



Diseño y validación de un plan de muestreo de cítricos para detección de enfermedades en viveros del Valle del Cauca

**Kevin Steven García Chica
José Alejandro Vargas Franco**

Universidad del Valle
Facultad de Ingeniería, Escuela de Estadística
Santiago de Cali, Colombia
2019

Diseño y validación de un plan de muestreo de cítricos para detección de enfermedades en viveros del Valle del Cauca

Kevin Steven García Chica
José Alejandro Vargas Franco

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Estadístico

Director:
Ph.D. Jose Rafael Tovar Cuevas

Universidad del Valle
Facultad de Ingeniería, Escuela de Estadística
Santiago de Cali, Colombia
2019

Contenido

1	Introducción	2
1.1	Planteamiento del problema	2
1.2	Justificación	3
1.3	Objetivos	4
1.3.1	Objetivo General	4
1.3.2	Objetivos Específicos	4
1.4	Antecedentes	4
1.4.1	Antecedentes contextuales	5
1.4.2	Antecedentes estadísticos	6
2	Marco Teórico	9
2.1	Marco Conceptual	9
2.2	Marco Teórico Estadístico	12
3	Metodología	21
3.1	Visita viveros	21
3.2	Calculo de los tamaños de muestra para cada tamaño de lote (Metodología AoZ)	21
3.3	Categorización de lotes	22
3.4	Diseño del plan de muestreo en campo	22
3.5	Calculo de los indicadores de desempeño (AOQ, AOQL, ATI, OC)	22
3.6	Categorización de los viveristas según el nivel de riesgo	22
3.7	Validación de los planes por medio de simulación	23
	Bibliografía	24

1 Introducción

1.1. Planteamiento del problema

En Colombia existen 97.275 hectáreas sembradas de cítricos entre cultivos de naranja, limón, mandarina, toronja, tangelo, pomelo y lima, según datos del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, es el grupo de frutales con mayor área sembrada en el país después del plátano, y genera aproximadamente 413.374 empleos directos e indirectos.

Según la organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el territorio colombiano es una de las siete naciones que puede volverse despensa mundial de alimentos, gracias a que tiene suficiente tierra para ampliar la frontera agrícola sin necesidad de talar bosques. Por otro lado, éste goza de privilegios naturales como ser el tercer país con mayores recursos de agua y con diversidad climática. A pesar de las ventajas comparativas que ofrecen muchas regiones del país para el desarrollo citrícola, la falta de escalas comerciales significativas, la alta dispersión geográfica de la producción, la falta de gestión empresarial y de desarrollo tecnológico, hacen que la producción y comercialización de cítricos sean poco competitivos en el mercado nacional e internacional. Además, el país enfrenta problemas para incursionar en los mercados externos debido a que, entre otros factores, no se cuenta con las variedades ni calidades adecuadas requeridas, no hay continuidad en la oferta exportable e igualmente se deben superar problemas de empaque y presentaciones, así como barreras técnicas y sanitarias. Inclusive, existe poco grado de integración entre la industria y la agricultura, no hay material vegetal certificado, falta investigación y transferencia de tecnología (desarrollo de variedades y calidades) en la fase agrícola y agroindustrial, así como prevención de plagas y enfermedades.

Existen diversas enfermedades que afectan a los cítricos transmitidas principalmente por injertación, vectores (organismos o insectos), y uso de herramienta, las cuales son muy dañinas para este cultivo. Las enfermedades que se presentan con mayor frecuencia en Colombia y las más importantes son el virus de la tristeza, Huanglongbing(HLB), Leprosis y Exocortis; cada una de ellas posee características específicas en cuanto a su sintomatología y consecuencias, éstas debilitan el árbol, generando producciones escasas o con un valor inferior al establecido, y en casos avanzados pueden llegar a matar el árbol. Sin embargo, en el país no se ha implementado o desarrollado un sistema de certificación de material vegetal

que garantice la calidad de la propagación y la seguridad de la especie.

El problema principal es que la mayoría de estas enfermedades son asintomáticas en la etapa de vivero (edades tempranas de la planta) que tiene una duración de 12 a 36 meses, es decir, en esta etapa no se puede diferenciar a simple vista una planta infectada con una no infectada, por lo que se hace necesario aplicar una prueba serológica para saber el verdadero estado de la planta. Al sembrar una planta con alguna de estas infecciones desde el comienzo, se perdería mucho dinero invirtiendo en su mantenimiento y no se obtendrían las ganancias o productos esperados, por lo cual se necesita asegurar o garantizar que las plantas que van a ser sembradas y entregadas estén limpias de éstas enfermedades, logrando de esta manera la producción de material certificado. Dado que para evaluar las plantas se debe realizar la prueba serológica DAS-ELISA, y los lotes de cítricos por lo general tienen una población considerablemente grande, es imposible realizar un censo a todos los lotes que van a ser entregados por logística y economía. Por lo que a partir de esto surge la pregunta: ¿Es posible diseñar un plan de muestreo en viveros, que permita la detección temprana de éstas enfermedades en los cítricos?

1.2. Justificación

Como se mencionó anteriormente, los frutales de cítricos son las plantas más sembradas en Colombia después del plátano generando a su vez miles de empleos directos e indirectos, siendo un bien sumamente importante para la economía del país y en el caso en que este se vea afectado, así mismo se verá afectado todo el sector y la economía misma.

Con el propósito de evitar epidemias en toda la población de cítricos, nace la necesidad de regular la forma en que los viveros producen dichas plantas y certificar los lotes con el fin de que no se reproduzcan plantas infectadas, debido a que estas enfermedades como lo son el virus de la tristeza, HLB, Leprosis, Exocortis, entre otras, pueden ocasionar una disminución considerable en la producción, es decir, pueden generarse pérdidas de lotes enteros o que la calidad de las frutas esté por debajo de lo esperado.

En particular, desde el área de la estadística se han realizado muchos estudios con lotes de cítricos criados en viveros, pero estos se orientan a evaluar efectos que tienen ciertos tratamientos sobre las plantas, es decir, evaluar rendimiento, producción, crecimiento, entre otros factores, sin embargo, dichos estudios no se han centrado en validar si las muestras que toman son representativas del lote en general y si dichas muestras permiten verificar si las plantas presentan o no enfermedades. Además, la implementación de un buen plan de muestreo en estos viveros definirá si un lote puede llegar a catalogarse como “bueno.” si por el contrario hay que descartarlo como un “lote infectado”.

El hecho de poder discernir entre qué lotes saldrán a la venta y cuales no deberían, evitará a largo plazo posibles plagas de estas enfermedades, las cuales actualmente ya se están viendo propagadas en varias regiones del país. También es relevante conocer qué tipo de plantas se están entregando a los productores y finalmente cuál es la calidad de cultivo de cítricos que tenemos en nuestra región, esto permitirá no solo ser competentes sino también sostener una economía que gira alrededor de estos productos agrícolas.

Cabe resaltar que los planes de muestreo que finalmente se desarrollarán pueden llegar a ser de utilidad no solo para el sector de los cítricos, por lo que podría ampliarse y ser de utilidad para detectar enfermedades en plantas de vivero que compartan características similares, lo cual hace que esta labor no sea solo un aporte para un sector en particular si no para la agricultura en general.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Diseñar y validar empíricamente un plan de muestreo para aceptación y rechazo de lotes de cítricos en viveros del Valle del Cauca que permita estimar la cantidad de plantas infectadas en el lote.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Proponer y diseñar diferentes tipos de muestreo tipo aceptación/rechazo para lotes de cítricos en viveros del Valle del Cauca.
- Validar los diseños muestrales por medio de estudios de simulación.
- Estimar la cantidad de plantas infectadas en el lote.

1.4. Antecedentes

A continuación se muestran algunos antecedentes tanto contextuales como estadísticos. El primer grupo de investigaciones, son estudios sobre análisis de estas enfermedades en lotes de plantas, a pesar de que no tienen un análisis estadístico, han sido de gran ayuda, ya que se aplicaron diferentes tipos de muestreo para la evaluación de estas enfermedades, y nos permiten tener una idea de la distribución de las plantas en los lotes y porcentajes de infección para realizar nuestras correspondientes simulaciones. El segundo grupo de investigaciones,

corresponde a estudios fuera de nuestro contexto de interés, en los cuales se aplicó el muestreo de aceptación y rechazo en distintas problemáticas, a pesar de que todos estos estudios fueron en el área de la salud, son muy útiles ya que nos centramos en analizar el funcionamiento de esta herramienta estadística para posteriormente llevarla a nuestro contexto.

1.4.1. Antecedentes contextuales

Izquierdo (2010)

El objetivo de esta tesis fue el estudio de los distintos factores que determinan la epidemiología de PPV(plum pox virus) y CTV(Citrus tristeza virus) en vivero, con el fin de establecer posibles estrategias de control.

Para el primer virus (PPV) se dispuso de dos parcelas , una con alta incidencia y otra con baja incidencia del virus. La primera parcela(alta incidencia) se dividió en dos bloques estadísticos imaginarios o subparcelas, cada uno de los cuales estuvo formado por dos bloques de plantas. La subparcela 1 contaba con dos filas de plantas divididas en 4 grupos cada una, donde cada grupo contaba con un total de 40 plantas, por tanto se tuvo al final 8 grupos para un total de 320 plantas. A esta subparcela se le muestreo únicamente una de las filas. En la subparcela 2 se plantaron 6 grupos de plantas, donde cada grupo consistió en 2 filas de plantas, y cada fila se dividió a su vez en 4 grupos, teniendo un total de 1040 plantas. En esta subparcela el muestreo se realizó tomando las 4 primeras filas. La segunda parcela(baja incidencia) también se dividió en 2 subparcelas. La subparcela 1 estuvo constituida por 6 grupos de plantas, cada grupo formado por dos filas y cada fila formada por 6 bloques. El número total de plantas por bloque fue de 45, para un total de plantas de 3240. Esta subparcela se muestreo tomando al azar 5 plantas de cada uno de los 72 bloques.

Para el segundo virus (CTV) se dispuso de una parcela con alta incidencia. Esta también se dividió en dos subparcelas. La subparcela 1 estuvo formada por 5 filas, donde cada fila contenía 140 plantas para un total de 700 plantas. El muestreo para determinar la incidencia viral en la subparcela 1 se hizo tomando 2 hojas por planta.

Los resultados arrojados fueron que no se detectó PPV en los análisis realizados en las dos parcelas(alta y baja incidencia) y tampoco se detectó la presencia de CTV en la parcela(alta incidencia).

Pérez-Sierra et al. (2012)

El objetivo de este trabajo fue estudiar las enfermedades causadas por las especies de *Phytophthora*. Se exploraron 23 viveros de plantas ornamentales, 19 en Valencia, 2 en Castellón y 2 en Asturias muestreando solamente plantas sintomáticas, analizándose un total de 360 plantas pertenecientes a 56 géneros diferentes. muestreando solamente plantas sintomáticas, analizando un total de 360 plantas.

En general se observó una sintomatología muy variada predominando los síntomas de seca

parcial o total de la parte aérea y se detectó la presencia de *Phytophthora* en 16 de los viveros analizados (70 %), en 12 de Valencia, 2 de Castellón y 2 de Asturias.

Parke et al. (2014)

El objetivo fue describir la estructura de las comunidades de *Phytophthora* descubiertas durante un análisis de riesgo realizado en 4 viveros comerciales de Oregón durante un período de 4 años. Se tomaron muestras de los 4 viveros cada 2 meses durante 4 años, recolectando 5 plantas de cada uno de los cuatro géneros susceptibles a *Phytophthora* en cada fecha de muestreo. Se seleccionaron plantas sintomáticas para maximizar la probabilidad de que *Phytophthora* sería detectado. Si no se encontraron plantas sintomáticas, en su lugar se tomaron muestras de plantas asintomáticas.

De los 6811 cultivos aislados durante el estudio de 4 años, 1269(18.6 %) aislamientos fueron enviados para identificación molecular y 674 de ellos fueron identificados como aislamientos de *Phytophthora*.

Matos & Borbón (2008)

En este caso se quería estudiar el estado del virus de la tristeza de los cítricos en viveros y plantaciones comerciales, se tomaron muestras de 9 viveros de la república dominica y para cada uno de ellos se tomaron muestras del 1 % o 2 % del total de las plantas (1 % para lotes grandes y 2 % para lotes pequeños), al final se recolectaron alrededor de 700 muestras.

Los resultados para este estudio indicaron que la mayoría de las fuentes de yemas usadas por los viveristas estaban infectadas con el virus y se pudo apreciar cómo el virus de la tristeza ha aumentado en un 80 % desde los últimos 10 años.

Maradiaga (2018)

Para este trabajo se tomaron muestras de hojas que presentaban síntomas de HLB en 4 viveros de Masaya, luego cada mes en cada vivero se tomaron 20 plántulas de las plantas que presentaban síntomas en sus hojas, en total al final del muestreo cada vivero tiene 80 plántulas muestreadas.

Se analizó la enfermedad presente en las plantas y se llegó a la conclusión de que el porcentaje de infección por vivero era de 12.5 %, 25 %, 12.5 % y 25 % respectivamente.

1.4.2. Antecedentes estadísticos

Abad Corpa et al. (2004)

El objetivo fue evaluar el incumplimiento del mantenimiento de la cateterización venosa de un hospital mediante LQAS. Se realizó en las áreas quirúrgicas, hospitalización, UCI y urgencias de un hospital de Murcia durante el año 2002(3 cortes) evaluando 4 criterios. Se partió de un estándar de cumplimiento del 95 % y un umbral mínimo del 85 %, un error

a=5 % y un error b=20 %, se calculó un tamaño de muestra de 44 casos y el número mínimo de cumplimientos del protocolo de 39.

Durante el primer y segundo corte se obtuvieron 39 casos adecuados a protocolo, siendo de 42 en el tercer corte, por lo tanto, los resultados mostraron la inexistencia de un problema de calidad en el protocolo estudiado.

Tawfik et al. (2001)

El objetivo fue determinar las áreas de baja cobertura vacunal en cinco ciudades de Bangladesh. El estudio se realizó en dos sets o grupos. En el primero, el objetivo fue evaluar la cobertura de inmunización en las ciudades Chittangong, Khulna y Rajshahi; los lotes eran todos los barrios de la ciudad. Para este grupo se seleccionó un 85 % de niños totalmente inmunizados como umbral superior y 60 % como umbral inferior, un nivel de confianza del 80 % y se calculó el tamaño de muestra utilizando los métodos convencionales descritos **Lemeshow et al** encontrando que el tamaño de muestra por lote era de 13 niños, y el número de aceptación sería de 9 niños. En el segundo set, el umbral superior fue de 60 % e inferior de 40 %, un nivel de confianza del 95 % y se calculó el tamaño de muestra utilizando el manual de la OMS la técnica de calidad de lote encontrando que el tamaño de muestra era de 16 niños por lote.

Se observó que la cobertura vacunal con BCG(primer vacuna administrativa) fue aceptable en todos los lotes estudiados concluyendo que se tiene una alta cobertura vacunal con BCG.

Andreo et al. (2000)

Se utilizó un muestreo de aceptación de lotes para determinar la mejora en la adecuación de ingreso y estancia en medicina interna, esto se logró creando un umbral para el nivel de calidad aceptable usando como referencia la adecuación que se tenía antes de implementar el protocolo de mejora AEP. Se hicieron mediciones periódicas para evaluar el estado de la adecuación de ingreso y estancia y se detenía el protocolo si se detectaban cambios estructurales en el hospital, si esto ocurría se volvían a las primeras fases del protocolo.

La muestra es tomada cuando ingresa el paciente al hospital, luego se le hace un seguimiento durante todo el periodo que permanezca en el hospital y se le evalúan los indicadores de adecuación (% de ingreso adecuado y % de estancia adecuada), también se tienen en cuenta las causas de ingreso inadecuado y estancia inadecuada. El lote son los ingresos y estancias en el SMI y se realiza cada 6 meses.

Como resultados se obtuvieron para la primera evaluación un ingreso adecuado del 83.7 % y una estancia adecuada del 46.6 %. Para la segunda evaluación el ingreso adecuado había aumentado al 90.2 % y la estancia adecuada aumentó al 64.4 %. De esto se concluye que se había aumentado la calidad por medio del protocolo AEP y que el método LQAS resulta ser útil como método de evaluación.

Squeglia (2008)

En este libro, el autor realiza una comparación bastante completa entre el muestreo de aceptación y rechazo para atributos por el método MIL-STD-105E/ANSI Z1.4 y los planes de muestreo $c=0$, dichas comparaciones se realizan en términos de tamaños de muestra, curvas características de operación y del AOQ (Calidad Promedio de Salida) y AOQL (Máximo porcentaje de defectuosos esperado). Finalmente, se concluye que el método propuesto en comparación con el método MIL-STD-105E/ANSI Z1.4 protegen aún más al consumidor, siendo este método mas estricto a la hora de aceptar lotes con cantidades “grandes” de defectuosos. El método por otra parte “castiga” al productor, ya que si este no tiene una calidad cercana al 100 %, tiende a rechazar muchos más lotes.

2 Marco Teórico

En esta sección se presenta el marco teórico de la investigación. En la primera parte se muestra el marco conceptual, en el cual se incluyen definiciones importantes sobre los cítricos, su producción, sus especies y las respectivas enfermedades, además de las normas que actualmente se están utilizando en la producción y mantenimiento de estas especies, las cuales nos ayudarán a entender la importancia de este trabajo en la industria de los cítricos. En la segunda parte se presenta lo concerniente a los temas o definiciones estadísticas, como la teoría de los diferentes tipos de muestreo que se podrían aplicar en campo; el muestreo de aceptación/rechazo y sus diferentes distribuciones y parámetros a tener en cuenta, y finalmente, algunas medidas de desempeño que nos ayudarán a elegir entre diferentes planes de muestreo propuestos.

2.1. Marco Conceptual

Cítricos

Los cítricos designan las especies de grandes arbustos o arbolillos perennes (entre 5 y 15 m) cuyos frutos o frutas, poseen un alto contenido en vitamina C y ácido cítrico. Los cítricos pertenecen a la familia *Rutaceae* y se encuentran agrupados en la subfamilia *Aurantioideae*. Los géneros más importantes son: *Citrus*, *Poncirus* y *Fortunela*. Las especies del género *Citrus* son las más importantes desde el punto de vista agronómico y representan casi la totalidad de los cítricos cultivados.

Clasificación de los cítricos

El género *Citrus* ha sido clasificado por los taxónomos de diferentes maneras. Normalmente se utiliza la clasificación de *Swingle*. Las especies más conocidas y cultivadas son las siguientes:

- *Citrus aurantifolia* (Christon.) Swing. Conocido en el comercio internacional como lima mejicana, y en Colombia, como limón pajarito o de Castilla, aunque botánicamente es una lima ácida.
- *Citrus latifolia* Tanaka. Lima Tahití
- *Citrus aurantium* L. Naranja amargo

- *Citrus grandis* (L.) Osb. Pummelo
- *Citrus limon* (L.) Burm. Limón verdadero
- *Citrus paradisi* Macf. Toronja o pomelo
- *Citrus reticulata* Blanco. Mandarina
- *Citrus sinensis* (L.) Osb. Naranja dulce

Resolución ICA 4215, 2014

Es la norma “por medio de la cual se establecen los requisitos para el registro de los viveros y/o huertos básicos productores y/o comercializadores de semilla sexual y/o asexual (material vegetal de propagación) de cítricos y se dictan otras disposiciones”. En esta norma se dan un conjunto de definiciones agronómicas y se establecen los requisitos formales y de infraestructura que deben tener los viveros para registrarse ante el ICA. Se dictan distintas disposiciones para evitar una mala calidad o infecciones en las plantas, por ejemplo, las plantas deben estar en casa de malla a una altura de 15 cms del suelo para evitar la entrada de áfidos o pulgones que esparcen las diversas enfermedades.

De aquí se desprenden diferentes conceptos importantes para el desarrollo de este trabajo:

- Vivero: Área de terreno delimitada para propagar semillas de cítricos [Resolución ICA 4215, 2014]

Según la FAO, 1990:

- Lote: Conjunto de unidades de un solo producto básico, identificable por su composición homogénea, origen, etc., que forma parte de un envío.
- Plaga: Cualquier especie, raza o biotipo vegetal o animal o agente patógeno dañino para las plantas o productos vegetales.
- Prueba: Examen oficial, no visual, para determinar la presencia de plagas o para identificar tales plagas.

Enfermedades en los cítricos

En Colombia los cultivos de cítricos pueden ser atacados por varias especies de insectos y ácaros dañinos, que afectan el desarrollo de los árboles, limitan su producción y disminuyen la calidad de la fruta. Los costos de las prácticas utilizadas para controlar y evitar los daños causados por plagas, influyen en la rentabilidad económica de las explotaciones citrícolas comerciales. Algunas de las enfermedades más frecuentes y de mayor cuidado son:

- Virus de la tristeza: El virus de la tristeza de los cítricos (Citrus tristeza virus, CTV) causa una de las enfermedades más dañinas de este cultivo. Se refiere al decaimiento observado en muchas especies de cítricos injertados sobre patrones de Citrus aurantium (naranja amarga) o de Citrus limon (limonero); algunas cepas del CTV inducen otros síndromes, como acanaladuras o picado del tallo, enanismo, menor productividad y baja calidad del fruto en muchos cultivares comerciales, incluso en ejemplares injertados sobre patrones tolerantes a la tristeza. *PD 15: Virus de la tristeza de los cítricos* (2016)
- Huanglongbing (HLB): Es una de las enfermedades más peligrosas y temidas por las pérdidas productivas y económicas que ocasiona. Las plantas jóvenes afectadas no entran nunca en producción y las plantas adultas dejarán de producir pocos años después de que se manifiesta la enfermedad. En las plantas de vivero infectadas, los síntomas pueden ser esporádicos e inconsistentes aunque un porcentaje alto de plantas se encuentren contaminadas. Faggiani (2009)
- Leprosis: Enfermedad viral que se transmite por ácaros del género Brevipalpus spp, es una enfermedad en los naranjos, mandarinas y otros cítricos. Primero salen manchas amarillas en las hojas y frutos. En los tallos las manchas son de color café con grietas, el árbol va muriendo gradualmente y el daño más importante es la caída prematura de los frutos, a su vez las manchas en los frutos bajan el valor de los mismos. *Leprosis de los Cítricos "PRC" (Citrus leprosis virus)* (n.d.)
- Exocortis: Es una enfermedad producida por el viroide de la exocortis de los cítricos (CEVd), un agente patógeno mucho más pequeño que los virus. Se caracteriza por la aparición de escamas y grietas verticales en la corteza, manchas amarillas en los brotes tiernos y enanismo, en especies sensibles. Durán-Vila (n.d.)
- Psorosis: Es una de las enfermedades virales más antiguas descritas en los cítricos. Está asociada con el descamamiento típico de la corteza en troncos y ramas de naranja dulce (Citrus sinensis (L.) Osb), mandarina (Citrus deliciosa Ten) y toronja (Citrus paradisi Macf). La psorosis fue la primera enfermedad de los cítricos a la que se atribuyó una etiología viral. Recientemente, se ha caracterizado a su agente causal, como un nuevo virus: citrus psorosis virus (CPsV) ubicado en un nuevo género Ophiovirus (Milne et al, 2000). **CITAR PDF**
- Cachexia - Xyloporosis: El agente causal de la Cachexia, es un viroide que ha sido caracterizado como una variante del viroide del enanismo de lúpulo (HSVd). La enfermedad puede tener efecto letal y se caracteriza en las especies sensibles por el debilitamiento general del árbol, clorosis, enanismo, así como la aparición de síntomas de acanaladuras en la cara cambial de la madera y proyecciones en la corteza interna con fuerte impregnación de goma. La Cachexia se transmite de forma eficiente por medio

de la propagación de yemas no certificadas, así como de forma mecánica durante las operaciones de poda y recolección. **CITAR FAV INTERNET**

2.2. Marco Teórico Estadístico

Muestreo Estadístico

Es el proceso mediante el cual se extrae un conjunto de unidades o individuos de una población con el objetivo de analizarlos e intentar caracterizar el total de la población. Existen dos tipos de muestreo desde el punto de vista estadístico, el muestreo probabilístico y el muestreo no probabilístico.

Muestreo probabilístico

Todos los elementos de la población deben tener la misma probabilidad de ser seleccionados. Dentro de este tipo de muestreo los métodos mas conocidos son; el muestreo aleatorio simple (MAS), muestreo sistemático, muestreo estratificado, muestreo secuencial y muestreo por conglomerados.

- Muestreo Aleatorio Simple (MAS): Se trata de un procedimiento de selección con probabilidades iguales que consiste en obtener la muestra unidad a unidad de forma aleatoria. Pérez (2010)
- Muestreo sistemático: El muestreo sistemático consiste en retirar una muestra de las unidades del lote a intervalos fijos y predeterminados. Sin embargo, la primera selección debe hacerse al azar en el lote. Dos ventajas de este método son que una maquinaria podrá automatizar el proceso de muestreo y que sólo se requiere utilizar un proceso aleatorio para seleccionar la primera unidad. *NIMF n. 31 metodologías para muestreo de envíos* (2008)
- Muestreo estratificado: El muestreo estratificado consiste en separar el lote en subdivisiones distintas (es decir, en estratos) para luego extraer unidades de muestra de todas y cada una de las subdivisiones. Dentro de cada subdivisión, las unidades de muestra se retiran utilizando un método particular (sistemático o aleatorio). En ciertos casos, se podrán tomar distintos números de unidades muestrales de cada subdivisión; por ejemplo, el número de muestras podrá ser proporcional al tamaño de la subdivisión o podrá basarse en conocimiento previo sobre la infestación de las subdivisiones. *NIMF n. 31 metodologías para muestreo de envíos* (2008)
- Muestreo secuencial: El muestreo secuencial consiste en retirar una serie de unidades de muestra utilizando uno de los métodos anteriores. Después de retirar cada muestra (o grupo), se acumulan los datos y se comparan con rangos predeterminados, para

decidir si se aceptará o rechazará el lote, o si se continuará con el muestreo. *NIMF n. 31 metodologías para muestreo de envíos* (2008)

- Muestreo por conglomerados: Consiste en seleccionar grupos de unidades sobre la base de un tamaño de conglomerado definido previamente (por ejemplo, cajas de fruta, ramos de flores) para conformar el total de unidades muestrales requeridas del lote. *NIMF n. 31 metodologías para muestreo de envíos* (2008)

Muestreo no probabilístico

No se conoce la probabilidad que tienen los diferentes elementos de la población de estudio de ser seleccionados. Dentro de este tipo de muestreo tenemos el muestreo por conveniencia, el muestreo arbitrario y el muestreo selectivo o dirigido.

- Muestreo de conveniencia: El muestreo de conveniencia consiste en seleccionar las unidades más convenientes (por ejemplo, las más accesibles, económicas, rápidas) del lote, sin seleccionar las unidades en forma aleatoria o sistemática. *NIMF n. 31 metodologías para muestreo de envíos* (2008)
- Muestreo arbitrario: El muestreo arbitrario consiste en seleccionar unidades arbitrarias sin utilizar un verdadero proceso de aleatoriedad, lo cual suele parecer aleatorio debido a que el inspector no está consciente de ningún sesgo en la selección. Sin embargo, puede existir un sesgo inconsciente, de modo que se desconoce en qué medida la muestra es representativa del lote. *NIMF n. 31 metodologías para muestreo de envíos* (2008)
- Muestreo selectivo o dirigido: El muestreo selectivo consiste en seleccionar deliberadamente muestras de las partes del lote que más probabilidad tienen de estar infestadas o en seleccionar unidades que están obviamente infestadas, para aumentar la probabilidad de detectar una plaga reglamentada específica. Este método podrá depender de inspectores que tengan experiencia con el producto y que conozcan bien la biología de la plaga. *NIMF n. 31 metodologías para muestreo de envíos* (2008)

Muestreo de aceptación

Un muestreo de aceptación consiste en evaluar un colectivo homogéneo a través de una muestra aleatoria, para decidir la aceptación o el rechazo del colectivo. Por tanto es necesario tener presente en todo momento que, en un muestreo, lo que se está evaluando es toda la población y no sólo la muestra, por lo que la cuestión es si una población, con las características inferidas a partir de los datos de la muestra observada, es aceptable o no. Rojas (2006)

El procedimiento estadístico del muestreo de aceptación se basa en la metodología de la prueba de hipótesis. Las hipótesis nula y alternativa son las siguientes:

$$H_0 : \text{La calidad del lote es buena}$$

$$H_a : \text{La calidad del lote es mala}$$

El muestreo de aceptación puede dividirse en dos tipos fundamentales dependiendo de la característica observada:

- Muestreo por atributos: cuando en la inspección los artículos se dividen en defectuosos y en no defectuosos, según cumplan con un conjunto de requerimientos.
- Muestreo por variables: cuando en la inspección se mide una variable cuantitativa: longitudes, pesos, etc., y se evalúa la distancia entre dicha cantidad y la requerida en las especificaciones.

En el muestreo de aceptación se utilizan principalmente tres distribuciones de probabilidad dependiendo del tamaño del lote (grande o pequeño), las distribuciones utilizadas son la Hipergeométrica, la Poisson y la Binomial.

- Distribución hipergeométrica: La distribución hipergeométrica es fundamental para gran parte del muestreo de aceptación. Es aplicable cuando se muestrea una característica de atributo de un lote finito o pequeño sin reemplazo. Su función de probabilidad es:

$$f(x) = \frac{\binom{N_p}{x} \binom{N_q}{n-x}}{\binom{N}{n}}$$

Donde;

N es el tamaño del lote, $N > 0$

p es la proporción defectuosa en el lote, $p = 0, 1/N, 2/N, \dots, 1$

q es la proporción efectiva en el lote, $q = 1 - p$

n es el tamaño de la muestra, $n = 1, 2, \dots, N$

x es el número de ocurrencias, $x = 0, 1, 2, \dots, n$

- Distribución binomial: Es la distribución más utilizada en el muestreo de aceptación. Complementa la hipergeométrica en el sentido de que se emplea al muestrear una característica de atributo de un lote (o proceso) infinito o grande, o un lote finito cuando se toma una muestra con reemplazo. Su función de probabilidad es:

$$f(x) = \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x} = \binom{n}{x} p^x q^{n-x}$$

Donde;

n es el tamaño de la muestra, $n > 0$

p es la proporción defectuosa, $0 \leq p \leq 1$

q es la proporción efectiva, $q = 1 - p$
 x es el número de ocurrencias, $x = 0, 1, 2, \dots, n$

- Distribución poisson: La distribución de Poisson se utiliza para calcular las características de los planes de muestreo, que especifican un número dado de defectos por unidad, como el número de remaches defectuosos en el ala de un avión o el número de piedras permitido en un pedazo de vidrio de un tamaño determinado. El parámetro en la distribución de Poisson es simplemente μ . Su función de probabilidad es:

$$f(x) = \frac{\mu^x e^{-\mu}}{x!}$$

Donde;
 μ es el número medio de defectos, $\mu > 0$
 x es el número de ocurrencias, $x = 0, 1, 2, \dots$

Parámetros del muestreo de aceptación

En el muestreo de aceptación de lotes, se deben determinar ciertos parámetros que nos permitan encontrar el tamaño de muestra y el número de aceptación adecuado y decidir si rechazamos o aceptamos el lote a partir de los datos recogidos en la muestra, esos parámetros son:

- AQL (Acceptable Quality Level): El nivel de calidad aceptable es la definición numérica de un buen lote. Proporción promedio de unidades defectuosas en los lotes de producción. Un lote que contenga menos de AQL % de unidades defectuosas se considera de muy buena calidad.
- LTPD (Lot Tolerance Percents Defective): También conocido como nivel de calidad rechazable, es el máximo porcentaje de unidades defectuosas toleradas en un lote. Un lote que contenga mas de un LTPD % de unidades defectuosas debe ser rechazado.
- Riesgo del productor: Se define como la probabilidad de que el procedimiento rechace un lote con buenas condiciones de calidad. Esto es

$$P(\text{rechazar} | AQL) = \alpha$$

- Riesgo del consumidor: Se define como la probabilidad de que el procedimiento acepte un lote que no cumple con las condiciones mínimas de calidad. Esto es

$$P(\text{aceptar} | LTPD) = \beta$$

- Tamaño del lote: Es la cantidad de elementos que hay en la población que se desea analizar.

- **Tamaño de la muestra (n):** Es la cantidad de unidades seleccionadas del lote que se inspeccionarán, y se definirán como defectuosas o no defectuosas.
- **Número de aceptación (c):** Es el número de unidades defectuosas permitidas en una muestra de determinado tamaño n , para el cual se sigue aceptando el lote. Este parámetro define el criterio para aceptar o rechazar el lote. Sea x el número de unidades defectuosas en la muestra, se acepta el lote si $x \leq c$.

Indicadores de desempeño de los planes de muestreo

Para poder identificar cuáles planes de muestreo funcionan mejor, es decir, bajo qué tamaños de muestra y número de aceptación se tiene un mejor poder de discriminación, aceptando lotes buenos y rechazando lotes malos o defectuosos, se utilizan varios indicadores de desempeño que se pueden representar gráficamente para realizar las comparaciones. Estos indicadores son:

- **Curva característica de operación:** Es una representación gráfica del rendimiento de un plan de muestreo. Se crea trazando la probabilidad de que el lote sea detectado, para toda una gama de proporciones de unidades defectuosas. Esta gráfica describe el grado en que un plan de muestreo permite distinguir entre los lotes buenos y los lotes malos. Gómez (n.d.)

Estadísticamente, la curva de operación se construye encontrando las probabilidades de aceptar el lote, asumiendo diferentes proporciones de unidades defectuosas o infestadas en nuestro caso, es decir, para cada proporción real de unidades defectuosas p asumida, se calcula

$$P(a) = P(x \leq c|p)$$

Ahora, es necesario saber diferenciar cuándo se debe usar una distribución de probabilidad específica entre las tres mencionadas (Binomial, Poisson e Hipergeométrica) para calcular dichas probabilidades. Para ello se definen dos curvas de operación, curva de operación tipo A y tipo B.

- **Tipo A:** La curva tipo A viene dada por la probabilidad de aceptar un lote para distintos valores de p , calculada a partir de la función de probabilidad de la distribución Hipergeométrica. Ésta se utiliza para lotes aislados de tamaño finito.
- **Tipo B:** La curva tipo B viene dada por la probabilidad de aceptar un lote cuyo tamaño supera por lo menos 10 veces a la muestra, dicha probabilidad se calcula a partir de la función de probabilidad de la distribución Binomial. Ésta, como ya se mencionó, se utiliza para lotes grandes o continuos. ($n/N < 0,1$)

Esta curva tipo B también se puede calcular a partir de la distribución Poisson, utilizando la aproximación Poisson~Binomial, recordemos que esta aproximación es buena cuando se cumplen las siguientes desigualdades

$$n/N < 0,1 \quad y \quad n * (n/N) > 1$$

Se debe tener en cuenta que cuando el tamaño del lote es por lo menos 10 veces el tamaño muestral, las curvas tipo A y tipo B no se diferencian en nada, es decir, en esos casos, se podría utilizar cualquiera de las tres distribuciones.

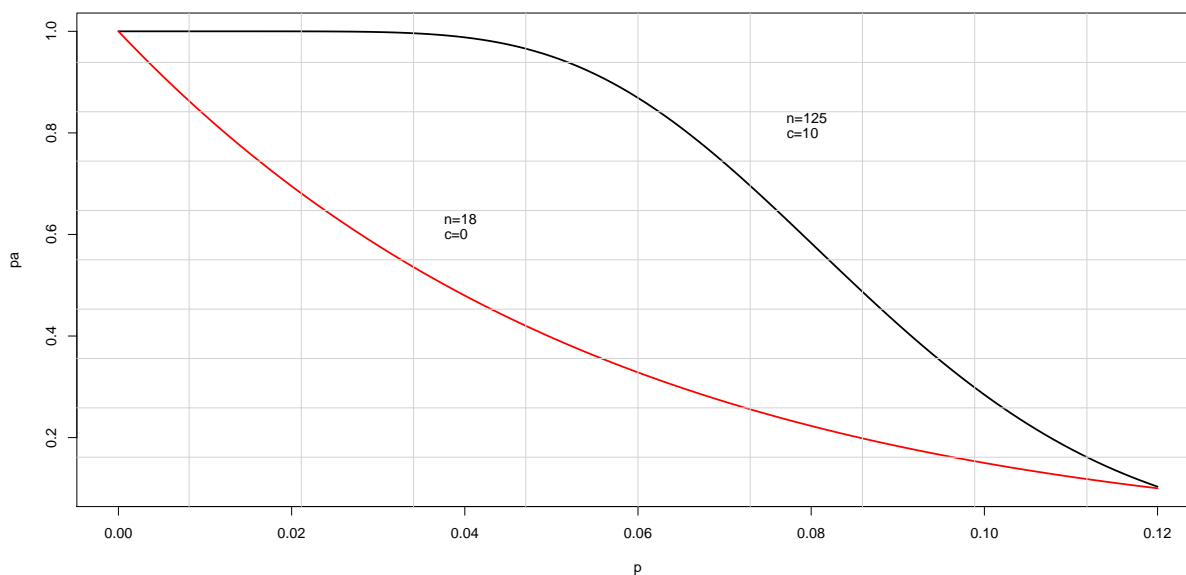


Figura 2-1: Ejemplo curvas de operación para lotes grandes $n/N < 0,1$

- **Average Outgoing Quality (AOQ):** La calidad promedio de salida es la proporción promedio de unidades defectuosas entre aquellas unidades que superan el proceso de inspección. Este concepto es una forma de medir el efecto de un plan de muestreo sobre la calidad que se tendrá después de aplicarlo. Existen dos formas de calcular el AOQ, dependiendo de la acción que se realice sobre los lotes rechazados o aceptados.
 - **Caso 1:** Lotes rechazados son inspeccionados al 100 % y se libran de defectuosos, es decir, se realiza un censo en todo el lote rechazado y se cambian los productos defectuosos.

$$AOQ = P_a * P$$

- **Caso 2:** Sobre los lotes aceptados el inspector no realiza ninguna acción

$$AOQ = P_a * P * \left(1 - \frac{n}{N}\right)$$

- Average Outgoing Quality Limit(AOQL): La máxima calidad promedio de salida, según el concepto anterior, se podría interpretar como el peor nivel de calidad con el que se espera trabajar bajo un plan de muestreo implementado. Se encuentra como

$$\max(AOQ)$$

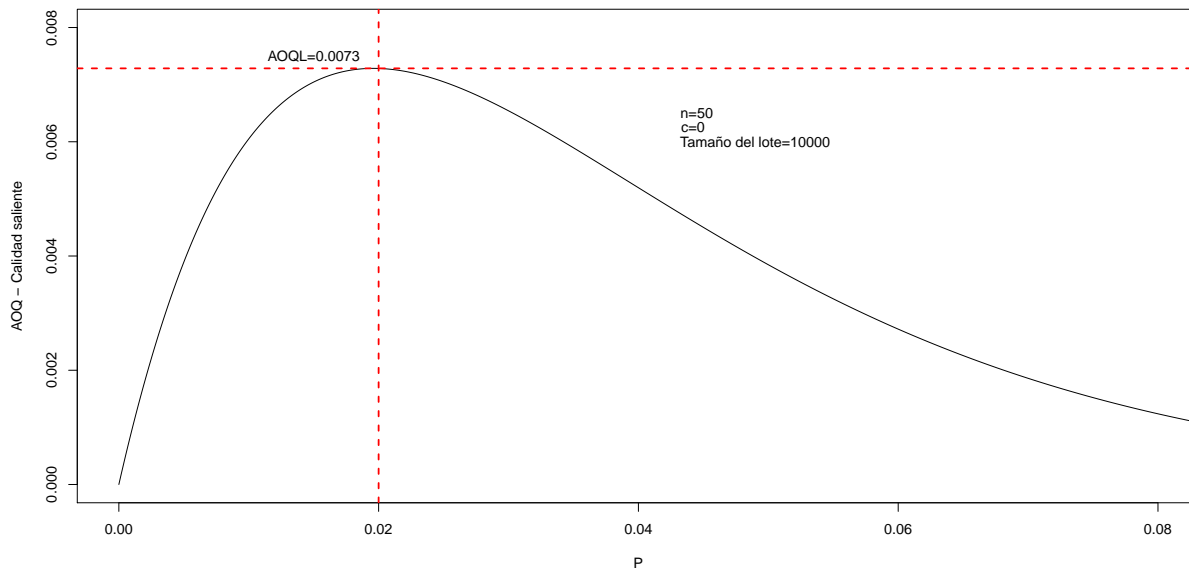


Figura 2-2: Ejemplo gráfica AOQ y AOQL

- Average Total Inspection (ATI): La inspección total promedio es el número esperado de piezas a inspeccionar por lote, su valoración es importante en la estimación de los costos a largo plazo del procedimiento. Si un lote es de calidad p y la probabilidad de aceptación es P_a , entonces la inspección total promedio por lote es:

$$ATI = n * P_a + N * (1 - P_a)$$

Lotes muy malos tendrán un comportamiento asintótico de la curva ATI, la cual tenderá al tamaño del lote, cuando este es finito.

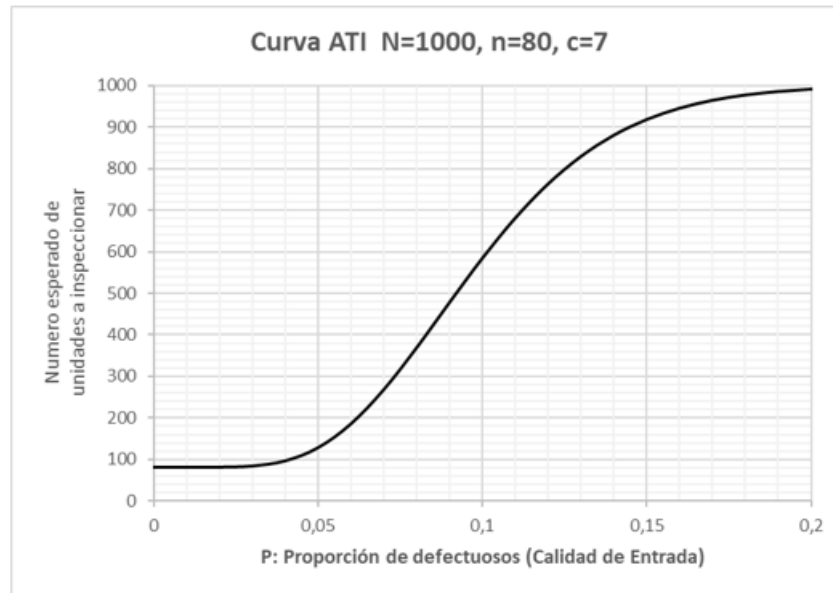


Figura 2-3: Ejemplo gráfica ATI

Planes $c=0$

Existen algunos métodos establecidos para encontrar el tamaño de muestra, dados algunos parámetros. Nos centraremos principalmente en los planes AoZ (accept-on-zero), también conocidos como planes “aceptar en ninguno” o “cero defectos”, ya que en este caso, los lotes de plantas que presenten por lo menos una planta infectada en la muestra seleccionada, se debe rechazar, por los riesgos que estas infecciones representan para los consumidores o clientes y por la facilidad con la cual se transmiten las enfermedades de una planta a otra. Estos planes, son planes de muestreo de aceptación con un umbral de aceptación de $c = 0$. En otras palabras, dictan la aceptación de los lotes solo si no se encuentran elementos no conformes en la muestra. A su vez, existen diferentes técnicas que se han trabajado a lo largo del tiempo, que definen los tamaños de muestra necesarios, y se basan en distintos parámetros, algunos de los más utilizados son

- MIL-STD-1916: Es una norma realizada por el departamento de defensa de Estados Unidos denominada “Método de prueba estándar: Métodos preferidos por el departamento de defensa para la aceptación del producto”. El propósito de esta norma fue alentar a los contratistas de defensa y otras organizaciones comerciales que suministran bienes y servicios al gobierno de los EE. UU. a presentar procedimientos de control de procesos (prevención) eficientes y efectivos en lugar de los requisitos de muestreo prescritos. El objetivo es respaldar el alejamiento de una estrategia de inspección (detección) basada en AQL para la implementación de una estrategia efectiva basada en la prevención que incluya un sistema de calidad integral y mejora

continua.

Los planes y procedimientos de calidad en esta norma se pueden usar cuando sea apropiado para evaluar el cumplimiento de los requisitos de artículos finales, componentes o materiales básicos, operaciones o servicios, materiales en proceso, suministros en almacenamiento, operaciones de mantenimiento, datos o registros y/o procedimientos administrativos.

Esta norma cuenta con un conjunto de tabla preestablecidas, con las cuales se encuentra el tamaño de muestra requerido a partir del tamaño del lote, del tipo de muestreo (atributo, variable o continuo) y del nivel de inspección deseado que se desee evaluar. Sin embargo, no se usa ampliamente debido a su dificultad y uso práctico.

- Squeglia plans: Los planes de número de aceptación cero desarrollados por el autor se diseñaron originalmente y se utilizaron para proporcionar una protección igual o mayor al consumidor con menos inspección general que los planes de muestreo MIL-STD-105-E correspondientes. En el año 2000, el Departamento de Defensa declaró obsoleto a MIL-STD-105-E y recomendó los planes $c = 0$ en este libro para usarlos en lugar de ellos. Además de las ventajas económicas, los planes en este libro también son fáciles de usar y administrar. Nicholas Squeglia derivó los Planes de Muestreo de Número de Aceptación Cero del estándar ANSI / ASQ Z1.4 (MIL-STD-105E), y sus planes de muestreo $C = 0$ redujeron en gran medida la complejidad asociada con ANSI / ASQ Z1.4. Por ejemplo, el uso de inspección normal, ajustada y reducida; reglas de conmutación; muestreo único y doble no se integraron en el procedimiento de Squeglia.

3 Metodología

En esta sección se presenta la metodología de la investigación para dar solución a la pregunta problema y a los objetivos planteados. Como primer punto se realizó una visita a algunos viveros para tener una idea de la ubicación, orden y proceso de producción de los lotes de plantas de cítricos en campo, ya que es un factor de vital importancia para el proceso de simulación y validación de las propuestas muestrales. Posterior a esto, como segundo punto se desarrollarán diferentes propuestas muestrales que se podrían implementar según la categorización de los lotes de acuerdo a su tamaño y se probarán por medio de estudios de simulación en distintos escenarios contextuales, tratando de abarcar todas las posibles situaciones que puedan ocurrir con el objetivo de evaluar cuál de estas propuestas es la más óptima.

3.1. Visita viveros

Se visitaron dos viveros ubicados en Caicedonia - Valle del Cauca y Calarcá - Quindío, los cuales presentaban una capacidad máxima aproximada de 70000 y 120000 plantas respectivamente. Se utilizó una guía de observación de elaboración propia (ver anexo 1), la cual ayudó en el proceso de extraer la información necesaria para aplicar la metodología y para el respectivo estudio de simulación, en esta guía de observación se le preguntó a los productores sobre algunos aspectos de interés, como por ejemplo, si habían realizado muestreos anteriormente y de qué forma se hizo, qué riesgo estaban dispuestos a asumir con el muestreo, qué precauciones toma para evitar posibles infecciones en las plantas, entre otras.

3.2. Calculo de los tamaños de muestra para cada tamaño de lote (Metodología AoZ)

Se hará uso de la metodología de los panes $c = 0$ o “aceptar en ninguno” para calcular los tamaños de muestra correspondientes a cada lote para todos los posibles tamaños que estos podrían llegar a tener.

3.3. Categorización de lotes

Se categorizarán los lotes en rangos según la cantidad de plantas, agrupando los tamaños de lotes para los cuales el tamaño de muestra sigue siendo el mismo, es decir, se establecerán rangos de cantidades de plantas dentro del cual el tamaño de muestra no varía o su variación es insignificante. Por ejemplo, si formamos un rango de 2000 a 3000 plantas, esto significa que si se tiene un lote de 2060 plantas el tamaño de muestra que se obtiene bajo la metodología de los planes $c = 0$ es exactamente el mismo o muy poco variable que si tuviéramos un lote de 2800 o 3000 plantas.

3.4. Diseño del plan de muestreo en campo

Se diseñarán las propuestas metodológicas que se implementarán en los viveros con el fin de que la muestra recogida no solo sea aleatoria sino también lo más representativa posible, se utilizará el muestreo aleatorio simple (MAS), el muestreo sistemático (MSIS) y muestreo por transectos, finalmente se analizará cuál de estas técnicas representa mejor la población (lote), sin dejar de lado la facilidad logística que implica usar uno u otro en la práctica.

3.5. Calculo de los indicadores de desempeño (AOQ, AOQL, ATI, OC)

Una vez diseñado el plan de muestreo en campo y definido qué tamaños de muestra se van a utilizar, pasamos a evaluar el diseño muestral, esto se realiza a partir de los indicadores de desempeño y sus respectivas gráficas. Cada una nos dirá qué tan bueno es el plan de muestreo implementado, qué riesgos se llegan a correr en cuanto a la probabilidad de aceptar lotes con calidades inaceptables (error tipo II - riesgo del consumidor β) y rechazar lotes con calidades aceptables (error tipo I - riesgo del productor α), también se puede observar la calidad promedio de salida y la cantidad de plantas del lote que se deberían inspeccionar con el plan de muestreo implementado.

3.6. Categorización de los viveristas según el nivel de riesgo

Luego de tener todo lo respectivo al muestreo, se planea crear 3 niveles de riesgo, flexible, normal y riguroso, esto para tener en cuenta en el muestreo el historial de los viveristas y “premiar” a los que mantengan una calidad alta en su producción, así pues los viveristas comenzarán en un nivel de riesgo normal, y pasaran a flexible o riguroso dependiendo de la cantidad de lotes “buenos o malos” que tengan en su historial, esto implica que los que

tengan una calidad “buena” en sus viveros tendrán tamaños de muestra más pequeños y por el contrario, los que tengan calidad “mala” (varios lotes rechazados) pasarán a tener un tamaño de muestra mayor, lo que implica más costos.

3.7. Validación de los planes por medio de simulación

Por último se validarán los planes diseñados utilizando herramientas computacionales, donde se simularán todos los posibles escenarios de los viveros con los diferentes planes para así conocer si estos cumplen con el objetivo de detectar lotes infectados con una confianza alta.

Bibliografía

- Abad Corpa, E., Llopis, L., J., Paredes Sidrach de Cardona, A. & García Palomares, A. (2004), 'Monitorización del cumplimiento del protocolo de mantenimiento de la cateterización venosa mediante el método lqas', *Enfermería global* (5).
- Andreo, J. A., Barrio, M., Ramos, R. M., Torralba, M., Herrero, F. & Saturno, P. J. (2000), 'Evaluación, mejora y monitorización de la adecuación de ingreso y estancia en medicina interna con el muestreo de aceptación de lotes', *Revista de Calidad Asistencial* **15**, 88–92.
- Durán-Vila, N. (n.d.), La exocortis de los cítricos: Su control en las nuevas plantaciones, Technical report, Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias.
- Faggiani, E. P. (2009), Hlb: Aspectos generales de la enfermedad, Technical report, Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria.
- Gómez, R. C. P. . D. G. (n.d.), *Administración de las operaciones: Muestreo de aceptación*.
- Izquierdo, E. V. (2010), Epidemiología de Plum pox virus y Citrus tristeza virus en bloques de plantas de vivero. Métodos de control, PhD thesis, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.
- Leprosis de los Cítricos "PRC" (Citrus leprosis virus)* (n.d.), <http://www.cesvver.org.mx/leprosis-de-los-citricos-prc-citrus-leprosis-virus/>.
- Maradiaga, C. J. M. (2018), Ocurrencia de huanglongbing (candidatus liberibacter asiaticus) y su vector [diaphorina citri kuwayama (hemiptera: Liviidae)] en viveros de cítricos de masaya, Master's thesis, Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua.
- Matos, L. & Borbón, J. (2008), 'El virus de la tristeza de los cítricos (ctv) en plantaciones comerciales y viveros de la república dominicana', *Caribbean Food Crops Society* **44**(2), 204–211.
- NIMF n. 31 metodologías para muestreo de envíos* (2008), Technical report, Convención Internacional de Protección Fitosanitaria.
- Parke, J. L., Knaus, B. J., Fieland, V. J., Lewis, C. & Grünwald, N. J. (2014), 'Phytophthora community structure analyses in oregon nurseries inform systems approaches to disease management', *Phytopathology* **104**(10), 1052–1062.

PD 15: Virus de la tristeza de los cítricos (2016), Technical report, Convención Internacional de Protección Fitosanitaria (CIPF).

Pérez, C. (2010), *Técnicas de muestreo estadístico*.

Pérez-Sierra, A., Mora-Sala, B., León, M., García-Jiménes, J. & Abad-Campos, P. (2012), ‘Enfermedades causadas por phytophthora en viveros de plantas ornamentales’, *Boletín de Sanidad Vegetal Plagas* (38), 143–156.

Rojas, A. R.-F. (2006), *Muestreos de aceptación*, Madrid.

Squeglia, N. L. (2008), *Zero Acceptance Number Sampling Plans, Fifth Edition*, 5 edn, ASQ Quality Press.

URL: <http://gen.lib.rus.ec/book/index.php?md5=5759C3A8D20ACF17B0480BC1373E0CC6>

Tawfik, Y., Hoque, S. & Siddiqi, M. (2001), ‘Using lot quality assurance sampling to improve immunization coverage in bangladesh’, *Bulletin of the World Health Organization* **79**(6), 501–505.