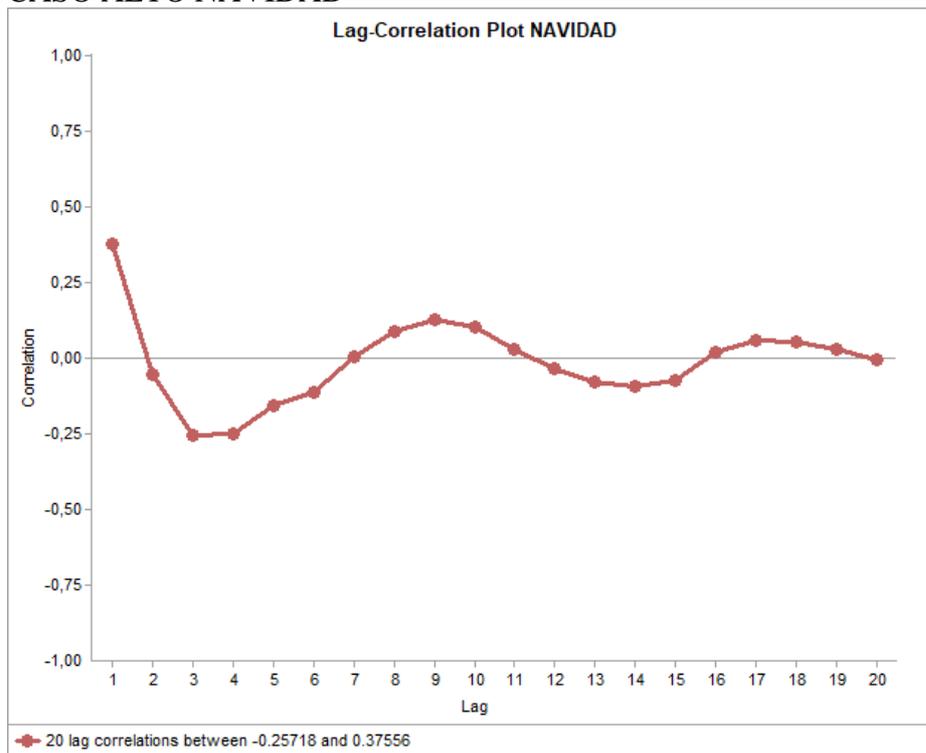
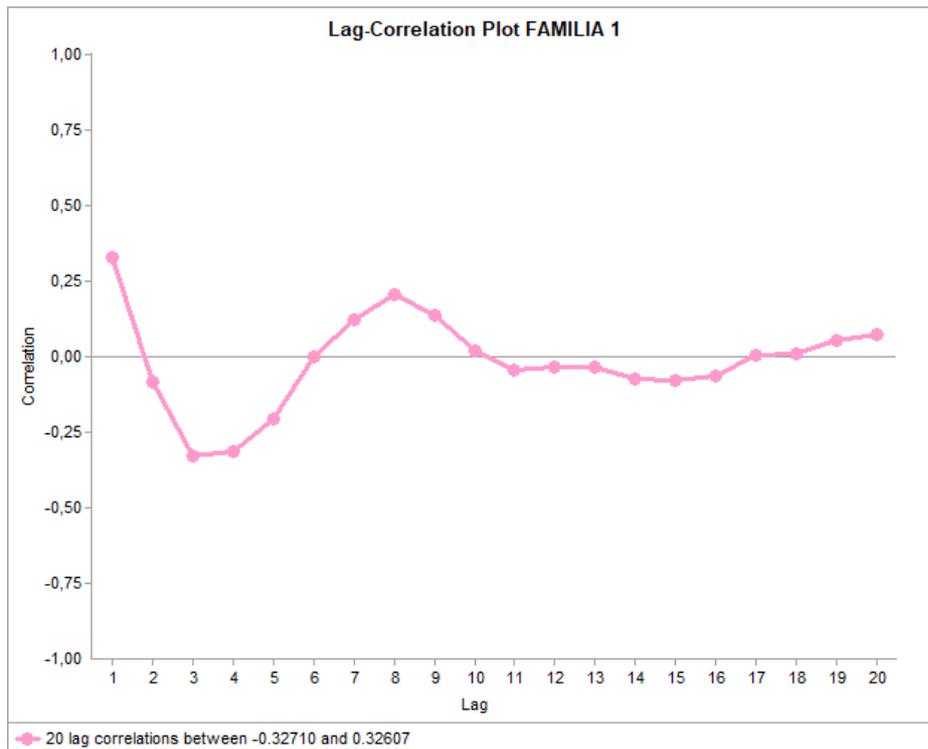


Gráfico de falta de correlación , independencia de datos , FAMILIA 1(SECCION1) CASO
ALTO NAVIDAD



Distribución empírica, FAMILIA 1(SECCION1) CASO ALTO NAVIDAD

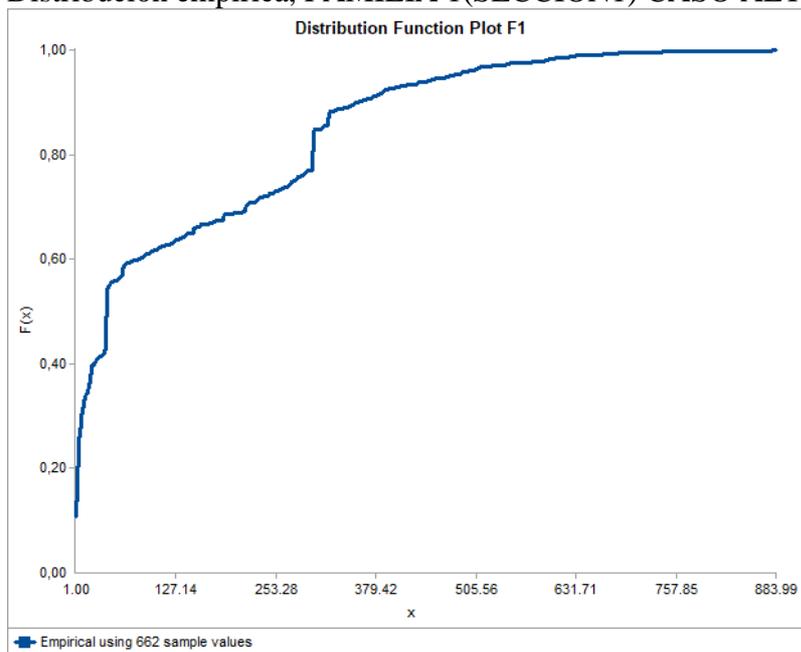
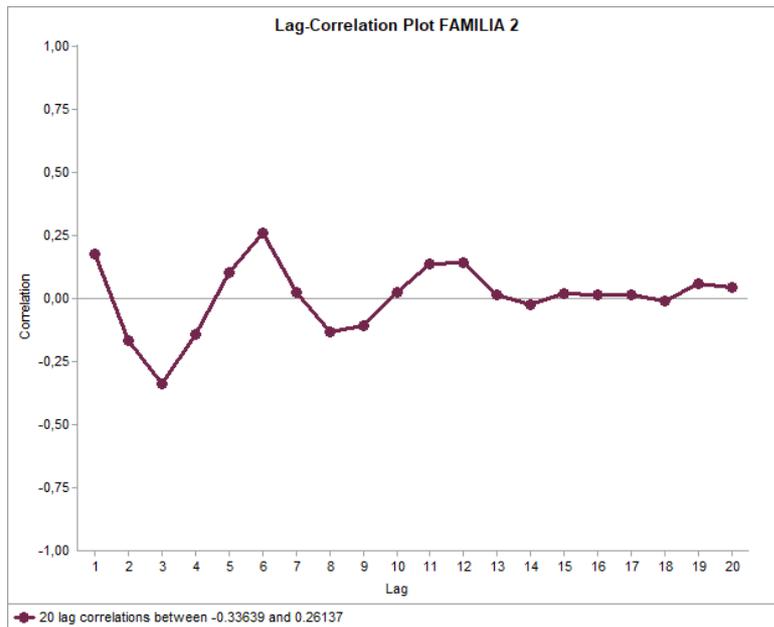


Gráfico de falta de correlación , independencia de datos , FAMILIA 2(SECCION2) CASO ALTO NAVIDAD



Distribución empírica, FAMILIA 2(SECCION2) CASO ALTO NAVIDAD

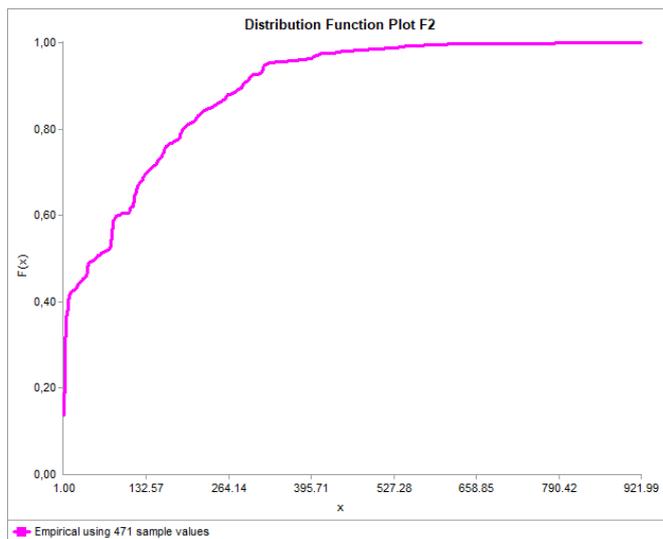
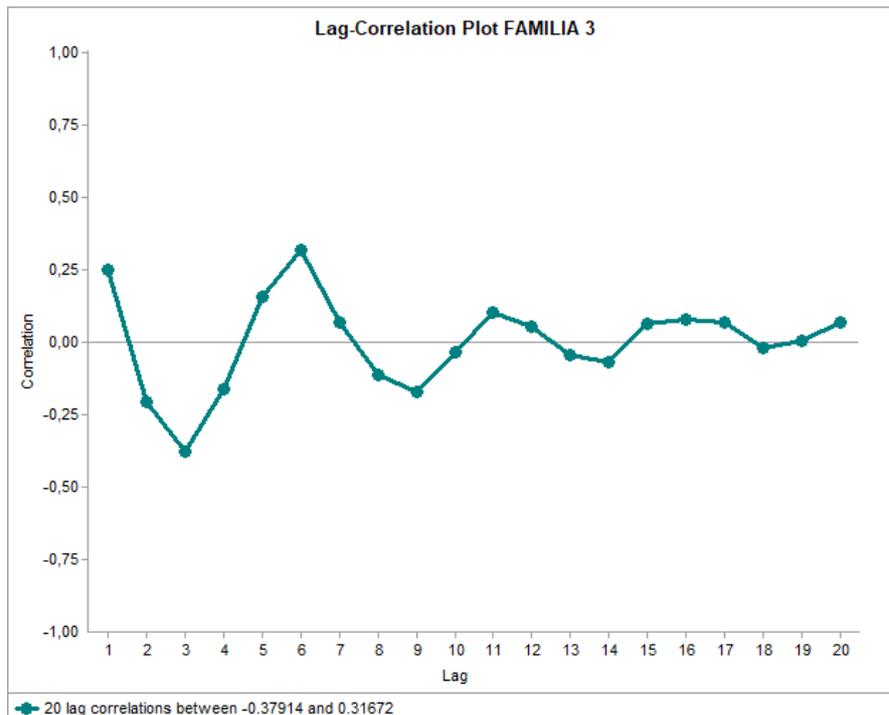


Gráfico de falta de correlación , independencia de datos , FAMILIA 3(SECCION3) CASO ALTO NAVIDAD



Distribución empírica, FAMILIA 3(SECCION3) CASO ALTO NAVIDAD

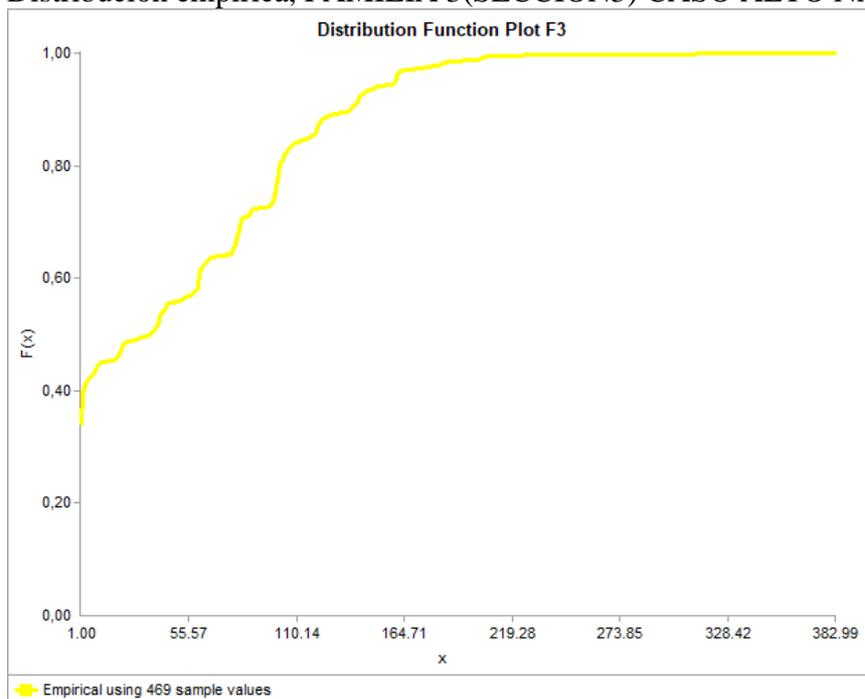
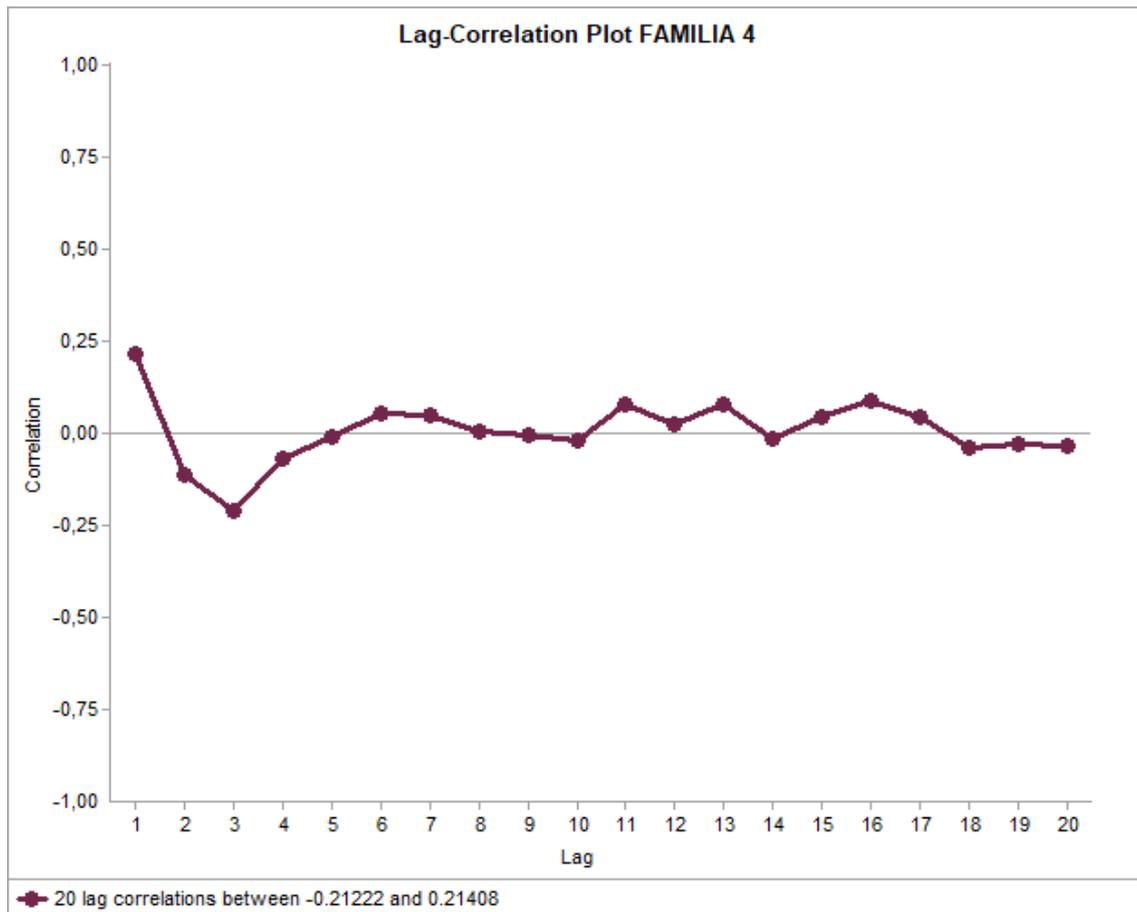


Gráfico de falta de correlación , independencia de datos , FAMILIA 4(SECCION4) CASO ALTO NAVIDAD



Distribución empírica, FAMILIA 4(SECCION4) CASO ALTO NAVIDAD

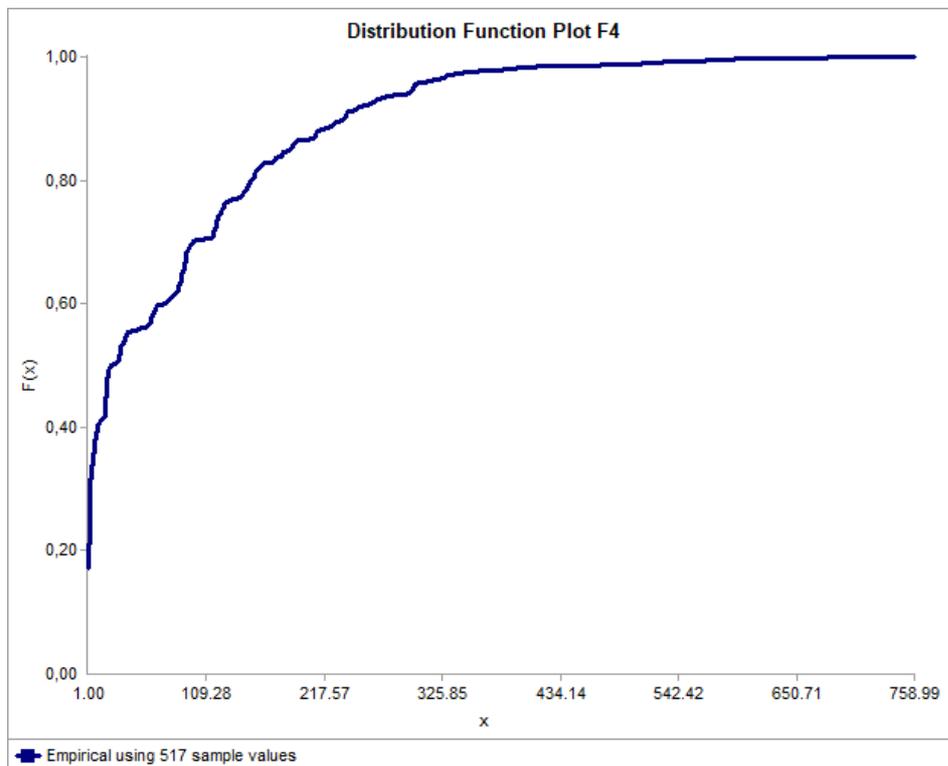
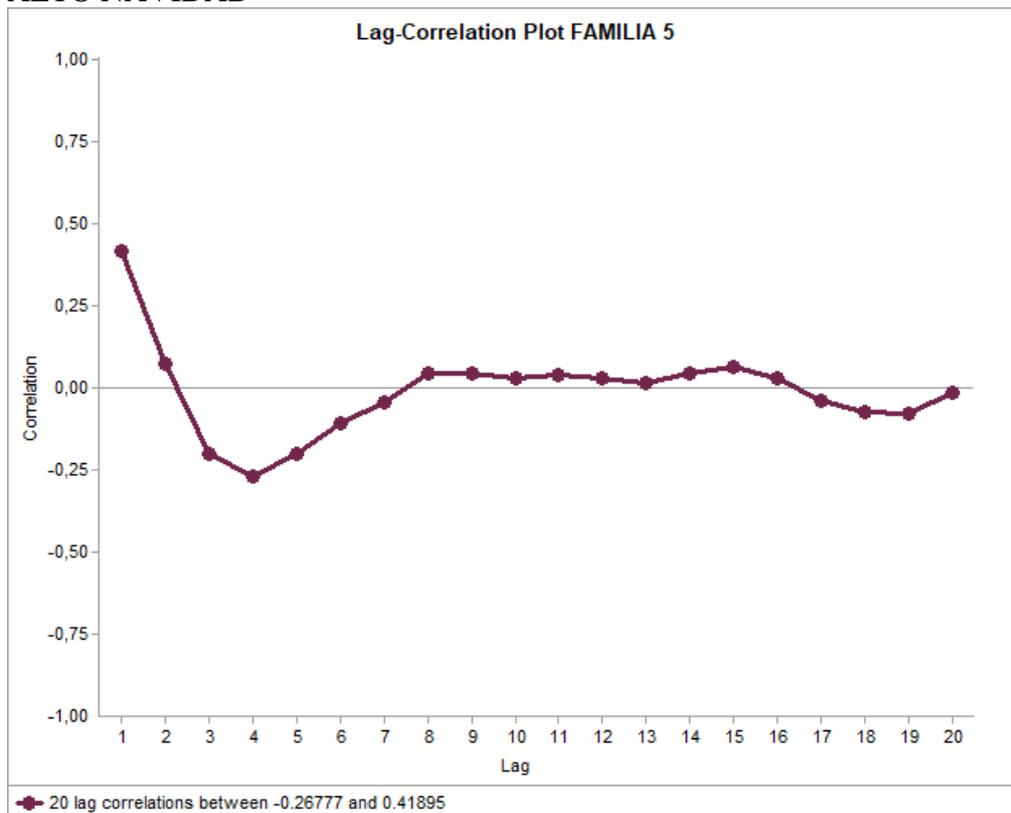


Gráfico de falta de correlación , independencia de datos , FAMILIA 5(SECCION5) CASO ALTO NAVIDAD



Distribución empírica, FAMILIA 5(SECCION5) CASO ALTO NAVIDAD

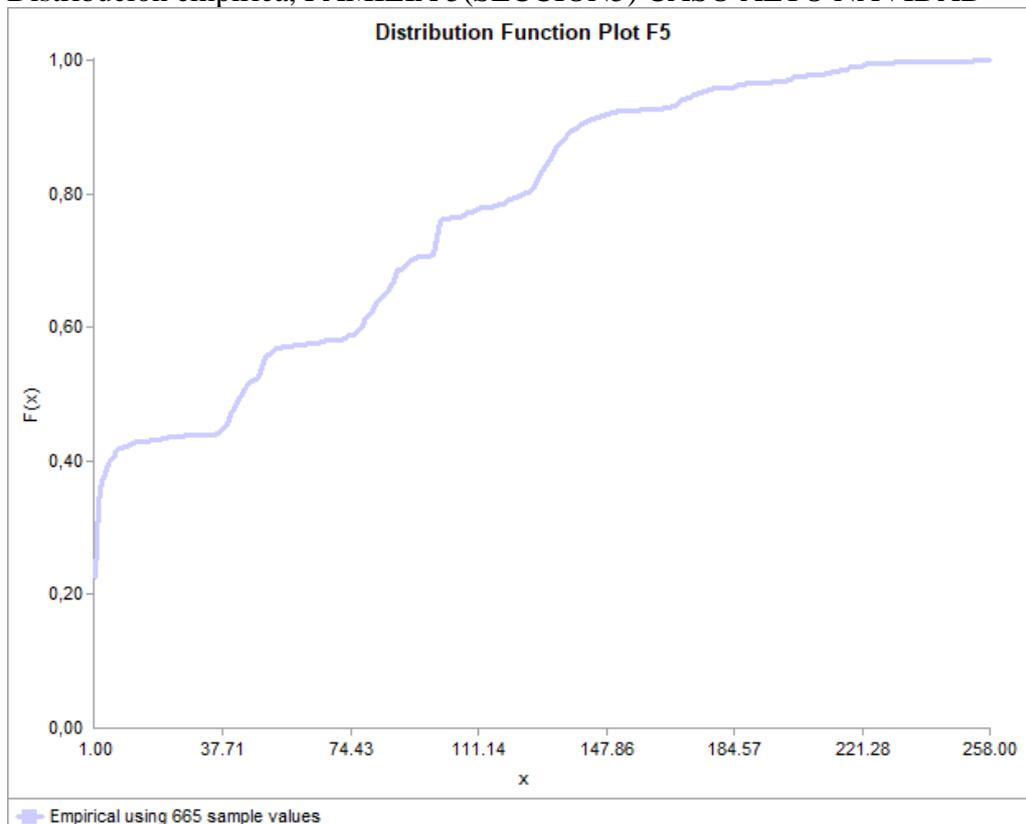
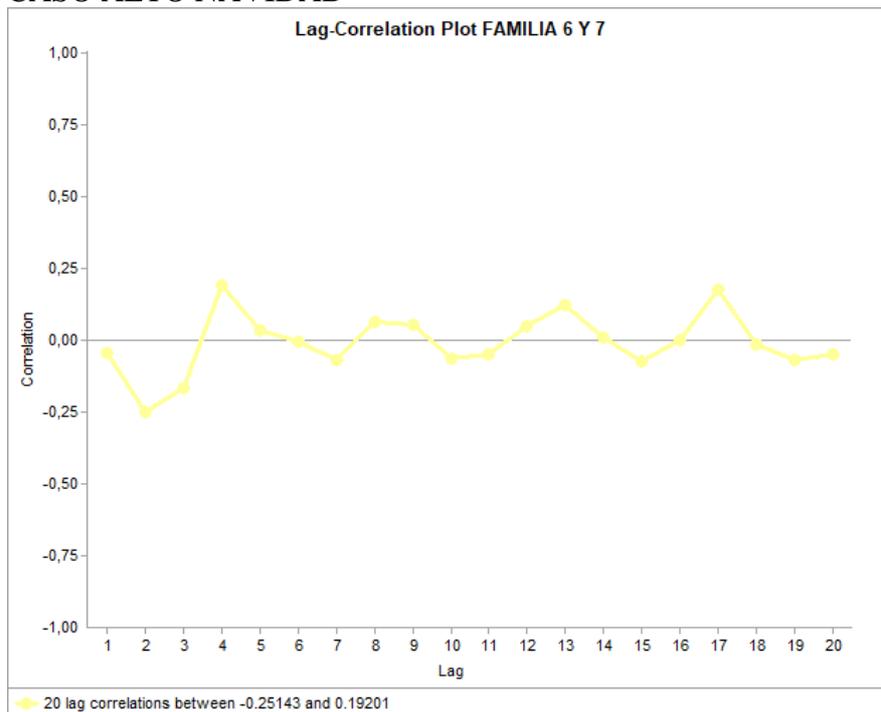


Gráfico de falta de correlación , independencia de datos , FAMILIA 6_7(SECCION6_7)
CASO ALTO NAVIDAD



Distribución empírica, FAMILIA 6_7(SECCION6_7) CASO ALTO NAVIDAD

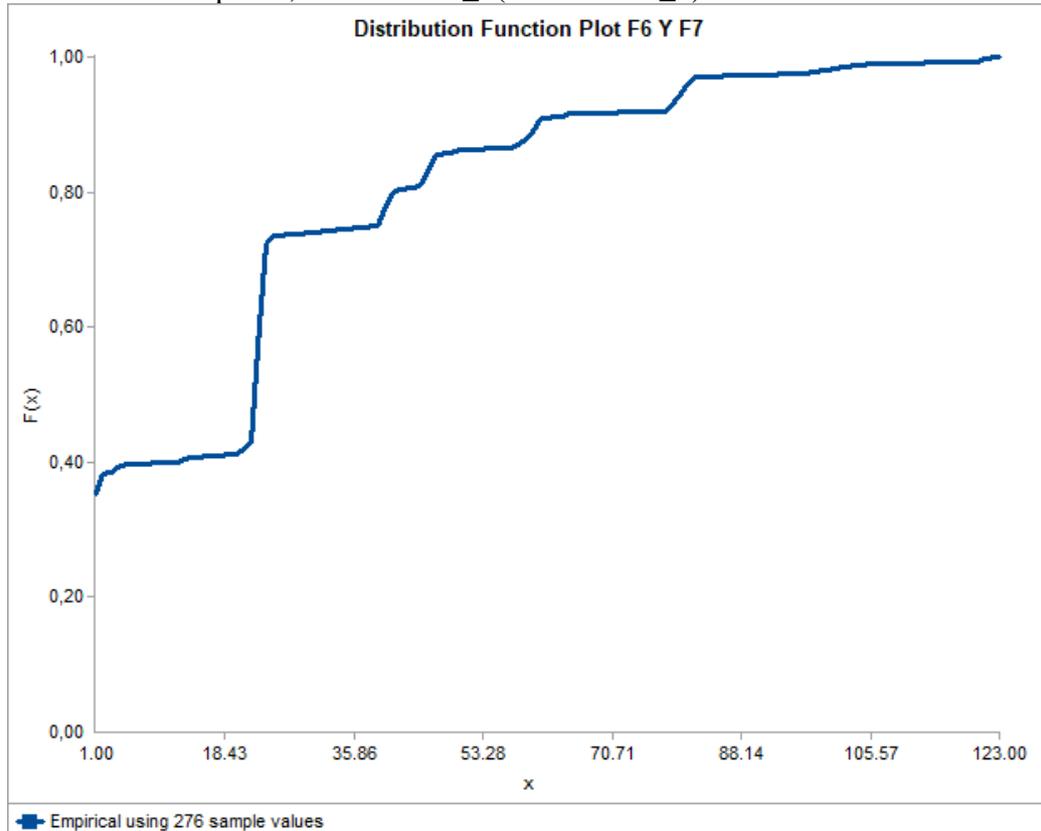
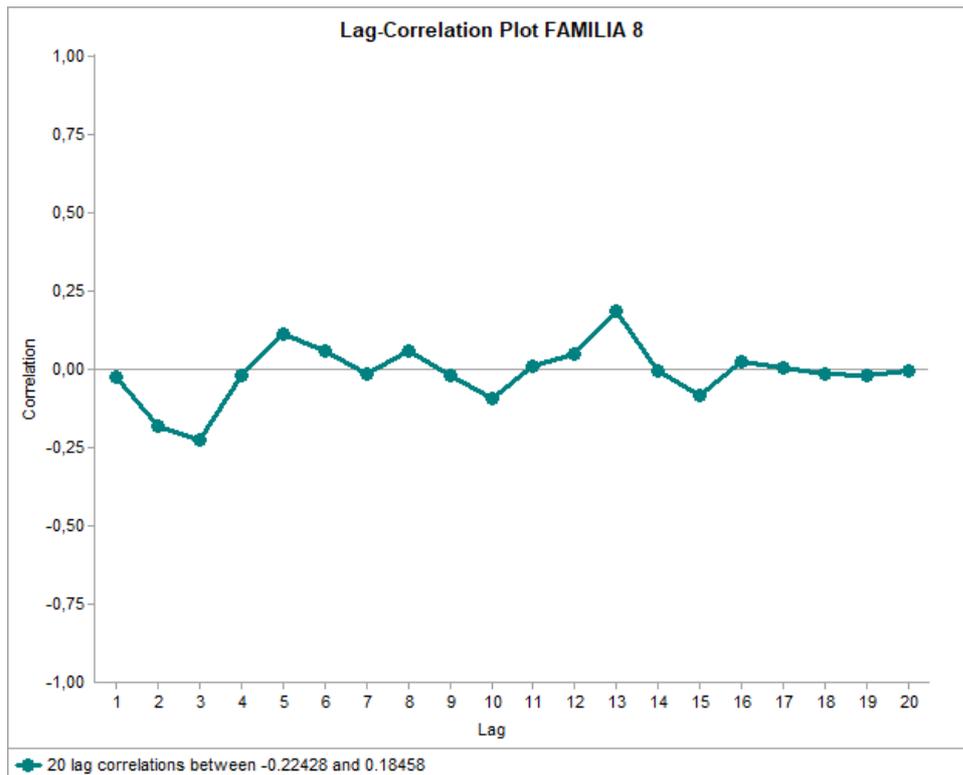


Gráfico de falta de correlación , independencia de datos , FAMILIA 8(SECCION8) CASO
ALTO NAVIDAD



Distribución empírica, FAMILIA 8(SECCIO8) CASO ALTO NAVIDAD

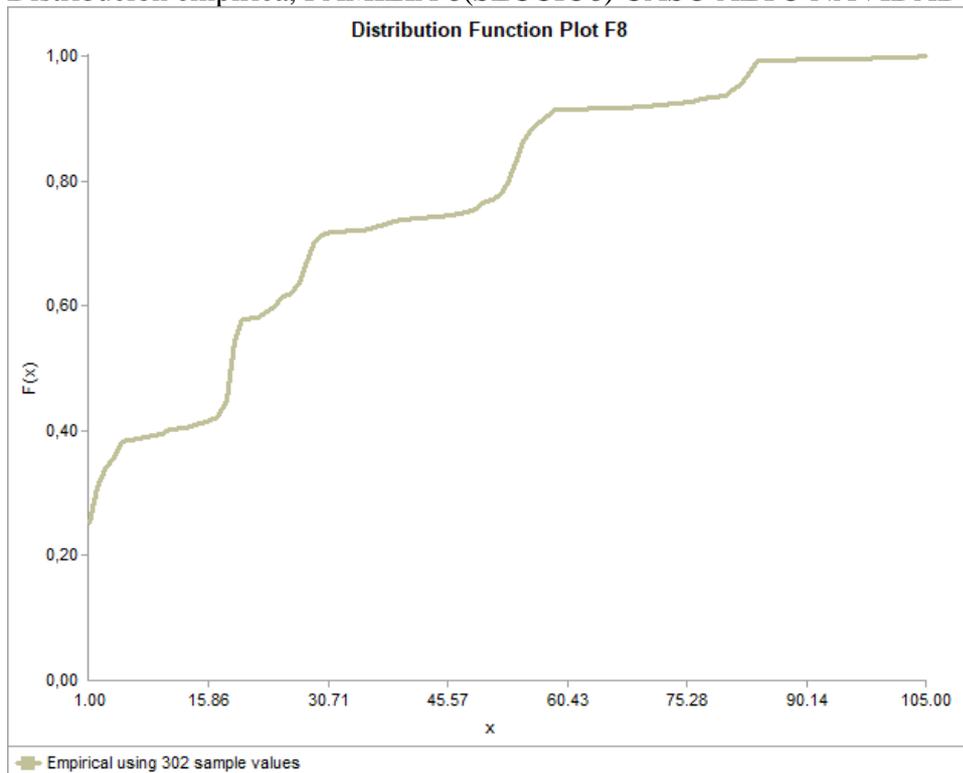
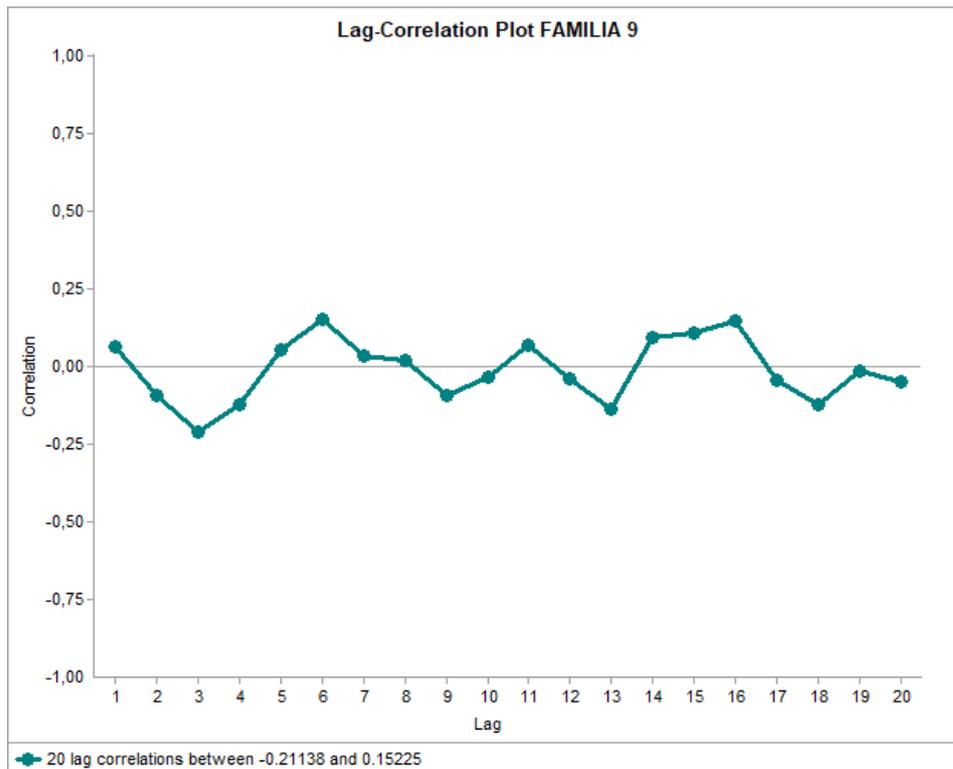


Gráfico de falta de correlacion , independencia de datos , FAMILIA 9(SECCION9) CASO ALTO NAVIDAD



Distribución empírica, FAMILIA 9(SECCION9) CASO ALTO NAVIDAD

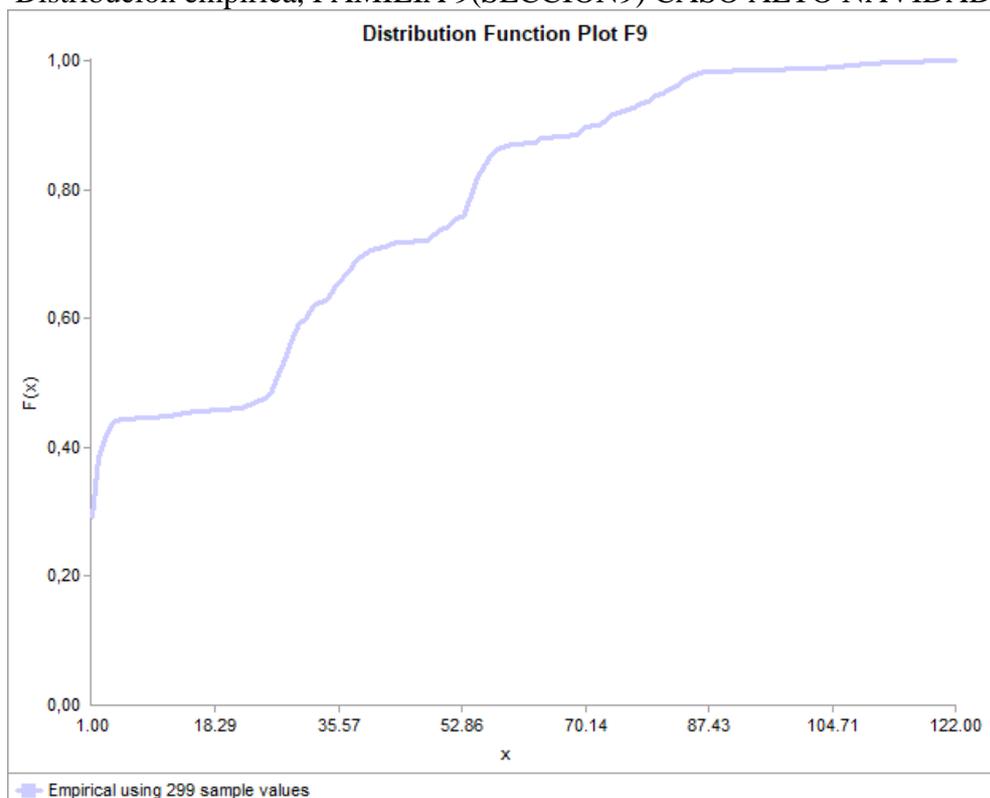
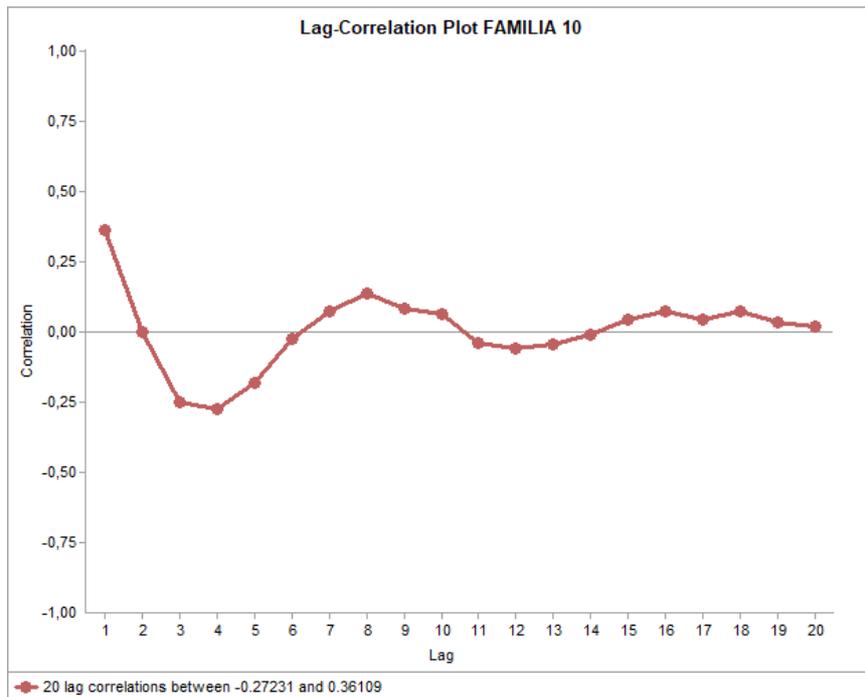


Gráfico de falta de correlacion , independencia de datos , FAMILIA 10(SECCION10) CASO ALTO NAVIDAD



Distribución empírica, FAMILIA 10(SECCION10) CASO ALTO NAVIDAD

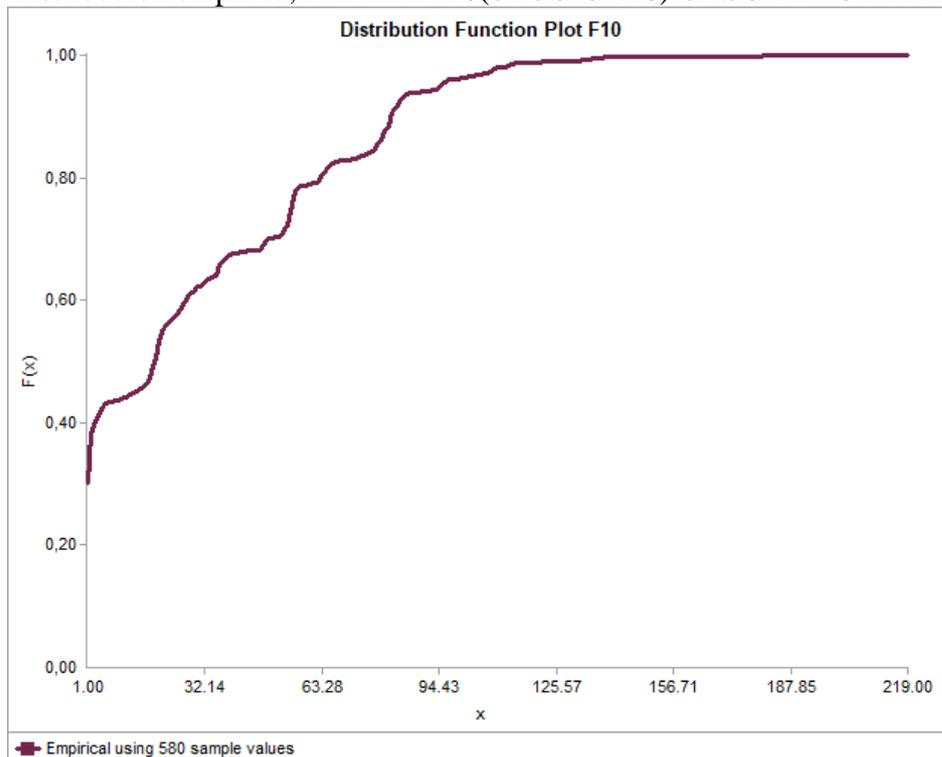
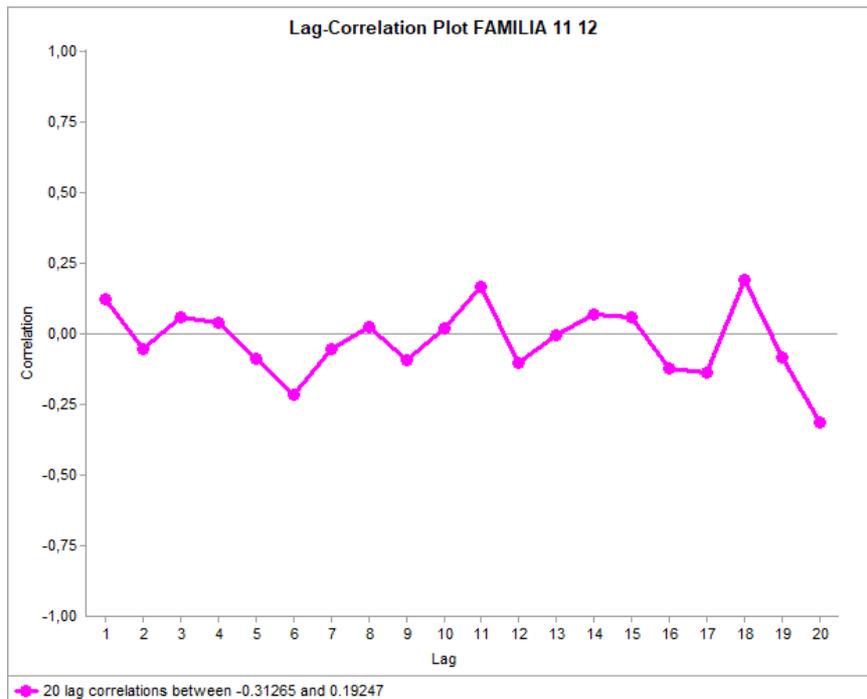


Gráfico de falta de correlacion , independencia de datos , FAMILIA 11_12(SECCION11_12) CASO ALTO NAVIDAD



Comparación de distribución por frecuencia FAMILIA 11_12 y datos (SECCION12) CASO ALTO NAVIDAD

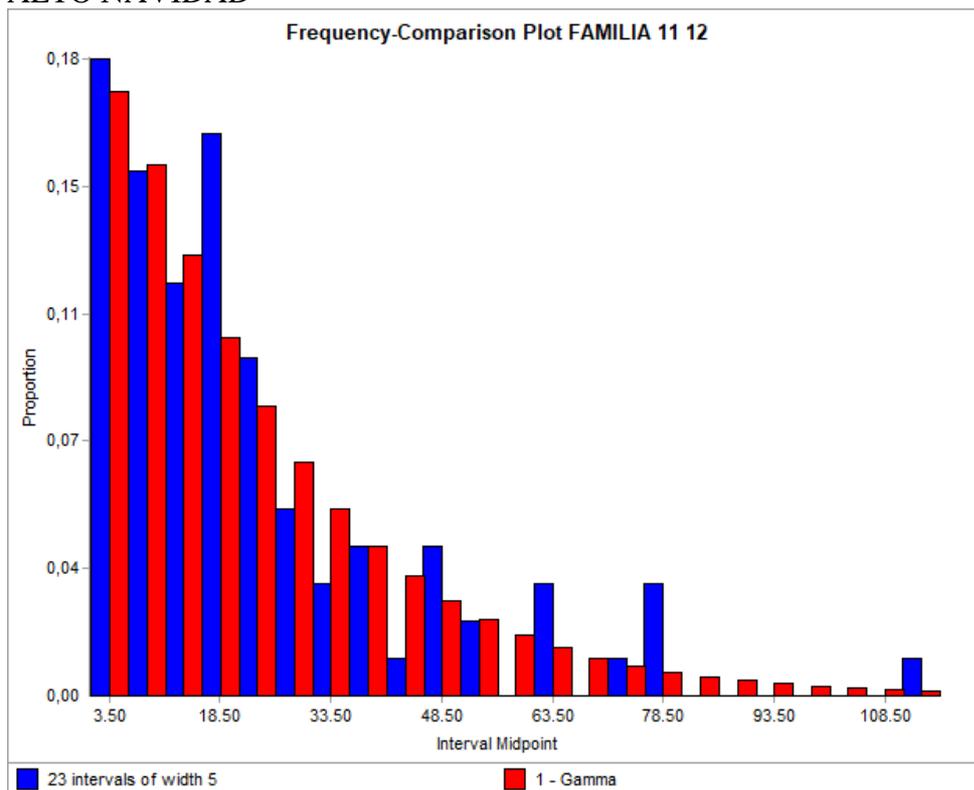
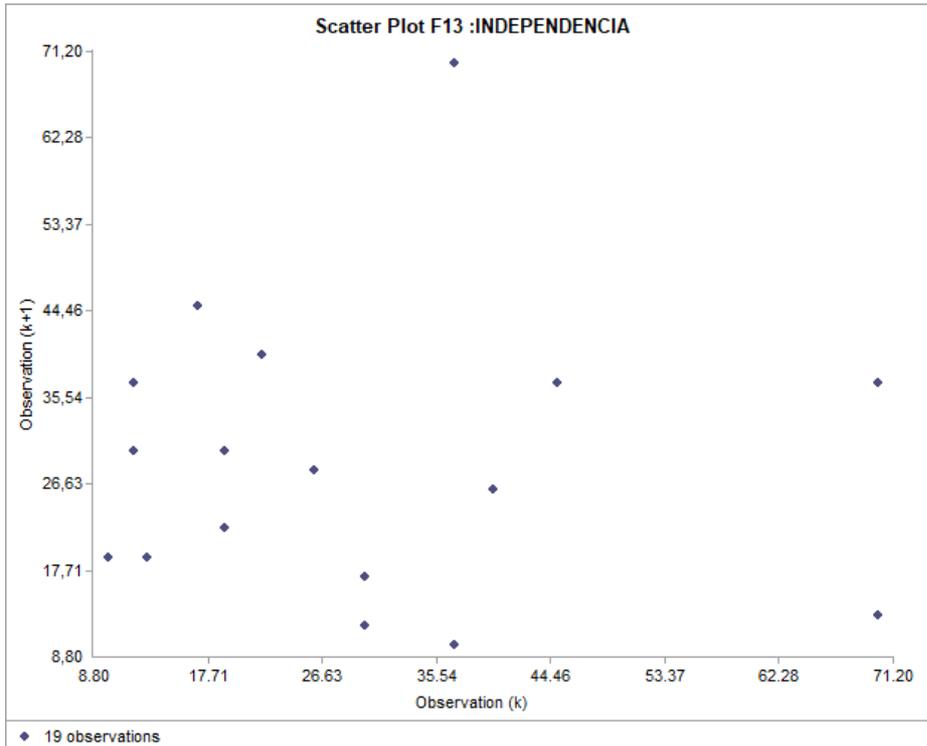


Gráfico de dispersión, independencia de datos, FAMILIA 13(SECCION13) CASO ALTO NAVIDAD



Distribución empírica, FAMILIA 13(SECCION13) CASO ALTO NAVIDAD

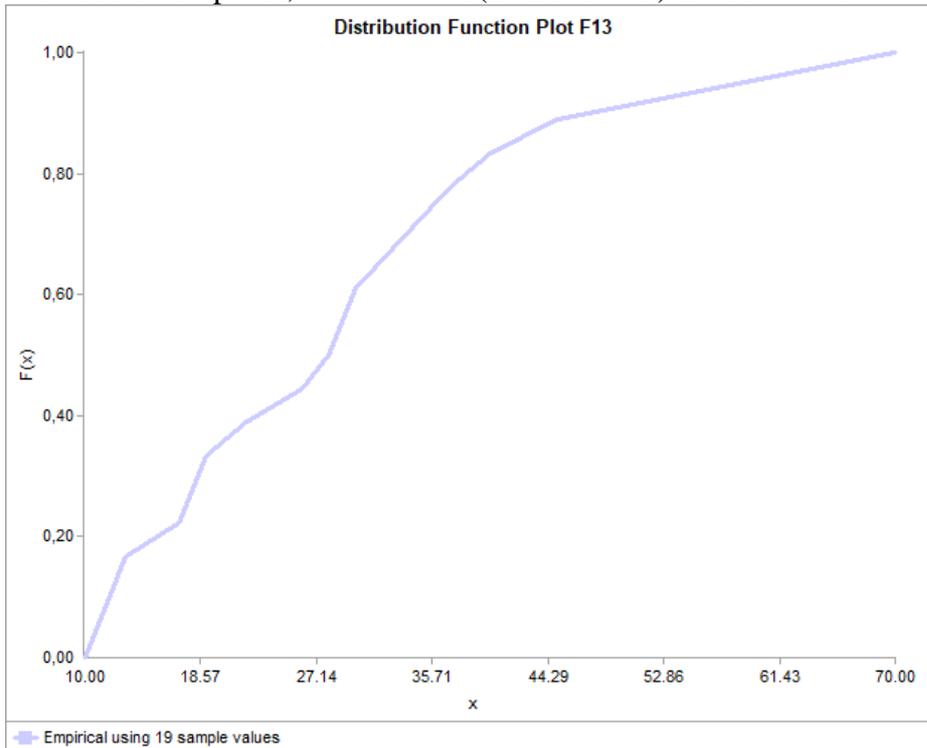
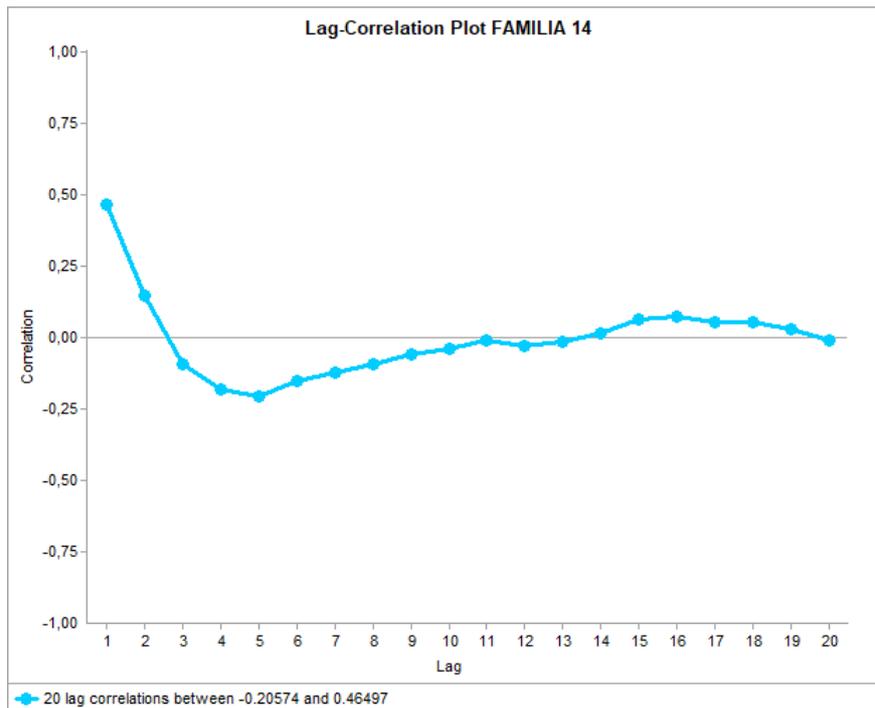


Gráfico de falta de correlación, independencia de datos , FAMILIA 14(SECCION14) CASO ALTO NAVIDAD



Distribución empírica, FAMILIA 14(SECCION14) CASO ALTO NAVIDAD

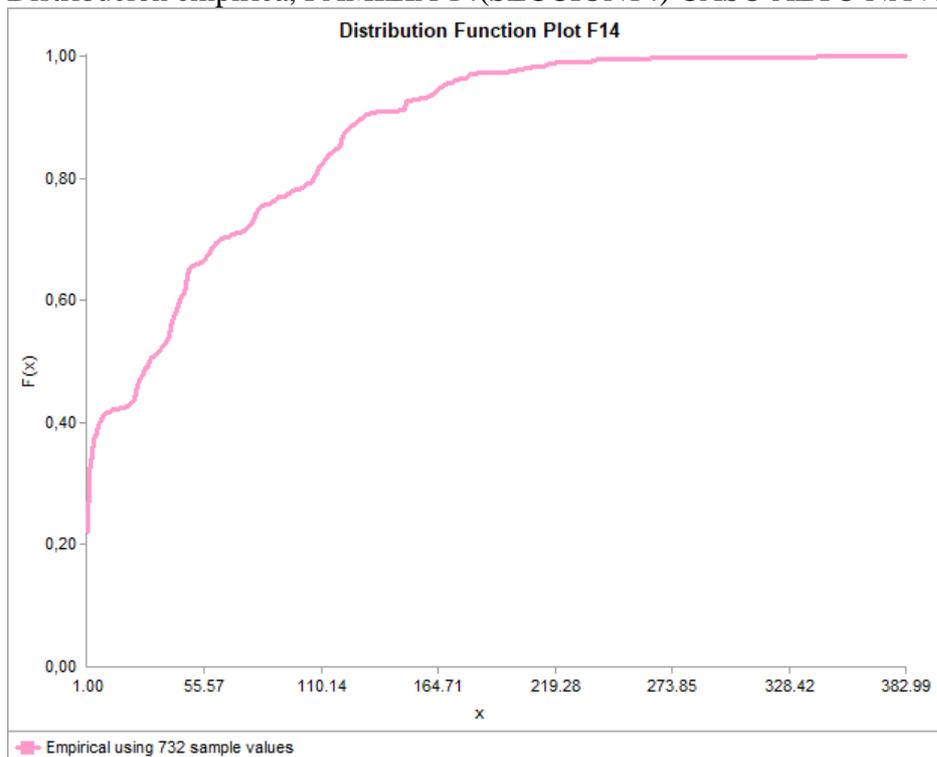
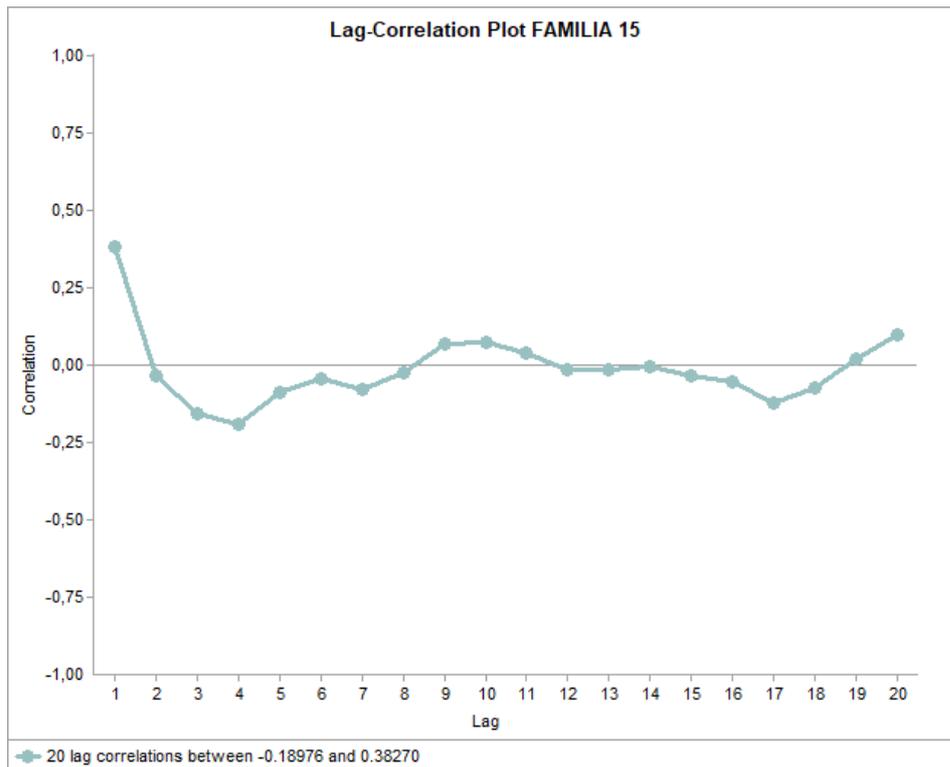


Gráfico de falta de correlación, independencia de datos , FAMILIA 15(SECCION15) CASO ALTO NAVIDAD



Distribución empírica, FAMILIA 5(SECCION15) CASO ALTO NAVIDAD

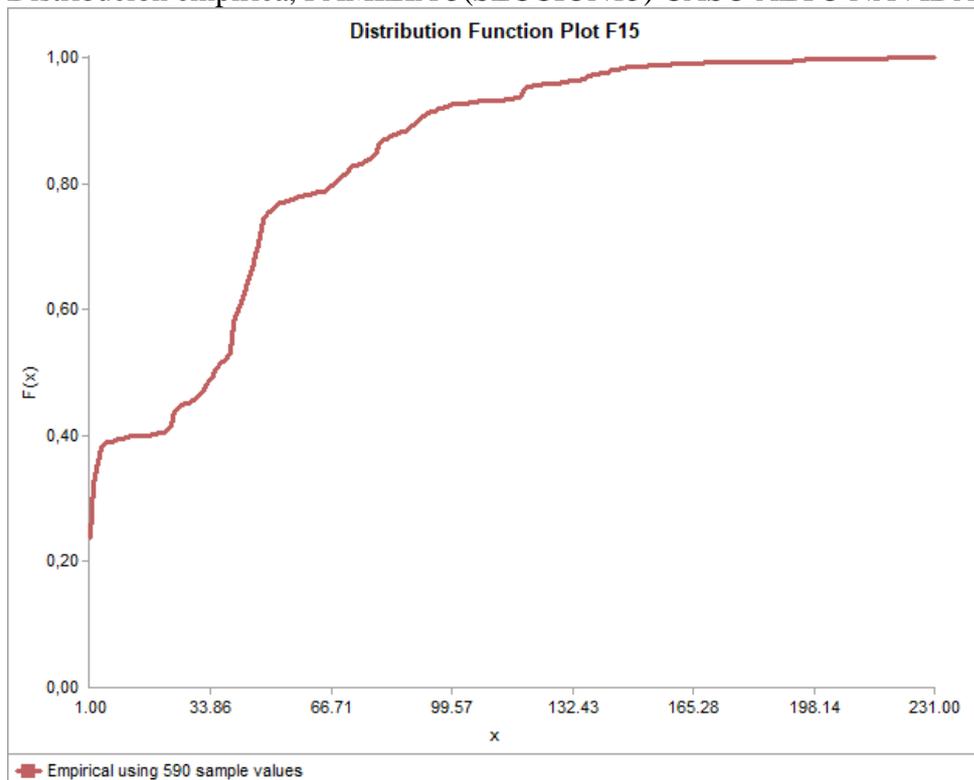
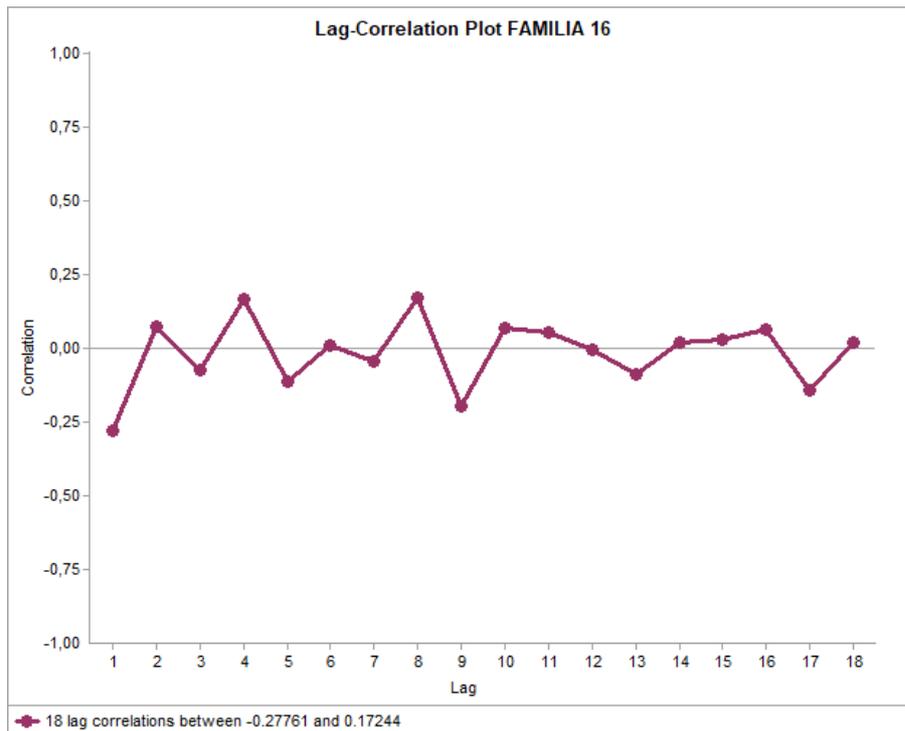


Gráfico de falta de correlación, independencia de datos, FAMILIA 16(SECCION16) CASO ALTO NAVIDAD



Distribución empírica, FAMILIA 16(SECCION16) CASO ALTO NAVIDAD

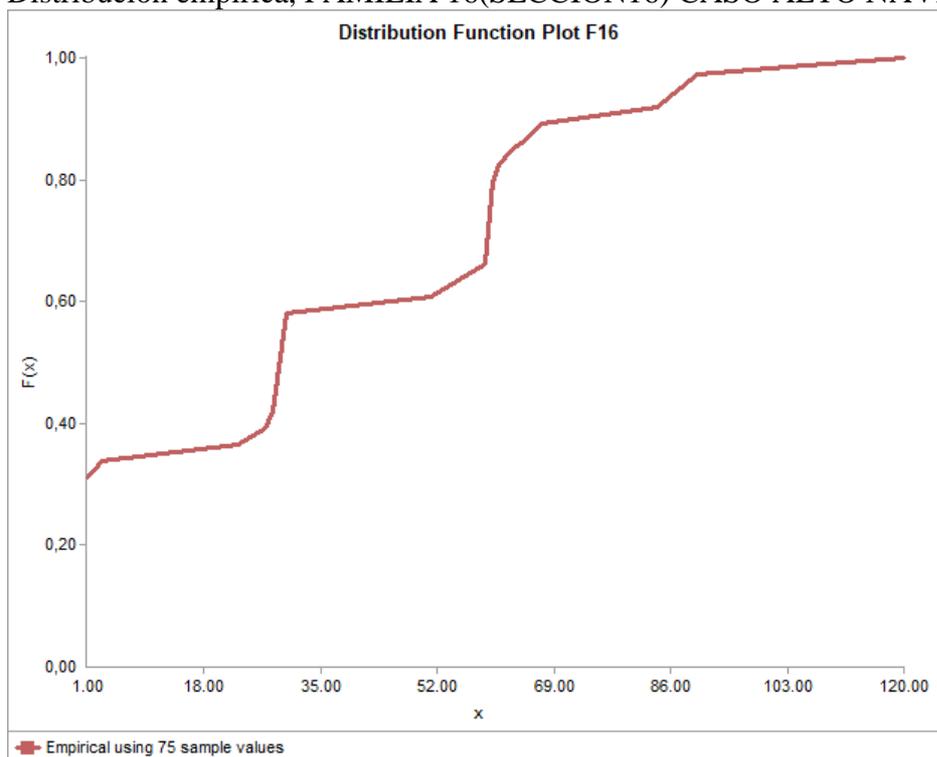
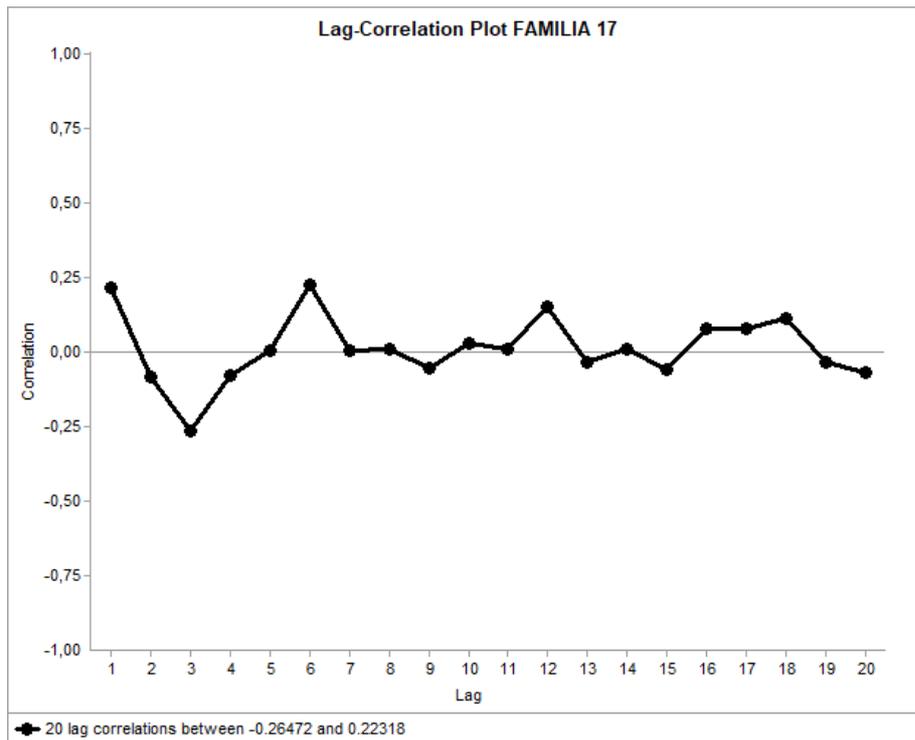


Gráfico de falta de correlación, independencia de datos, FAMILIA 17 (SECCION17) CASO ALTO NAVIDAD



Distribución empírica, FAMILIA 17(SECCION17) CASO ALTO NAVIDAD

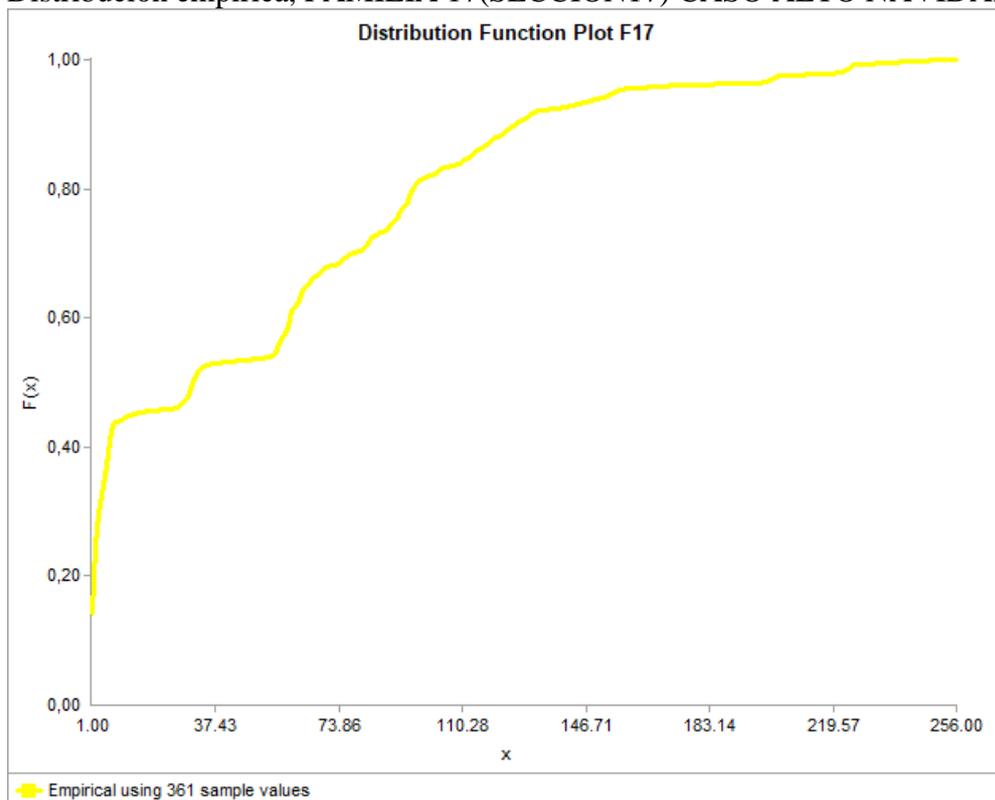
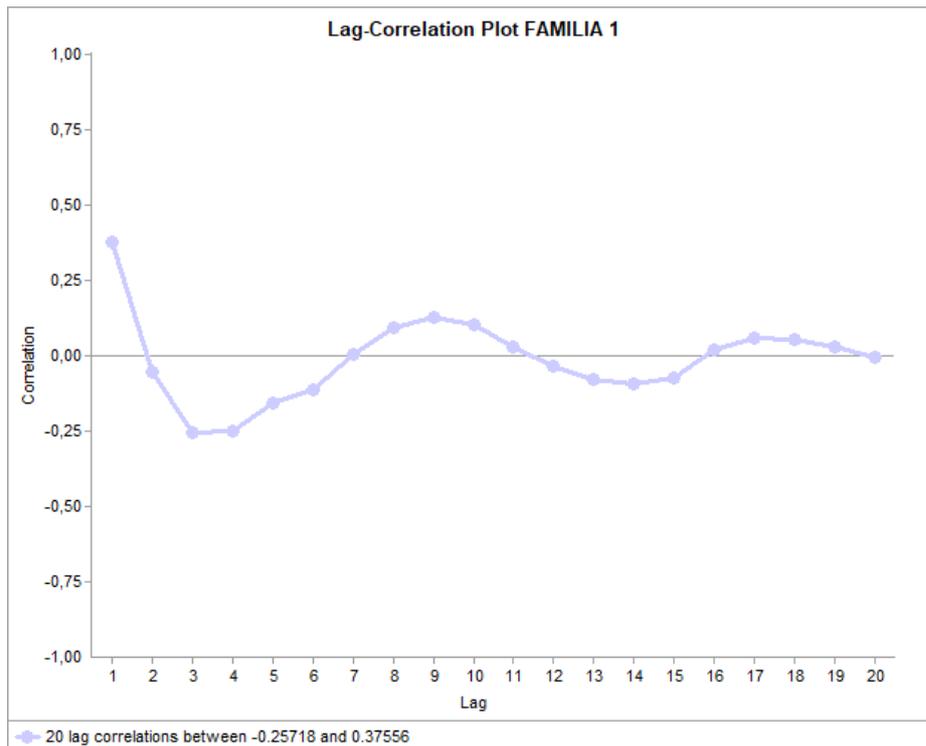


Gráfico de falta de correlación, independencia de datos , FAMILIA 1(SECCION1) CASO BASE



Distribución empírica, FAMILIA1(SECCION1) CASO BASE

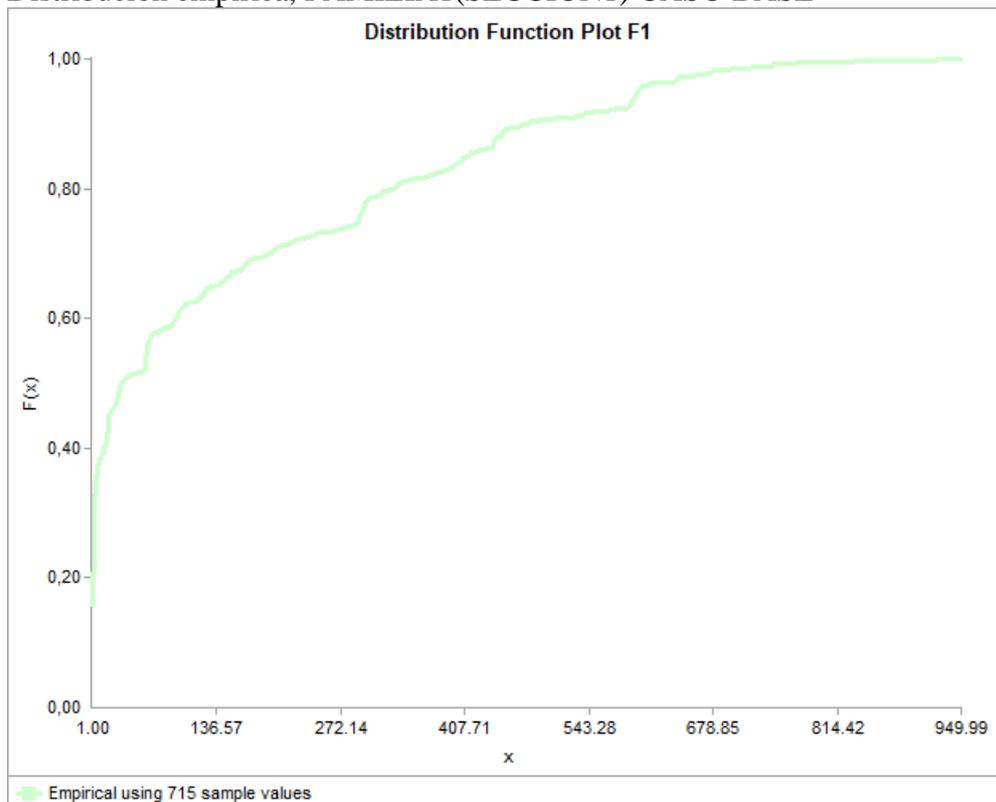
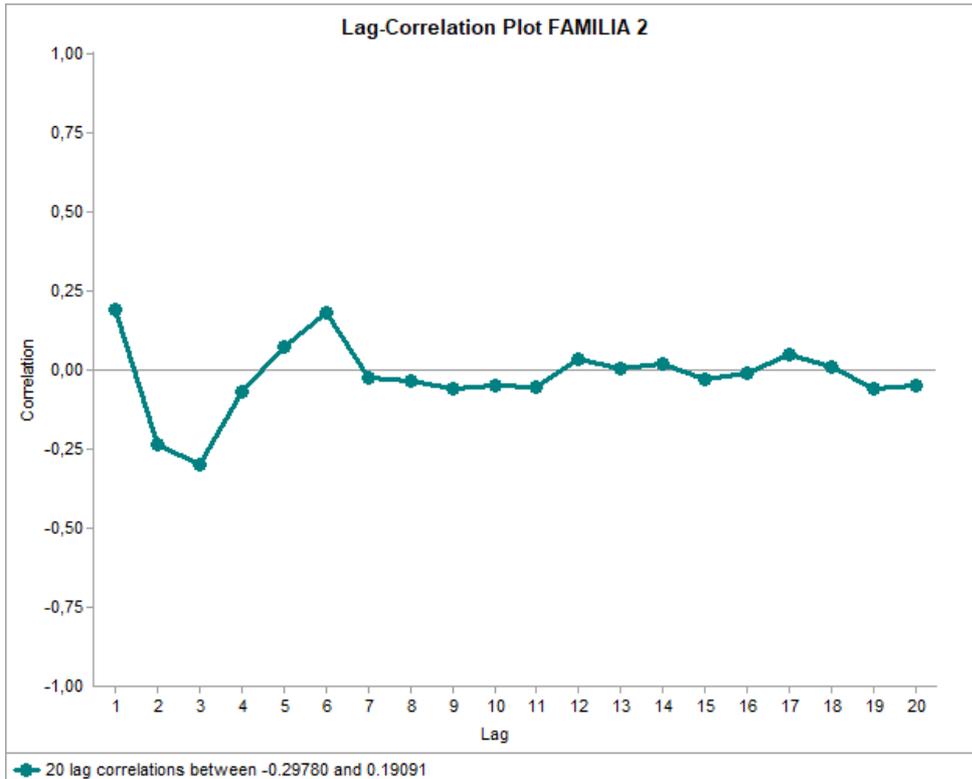


Gráfico de falta de correlación , independencia de datos , FAMILIA 2(SECCION2) CASO BASE



Distribución empírica, FAMILIA2(SECCION2) CASO BASE

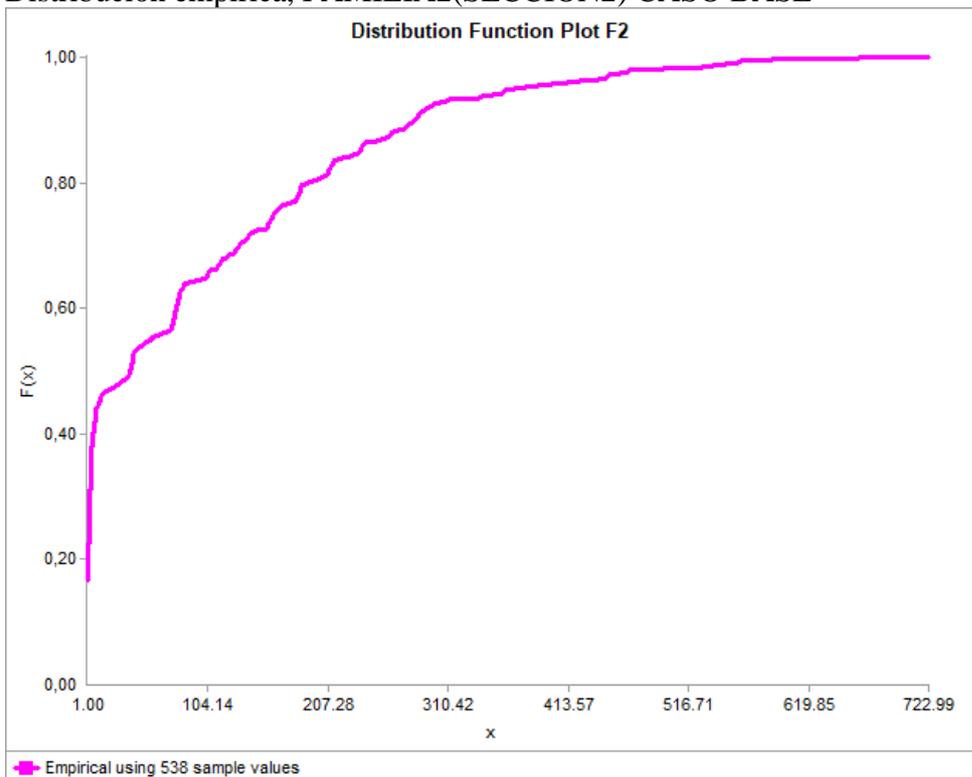
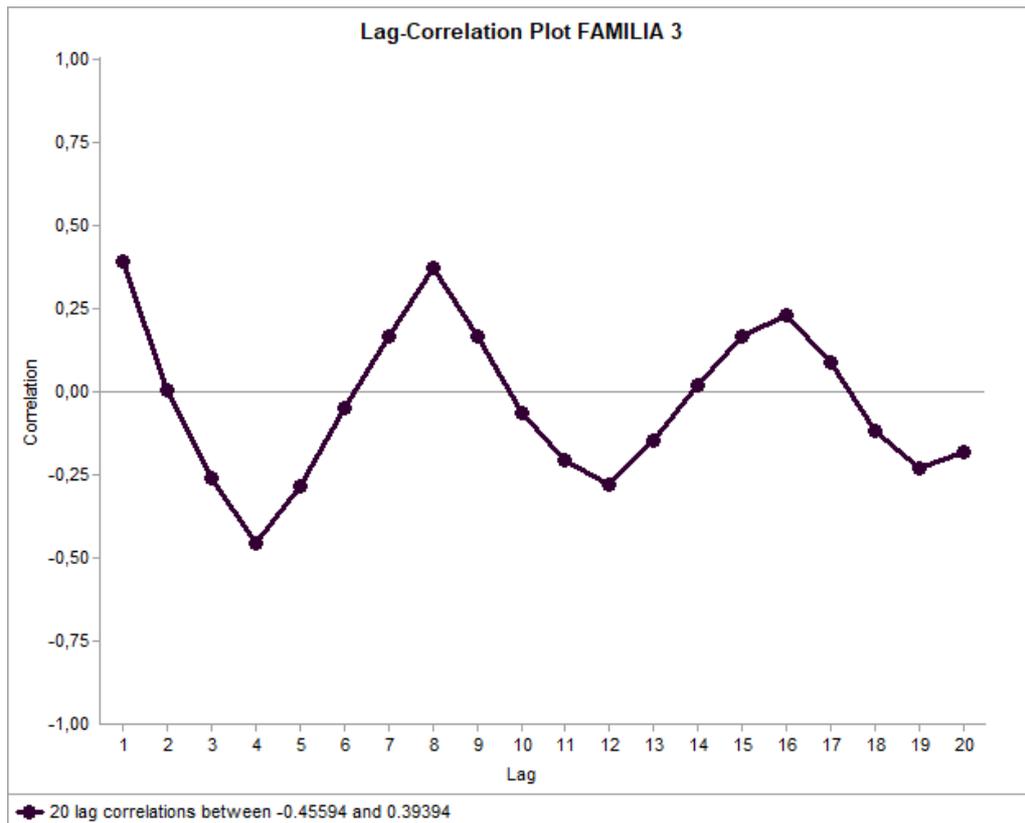


Gráfico de falta de correlación, independencia de datos , FAMILIA 3(SECCION3) CASO BASE



Distribución empírica, FAMILIA3(SECCION3) CASO BASE

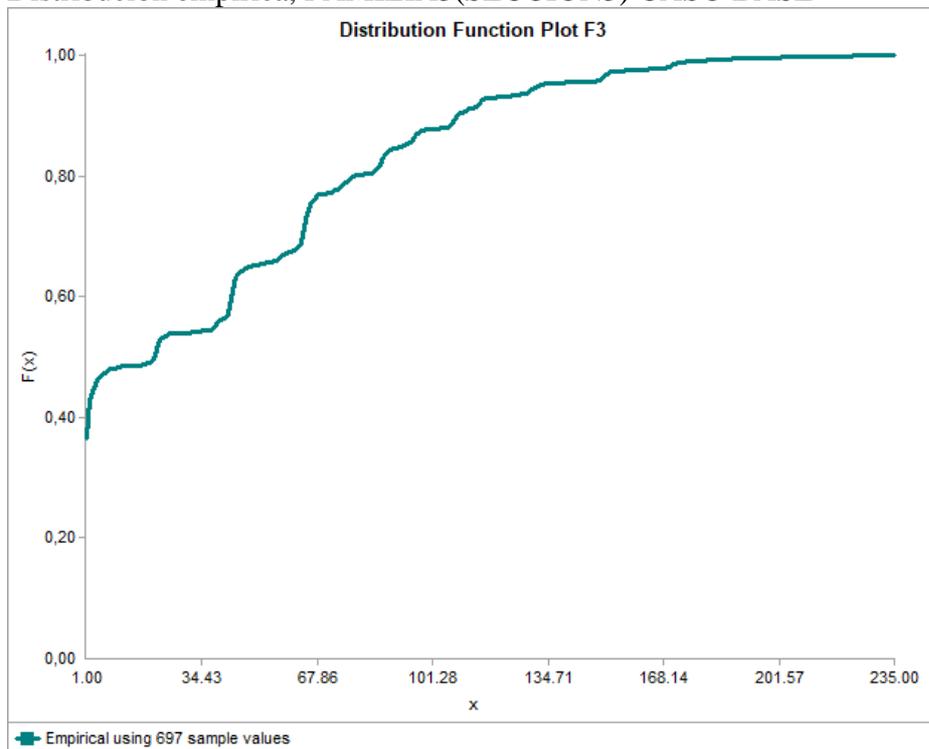
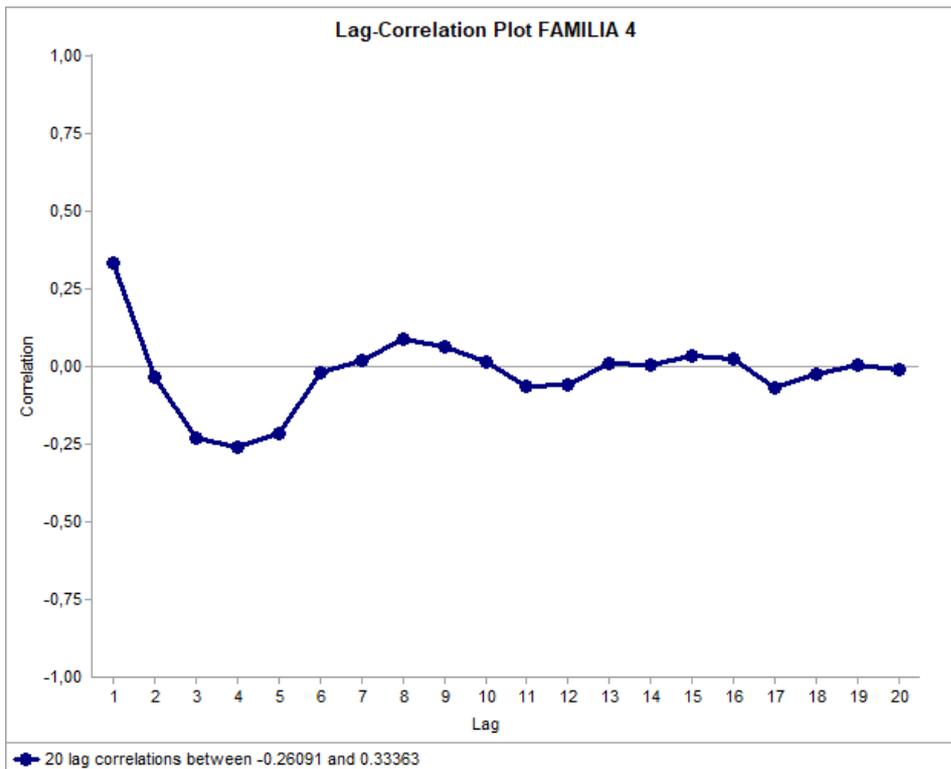


Gráfico de falta de correlación , independencia de datos , FAMILIA 4(SECCION4) CASO BASE



Distribución empírica, FAMILIA4(SECCION4) CASO BASE

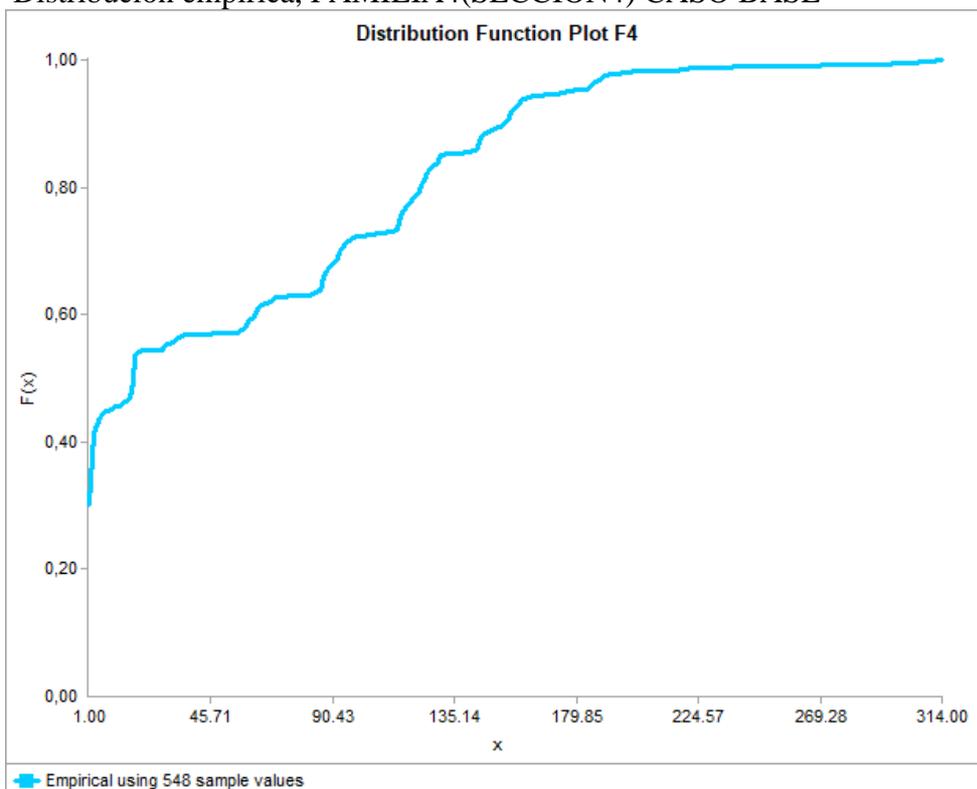
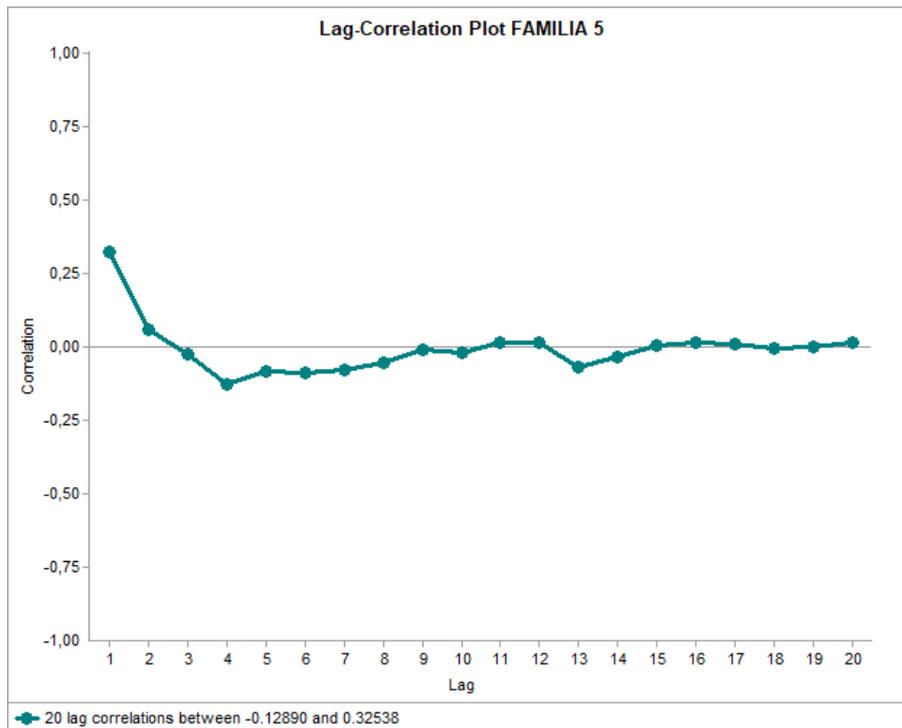


Gráfico de falta de correlación , independencia de datos , FAMILIA 5(SECCION5) CASO BASE



Distribución empírica, FAMILIA5(SECCION5) CASO BASE

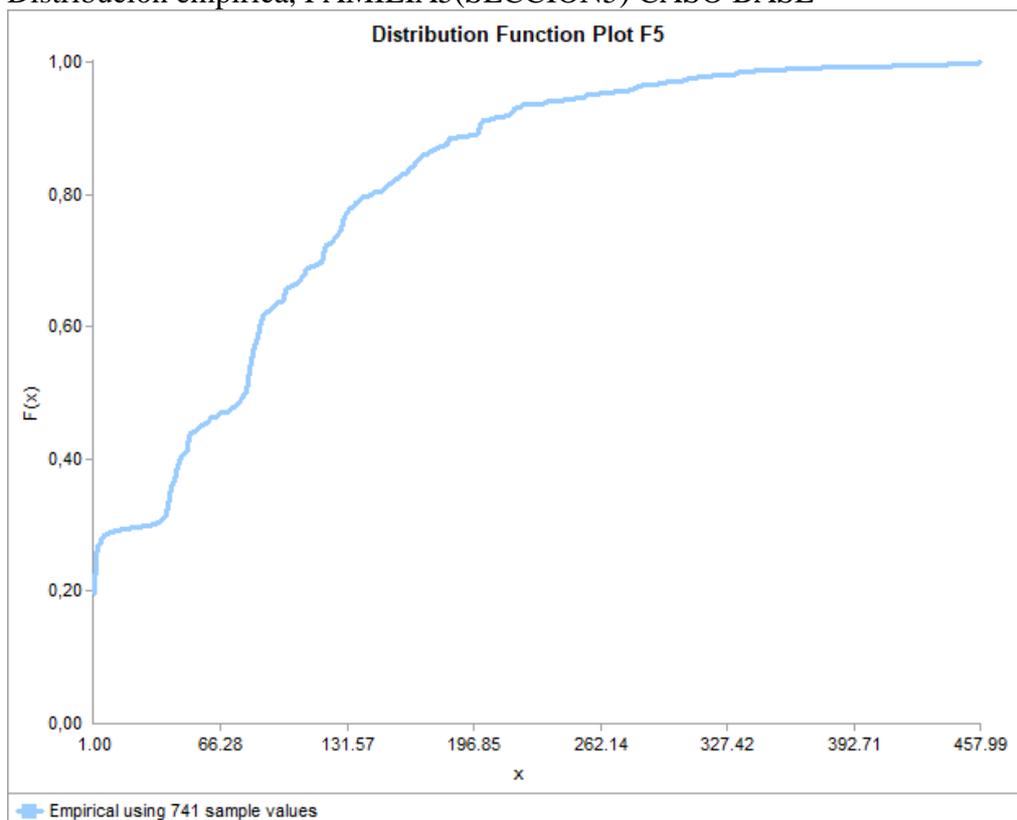
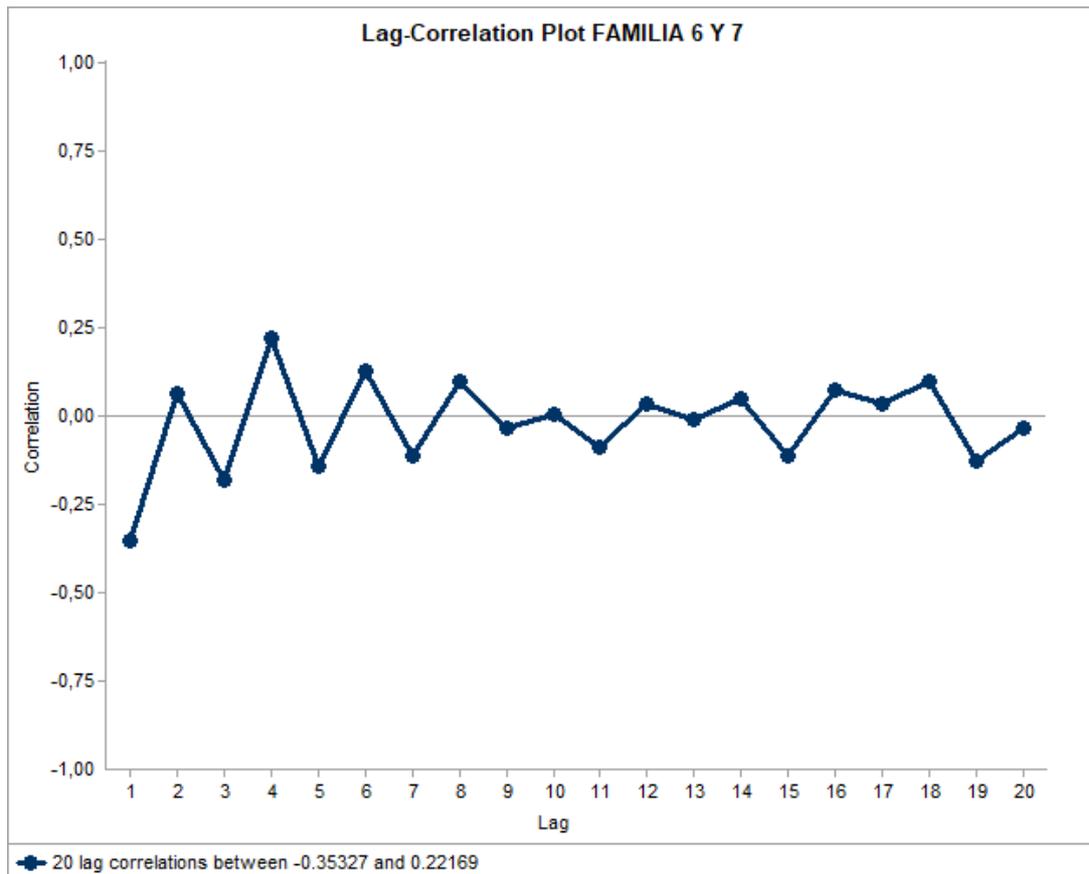


Gráfico de falta de correlación, independencia de datos, FAMILIA 6_7(SECCION6_7) CASO BASE



Distribución empírica, FAMILIA6_7(SECCION6_7) CASO BASE

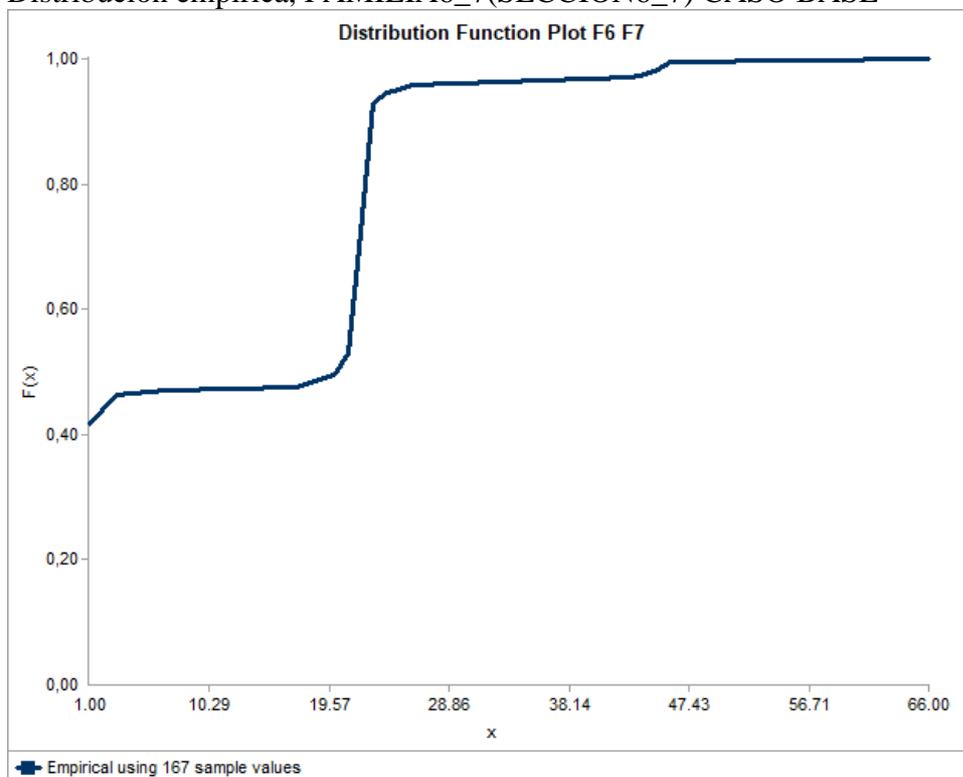
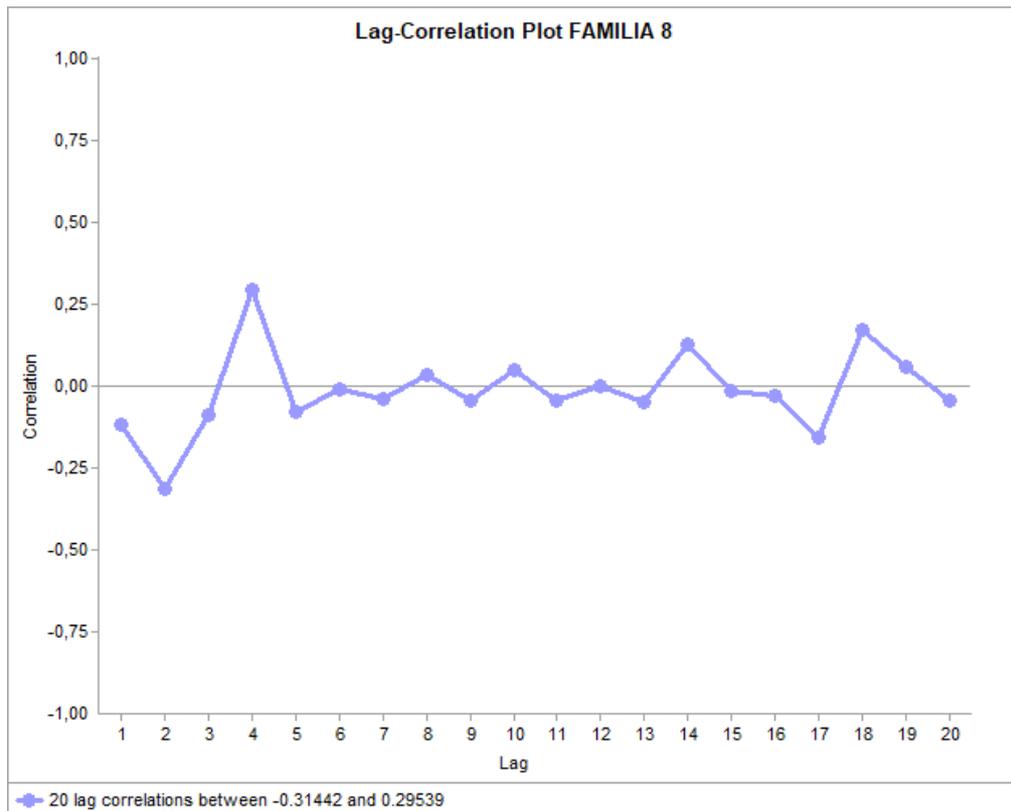


Gráfico de falta de correlación, independencia de datos, FAMILIA 8(SECCIO81) CASO BASE



Distribución empírica, FAMILIA8(SECCION8) CASO BASE

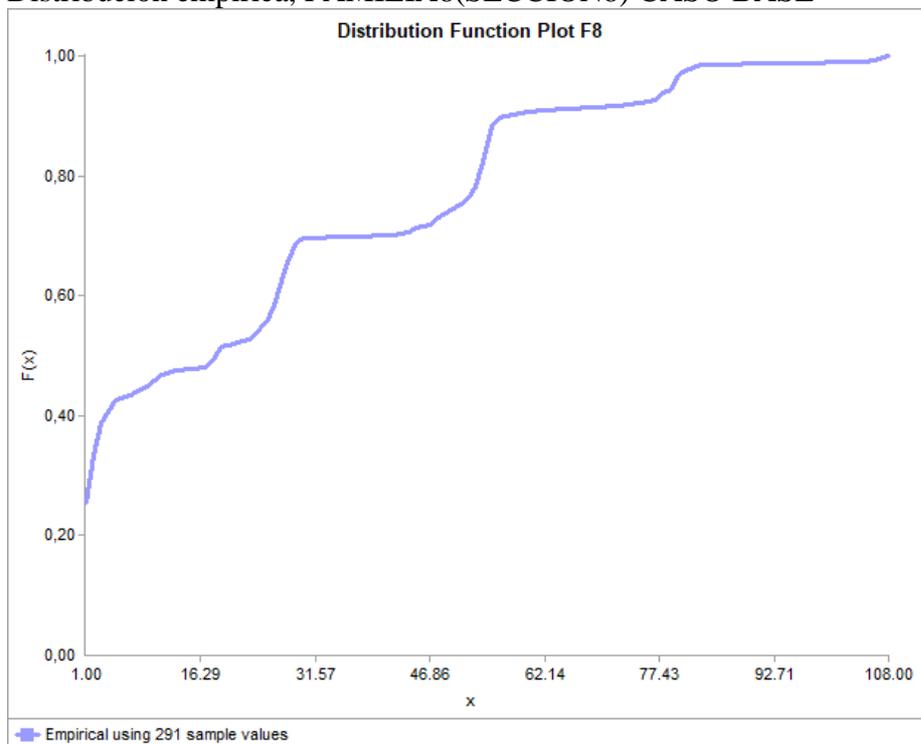
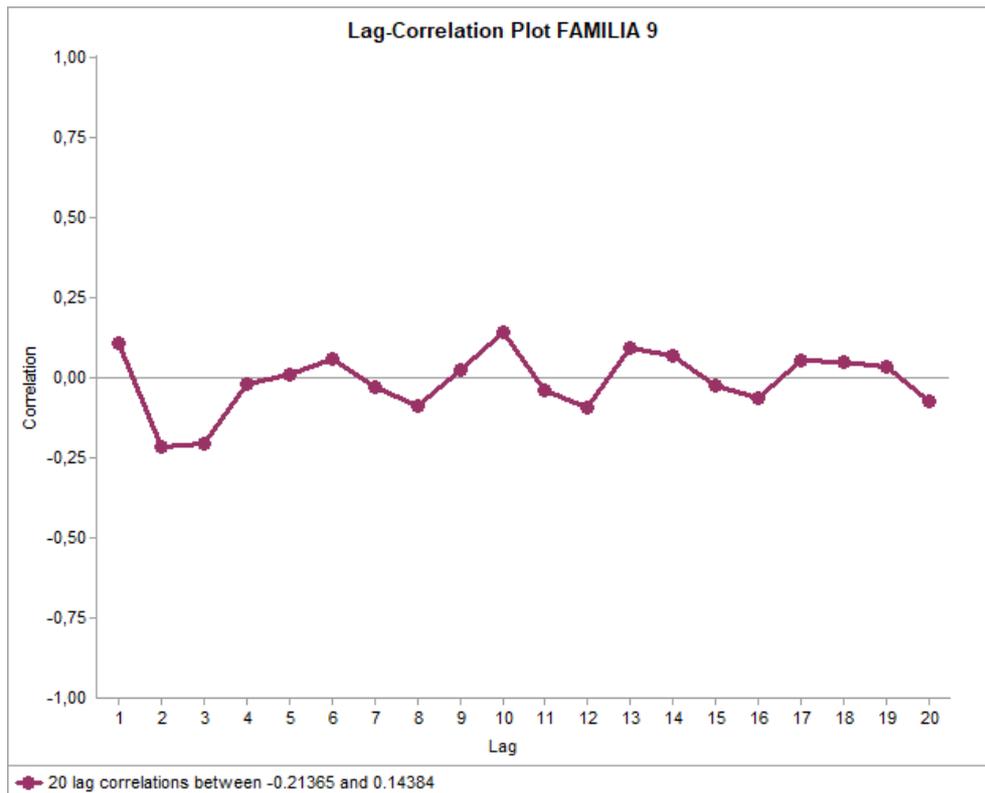


Gráfico de falta de correlación, independencia de datos , FAMILIA 9(SECCION9) CASO BASE



Distribución empírica, FAMILIA9(SECCION9) CASO BASE

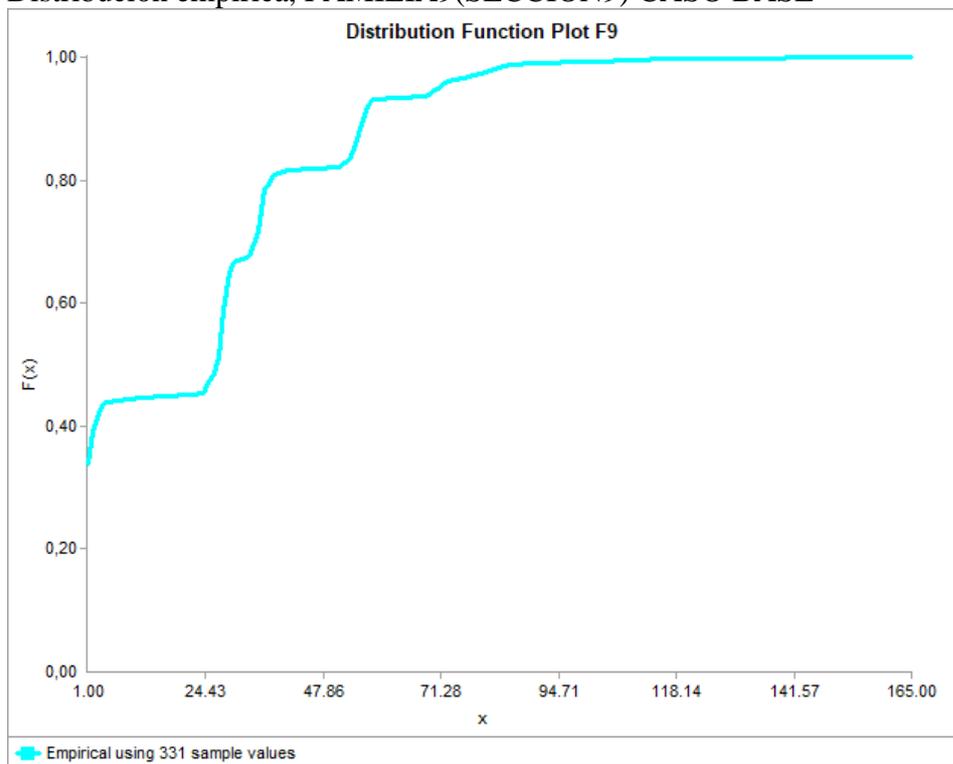
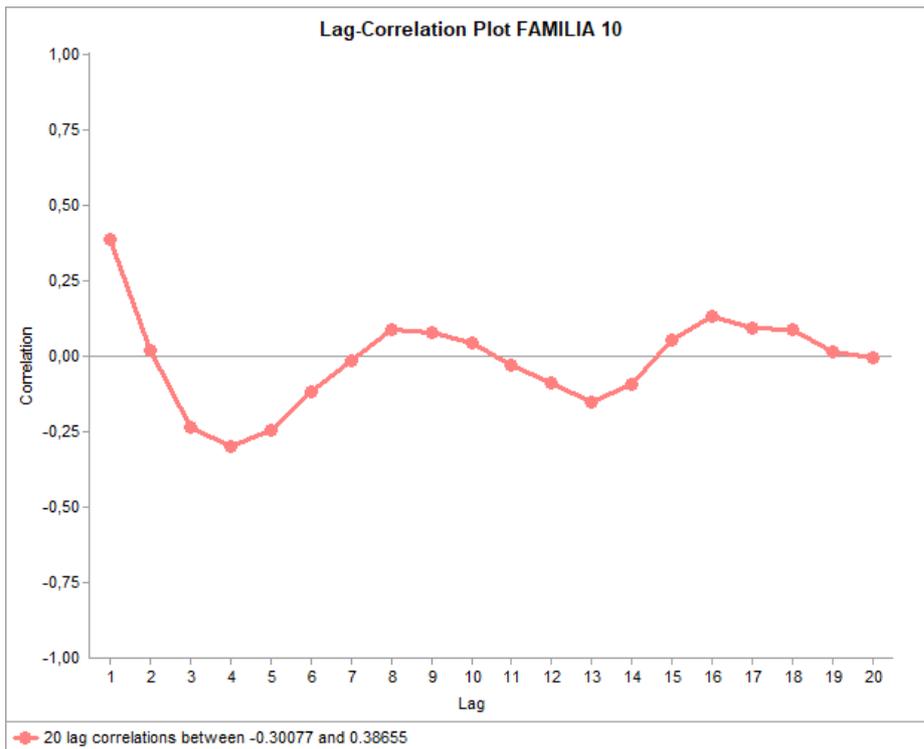
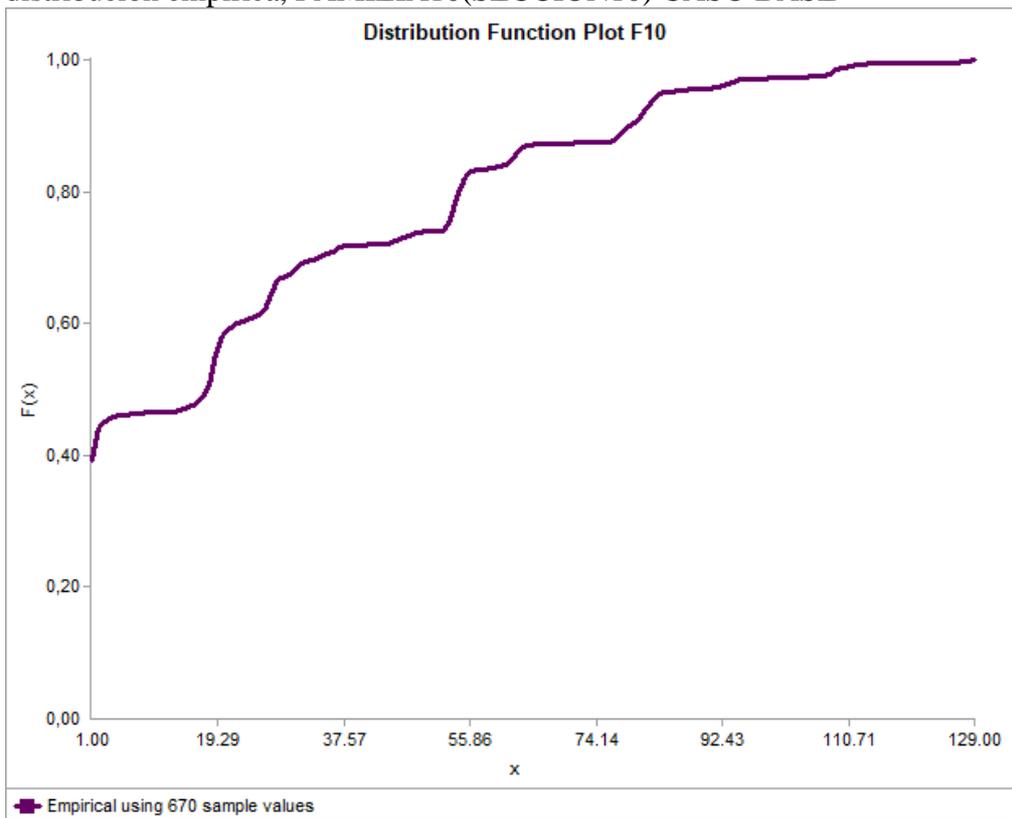


Gráfico de falta de correlación , independencia de datos , FAMILIA 10(SECCION10) CASO BASE



distribución empírica, FAMILIA10(SECCION10) CASO BASE



Distribuciones de salida de Gavetas por hora del día., involucrándola en pedidos

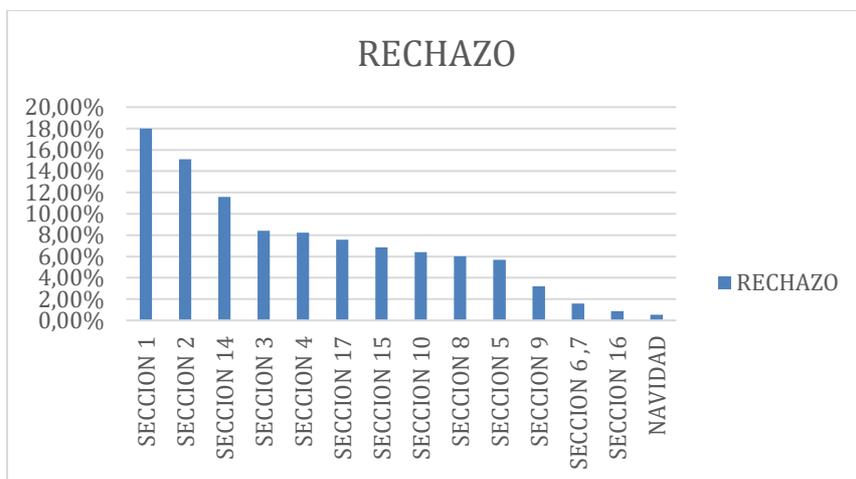
Distribucion pedidos por hora triangular			
	min	media	max
1	1	8	234
2	14	21	72
3	4	23	51
4	2	33	44
5	13	20	29
6	3	4	5
7	2	4	6
8	1	3	13
9	1	3	19
10	1	7	49
11	1	9	224
12	1	14	72
13	1	16	99
14	1	20	46
15	4	21	36
16	13	20	38
17	3	22	53
18	2	24	90
19	1	23	40
20	1	28	48
21	2	27	159
22	1	27	330
23	1	26	75
24	4	17	48

ANEXO E: GRÁFICAS RELACIONADAS AL RECHAZO DE PEDIDOS

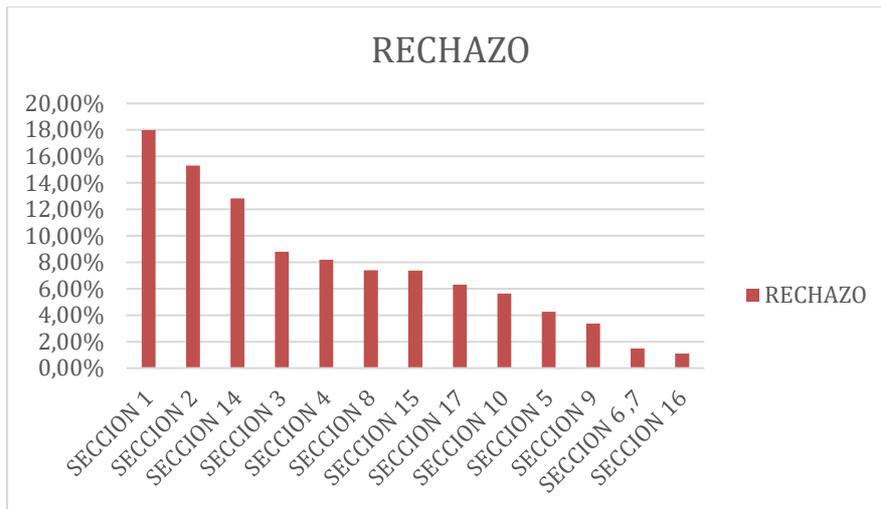
Tabla de Porcentaje de productos que son definidos como dañados en promedio en estos meses.

FAMILIAS	CORRECTO	% DE PRODUCTOS CON ERROR
NAVIDAD	99.94%	0.06%
SECCION 1	99.84%	0.16%
SECCION 10	99.60%	0.40%
SECCION 11-12	100.00%	0.00%
SECCION 13	100.00%	0.00%
SECCION 14	99.64%	0.36%
SECCION 15	99.68%	0.32%
SECCION 16	99.85%	0.15%
SECCION 17	99.60%	0.40%
SECCION 2	99.53%	0.47%
SECCION 3	99.76%	0.24%
SECCION 4	99.65%	0.35%
SECCION 5	99.71%	0.29%
SECCION 6,7	99.57%	0.43%
SECCION 8	98.96%	1.04%
SECCION 9	99.52%	0.48%

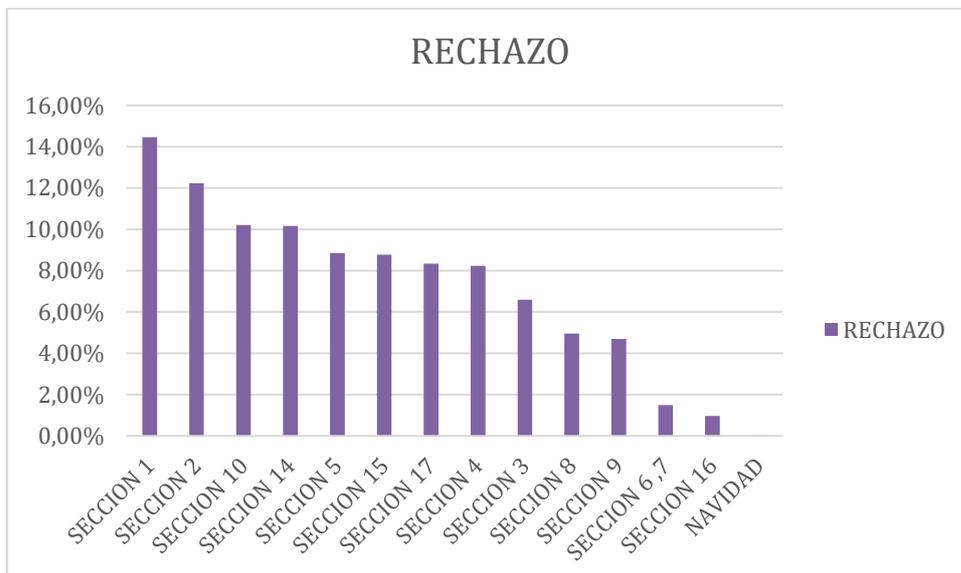
PORCENTAJE DE PANES RECHAZADOS DESDE INGRESO DE PRODUCCION PARA GRUPO ALTA DEMANDA NAVIDAD



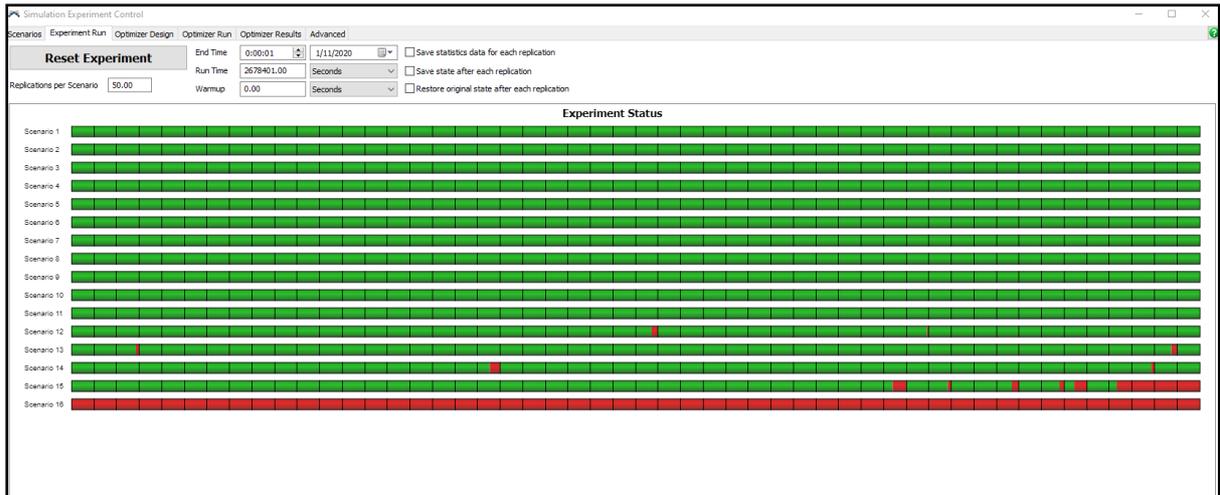
PORCENTAJE DE PANES RECHAZADOS DESDE INGRESO DE PRODUCCION PARA GRUPO DE DEMANDA BASE.



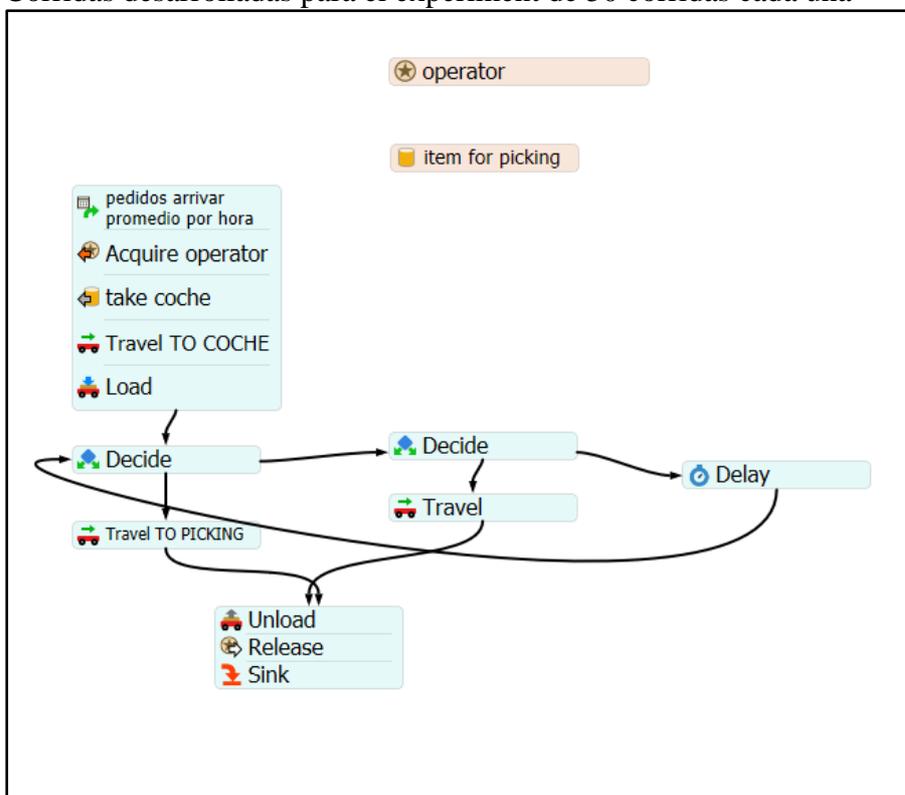
PORCENTAJE DE PANES RECHAZADOS DESDE INGRESO DE PRODUCCION PARA GRUPO DE DEMANDA MEDIA.



ANEXO F: GRÁFICAS RELACIONADAS A LA SIMULACIÓN Y SU LÓGICA



Corridas desarrolladas para el experiment de 50 corridas cada una



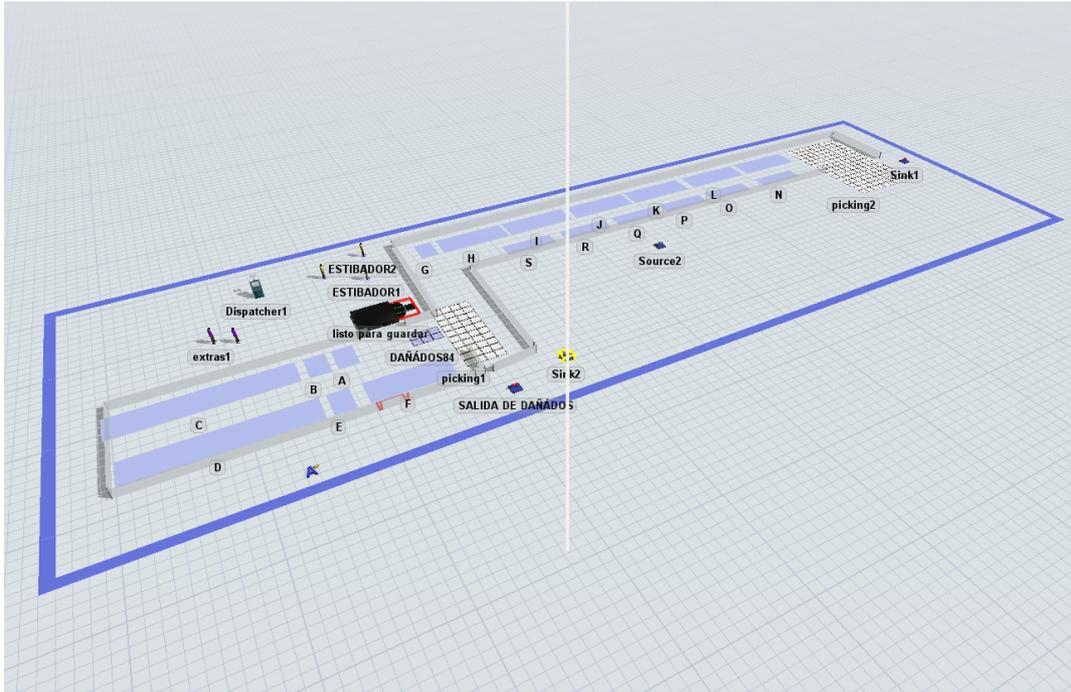
ProcessFlow para lógica de despachos

```

Q F1 - Split/Unpack Quantity
1 Object item = param(1);
2 Object current = ownerobject(c);
3 return /**/Model.parameters["QF1"].evaluate(getstream(current))/**direct*/;

```

Lógica agregada a cada producción y arribo source variando los diferentes parámetros establecidos con anterioridad.



Simulación 3D de la bodega.total